

ANALIZA POUZDANOSTI PODSISTEMA ZA KOPANJE ROTORNOG BAGERA ER - 1250 RELIABILITY ANALYSIS OF BUCKET WHEEL DRIVE ON BUCKET-WHEEL EXCAVATOR ER - 1250

Spasoje Trifković, Milija Kraišnik, Nebojša Radić, *Mašinski fakultet Istočno Sarajevo*

Sadržaj - Rad prikazuje izračunavanje pouzdanosti podsistema za kopanje bagera ER – 1250, za vremenski period od 2006. do 2009. godine. Za analizu otkaza korišćene su dvije metode iz teorije pouzdanosti, analiza stabla otkaza (FTA) i EFTES metoda alokacije pouzdanosti iz razloga njihove velike primjenjivosti i upotrebljivosti u analizama svih perioda životnog vijeka. Za realizaciju proračuna razvijen je programski paket za izračunavanje alociranog inteziteta otkaza i pouzdanosti.

Ključne riječi: pouzdanost, rotorni bager, otkaz, podsistem za kopanje

Abstract - The paper shows the calculation of the reliability of bucket wheel drive on bucket-wheel excavator ER – 1250, for the period from 2006. to 2009. For the analysis of failure we used two methods of reliability theory, Fault Tree Analysis (FTA) and EFTES method of allocation of reliability, because of their large applicability and usefulness in the analysis of all periods of the life cycle. For the purpose of calculation, the software package for calculation of allocations failure intensity and reliability is developed.

Key words: reliability, bucket-wheel excavator, failure, bucket wheel drive

1. UVOD

Sistem BTO (rotorni bager – tračni transporter – odlagač) otkopava jalovinu, koja se od bagera preko transportera dovozi do odlagača, koji je odlaze na jalovište. Jedan od osnovnih zahtjeva pri postavljanju proizvodnih sistema jeste produktivnost koja je definisana proizvodom radnog iskorišćenja kapaciteta i časovnog učinka u odnosu na broj izvršioaca koji učestvuju u realizaciji proizvodnog procesa. Na časovni kapacitet mašina u BTO sistemu najveći uticaj imaju konstruktivne osobine mašina, odnosno projektovane karakteristike elemenata sistema. Teorija pouzdanosti u središtu svog izučavanja ima vremensko iskorišćenje proizvodnog sistema analizirano kroz vrijeme rada i vrijeme zastoja komponenti tog sistema.

2. USLOVI RADA BTO SISTEMA

Istraživanje u ovom radu obavljeno je na površinskom kopu gatačkog ugljenog bazena. Gatački ugljeni bazen je smješten u Gatačkom polju u sjevernoistočnom dijelu Hercegovine. Prostire se na površini od oko 40 km² na nadmorskoj visini od oko 940m, u tipičnom kraškom području. Područje se odlikuje veoma karakterističnim klimatskim uslovima, gdje se temperature kreću od -30 do +37°C, sa prosječnim atmosferskim padavinama od 1750mm godišnje. Teren je uglavnom ravničarski. Bazen je podijeljen na četiri eksploatacione polja: Zapadno eksploataciono polje, Centralno eksploataciono polje, Istočno eksploataciono polje i Povlatna ugljena zona.

Prvi radovi na eksploataciji uglja u Gacku su počeli 1954. godine na izdancima glavnog ugljenog sloja, a 1982. godine je pušten u rad rudnik lignita "Gračanica" sa godišnjim

kapacitetom od 1.800.000 tona uglja i 3.200.000 tona otkrivke, na prostoru Zapadnog eksploatacionog polja. Na PK "Gračanica" je primjenjena kontinualna tehnologija rada kojom su postignuti zadovoljavajući rezultati na proizvodnji otkrivke i uglja, što svrstava Gatački bazen u jedan od najvećih u Republici Srpskoj.

Rezerve uglja u Gacku procjenjuju se na preko 400.000.000 tona, a smatra se da te rezerve obezbjeđuju rad dva bloka snage 300MW za narednih 100 godina. Istraživanja su pokazala da je gatački ugalj visokog kvaliteta i da ga je isplativo eksplatisati. U posljednje vrijeme promjenila se tehnologija dobijanja uglja. Primjenjujući najnovija naučna istraživanja, maksimalno se ide na selektivno otkopavanje, pa je sada ugalj na deponiji dosta čistiji, bez jalovine. To je rezultiralo da je proizvodnja termoelektrane 280MW, a smanjuje se broj zastoja i kvarova.

Na otkopavanju otkrivke angažovana su dva BTO sistema. I BTO sistem radi na otkopavanju otkrivke u polju "A", a II BTO sistem na otkopavanju otkrivke u polju "B". Odlaganje otkrivke se vrši na Zapadno i Istočno vanjsko odlagalište.

Na otkopavanju uglja u polju "A", je angažovan BTD sistem, dok se otkopavanje uglja u polju "B" vrši kombajnom WIRTGEN SM 3500, a transport istog do glavne deponije termoelektrane damperima SAT 769 S.

Oprema na DTD i BTO sistemima je ukrajinske proizvodnje (osim odlagača ARs, pretovarača BRs drobilice SB 13 15), a njena specifikacija je data u tabeli 1.

Tabela 1. Specifikacija opreme na PK "Gračanica"

Sistem	Oprema	Oznaka	Količina
I BTO	Bager	ER - 1250 · 17/1,5	1
	Samohodni pretovarni transp.	BRs - 1200 · 29/32	1
	Samohodni utovarni bunker	BS - 120	1
	Transporteri sa trakom	KLZ, KLM, KLO	7
	Odlagač	O - 1600/(40+110)	1
II BTO	Bager	ER - 1250 · 16/1,5	1
	Samohodni pretovarni transp.	P - 1600 · 21/50	1
	Samohodni utovarni bunker	BS - 120	1
	Transporteri sa trakom	KLZ, KLM, KLO	10
	Odlagač	ARs-1200/(20+50)h21	1
DTD (BTD)	Drobilica	SB 13 15	1
	Transporteri sa trakom	KLM	2

Pri eksploataciji je primjenjen uzdužni jednokrlni sistem eksploatacije sa napredovanjem fronta rudarskih radova u pravcu juga. Pri otkopavanju uglja odnosno otkrivke rotorni bageri rade u bloku širine 30 m i visine 16 m odnosno 17 m. Projektovani uglovi nagiba radnih kosina su 75° (čeaona kosina) i 70° (bočna kosina).

Transport uglja i otkrivke do deponije TE, odnosno spoljašnjeg odlagališta se vrši transporterima sa gumenom trakom širine 1200 mm i brzine 4,3 m/s. Ukupna dužina transporta iznosi:

- I BTO 4,2 km;
- II BTO 6 km;
- DTD 0,65 km.

Osim radova koji se obavljaju kontinualnom opremom (DTD i BTO sistemi) dio otkrivke uglja se obavlja diskontinualno. Za otkrivanje i transport otkrivke angažuju se treća lica sa bagerima, utovarivačima i kamionima raznih tipova sa kojima oni raspolazu.

Otkopavanje uglja se vrši mašinama WIRTGEN SM 3500, WIRTGEN SM 2100 i hidrauličnim bagerom RH-30 E a odvoz uglja kamionima raznih tipova. Otkopavanje uglja koji se koristi za širu potrošnju vrši se bagerom RH-30 E i ripovanjem buldozerom SAT D 8 K.

Polazeći od činjenica da su rezerve uglja u Gatačkom ugljenom basenu jedan od najvećih potencijala ovog područja i da ovaj ugaj zbog svoje strukture i kvaliteta ima limitirano područje primjene i potrošnje, može se smatrati da on predstavlja najstabilniji izvor energije za duži niz godina, kako u proizvodnji električne energije, tako i za potrebe drugih sektora potrošnje. Preduslov za ovakav tretman uglja su naponi da se selektivnim otkopavanjem, homogenizacijom, pripremom i oplemenjivanjem poboljša kvalitet i proširi područje primjene uglja.

Ključna mašina u tehnološkom procesu otkopavanja i utovara otkrivke i korisne mineralne sirovine je rotorni bager. To je danas najrasprostranjenija mašina na površinskim kopovima sa mekim i srednje tvrdim otkopnim materijalima u Evropi.

Rotorni bageri su samohodne mašine kontinualnog

dejstva koje vrše otkopavanje vedricama pričvršćenim po obodu rotora. Operacija kopanja sa rotornim bagerom je kontinualni radni proces jer u svakom trenutku ima zastupljene sve operacije koje ga karakterišu. To je odvajanje materijala od masiva, zahvatanje vedricama otkopanog materijala, predaja materijala na rotorni transporter i dalje u transport kako je tehnološkom šemom predviđeno.

3. ANALIZA OTKAZA PODSISTEMA ZA KOPANJE ROTORNIH BAGERA

Podsistem za kopanje sa prijemnom katarkom, odnosno prijemnim tračnim transporterom, čini objedinjenu tehničko – tehnološku cjelinu gdje podsistem za kopanje ostvaruje aktivnosti kopanja i utovara otkopne mase, a tračni transporter vrši transport do predajnog mjesta na bageru.

Podsistem za kopanje je lociran na prijemnoj katarci. Na početku konstrukcije katarke je uležišten radni točak. Radni točak bagera se sastoji od potpuno zavarenog kućišta sa vođičnom i istovarnom skliznicom i od devet izmjenljivih vedrica sa noževima i zubima. Radni točak kao organ kopanja je izložen velikim naprezanjima koja se prenose na pogon.

Elektromotor posredstvom reduktora pokreće vratilo radnog točka, koje je čvrsto, tetivnim klinovima sa čeaone strane vezano za reduktor. Pogonsko vratilo reduktora je izrađeno šuplje, tako da se reduktor navuče na vratilo rotora i zahvaljujući čvrstom spoju vrši prenos obrtnog momenta. Postolje za elektromotor, spojnicu i kočnicu je zavrtnjima vezano za kućište reduktora a na kraju je elastičnom vezom (oprugama) oslonjeno na noseću konstrukciju katarke.

U reduktor je, na drugom poprečnom vratilu, ugrađena lamelasta proklizavajuća spojnica koja sprečava preopterećenje pogona. Osim pogonskog motora predviđen je i drugi motor male snage kao pomoćni, kojim se pokreće radni točak u slučajevima zamjene vedrica ili aktivnosti održavanja na ovom sklopu. Ovaj pogon je isključen za vrijeme rada glavnog, pogonskog motora.

Proces kopanja se ostvaruje obrtanjem radnog točka i lučnim okretanjem čitave donje konstrukcije sa katarkom. Obrtno kretanje radnog točka ostvaruje elektromotor preko

reduktora. Reduktor obrtni moment predaje vratilu radnog točka, a ovaj konstrukciji radnog točka, odnosno vedricama i zubima.

se može sprovesti u teoriji pouzdanosti primjenom neke od mnogobrojnih metoda. U radu se koriste dvije metode, Analiza stabla otkaza (FTA) i EFTS metoda alokacije pouzdanosti.

Analiza pouzdanosti podsistema za kopanje BTO sistema

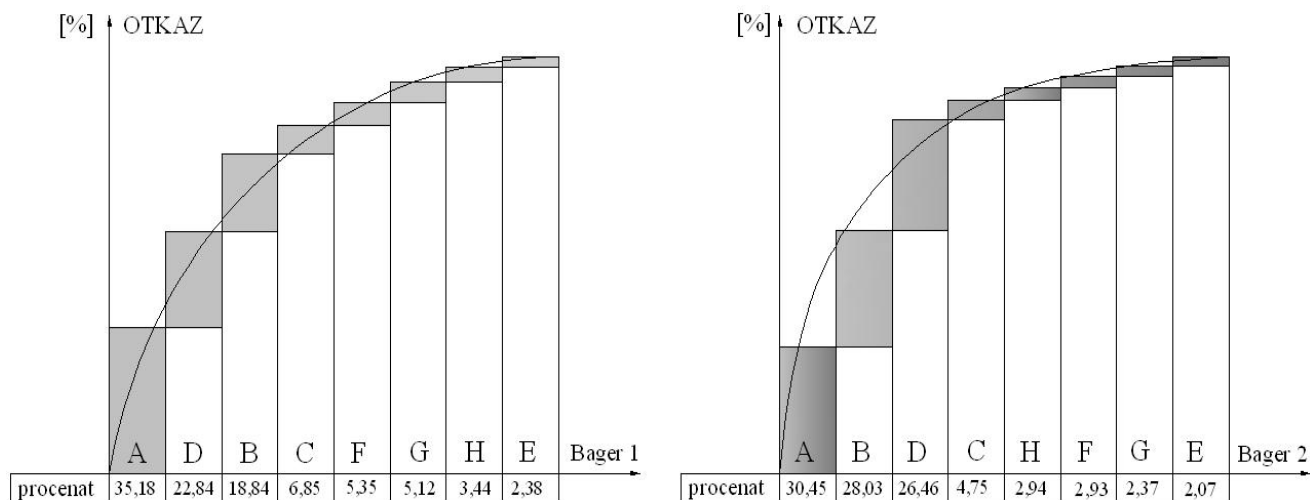
Tabela 2. Mašinski otkazi podsistema za kopanje sa prijemnom katarkom bagera 1 i 2 kopa "Gračanica"

Kop „Gračanica“ podsistem kopanja	mje- ra	bager br. 1				pro- sjek	bager br. 2				pro- sjek
		2006.	2007.	2008.	2009.*		2006.	2007.	2008.	2009.*	
1. Vedrice	min	16742	15140	15015	1530	12107	16345	27905	20915	1605	16693
	%	26,14	28,37	39,42	46,57	35,18	40,67	39,08	31,71	10,37	30,45
2. Radni točak	min	5105	17125	7605	1050	7721	10665	22850	17615	4155	13821
	%	7,97	32,09	19,98	31,96	18,84	26,53	32	26,71	26,86	28,03
3. Vijenac radnog točka	min	7375	2110	4530	0	3504	1620	4230	5730	60	2910
	%	11,54	3,95	11,88	0	6,85	4,03	5,92	8,68	0,38	4,75
4. Reduktor	min	24000	11100	3360	270	9683	3300	8085	18420	9030	9709
	%	37,5	20,8	8,81	8,21	22,84	8,21	11,32	27,93	58,38	26,46
5. Rep reduktora	min	1365	1560	900	60	971	1170	2075	1110	120	1119
	%	2,13	2,92	2,36	1,82	2,38	2,91	2,9	1,68	0,77	2,07
6. Traka	min	3585	2150	3105	120	2240	3020	1845	570	120	1389
	%	5,59	4,02	8,14	3,65	5,35	7,51	2,58	0,86	0,77	2,93
7. Sistem za podmazivanje	min	3405	1990	2070	195	1915	1575	2100	960	180	1204
	%	5,31	3,72	5,43	5,97	5,12	3,91	2,94	1,45	1,16	2,37
8. ostalo	min	2452	2190	1515	60	1554	2490	2305	625	195	1404
	%	3,82	4,13	3,98	1,82	3,44	6,23	3,26	0,98	1,31	2,94
Ukupno	min	64029	53365	38100	3285	158779	40185	71395	65945	15465	192990

* - u 2009. godini podaci su prikupljeni za prvih pet mjeseci

U tabeli 2. se daje minutno, odnosno procentualno učešće mašinskih otkaza na sklopovima podsistema za kopanje I i II BTO sistema u uslovima eksploatacije površinskog kopa Gračanica za vremenski period posmatranja od 2006. do 2009. godine. Tabela je sastavljena na osnovu baze podataka o radu i otkazu sistema u ovim periodima, koja je napravljena na osnovu evidencije dispečerske službe o radu i zastoju sistema.

Na osnovu podataka iz table 2 izvršena je ABC (Pareto) analiza (slika 1.), koja slikovito pokazuje prosječni procentualni udio otkaza u ukupnim zastojima kao i njihov međusobni odnos za otkaze osnovnih sklopova podsistema za kopanje sa prijemnom katarkom.



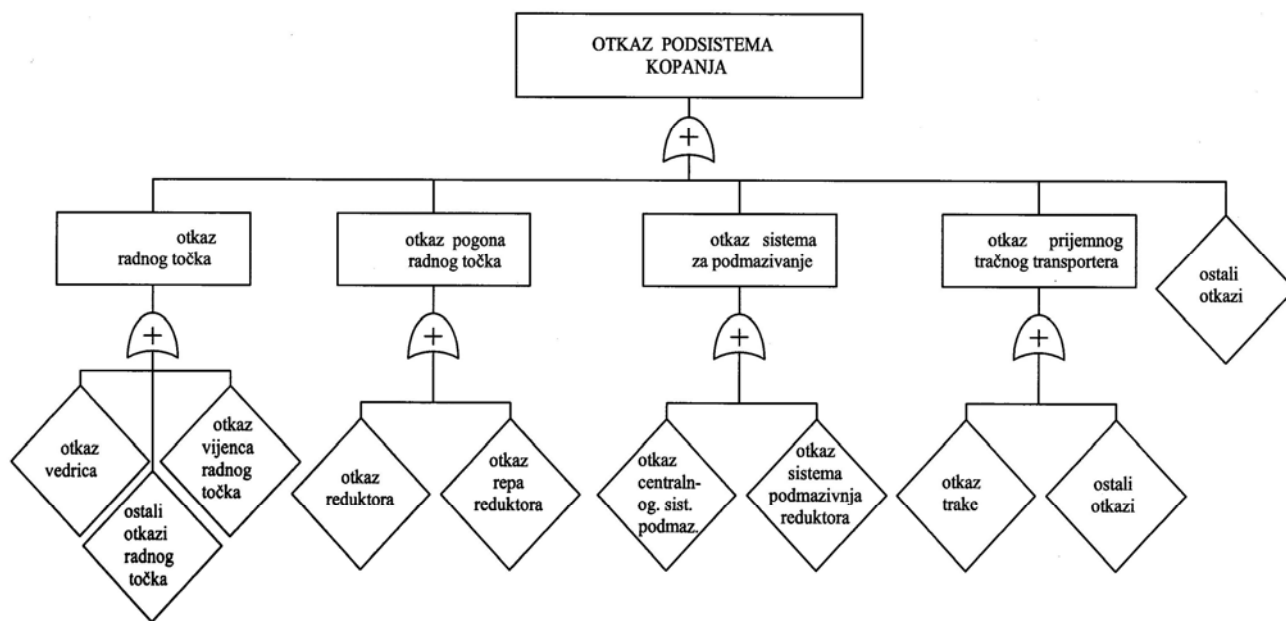
Slika 1. ABC analiza strukture prosječnih mašinskih otkaza osnovnih sklopova podsistema za kopanje sa prijemnom katarkom rotoranog bagera na Gračanici: A – vedrice, B – radni točak, C – vijenac radnog točka, D – reduktor, E – rep reduktora, F – traka, G – sistem za podmazivanje, H – ostalo

4. ANALIZA UZROKA I NAČINA OTKAZA PODSISTEMA ZA KOPANJE BAGERA METODOM STABLA OTKAZA (FTA – FAULT TREE ANALYSIS)

Analiza stabla otkaza je jedna od osnovnih metoda analize sigurnosti sistema. Nasuprot metodi FMEA, kod koje se polazi od vrste otkaza u ravni konstrukcionih dijelova, kod stabla otkaza se najprije razmatra mogući otkaz sistema, a ovaj otkaz sistema sintetizuje otkaze iz donjih ravni sistema. Dok FMEA posjeduje induktivni postupak (bottom up metoda), dotle je kod stabla otkaza deduktivni postupak (top – down metod).

Ako se pri realizaciji konačnog cilja, formiranje stabla otkaza podsistema za kopanje rotornog bagera, usvoji

aproximacija, da ne postoji međusobna veza između otkaza podsistema za kopanje i ostalih otkaza, onda se detaljna analiza tih potencijalnih otkaza i analiza svih načina otkaza njihovih elemenata ne mora sprovesti. Iz ovih razloga je formirano nezavisno podstablo za "Otkaz podsistema za kopanje" rotornog bagera kao što je to na slici 2. prikazano. Podstablo otkaza predstavlja, prema metodologiji analize stabla otkaza, neželjeni događaj, odnosno znači da se zadatak kopanja bagerom jalovinske mase uopšte ne vrši, ili se vrši van granica dozvoljenog odstupanja od funkcije cilja. Pouzdanost podsistema za kopanje predstavlja njegovu sposobnost da očuva raspoložive karakteristike u odnosu na proces kopanja i njegovu stabilnost, vršeci zadatu funkciju kriterijuma u dozvoljenim granicama odstupanja i za projektovane radne uslove i uslove okruženja.



Slika 2. Stablo otkaza podsistema za kopanje

5. ALOKACIJA POUZDANOSTI PODSISTEMA ZA KOPANJE POMOĆU METODE EFTS

Postupak razdjeljivanja pouzdanosti i inteziteta otkaza za sklopove i podslopove podsistema kopanja sa prijemnom

katarkom sproveden je na primjeru bagera br. 1. Posmatrana su stanja u radu i stanja u otkazu (tabela 3.) za period od 2006. do 2009. godine.

Tabela 3. Stanje u otkazu i stanje u radu podsistema za kopanje sa prijemnom katarkom bagera br. 1

Kop „Gračanica“	mje- ra	Stanje u otkazu				uku- pno	Stanje u radu				uku- pno
		2006.	2007.	2008.	2009.*		2006.	2007.	2008.	2009.*	
Podsistem kopanja	<i>h</i>	1226,9	1191,2	845	218,8	3481,9	6285,1	5912,8	7171	3405	22773,9

* - u 2009. godini podaci su prikupljeni za prvih pet mjeseci

Pouzdanost podsistema za kopanje iznosi [5]:

$$R(t) = \frac{n(t)}{n}$$

gdje je: *n* - ukupan broj pojava stanja u radu,
n(t) - ukupan broj stanja u radu.

$$n = 22773,9 + 3481,9 = 26255,8 \text{ [h]}$$

$$R(26255,8) = \frac{22773,9}{26255,8} = 0,8674$$

Dobijena vrijednost pouzdanosti može se smatrati

dobrom. Eksperimentalna istraživanja ovih i sličnih sistema [1] pokazuju da se pouzdanost podsistema kopanja sa prijemnom katarkom nalazi u rasponu $0,8051 \leq R_{pk} \leq 0,8280$, i da predstavlja najmanju pouzdanost u odnosu na ostale bagerske podsisteme. Donja granica pouzdanosti $R_{pk \min} = 0,8051$ je najniža vrijednost pouzdanosti sistema ispod koje se ne bi realizovala funkcija cilja. Ova vrijednost pouzdanosti je referentna da bi se utvrdile potrebne pouzdanosti elemenata sistema. Pod ovim uslovima sada treba izvršiti postupak alokacije pouzdanosti podsistema za kopanje sa prijemnom katarkom.

Sada vršimo alokaciju pouzdanosti i inteziteta otkaza, za posmatrane elemente podsistema za kopanje sa prijemnom katarkom, pomoću metode EFTES za usvojeno vrijeme od $T = 7536$ [h].

Na osnovu postavljenog zahtjeva da je $R(7536) = 0,8051$, intezitet otkaza sistema je:

$$\lambda_s = -\frac{\ln \cdot R_s(t)}{t} = -\frac{\ln 0,8051}{7536} = 1,07 \cdot 10^{-4} \text{ [h}^{-1}\text{]}$$

Koristeći ovu vrijednost, usvojene faktore značaja E_1, \dots, E_8 i izračunate koeficijente srazmjernosti K_1, \dots, K_8 , alocirani inteziteti otkaza i pouzdanosti dati su u tabeli 4, korišćenjem posebno razvijenog programskog paketa.

Tabela 4. Rezultati alokacije pouzdanosti EFTES metodom $N(\Delta t)$ - stanje u otkazu, λ_i' - intezitet otkaza, K_i - koeficijent srazmjernosti, E_i - faktor značaja, λ_i - alocirani inteziteti otkaza, R_i - alocirana pouzdanost elementa.

Podsystem kopanja	Stanje u otkazu $N(\Delta t)$ [h]	Intezitet otkaza $\lambda_i' = \frac{N(\Delta t)}{n(t)\Delta t}$ [h ⁻¹]	Koeficijent srazmjernosti $K_i = \frac{\lambda_i'}{\lambda_r}$	Faktor značaja E_i	Alocirani intezitet otkaza $\lambda_i = \lambda_s \cdot \frac{K_i}{E_i}$ $\sum_{i=1}^{i=8} \left(\frac{K_i}{E_i} \right)$ [h ⁻¹]	Alocirana pouzdanost $R_i = R_s \left(\frac{K_i}{E_i} \right)$ $\sum_{i=1}^{i=8} \left(\frac{K_i}{E_i} \right)$
1. Vedrice	807,12	$1,35 \cdot 10^{-6}$	1	0,85	$3,53 \cdot 10^{-5}$	0,9310
2. Radni točak	514,75	$8,61 \cdot 10^{-7}$	0,64	0,95	$2,01 \cdot 10^{-5}$	0,9600
3. Vijenac radnog točka	233,58	$3,91 \cdot 10^{-7}$	0,29	0,9	$9,64 \cdot 10^{-6}$	0,9807
4. Reduktor	645,5	$1,08 \cdot 10^{-6}$	0,80	1	$2,40 \cdot 10^{-5}$	0,9526
5. Rep reduktora	64,75	$1,08 \cdot 10^{-7}$	0,08	0,8	$3,01 \cdot 10^{-6}$	0,9939
6. Traka	149,33	$2,50 \cdot 10^{-7}$	0,19	0,9	$6,16 \cdot 10^{-6}$	0,9876
7. Sistem za podmazivanje	127,67	$2,14 \cdot 10^{-7}$	0,16	1	$4,74 \cdot 10^{-6}$	0,9904
8. Ostalo	103,62	$1,73 \cdot 10^{-7}$	0,13	0,95	$4,05 \cdot 10^{-6}$	0,9918

Provjerom se dobija:

$$R_s = 0,9310 \cdot 0,9600 \cdot 0,9807 \cdot 0,9526 \cdot 0,9939 \cdot 0,9876 \cdot 0,9904 \cdot 0,9918 = 0,8051$$

Na osnovu rezultata datih u tabeli 4. može se uočiti da je najmanja pouzdanost vedrica $R_{\min} = 0,9310$, što ukazuje da njima treba posvetiti najveću pažnju u smislu održavanja pouzdanosti u zahtjevanim granicama.

Na drugom mjestu po kritičnosti otkaza je reduktor, a na trećem radni točak. Svi ostali elementi imaju mnogo manje vrijednosti kritičnosti otkaza u odnosu na prva tri elementa.

6. ZAKLJUČAK

Održavanje proizvodnih sistema u zadatim granicama radne sposobnosti i sa potrebnim nivoom pouzdanosti i efektivnosti podrazumjeva da se pojave stanja u otkazu moraju minimizirati ili potpuno eliminisati.

Da bi se došlo do opštih kvantitativnih pokazatelja pouzdanosti, sprovedena su istraživanja i prikupljeni statistički podaci za dva bagera tipa Er – 1250. Svi elementi sistema nisu istog uticaja na pouzdanost sistema, odnosno mali broj mašinskih cjelina ima veliki uticaj na pouzdanost čitavog sistema. Da bi se obezbjedio zahtjevani nivo pouzdanosti, odnosno maksimalna iskorišćenost resursa rada

elemenata, potrebno je pratiti promjene elemenata i cjelina koje su se pokazale najmanje pouzdanim.

LITERATURA

- [1] D. Ljamić, Pouzdanost reduktora na mašinama kontinualnih sistema površinskih kopova uglja, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Priština, 1997.
- [2] D. Milošević, N. Grujić, Analiza pouzdanosti odlagača BTO linije, XXIII Jugoslovenski majski skup "Održavanje tehničkih sistema", Kragujevac, 1998.
- [3] S. Jovičić, Osnovi pouzdanosti mašinskih konstrukcija, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [4] G. Ivanović, D. Stanivuković, Pouzdanost tehničkih sistema, Zbirka rešenih zadataka, Mašinski fakultet, Beograd, 1987.
- [5] D. Milčić, Pouzdanost mašinskih sistema, Mašinski fakultet, Niš, 2005.