



**ANALIZA POGONSKIH SISTEMA ROTORA
NA BAGERIMA SRs 2000 SA CILJEM UNIFIKACIJE**

**ANALYSIS OF BUCKET WHEEL DRIVE SYSTEM AT SRs 2000 EXCAVATORS,
FOR THE UNIFICATION PURPOSE**

Jovančić P.¹, Ignjatović D.², Gnjatović N.³, Bošnjak S.⁴

Apstrakt

Na površinskim kopovima EPS trenutno je u funkciji 4 rotorna bagera tipa SRs 2000. Bageri su nabavljeni i montirani u različitim periodima što je uslovalo da ovi bageri imaju različita konstruktivna rešenja najvitalnijeg dela - glave rotora. Tokom dosadašnje eksploatacije ovih bagera na našim površinskim kopovima, kao najslabija mesta pokazali su se sistemi za pogon rotornog točka i sam rotor. To iziskuje optimalno definisanje modernizacije i revitalizacije odnosno unifikacije pogonske grupe rotora, što bi trebalo da obezbedi povećanje pouzdanosti bagera, a time i povećanje vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja. Na osnovu sistematizovanja zapažanja i primedbi korisnika i održavalaca ovih rotornih bagera kao i hronologije problema u radu, vrši se analiza pogona kopanja na svim bagerima i donosi krajnji stav o mogućim daljim aktivnostima sa ciljem unifikacije.

Ključne reči: rotorni bager SRs 2000, reduktori, glava rotora

Abstract

There are 4 bucket wheel excavators operating at open pit mines of the EPS. These excavators were acquired and assembled in different times, meaning that they are equipped with various constructive solutions of most important component - head of the bucket wheel. Operation of these excavators so far at our open pit mines showed that most vulnerable spot is the drive system of bucket wheel, including the bucket wheel itself. This situation imposes optimal definition of modernization and revitalization, i.e. unification of drive group of bucket wheel, which should ensure higher reliability of excavator, as well as better time and capacity utilization. Systematic detection and remarks of operators and maintenance staff, including available data of chronology of the problems were used as a base for analysis of drive for digging on all excavators, which would ensure final suggestion on further activities for the purpose of unification.

Key words: bucket wheel excavator SRs 2000, gearboxes, head of the bucket wheel

¹ Prof. Dr Jovančić Predrag, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet

² Prof. Dr Ignjatović Dragan, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet

³ Doc. Dr Gnjatović Nebojša, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet

⁴ Prof. Dr Bošnjak Srđan, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

1. Uvod

Bager SRs 2000 spada u klasu bagera C odnosno u klasu velikih bagera (po nemačkoj podeli) i proizvod je nemačke kompanije TAKRAF. Ova kompanija je ovaj bager proizvela u više varijanti. Ovih bagera ima ukupno 57 komada (43 bagera na evropskim površinskim kopovima lignita, a 14 komada u Aziji). Tokom dosadašnje eksploatacije kao najslabija mesta pokazali su se sistemi za pogon rotora i sam rotor sa koficama i reznim elementima.

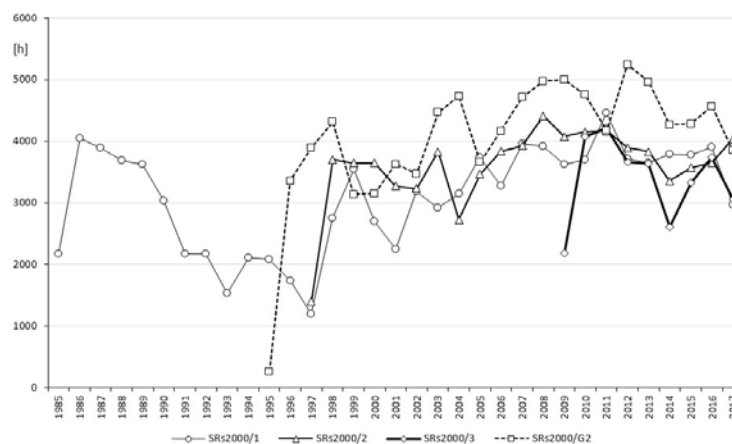
Analiza pogonskih sistema definiše primarni cilj koji treba da ostvari modernizaciju/revitalizaciju i unifikaciju pogonske grupe rotora, pri čemu bi se obezbedilo povećanje pouzdanosti bagera, a time i povećanje vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja.

Hronologija primene reduktora za pogon rotora se kreće od sedamdesetih godina prošlog veka pa do današnjih dana. Postoji više izvedbi ovog reduktora. Sedamdesetih i do početka osamdesetih u primeni su bili konusno-cilindrični reduktori snage 2*630 kW i cilindrični reduktori 2*400 kW. Sredinom osamdesetih izrađuju se konusno-cilindrični reduktori snage 2*670 kW. Od kraja devedesetih godina prošlog veka u primeni su konusno-cilindrično-planetni reduktori snage 1*800 kW i 2*500 kW. Takođe, proizvode se reduktori za pogon rotora snage 500 kW, 710 kW, 800 kW, 2*500 kW, 2*1250 kW i posebno treba naglasiti 1*1250 kW.

Na Slikama 1.1 i 1.2 dati su dijagrami proizvodnje i ostvarenog vremena rada ovih bagera na površinskim kopovima lignita Elektroprivrede Srbije.



Slika 1.1. Dijagram proizvodnje bagera SRs 2000 u EPS



Slika 1.2. Dijagram vremena rada bagera SRs 2000 u EPS

Tokom eksploatacije ovih bagera, koji su tokom svog radnog veka otkopavali samo otkrivku u uslovima površinskih kopova Tamnava-Zapadno Polje i Drmno, ostvareni su rezultati koji su dati u Tabeli 1.1.

Tabela 1.1. Osnovne proizvodne karakteristike bagera SRs2000 u EPS-u zaključno sa 2017. godinom

Kop	Bager	Početak rada	Teoretski kapacitet	Ostvarena proizvodnja	Efektivno vreme rada
			(m ³ /h)	(m ³)	(h)
Tamnava	SRs 2000 (G2)	1995.	6600	205.017.623	93.008
Drmno	SRs 2000 (I)	1985.	6000	208.116.168	102.402
Drmno	SRs 2000 (II)	1997.	6600	163.853.604	75.842
Drmno	SRs 2000 (III)	2009.	6600	99.163.453	30.518

2. Dosadašnja problematika

2.1. Rotorni bager SRs 2000.28/3+VR (bager I), PK Drmno

Pogon rotora je na ovom bageru već pretrpeo određenu revitalizaciju. Svojevremeno je zamenjen reduktor pogona rotora sa istim reduktorom kao na bageru SRs 2000.32/5+VR (bager II). Osnovna razlika između ovih reduktora je bila dispozicija elektromotora za pogon reduktora: kod osnovne, stare izvedbe reduktora, pogoni su bili montirani sa strane, a kod nove, trenutno postojeće izvedbe, elektromotori su sa prednje strane. Prema tome, umesto postojećeg reduktora za pogon rotornog točka snage 2*500 kW, montiran je novi reduktor snage 2*670 kW, koji je istovetan kao na bageru SRs 2000.32/5+VR (bager II). Ovaj novi reduktor je donešen sa površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje. Ovaj potez se pokazao tada kao dobro rešenje.

Problematika na pogonu rotora ovog bagera je bila sledeća: lom osovine rotora, zamena više komada poprečnih vratila i ulaznih vratila sa ležajevima i zupčanicima, zamena hidrodinamičkih spojnicu (premeštanje težeg dela spojnice na stranu elektromotora), problematika pomoćnog/reparaturnog pogona, kao i kompletnog sistema za podmazivanje. U okviru stare varijante evidentan problem je bio u samom oslanjanju pogona preko klizne čaure, dok je problematika na novom pogonu izražena kroz nedovoljnu čvrstoću male membrane kao oslonca koji je zamenio kliznu čauru. Pored toga, došlo je i do pucanja i havarije velike membrane na rotornom točku. Na Slici 2.1 data je problematika pogona rotora bagera SRs 2000.28/3+VR (bager I) na površinskom kopu Drmno, Kostolački basen.



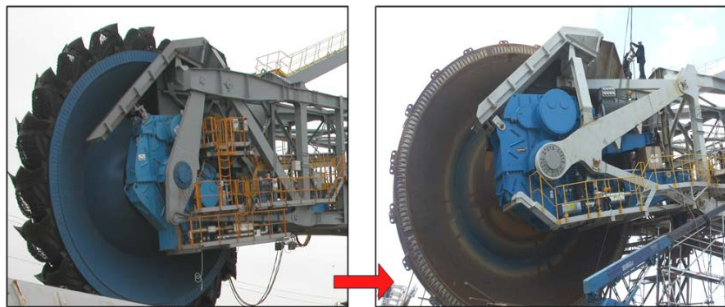
Slika 2.1. Problematika pogona rotora bagera SRs 2000 (bager I)

2.2. Rotorni bager SRs 2000.32/5+VR (bager II), PK Drmno

Na ovom bageru nije rađena revitalizacija, rekonstrukcija i modernizacija pogona rotora. Pogon radi od prvog dana eksploatacije. Problematika na pogonu rotora ovog bagera je bila sledeća: zamena više komada poprečnih vratila i ulaznih vratila sa ležajevima i zupčanicima, zamena hidrodinamičkih spojnicu (teži deo spojnice ostao na strani reduktora), problematika pomoćnog/reparaturnog pogona, kao i kompletnog sistema za podmazivanje. U okviru stare varijante evidentan problem je bio u samom oslanjanju pogona preko klizne čaure, dok je problematika na novom pogonu izražena kroz nedovoljnu čvrstoću male membrane kao oslonca koji je zamenio kliznu čauru.

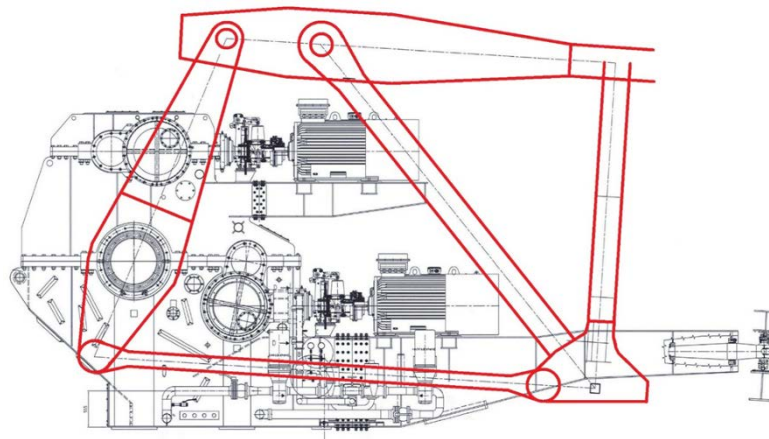
2.3. Rotorni bager SRs2000.32/5+VR (bager III), PK Drmno

Početak rada ovog bagera sa novim planetnim reduktorom sa diferencijalnim izlaznim stepenom ukazivao je na odlično rešenje, a koje se manifestovalo velikim kapacitetnim iskorišćenjem, odnosno velikom proizvodnjom. Reduktor je proizveden u firmi *Lauchhammer*, tadašnjoj fabrici *MAN TAKRAF Fördertechnik GmbH*. To je bio 40. po redu proizveden reduktor tog tipa. Snaga je iznosila 2*670 kW. Nedugo posle početka rada, posle samo 5 godina, bager je zaustavljen zbog velike havarije transmisionih elemenata unutar reduktora. Reduktor je zamenjen novim reduktorom sa jednim ulazom, snage 1*1250 kW, od istog proizvođača. Od tada pa do danas ovaj reduktor radi bez problema. Osnovna vizuelna razlika između ovih dvaju reduktora je broj motora za pogon i način oslanjanja, a što je dato na Slici 2.2.



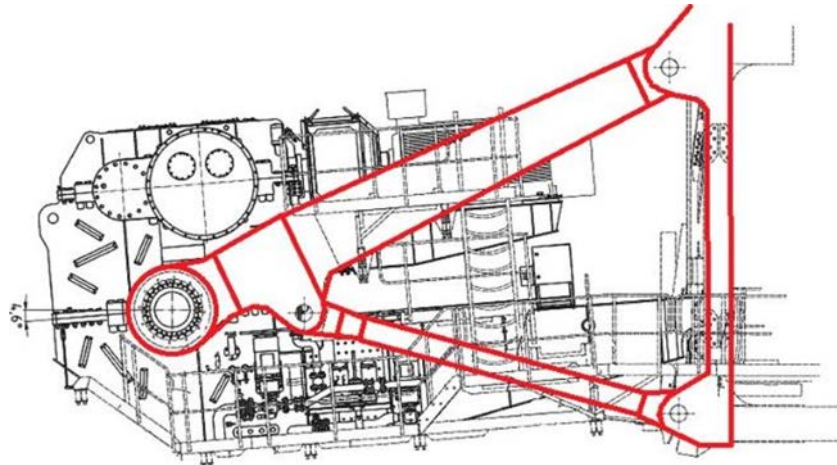
Slika 2.2. Pogon rotora bagera SRs2000.32/5+VR (bager III), pre i posle revitalizacije

Kod reduktora sa dva motora 2*670 kW, način vešanja i oslanjanja reduktora za konstrukciju strele rotornog točka je izveden u obliku četvorougla, a što je dato na Slici 2.3.



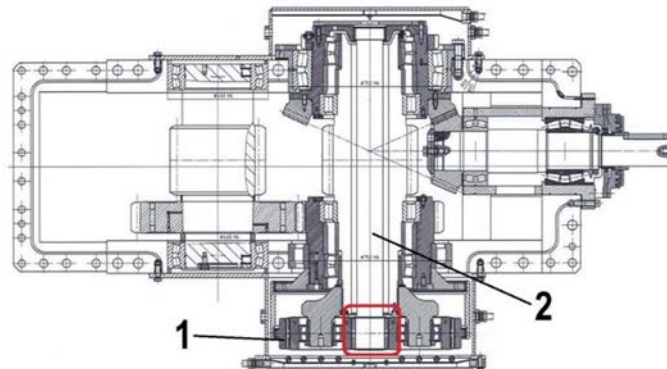
Slika 2.3. Vešanje i oslanjanje pogona rotora bagera SRs 2000.32/5+VR, pre revitalizacije

Kod reduktora sa jednim motorom 1*1250 kW, način vešanja i oslanjanja reduktora za konstrukciju strele rotora je izveden u obliku trougla (oblik bolje čvrstoće), a što je dato na Slici 2.4.



Slika 2.4. Vešanje i oslanjanje pogona rotora bagera SRs 2000.32/5+VR, posle revitalizacije

Nakon samo 5 godina rada i odrađenih 18.597 sati efektivnog rada (mart 2014.), bager je zaustavljen radi zamene ležajeva u reduktoru pogona rotora. Tada su uočena i oštećenja na transmissionim elementima u reduktoru. Primećeno je da je drastično oštećena ozubljena veza između zupčaste spojnice (Slika 2.5, pozicija 1) i nazubljenog vratila (Slika 2.5, pozicija 2) na gornjem vratilu, što praktično stavlja reduktor van upotrebe.



Slika 2.5. Lokacija oštećenog dela na vratilu gornjeg pogona reduktora

Reduktor rotora sa ovakvim problemima nije bilo moguće staviti u funkcionalno stanje odnosno u pogon. Znači, dotadašnji tip reduktora od 2*670 kW se pokazao kao nepouzdan, pa se pristupilo njegovoj zameni sa konstruktivno pouzdanijim reduktorom.

2.4. Rotorni bager SRs 2000.32/5+VR (G2), PK Tamnava-Zapadno Polje

Od početka eksploatacije ovog bagera, više puta je izvršena zamena elemenata pogona/reduktora zbog problema u radu (dva šuplja vratila, osnovna verzija osovine, dva zupčanika na izlaznom vratilu, više komada poprečnih vratila, ulaznih vratila, zupčanika i hidrodinamičkih spojnica, pomoćni pogon, više elemenata sistema za podmazivanje). Kontrolom izlaznog vratila, ustanovljena je pohabanost čaure u šupljem vratilu, usled čega je došlo do kolizije osovine i šupljeg vratila u delu završetka vratila. Tada je ovaj problem prevaziđen ugradnjom dvodelne čaure na mestu kolizije. Potom je došlo do loma osovine rotora, oštećenja šupljeg vratila u zoni samopodesivog ležaja (Slika 2.6) i havarije nekoliko pozicija sklopa male membrane (Slika 2.6).



Slika 2.6. Lom osovine rotora i havarija male membrane

Pored problema sa šupljim vratilom i načinom oslanjanja reduktora na osovinu, postojao je i problem vezan za okretanje ležajeva u kućištima (gnezdim), otkaz ležaja na ulaznim vratilima i sam lom ulaznih vratila kao i habanje provrta hidrodinamičke spojnice. Sam sistem podmazivanja reduktora je imao više puta otkaze prouzrokovane pumpom, instalacijom i kontrolnim uređajima. U ležišna mesta u reduktoru ugrađene su čaure na pet mesta. Do sada je evidentan problem u samom oslanjanju pogona preko klizne čaure (habanje čaure je nemoguće kontrolisati, dolazi do aksijalnog pomeranja čaure), a treći oslonac reduktora se pokazao kao nedovoljno elastičan.

3. Analiza mogućnosti unifikacije

Četiri rotorna bagera SRs 2000 koji rade na površinskim kopovima EPS, na stanju imaju ukupno šest reduktora za pogon rotornog točka, od kojih rade sledeći tipovi:

- Konusno cilindrični reduktor, broj crteža 530 231 433:000, proizvođača Takraf; tri komada u radu - jedan na bageru na površinskom kopu Tamnava-Zapadno Polje sa motorima 2*670 kW i dva na površinskom kopu Drmno sa motorima 2*500 kW i 2*670 kW (bager I - rezervni reduktor dopremljen sa kopa Tamnava-Zapadno Polje i montiran na ovaj bager; i bager II);
- Konusno planetni reduktor, broj crteža 420 200 00, proizvođača Takraf; jedan je u radu na bageru površinskog kopa Drmno sa motorom 1*1250 kW (bager III).
Pored toga, postoje još dva reduktora koji su na stanju ali ne rade:
- Prepravljani konusno cilindrični reduktor (bočni ulazi prepravljani u čeone), broj crteža 530 230 588:000, proizvođača Takraf; reduktor prilagođen ugradnim merama kao na bageru II na površinskom kopu Drmno i bageru na površinskom kopu Tamnava-Zapadno Polje sa motorima 2*670 kW;
- Havarisani konusno planetni reduktor, broj crteža 420 009 027 proizvođača Takraf; bio je montiran od početka rada na bageru III površinskog kopa Drmno sa motorima 2*670 kW.

Predlaže se nekoliko stepena unifikacije. Od analize ekonomske opravdanosti zavisice koji stepen unifikacije će se primeniti, u zavisnosti od tehničko-tehnoloških potreba i značaja ovih bagera u budućem radu na površinskim kopovima Elektroprivrede Srbije.

3.1. Niži stepen unifikacije

Zadržavanje postojećeg stanja na rotornom bageru SRs 2000.32/5+VR (bager III), koji radi na V BTO sistemu PK Drmno, 1*1250 kW (jedan reduktor) i zadržavanje postojećih reduktora ASUG SRG 2*670 - 2200*222 LHW sa tehničkim unapređenjima (tri reduktora u radu i jedan rezervni). Tehničko unapređenje starijih reduktora (veći prečnik osovine, mala membrana kao otkovak,

razdvojiva veza šupljeg vratila sa zupčanikom), je apsolutno prihvatljivo sa stanovišta pouzdanosti i bezbednosti. Reparacija i rekonstrukcija ovog tipa reduktora je tehnički izvodljiva i ekonomski opravdana. Bilo bi ovakvih četiri reduktora za tri bagera (jedan u rezervi).

Prema tome, imali bi:

- Konusno planetni reduktor, broj crteža 420 200 00, proizvođača Takraf, snage 1250 kW, jedan reduktor;
- Konusno cilindrični reduktor, broj crteža 530 231 433:000, proizvođača Takraf, snage 2*670 kW, tri reduktora u radu - jedan rezervni; sa tehničkim unapređenjem.

3.2. Viši stepen unifikacije - prvi nivo

S obzirom da EPS raspolaže sa jednim izuzetno pouzdanim i modernim reduktorom pogona kovanja sa jednim ulazom 1250 kW, montiran na bageru SRs 2000.32/5+VR (bager III), nabaviti još jedan isti takav reduktor i montirati ga na bager SRs 2000.32/5+VR koji radi na Tamnava-Zapadno Polje (sa istim specifikacijama). Ostala dva bagera na površinskom kopu Drmno bi zadržala postojeće reduktore koji će se tehnički unaprediti po principima iz Nižeg stepena unifikacije (ovi reduktori bi imali i dva rezervna reduktora).

Prema tome, imali bi:

- Konusno planetni reduktor, broj crteža 420 200 00, proizvođača Takraf, snage 1250 kW, dva reduktora;
- Konusno cilindrični reduktor, broj crteža 530 231 433:000, proizvođača Takraf, snage 2*670 kW, dva reduktora u radu - dva rezervna; sa tehničkim unapređenjem.

Na Slici 3.1 dat je princip unifikacije višeg stepena unifikacije prvog nivoa.



Slika 3.1. Viši stepen unifikacije - prvi nivo

3.3. Viši stepen unifikacije - drugi nivo

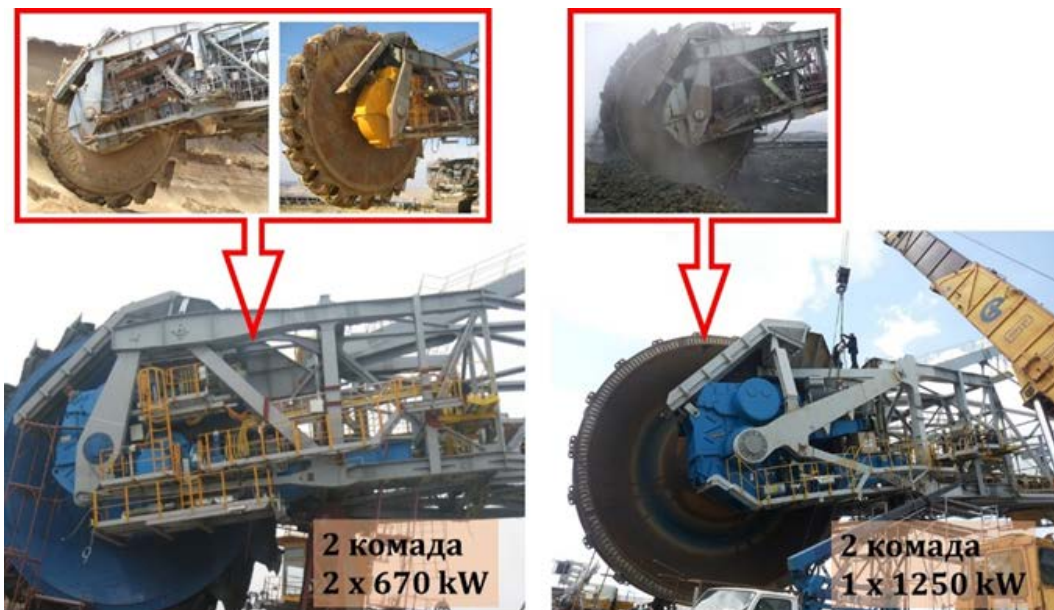
Znajući da EPS raspolaže sa dva pouzdana i moderna reduktora pogona kovanja, prvi 2*670 kW sa brojem crteža 420 009 027 proizvođača Takraf koji je bio montiran na bageru SRs 2000.32/5+VR, bager III (havarisana utroba koja se može brzo i kvalitetno rekonstruisati) i sa jednim ulazom 1250 kW, koji je trenutno montiran na bageru SRs 2000.32/5+VR (bager III), nabaviti još po jedan isti takav reduktor i montirati ga na ostale bagere SRs 2000.

Prema tome, imali bi:

- Konusno planetni reduktor, broj crteža 420 009 027 proizvođača Takraf, snage 2*670 kW, dva reduktora (jedan postojeći koji bi se rekonstruisao i jedan novi koji bi bio urađen po istom principu); ovi reduktori bi bili montirani na bagere SRs 2000, bagere I i II;

- Konusno planetni reduktor, broj crteža 420 200 00, proizvođača Takraf, snage 1250 kW, dva reduktora (jedan postojeći koji već radi na bageru III i jedan novi koji bi bio urađen po istom principu); ovaj reduktor bi bio montiran na bageru SRs 2000 sa kopa Tamnava-Zapadno Polje;
- Ostali konusno cilindrični reduktori, broj crteža 530 231 433:000, proizvođača Takraf, snage 2*670 kW, bili bi rezervni reduktori koji bi bili naknadno prilagođeni konstrukciji bagera.

Na slici 3.2 dat je princip unifikacije višeg stepena unifikacije drugog nivoa.



Slika 3.1. Viši stepen unifikacije - drugi nivo

3.4. Najviši stepen unifikacije

Najviši stepen unifikacije podrazumeva potpunu unifikaciju uležištenja, pogona rotora i samog rotora, koja je moguća na svim rotornim bagerima SRs 2000 u EPS. Predlog bi bio da se nabave nova tri reduktora sa jednim pogonom od 1250 kW. Obavezno je da uležištenja rotornog točka imaju ojačanu osovinu i mali membranu kao otkovak.

4. Zaključak

Ono što karakteriše svaku pogonsku grupu rotora ali i pravce unifikacije su: tip reduktora i način njegovog oslanjanja, osovinu, šuplje vratilo, uležištenja, veze sa strelom rotora i veze momentne poluge/kutije sa strelom rotora. Osnovna poenta ove unifikacije bi bila da se svi tipovi raspoloživih i pouzdanih reduktora pogona rotora bagera SRs 2000 mogu montirati na sva četiri bagera. Cilj analize i rešavanja problema ovih elemenata je izvršiti adekvatnu i pravovremenu pripremu za proces revitalizacije odnosno modernizacije svih ovih elemenata, da bi se obezbedilo povećanje pouzdanosti, a time i povećanje vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja i smanjenje troškova održavanja. Značaj primene planetnih reduktora na rotornim bagerima je više puta razmatran u pozitivnom smislu. Primena planetnih reduktora već je postala standardna oprema modernih bagera. Ekonomska analiza će ipak na kraju bliže definisati koje će tehničko rešenje biti najisplativije, pri čemu se moraju ispoštovati osnovni zahtevi o pouzdanosti odnosno sigurnosti funkcionisanja rotornih bagera SRs 2000. To je ustvari i glavno pitanje studije *Analiza pogonskih sistema rotora na bagerima SRs 2000 sa ciljem unifikacije*, koja je u toku izrade.

Literatura

- [1] Projekat: Revitalizacija bagera - Izarada projekta revitalizacije bagera SRs 2000.28/3+VR, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu i Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2015.
- [2] Pogonska dokumentacija rotornih bagera SRs 2000 na PK Tamnava-Zapadno Polje, RB Kolubara i PK Drmno, TE-KO Kostolac
- [3] Jovančić, P., Maneski, T., Ignjatović, D., Slavković, Č. (2015): Revitalizacija rotornog bagera SRs 2000.28/3+VR na površinskom kopu Drmno, VII Međunarodna konferencija UGALJ 2015, Zbornik radova, str. 109-126, ISBN 978-86-83497-22-5
- [4] Novaković, D., Jovančić, P. (2017): Analiza i rešavanje problema pogona rotora rotornog bagera SRs 2000 - put ka modernizaciji, VIII Međunarodna konferencija UGALJ 2017, Zbornik radova, str. 247-256, ISBN 978-86-83497-24-9