

Analiza efikasnosti rada rotornih bagera SRs2000.32/5+VR angažovanih na površinskim kopovima Elektroprivrede Srbije

FILIP M. MILETIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko–geološki fakultet, Beograd
MARKO D. LAZIĆ, Pro Tent d.o.o.
Površinski kop Tamnava–Zapadno polje
PREDRAG D. JOVANČIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko–geološki fakultet, Beograd
STEVAN P. ĐENADIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko–geološki fakultet, Beograd
DRAGAN M. IGNJATOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko–geološki fakultet, Beograd

Stručni rad
UDC: 622.271.5(497.11)
621.879.48
DOI: 10.5937/tehnika1906795M

Velika kapitalna ulaganja pri kupovini osnovne opreme za imperativ imaju što veće iskorišćenje. Jedan od pokazatelja efikasnosti rada velikih sistema na našim površinskim kopovima je ostvarena proizvodnja. Pored nje, izuzetno bitan segment predstavljaju i kvarovi koji izazivaju veoma velike troškove usled stajanja sistema i njihovog otklanjanja. U ovom radu izvršena je uporedna analiza dva rotorna bagera tipa 2000 i to sa aspekta efektivnog vremena rada, ostvarene proizvodnje i zastoja sistema sa ciljem da se ukaže na uticaj pojedinačnih faktora na konačne rezultate pri ocenjivanju rada sistema.

KLjučne reči: rotorni bager SRs2000, proizvodnja, zastoji, metode višekriterijumskog odlučivanja

1. UVOD

U ovom radu analizirani su rotorni bageri SRs2000 angažovani na kopovima Elektroprivrede Srbije. S obzirom na izuzetne kapacitetne mogućnosti ovih bagera, interesantno je sagledati iskorišćenost istih u uslovima naših površinskih kopova.

U konkretnom slučaju, analizirana su dva potpuno ista bagera, koja vrše eksploataciju na različitim kopovima. Reč je o jalovinskim sistemima: III BTO sistem PK Drmno, i I BTO sistem Tamnava–Zapadno polje. Pomenuti bageri počeli su da rade u približno isto vreme, sredinom devedesetih godina, pa je uzorak podataka koji su bili dostupni, a kasnije i obrađeni u ovom radu, izuzetno velik.

Analizirani period je prvih dvadeset godina eksploatacije, s tim što je prva godina rada izbačena iz analize. Razlog je što bageri nisu počeli da rade u isto vreme, pa podaci nisu međusobno uporedivi. Ovaj rad

ima za cilj da ukaže na efikasnost rada ovih bagera, na osnovu ulaznih podataka o ostvarenoj proizvodnji, efektivnim satima, vremenskom i kapacitetnom iskorišćenju i zastojima koji su pratili rad ovako velikih sistema.

2. OPŠTE O ROTORNIM BAGERIMA

Rotorni bager predstavlja samohodnu mašinu kontinuiranog dejstva, namenjenu za otkopavanje jalovine i korisne mineralne sirovine na površinskim kopovima. Otkopavanje materijala vrši se vedricama koje su ravnomerno raspoređene i pričvršćene na obodu rotora. Istovremeno sa obrtanjem rotora u vertikalnoj ravni i okretanjem strele zajedno sa platformom u horizontalnoj ravni, svaka vedrica otkopava iz masiva odrezak koji je određen oblikom i geometrijskim parametrima. Obrtanjem rotora i nailaskom punih vedrica u zonu istovarnog sektora, materijal se prazni iz vedrica, predaje prijemnom transporteru sa trakom na strelu rotora i dalje redom, zavisno od broja transportera na bageru, poslednjem, istovarnom transporteru. [1]

2.1. Rotorni bageri SRs2000

Na površinskim kopovima Elektroprivrede Srbije angažovano je ukupno četiri bagera SRs2000, od čega

Adresa autora: Filip Miletić, Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko–geološki fakultet, Beograd, Đušina 7
e-mail: filip.miletic@rgf.bg.ac.rs
Rad primljen: 09.05.2019.
Rad prihvaćen: 01.11.2019.

su tri identična. U ovom radu analizirana su dva i to po jedan iz Kostolačkog, odnosno, Kolubarskog basena uglja. Odluka o tome koji bageri će biti podvrgnuti analizi donešena je na osnovu početka rada tih bagera. Pa tako, bager koji nije uzet u obzir je bager III sa V BTO sistema površinskog kopa Drmno, iz razloga što je počeo sa eksploatacijom relativno skoro, 2009. godine. Na slikama 1 i 2 predstavljeni su analizirani rotorni bageri.



Slika 1 - Rotorni bager SRs2000.32/5+VR-Drmno



Slika 2 - Rotorni bager SRs2000.32/5+VR-Tamnava

3. DEFINISANJE ULAZNIH PARAMETARA

Ulazni parametri za analizu su veoma kompleksni i odnose se, pre svega, na ostvarenu proizvodnju, efektivno vreme rada bagera, vremensko i kapacitetno iskorišćenje i zastoje koji su ga pratili. Od pomenutih zastoja, izdvojeni su sledeći:

- mašinski zastoji;
- tehnološki zastoji;
- elektro zastoji;
- vulkanizerski zastoji;
- servis; i
- investiciono održavanje.

Servisno održavanje na rudnicima izvodi se periodično, na 10 do 15 dana, ili na osnovu preporuke proizvođača opreme. Radove izvode servisne grupe koje su ekipirane za popravku/servis određene vrste opreme. Servisni radovi traju uglavnom jednu smenu, ređe do dve, a u nekim slučajevima i mnogo manje, u zavisnosti od preporuka proizvođača opreme. Servisi se izvode prema servisnim listama koje su sačinjene:

- na osnovu naloga i zapažanja tekućeg održavanja;
- na osnovu propisa proizvođača opreme.

Tokom servisa neophodna je sinhronizacija između mašinske i elektro-službe, pošto se obe vrste radova izvode istovremeno. Potvrda i overa izvršenih radova

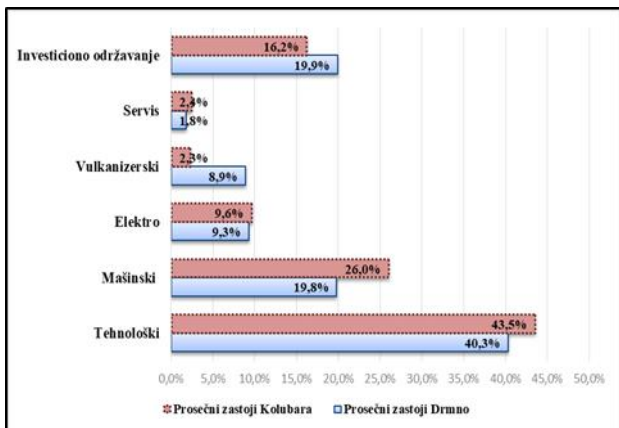
prilikom servisa vrši se pismenim putem od strane nadzornog osoblja sistema, čiji je servis vršen.

Remontno održavanje na osnovnoj opremi vrši se najčešće jednom godišnje, ili jednom u dve ili više godina. Tokom remonta popravljaju se sva oprema koja pripada jednom sistemu. Uobičajno trajanje remonta je 20–30 dana, a duža trajanja se javljaju ako se tokom remonta mora zameniti neki od sklopova koji se ne menja svake godine. Remontne radove vrše radnici odgovarajuće spoljne kompanije, ili radnici rudnika kome oprema pripada [2]. Što se tiče analize vršene kroz ovaj rad, uzeti su podaci za period od prvih dvadeset godina eksploatacije, s tim što je isti podeljen u četiri ciklusa od po pet godina. Razlog tome je detaljnije sagledavanje iskorišćenosti bagera tokom dosadašnje upotrebe. U tabeli 1. dati su ulazni podaci o ostvarenoj proizvodnji i radnim satima za bager sa površinskog kopa Drmno, odnosno za bager angažovan na jalovinskom sistemu Tamnava–Zapadno polje. Sa druge strane, procentualna zastupljenost pojedinačnih zastoja za oba sistema prikazana je na slici 3.

Tabela 1. Ostvarena proizvodnja i radni sati

| Površinski kop Drmno, III BTO sistem SRs2000.32/5 | | | | | |
|--|---|---------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| Prvih 10 godina eksploatacije | | | Drugih 10 godina eksploatacije | | |
| Peri od | P ¹ , 10 ⁶ m ³ | Radni sati, h | Period | P, 10 ⁶ m ³ | Radni sati, h |
| 1998 | 5,9 | 3.702 | 2008. | 10,6 | 4.411 |
| 1999 | 5,8 | 3.643 | 2009. | 10,7 | 4.073 |
| 2000 | 4,7 | 3.643 | 2010. | 9,5 | 4.155 |
| 2001 | 4,5 | 3.271 | 2011. | 8,8 | 4.164 |
| 2002 | 6,5 | 3.234 | 2012. | 8,6 | 3.899 |
| 2003 | 7,8 | 3.835 | 2013. | 8,8 | 3.834 |
| 2004 | 6,5 | 2.729 | 2014. | 8,5 | 3.355 |
| 2005 | 8,2 | 3.467 | 2015. | 9,2 | 3.569 |
| 2006 | 9,8 | 3.841 | 2016. | 8,7 | 3.650 |
| 2007 | 9,1 | 3.929 | 2017. | 10,3 | 4.035 |
| Površinski kop Tamnava–Zapadno Polje, I BTO sistem SRs2000.32/5 | | | | | |
| Prvih 10 godina eksploatacije | | | Drugih 10 godina eksploatacije | | |
| Peri od | P, 10 ⁶ m ³ | Radni sati, h | Period | P, 10 ⁶ m ³ | Radni sati, h |
| 1996 | 6,4 | 3.356 | 2006. | 10,3 | 4.164 |
| 1997 | 7,2 | 3.894 | 2007. | 13 | 4.709 |
| 1998 | 6,9 | 4.315 | 2008. | 14,5 | 4.977 |
| 1999 | 5,3 | 3.136 | 2009. | 13,1 | 4.999 |
| 2000 | 5,6 | 3.149 | 2010. | 11,9 | 4.753 |
| 2001 | 6,2 | 3.629 | 2011. | 10,8 | 4.172 |
| 2002 | 5,6 | 3.471 | 2012. | 12,8 | 5.242 |
| 2003 | 9,4 | 4.466 | 2013. | 12,2 | 4.960 |
| 2004 | 9,4 | 4.730 | 2014. | 9 | 4.269 |
| 2005 | 7,3 | 3.656 | 2015. | 9,7 | 4.279 |

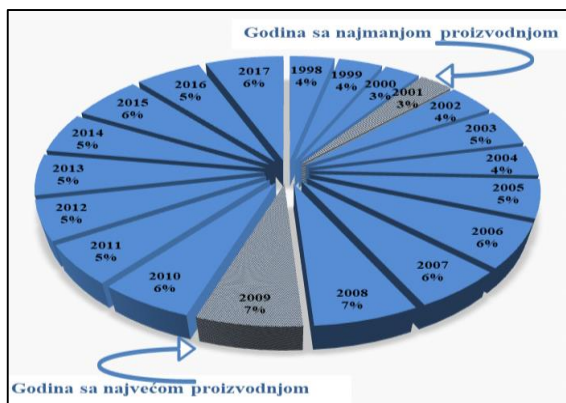
¹Ostvarena proizvodnja po godinama izražena u milionima m³



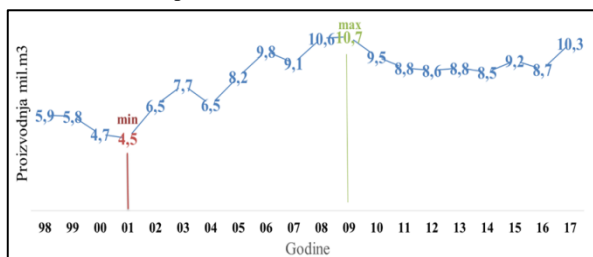
Slika 3 - Procentualna zastupljenost pojedinačnih zastoja za oba sistema

3.1. Analiza ostvarene proizvodnje u odnosu na zastoje sistema – površinski KOP „Drmno“

S obzirom da proizvodnja u najvećoj meri pokazuje efikasnost rada sistema, dato je njeno kretanje za period od dvadeset godina, kako za bager sa III BTO sistema površinskog kopa Drmno, tako i za bager koji je angažovan na prvom jalovinskom sistemu Tamnave–Zapadno polje. Na slici 4. prikazano je procentualno učešće proizvodnje za prvih dvadeset godina rada bagera u Kolubarskom basenu.



Slika 4(a) - Procentualno učešće proizvodnje za analizirani period

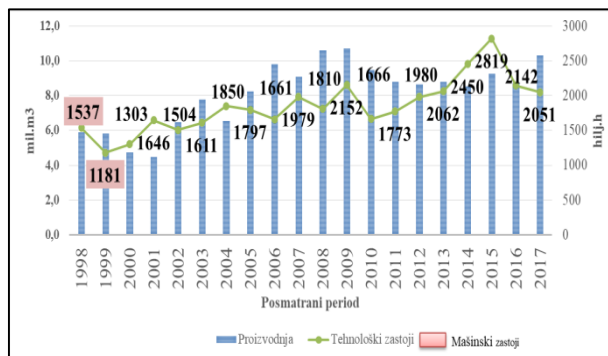


Slika 4(b) - Kretanje proizvodnje po godinama

Sagledavanjem dijagrama prikazanih na slici 4. može se zaključiti da se proizvodnja nije kretala linearno. Interesantno, veću proizvodnju bager je ostvarivao nakon prvih deset godina rada, što generalno nije čest slučaj na našim površinskim kopovima jer se u tom

periodu javljaju povećani zastoji sistema usled kvarova na opremi. Procentualno, najmanja proizvodnja bila je 2001. godine i iznosila je 4,5 miliona m³ jalovine. Sa druge strane, rekordna godina po pitanju proizvodnje je 2009. kada je otkopavano 10,7 miliona. Takođe, za kvartal od prvih pet godina uočen je pad proizvodnje od prve do pete godine, iako zastoji u tom periodu nisu preterano izraženi. Nakon pete godine rada, proizvodnja naglo raste do maksimalne vrednosti.

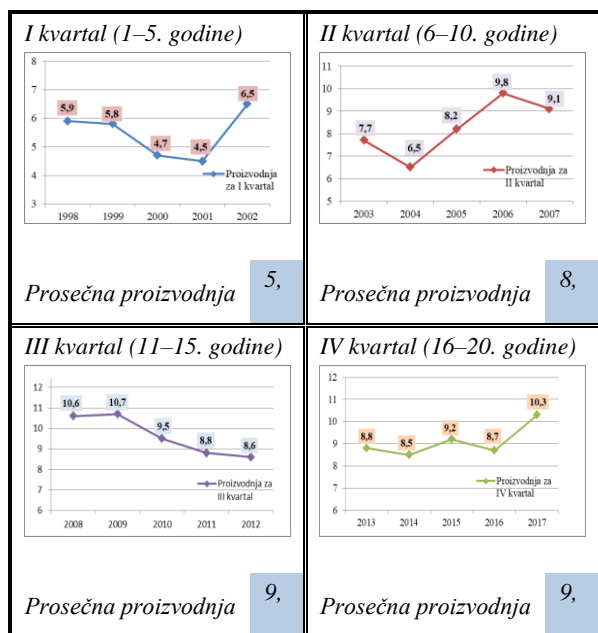
Nakon nje, primetan je trend porasta zastoja, što se odražava na pad proizvodnje, ali se ona ne približava minimalnoj. Poseban porast zastoja je u poslednjem kvartalu, što ima direktan uticaj na to da je proizvodnja manja nego u prethodnom.



Slika 5 - Kretanje proizvodnje u odnosu na najviše izražene zastoje sistema

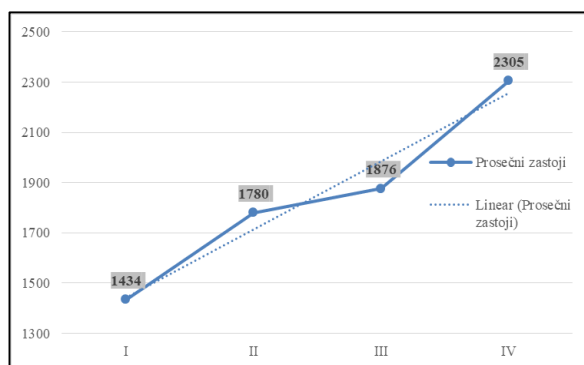
Na slici 5. predstavljena je relacija kretanja proizvodnje u odnosu na najveće prosečne zastoje u radu sistema. Interesantno je da su tehnološki zastoji dominantni, sem u prve dve godine rada gde se izdvajaju mašinski u odnosu na ostale zastoje. Tehnološki zastoji vezani su uglavnom za operacije na produžetku–skraćanju transportera, vuče pogonskih, odnosno povratnih stanica, promene bloka bagera, prelasku istog sa visinske na dubinsku stranu i obrnuto. U samom početku rada sistema dolazi do tzv. „dečijih bolesti“, koje se pre svega odnose na probleme sa zatezanjem trake, kočionim sistemima, hidrauličnim instalacijama podmazivanja, podešavanjem zazora, itd. Period uhođavanja opreme traje obično od 3 do 5 godina.

Na slici 6. dato je kretanje proizvodnje po kvartalima za bager sa površinskog kopa Drmno. Kada se razmatra ostvarena prosečna proizvodnja, zapažen je linearni rast u prva tri kvartala, dok u poslednjem ista opada, što je direktno vezano za skok zastoja u periodu od 16 do 20. godine rada sistema. Sa druge strane, posmatrajući prosečnu proizvodnju za ciklus od pet godina, u prvom su zabeleženi najlošiji rezultati, iako su prosečni zastoji u tom periodu najmanji. Sa gledišta zastoja, jasno se može uočiti njihov rast sa povećanjem vremena rada sistema. Ta činjenica ide u prilog tome da sa učestalim kvarovima dolazi do pada prosečne proizvodnje i smanjenog vremenskog iskorišćenja.



Slika 6 - Prosečna proizvodnja po kvartalima

Takođe, ranije otkopane bolje partije uglja i potrebe za što većim količinama otkrivene korisne mineralne sirovine, uslovljavaju stalno premeštanje bagera, produženje i skraćivanje transportera, vuče stanica i slično, što ide u prilog izuzetno izraženim tehnološkim zastojima. Na osnovu toga može se pretpostaviti da će u narednim godinama eksploatacije, zastoji biti sve više izraženi i da će njihov trend rasta imati eksponencijalnu raspodelu.



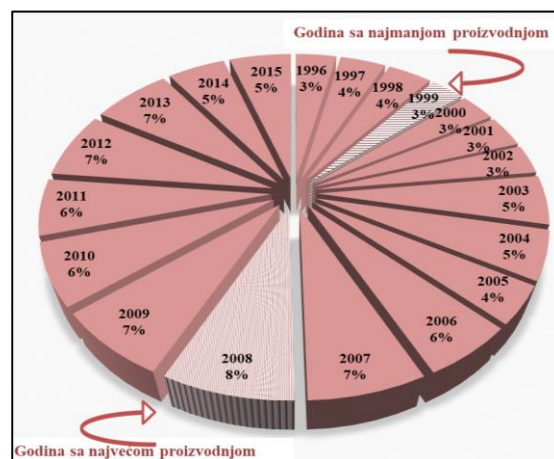
Slika 7 - Prosečni zastoji - Drmno

Grafičkim prikazom na slici 7. pomenuta pretpostavka dobija na težini. Dakle, kako ostvareni radni sati bagera, odnosno, sistema rastu, dolazi do učestalijih zastoja, što je naročito izraženo u četvrtom kvartalu. U narednom ciklusu, očekuje se da zastoji budu još više izraženi, što bi se direktno odrazilo na smanjenje efektivnosti sistema, kako sa aspekta proizvodnje, tako i vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja.

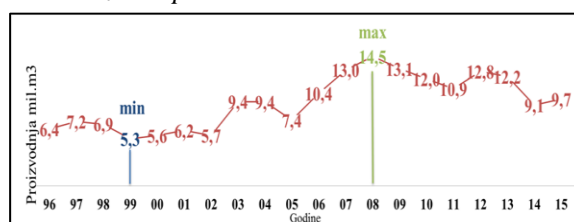
3.2. Analiza ostvarene proizvodnje u odnosu na zastoje sistema - Tamnava-Zapadno polje

Po istoj analogiji biće predstavljeni rezultati i za bager sa I BTO sistema površinskog kopa Tamnava-

Zapadno polje. Godina sa najmanjom proizvodnjom je 1999. u kojoj je otkopano 5,3 miliona metara kubnih, što za period od dvadeset godina iznosi 3% u odnosu na ukupnu količinu jalovine. Interesantno je da je i u slučaju bagera sa površinskog kopa Drmno, najmanja proizvodnja ostvarena u četvrtoj godini rada, odnosno, u prvom kvartalu, uz relativno male zastoje sistema.



Slika 8(a) - Procentualno učešće proizvodnje za analizirani period



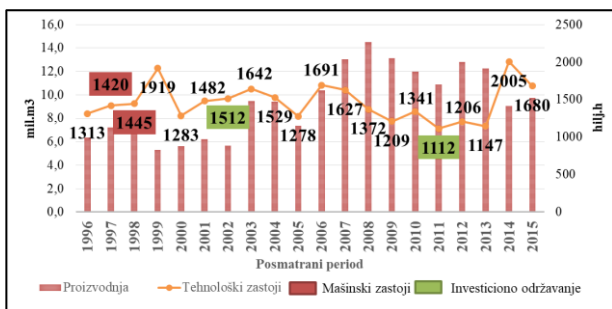
Slika 8(b) - Kretanja proizvodnje po godinama

Za razliku od prethodnog slučaja, nakon prvih pet godina, proizvodnja ostaje relativno bliska minimalnoj, da bi u drugom kvartalu u dve uzastopne godine bilo otkopano 9,4 miliona.

U 10. godini rada, uprkos manjim zastojima, ostvarena je znatno manja proizvodnja od 7,4 miliona metara kubnih, što može biti povezano sa operativnim planom za tu godinu, gde su drugi sistemi imali ulogu da otkriju veću količinu uglja. Već naredne godine, početkom trećeg kvartala primetan je drastičan skok proizvodnje, koji se nastavlja sve do kraja ovog kvartala, u kome bager ostvaruje maksimalnu proizvodnju od 14,5 miliona.

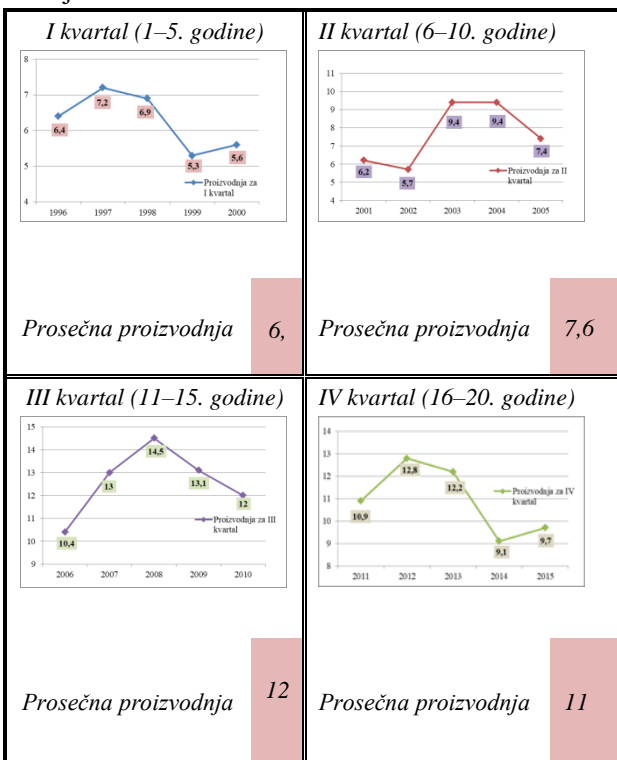
U periodu od 16 do 20. godine rada prosečna proizvodnja je nešto niža, ali ostaje izuzetno visoka, što ide u prilog tome da su zastoji u tom periodu slični onima iz trećeg kvartala. Izuzetan pad proizvodnje u 2014. i 2015. godini posledica je poplave koja je zadesila površinske kopove Tamnava. Pad proizvodnje u odnosu na 2013. godinu iznosi 25%, što se vidi na slici 8(b), odnosno, najveći zastoji za period od 20 godina rada, na slici 9. upravo kao posledica poplave i ispumpavanja vode i revitalizacije sistema koji su bili

poplavljeni. Upporedna analiza rada ova dva bagera biće detaljno prikazana u narednom poglavlju.



Slika 9 - Kretanje proizvodnje u odnosu na najviše izražene zastoje sistema

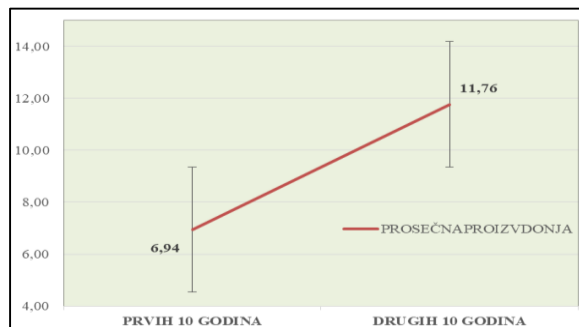
Posmatrajući prosečnu proizvodnju po kvartalima datu na slici 10. primetan je linearan skok, od prvog do trećeg, da bi u poslednjem kvartalu ista opala, ali ne drastično. Razlog tome su ujednačeni prosečni zastoji po kvartalima, u odnosu na sistem sa površinskog kopa Drmno, kod koga u poslednjem kvartalu zastoji izuzetno rastu, što se direktno odražava na pad proizvodnje.



Slika 10 - Prosečna proizvodnja po kvartalima

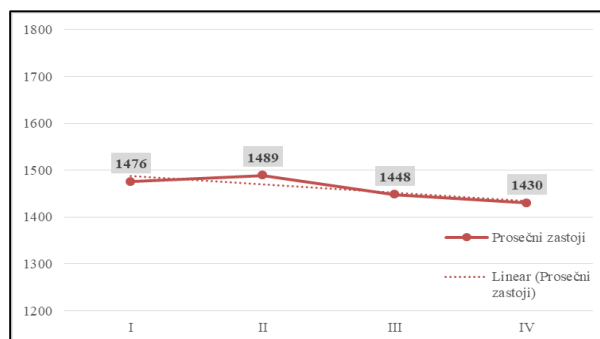
Uočljivo je to da srednja proizvodnja u prvih deset godina iznosi 6,9 miliona metara kubnih, dok je u drugih deset prosečno otkopano 11,8 miliona, što predstavlja eksponencijalni trend kretanja i skok od 41%, što je izuzetno. Ova pojava nije česta i ide u prilog činjenici da se moraju ispuniti zahtevi što veće količine otkrivenog uglja, radi zadovoljavanja potreba termoelektrana i energetske stabilnosti. Odnos

ostvarene srednje proizvodnje u prvih i drugih deset godina dat je na slici 11.



Slika 11 - Trend rasta proizvodnje - Tamnava Zapad

Što se tiče zastoja na I BTO sistemu, njihovo kretanje može se okarakterisati trendom pada, kao što je i prikazano na slici 12.



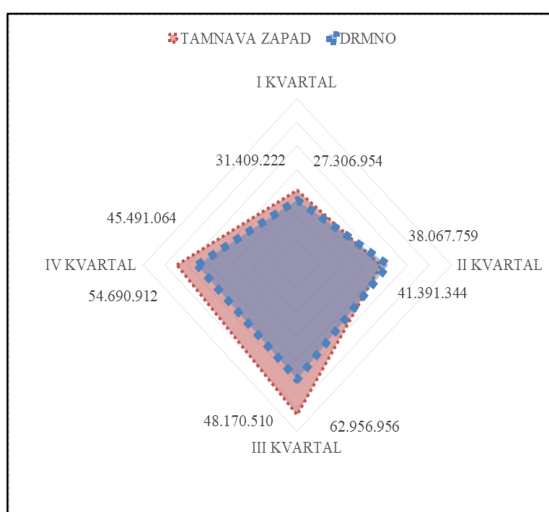
Slika 12 - Prosečni zastoji - Tamnava Zapad

Dakle, na osnovu prosečnih zastoja po kvartalima, zaključuje se da su isti smanjeni u odnosu na početak proizvodnje, što nije čest slučaj. Nasuprot tome, za sistem površinskog kopa Drmno, istom analizom utvrđen je porast zastoja. U prilog tome ide činjenica da je i proizvodnja u Tamnavi rasla u odnosu na početak rada, što svakako opravdava znatno manje zastoje nasuprot drugom posmatranom sistem. Ipak, reč je o relativno dugačkom eksploatacionom periodu, u kome se očekuje kontinuirani rad sistema, te se može očekivati porast zastoja. Pre svega, najveći uticaj na skok zastoja može imati povećanje potreba za količinom otkrivenog uglja koje treba da obezbede stabilnu proizvodnju električne energije. Sve ovo iziskuje porast tehnoloških zastoja u narednom periodu, odnosno učestala pomeranja bagera, produžavanje i skraćivanje etažnih transporterata. Takođe, pomenute operacije hipotetički će biti praćene i uvećanjem mašinskih zastoja, što je ekvivalentno trajanju eksploatacionog perioda.

4. UPPREDNA ANALIZA PARAMETARA KOJI IMAJU NAJVEĆI UTICAJ NA EFIKASNOST RADA

Efikasnost rada bagera, u praksi se najčešće posmatra na osnovu količine sirovine koja je otkopana u

jednom vremenskom periodu. Međutim, za detaljno analiziranje i dobijanje konačne ocene efikasnosti u odnos se moraju staviti i drugi bitni parametri, kao što su ukupna proizvodnja, vremenski zastoji i koeficijenti vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja. Cilj ove analize jeste sagledavanje rada bagera istih karakteristika, koji su angažovani na eksploataciji otkrivke na ova dva površinska kopa. Iz tog razloga, izvršene su prvo pojedinačne, a zatim i uporedna analiza. Kao što je već napomenuto, proizvodnja je potencijalno najbitniji faktor i zbog toga su njene vrednosti prve podvrgnute analizi.



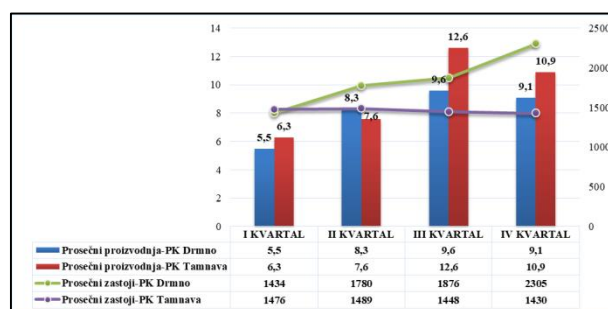
Slika 13 - Uporedni prikaz ukupne proizvodnje po kvartalima

U prva dva kvartala, ne postoji velika razlika u ostvarenoj proizvodnji. Prvi kvartal obeležila je veća proizvodnja kolubarskog jalovinskog sistema za 13% u odnosu za kostolački, dok je u drugom kvartalu proizvodnja išla u korist III BTO sistema površinskog kopa Drmno za oko 9%. Ako bi se posmatrali pojedinačni rezultati, oba sistema su zabeležila porast proizvodnje u odnosu na prethodni period. U prvih deset godina ostvaren je kontinualan rast proizvodnje, sa ne tako velikim odstupanjima.

Drastične razlike se mogu uočiti već od trećeg kvartala, kad je bager na površinskom kopu Tamnava otkopao čak 23% više u odnosu na konkurentni bager. Zanimljivo je to da su zastoji u ovom periodu bili daleko manji, što takođe ide u prilog kolubarskog bagera. Što se tiče poslednjeg kvartala, proizvodnja opada, ali je i dalje prednost na strani kolubarskog bagera za oko 17%.

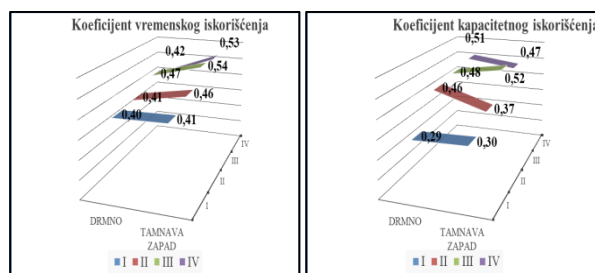
Zastoji koji su obeležili eksploatacioni vek rada bagera, često mogu biti izostavljeni iz prezentovanja ostvarenih rezultata, iako su sastavni deo svakodnevnih aktivnosti. Sami po sebi, zastoji i ostvarena proizvodnja predstavljaju uzročno-posledičnu vezu, jer ne postoji neprekidnost rada čak i u kontinualnim sistemima eksploatacije.

Kako bi se najbolje prikazala zavisnost između ova dva parametra izvršena je uporedna analiza koja je prikazana na sledećoj slici.



Slika 14 - Odnos vrednosti prosečne proizvodnje i zastoja

Pošto je analizirani period relativno dug, a vrednosti ova dva parametra posmatrana su za svaku godinu posebno, izvršeno je delimično uprošćavanje uzimanjem prosečnih vrednosti po kvartalima. Što se tiče prvog kvartala, odnos vrednosti proizvodnje i zastoja je približan. Razilaženje krive na dijagramu, odnosno linije zastoja, kreće već u drugom kvartalu. Na površinskom kopu Drmno uočava se značajan porast prosečnih zastoja od početka do kraja, dok su isti na površinskom kopu Tamnava u početku rasli, a zatim opadali. Vreme zastoja na ovom kopu bilo je ujednačeno, iz čega proizilazi činjenica da su zastoji bili pretpostavljeni u okviru godišnjih planova i da nepredviđeni zastoji nisu imali veliki uticaj. Još jedna bitna stavka govori o tome da su zastoji na tamnavskom kopu bili ujednačeni, iako je poslednji kvartal obeležen vremenskim nepogodama. Na samom kraju analiziranog perioda, uočen je pad proizvodnje za bager u Kostolcu, dok su zastoji nastavili da rastu. Isti bager u Kolubari, zabeleženo je srazmerno opadanje proizvodnje i zastoja. Za kraj ove analize uzeti su u obzir koeficijenti vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja. Generalno, vremensko iskorišćenje podrazumeva odnos efektivnog vremena rada bagera i kalendarskog fonda vremena za posmatrani period. Sa druge strane, kapacitetno iskorišćenje predstavlja odnos ostvarene proizvodnje prema teorijskom kapacitetu. Poređenje pomenutih koeficijenata predstavljeno je na slici 15.



Slika 15 - Uporedni prikaz vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja oba sistema

Gledajući kretanje koeficijenta vremenskog iskorišćenja zapažen je njegov rast do poslednjeg kvartala za oba bagera. Ovaj koeficijent je u direktnoj zavisnosti sa zastojeima na sistemu. U prethodnoj tački analizirani su prosečni zastoji, a na osnovu takvog poređenja, jasno se može zaključiti da je ujednačeno kretanje zastoja na tamnavskom kopu uticalo na veće vremensko iskorišćenje. Međutim, ukoliko se dati odnos posmatra za svaki period i u tom slučaju bager angažovan na gore pomenutom kopu ostvario je bolje rezultate.

Što se tiče iskorišćenja kapaciteta, međusobnim poređenjem ovih sistema, uočena je značajna razlika po kvartalima. Zavisno od ostvarene proizvodnje, kretanje koeficijenta srazmerno je njenom trendu rasta. Maksimalni koeficijent kapacitetnog iskorišćenja u Drmnu postignut je u poslednjem kvartalu, ali rapidan skok zastoja utiče na činjenicu da je prosečna proizvodnja manja u odnosu na konkurentni bager. Takođe, povećani zastoji u direktnoj su korelaciji sa nižim vremenskim iskorišćenjem. Najveća vrednost ovog koeficijenta za oba slučaja, direktno je povezana sa ostvarenom proizvodnjom. Naime, u trećem kvartalu su postignuti maksimalni koeficijenti kapacitetnog iskorišćenja što za benefit ima najbolje rezultate sa aspekta proizvodnje, na koju je takođe uticala i niža stopa zastoja.

Sumiranjem rezultata uporedne analize dolazi se do zaključka da je bager sa I BTO sistema površinskog kopa Tamnava-Zapadno polje postigao bolje efekte rada, kako sa aspekta otkopane količine jalovine i zastoja, tako i sa stanovišta iskorišćenja vremena, odnosno kapaciteta. Pored pojedinačnih i uporednih ocena efikasnosti rada posmatranih sistema, kao nadgradnja biće izvršena i višekriterijumska analiza, primenom odgovarajućih metoda odlučivanja.

5. OCENA EFIKASNOSTI RADA SISTEMA PRIMENOM METODA VKO²

Za konačnu ocenu efikasnosti rada posmatranih sistema u dosadašnjoj eksploataciji biće izvršena dodatna analiza primenom višekriterijumskih metoda. Višekriterijumsko odlučivanje razmatra situacije u kojima donosilac odluke mora da izabere jednu od alternativa iz skupa dostupnih koje se ocenjuju na osnovu većeg broja kriterijuma. Osnovni cilj donošenja odluke, prilikom primene višekriterijumskih metoda je dobijanje kvalitetne izlazne informacije koja može značajno uticati na strategiju planiranja budućih aktivnosti, posebno u kompleksnim situacijama, kakve su u rudarstvu [3].

Kako bi rezultati ove metode bili verodostojni, odnosno kako bi dokazali tvrdnje iznesene u zaključku prvog dela rada, korišćeni su isti ulazni parametri. Za

primenu višekriterijumskog odlučivanja postoji više različitih metoda:

- PROMETEJ metoda;
- AHP metoda;
- VIKOR metoda;
- TOPSIS metoda; i
- ELEKTRA metoda.

5.1. Topsis metoda

Radi formiranja kompletne slike uspešnosti rada sistema u dosadašnjem eksploatacionom periodu, sveobuhvatna analiza biće posmatrana po kvartalima, kako bi rezultati bili reprezentativni i uporedivi sa prethodnim poređenjima. S obzirom da primena metoda višekriterijumskog odlučivanja predstavlja nadgradnju analize i ima ulogu da dokaže rezultate iznesene u zaključku prvog dela rada, nisu primenjene sve navedene metode, već samo jedna od navedenih.

Metoda TOPSIS je zasnovana na konceptu da izabrana alternativa treba da ima najkraće rastojanje od idealnog rešenja i najduže od anti-idealnog rešenja. To znači da je pozitivno „idealno“ rešenje sačinjeno od svih najboljih vrednosti koje se mogu dobiti iz razmatranih kriterijuma, dok je negativno „idealno“ rešenje sačinjeno od svih negativnih vrednosti [3].

Matematička interpretacija metode TOPSIS započinje formiranjem matrice M :

$$C_1 \quad \dots \quad C_n$$

$$M = \begin{matrix} A_1 & \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & \begin{bmatrix} x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

gde su: A_1, \dots, A_m alternative, C_1, \dots, C_n kriterijumi, x_{ij} je rang alternative prema kriterijumu.

U sledećem koraku vrši se normalizacija matrice:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i=1, \dots, m; \quad j=1, \dots, n \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{i \max}} \quad i=1, \dots, m; \quad j=1, \dots, n \quad (3)$$

Nakon normalizacije, matrica se ponderiše njenim težinskim koeficijentima,

$$p_{ij} = w_i \cdot r_{ij}, \quad i=1, \dots, m; \quad j=1, \dots, n \quad (4)$$

Potom se formiraju idealno (A^+) i anti-idealno (A^-) rešenje, a zatim se računa udaljenost svake alternative od idealnog rešenja (S_i^+ , S_i^-) [17]:

$$A^+ = \left(\begin{matrix} MAX \\ i \end{matrix} v_{ij} \mid j \in K^+ \right) i \left(\begin{matrix} MIN \\ i \end{matrix} v_{ij} \mid j \in K^- \right) = \{v_1, v_2, \dots, v_j, \dots, v_n\} \quad (5)$$

$$A^- = \left(\begin{matrix} \text{MIN} \\ i \end{matrix} v_{ij} \mid j \in K' \right) \left(\begin{matrix} \text{MAX} \\ i \end{matrix} v_{ij} \mid j \in K'' \right) = \{v_1, v_2, \dots, v_j, \dots, v_n\} \tag{6}$$

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \tag{7}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \tag{8}$$

Poslednji korak u TOPSIS metodi je računanje relativne bliskosti alternative idealnom rešenju,

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}, \quad 0 \leq C_i \leq 1 \tag{9}$$

Rang vrednost C_i poređanih u opadajući niz (od najveće do najmanje vrednosti) odgovara rangu alternativa A_i (od najbolje do najlošije). [4]

5.2. Rezultati Topsis metode

Efikasnost rada posmatranih sistema biće predstavljen za period od po pet godina, na osnovu unapred definisanih kriterijuma. U tabeli 2. dati su postavljeni atributi i izvršena je njihova ekstremizacija tipom max/min, na osnovu prosečnih vrednosti za period od pet godina. Preferencije variraju od 0,05 do 0,2.

Tabela 2. Ekstremizacija atributa i preferencije

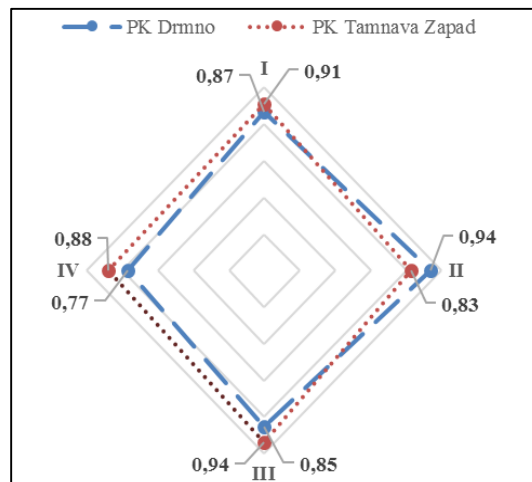
| Proizvodnja | Rad bagera | Zastoje | | | | | | | | |
|-------------|------------|---------|-------|------------|------------|---------|-----------------|--------|--------------|------|
| | | K_r | K_d | Mašinski | Tehnološki | Elektro | Vulkanizacijski | Servis | Investiciona | |
| max | | | | min | | | | | | |
| 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,05 |

Konačan rezultat ove metode treba da potvrdi hipotezu datu u zaključku prvog dela rada, odnosno, da na osnovu definisanih ulaznih parametara dokaže koji se sistem pokazao kao efikasniji za analizirani eksploatacioni period. Shodno tome, rezultati primene TOPSIS metode date su u tabeli 3. a radi boljeg sagledavanja i na slici 16. TOPSIS metodom dokazana je početna tvrdnja da je za posmatrani period od prvih 20 godina eksploatacije, I BTO sistem površinskog kopa Tamnava–Zapadno polje ostvario bolje rezultate, kako sa aspekta ostvarene proizvodnje, tako i po pitanju iskorišćenja vremena, odnosno kapaciteta i zastoja koji su pratili njegov rad.

Tabela 3. Rezultati TOPSIS metode

| | KVARTALI | | | |
|---------------|----------|------|------|------|
| | I | II | III | IV |
| DRMNO | 0,87 | 0,94 | 0,85 | 0,77 |
| TAMNAVA-ZAPAD | 0,91 | 0,83 | 0,94 | 0,88 |

Dodeljivanjem preferencija, ekstremizacijom atributa i obradom istih odgovarajućim algoritmom TOPSIS metode, došlo se do definisanja ranga vrednosti ulaznih parametara.



Slika 16 - Grafički prikaz primene TOPSIS metode

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada jeste sveobuhvatna analiza učinaka jalovinskih sistema površinskih kopova koji se nalaze u sastavu Elektroprivrede Srbije. Odabir I BTO sistema Kolubarskog, odnosno, III BTO sistema Kostolačkog basena izvršen je na osnovu toga što su bageri na pomenutim sistema istog tipa. Reč je o rotornim bagerima SRs2000.32/5+VR. Ulazni parametri koji su korišćeni u analizi dobijeni su na osnovu činjeničnog stanja na terenu, a vezani su za ostvarenu proizvodnju, efektivno vreme rada, zastoje koji su pratili sistem, kao i iskorišćenje vremena i kapaciteta. Kako bi rezultati ovog rada pokazali koji je sistem bio efikasniji u dosadašnjoj eksploataciji, urađeno je više iteracija.

U prvom delu rada, akcentat je stavljen na pojedinačnu analizu gore pomenutih parametara, kako za jedan, tako i za drugi sistem, kako bi rezultati bili međusobno uporedivi. Radi detaljnog sagledavanja, period od dvadeset godina rada, podeljen je na četiri kvartala. Konačnim ocenjivanjem dobijenih rezultata došlo se do zaključka da se kolubarski sistem pokazao bolje. Važno je napomenuti da je Kostolački sistem postigao bolje radne efekte u drugom kvartalu, a to je period od 5 do 10. godine. Ova početna hipoteza upotpunjena je primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja. Postoji više pomenutih metoda, a za potrebe ovog rada korišćena je samo metoda TOPSIS, kako bi sam prikaz bio jasniji.

Rezultati primene višekriterijumskog odlučivanja, što je bilo i za očekivati, dokazali su početnu tvrdnju, odnosno, apsolutno poklapanje sa prethodnom analizom. Kako u prvom slučaju, tako i ovde, III BTO sistem površinskog kopa Drmno ostvario je bolje rezultate samo u drugom kvartalu, dok je u svim ostalim Kolubarski sistem bio dominantan, što nedvosmisleno dokazuje tačnost ovog rada.

7. ZAHVALNICA

Ovaj članak je doprinos projektu TR33025 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Ignjatović D, *Rudarske mašine*, Beograd: Rudarsko–geološki fakultet, 2013.
- [2] Jovančić P, *Održavanje rudarskih mašina*, Beograd, Rudarsko–geološki fakultet, 2014.
- [3] Tsaur R–C, Decision risk analysis for an interval TOPSIS method. *Applied Mathematics and Computation* 218(8), pp. 4295–4304, 2011. doi:10.1016/j.amc.2011.10.001
- [4] Đenadić S, Jovančić P, Ignjatović D, Miletić F, Janković I, „*Analiza primene višekriterijumskih metoda u optimizaciji izbora hidrauličnih bagera na površinskim kopovima uglja*“, pp. 369–378, DOI:10.5937/tehnika1903369D

SUMMARY**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE BUCKET WHEEL EXCAVATOR SRS2000.32/5+VR ENGAGED ON THE OPEN CAST MINES OF ELECTRICITY POWER OF SERBIA**

Large capital investments in the purchase of basic equipment for the imperative have the highest possible utilization. One of the indicators of the efficiency of large systems on our open cast mines is production. In addition to this, an extremely important segment also presents failures that cause very high costs due to the standing of the system and their elimination. In this paper an analysis of two bucket wheel excavators type 2000 from the aspect of effective working time, the achieved production and system stagnation with goal to show the influence of individual factors on the final results in the evaluation of the system operation.

Key words: *bucket wheel excavators SRs2000, production, congestions, multi critetia methods*