

**PROAKTIVNI SISTEM NADZORA OSNOVNE RUDARSKE OPREME NA
POVRŠINSKIM KOPOVIMA**
**PROACTIVE MONITORING SYSTEM FOR MAIN MINING MECHANIZATION AT
OPEN CAST MINES**

Originalni naučni rad / Original scientific paper
UDK /UDC: 622.2-7 622.6-7
Rad primljen / Paper received: 16.04.2010

Adresa autora / Author's address:
University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology
e-mail: pjovancic@rgf.bg.ac.rs

Ključne reči

- osnovna rudarska oprema
- proaktivni sistem nadzora
- dijagnostičke metode

Izvod

Uvođenje proaktivnog sistema nadzora osnovne rudarske opreme na površinskim kopovima Elektroprivrede Srbije u cilju što kvalitetnijeg upravljanja opremom ali i održavanjem, je postala neminovnost. Time bi se podigla efikasnost rada svih sistema na površinskom kopu, ostvarivali bi se zadati bilansi sa aspekta vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja opreme i proizvodnje, ali i smanjenje ukupnih troškova površinskog kopa. Monitoring sistem kao eksponent on-line praćenja stanja i ponašanja, treba definisati preko kontrolnog centra, koji bi predstavljao sistem za praćenje, ažuriranje, dojavu i analizu izmerenih karakterističnih parametara, kako tehničko-tehnoloških tako i dijagnostičkih. Na osnovu toga donosio bi se krajnji stav o daljim aktivnostima na određenom sklopu rudarske mašine.

UVOD

Osnovna rudarska oprema na površinskim kopovima (BTO sistem, odnosno, bager-transporter-odlagač i BTD sistem, odnosno, bager-transporter-drobilana) vrlo su složeni za održavanje. O tome se može suditi na osnovu samo nekih njihovih karakteristika sa gledišta održavanja. Sistem se sastoji od velikog broja sklopova i elemenata sa različitim potrebama za održavanjem. Redna veza elemenata ovog sistema uslovljava potrebu za velikom pouzdanosću elemenata. Da bi se to postiglo, održavanje svih elemenata bitnih za funkcionisanje sistema mora biti intenzivno, kako bi se pouzdanost sistema držala na potrebnom nivou, /1/. Uslovi rada sistema na površinskim kopovima su vrlo teški, nabavna vrednost sistema je visoka, te se zbog toga teži što većem vremenskom i kapacitetnom iskorišćenju, /2-5/.

Keywords

- main mining equipment
- proactive monitoring system
- diagnostics methods

Abstract

Introduction of proactive monitoring system for main mining equipment at open cast mines of Electric Power Industry of Serbia became necessity, in order to provide better equipment management and maintenance. This would increase operational efficiency of all systems at the open cast mine, enable achievement related to time and capacity utilization of equipment and production, and also reduction of total costs of the open cast. Monitoring system, an exponent of the on-line condition and behaviour monitoring, should be defined by a control centre which includes systems for monitoring, up-dating, notification and analysis of measured typical technical and technological parameters, as well as diagnostics. This would enable decision making on further activities for the specific unit of a mining machine.

INTRODUCTION

Main mining equipment at open cast mines (excavator-belt conveyor-stacker EBS system and excavator-belt conveyor-crusher EBC system) is complex regarding maintenance. This can be evaluated based on some of their characteristics. The system comprises of numerous units and components with different maintenance requirements. Serial connection of this system requires high reliability of components. In order to achieve this, maintenance of each component important for operation must be intensive, to assure the required level of system's reliability, /1/. Operational conditions for systems at open cast mines are difficult, where the value of such systems is high, /2-5/.

Unapređenje organizacije održavanja na površinskim kopovima lignita Elektroprivrede Srbije (EPS) može se ostvariti uvođenjem proaktivnog sistema nadzora bitnih sklopova i elemenata na rudarskim mašinama. To se sprovodi takozvanim *on-lajn* praćenjem karakterističnih parametara, a u nekim slučajevima i *of-lajn* praćenjem, u zavisnosti od važnosti mesta merenja i parametara koji se prate. Znajući da je proaktivno održavanje iskorak napred prediktivnog održavanja, koje je zasnovano na utvrđivanju stanja mašine tokom rada, odnosno, na činjenici da će većina elemenata mašine ispoljiti nekakav tip upozorenja pre otkaza, proaktivno održavanje koristi razne tehnologije u cilju produženja veka rudarskih mašina. Znajući da je starost rotornih bagera na površinskim kopovima EPS preko 25 godina, ovakav sistem nadzora dobija na značaju, /6, 7/.

Istraživanje u svetu, u oblasti održavanja velikih rudarskih sistema kao što su površinski kopovi lignita, su u stalnom angažovanju, saglasno novim tehničko-tehnološkim rešenjima, u prvom redu informacionim tehnologijama. Veliki površinski kopovi lignita Nemačke, Poljske, Mađarske, Bugarske i Grčke u velikoj meri sprovode takozvano plansko-preventivno održavanje, pri čemu teže uvođenju održavanja po stanju, odnosno, proaktivnom održavanju. Svi površinski kopovi u ovim zemljama, na svojim rudarskim mašinama uvode način utvrđivanja stanja mašine tokom rada i koriste razne tehnologije u cilju produženja radnog veka (neki su i uveli ovakve sisteme nadzora kao što su Mibrag, Vattenfal, Rajnbraun). Naša istraživanja su neznatna i tek u nekim pojedinačnim slučajevima pristupa se *of-lajn* praćenju podataka, uglavnom vibracija na pojedinim sklopovima, što je minorno.

PROAKTIVNO ODRŽAVANJE OSNOVNE RUDARSKE OPREME

Uvođenjem proaktivnog sistema nadzora na rudarskim mašinama površinskih kopova EPS vršiće se analiza ponašanja i stanja karakterističnih sklopova i elemenata, sagledanih kroz dobijene parametre pri čemu se donose odluke o produženju radnog veka tih sklopova i elemenata. Dobijeni parametri su osnova za donošenje stava o revitalizaciji, rekonstrukciji ili zameni sklopa ili elementa, ali i kao smernica budućem projektovanju ovih mašina. Parametri koji se najčešće koriste su sledeći: vibracije, naponsko stanje čelične konstrukcije, ultrazvučno ispitivanje, termovizijsko opažanje, struja, napon, kretni moment, temperatura, pritisak. Uvođenje proaktivnog održavanja na površinskim kopovima lignita EPS je, može se slobodno reći, pionirski poduhvat i ima višestruki doprinos: uvođenje novih tehnologija, smanjenje svih vidova zastoja na sistemu, stvaranje novih kadrova za korišćenje visokosofisticirane opreme, smanjeni troškovi eksploatacije i održavanja celog sistema.

Ciljevi ovakvog programa održavanja, u ovom slučaju sa novim, savremenijim tehničko-tehnološkim pristupom, manifestovanim kroz proaktivno održavanje, su sledeći:

1. Eliminacija kvarova mašine, odnosno, iznalaženje uzroka kvara, njegovo predupređivanje i eliminisanje. Česta je situacija da havarijski kvar izaziva značajna prateća oštećenja na mašini, čime se značajno povećavaju troškovi

Improvement of maintenance organisation at open cast mines of the Electric Power Industry of Serbia (EPS) can be achieved by introduction of proactive monitoring system for important units and components on mining machines. This is performed by so-called on-line monitoring of typical parameters, and in some cases off-line monitoring, depending on the importance of the location and parameter to be monitored. Proactive maintenance is a more advanced approach in comparison to predictive maintenance, that is based on machine condition determination in operation. i.e. on the fact that most components have some kind of warning manifestation of immanent failure. Proactive maintenance utilizes various technologies in order to extend operational life of mining machines. Such a monitoring system gains importance since bucket wheel excavators at open cast mines of EPS operate longer than 25 years, /6, 7/.

Research in the field of maintenance of large mining systems as lignite open cast mines, performed worldwide, are constantly engaged, according to new technical and technology solutions, namely by introducing information technologies. Large lignite open cast mines in Germany, Poland, Hungary, Bulgaria and Greece are implementing so-called planned-preventive maintenance to a large extent, seeking to introduce condition maintenance, i.e. proactive maintenance. Each open cast mine in these countries, introduces a method of machine condition determination in operation, utilizing various technologies in order to extend operational machine life (some operators as Mibrag, Vattenfal and Rheinbraun, have already introduced such systems). Our research is inconsiderable, with individual cases of off-line data monitoring, mainly of vibrations at some machine units.

PROACTIVE MAINTENANCE OF MAIN MINING EQUIPMENT

Introduction of proactive monitoring system on mining machines at open cast mines of EPS will enable analysis of behaviour and the condition of units and components, by review of acquired parameters, thus creating a situation for decision making related to the extension of operational life. Acquired parameters are a basis for decision making on revitalization, reconstruction or replacement of a unit or component, and also as a guidance for designing these machines. Most frequently used parameters are: vibrations, steel structure stress condition, ultrasonic examination, thermal-vision detection, amps, voltage, torque, temperature, pressure. Introduction of proactive maintenance at open cast mines of EPS is a pioneering endeavour which provides numerous contributions, such as introduction of new technologies, reduction of standstills, development of new human resources that use highly sophisticated equipment, reduced operational cost and system's maintenance costs.

The goals of such maintenance programme, in this case with the new technical and technology approach, expressed through proactive maintenance, are:

1. Elimination of malfunctions of the machine by detection of malfunction, its prevention and elimination. Common case is that major malfunction causes considerable subsequent damage on the machine, thus increasing repair costs.

popravke. Nažalost, trenutno potpuna eliminacija kvarova nije moguća u praksi. Međutim, ovom cilju se može približiti sistematičnim pristupom u održavanju, odnosno uvođenjem proaktivnog održavanja.

2. Ostvarivanje mogućnosti predviđanja i tačnog planiranja potreba za održavanjem. Ovo uključuje minimiziranje inventara rezervnih delova i značajno umanjene prekovremenog rada.
3. Povećanje pogonske spremnosti mašine, tako što bi se značajno umanjila šansa pojave otkaza tokom rada, kao i održavanje operativnog kapaciteta sistema preko smanjenja perioda zastoja kritičnih sklopova i elemenata.
4. Obezbeđivanje predvidljivog i razumnog radnog vremena za osoblje angažovano na održavanju.

Okosnicu ovog pristupa čini proaktivno održavanje, koje predstavlja poslednju inovaciju u oblasti prediktivnog održavanja (održavanja po stanju). Ovaj vid održavanja primenjuje razne tehnologije u cilju produženja veka mašina i radi praktične eliminacije reaktivnog održavanja, /8/.

Osnovni deo proaktivnog programa je analiza osnovnog uzroka kvara, odnosno, utvrđivanje mehanizama i uzroka pojave kvara na mašini. Fundamentalni uzroci pojave otkaza na mašinama se na ovaj način mogu otkloniti, a mehanizmi otkaza se postepeno mogu inženjerskim pristupom eliminisati sa svake mašinske instalacije.

Uspesjan proaktivni program održavanja bi postepeno, tokom vremena, projektno-inženjerskim zahvatima otklonio problem koji ima mašina, a što bi za posledicu imalo značajno produžen vek mašine, skraćen period zastoja i povećan proizvodni kapacitet. Jedna od najboljih osobina proaktivnog pristupa je da su njegove tehnike nadograđuju na tehnike koje se koriste u prediktivnom programu, tako da se lako mogu dodati u postojeće programe. Danas je već očigledna neophodnost za izbalansiranim pristupom održavanju, uključujući odgovarajuće metode preventivnog, prediktivnog i proaktivnog održavanja, pri čemu ovi elementi nisu nezavisni, već treba da budu integralni deo jedinstvenog programa održavanja.

PRIMERI GLAVNIH METODA PREDIKTIVNOG I PROAKTIVNOG ODRŽAVANJA

Uvođenjem novog proaktivnog sistema nadzora na bitnim sklopovima i elementima rudarskih mašina površinskih kopova EPS, smanjuje se maksimalno negativan subjektivni uticaj pri analizi produžetka radnog veka. Uvođenjem *on-lajn* praćenja i utvrđivanjem dinamičkog trenda različitih parametara radi definisanja stanja i ponašanja sklopova i elemenata, može se doći, ne samo do signaliziranja i upozorenja pre otkaza, već i do produženja veka trajanja datog sklopa, odnosno, elementa.

Lomovi vratila i ležajeva, odnosno uležištenja, prouzrokuju havarije reduktora i elektromotora, najčešće na pogonima transportera na bagerima, odlagačima i tračnim transporterima tokom godine. I na pogonu radnog točka, pogotovo na ulaznom paru, dolazi do sličnih problema. Troškovi se ne manifestuju samo preko ovih elemenata nego i preko uslovljenih zastoja celog sistema, zbog postojanja redne veze u sistemu. Ipak, tehnološka uslovljenost je najbitnija: malo ili nedovoljno vremensko i kapacitetno iskorišćenje

Unfortunately, at the moment it is not possible to completely eliminate malfunctions. However, systematic maintenance with introduction of proactive maintenance means approaching to this goal.

2. Achievement of possibility for prediction and accurate maintenance planning. This includes minimisation of spare parts stock, with considerable reduction of overtime work hours.
3. Increase of machines' operational readiness, by reduced malfunction occurrence during operation, as well as preserving system's operational capacity by reducing stoppage periods at crucial units and components.
4. Providing predictive and acceptable working hours for staff engaged on maintenance.

Cadre of this approach is proactive maintenance, latest innovation in the field of predictive maintenance (maintenance according to state). This approach to maintenance utilizes various technologies in order to achieve extension of operational life and elimination of reactive maintenance, /8/.

The basic component of the proactive programme is analysis of the basic cause of malfunction, or determination of malfunction mechanism. This approach enables renouncing of fundamental causes of malfunctions, while malfunction mechanisms at each unit or component can be gradually eliminated by engineering undertaking.

The successful proactive maintenance programme would gradually eliminate existing problems at the machine, by implementing design and engineering undertakings, resulting in considerable extension of operational life, reduced down times and increased production capacity. One of the best properties of the proactive approach is a possibility of upgrading existing techniques implemented in predictive programme, meaning that it can be easily added into existing programmes. Necessity for balanced approach to maintenance is obvious, including proper methods of preventive, predictive and proactive maintenance, where these elements are not independent, but integral parts of one maintenance programme.

EXAMPLES OF PREDICTIVE AND PROACTIVE MAINTENANCE PRIMARY METHODS

Introduction of the new proactive monitoring system for important units and components of mining machines at open cast mines of EPS will minimize subjective influence during operational life extension analysis. Introduction of on-line monitoring and determination of dynamic trends of various parameters, for definition of condition and behaviour of units and components, will enable warnings before malfunction occurs and also life extension for monitored unit or component.

Failures of shafts and bearings are casing failures of gear-reduction units and electric motors, most commonly at belt conveyor drives on excavators, stackers etc. Similar problems are occurring at bucket wheel drives, particularly at the input pair. Costs are not only manifested by these components, but also by caused stoppages of the whole system, due to serial connection of the system. However, technological influence is most important: short or insufficient time and capacity utilization of the system working on

sistema na proizvodnji otkrivke i uglja dovodi do povećanja cene jedinice proizvoda. Ovakvi troškovi su milionski, a njima treba dodati i zauzimanje skladišnog prostora i na taj način zarobljavanje kapitala. Lomovi i prsline čelične konstrukcije imaju još snažniji uticaj na formiranje veka trajanja, jer od stanja čelične konstrukcije zavisi eksploatacioni vek rudarske mašine. Na primer, samo *on-lajn* praćenjem vibracija na karakterističnim tačkama pogonskih grupa može se predupređiti pojava neželjenih posledica, a u nekim slučajevima dovoljno je i *of-lajn* praćenje vibracija. Mernim trakama na karakterističnim mestima čelične konstrukcije može se meriti naponsko stanje pri različitim stacionarnim i nestacionarnim režimima rada rudarske mašine, radi dijagnostikovanja stanja i ponašanja konstrukcije, ali i analize produženja radnog veka. U narednom tekstu data su pojedina merenja određenih parametara izvedena mobilnim uređajima – takozvano *of-lajn* praćenje parametara.

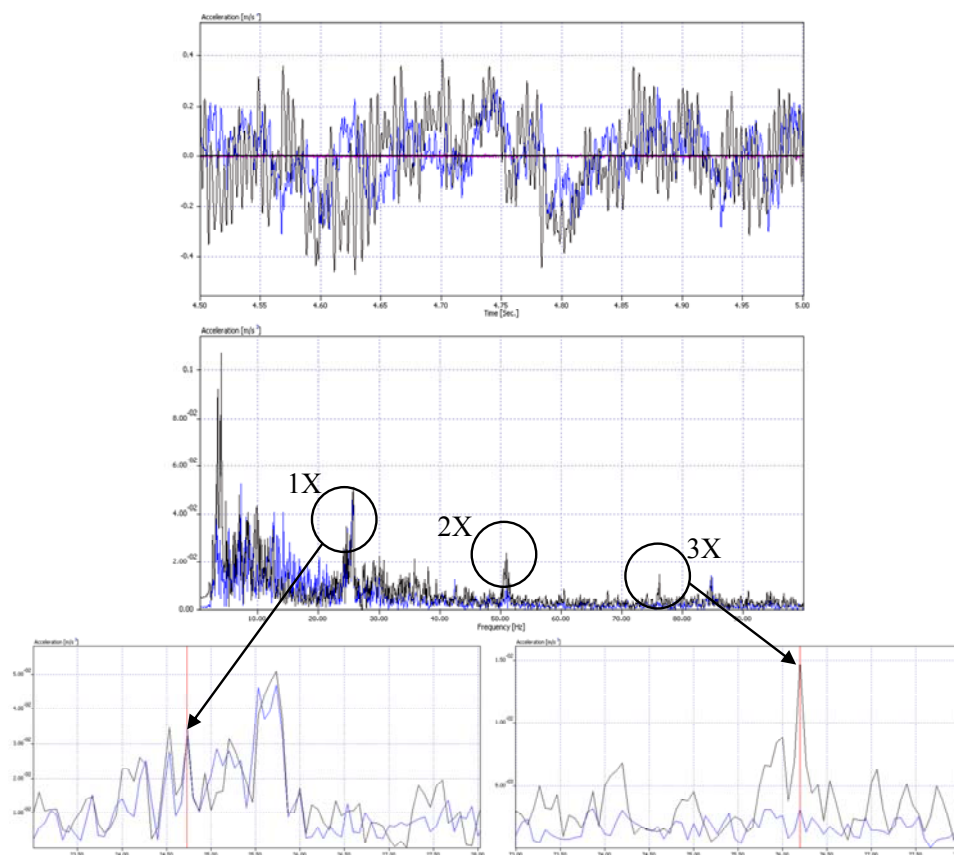
Merenje vibracija na karakterističnim mestima

Na sl. 1 dati su signali u vremenskom i frekventnom domenu merenja na karakterističnom mestu ulaznog vratila reduktora pogona radnog točka bagera SRs1300.26/5 na površinskom kopu „Polje D“. Karakteristično mesto merenja vibracija ulaznog vratila, odnosno, dobijanje signala koji će pokazati stvarno stanje ulaznog vratila je na kućištu (glavčini) ulaznog vratila.

overburden or lignite excavation leads to an increase of production costs of the final product. Such costs can be measured in millions, and these should be increased by capital captured in spare parts in warehouses. Failures and cracks at the steel structure have even a larger impact on operational life, since the steel structure condition has direct impact on operational life of the mining machine. For example, only on-line monitoring of vibrations at typical spots of drive units can prevent occurrences of unfavourable consequences. In some cases off-line monitoring of vibrations is sufficient. Strain gauges positioned on typical spots of steel structure can provide stress condition during various stationary and non-stationary operational regimes of mining machine, in order to determine condition and behaviour of the structure, and also to perform analysis of operational life extension. Measurements of some parameters, performed with mobile instruments – so-called off-line parameter monitoring, are presented below.

Vibration measurements on typical locations

Signals in time and frequency domains measured on typical locations of input shaft at bucket wheel drive unit on excavator SRs 1300.26/5 which operates on open cast mine Field D – Kolubara, are shown in Fig. 1. Typical location for vibration measurement on input shaft i.e. provision of signal which will show actual condition of the shaft is on the housing of the input shaft.



Slika 1. Vremenski i frekventni signal ubrzanja mernog mesta uležištenja ulaznog vratila reduktora pogona radnog točka bagera SRs1300.26/5 sa izdvojenim frekventnim signalom ubrzanja na 24,7 Hz i 76,2 Hz

Figure 1. Time and frequency signal of acceleration at the housing of the input shaft of bucket wheel drive on excavator SRs1300.26/5, with selected acceleration signals at 24.7 Hz and 76.2 Hz.

Izdvojena su dva signala koja karakterišu ulazno vratilo reduktora pogona radnog točka bagera SRs1300.26/5 na PK „Polje D“. Izdvojen signal na 24,7 Hz je signal obrtanja vratila na 1482 min^{-1} (stvarna vrednost), a signal na 76,2 Hz je prva sopstvena frekvencija ovog vratila rotora (stvarna vrednost) koja je bliska pretpostavci da je frekvencija ulaznog vratila sa masom spojnice od 400 kg. Bez obzira na stvarnu, preciznu masu spojnice na strani ulaznog vratila, postavljanje težeg dela spojnice znatno je povoljnije izvesti na strani elektromotora. Treći harmonik pobude, odnosno, brzine obrtanja vratila je u stvari sopstvena frekvencija vratila za date uslove.

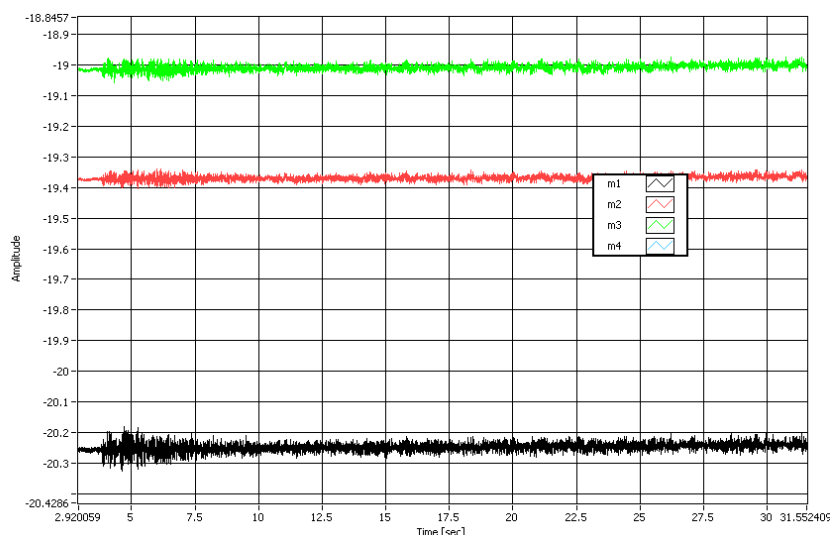
Merenje naponskog stanja i ubrzanja na čeličnoj konstrukciji

Merenje je obavljeno pri procesu kopanja uglja bagera SchRs630 na površinskom kopu „Tamnava Zapadno polje“, gde su dobijeni signali u zavisnosti od tehnološke uslovljenosti rada bagera. Na sl. 2, 3 i 4 dati su dijagrami priraštaja sile (napona) za tri definisana merna mesta na uški lamele strele radnog točka, kao i ubrzanje u vremenskom i frekventnom domenu za visinu reza od $h = 5,3 \text{ m}$, pri procesu kopanja u levu stranu i pri nastupu od 40 cm.

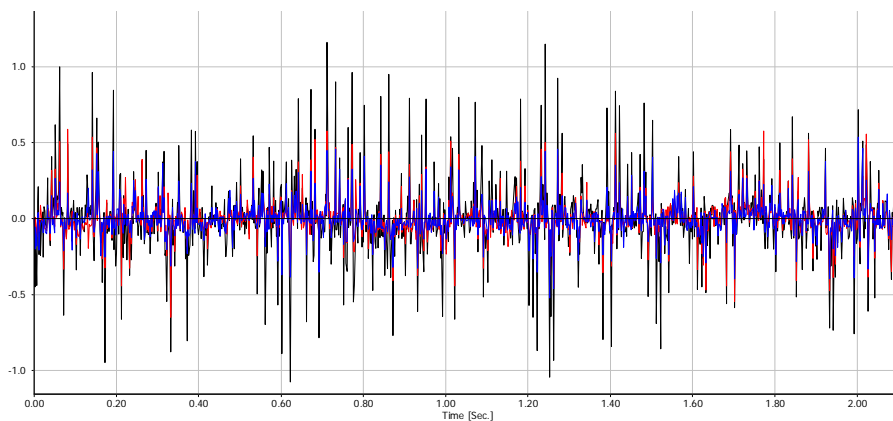
Two signals are selected that characterize input shaft of the gear reduction on the bucket wheel drive on excavator SRs 1300.26/5, which operates at open cast mine Field D. The signal at 24.7 Hz is from shaft revolutions at 1482 min^{-1} (actual value). While the signal at 76.2 Hz is the first eigen frequency of this shaft (actual value), which is close to the assumption that frequency of the input shaft, with coupling mass of 400 kg. Regardless to exact mass of the coupling on the shaft side, it is much more favourable to position heavier part of the coupling on the side of electric motor. The third initialization harmonic, i.e. rotating speed of shaft is actually the shaft eigen frequency for given conditions.

Measurements of stress conditions and accelerations on steel structure

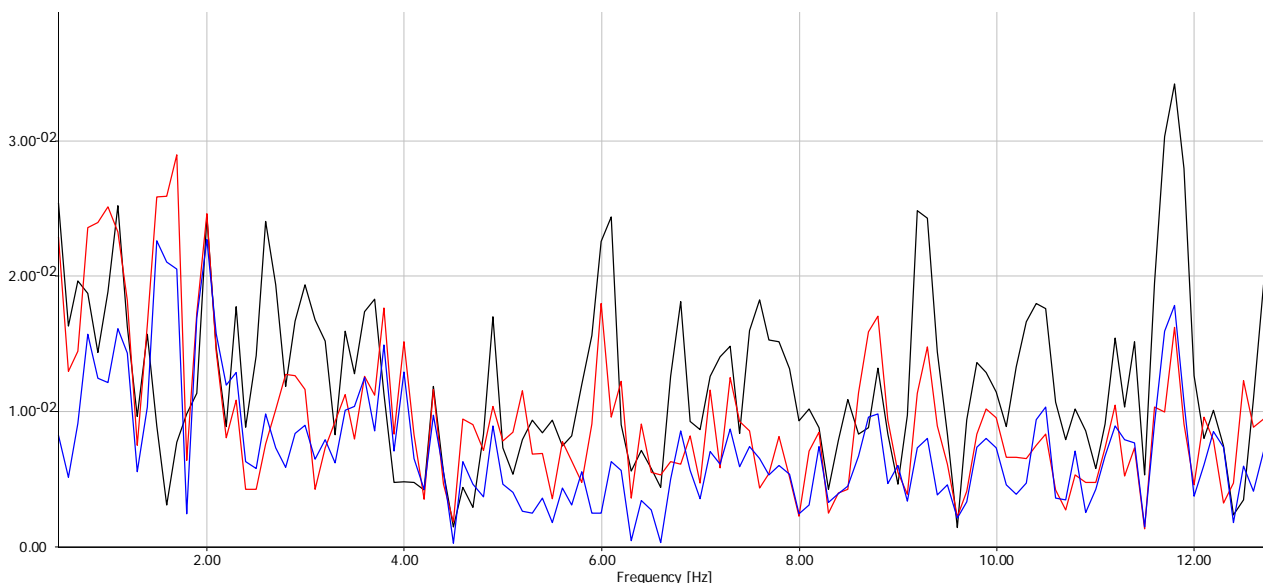
This measurement is performed on excavator SchRs 630 during coal excavation at open cast mine Tamnava-West Field, where acquired signals are dispersed in relation to technological operations of the excavator. Force (stress) increment diagrams for three defined measuring locations at lamellae lugs of bucket wheel beam are given on Figs. 2, 3 and 4, as well as acceleration in time and frequency domains, for cutting height of $h = 5.3 \text{ m}$, during excavation to the left side and accession steps of 40 cm.



Slika 2. Signali napona za visinu reza $h = 5,3 \text{ m}$, pri rezu 1L (u levo) i nastupu od 40 cm
Figure 2. Stress signals for cutting height of $h = 5.3 \text{ m}$, during excavation to the left and accession step of 40 cm.



Slika 3. Ubrzanje u vremenskom domenu za visinu reza $h = 5,3 \text{ m}$, pri rezu 1L (u levo) i nastupu od 40 cm
Figure 3. Acceleration in time and frequency domain, for same parameters as above (see Fig. 2).



Slika 4. Ubrzanje u frekventnom domenu za visinu reza $h = 5,3$ m, pri rezu 1L (u levo) i nastupu od 40 cm
Figure 4. Acceleration in frequency domain, for same parameters as above (see Fig. 3).

Priraštaj napona na uški lamele strele radnog točka iznosi maksimalno $50\text{--}55\text{ N/mm}^2$ u početku procesa kopanja (povećane vrednosti), a kasnije u proseku $15\text{--}25\text{ N/mm}^2$ (maksimalno). Znajući da je bager imao adekvatnu visinu bloka od 5,3 m i nastup od 40 cm, za maksimalni radni učinak, to se može zaključiti da je priraštaj napona zadovoljavajući i u granicama dozvoljenog.

Ubrzanje u vremenskom domenu se kreće do 1 g, što je zadovoljavajuće za poznate početne uslove. Karakteristične su niske frekvence do 10 Hz za analizu noseće čelične konstrukcije. Znajući da je broj istresaja 162 min^{-1} , odnosno, frekvencija kopanja od 2,7 Hz je izražena ali nije dominantna, ustvari, ima malu amplitudu. Bager je kopao visinski blok od 5,3 m, te uticaj frekvencije na naponsko stanje u čeličnoj konstrukciji nije dominantan. Amplituda karakterističnih frekvencija ubrzanja se kreće do vrednosti $0,03\text{ m/s}^2$.

Termovizijsko opažanje karakterističnih sklopova

Termografija treba da bude jedan od alata za inspekciju i kontrolu (dijagnostiku stanja i ponašanja) svih rotirajućih elemenata koji prenose obrtni moment – emituju toplotu prilikom obavljanja svoje osnovne funkcije, /9/. Termografska ispitivanja se mogu tretirati i kao tehnička ispomoć ostalim metodama dijagnostike (pogotovo vibracijama i kontrolama bez razaranja), radi postizanja većeg efekta.

Navedeni primeri na sl. 5 govore izuzetno mnogo o primeni termovizijskog opažanja i definisanju eventualnog problema koji treba rešiti i pronaći pravi uzrok povećanja emitovanja toplote. Termografski prikazi su sa određenih sklopova mašina površinskog kopa „Drmno“.

ZAKLJUČAK

Uvođenje proaktivnog sistema nadzora na rudarskim mašinama i rudarskoj opremi površinskih kopova EPS, u današnjim uslovima je imperativ. Sklopovi kao što su pogoni radnog točka, odnosno, radnog elementa, pogoni transportera na bagerima, odlagačima, tračnim transporterima, pogoni okreta gornje gradnje, pogoni dizanja i spuštanja katarki,

Maximal stress increment at lamellae lugs of bucket wheel beam is $50\text{--}55\text{ N/mm}^2$, at the start of the excavation process (increased values), while subsequent average value is $15\text{--}25\text{ N/mm}^2$ (maximum). Knowing the excavator's adequate block height of 5.3 m and accession step of 40 cm, in order to achieve maximum performance, it can be concluded that the stress increment is satisfactory and within allowed limits.

Acceleration in time domain is up to 1 g, which is satisfactory for known starting conditions. Low frequencies up to 10 Hz are typical for analysis of load bearing steel structure. Knowing the number of bucket discharge as 162 min^{-1} , i.e. digging frequency of 2.7 Hz is pronounced but not dominant, in fact with small amplitude. The excavator operated in block 5.3 m high, therefore the frequency impact on stress condition of the steel structure is not dominant. Amplitude of typical acceleration frequencies is around 0.03 m/s^2 .

Thermal-vision monitoring of typical units

Thermal-vision should be one of the tools for inspection and control (condition and behaviour diagnostics) of all rotating components i.e. components for torque transmission – which emits heat during regular operation, /9/. Thermal-vision examination can be considered as a technical aid to other diagnostics methods (particularly to vibrations and non-destructive tests), in order to achieve larger effect.

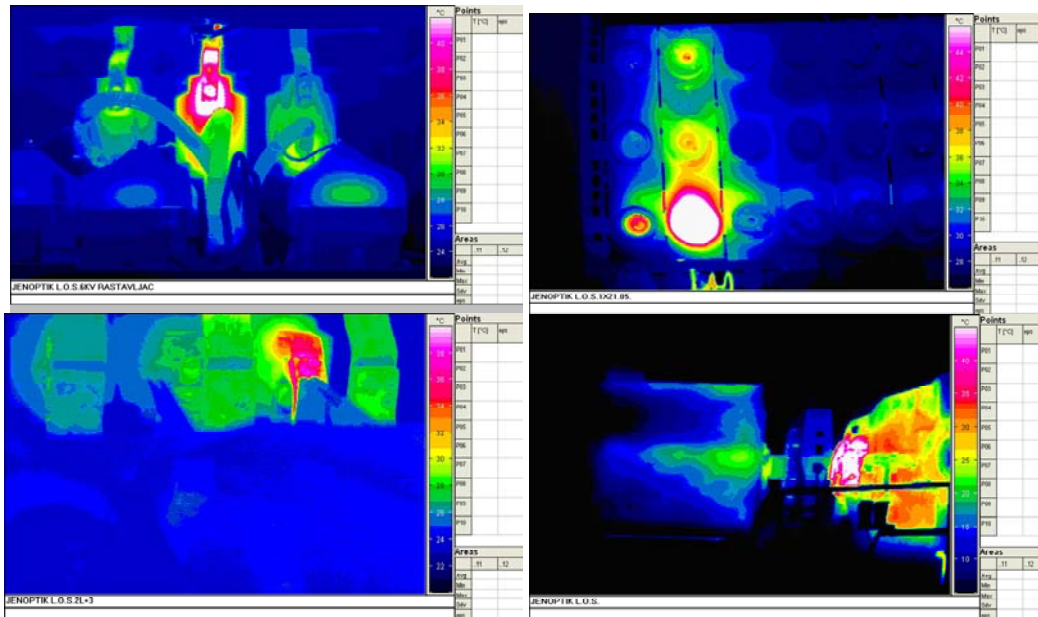
Examples in Fig. 5 are showing the capabilities of thermal-vision detection and localizing of possible problems to be remedied, including identification of real cause of heat emission. Examples shown in Fig. 5 are taken at open cast mine “Drmno”.

CONCLUSION

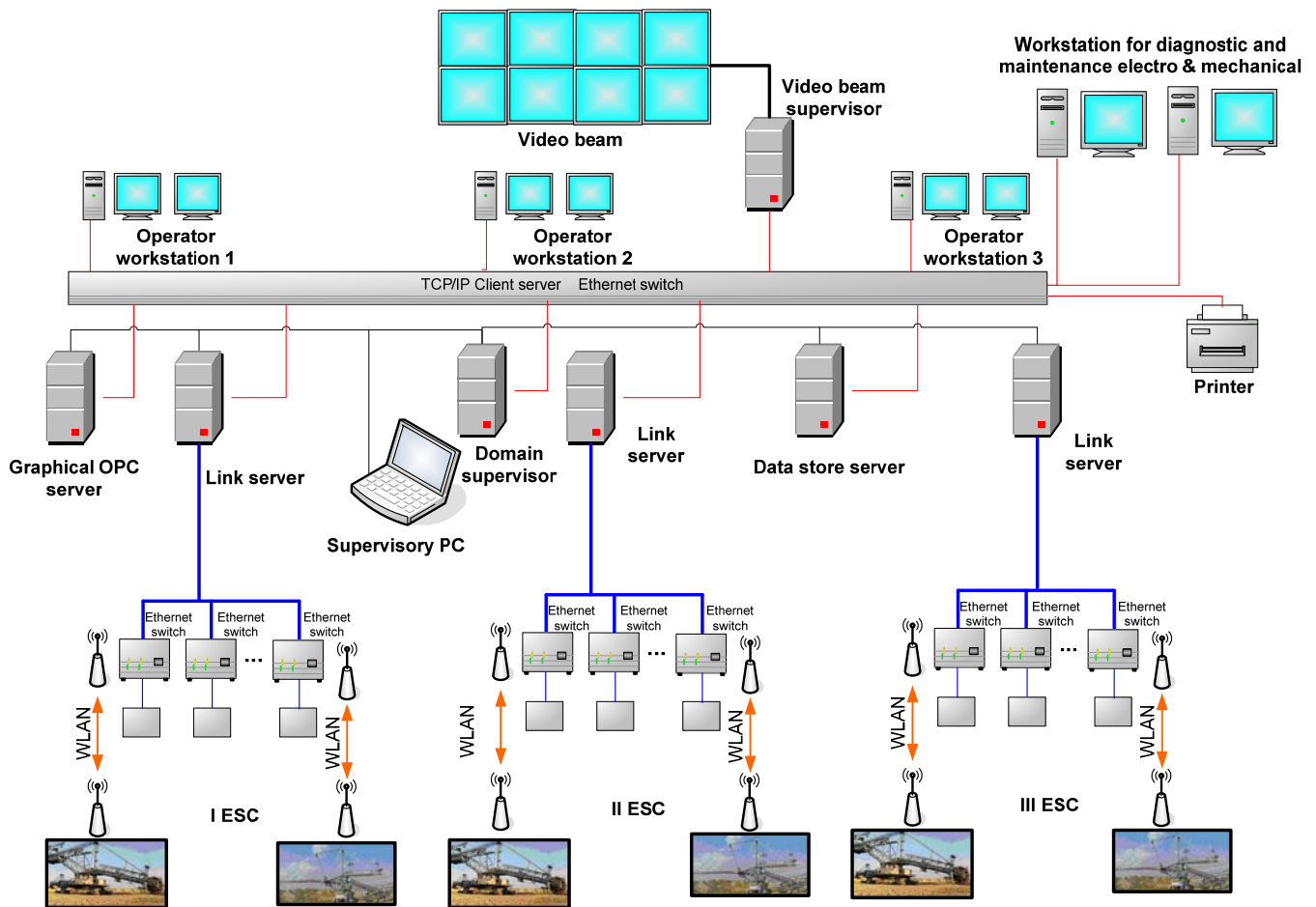
Introduction of proactive monitoring system on mining machines and mining equipment at open cast mines of EPS is an imperative in present condition. Units, such as bucket wheel drives, conveyor drives on excavators, stackers and belt conveyors, super-structure turning drives, drives for lowering-lifting the beam, caterpillar drives, typical loca

pogoni guseničnog transporta, karakteristična mesta čelične konstrukcije, kompletna elektro struktura (napajanje, razvod, upravljanje, signalizacija), neminovno moraju da se isprate u smislu proaktivnog sistema nadzora, /10, 11/.

tions on the steel structure, whole electric installation, inevitably have to be monitored by the proactive monitoring system, /10, 11/.



Slika 5. Transformator – pregrejan rastavljač 6 kV; pregrejan osigurač 380 V; šinski voltini razvoj; pregrejan ležaj ulaznog para reduktora
 Figure 5. Transformer – over-heated detacher 6 kV, over-heated fuse 380 V; rail track circuit setup; over-heated bearing of gear reduction input pair.



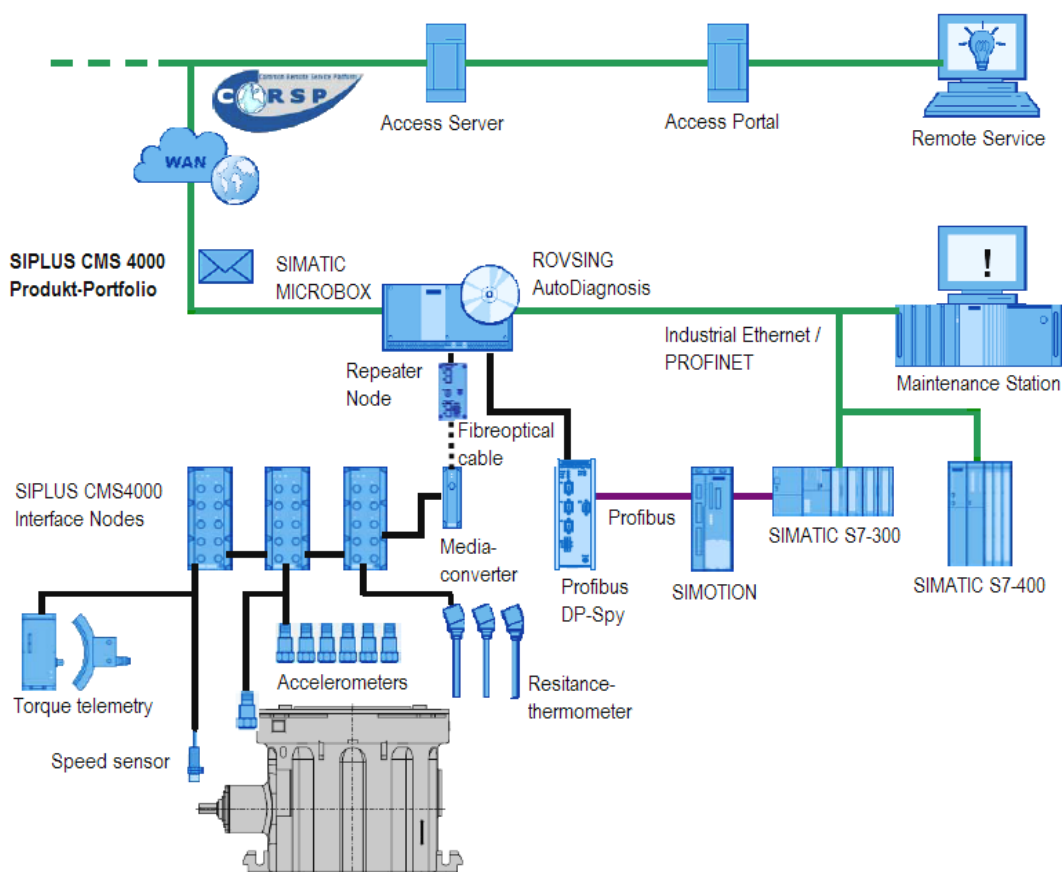
Slika 6. Principijelna shema kontrolnog centra – globalni sistem
 Figure 6. Principal scheme of control centre – global system.

Kontrolni centar bi bio osnova za uvođenje održavanja po stanju, odnosno, *on-lajn* praćenje tehničkog sistema (sl. 6). Naravno, uvođenje ovakvog sistema održavanja zahteva određene preduslove, postojanje jedinstvenog informacionog sistema sa dijagnostikom stanja elemenata mašina.

Na sl. 7 prikazan je primer konfiguracije monitoringa stanja jednog reduktora, koji je definisan od strane kompanije Flender iz Nemačke.

The control centre would be the base for introducing condition maintenance, i.e. on-line monitoring of technical system (Fig. 6). Introduction of such a maintenance system requires certain preconditions, such as existence of a complete information system with condition diagnostics for machine components.

Example of a gear reduction condition monitoring configuration is shown in Fig. 7, defined by Flender company from Germany.



Slika 7. Konfiguracija monitoringa stanja reduktora
Figure 7. Gear reduction condition monitoring configuration.

Povratak investicije na ovakvim sistemima je sigurno izvestan, jer su troškovi eksploatacije postojećih sistema veoma visoki i zato što ovi sistemi imaju velikih problema u eksploataciji. Na osnovu Studije „Izbor optimalnog sistema održavanja u JPPK Kostolac“, koju je uradio Rudarsko-geološki fakultet iz Beograda, predviđeno je i uvođenje proaktivnog sistema nadzora u okviru održavanja kopova. Analiza po modelu *Benefit–Cost* pokazuje da uvođenje novog sistema održavanja, konkretno na PK „Drmno“, ima ekonomsku opravdanost, a na osnovu pokazatelja diskontovanih troškova za period rada kopa od 27 godina. Proračun je pokazao da se ukupni troškovi kopa za vek rada od 27 godina smanjuju za 6%, što je dovoljan argument za implementaciju ovog rešenja, odnosno, ovakvog načina održavanja, /1, 6, 7/.

Uvođenjem proaktivnog sistema nadzora pri unapređenju organizacije održavanja na površinskim kopovima EPS, mogu se očekivati sledeći ključni rezultati:

- uvođenje novih tehnologija,
- smanjenje svih vidova zastoja na sistemu,

Investment return for such system is certain since operational costs of existing systems are very high and since these systems are having significant problems in operation. Case study “Selection of optimal maintenance system for JPPK Kostolac”, developed by the Faculty of Mining and Geology from Belgrade, foresees introduction of proactive monitoring system into the open cast mine maintenance programme. Cost-benefit analysis showed that introduction of the new maintenance system, particularly at Drmno open cast mine, is economically viable, and based on an operational period of 27 years with discounted costs. Calculation showed that total costs at the open cast mine, during period of 27 years, would be reduced by 6%, which is a sufficient argument for implementing this solution, i.e. the maintenance approach, /1, 6, 7/.

Introduction of a proactive monitoring system at the open cast mines of EPS, for improvement of maintenance organisation can provide following crucial results:

- introduction of new technologies,

- stvaranje novih kadrova za korišćenje visoko-sofisticirane opreme,
- smanjeni troškovi eksploatacije i održavanja celog sistema,
- eliminacija kvarova mašine, odnosno, iznalaženje uzroka kvara, njegovo predupređivanje i eliminisanje,
- ostvarivanje mogućnosti predviđanja i tačnog planiranja potreba za održavanjem,
- povećanje pogonske spremnosti mašine,
- održavanje operativnog kapaciteta sistema preko smanjenja perioda zastoja kritičnih sklopova i elemenata,
- obezbeđivanje predvidivog i razumnog radnog vremena za osoblje angažovano na održavanju.

Značaj se može sagledati sa više aspekata. Osnovni aspekt je uvođenje proaktivnog sistema nadzora nad procesom rada i održavanja sa automatizacijom sistema transporta materijala. Definisane trenutnog stanja i ponašanja kao i utvrđivanje dinamičkog trenda pojedinih parametara rada sklopova i elemenata nameće eventualne revitalizacione postupke i modernizaciju sistema. Na osnovu *on-lajn* i *off-lajn* praćenja karakterističnih parametara na rudarskim mašinama, može se izvršiti detaljna dijagnostika ponašanja i proračun sistema kako bi se utvrdila slaba mesta na njima. Na taj način povećava im se vek eksploatacije ali i pogodnost za održavanje, što može imati velike ekonomske efekte. Ovim predmetnim istraživanjem stvaraju se preduslovi za izmenu zastarelih standarda za proračun i izbor sklopova i elemenata rudarskih mašina, kao i da se daju novi pravci pri budućem projektovanju sve zahtevnijih rudarskih mašina, sa tehničko-tehnološkog aspekta.

- reduction of all stoppages at the system,
- development of human resources for application of highly sophisticated equipment,
- reduced operational costs and maintenance costs of whole system,
- elimination of malfunctions at the machines i.e. finding the cause of malfunction, its prevention and elimination,
- achievement of prediction capability and accurate planning of maintenance requirements,
- increase of operational readiness of the machine,
- preserving operational capacity of the system by reducing stoppage periods of critical units and components,
- providing predictable and acceptable working hours for staff engaged on maintenance.

Importance can be viewed from several aspects. The basic one is an introduction of a proactive system for work and maintenance process with automated material haulage system. Determination of current condition and behaviour, as well as determination of dynamical trends of some operational parameters of units and components, impose possible revitalization activities and system modernization. Based on the on-line and off-line monitoring of typical parameters on mining machines, detailed diagnostics of the behaviour and system calculation can be completed, so in order to locate weak spots. This approach increases operational life of the machine, but also the serviceability, which can lead to considerable economical effects. This research creates precondition for replacing out-dated standards for calculation and selection of units and components of mining machines. Also, the research provides guidelines for designing mining machines, according to ever increasing demands from technical and technological aspects.

LITERATURA – REFERENCES

1. Ignjatović, D., Jovančić, P., Studija Produžetak radnog veka osnovne opreme na površinskim kopovima uglja EPS-a – I faza Rotorni bageri, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu (2004). (Extension of operational life of main mining equipment at EPS's open cast mines – Phase I Bucket wheel excavators, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology)
2. Ignjatović, D., Jovančić, P., Studija Izbor optimalnog sistema održavanja u JPPK Kostolac, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu (2006). (Case study Selection of optimal maintenance system at JPPK Kostolac, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology)
3. Ivković, S., Ignjatović, D., Jovančić, P., Tanasijević, M., Monografija – Projektovanje održavanja opreme na površinskim kopovima lignita, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu (2008). (Monograph Equipment maintenance design at lignite open cast mines, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology)
4. Maneski, T., Ignjatović, D., *Dijagnostika čvrstoće konstrukcije, Integritet i vek konstrukcija, (Structural performance diagnostics, Structural Integrity and Life)*, Vol.4, No1, 2004, pp.3-7.
5. Jovančić, P., Behaviour Diagnosis for Bucket Wheel Drive Assemblies at the Bucket Wheel Excavator with the Aim of Its Repair, PhD Thesis in Serbian, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, 2007, Serbia.
6. Maneski, T., Ignjatović, D., *Sanacije i rekonstrukcije rotornih bagera*, Int. i vek konst. (*Repair and reconstruction of bucket wheel excavators*, Struc. Int. and Life), Vol.4, No1, 2004, pp.9-28.
7. Maneski, T., Ignjatović, D., *Sanacije i rekonstrukcije transportera i odlagača*, Int. i vek konst. (*Repair and reconstruction of belt wagons and stackers*, Struc. Int. and Life), Vol.4, No1, 2004, pp.29-38.
8. Arsić, M., Veljović, A., Rakin, M., Radaković, Z., *Mogućnost procene veka prenosnika reduktora za pogon trakastih transportera primenom tenzometrijskih merenja*, Int. i vek konst. (*Possibility of life assessing the speed reducer for belt conveyor drive by applying tensometric measurements*, Struc. Int. and Life), Vol.8, No3, 2008, pp.159-164.
9. Sedmak, S., Sedmak, A., Kirić, M., *Procena veka komponenti sa početnom korozijom*, Int. i vek konst. (*Integrity and life assessment of components endangered by corrosion*, Struc. Int. and Life), Vol.7, No2, 2007, pp.149-158.
10. Sedmak, S., *Određivanje deformacija i napona ispitivanjem indirektnim metodama i modeliranjem*, Int. i vek konst. (*Determining deformations and stresses by indirect testing techniques and modelling*, Struc. Int. and Life), Vol.6, No1-2, 2006, pp.3-6.
11. Mandić, G., *Osnovni principi infracrvene termografije*, Int. i vek konst. (*Basic Principles of Infrared Thermography*, Struc. Int. and Life), Vol.6, No1-2, 2006, pp.15-24.