

Unapređenje održavanja dijagnostikovanjem stanja i ponašanja rotornih bagera on-line i off-line metodom

Darko Daničić, Predrag Jovančić, Dragan Ignjatović, Taško Maneski



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Unapređenje održavanja dijagnostikovanjem stanja i ponašanja rotornih bagera on-line i off-line metodom | Darko Daničić, Predrag Jovančić, Dragan Ignjatović, Taško Maneski | Tehnika | 2009 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0008038>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

Unapređenje održavanja dijagnostikovanjem stanja i ponašanja rotornih bagera on-line i off-line metodom

Mr DARKO DANIČIĆ¹, dr PREDRAG JOVANČIĆ²,
prof. dr DRAGAN IGNJATOVIĆ,
prof. dr TAŠKO MANESKI³

Pregledni rad
UDC:622.271.3.004.54/55=861

Dijagnostika stanja i ponašanja je od presudnog značaja za donošenje pravilnog stava o radu i održavanju rotornog bagera, odnosno svih komponenti bagera, od čelične konstrukcije pa do pogonskih grupa. Da bi jedan rotorni bager zadržao ili poboljšao svoje performanse u određenom vremenskom intervalu, mora proći kroz revitalizacione procese koji su bazirani na različitim dijagnostičkim metodama ispitivanja. Pojedine metode ispitivanja biće prikazane u ovom radu. Realizovano je nekoliko projekata sa aspekta rekonstrukcija i revitalizacija rotornih bagera kako na kostolačkim, tako i na kolubarskim kopovima. Naveden je samo jedan broj izvedenih projekata koji su podigli ili u krajnjem slučaju zadržali performanse bagera u cilju što boljeg kapacitnog i vremenskog iskorišćenja osnovne rudarske mehanizacije.

Ključne reči: dijagnostika, rotorni bager, on-line, off-line, revitalizacija.

1. UVOD

Sektor energetike predstavlja privrednu granu koja je ključna za nacionalni, ekološki i ekonomski uspeh. Sa svojim ekskluzivnim pristupom domaćim ležištima, industrija lignita je garant pouzdanih sirovina, a na osnovu dokazanih rezervi nudi dugoročnu sigurnost snabdevanja.

Kvalitetno održavanje ima izuzetan značaj na efikasnost rada površinskih kopova. Dokazano je da na vrednost kapacitativnog i vremenskog iskorišćenja najveći uticaj ima kvalitet održavanja.

U realizaciji postavljenih ciljeva održavanja kompleksnih sistema kao što su sistemi na površinskim kopovima, čiji je glavni eksponent rotorni bager, dijagnostika tehničkih sistema u poslednje vreme uzima sve veći mah. Korak dalje je sigurno dijagnostika ponašanja i stanja pogonskih grupa i čelične konstrukcije na bageru, i to u cilju revitalizacije istih, a sa druge strane i u sklopu prediktivnog i proaktivnog održavanja. Na ovaj način se direktno utiče na vek trajanja rotornog bagera, pri čemu se takođe utiče i na performanse bagera – zadržavaju se u projektovanom opsegu ili se u određenim segmentima povećavaju, pri čemu se ne narušavaju ostale celine odnosno grupe gradnji na bageru. Revitalizacija rudarske opreme je

složen, multidisciplinarni postupak koji obuhvata skup tehničkih zahvata kojima se vrši zamena svih dotrajalih ili oštećenih delova i eventualno, njihova modernizacija. Da bi se došlo do valjanih kriterijuma za procenu o neophodnosti zamene pojedinih delova opreme ili konstrukcije, neophodna su obimna dijagnostička ispitivanja. Važan deo ovih ispitivanja se odvija u on-line i off-line režimu. Ovakve metode omogućavaju potpunu iskorišćenost određenih sklopova. Međutim, bez obzira što radni vek rotornog bagera, kao najvažnijeg i najkompleksnijeg pojedinačnog sistema u okviru sistema za površinsku eksploataciju, direktno zavisi od trajnosti čelične konstrukcije, može se reći da su kod opreme pogonskih sistema uspostavljeni jasniji kriterijumi o zameni ili rehabilitaciji nego kod čelične konstrukcije. Kod mašinskih i elektro sklopova može se jasnije uspostaviti finansijski kriterijumi. Zahtev dugotrajnog praćenja i podaci koji treba da se što više približe realnim uslovima, otežavaju uspostavljanje čvrstih relacija između noseće čelične konstrukcije i njene trajnosti. Proces revitalizacije nije precizno definisan ni po obimu, ni po strukturi, niti su jasno definisane granice ovog procesa, naročito u odnosu na veće godišnje opravke. Složenost ovog procesa dolazi od složene strukture samog rotornog bagera, koji se sastoji iz određenog broja grupa gradnji, mašinske, elektro i druge opreme, pri čemu svaki ovaj deo može imati i neki svoj posebni vek. Uopšteno, revitalizacija se usitalila u našoj tehničkoj komunikaciji da označi ob-

Adrese autora: ¹Kolubara Metal d.o.o., ²Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Đušina 7, ³Mašinski fakultet, Beograd

Rad primljen: 11. 03. 2009.

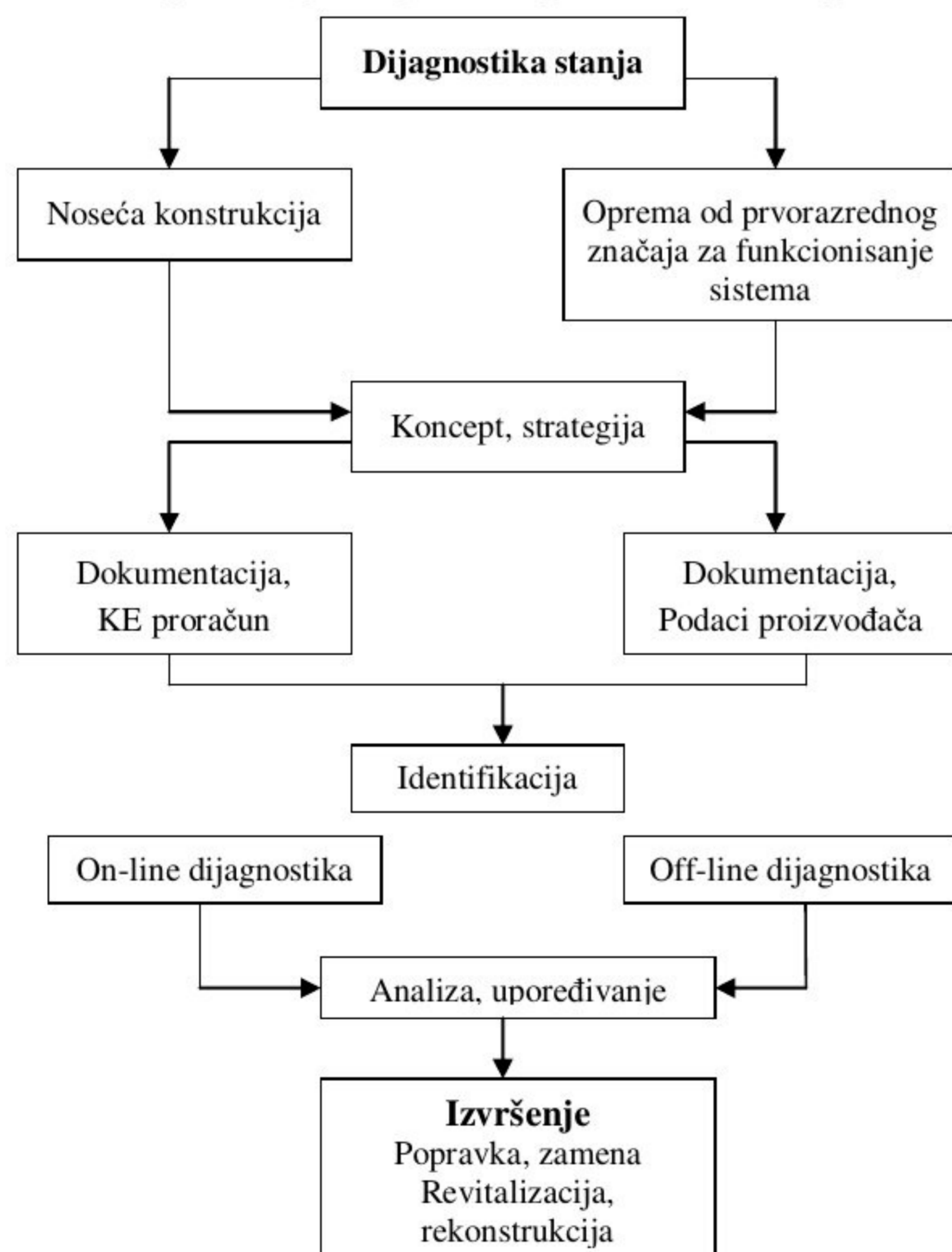
navljanje (osveženje) tehničkog sistema – rotornog bagera, radi njegovog daljeg poboljšanja rada i produženja veka trajanja.

Ciljevi primene dijagnostičkih metoda su:

- sprečiti ponovljene otkaze mašine,
- smanjiti troškove održavanja,
- povećati vreme ispravnog rada mašine (pouzdanost),
- pružiti vek trajanja mašine,
- optimizovati efikasnost sredstava u radu,
- unaprediti proces planiranja,
- omogućiti uspešno funkcionisanje održavanja i proizvodnje.

2. METODOLOŠKI PRISTUP DIJAGNOSTICI ROTORNOG BAGERA

Osnovni cilj primene dijagnostike ponašanja i stanja opreme rotornog bagera je poznavanje stanja bagera u svakom trenutku kako bi osigurali optimalni parametri njegovog funkcionisanja a takođe, predvideo optimalni momenat njegove eventualne revitalizacije i rekonstrukcije, koja bi primenom tehničkih mera omogućila dalji siguran i ekonomičan rad u toku eksploatacije na jednom površinskom kopu.



Slika 1 - Algoritam dijagnostike ponašanja rotornog bagera

Ovakvim pristupom dolazi se do neophodnog definisanja osnovnih i posebnih zahteva, koji su subli-

mirani preko dijagnostike ponašanja i stanja rotornog bagera. Da bi se postavili tehnički uslovi realizacije, potrebno je definisati algoritam primene dijagnostike ponašanja i stanja opreme (slika 1).

3. POSTUPCI ISPITIVANJA NA ROTORNOM BAGERU

Ispitivanja na rotornom bageru, s obzirom na pristup, kao i na dobijene rezultate možemo svrstati u dve grupe: ispitivanja noseće čelične konstrukcije i opreme od vitalnog značaja za funkcionisanje. Kod noseće konstrukcije prevashodan cilj je sigurnost bagera, dok kod opreme ispitivanjem možemo dobiti podatke o stanju opreme u datom trenutku, koji mogu biti presudni za odlučivanje u efikasnom radu. Da bi se izvršio odabir relevantnih mesta za dijagnostikovanje noseće konstrukcije potrebno je izvršiti analizu konstrukcije. To se odnosi i na računsku analizu, a tako i na analizu otkaza pojedinih delova. Na osnovu ovakve analize moguće je opredeliti on-line ili off-line analizu, ili kombinaciju ove dve. Za ispitivanje rotirajućih delova potrebno je poznavanje proizvođačkih podataka. Aktivnosti na rotornom bageru koje su sublimirane kroz postupke ispitivanja, definisane su preko navedene metodologije za ostvarenje revitalizacije.

3.1. Definisane kriterijuma za revitalizaciju pojedinačnih sklopova na rotornom bageru

Kriterijumi koji definišu revitalizacione postupke i dalje pravce modernizacije celina i elemenata na rotornom bageru, bazirani su na različitim, već dokazanim, dijagnostičkim metodama. Te metode se mogu, u ovom slučaju, podeliti na numeričke i eksperimentalne – obe se oslanjaju na inženjersko, ekspertsko iskustvo, ali i na određene standarde koji bliže definišu određenu problematiku. Definisane kriterijuma pojedinačnih glavnih i pomoćnih kretanja sklopova bagera, a pogotovo elemenata i sklopova čelične konstrukcije, nisu egzaktno precizirani. Oni zavise prvenstveno od strukturnog i funkcionalnog značaja koji ima svaki pojedini sklop u odnosu na bager kao celinu, a zatim i od cene koštanja zamene, rekonstrukcije ili modernizacije. Najčešći sklopovi koji se obrađuju su pogon radnog točka, pogoni transportera na bageru, pogon obrtanja gornje gradnje sa obrtno-oslonim ležajem, kofice sa reznim elementima i pogotovo, čelična konstrukcija strele radnog točka. Ove celine i rad na njihovoj revitalizaciji i modernizaciji, u principu, definišu dalji rad rotornog bagera na površinskom kopu.

Što se tiče čelične konstrukcije, koja ima najveći uticaj na životni vek rotornog bagera i uopšte rudarskih mašina, prethodno se podrazumeva da kriterijumi uzimaju u obzir standard DIN 22 261 koji se

odnosi na velike rudarske mašine i sve odnosne standarde i propise (npr. DIN 18 800, koji se odnosi na čeličnu konstrukciju i njenu kontrolu). Osim navedenih propisa, koriste se i drugi pojedinačni propisi, kao i iskustvo u eksploataciji i održavanju rotornog bagera. Ovde svakako treba uzeti u obzir faktore koji se mogu uzeti u obzir samo probalistički, sa određenim procentom pretpostavke. To znači, da za razliku od mašinske opreme, koji su najčešći delovi, i kojima je neuporedivo lakše odrediti cenu i troškove održavanja, kod čelične konstrukcije se mora pažljivo prići i prethodno izvršiti funkcionalno strukturnu podelu i ocenu značaja sklopa ili elementa ponaosob. Tek nakon toga moguće je analizirati posledice i troškove sanacije, zamene ili modernizacije. Prilikom analize strukture konstrukcione celine rotornog bagera neophodno je podeliti opremu i konstrukciju u segmentne sisteme, grupišući delove prema dobro poznatim funkcijama, i odrediti granice sistema. Vršiti se dalja podela na podsisteme koji izvršavaju funkcije bitne za rad celog sistema. Granice sistema ne moraju da predstavljaju fizičke granice sistema, već mogu i da se preklapaju.

3.2. Izvedeni primeri postupaka on-line ispitivanja na rotornim bagerima

- *On-line merenje napona u čeličnoj konstrukciji bagera*

Pravilnim odabiranjem kritičnih mesta kao i sa ograničenim brojem mernih mesta, dolazi se do određenih rezultata i saznanja o čeličnoj konstrukciji rotornog bagera. U zavisnosti od konstrukcije i karaktera opterećenja izabrana je metoda merenja naprežanja materijala pomoću mernih traka. Osnovu za procenu rezultata merenja i merne tačke daje DIN 22261-2.

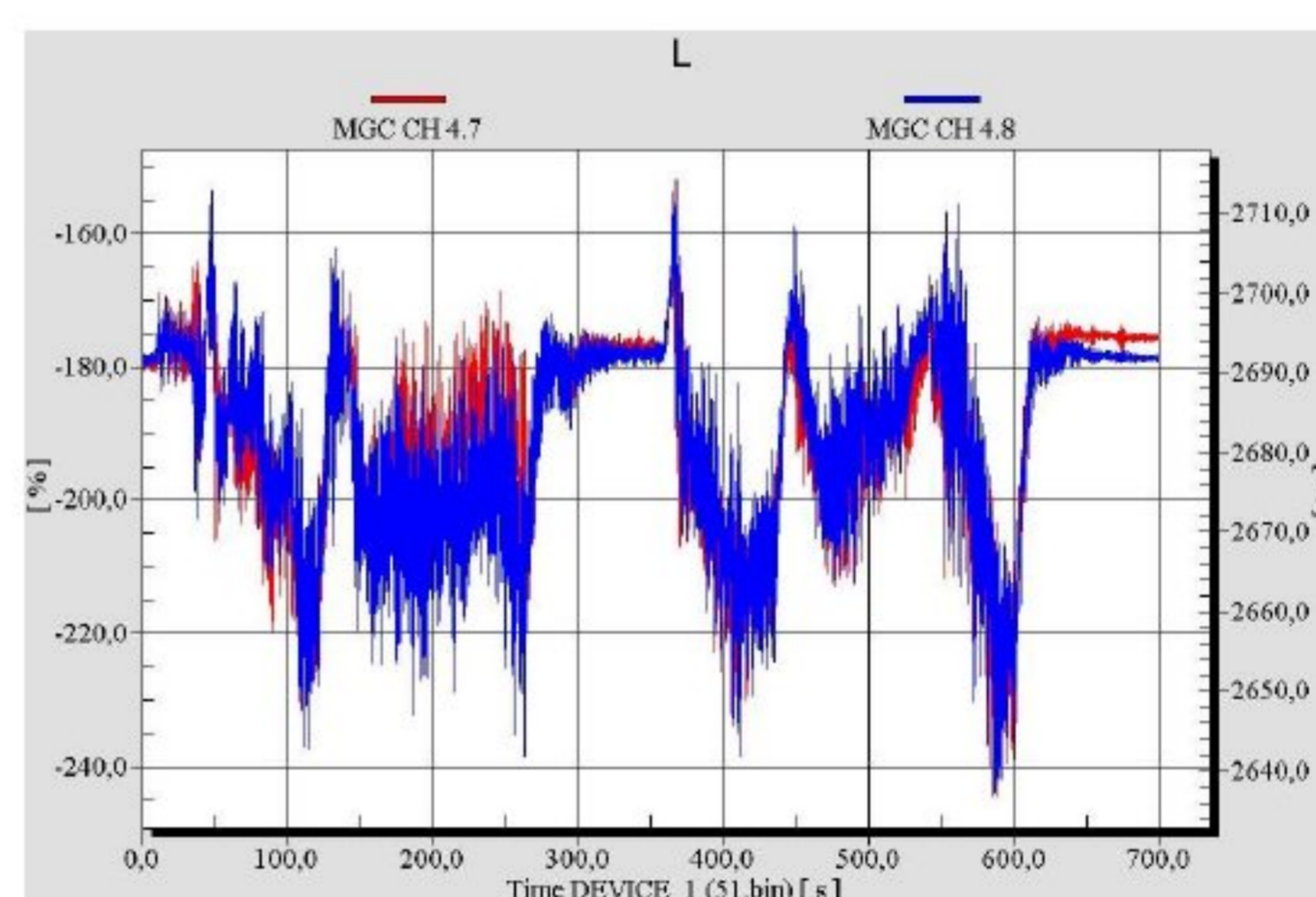


Slika 2 - Lokacije mernih mesta na bageru SRs 1301, G 10, RB Kolubara

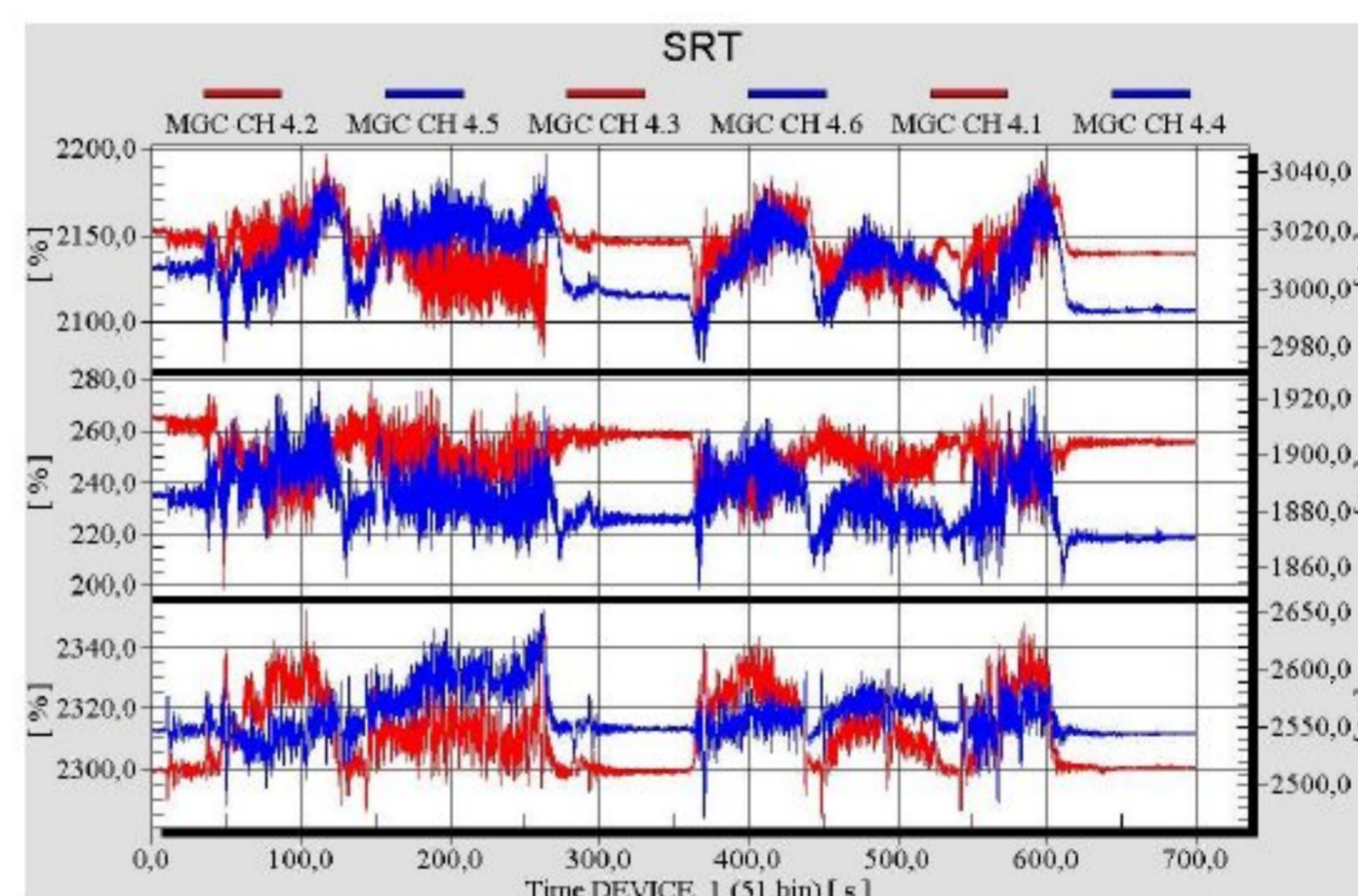
Na slici 2 prikazana su merna mesta na bageru SRs 1301 koji je premešten sa nemačkog kopa Nochten (Vattenfall) na Polje D RB Kolubare i pri

tom revitalizovan. Noseća konstrukcija ovog bagera bila je izuzetno zanimljiva za ostvarenje pilot projekta on-line monitoringa konstrukcije jer je bager proizveden 1982. godine i njegovo ponašanje u eksploataciji je bilo potpuno nepoznato. Pilot projekat podrazumeva 32 merna mesta na konstrukciji i 32 merna mesta rotirajućih elemenata. Merne trake i davači su ugrađeni u rasterećenom stanju dok je bager bio demontiran. Može se reći da je Projekat merenja napona na ovom bageru on-line pionirski poduhvat u Srbiji. Dosadašnja merenja, najčešće i rađena u cilju revitalizacije bila su off-line, što znači da su u određenim slučajevima opterećenja pravljene zapisi u ograničenom trajanju.

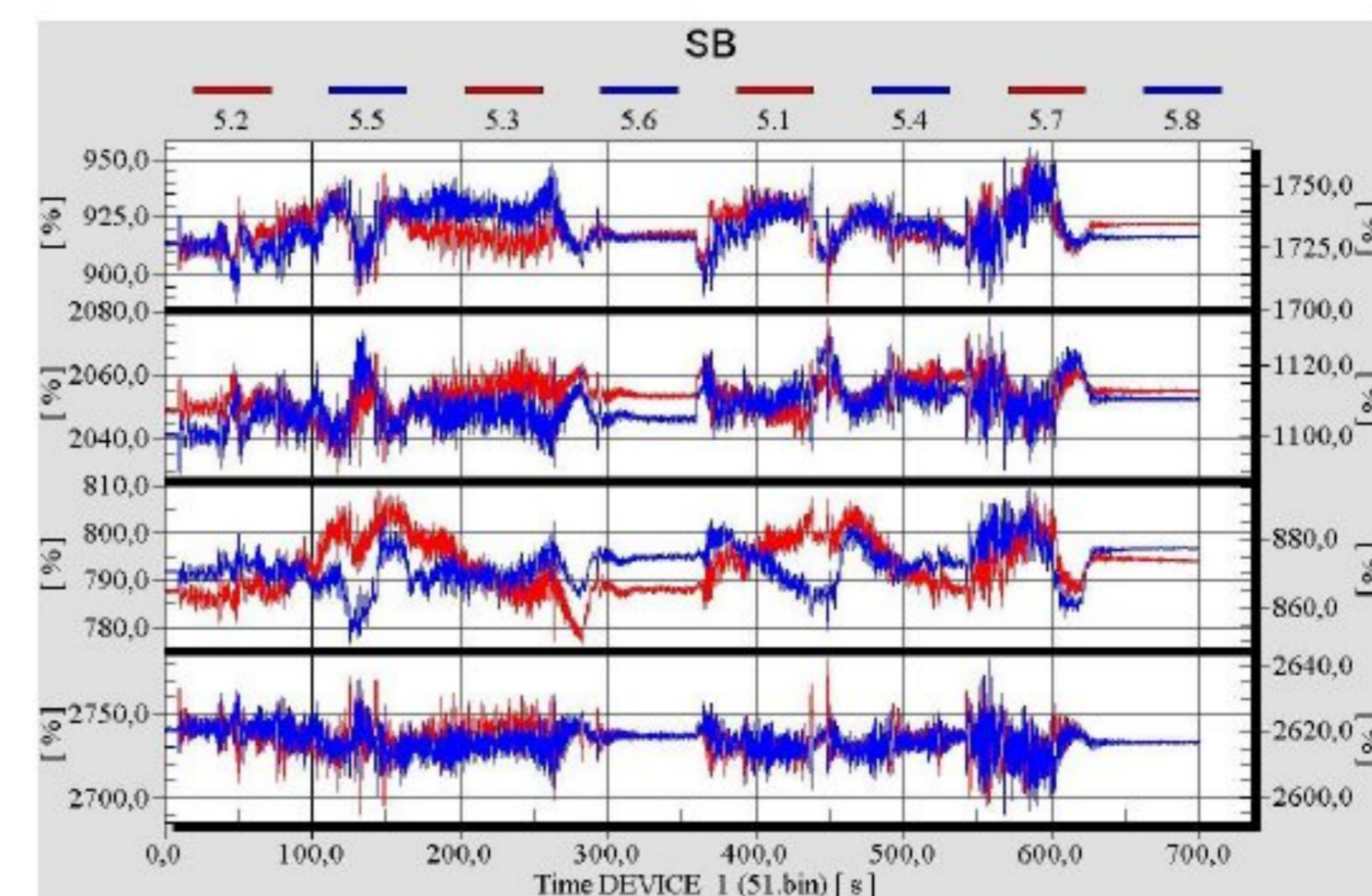
- *Izmerene vrednosti u jednom vremenskom intervalu*



Slika 3 - Napon u lameli radnog točka



Slika 4. Napon u streli radnog točka



Slika 5. Napon u streli balasta

- *On-line merenje vibracionog stanja*

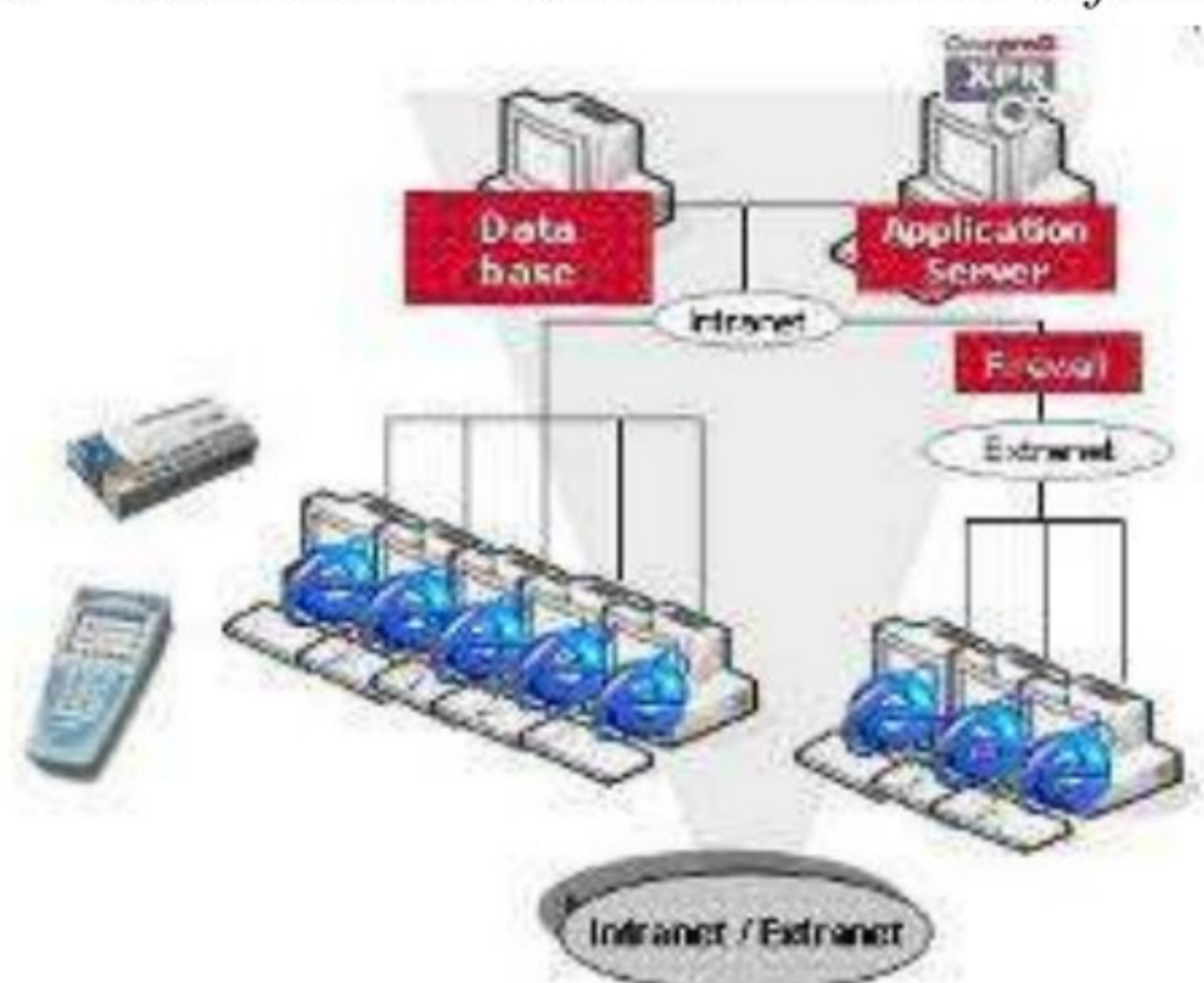
Za praćenje operativnog stanja pogona bagera na bazi vibracionog stanja primenjuje se višekanalni merni sistem OneproD MVX32PRE proizvođača 01dB-Mettravib.

Po pitanju instalacije:

- Desktop instalacija
- Client-Server instalacija
- Web verzija XPR softvera



Slika 6 - Client-Server arhitektura XPR softvera



Slika 7 - Web arhitektura XPR softvera

U primenjenom sistemu online praćenja stanja na pogonima bagera instalisana je: advanced verzija xpr 4.01 softvera u client / server verziji uključjenom opcijom praćenja 32 kanala u online režimu kao i opcijama opc servera i opc client-a, u dekstop PC serveru dok je na industrijskom touch panelu koji je smešten kod bageriste instalisan jednostavni OneproD ViO software za indikaciju trenutnih stanja alarma. Osnovni razlozi za ovakvu arhitekturu sistema:

ViO u kabini bageriste – sa ciljem da obavesti bageristu o trenutnom stanju vibracija na njegovim pogonima.

- Web arhitektura XPR softvera. Centralni PC koji opslužuje oba merna sistema na bageru (MVX i MGCplus) je smešten u energetskej kućici i preko wireless sistema komunikacije prikuplja podatke u realtime-u. U isto vreme taj je računar povezan sa, fizički, tri odvojena računara na kojima su instalisane web aplikacije XPR-a:

- Računar u okviru održavanja "Kolubara",
- Računar u zgradi "Kolubara Metal",
- Računar u centru za vibrodija-gnostiku u okviru "TRCpro"-a.

Prikaz rasporeda kanala (deo):

Pogon:	1. Dizanje radnog tocka zadnji motor		
MM	Oznaka na kablju	Komentar	Kanal MVX-a
L1	908	Prvi lezaj motora	1
L2	912	Drugi lezaj motora	2
L3	914	Prvi lezaj na ulazu I stepena redukcije	3
L4	925	Drugi lezaj na ulazu stepena I redukcije	4
L5	927	Prvi lezaj na izlazu II stepena redukcije	5
Tach	X	Broj obrtaja elektromotora	30
Pogon:	2. Dizanje radnog tocka prednji motor		
MM	Oznaka na kablju	Komentar	Kanal MVX-a
L1	909	Prvi lezaj motora	6
L2	907	Drugi lezaj motora	7
L3	910	Prvi lezaj na ulazu I stepena redukcije	8
L4	911	Drugi lezaj na ulazu stepena I redukcije	9
L5	913	INKLINOMETAR – nagib strele RT	31
Pogon:	3. Obrtanje platforme 1 (prema kućicama)		
MM	Oznaka na kablju	Komentar	Kanal MVX-a
L1	942	Prvi lezaj motora	10
L2	943	Drugi lezaj motora	11
L3	944	Prvi lezaj na ulazu I stepena redukcije	12
L4	946	Drugi lezaj na ulazu stepena I redukcije	13
L5	945	Prvi lezaj na izlazu II stepena redukcije	14
Tacho	947	Broj obrtaja motora	31

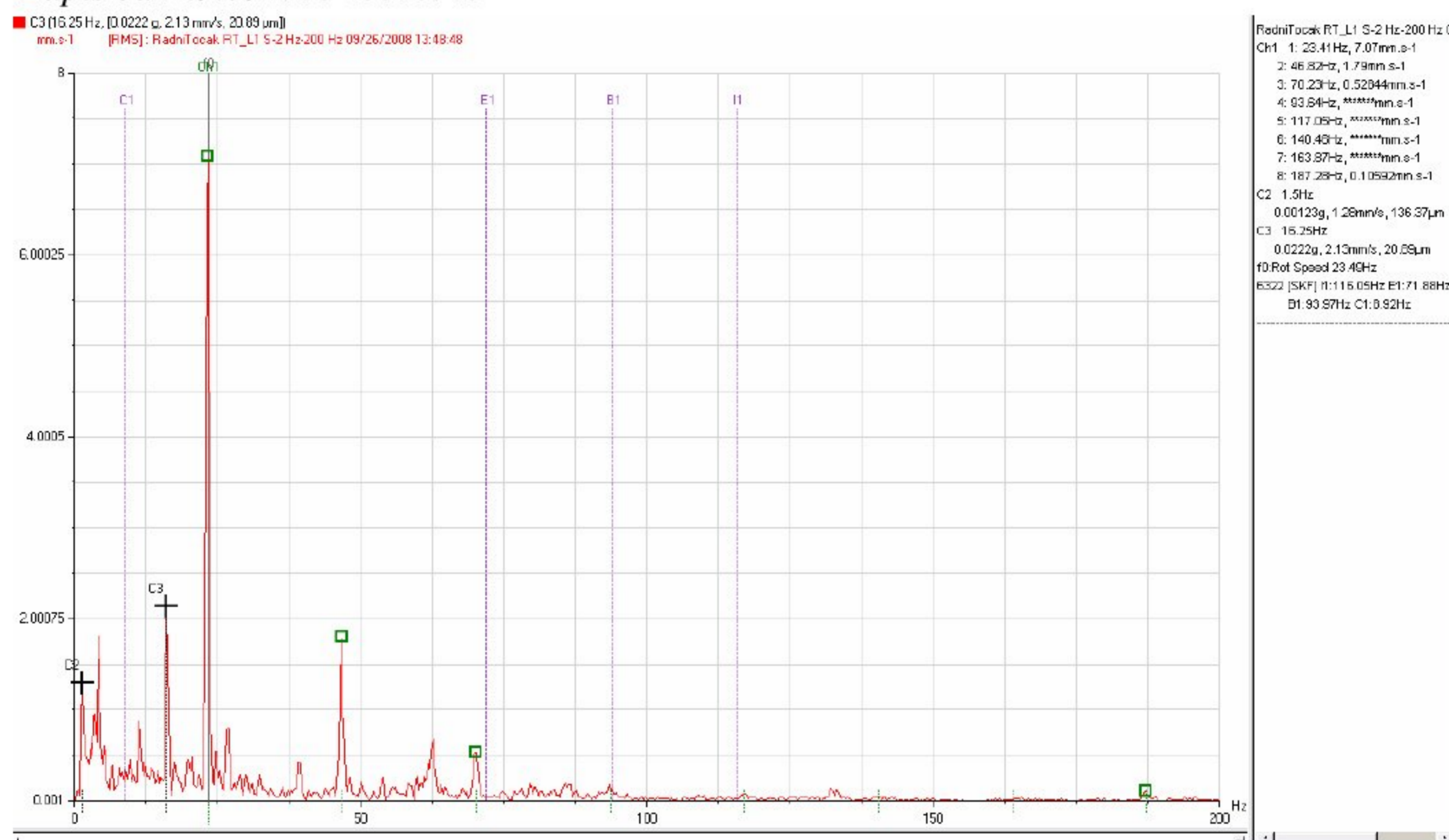
Periodičnost akvizicije: nad svakim pogonom se u slučaju dostizanja predefi-nisanog radnog režima (pogon radi i broj obrtaja veći od 300 RPM), vrši snimanje na svaka 3 minuta dok se u slučaju dostizanja alarmantnih vrednosti akvizicija vrši svakog minuta. Trenutni uvid u stanje svakog mernog mesta se vrši pregledom sumarnih iskaza vibracije kroz tzv DDG (double detection grid) gde zavisno od snimljenih nivoa polje sa vrednosti dobija zelenu (OK), žutu (prvo upozorenje) ili crvenu boju (granica opasnosti).

• *Merenje rotirajućih elemenata metodom vibrodijagnostike*

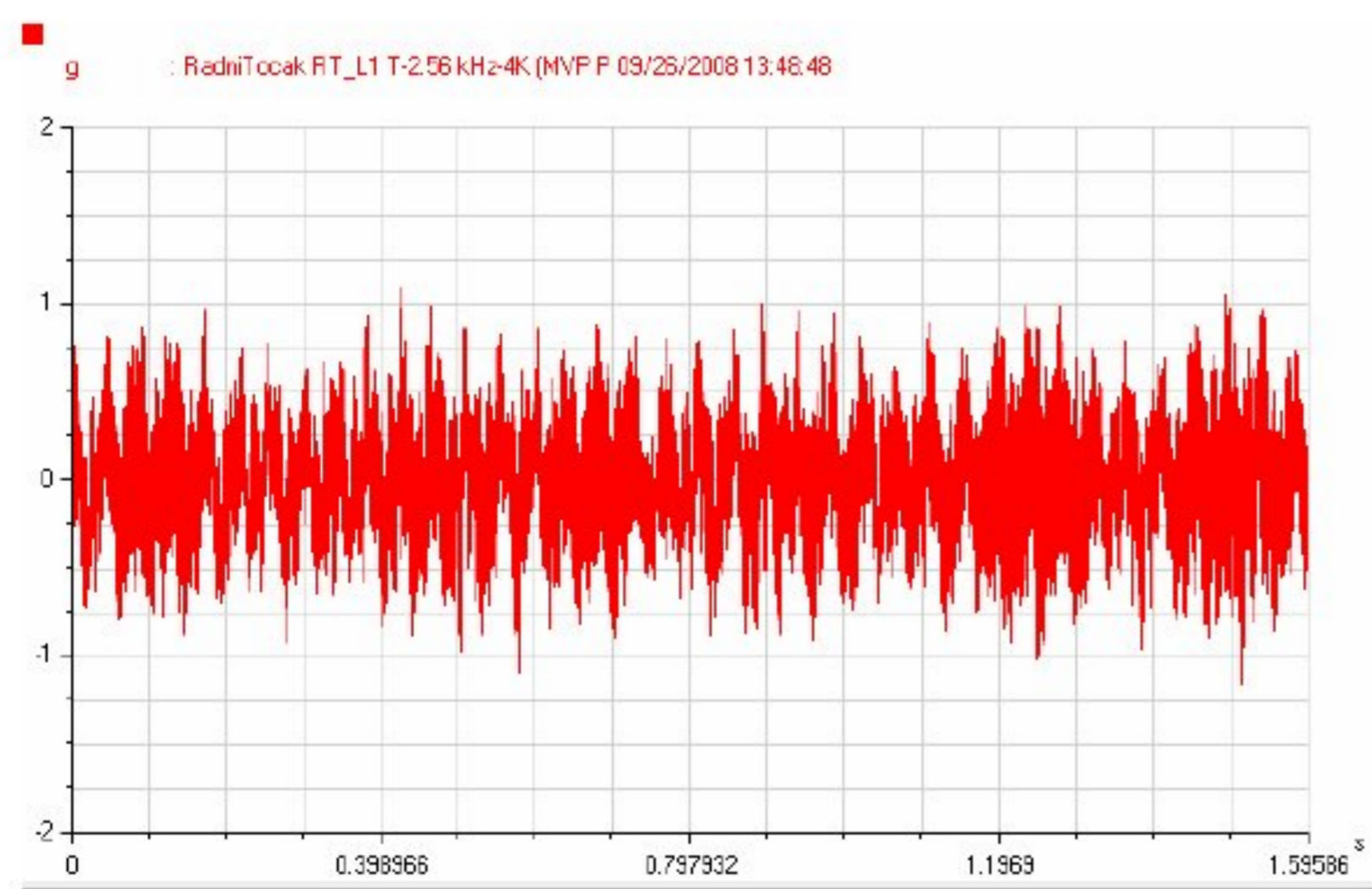
Dates	Op.Cnd.	Operating condition	Rot Spd	Logic							
26/09/2008 14:30:48	RT		23.5	On							
26/09/2008 14:27:48	RT										
26/09/2008 14:24:50	RT										
26/09/2008 14:21:49	RT										
26/09/2008 14:18:48	RT										
26/09/2008 14:15:48	RT										
26/09/2008 14:12:48	RT										
26/09/2008 14:09:50	RT										
26/09/2008 14:06:48	RT										

	RT_L3	RT_L5	RT_L1	TR_L5	TR_L4	TR_L3	TR_L2	TR_L1	Inklinom
PSS									
Ovr: Vibration velo	6.95	4.01	9.78	2.17	3.54	3.60	3.87	?	
Ovr: Acceleration	0.625	0.897	0.433	0.195	0.196	0.407	0.453	?	
Kurtosis MVX	2.96	2.94	3.16	3.09	3.10	2.94	3.31	?	
Ovr: Bearing defec	0.832	2.66	3.91	2.33	4.11	6.59	3.33	?	
Ovr: Other									-13.6

Slika 8 - Alarmantni nivoi vibracija na ležajevima pogona RT, ležaj br. 3 pogona transportne trake oštećen. Zapis od 26/09/2008 13:48:48



Slika 9 - Frekventni spektar sa L1 pogona radnog točka



Slika 10 - Vremenski zapis sa L1 pogona radnog točka koji odgovara gornjem frekventnom spektru

Detaljna analiza stanja, koja se vrši nakon uočavanja nekog od povišenih nivoa sumarnog parametra, se vrši na bazi analize u vremenskom i frekventnom domenu uz poznavanje tipova ležajeva kao i svih kinematskih karakteristika pogona i pripadajućeg reduktora. Kao primer uzmimo zapis sa pogona radnog točka od 26/09/2008 13:48:48. Snimljeni broj obrtaja je 23.5 Hz tj 1410 RPM. Proračun na bazi kinematskih parametara za zadati broj obrtaja:

Stepen pren.	Part Nr	z1 i z2	i12	RP1 [Hz] Input	RPM 2 [Hz] Output	Gearmesh [Hz]
I						
z1	22740	61	0.88406	23.50	20.78	1433.50
z2	22742	69				
II						
z3	197114	23	0.43396	20.78	9.02	477.83
z4	197114	53				
III						
z5	23454	23	0.2	9.02	1.80	207.36
z6	22744	115				
IV						
z7	22745	35	0.3125	1.80	0.56	63.11
z8	22746	112				
V						
z9	23455	29	0.18354	0.56	0.10	16.34
z10	22747	158				
RADNI TOČAK, N Lopatica			14			
GM RT [Hz]			1.44793657			

Daje karakteristične frekvencije koje se naravno jasno uočavaju u frekventno spektru i predstavljaju osnovu za ocenu stanja ležajeva i zupčastih parova unutar reduktora. Ako se pak pogleda frekventni spektar na L1 zapažaju se sledeće familije karakterističnih frekvencija:

Ch1 – familija osnovnog harmonika. U konkretnom slučaju ukazuje na problem nesaosnosti između pogona i reduktora.

C2 – frekvencija lopatica radnog točka (broj lopatica radnog točka x broj obrtaja radnog točka)

C3 – frekvencija zupčenja poslednjeg zupčastog para. Ukazuje na probleme sa zupčanicima na poslednjem stepenu prenosa

4. ZAKLJUČAK

Primena navedenih metoda omogućava da se napravi kvalitativni skok u održavanju, tako što se u održavanju velikih rudarskih sistema prelazi sa preventivnog na prediktivno i proaktivno održavanje. Naravno, da bi se dobili svi benefiti ovakvog monitoringa, potrebno je i izvršiti prilagođavanje sistema održavanja ovakvom pristupu. Što se tiče opreme, odnosno rotirajućih delova, dopustivost rada pojedinih elemenata sistema do njihovog potpunog iskorišćenja, a pre havarije, a time i izbor i planiranje zaustavnog vremena čine ovu metodu veoma efikasnom. U pogledu noseće čelične konstrukcije ovakvom metodom možemo još tačnije saznati kakav je „život“ konstrukcije i uporediti ga sa teoretskim i računskim vrednostima. Mogućnosti upozorenja, ne samo kad dođe do prelaska dozvoljenog napona, već i kad on u dužem periodu ima visoke vrednosti, omogućava da se izvrši korekcija tehnologije rada bagera ili rekonstrukcija ugroženog sklopa bagera, i tako preduprediti havarijske zastoje.

LITERATURA

- [1] Pilot projekat sistem za prevenciju otkaza i oštećenja na bageru Takraf SRs 1300.24/2,5 (400kw)
 [2] Jovančić, P., Ignjatović, D., Maneski, T., (2007), Behaviour diagnostics of drive units on bucket wheel

excavators, Vodeći nacionalni časopis "Konstruisanje mašina" – "Journal of Mechanical Engineering Design", Vol. 10, No. 1-2007, izdavač ADEKO – Association for Design, Elements and Constructions, University of Novi Sad, faculty of Technical Sciences, str. 33-41, ISSN 1450-5401, UDK 62-1/8

- [3] Jovančić, P., Tanasijević, M., (2006), Diagnostic model of behavior on the gear-box of the bucket wheel excavator, Proceedings II International conference "Power transmissions 2006", Balkan Association for Power Transmissions, Faculty of Technical Sciences Novi Sad, Serbia, str. 239-244, ISBN 86-85211-78-6
 [4] Ignjatović, D., Jovančić, P., Maneski, T., (2006), Diagnostics of behaviour of drive units on mining machines, Mine planning and equipment selection MPES 2006, vol.1, Torino, Italy, str. 107-112, ISBN 88-901342-4-0
 [5] Jovančić, P., (2007), Dijagnostika ponašanja pogonskih grupa na rudarskim mašinama, Naučno-stručni časopis IIPP – Istraživanja i projektovanja za privredu, godina V, broj 16/2007, str. 27-32, ISSN 1451-4117, UDC 33, COBISS.SR-ID 108368396
 [6] Studija "Produžetak radnog veka osnovne opreme na površinskim kopovima uglja EPS-a – I faza Rotorni bageri", RGF Beograd, 2004.
 [7] Jovančić, P., (2007), Doktorska disertacija "Dijagnostika ponašanja pogonskih grupa na rotornom bageru u cilju njihove revitalizacije", RGF Beograd
 [8] Realizovani i izvedeni projekti Rudarsko-geološkog fakulteta iz Beograda, Katedre za mehanizaciju rudnika, za kompaniju PD "TE-KO Kostolac", PK "Drmno", period realizacija 2002-2007.
 [9] Daničić, D., (2004), Magistarski rad „Metodologija ispitivanja konstrukcije bagera u cilju utvrđivanja stanja za njihovu revitalizaciju“
 [10] Projekat u okviru tehnološkog razvoja Ministarstva za nauku Republike Srbije – "Unapređenje organizacije održavanja na površinskim kopovima Elektroprivrede Srbije uvođenjem proaktivnog sistema nadzora" (period realizacije 2008-2011), rukovodilac projekta prof. dr Dragan Ignjatović, realizatori istraživanja Rudarsko-geološki fakultet iz Beograda, Elektrotehnički fakultet iz Beograda i Mašinski fakultet iz Beograda

SUMMARY

IMPROVEMENT OF BUCKET WHEEL EXCAVATOR MAINTENANCE BY ON-LINE AND OFF-LINE METHOD OF CONDITION AND BEHAVIOUR DIAGNOSTICS

Diagnostics of condition and behaviour is of crucial importance regarding proper decision on operation and maintenance of bucket wheel excavator, including all of its components (from steel structure to engines-drives). In order preserve or improve performances within certain time interval bucket wheel excavator must be subjected to revitalization processes which are based on various methods of diagnostics examination. Some of these methods are presented in this paper. Several projects are completed on topic of reconstruction and revitalization of bucket wheel excavators, both on Kostolac and Kolubara open pits. Only few of these projects are presented, ones which achieved improved or at least preserved performances of the excavators, regarding their higher production rate and time utilization of main mining equipment.

Key words: *diagnostics, bucket wheel excavator, on-line, off-line, revitalization.*