

RANGIRANJA BAGERA ZA NJIHOVU REVITALIZACIJU PRIMENOM VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE

Ivan Obradović, Dragan Ignjatović, Ranka Stanković, Ljiljana Ivković
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET, Đušina 7, 11000 Beograd

Sažetak: *Obzirom da je na našim površinskim kopovima trenutno u eksploataciji veći broj rotornih bagera sa sličnim tehničkim karakteristikama i približno istom starošću postavlja se pitanje kako rangirati bagere, i kojim redom da se izvrši njihova revitalizacija. Za ocenu stanja i rangiranje ovako velikog broja bagera najpogodnije se pokazalo korišćenje višekriterijumskih metoda sa višeatributnom ocenom, odnosno bodovanje referentnih indikatora stanja bagera na osnovu ekspertske ocene. U ovom radu prikazan je metodološki pristup koji je korišćen prilikom izrade Studije «Produžetak radnog veka opreme na površinskim kopovima uglja Elektroprivrede Srbije».*

KLJUČNE REČI: ROTORNI BAGERI, REVITALIZACIJA, RANGIRANJE, VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA

Abstract: Due the fact that numerous bucket wheel excavators with similar technical characteristics and age operate in open pit mines in Serbia at this moment, the questions of their ranking and revitalization priority arises. Estimation of the current state and ranking of such a large number of machines is best performed by multicriteria methods with multiattribute grades, using ranking of referential indicators based on expert grading.

This paper demonstrates the methodological approach used during the development of the feasibility study: Increasing of equipment work life in EPS open pit mines.

KEY WORDS: BUCKET WHEEL EXCAVATORS, REVITALIZATION, RANKING, MULTICRITERIA ANALYSIS

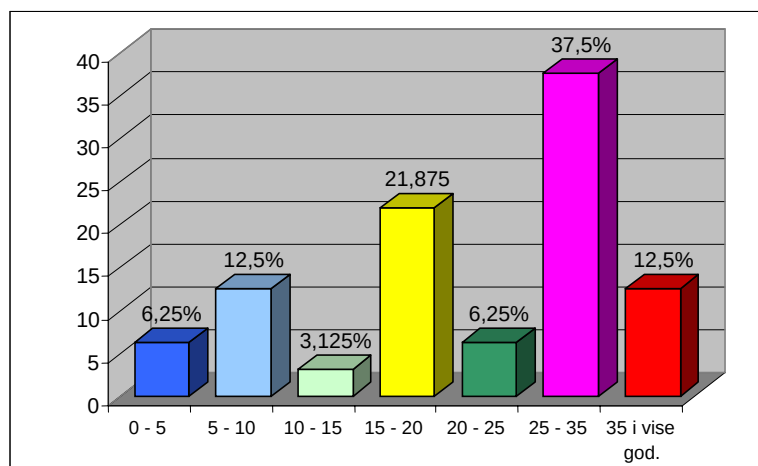
1. UVOD

Na svim površinskim kopovima u Srbiji se primenjuje kontinualna tehnika eksploatacije, tj. primena BTO sistema na otkopavanju jalovine, odnosno BTU ili BTU sistema za otkopavanje uglja zahvaljujući povoljnim ležišnim uslovima.. BTO sisteme čine: rotorni bageri ili bageri vedričari, transporter i sa gumenom trakom i odlagači, a. BTU: rotorni bageri ili bageri vedričari, transporter i sa gumenom trakom i utovarna mesta ili drobilna postrojenja. Osnov za rad ovakvih sistema su, svakako, rotorni bageri i, u manjoj meri, vedričari.

Prvi rotorni bageri su nabavljeni početkom 50-tih godina kada je za počela masovnija eksploatacija lignita na površinskim kopovima, mada se masovnija upotreba vezuje za otvaranje prvih velikih površinskih kopova krajem 60-tih godina. Počevši sa prvim nabavljenim rotornim bagerom SchRs 250 pa do danas, u Srbiji u eksploataciji na površinskim kopovima u basenima Kolubara, Kostolac i Kosovo u radu se koristi preko 50 rotornih bagera. Rotorni bageri su nemačke proizvodnje i nabavljani su, zavisno od komercijalnih uslova, od različitih proizvođača: TAKRAF, O&K, KRUPP i dr., i u periodu od više decenija, što je uslovalo njihovu veliku raznolikost, i posebno otežalo održavanje.

Na slici 1 prikazana je starosna struktura rotornih bagera u Srbiji. Sa slike se vidi da je većina rotornih bagera u eksploataciji 25 i više godina, što se prema ranijim preporukama proizvođača smatralo za optimalni ekonomski vek ovih mašina. Kako je, takođe prema preporukama proizvođača, vek čelične konstrukcije oko 50 godina (radni vek bagera je limitiran trajnošću čelične

konstrukcije), neophodno je izvršiti detaljnu kontrolu stanja čelične konstrukcije i izvršiti njihovu eventualnu sanaciju/rekonstrukciju, kako bi dobili pouzdanu mašinu za rad u narednih 20-25 godina. Naravno, pored revitalizacije čelične konstrukcije bagera neophodno je izvršiti i modernizaciju mašinske i elektro opreme. Ovo je neophodno izvršiti tim pre što se radi o mašinama koje imaju dug eksploatacioni vek za koji su po pravilu evidentniji osetni pomaci u razvoju upotrebljene tehnike i novih materijala.



slika 1. Starosna struktura rotornih bagera u Srbiji (2004.god)

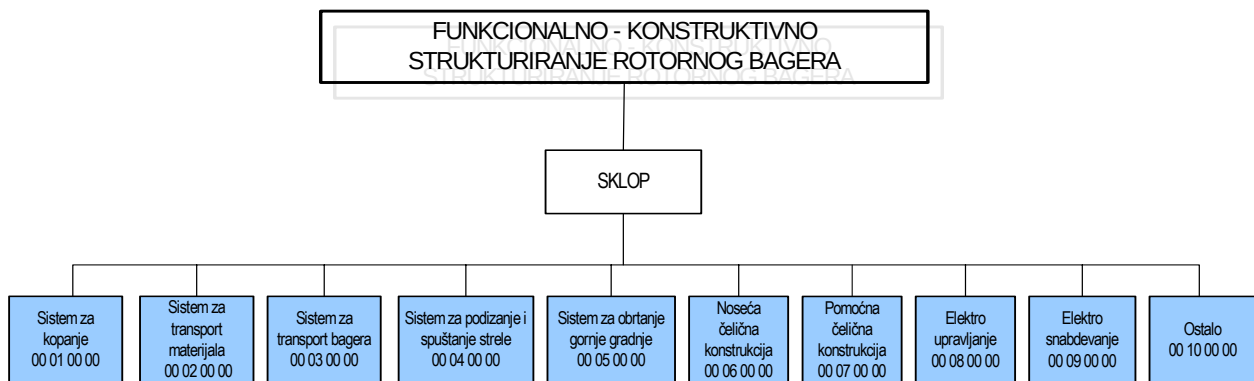
2. OCENA STANJA I RANGIRANJE BAGERA

U eksploataciji je veći broj rotornih bagera sa sličnim tehničkim karakteristikama i približnom starošću, pa se postavlja pitanje kako rangirati ove bagere, odnosno kojim redom da se izvrši njihova revitalizacija, tj. produžetak radnog veka. Ulazak u remont radi revitalizacije i modernizacije zasniva se na proceni tehničkog stanja bagera, tako da je pre početka revitalizacije neophodno izvršiti brojna i detaljanja ispitivanja, počev od utvrđivanja opterećenja, izrade modela, kontrole težišta, geodetskog snimanja, merenja napona i ubrzanja i brojnih drugih ispitivanja. Kako su ova ispitivanja dugotrajna i skupa nije ih moguće primeniti istovremeno na većem broju bagera. Iz tih razloga odluka se mora doneti na osnovu inženjerskog iskustva i ekspertske ocene.

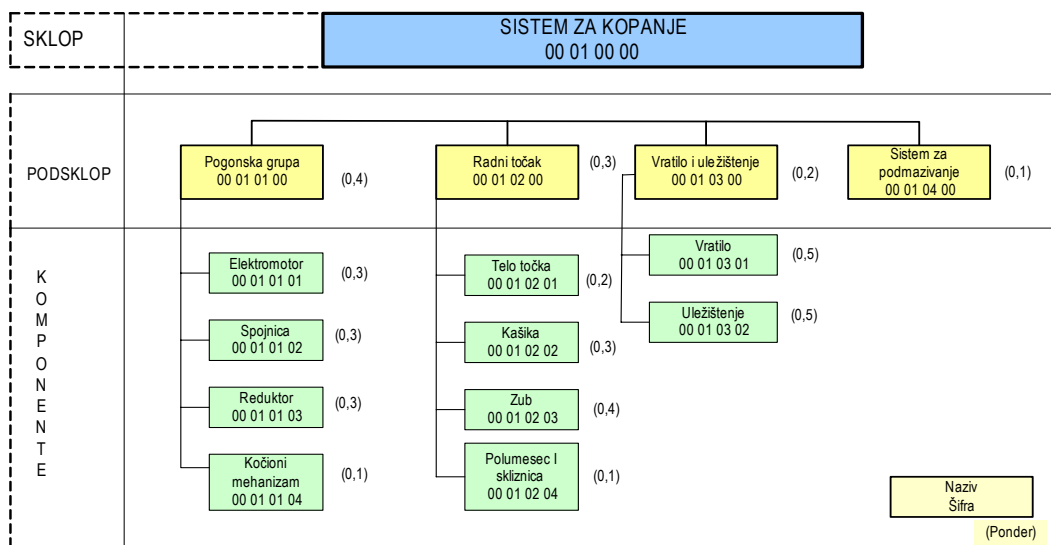
Analize ocene stanja i rangiranje bagera je vršeno sa više optimizacionih metoda, ali se kod ovako velikog broja bagera kao najpogodnije pokazalo korišćenje višekriterijumskih metoda sa višeatributivnom ocenom, odnosno bodovanje referentnih indikatora stanja bagera na osnovu ekspertske ocene korisnika bagera. Početni uslov za ocenjivanje bagera je njegova strukturalna i funkcionalna podela. Naime, neophodno je da se bager podeli u sisteme prema njihovoj funkcionalno-konstruktivnoj nameni. Prema toj podeli bager je podeljen u 10 sistema (sklopova), što je prikazano na slici 2. Oni su dalje podeljeni na podsklopove, a oni na komponente, kao što je prikazano na primeru sistema za kopanje (slika 3).

Rangiranje se vrši na osnovu kriterijuma, odnosno atributa koji predstavljaju ocene pojedinih komponenti bagera od strane eksperata. Naime, elementi bagera su hijerarhijski strukturirani na tri nivoa u: sklopove (I nivo), podsklopove (II nivo) i komponente (III nivo). Svaki element označen je jedinstvenom osmociifrenom šifrom, pri čemu prve dve cifre predstavljaju oznaku bagera, a od narednih šest cifara, po dve su oznaka za svaki od tri nivoa strukture, respektivno. Šifra zavisi od položaja elementa u hijerarhijskoj strukturi, odnosno od nivoa na kome se nalazi kao i od toga kojim elementima višeg nivoa pripada (za elemente II i III nivoa). Tako je, na primer, sklop *sistem za kopanje* bagera sa oznakom 00, kao element I nivoa označen šifrom 00010000, njegov podsklop

pogonska grupa, kao element II nivoa šifrom 00010100, a komponenta ovog podsklopa *elektromotor* šifrom 00010101.



slika 2. Funkcionalno-konstruktivno strukturiranje bagera



slika 3. Funkcionalna podela sistema za kopanje

Ocene komponenti, odnosno elementa bagera se kreće u rasponu od 1 do 10. Svaka komponenta dobija svoju ocenu i ocene elemenata na najnižem hijerarhijskom nivou, dakle elemenata koji se dalje ne razlažu u hijerarhijskoj strukturi daju eksperti na osnovu svoje subjektivne procene za konkretan bager. Ocene elemenata koje se u hijerarhiji razlažu na elemente nižeg hijerarhijskog nivoa formiraju se metodom normalizovanih aditivnih težina a na osnovu ocena elemenata na prvom nižem hijerarhijskom nivou i odgovarajućih težinskih faktora (pondera) kojima se pojedine ocene množe. Vrednosti pondera se kreću od 0 do 1, i normalizovane su, odnosno zbir im je jednak 1, kako bi se obezbedilo da se i ocene koje se formiraju metodom aditivnih težina takođe nalaze u rasponu od 1 do 10. Dakle, ukoliko i -ti element I nivoa e_i u hijerarhijskoj strukturi sadrži elemente nižeg nivoa onda se njegova ocena dobija kao suma ocena n_i elemenata II nivoa e_{ij} ($j = 1, \dots, n_i$) koji se u hijerarhijskoj strukturi nalaze ispod tog elementa, pomnoženih odgovarajućim težinskim faktorima w_{ij} :

$$e_i = \sum_{j=1}^{n_i} e_{ij} w_{ij}, \text{ pri čemu je } \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} = 1. \quad (1)$$

Ako se element I nivoa e_i u hijerarhijskoj strukturi ne razlaže na elemente nižeg hijerarhijskog nivoa, onda mu ocenu neposredno dodeljuje ekspert. Na slici 4 je prikazan panel softvera RotBag sa strukturom bagera, njegovim ocenama i težinskim koeficijentima.

Crystal Reports Izveštaji za RotBag

MainReport

RUBARNO-GROBNI FAKULTET
BEOGRAD
BUŠINA 7

Kumulativni indikatori stanja bagera

DR Ocene bagera 63 SRs 470 - B13

Elementi	Ocena	Ponder	Podsklopovi	Ocena	Ponder	Sklopovi	Ocena	Ocene
63010000 Sistem za kopanje						5.00		5
63010100 Pogonska grupa			5.00	0.40				
63010101 Elektromotor	0	0.30						0
63010102 Spojnica	9	0.30						9
63010103 Reduktor	1	0.30						1
63010104 Kočioni mehanizam	8	0.10						8
63010200 Radni točak			3.00	0.30				3
63010201 Telo točka	7	0.20						7
63010202 Kašika	1	0.30						1
63010203 Zub	1	0.40						1
63010204 Polumeseč i kliznica	6	0.10						6
63010300 Vratilo i uležištenje			8.00	0.20				8
63010301 Vratilo	-1	0.50						-1
63010302 Uležištenje	-1	0.50						-1
63010400 Sistem za podmazivanje			7.00	0.10				7
63020000 Sistem za transport materijala						8.00		8
63020100 Pogon trake			8.00	0.30				8
63020101 Elektromotor	0	0.30						0
63020102 Spojnica	8	0.30						8
63020103 Reduktor	8	0.30						8
63020104 Kočioni mehanizam	8	0.10						8
63020200 Obrtni delovi			9.00	0.25				9
63020201 Bubnjevi	9	0.60						9
63020202 Rolne	9	0.40						9
63020300 Čelična konstrukcija			7.00	0.20				7
63020301 Konstrukcija trake	9	0.20						9
63020302 Levkovi, odbojne ploče	7	0.40						7
63020303 Zatezanje trake	7	0.40						7
63020400 Gumena traka			10.00	0.05				10
63020500 Sistem za podmazivanje	7	7.00	0.10					7
63020600 Ostalo			8.00	0.10				8
63030000 Sistem za transport bagera						8.00		8
63030100 Pogonska grupa			9.00	0.25				9
63030101 Elektromotor	0	0.30						0
63030102 Spojnica	9	0.30						9
63030103 Reduktor	8	0.30						8
63030104 Kočioni mehanizam	9	0.10						9
63030200 Konstrukcija			6.00	0.25				6
63030201 Nosaci	8	0.20						8

Current Page No.: 34 Total Page No.: 34+ Zoom Factor: 75%

Slika 4. Primer ocenjivanja jednog bagera po predloženoj metodologiji

Analogno, ocena j -tog elementa II nivoa e_{ij} koji se u hijerarhiji nalazi ispod elementa e_i dobija se kao suma ocena n_{ij} elemenata III nivoa e_{ijk} ($k = 1, \dots, n_{ij}$) koji se u hijerarhijskoj strukturi nalaze ispod elementa e_{ij} , pomnoženih odgovarajućim težinskim faktorima w_{ijk} :

$$e_{ij} = \sum_{k=1}^{n_{ij}} e_{ijk} w_{ijk}, \text{ pri čemu je } \sum_{k=1}^{n_{ij}} w_{ijk} = 1. \quad (2)$$

Ako se element II nivoa e_{ij} u hijerarhijskoj strukturi ne razlaže na elemente nižeg hijerarhijskog nivoa, onda mu ocenu neposredno dodeljuje ekspert. Vrednosti svih težinskih faktora elemenata na II i III nivou w_{ij} i w_{ijk} , koje takođe zadaju eksperti, su fiksne.

Vrednosti atributa bagera, na osnovu kojih se vrši višeatributno rangiranje formiraju se na osnovu ocena elemenata I nivoa, kojih ima ukupno 10. Definisano je pet atributa: *srednja vrednost*, *dužina otklanjanja kvara*, *vek trajanja*, *prilagodljivost radnoj sredini* i *otkazi i njihova učestalost*. Vrednost p -tog atributa a_p ($p = 1, \dots, 5$) dobija se kao suma ocena svih 10 elemenata I nivoa e_i ($i = 1, \dots, 10$) pomnoženih odgovarajućim težinskim faktorima ω_i^p :

$$a_p = \sum_{i=1}^{10} e_i \omega_i^p, \text{ pri čemu je } \sum_{i=1}^{10} \omega_i^p = 1. \quad (3)$$

Vrednosti težinskih faktora ω_i^p , zadatih od strane eksperata jedinstvene su za prvih četiri atributa: *srednja vrednost*, *pogodnost za održavanje*, *vek trajanja*, *kompatibilnost sa radnom sredinom*, dok za atribut *otkazi i njihova učestalost* zavise od tipa bagera.

Opisanim postupkom se, dakle, za svaki bager formira 5-dimenzioni vektor atributa $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$, pri čemu je $1 \leq a_p \leq 10$ ($p = 1, \dots, 5$). Nakon toga se može pristupiti rangiranju bagera primenom neke od raspoloživih metoda višeatributnog rangiranja. Postoji veći broj tih metoda, a u slučaju rangiranja bagera kao jedna od najjednostavnijih, koja je istovremeno potpuno u skladu sa načinom generisanja vrednosti atributa, korišćena je metoda jednostavnih aditivnih težina. Pri tome su vrednosti težinskih faktora normalizovane, kao što je to učinjeno i prilikom generisanja vrednosti atributa.

U prvom koraku, polazeći od ocena koje dodeljuju eksperti i zadatih težinskih faktora dobijaju se vrednosti atributa za svaki pojedinačni bager. Na slici 5 je prikazan panel razvijenog softvera na kom su prikazani zbirni rezultati ocenjivanja. Na osnovu ovih polaznih podataka formira se osnovna tabela bagera i vrednosti njihovih atributa (tabela 1), pri čemu su uvedene simboličke oznake za attribute a_p ($p = 1, \dots, 5$) i bagere b_q ($q = 1, \dots, 6$). Zbog ograničenog prostora, realan problem rangiranja 26 bagera je u radu prikazan u skraćenom obliku kroz primer sa 6 bagera.

Zbimo		Srednja vrednost	Dužina trajanja otklanjanja kvara	Vek trajanja opreme	Prilagodljivost radnoj sredini	Otkazi i njihova učestalost
C 700	TI G3	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
SchRs	1760PD G9	8.50	8.60	8.60	8.50	8.60
SchRs	630 PD G7	6.38	6.80	8.00	4.90	6.00
SchRs	630 TI G2	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
SchRs	630 TZ G1	8.70	8.60	9.00	8.70	8.80
SchRs	630 TZ G4	9.20	9.20	9.40	9.20	9.10
SchRs	800 DR B8	7.27	6.90	7.60	7.70	7.60
SH	630 CI 8	6.99	7.10	7.20	7.30	6.30
SRs	1200 PD G1	6.18	6.30	6.50	6.60	5.30
SRs	1200 PD G3	4.70	4.30	5.30	5.10	5.00
SRs	1200 PD G4	6.62	6.60	6.80	6.80	6.40
SRs	1200 PD G5	6.62	6.60	6.80	6.80	6.40
SRs	1200 PD G6	6.62	6.60	6.80	6.80	6.40
SRs	1300 DR 13		0.00	0.00	0.00	0.00
SRs	1300 PD G8	8.53	8.60	8.70	8.50	8.30
SRs	2000 DR 1	7.82	7.50	7.90	7.80	8.60
SRs	2000 DR 2	7.63	7.40	7.90	7.80	7.90

Slika 5. Vrednosti atributa dobijene na osnovu ocena eksperata i težinskih faktora

Tabela 1. Vrednosti atributa za 6 bagera koji se rangiraju

Bageri	Vrednosti atributa				
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
b_1	8.07	8.55	8.08	8.55	8.43
b_2	7.24	6.79	6.75	6.79	4.86
b_3	6.19	6.27	5.23	6.27	6.60
b_4	5.61	4.23	5.20	4.23	5.07
b_5	6.59	6.59	6.38	6.59	6.73
b_6	8.28	8.59	8.27	8.59	8.54

Ako sa a_p^q označimo vrednost p -tog atributa za q -ti bager, a sa λ_p vrednost težinskog faktora atributa a_p zadatu od strane ekseprata, onda se konačna numerička ocena svakog bagera l_q ($q=1,\dots,6$), formira kao suma vrednosti atributa a_p^q ($p=1,\dots,5$) pomnoženih odgovarajućim težinskim faktorima λ_p :

$$l_q = \sum_{p=1}^5 \lambda_p a_p^q, \text{ pri čemu je } \sum_{p=1}^5 \lambda_p = 1. \quad (4)$$

Rang lista bagera formira se na osnovu vrednosti konačnih numeričkih ocena.

U Tabeli 3 date su konačne numeričke ocene i rang lista bagera za vrednosti atributa iz Tabele 1 i zadate težinske faktore λ_p iz Tabele 2. Kao što se vidi iz tabele 3 bager pod rednim brojem četiri ima najslabiju ocenu i stoga se predlaže se da ovaj bager prvi uđe u pripremne radove i ispitivanja za proces revitalizacije.

Tabela 2. Vrednosti težinskih faktora atributa bagera

Težinski faktori				
λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5
0.15	0.2	0.25	0.3	0.1

Tabela 3. Vrednosti konačnih numeričkih ocena bagera i njihov rang

Bager	Konačna ocena	Rang
b_1	8,35	2
b_2	6,65	3
b_3	6,03	5
b_4	4,76	6
b_5	6,55	4
b_6	8,46	1

3. ZAKLJUČAK

Da bi se dobila opšta slika o stanju bagera i odredili prioriteti za ulazak u proces revitalizacije, a budući da su detaljna ispitivanja skupa i dugotrajna i neprimenljiva na većem broju bagera istovremeno, za donošenje inicijalne odluke kao najpogodnija se pokazala metoda višekriterijumske analize sa višeatributnom ocenom koja se donosi na osnovu eksperstke ocene. Programski sistem RotBag, razvijen na Rudarsko-geološkom fakultetu daje softversku podršku prikazanom rešenju.

4. LITERATURA

- [1] Nikolić I., Borović S. (1996.) VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA, Metode, primena u logistici, softver, Centar vojnih škola Vojske Jugoslavije.
- [2] Studija (2004.) PRODUŽETAK RADNOG VEKA OPREME NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA ELEKTROPRIVREDE SRBIJE, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [3] NIP (2002-2004.) REVITALIZACIJA I MODERNIZACIJA SISTEMA ROTORNI BAGER – TRANSPORTER – ODLAGAČ NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA LIGNITA, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.