

**OCENA PREOSTALIH RADNIH MOGUĆNOSTI ROTORNOG BAGERA METODOM
PRIMENJENE EKSPERTSKE OCENE SA EMPIRIJSKIM FAKTOROM KOREKCIJE**

**REMAINING OPERATIONAL CAPABILITIES EVALUATION OF BUCKET WHEEL EXCAVATOR
BY APPLYING EXPERT ASSESSMENT METHOD WITH EMPIRICAL CORRECTION FACTOR**

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK /UDC: 620.169.1: 621.879.48

Rad primljen / Paper received: 16.04.2010

Adresa autora / Author's address:

¹) Javno preduzeće „Elektroprivreda Srbije“ /

Public Enterprise “Electric Power Industry of Serbia”

²) Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu /
University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology

Ključne reči

- revitalizacija
- rotorni bager
- ekspertska ocena

Izvod

Nesumnjiva je potreba za definisanjem koncepcije procene tehničkog stanja i preostalih mogućnosti u cilju rangiranja i identifikacije bagera za potencijalne revitalizacione aktivnosti. U tom smislu ovaj rad prikazuje koncept ocenjivanja bagera na bazi ekspertske ocene. Pri tome, ocenjivanjem može da se nazove proces koji je rezultat sinteze znanja i iskustava koja su opet rezultat bilo obavljenih merenja, analiza statistički obrađenih podataka o provedenom vremenu u radu ili u zastoju ili direktno ekspertske procene. Pri tome, ocena se odnosi na određeni trenutak i treba da prognozira sigurnost funkcionisanja za sledeći period rada.

UVOD

Proizvodnja lignita na površinskim kopovima u Srbiji, u basenima „Kolubara“ i „Kostolac“, predstavlja jednu od najznačajnijih privrednih delatnosti u našoj zemlji. Pre svega zato što je lignit naš najvažniji energetski potencijal, te se korišćenjem lignita proizvodi oko 60% električne energije, a u zimskom periodu i preko 75%. Skoro celokupna proizvodnja lignita iz naša dva bazena ide elektranama, dok se samo mali deo odvaja za sušenje i za opštu potrošnju. Godišnja proizvodnja lignita je oko 35 miliona tona, što je respektabilna količina u evropskim merilima.

Radi proizvodnje ove količine uglja angažovana je brojna i raznovrsna mehanizacija, u kojoj centralno mesto zauzimaju sistemi kontinualnog dejstva, sastavljeni od rotornog bagera, sistema transportera sa gumenom trakom, odlagača, pretovarnih mašina, deponijskih mašina i postrojenja za pripremu uglja.

Rotorni bager predstavlja jedan od najsloženijih tehničkih sistema u industriji uopšte. Karakteriše ga pre svega složena hijerarhijska struktura konstrukcije, izuzetna novčana vrednost, kako investiciona, tako i radna.

Keywords

- revitalisation
- bucket wheel excavator
- expert evaluation

Abstract

The necessity for defining the concept of the technical condition and evaluation of remaining capabilities in order to rank and identify excavators for possible revitalisation is evident. In that respect, this paper presents the concept of excavator evaluation based on expert assessment. In this approach, evaluation can be considered as a process resulting from synthesis of knowledge and experience, which are on the other hand, a result of performed measurement, analyses of statistically processed data on time in operation and standstill or direct expert assessment. Therefore, evaluation is related to the specific moment and should foresee operational safety for the future period.

INTRODUCTION

Lignite production in Serbian open cast mines, “Kolubara” and “Kostolac” basins, is one of the most important industrial activities in our country. Lignite is the most important energy potential of Serbia, since some 60% of electricity is generated by lignite combustion, and as high as 75% during winter period. Almost complete production from the two mentioned basins is supplied to power stations, while a small amount is supplied to a drying facility and general consumption. Annual lignite production is around 35 million tonnes, a respectable amount even by European standards.

Various and numerous mechanization is engaged on the achievement of such production, with continuous action systems in the centre, comprised of bucket wheel excavators, haulage systems with belt conveyors, stackers, material transfer equipment, reclaimers and facilities for coal processing.

The bucket wheel excavator is one of the most complex technical systems in the industry in general. First, it is characterized by a complex hierarchy of the structure, of high value, both regarded as an investment and operational.

Na kopovima EPS trenutno radi 30 rotornih bagera, čija se prosečna starost kreće nepunih 30 godina. Nesumnjiva je potreba da se formira strategija procene preostalih mogućnosti ovih mašina i efekata potencijalne revitalizacije. Kod nas su dosadašnje revitalizacije rađene posle havarija, dok je dosta zemalja to uradilo planski, uz presudnu stručnu i tehničku pomoć proizvođača opreme. Sama revitalizacija tehničkih sistema u svetu nije nov postupak, a ni kod nas. Za svaki tehnički sistem, od velike važnosti je da se odredi kada do revitalizacije ili otpisa treba da dođe. Prema inostranim podacima, /1/, prosečan vek trajanja mašina sistema BTO je 20–25 godina za mašine srednjeg kapaciteta, dok je za mašine velikog kapaciteta preko 30 godina, isti izvor navodi da pojedini rotorni bageri rade i preko 40 godina. Jedan od najvećih evropskih proizvođača uglja, a samim tim i korisnika rotornih bagera, je RWE AG (*Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk*). Na kopovima RWE u radu su najveći svetski bageri, i po masi, a i po kapacitetu. Bageri pogonski br. 259 i br. 260 su u radu od početka šezdesetih godina. Bager br. 259 je proizveden 1961, a bager br. 260 od 1962. godine. Oba bagera su još uvek u redovnoj eksploataciji skoro pola veka.

Prognoziranje veka trajanja mašina u fazi projektovanja zasniva se na verovatnoći, na bazi iskustva sličnih postrojenja. Proračun radnog veka složenih postrojenja i pored svih napora projekatnata ipak se zasniva na nekom verovatnom modelu predviđanja, koji u osnovi ima ekspertsku ocenu iskusnih projekatnata i analogiju sa izvedenim postrojenjima i iskustvima iz njihove eksploatacije, kao i na izvesnu korekciju u odnosu na razliku u primenjenoj opremi.

U svakom slučaju, precizan proračun veka u fazi projektovanja nije moguće izvršiti, već se radi o veku trajanja za kojim se težilo. Takva je situacija i kod rotornih bagera, odlagača i ostalih mašina na kopovima. Praćenjem ponašanja ovih mašina u eksploataciji i održavanju može da se dobije preciznija procena preostalog veka ili ocena kada bi ove mašine trebalo da uđu u revitalizaciju. Termin revitalizacija u ovom radu se koristi da označi skup mera usmerenih na poboljšanje izlaznih karakteristika sistema (bagera) i produženje veka rada u odnosu na izlazne karakteristike i vek trajanja bagera koji je podvrgnut samo uobičajenim merama održavanja.

Cilj ocenjivanja svih bagera u pogledu potreba za revitalizacijom je da se odredi koji bageri treba u revitalizaciju da idu među prvima. Naravno, taj redosled ne može biti striktno poštovan, pošto se moraju uzeti u obzir i ograničenja:

- da se proizvodnja uglja i jalovine u celom sistemu ne remeti, i
- da se u slučaju odluke o revitalizaciji i modernizaciji određenog bagera odredi koji su budući zadaci tog bagera, s obzirom na činjenicu da će se neka otkopna polja ugaziti, te da će taj bager dobiti na drugom otkopnom polju druge zadatke, a time i potrebu da se u procesu revitalizacije i modernizacije promene neke njegove karakteristike.

Currently there are 30 bucket wheel excavators operating at EPS open cast mines, that are 30 years old on average. The necessity is evident for making the technical condition and remaining capabilities evaluation strategy and effects of revitalisation activities for these machines. In Serbia, revitalisations are performed after major incidents while in other countries they are planned, with crucial expert and technical assistance of the manufacturer. Technical system's revitalisation is not a new process. Important issue for each technical system is the timing, when to revitalize it or write-it-off. Foreign references, /1/, are showing that average life of an ECS system is 20–25 years for systems of mid-range capacity, while high-range capacity machines operate for more than 30 years and some systems are working for more than 40 years. One of the largest European coal producers, hence the biggest excavator operators is RWE AG. Bucket wheel excavators operating on RWE open cast mines are the biggest, both regarding their mass and production rate. Excavators No. 259 and 260 are operating at the beginning of 1960's. Excavator No. 259 is manufactured in 1961 and No. 260 in 1962. Both of these machines are in regular operation for almost half a century.

Operational life estimation during the design process is based on probability and experiences gained on similar facilities. However, calculation of operational life of complex machines, despite designer's effort, is performed after some probability prediction model, that is based on assessment made by experienced designers and analogies with existing machines and experiences gained during their operation, including corrections related to differences of installed equipment.

Anyhow, exact calculation of operational life during design is not possible, hence it is about the aspired operational life. This applies to bucket wheel excavators, stackers and other machines on open cast mines. Behaviour monitoring of these machines during operation and maintenance can provide more precise assessment of remaining life or evaluation on when these machines should be revitalized. Term revitalisation, as used in this paper, is applied to a set of measures related to the improvement of the system (excavator) input characteristics and extension of operational life of the excavator subjected only to common maintenance activities.

The goal of evaluation of each excavator regarding the necessity for revitalisation is to determine the sequence of the excavator to be revitalized first. Indeed this sequence cannot be strictly retained, since following limitations have to be considered:

- production of coal and overburden of the system should not be hindered, and
- future tasks of the excavator should be defined in case that the decision on revitalisation and modernisation is made, having in mind that some coal fields will be closed, meaning that a specific excavator will operate in different conditions at another field, resulting in the necessity to change some characteristics of the excavator during revitalisation and modernisation.

MOGUĆI KONCEPCIJSKI PRISTUPI U OCENI BAGERA

Kada mašina dostigne granično stanje javljaju se dve osnovne alternative:

- otpis mašine i nabavka nove, sposobnije i savremenije, koja će zameniti postojeću;
- preduzimanje mera revitalizacije, koje treba da dovedu mašinu u stanje da može u svom produženom veku da funkcioniše na zahtevanom nivou, tj. sa karakteristikama koje su za korisnike prihvatljive.

Samo granično stanje je vrlo teško definisati. U ovom radu se smatra da je granično stanje:

- kada je mašina tehnološki zastarela;
- kada je njeno korišćenje ekonomski neisplativo, jer postiže snižene efekte (kapacitet, pouzdanost, veliki troškovi održavanja itd.);
- kada mašina ima nedovoljnu radnu sigurnost tj. postaje opasna u odnosu na živote posada ili mogućnost nastanka veće materijalne štete.

Obično kao osnova za utvrđivanje graničnog stanja uzima se jako povećanje intenzivnosti otkaza, dugi zastoji u radu ili veliki troškovi u poređenju sa sličnim mašinama ili u poređenju sa pomenutim pokazateljima za posmatranu mašinu u prošlosti. U svakom slučaju za aktivno određivanje tehničkog stanja mašine i preostalih radnih sposobnosti, neophodno je da se postavi precizan matematički konceptijski pristup.

U odgovarajućoj literaturi, [2-5], uobičajeno se koriste dva pristupa u analizi i sintezi uticajnih parametara na kvalitet tehničkog sistema:

- na bazi višekriterijumske analize sa višatributivnom ocenom, i
- na bazi primene *fazi* skupova i pravila *fazi* algebre.

U prvom pristupu načelno mogu da se sagledaju svi uticajni parametri tehničkog stanja bagera kroz dimenziju ocene na nivou pojedinačnih komponenti bagera i kroz dimenziju uticaja date komponente na kvalitet višeg hijerarhijskog nivoa i dalje sukcesivno. Konkretno, za dobijanje ocene određenog bagera, neophodno je zadati: nivo značaja pojedinačno elemenata datog hijerarhijskog nivoa bagera, nivo značaja atributa na ukupnu ocenu (odnosno, uticaj razmatranih parametara na njihov sintezni pokazatelj), i konačno ocenu elemenata na određenom hijerarhijskom nivou bagera po zadatim atributima (parametrima). Pri tome ocena se zadaje i dobija u numeričkoj formi po usvojenoj skali vrednovanja (npr. od 1 do 10).

Metoda na bazi primene *fazi* skupova uticajne parametre propisuje preko lingvističkih promenljivih, koje se definišu funkcijom pripadnosti *fazi* skupovima. Međusobni uticaj parametara se definiše odgovarajućom kompozicijom i tzv. „ako-onda“ pravilima. Na kraju se ocena tehničkog sistema dobija u kontinualnoj formi (*fazi* struktura), što nije slučaj sa višekriterijumskom analizom i višatributivnom ocenom. Evidentan je sinergijski pristup sintezi parametara, korišćenjem kompozicije, što doprinosi boljoj diferenciranosti konačne ocene u datom sistemu vrednovanja. U ovom slučaju kao ulazni podaci traže se samo ocene elemenata sistema u lingvističkom obliku (na pr. odlična pouzdanost, loša pouzdanost, itd.). Međusoban uticaj atributa i uticaj

POSSIBLE CONCEPT APPROACHES TO EXCAVATOR EVALUATION

There are two alternatives when the machine reaches its final condition:

- writing-off the machine and acquisition of a new one with better characteristics, as a replacement,
- undertaking revitalisation measures, in order to improve the machine's condition to such a level to enable its operation with desired performances, acceptable to the operator, during extended operational life.

The final condition is difficult to define, and in this paper this condition is considered through the following:

- technologically out-dated machine;
- uneconomical utilization of the machine due to lower operational effects (production rate, reliability, high maintenance costs, etc.);
- insufficient operational safety of the machine, i.e. increased hazard to the staff or possibility for larger material damage.

It is usual to consider the significant increase of malfunctions, long stand-still periods and large costs in comparison to similar machines, or in comparison to the same historical parameters of the same machine as a basis for determining the final condition. However, active determination of the machine's technical condition and evaluation of remaining capabilities requires a set-up of a precise mathematical conceptual approach.

There are two common approaches in analysis and synthesis of parameters impacting quality of a technical system, provided by suitable references, [2-5]:

- based on multi-criteria analyses with multi attributes evaluation, and
- based on fuzzy sets and rules of fuzzy algebra.

The first approach generally enables consideration of all parameters impacting on excavator's technical condition, at the level of individual components assessment and the impact of that component on the quality at a higher hierarchy level and successively. Specifically, for evaluating a single excavator it is necessary to define the following: the level of importance of a single component at a given hierarchy level, the importance level of attributes regarding the whole evaluation (i.e. impact of considered parameters at their unified characteristic) and finally, evaluation of components by a given hierarchy level according to given attributes (parameters). Therefore, evaluation is defined and acquired in numerical form at an accepted evaluation scale (for example at a scale from 1 to 10).

The method based on fuzzy sets prescribes impacting parameters by linguistic variables that are defined by fuzzy sets function. Mutual influence of parameters is defined by suitable composition and so-called if-then rules. Finally, the technical system evaluation is acquired in continuous form (fuzzy structure), which is not the case with multi-criteria analysis with multi-attributes assessment. The parameters synthesis synergy is evident with application of composition, thus contributing to a better differentiation of final evaluation in the given assessment system. This approach requires only the evaluation of system's components in linguistic form (for example excellent, poor reliability, etc.).

elemenata sa nižeg na viši hijerarhijski nivo, definisani su usvojenim kompozicijama. Metoda na bazi primene fazi skupova, može se okarakterisati i kao uređenija, sa striktnijom kompozicijom, gde uticaj analitičara nije toliko izražen na sam proces evaluacije.

Uticajni parametri (ili atributi) na ocenu: tehničkog stanja, preostalih mogućnosti tehničkog sistema, očekivanih efekata revitalizacije i sl., mogu da se identifikuju na različite načine. U literaturi, /6, 7/, kao najčešći pokazatelj kvaliteta rada mašine koristi se pojam raspoloživost. Kao uticajni faktori, po definiciji se uzimaju: pouzdanost, pogodnost održavanja (konstrukcijska) i nivo podrške održavanju, /8, 9/.

U nešto starijoj literaturi često se u obzir uzimala i efektivnost, koja je pored raspoloživosti razmatrala i tzv. funkcionalnu pogodnost. U svakom slučaju kvalitet tehničkog sistema u datom trenutku definiše: nivo pouzdanosti, odnosno, očekivano vreme koje bi sistem trebalo da provede u radu bez neplaniranih zastoja; nivo pogodnosti za održavanje, odnosno, očekivano vreme koje je potrebno da se sistem ponovo dovede u radno stanje u slučaju otkaza; i nivo kompatibilnosti sa radnim uslovima i radnim okruženjem. Identifikacija ovih parametara može da se obavi na više načina. Već je pomenuto: merenjem radnih parametara u smislu naponskog stanja konstrukcije i poređenjem sa dozvoljenim; projektovanjem vremenske slike stanja, /10/, i računanjem funkcija pouzdanosti, pogodnosti održavanja ili statističkih pokazatelja; ili ekspertskom procenom. Prva dva postupka se smatraju egzaktnijim, ali oni često nisu realno izvodljivi ili su neopravdano skupi (zahteva se zaustavljanje sistema, informacioni sistem koji podržava rad mašine i sl.). Ekspertska procena, odnosno, sublimacija znanja i iskustava predstavlja značajan proces, u kome bi analitičar trebalo pre svega kvalitetno da sistematizuje sva znanja i iskustva sa posmatranog sistema kao i da objektivno sagleda postojeće pokazatelje u cilju apsorpcije navedenih znanja i iskustava. Pri tome ekspertska ocena sigurno sadrži jednu dozu neobjektivnosti. U svakom slučaju, kada se saberu godine rada naših bagera, dobija se preko 700 godina rada. To znači da se radi o svojevrsnom velikom i neponovljivom eksperimentu, kojom prilikom su registrovani dragoceni podaci o ponašanju bagera u procesu eksploatacije ali stečena znanja i iskustva, koja moraju biti iskorišćena pri donošenju odluka o revitalizaciji i o proceni preostalih mogućnosti svakog bagera pojedinačno.

Ekspertska ocena je očigledno moguća za celokupno sagledavanje tehničkog stanja i preostalih mogućnosti rotornog bagera kroz sve uticajne parametre.

Iz prikaza obavljenih revitalizacija u svetu, /1/, vidi se da su radovi na nosećoj čeličnoj konstrukciji rađeni najviše posle havarija ili kao dogradnja ili ojačanje. To znači da je čelična konstrukcija i pored starosti u dobrom stanju, te da ima rezervu i nosivost za dalji rad. Odnosno, čelična konstrukcija sigurno ograničava životni vek bagera, te u pogledu procene preostalih mogućnosti rotornog bagera stanje čelične konstrukcije je od presudnog značaja. Takođe, može da se pokaže kako se oko 60% radova na rekonstrukciji odnosi na podsistem za kopanje (radni točak, vratilo i uležištenje, zamena klasičnog reduktora planetnim,

Mutual influence of attributes and impact of components at higher hierarchy level are defined by accepted compositions. The method based on fuzzy sets can be characterized as of higher order, with more strict composition, where the evaluation process is not that influenced by the person performing the analysis.

Parameters (or attributes) impacting evaluation of technical condition, remaining capabilities of technical system, expected effects of revitalisation and similar can be selected in various ways. According to /6, 7/ most commonly used parameters that have an influence at operational quality of the machine is the availability. Other parameters that are used, by definition, are: reliability, maintainability and maintenance support, /8, 9/.

Slightly older references recommend considering effectiveness, which beside availability takes into account so-called functional capability. Anyhow, technical system quality in a given moment is defined by: level of reliability i.e. time which the system can operate without non-planned stoppages; the level of maintainability i.e. expected time required to bring the system into operational condition after malfunction occurs; and the level of compatibility with operational conditions and working environment. Identification of these parameters can be performed in several ways. As mentioned above: measurements of operational parameters related to the structure's stress condition and comparison to allowed values; design of the time framework condition, /10/, and calculation of reliability and maintainability functions or statistical parameters; or expert evaluation. First two procedures are considered to be more exact, but frequently cannot be performed in reality or their prices are very high (requires the system to be halted and informational system which supports the operation of the machine, etc.). Expert evaluation i.e. sublimation of knowledge and experience is an important process, where the analyst should systemise available knowledge and experience related to considered system in a quality manner, as well as to objectively review the existing data in order to absorb mentioned knowledge and experiences. Therefore, expert evaluation includes a certain level of subjectivity. Anyhow, the combined operational period of Serbian excavators amounts to 700 years, showing that this is a large and unfavourable experiment during which valuable data on excavators' behaviour in operation are collected, as well as knowledge and experience, that must be used for decision making on revitalisation and evaluation of remaining capabilities of each excavator.

It is obvious that expert evaluation is possible for complete technical condition overview including excavator remaining capabilities, by using all impacting parameters.

Overview of reports on revitalisations performed worldwide, /1/, shows that works on steel structures are done on most occasions after major failures or as upgrading or as reinforcement. This means that steel the structure is in good condition, regardless its age, with sufficient reserve and loading capability for operation. In another words, the steel structure surely is limiting operational life of the excavator, therefore, its condition is of crucial importance for evaluation of remaining capabilities of excavator. Also, it can be shown that 60% of reconstruction activities are related to

itd.), /1/. Sa druge strane, sistem za kopanje predstavlja osnovni element za izvršavanje radnog zadatka bagera, pa je samim tim i najviše odgovaran za radni učinak mašine. Može da se zaključi da, sa stanovišta procene preostalih mogućnosti, trebalo bi da se ocene bageri pre svega u pogledu stanja osnovne noseće čelične konstrukcije i sistema za kopanje.

METODA PRIMENJENE EKSPERTSKE OCENE PREOSTALIH MOGUĆNOSTI ROTORNOG BAGERA

Za potrebe ocenjivanja rotornog bagera u cilju definisanja preostalih mogućnosti, kao presek postojećih metoda i pristupa evaluaciji tehničkih sistema razvijena je metoda primenjene ekspertske ocene preostalih mogućnosti (PEOP), /1/. Prvi korak u strukturiranju metode je uvođenje vrednosnog sistema ocene preostalih mogućnosti bagera. Kod metode sa višeatributivnom ocenom, uobičajeno se koriste numeričke ocene, kod fazi skupova lingvističke. Zbog toga se metoda fazi skupovima i smatra objektivnijom i sadržajnijom. Takođe ekspertska ocena je prirodnije da se daje u lingvističkom obliku. Maksimalan broj različitih ocena koje ljudski um u trenutku može da razgraniči je sedam, /11/. Tako da se preporučuje da se za ocenu bagera metodom PEOP usvoji sedam različitih lingvističkih ocena, odnosno, da se analitičaru na uvid daje sedam lingvističkih ocena. Usvajaju se sledeće ocene: odličan, vrlo dobar, solidan, dobar, zadovoljavajući, loš i kritičan.

Rotorni bager je konstrukcijski složene strukture, sa više nezavisnih pogonskih grupa i više izvršnih organa, koji opet jednovremeno funkcionišu i sa izraženom hijerarhijskom strukturom. U ovom radu analiza i dekompozicija bagera neće biti izložena zbog ograničenog prostora. U svakom slučaju postoji literatura, /3/, u kojoj je ovome pisano sa idejom da se bager raščlani na konstrukcijske celine sa jasno izraženom funkcijom, koje bi se pojedinačno analizirale i ocenjivale. U predloženoj metodi PEOP, predlaže se direktno ocenjivanje (bez prethodnog ocenjivanja uticajnih parametara i faktora) elemenata bagera po zadatom kriterijumu preostalih mogućnosti, putem sedam usvojenih lingvističkih ocena.

Kao što je pisano, prevashodno se ocenjuje noseća čelična konstrukcija i sistem za kopanje. Svi bageri koji u ovom ocenjivanju noseće čelične konstrukcije i sistema za kopanje dobiju ocenu između „vrlo dobro stanje“ i „zadovoljavajuće stanje“, ulaze u dalje ocenjivanje ostalih funkcionalnih grupa, da bi se ocenilo koliko košta revitalizacija i modernizacija konkretnog bagera. Drugim rečima ako je bager ocenjen sa ocenom „odlično stanje“ nema potrebe za njegovom revitalizacijom, odnosno, eventualno se mogu raditi samo manja poboljšanja. U suprotnom, ako je bager ocenjen sa ocenom „loše stanje“ ili „kritično stanje“, visoka je verovatnoća da ne postoji opravdanje za njegovu revitalizaciju. Pri tome se procenjuje da sistem za kopanje u odnosu na noseću konstrukciju ima manju značajnost po preostale mogućnosti bagera. U tom smislu uvodi se faktor značajnosti sistema za kopanje u odnosu na noseću konstrukciju, u vrednosti 0,3. Zbirna ocena bi se u tom slučaju računala tako što bi se ocena noseće konstrukcije množila sa $1/(1 + 0,3)$, a sistema za kopanje sa $1/(1 + 0,3)$ i sabrale. Pri tome

digging subsystem (bucket wheel, shaft, bearings, installation of planetary type gear reduction, etc.), /1/. On the other hand, digging system is a basic component of the excavator, with major impact on machine operation. Therefore, it can be concluded that conditions of the steel structure and digging system should be assessed in relation to evaluation of remaining capabilities of the excavator.

APPLIED EXPERT ASSESSMENT OF REMAINING CAPABILITIES OF BUCKET WHEEL EXCAVATOR

An applied expert assessment method (AEAM) is developed for the evaluation of bucket wheel excavator in order to define remaining capabilities, as a milestone among other methods and approaches for evaluation of technical systems, /1/. The first step in structuring of the method is an introduction of an evaluation system for excavator remaining capabilities. Application of numeric values is common for the multi attributes evaluation method, while the linguistic approach is common for fuzzy sets. Therefore, the fuzzy set method is considered as more objective and more complete. Also, it is more user friendly to use linguistic description for expert evaluation. The maximal number of various marks a human mind can consider in one moment is seven, /11/, hence the recommended value for excavator evaluation by PEOP method are seven various linguistic descriptions i.e. seven linguistic descriptions are presented to the analyst. The following marks are accepted: excellent, very good, substantially good, good, satisfactory, poor and critical.

Construction of bucket wheel excavator is very complex, with several independent drive and working units, simultaneously operating in pronounced hierarchy. Analysis and decomposition of the excavator will not be presented in this paper due to limited space. However, this is available in reference, /3/, where this topic is presented with an idea to dismember the excavator into structural units with clear function, which then can be separately analysed and evaluated. The AEAM method suggests direct evaluation (without prior evaluation of impacting parameters and factors) of excavator components, after a given criterion of remaining capabilities, with seven given linguistic marks.

As mentioned above, steel structure and digging system are evaluated primarily. Excavators with marks between “very good” and “satisfactory” are qualified for evaluation of other functional units, in order to determine the cost of revitalisation and modernisation of excavator. In another words, if the mark is “excellent” there is no need for revitalisation, meaning only minor improvements are possible. On the other hand, if the mark is “poor” or “critical” there is a high possibility that revitalisation is not viable. In this case it is estimated that the excavating system is of lesser importance in comparison to the steel structure, in relation to remaining capabilities of the excavator. Having this in mind, at this point the Importance Factor of excavating system in relation to steel structure is introduced, at value of 0.3. A combined mark in this case would be calculated in such a manner that the steel structure mark should be multiplied by $1/(1 + 0.3)$, while the mark of the excavating system by $1/(1 + 0.3)$, and then these two should be added. Linguistic marks would be transformed in numeric values (excellent =

lingvističke ocene bi se preslikale u numeričke (odličan = 7, ..., kritičan = 1), a zbirna ocena bi se dobila na skali od 1 do 7, što bi dalo mogućnost da se sada numerička preslika nazad u lingvističku.

Ocenjivanje ostalih funkcionalnih celina uglavnom treba da posluži dopuni slike o stanju bagera, a pre svega da pruži podlogu da se oceni potrebna cena za revitalizaciju i modernizaciju toga bagera. Pri tome svaka lingvistička ocena pojedinog eksperta treba da bude praćena sa izveštajem koji sadrži opis dela konstrukcije na kojoj su uočena oštećenja zbog čega je takva ocena data. Rezultati ocene pojedinih funkcionalnih celina i sklopova trebalo bi da budu analizirani sa pažnjom, tako da se, bez obzira na to kako će bager biti rangiran u smislu revitalizacije, tamo gde su ocene niske, planiraju mere održavanja u redovnim većim akcijama postupaka održavanja.

UNAPREĐENJE METODE UVOĐENJEM EMPIRIJSKOG KOREKTIVNOG FAKTORA

Ekspertska ocena, koja je u ovim modelima primarno korišćena, sigurno sadrži jednu dozu neobjektivnosti. Tako da bi trebalo uvesti komparativnu verifikaciju dobijene konačne ocene. U tom smislu uvodi se jedna korekcija ekspertskih ocena, na osnovu ponašanja bagera u procesu eksploatacije. Ako se posmatra na primer površinski kop Drmno na kome radi ukupno 11 rotornih bagera za period 2000–2008, ostvareno je ukupno vreme zastoja od 300.639 sati, a prosečno po jednom bageru 3.036,8 sati godišnje.

Odnos godišnjeg vremena zastoja po svakom bageru u odnosu na pomenuto prosečno vreme zastoja za ceo kop, odredio bi empirijski koeficijent upoređenja zastoja (KUZ).

Faktor KUZ dat je u tabeli 1 za svaki bager koji radi u kostolačkom basenu. Očigledno je da su bageri imali vrlo veliko odstupanje od proseka, te to mora uticati na konačnu ocenu o rangiranju bagera.

7, ..., critical = 1), while the final result will be on the scale from 1 to 7, thus making it possible to transfer numerical value back to the linguistic.

Evaluation of other functional units mainly should be used to complete final estimation on excavator's condition and further on, as a basis for estimation of revitalisation and modernisation costs for the analysed excavator.

In this process, the linguistic evaluation of each expert should be a report which contains the description of the analysed unit with noticed damage and explanation of given mark. Evaluation results for each functional unit should be analysed with care, thus enabling to plan required maintenance measures where low marks are given, regardless of final revitalisation evaluation. These maintenance activities should be performed during planned maintenance periods.

IMPROVEMENT OF METHOD BY INTRODUCTION OF EMPIRICAL CORRECTION FACTOR

Expert evaluation, primarily used in these models, surely incorporates a certain amount of subjectivity. Therefore, comparative verification of acquired final mark should be introduced. Regarding this issue a correction of expert assessment is introduced, based on excavator behaviour in operation. Considering, for example Drmno open cast mine, with 11 operating bucket wheel excavators, between years 2000 and 2008, the total recorded stoppages amount up to 330,639 hours, or 3,036.8 hours per excavator per annum on average.

The ratio of annual stoppage time of each excavator and mentioned average stoppage time for the whole mine is an empirical coefficient for stoppage comparison (KSC).

KSC is given in Table 1 for each excavator operating in the Kostolac basin. It is obvious that excavators have large variation from the average value, therefore this must have an impact on the final ranking of excavators.

Tabela 1. Zastoji zbog kvarova na bagerima na kopovima „Drmno“, za period 2000. do 2008. godine

Table 1. Malfunction stoppages of excavators at Drmno open cast mine, for period 2000–2008.

Bager (Excavator)	Zastoji (č.) – Stoppages (h)		KUZ (KSC)
	Ukupno (Total)	Prosečno godišnje (Annual average)	
1 SRs470.17/1.5	23.014	2.557	0,84
3 SRs2000.28/3+VR	30.145	3.349	1,10
4 SRs2000.32/5+VR	25.545	2.838	0,93
5 SRs1300.26/5+VR*	25.599	3.316	1,09
		2.254	0,74
6 SchRs800.15/1.5	21.076	2.342	0,77
7 SRs470.14/2 (3)	27.222	3.025	1,00
8 SRs470.20/3 (11)	29.833	3.315	1,09
9 SRs470.14/2 (4)	24.778	2.753	0,91
1 SRs470.20/3 (12)	31.008	3.445	1,13
1 SRs400.14/1 (14)	28.378	3.153	1,04
1 SH630.15/1.5 (8)	34.041	3.782	1,25
Ukupno sati zastoja za 9 godina rada = 300.639 (Total stoppages for 9 years of operation = 300,639)			
Prosečno sati po jednom bageru godišnje = 3.036,8 (Average annual stoppages per excavator = 3,036.8)			

* Bager pod red. br.4 je 2005. prošao kroz revitalizaciju, tako da su podaci podeljeni u dve grupe pre i posle revitalizacije
(* Excavator no. 4 was revitalized during 2005, hence data is divided in before and after revitalisation)

Podaci iz tab. 1 predstavljaju svojevrsnu paralelnu ocenu o stanju bagera u odnosu na onu koju su dali eksperti. To praktično znači da se pri konačnoj oceni bagera mora uzeti u obzir i izneseno vreme zastoja. Bageri sa znatnim procentom zastoja iznad proseka ne mogu imati visoku ocenu, te ocenu eksperata treba korigovati. Za bagere čiji su zastoji blizu proseka, korekcija nije potrebna (na pr. bager r. br. 6 SRs 470 14/2).

PRIMER BAGER SRS-1300, PD TE-KO KOSTOLAC–PK DRMNO

Metoda primenjene ekspertске ocene, biće kompletnije prikazana na primeru bagera SRs 1300.26/5+VR, koji trenutno radi na površinskom kopu Drmno. Bager je star nepune 22 godine, i u međuvremenu je revitalizovan. Zbog toga će u primeru, metoda biti paralelno testirana, za stanje pre i posle revitalizacije.

Bageri SRs-1300 su proizvedeni od strane TAKRAF–DDR i zastupljeni su na mnogim kopovima u Evropi: Istočna Nemačka, Srbija, Rumunija, Bugarska, Mađarska. Bager pripada kategoriji srednjih bagera teoretskog kapaciteta od 3600 do 4500 m³/h, u zavisnosti od konkretnog slučaja. Proizvedeni su sa pretovarnim uređajem ili bez njega, i sa različitim snagama pogona rotornog točka u zavisnosti od tehnoloških prilika u rudniku korisnika. Snaga pogona radnog točka varira od 400 pa do 900 kW. Generalno se za ovaj tip bagera može konstatovati da imaju vrlo solidnu čeličnu konstrukciju i relativno nepouzdan pogone.

U Srbiji su u eksploataciji ukupno 6 bagera tog tipa: na Kosovu 3, u Kolubari 2 i u Kostolcu 1. Predmet našeg razmatranja biće bager koji je u radu u na kopovima u TE-KO Kostolcu.

Bager je otpočeo svoj radni vek na kopu Ćirikovac u toku 1988. godine. Na tom kopu radi do 2004., kada je donesena odluka o njegovom prelasku na kop Drmno. Na kop Drmno bager je došao u radnom stanju.

Teški tehnološki uslovi na kopu Ćirikovac su imali jako nepovoljan uticaj na stanje bagera tako da je još pre prelaska na kop počelo razmatranje o njegovoj revitalizaciji.

Od strane eksperata iz Takrafa, a i od strane domaćih eksperata je izvršeno je ocenjivanje dve osnovne funkcionalne celine bagera, na način kako je to predviđeno metodom.

Data in Table 1 are in fact parallel evaluation on the condition of excavators, compared to expert evaluation. In reality this means that before final evaluation, information on stoppages must be considered. Excavators with stoppages considerably above average value cannot have high ranking, hence expert assessment must be corrected. For excavators with stoppages closely to the average value this correction is not necessary (excavator no. 6 SRs 470 14/2).

EXAMPLE EXCAVATOR SRS-1300, PD TE-KO KOSTOLAC–PK DRMNO

The applied expert assessment method will be presented in more detail on the example with excavator SRs 1300.26/5+VR which currently operates at Drmno open cast mine. Excavator is almost 22 years old and it has been revitalized during this period. Therefore, the example will provide testing of the method, for condition before and after revitalisation.

Excavators SRs 1300 are produced by TAKRAF, former East Germany, and these machines are present on numerous mines in Germany, Serbia, Romania, Bulgaria and Hungary. The excavator is mid range, regarding theoretical production rate, ranging from 3600 to 4500 m³/h, depending on conditions. This machine can be equipped with a transfer device, and with various installed power at the bucket wheel, again depending on conditions at the mine. Bucket wheel drive power varies between 400 and 900 kW. Generally, it can be said that this excavator has a reliable steel structure but relatively unreliable drives.

There are 6 of these excavators operating in Serbia, 3 in Kosovo, 2 in Kolubara and one in Kostolac. This example will consider the one operating in TE-KO Kostolac.

The excavator has started operation at Ćirikovac mine in 1988, and remained there until 2004, when it was decided to be moved to Drmno mine, where it started as an operational machine.

Difficult working conditions at Ćirikovac mine had adverse impact on the excavator's condition, therefore, revitalisation was considered even before the bucket wheel excavator was moved to the Drmno mine.

Experts from Takraf, as well as local experts, performed evaluation of the two main functional units of the excavator, according to procedures of the method.

Tabela 2. Primenjena ekspertска ocena na primeru sistema na bageru SRs 1300.26/5+VR

Table 2. Applied expert evaluation for excavator SRs 1300.26/5+VR (example).

Analizirani element bagera (Analysed units of excavator)	Ocena eksperata u lingv. obliku (Expert linguistic mark)	Pripadajuća numerička ocena (Numerical value of the mark)
Sistem za kopanje (Digging system)	Kritičan/loš (Critical/Poor)	1.91
Noseća konstrukcija (Steel structure)	Vrlo dobar (Very good)	4.87

Primenom ranga značajnosti utvrđena je zbirna ocena ovog bagera:

$$Zbirna\ ocena = \frac{1,91 \cdot 0,3 + 4,87 \cdot 1}{1,3} = 4,18$$

na skali od 1 do 7, što odgovara lingvističkoj oceni između *Dobar* i *Solidan*. Ova ocena je dala preduslove za dalje ekspertско ocenjivanje ostalih funkcionalnih grupa bagera.

By applying the importance ranking, the final mark was determined:

$$Final\ mark = \frac{1.91 \cdot 0.3 + 4.87 \cdot 1}{1.3} = 4.18$$

on a scale from 1 to 7, that corresponds to linguistic marking between *Good* and *Substantially good*. This mark created preconditions for further expert evaluation of other functional units of the excavator.

U tab. 3 je prikazan kratak izvod ocena po funkcionalnim grupama bagera u numeričkom obliku, a koje su dobijene kao prosečne među analitičarima. Detaljno ocenjivanje po sistemima, odnosno, njegovim podstrukturama (podsystemi, komponente) za ova dva sistema dato je u /1/.

Tabela 3. Izvod numeričkih ocena po funkcionalnim grupama bagera
Table 3. Overview of numerical marks by excavator functional units.

Funkcionalna celina – Sistem za ... (Functional unit – System for ...)		Ocena (Mark)	
		pre revitalizacije (before revitalisation)	nakon revitalizacije (after revitalisation)
Kopanje	Digging	1.91	5.36
Transport materijala	Material haulage	3.75	4.75
Transport bagera	Excavator's transport	3.39	6.00
Podizanje i spuštanje strele	Beam, lifting and lowering	3.35	5.09
Obrtanje gornje gradnje	Superstructure swinging	2.93	3.21
Noseća čel. konstrukcija	Steel structure	4.87	5.39
Pomoćna čel. konstrukcija	Steel structure, auxiliary	2.67	5.33
Elektro upravljanje	Electrics, control	3.67	5.83
Elektro napajanje	Electrics, power supply	3.05	5.44

Faktor KUZ za ovaj bager ima vrednost 1,09, odnosno 0,74, za vreme pre i posle revitalizacije (tab. 1). U tom smislu, dobijena ekspertna ocena za period pre revitalizacije bi mogla da se koriguje nadole u vrlo maloj meri, odnosno, za period pole revitalizacije nagore.

Kao što je napisano, ekspertna ocena bi trebalo da sadrži i odgovarajuća zapažanja i komentare, neki od njih su dati u nastavku:

Sistem za kopanje – Pogonska grupa radnog točka je bila stalni izvor zastoja i to jako dugih. Niz pokušaja da se popravi stanje nije urodilo plodom, čak je i kompletno kućište reduktora zamenjeno novim, ojačanim i to takođe bez uspeha. Osnovni kvarovi su bili otkaz ležajeva na ulaznom vratilu, pucanje limova na kućištu, pojave curenja ulja na prskotinama, habanje izlaznog dela reduktora, otkaz sistema za podmazivanje, spojnica i kočnica takođe sa dosta nedostataka u radu. Ocene ove grupe su mogle biti i niže, ali mora se reći da je bager ipak radio uz puno čestih intervencija i zamena delova. Kompletan stari reduktor i rezervno staro kućište su dati Kolubari na raspolaganje. Sam motor, robusne konstrukcije, je dobio dosta solidne ocene.

U procesu revitalizacije izvršena je zamena reduktora novim tipom – modelom, takođe je ugrađena nova sigurnosna spojnica sa disk kočnicom i kočionim mehanizmom. Izbor transmisionih elemenata pogonske grupe je vršen od strane članova konzorcijuma, po kriterijumima visoke pouzdanosti, i pogodnosti za održavanje.

Zadržan je isti tip motora, ali sa frekventno regulisanim pogonom, i treba naglasiti da je to prvi bager u Srbiji sa kontinualno promenljivom brzinom radnog točka osposobljen da kopa ugalj i jalovinu uz prilagođavanje brzine rezanja.

Od ugradnje 2004. do kraja 2009. (za oko 20.000 radnih časova) na pogonskoj grupi nisu zabeleženi zastoji (sem čišćenja filtera na sistemu za podmazivanje i oduška) i zato su ocene za elemente iz pogonske grupe jako visoke.

Radni točak je remontovan, mada nije bilo većih oštećenja i doveden je u vrlo dobro stanje. Uležištenje radnog točka je modifikovano, međutim i dalje su beleženi zastoji u radu, pa nakon revitalizacije nije dobio najviše ocene.

Table 3 provides overview by functional units in numerical values, which are obtained as average values given by experts. Detailed ranking of systems and their substructures (sub-systems and components) for these two systems is given in /1/.

The KSC factor for this excavator is 1.09, i.e. 0.74, for period before and after revitalisation (Table 1). In this respect, determined expert mark for period before revitalisation can be slightly lowered, or slightly increased for the period after revitalisation.

As mentioned, expert evaluation should contain proper remarks and comments. Some of these are listed below.

Digging system – Bucket wheel drive unit was a constant cause of long stoppages. Series of activities for remediation of this situation did not yield any result. Even the housing of the gear reduction was replaced with a new reinforced, without success. Basic malfunctions were failure of the bearings on the input shaft, cracking of the plates on the housing with oil leakages, wearing of output part of the gear reduction, lubrication system failures and defective coupling and breaks. Marking of this unit could be lower, but it should be mentioned that the excavator operated with numerous and frequent interventions and part replacements. The complete old gear box and spare old box were given to Kolubara. The electric motor of robust construction was marked as substantially good.

Revitalisation included gear box replacement with new type and installation of new safety coupling with disc brake and braking mechanism. Selection of drive unit transmission components was performed by consortia members, according to high reliability and maintenance suitability criteria.

The same type of motor was retained, but with frequency regulation. It should be mentioned that this is the first excavator in Serbia with continuously variable bucket wheel revolution speed, capable to excavate both coal and overburden, with adjustments of cutting speed.

Since installation in 2004 until end of 2009 (some 20,000 operating hours) there were no recorded stoppages on this drive unit (except for filter cleaning at lubrication systems and breathers), thus the marks for components of this group are quite high.

Bucket wheel was refurbished, though no major damages were recorded, bringing it to very good condition. Bucket wheel bearings were modified but these later caused malfunc

Nakon dodatne intervencije 2009. godine, sistem za kopanje je u grupi ocena vrlo dobar do odličan.

Sistem za transport materijala – Ovaj sistem konstruktivno je kvalitetno projektovan tako da je i posle 16 godina rada dobio dobre ocene. Nakon servisa pogonskih grupa i prepravki sistema za zatezanje traka, ocena se podigla u solidno stanje. Od revitalizacije do kraja 2009. nije bilo značajnijih otkaza, sem redovnih zamena i popravki gumenih traka.

Sistem za transport bagera – U celini je dobio ocenu zadovoljavajući/dobar, pre svega zbog dominantne ocene mehanizma za upravljanje gusenicama i pripadajućih delova. Same pogonske grupe (6 komada) na osnovnoj mašini su dobile ocenu kritično. Motori jednosmerne struje, reduktori klasične konstrukcije, ali poddimenzionisani, predstavljali su stalni izvor otkaza. Na bagerima ovog tipa na Kosovu je zabeleženo 28 havarija reduktora za transport, /1/. Ugrađeni su novi reduktori pužno-planetnog tipa, veza motora i reduktora je izvedena preko kardanskog vratila. Motori su zamenjeni sa asinhronim motorima, koji su frekventno regulisani. Posebna pažnja konzorcijuma je usmerena ka dimenzionisanju reduktora i motora na osnovu proračuna potrebne snage za transport bagera. Stari motori su bili 45 kW, a novi 75 kW, svakako da su i reduktori morali biti adekvatno dimenzionisani.

Nakon ugradnje do 2009 nije bilo otkaza na pogonskim grupama.

Sistem za podizanje i spuštanje strele RT – U celini je ocenjen zadovoljavajući/dobar. Problem se javljao kod rada pri maksimalnoj dohvatnoj visini bagera sa izdizanjem kolica. Izvršena je demontaža kolica i prerađen je sistem za podmazivanje velikih kliznih ležajeva. Pojava izdizanja kolica je otklonjena. Nakon servisiranja i ostalih delova mehanizma, ocena je bila solidan.

Sistem za obrtanje gornje gradnje – Zbog teških uslova rada u Ćirikovcu, zupčasti venac je bio u dosta lošem stanju, veze venca i platforme su bile ozbiljno oštećene. Obrtna staza je pohabana u zoni strele radnog točka. Nabavljen je nov zupčasti venac i nova obrtna staza sa namerom da se u toku revitalizacije zameni. Nakon statičkih proračuna veza-nih za nov reduktor radnog točka, koji je lakši oko 12 tona od starog, stvorili su se uslovi da se težište gornje gradnje dovede u projektovani položaj i time stvore povoljniji uslovi za opterećenje obrtne staze, a što se i dogodilo. Konzorcijum eksperata je doneo odluku da se ne vrši zamena tih elemenata, već da se vrši godišnje praćenje habanja i da se reaguje prema stanju. Poznato je da se obrtna staza ne može regenerisati već je potrebno iskoristiti njene resurse do kraja. Prema analizi stanja, obrtna staza i venac biće zamenjeni u toku 2010. godine.

Noseća čelična konstrukcija – Kao što je i napomenuto, bageri SRs-1300 imaju dosta pouzdanu čeličnu konstrukciju. Ocena 4,87 (dobar/solidan) je pre svega zbog stanja AKZ koja je bila u dosta lošem stanju, u toku revitalizacije stvoreni su uslovi za ponovno farbanje bagera, pa je nakon toga i ocena stanja konstrukcije dosta povoljnija. U toku revitalizacije nije bilo većih intervencija na čeličnoj konstrukciji, ako se izuzme A ram. Svakako da je kompletna konstrukcija ispitana i proverena odgovarajućim metodama ispitivanja.

tions, hence the lower marks for this component. Following additional intervention in 2009, the digging system was marked as very good to excellent.

System for material haulage – this system is constructively well designed, thus gaining good marks after 16 years of operation. After drive units service and repairs on the system for belt tensioning, the mark is raised to substantially good. Following revitalisation until the end of 2009, there were no major failures, except for regular replacements and belt repairs.

System for excavator transport – as a whole was marked as satisfactory/good, mainly because of dominant mark of mechanism for track control with associated parts. Drive units (6 pieces) on the basic machine were marked as critical. Motors are with direct current and gear reductions are of classic design but undersized and were the source of frequent failures. Excavators of this type operating in Kosovo had 28 incidents at gear reductions on system for transport, /1/. New gear reductions of worm-planetary type were installed, while connection to the motor is via cardan shaft. Motors were replaced with asynchronous ones with frequency regulation. Particular attention was given to sizing of gear reduction and motors, according to calculation of required power for excavator transport. Old motors had 45 kW, while new ones had 75 kW, therefore, gear reductions had to be resized.

After installation, no malfunctions were recorded until 2009.

System for lowering and lifting of the beam BW – as a whole was marked as satisfactory/good. The problem occurred when excavator operated at maximal excavating height when the tram was lifting. The tram was disassembled and the system for lubrication of large sliding bearings was refurbished. This activity prevented further lifting of the tram. After service of other parts of the mechanism, this unit was marked as substantially good.

System for superstructure swinging – The large axial bearing was in a poor situation due to difficult conditions at Ćirikovac mine, with serious damage made at connections between gear and platform. Wear was detected on ball track in the zone of the beam. New gear and new ball track was acquired for replacement. After static calculations related to new gear reduction at bucket wheel, which is 12 tonnes lighter, the centre of the gravity is lowered and placed in a designed position, thus creating more favourable conditions for loading of the axial bearing. This situation was recorded during operation. Consortia members made a decision not to replace these components, but to annually monitor wearing and act according to condition. It is known that ball track cannot be refurbished, hence its resources must be used completely. Condition analysis of ball track and gear showed that these should be replaced during 2010.

Steel structure – As mentioned previously, SRs 1300 excavators have a very reliable steel structure. Mark 4.87 (good/substantial) is mainly due to AKZ which was in very poor condition. During revitalisation, preconditions were made to repaint the excavator, therefore after this mark of the structure was much more favourable. There where no interventions on the steel structure during revitalisation,

Pomoćna čelična konstrukcija – Tokom više godina rada, pomoćna konstrukcija se dosta promeni, ošteti, pohaba, deformiše. Ove vrste oštećenja se i na godišnjim remontima otklanjaju i dovode u jedno funkcionalno stanje, što je i u toku revitalizacije urađeno.

Elektro upravljanje i elektro napajanje – Ovu grupu bagera karakteriše da je elektro oprema izvorno iz Istočne Nemačke. Nakon ujedinjenja sa Zapadnom Nemačkom, niz firmi koje su proizvodile tu opremu su se jednostavno ugasile, ili su promenile proizvodni program. Nabavka relejne opreme i motora jednosmerne struje je postao značajan problem. Na primer cena motora jednosmerne struje za pogon transporta bagera je bila šest puta veća od običnog asinhronog motora! Sve je to ukazivalo da je potrebno elektro opremu uskladiti sa sadašnjim trendovima, odnosno, pristupiti radikalnim izmenama: ugrađena je frekventna regulacija na pogonu kopanja, na pogonu kružnog kretanja i na pogonu za transport bagera. Na ovim pogonima je ugrađena i oprema za nadzor tih pogona. Upravljanje je promenjeno i vodi se preko računara. Samo napajanje bagera je modifikovano ugradnjom kabl bubnja na donju gradnju.

Vredno je napomenuti da na ovim pogonima do kraja 2009. godine nije bilo zastoja, sem redovnog održavanja predviđenog uputstvima o servisu te opreme.

ZAKLJUČAK

Model ocene preostalih radnih mogućnosti rotornog bagera metodom primenjene ekspertske ocene sa empirijskim faktorom korekcije predstavlja efikasan matematički model za evaluaciju upotrebnog stanja rotornog bagera, procenu njegovih preostalih radnih mogućnosti i potencijalnih efekata revitalizacije. Model koristi postavke koje promovisu modeli višekriterijumske analize sa višeatributivnom ocenom i modelima na bazi primene teorije fazi skupova i fazi algebre, uz odgovarajuća prilagođavanja u cilju efikasnijeg definisanja preostalih mogućnosti rotornog bagera. Suština izloženog modela je u apsorpciji ekspertskih mišljenja preko ocena u lingvističkom obliku i njihovoj sintezi uz korekciju prema oceni noseće čelične konstrukcije, koja je procenjena da ograničava životni vek mašine. Subjektivizam koji neminovno nosi ekspertska procena sama po sebi, u ovom modelu je ograničen uvođenjem empirijskog korekcionog faktora prema ukupnim prosečnim zastojima na određenom kopu.

Izloženi model sa jedne strane integriše znanja i iskustva zaposlenih u projektovanju, eksploataciji i održavanju bagera, a sa druge strane definiše ograničenje koje ne dozvoljava da ekspertska mišljenja daju precenjene ili podcenjene rezultate.

Model je testiran na primeru bagera SRs-1300, Kostolac-Drmino, koji je pri tome prošao kroz određene revitalizacione aktivnosti. Smisao ostvarene revitalizacije je potvrđen i razlikom u ocenama koje su dobijene predstavljenim modelom.

LITERATURA – REFERENCES

1. Polovina, D., Metode utvrđivanja preostalih mogućnosti rotornih bagera u eksploataciji i revitalizaciji, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu (2010),

except for the A frame. The complete structure was examined and checked by suitable methods of examination.

Auxiliary steel structure – During numerous years of operation, the auxiliary structure is significantly changed, damaged, worn or deformed. Resolving of these damages was performed during annual repairs, thus bringing it to a functional condition, as performed during revitalisation.

Electrics, control and power supply – This excavator had electric equipment made in former East Germany. After Germany unification, numerous equipment manufacturers had closed or changed production programme. Acquisition of relaying equipment and direct current motors became a serious issue. For example, the price of direct current motor was six times larger than the price of a comparable asynchronous motor! All of this pointed to the necessity for adjustment with existing technical trends, i.e. to make some radical changes. Frequency regulation was installed on the digging system, superstructure swing system and system for excavator transport. Monitoring equipment was also installed on these drives. Also, computer control is introduced. Power supply is modified by installation of cable reel at the lower structure of the bucket wheel excavator.

It should be mentioned that these units did not have any recorded stoppage until the end of 2009, except for regular maintenance, planned according to instructions of the equipment manufacturer.

CONCLUSION

The model for evaluating the remaining capabilities of the bucket wheel excavator by applied expert evaluation method with an empirical correction factor presents an efficient mathematical model for assessing the excavator operating condition, as well as for assessment of remaining capabilities and potentials of revitalisation. This model uses postulates promoted by models of multi-criterion analysis with multi-attribute evaluation and models based on fuzzy sets and fuzzy algebra, with suitable adjustments for enabling efficient definition of remaining capabilities of bucket wheel excavator. The essence of the presented model is in an absorption of expert opinions by marks in linguistic form and their synthesis with corrections made according to the evaluation of the steel structure, which limits operational life of the machine. Unavoidable subjectivity of expert evaluation is limited in this model by introduction of an empirical factor, calculated according to total stoppages of equipment operating on the considered open cast mine.

The presented model integrates knowledge and experience of employees in design, operation and maintenance, and on the other hand, it defines limitations to expert assessment regarding overestimated and underestimated results.

The model is tested on the bucket wheel excavator SRs 1300 which operates in Kostolac ad Drmino open cast mines, and has undergone the revitalisation process. Results of performed revitalisation are confirmed by marks determined by the presented model.

(Methods for determining the remaining capabilities of excavators in-service and revitalisation), Doctoral thesis in Serbian, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology (2010).

2. Nikolić, I., Borović S., Višekriterijumska optimizacija, Centar vojnih škola, Beograd 1996.
3. Studija: *Produžetak radnog veka osnovne opreme na površinskim kopovima uglja EPS-a, I faza Rotorni bageri*, RGF, Beograd 2004. (Study: *Operating life extension of main facilities on EPS surface coal mines, Phase I Excavators*, in *Serbian University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, 2004*).
4. Subašić, P., Fazi logika i neuronske mreže, Tehnička knjiga, Beograd, 1997.
5. Tanasijević, M., Sigurnost funkcionisanja mehaničkih komponenti rotornog bagera, Doktorska disertacija, RGF, Beograd, 2007. (Doctoral thesis in Serbian, *Operational safety of mechanical components of excavator*, *University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, 2007*).
6. Todorović, J., Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Beograd, 1993.
7. Ivković, S., Otkazi elemenata rudarskih mašina, RGF, Beograd 1997.
8. 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.
9. Maneski, T., Sedmak, A., *Integritet konstrukcije, Int. i vek konst.* (in Serbian, *Struc. Int. and Life*), Vol.1, No2, 2001, pp.107-110.
10. Gubeljak, N., *Primena stereometrijskog merenja na integritet konstrukcija, Int. i vek konst. (Application of stereometric measurement on structural integrity, Struc. Int. and Life)*, Vol.6, No1-2, 2006, pp.65-74.
11. Wang, J., Yang, J.B., Sen, P., *Safety analyses and synthesis using fuzzy sets and evidential reasoning*, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 47, 1995, pp.103-118.