

Model upravljanja diskontinualnim sistemima eksploatacije u uslovima P.K. „Bogutovo Selo“

VLADIMIR M. MALBAŠIĆ, Univerzitet u Banjoj Luci,

Rudarski fakultet Prijedor, Prijedor, Bosna i Hercegovina

DIMŠO D. MILOŠEVIĆ, MDP Elektroprivreda RS,

ZDP RiTE Ugljevik, Ugljevik, Bosna i Hercegovina

MIODRAG Z. ČELEBIĆ, Univerzitet u Banjoj Luci,

Rudarski fakultet Prijedor, Prijedor, Bosna i Hercegovina

Originalni naučni rad

UDC: 622.271:622.332(497.6)

DOI: 10.5937/tehnika1902205M

U ovom radu se obrađuje razvoj i primjena modela upravljanja diskontinualnim sistemom eksploatacije u radnim uslovima P.K. „Bogutovo Selo“ Ugljevik. Definisane ovog modela je doprinos globalnim trendovima i nastojanjima da se informacione tehnologije koriste u što većem obimu za potrebe modelovanja upravljanja i optimizacije rudarskih proizvodnih procesa u cilju postizanja ekonomske održivosti poslovanja.

U tom smislu su korišćene informacione tehnologije i tehnike upravljanja uz detaljna istraživanja diskontinualnih sistema eksploatacije i specifičnosti sa velikim brojem uticajnih parametara i varijabli koje uveliko definišu način korišćenja procesa upravljanja.

Analizirani su efekti primene razvijenog modela u realnim uslovima i konstatovano je da se optimizacijom procesa može značajno uticati na povećanje kapaciteta diskontinualnih sistema, zavisno od veličine sistema i radnih uslova na samom kopu.

Ključne riječi: površinski kop, proizvodnja, diskontinualni sistem, statistika, sistem bager-kamion, simulacija

1. UVOD

Izuzetno brz razvoj kompjuterske tehnologije (hardvera i softvera) i računarski podržano projektovanje površinskih kopova omogućilo je da se za veoma kratko vrijeme izvrši postavljanje modela, njegov cilj kao i formiranje baza podataka, njegova eksploatacija, a potom i razrada velikog broja varijantnih rješenja. U cilju povećanja proizvodnje na površinskim kopovima izvršena su instaliranja računarskih pomagala za praćenje rada osnovne opreme: po kapacitetu, pouzdanosti u radu, visini investicionog i tekućeg održavanja, potrošnji energenata i osnovnog materijala, troškova amortizacije, radne snage i dr [1, 2, 3].

Moderne tehnike menadžmeta se razvijaju u smislu organizacionih ciljeva i predstavljaju dio industri-

jskog inženjerstva i kao dio nauke o menadžmentu. Tehnike mogu po prirodi biti matematičke ili organizacione. Na primjer, algoritmi linearnog programiranja pomažu u optimizaciji logističkih problema kroz integrisane matematičke proračune. Alati za organizaciona poboljšanja kao što su Ocjena troškova bazirana na aktivnostima (ABC) ili Teorija ograničenja (TOC) [4, 5]. Veći dio dosadašnjih istraživanja je baziran na formiranju baza podataka za određene objekte, optimizacijama pojedinih tehnoloških procesa, izradama simulacionih modela za određene operacije i procese, kao i dinamička planiranja proizvodnje u realnom vremenu i prostoru [6, 7]

Svako projektno rješenje površinskog kopa i odabrana tehnologija i rudarska oprema u svom radnom vijeku doživi nekoliko transformacija-projektovanja prije svega iz razloga novih saznanja o ležištu i pratećim naslagama, razvoju tehnologije i mašinske industrije u svijetu kao i promjenama cijena pogonske energije u okruženju. S tim u vezi se potvrđuje da se u rudarstvu ne može prihvatiti izraz optimalan, nego da se istraživanjima približavamo optimalnim rješenjima, a ista zavise od mnogo faktora na koje u pojedinim slučajevima i ne možemo uticati.

Adresa autora: Vladimir Malbašić, Univerzitet u Banjoj Luci, Rudarski fakultet Prijedor, Prijedor, Save Kovačevića bb, Bosna i Hercegovina

e-mail: vladimir.malbasis@rf.unibl.org

Rad primljen: 25.02.2019.

Rad prihvaćen: 05.03.2019.

2. DEFINISANJE PROBLEMA I CILJ RADA

Modeli koji služe za upravljanje su veoma značajni rudarskim inženjerima u rudarskim kompanijama nezavisno od nivoa upravljanja na kojima se nalaze, kako bi mogli kontrolisati sisteme proizvodnje. Osnovni cilj svakog upravljanja jeste maksimalizacija profita kompanije putem smanjenja troškova u svim tehnološkim fazama sistema eksploatacije mineralne sirovine [1, 8, 9]. Cilj ovog rada je da opiše rezultate primjene modela upravljanja diskontinualnim sistemima eksploatacije na informacionim tehnologijama i na gotovo svim nivoima upravljanja rudnika.

Metodologija upravljanja diskontinualnim sistemima površinske eksploatacije, koja se predlaže u ovom radu je razvijena kroz nekoliko faza koje su generalno podijeljene u dva koraka. Prvi korak predstavlja izgradnju NIS-a Rudnika Ugljevik kao logističko informacioni dio modela upravljanja u kojem su vršena istraživanja i analize svih specifičnosti ovakvih proizvodnih sistema i iskustva korišćenja na drugim rudnicima. Drugi korak jeste prijedlog racionalnih kriterijuma za alokaciju kamiona u diskontinualnim sistemima u cilju automatskog upravljanja ovim sistemima [4, 10].

Metodologija korišćena za prikupljanje i analizu neophodnih podataka za simulaciju sistema kamionibager uključuje praktično četiri koraka [11]:

1) Mjerenje individualnih komponenti ciklusa rada sistema kamionibager i prikupljanje određenih iskustvenih podataka o sistemu.

2) Identifikovanje mogućih funkcija raspodjele: uklapanje teoretskih raspodjela u snimljene podatke, a onda poređenje istih radi određivanja onih koji najbolje predstavljaju snimljene podatke.

3) Verifikacija: funkcije raspodjele izabrane u drugom koraku verifikuju se koristeći statističke testove i grafičko poređenje za konačnu potvrdu radi korišćenja u simulacionom modelu.

4) Izbor statističkih modela za softver Talpac.

Okvir modela upravljanja je razvijen na osnovu iskustava, obimne analize literature i analize dosadašnjih tehnika upravljanja ali i dodatnih istraživanja na specifičnostima koje nosi primjer Rudnika Ugljevik, a koji je pokušio za opis osnovne postavke modela.

3. MODEL UPRAVLJANJA DISKONTINUALNIM SISTEMOM POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE

Svaka pojedinačna faza modela upravljanja se mora realizovati uz interaktivno djelovanje osnovnih resursa modela. Pet osnovnih faza modela praćenja i upravljanja proizvodnim sistemom su :

- Planiranje,
- Izvještavanje i praćenje,
- Analiza planskih i ostvarenih rezultata,
- Definisane korektivnih procedura, i
- Realizacija korektivnih procedura.

Definisani ciklus praćenja i upravljanja troškovima proizvodnje se kontinualno ponavlja na sedmičnoj i mjesečnoj bazi u toku godine (mjesečni sadrži sublimirane informacije u obliku troškova po jedinici proizvoda, bilo jalovine ili uglja za potrebe višeg nivoa taktičkog menadžmenta), dok se dnevni ciklus izvještavanja obavlja o svim elementima proizvodnje.

Taktički nivo upravljanja definiše periode u kojima se vrši pregled izvještaja, identifikacija rješenja, planiranje i realizacija rješenja i način kontrole i nadzora nad novodefinisanim rješenjima.

U cilju kvalitetne realizacije informisanja putem kontakata (sastanaka) obavlja se efikasno analitičko izvještavanje o procesu proizvodnje (i/ili pojedinim tehnološkim operacija: transportu, utovar, radu buldozera itd), koje sprovodi se kroz izvještaje.

Kvalitetno dizajnirani i pripremljeni upravljački izvještaji o rudarskoj proizvodnji (zavisno od nivoa kreiranja) treba da sadrže ključne elemente neophodne za efikasnu kontrolu troškova proizvodnje, i to [9, 12, 13]:

1) Troškove svih tehnoloških operacija koji se mogu kontrolisati (korigovati putem interventnih mjera u tehnološkom sistemu).

2) Statističke podatke o proizvodnji (proizvedene količine po tehnološkim operacijama, podsistemima ili mašinama pojedinačno ili kumulativno).

3) Pokazatelje rada cjelokupne mehanizacije i opreme u funkciji tehnoloških cjelina procesa proizvodnje.

4) Pojedinačne tekuće troškove po tehnološkim fazama, kao što su troškovi transporta, održavanja mehanizacije itd.

5) Sve tekuće troškove, koji moraju biti sublimirani i prikazani na nivou nastajanja.

6) Odstupanja u troškovima po mjestu nastajanja (po tehnološkim operacijama) na mjesečnom i godišnjem nivou u obliku trend analize.

7) Podatke o poslovanju sa jasno iskazanim profitom ili gubicima preduzeća za posmatrani period.

8) Izvještaje, koji moraju biti pripremljeni i distribuirani na odgovarajuće nivoe na kraju svakog mjeseca.

Kreiranje analitičkih izvještaja po različitim tehnološkim fazama eksploatacije, održavanja, stanja rezervnih dijelova i dr. se izvodi uz pomoć MIDSS sistema – posebne aplikacije Nadzorno-informacionog sistema.

Analitičko izvještavanje se strukturira prema poslovnoj organizaciji rudnika, tako da svaki nivo taktičkog

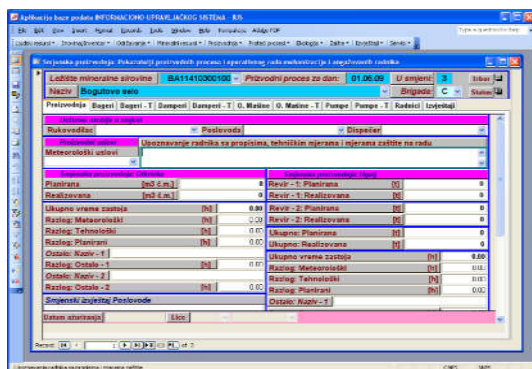
nivoa upravljanja raspolaže sa potrebnim informacijama, i u tom smislu svaki na svom nivou, učestvuju u kreiranju sadržaja izvještaja po piramidnom sistemu izvještavanja. Smjenskim inženjerima i poslovođama su dostupni najfrekventniji podaci sa naglaskom na prirodne (nenovčane) podatke, dok najviši nivo upravljanja prima manje frekventne – sublimirane informacije o tehnološkim procesima proizvodnje sa finansijskim pokazateljima, kao što su troškovi po tehnološkim fazama eksploatacije.

Upravljačko izvještavanje na operativnom nivou predstavlja okosnicu i izvršni dio modela upravljanja proizvodnjom. Izvještaji uglavnom sadrže tri osnovne grupe informacija: tekuće troškove (operativne i kapitalne), statističke podatke o proizvodnji i odstupanja od planiranih pokazatelja.

Pri on-line uvidu, korisnik može da izvede trend analize putem odgovarajućih grafikona ili tabela, sa detaljnim informacijama. Stvaranje ovih mehanizama mjerenja, i brojnih metoda analize sa opcijama za detaljniju analizu stvara potrebu za strukturom. Bez odgovarajuće strukture analize i pregleda mjerenja, taktički upravljački nivo nema jasnu sliku o realnim događajima među brojnim pogledima i analiziranim informacijama. Zbog toga je neophodno strukturno organizovano rješenje, da bi se definisala procedura upravljanja o učincima i inicijativama unaprijedita.

Korišćenje NIS sistema - Korišćenje sistema se u osnovi sastoji u praćenju procedura, koje su usvojene u infrastrukturi sistema upravljanja u Rudniku „Ugljevik“, a jedinstvenost ovog NIS jeste stepen integracije informacija, korišćenje odgovarajućih informacionih alata, čime se stvaraju uslovi za savremene tehnike upravljanja priladenih specifičnim sociološko-kulturološkim uslovima na predmetnom rudniku [11].

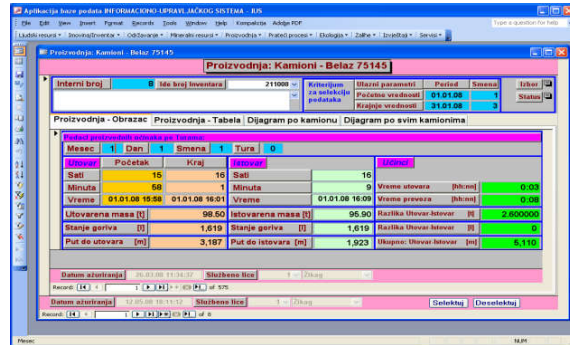
Primjer ekranskih obrazaca za automatsko prikupljanje podataka u utovarno-transportnom sistemu, na kojima se demonstrira integracija informacija NIS-a u ovom dijelu Modela upravljanja, prikazana je na slici 1. i 2.



Slika 1 - Ekranska forma obrasca Proizvodnja i baze podataka

Ovakve forma obrazaca se izrađuju za svaku jedinicu opreme, odnosno po proizvodnim sistemima bager-kamion.

Zbog dinamičke i stohastičke prirode sistema eksploatacije dolazi do čestih stvaranja uskih grla u pojedinim sistemima eksploatacije. Zahvaljujući kvalitetno izvedenoj analitici zastoja u moguće je identifikovati relevantne informacije.

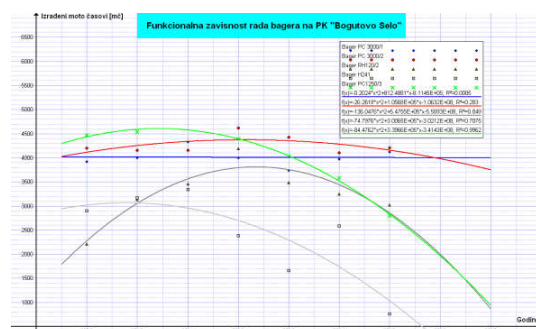


Slika 2 - Ekranska forma Obrasca za proizvodnju kamiona

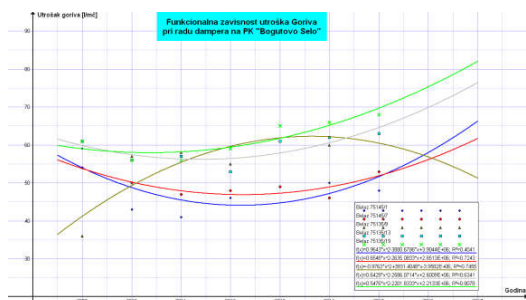
Statistička obrada i analiza prikupljenih podataka - Na osnovu svih prikupljenih podataka koji se mogu oblikovati u određene forme izvještaja daju se i tabelarni pregledi podataka za statističku obradu [1, 4, 5, 9]. U tabelama se prezentuju podaci o izrađenim moto satima, učinku, kapacitetu, vremenu zastoja, koeficijentima popunjenosti (kašike ili sanduka), broju otkaza, potrošnji el.energije ili nafte i dr.

Pri statističkoj obradi rezultata se unošenjem snimljenih rezultata za određeni vremenski period, može vršiti definisanje funkcionalne zavisnosti matematičkih funkcija, slike 3, 4 i 5, kod:

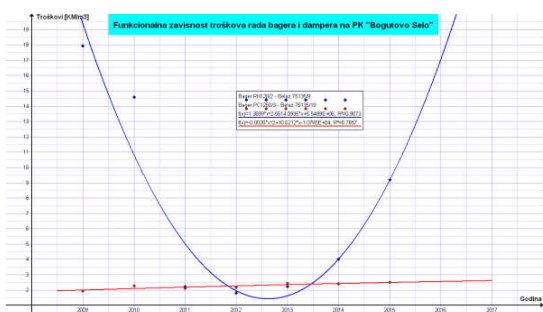
- rada jedinice opreme odnosno broj izrađenih moto sati,
- časovnog kapaciteta jedinice opreme,
- koeficijenta pouzdanosti jedinice opreme
- utroška električne energije, goriva i dr,
- troškova rada jedinice opreme KM/h, KM/m³, i
- kapitalnih i operativnih troškova.



Slika 3 - Primjer definisanja funkcionalne zavisnosti rada bagera



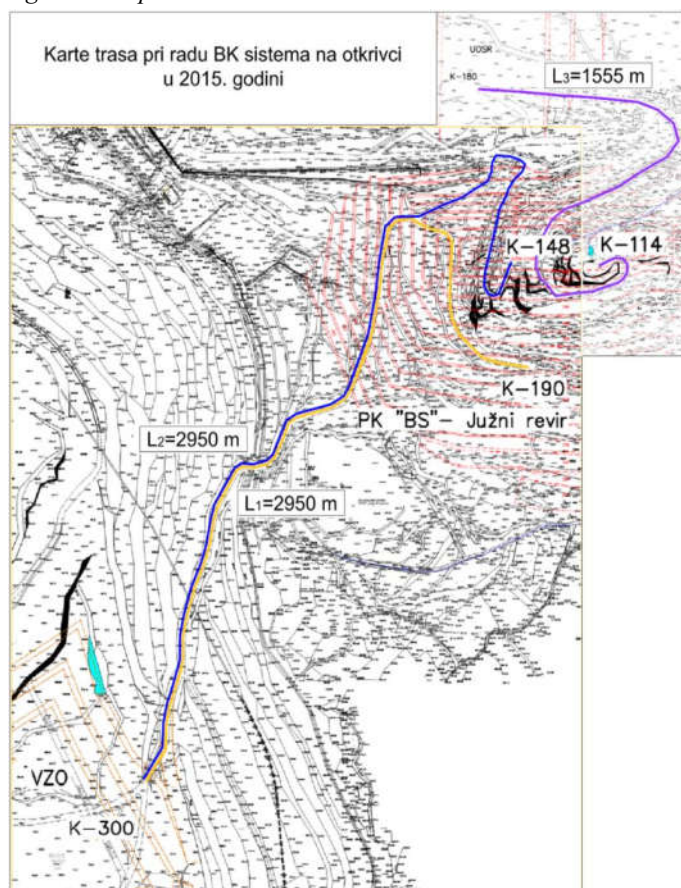
Slika 4 - Primjer definisanja funkcionalne zavisnosti utroška goriva dampera



Slika 5 - Primjer definisanja funkcionalne zavisnosti troškova rada bagera i dampera

Na osnovu statističke analize rada pojedinih vrsta i jedinica opreme, moguće je iste parametre utvrditi i za rad sistema bager-kamion. Statistička analiza se može vršiti i pri obradi detaljnijih podataka u smislu vremena pojedinih tehnoloških operacija na bageru ili kamionu. Na primjer kod kamiona možemo analizirati realne podatke prikupljene kroz NIS za: vrijeme utovara, vrijeme vožnje punog kamiona, vrijeme vožnje praznog kamiona, vrijeme istovara, vrijeme čekanja, vrijeme manevara itd.

Simulaciona analiza na bazi podataka NIS-a u cilju unapređenja rada diskontinualnog sistema eksploatacije - Većina realnih sistema koja se analizira metodom simulacionog modeliranja ima stohastički karakter ulaza (input) (npr. dolazak kamiona na utovar), kao i interne stohastičke komponente (npr. vrijeme utovara kamiona) [1, 3, 4, 9]. Simulacioni modeli transformišu stohastički uticaj koji prime od ulaza i internih procesa u statističke podatke koji predstavljaju njihov izlaz (output). Što se analize rezultata tiče, simulacija jednostavno predstavlja metod statističkog uzorkovanja i analize sa određenim specifičnostima. Ugrađena stohastika u simulacioni model kroz ulazne podatke određuje stohastičku prirodu rezultata simulacije.



Slika 6 - Šema trasa transporta BK sistema na otkrivci u 2015. godini

U cilju prezentacije razvijenog modela i metodologije za analizu mogućnosti unapređenja efikasnosti rada diskontinualnih sistema u vijeku kopa, s obzirom da se radni uslovi stalno mijenjaju (povećanje transportnih dužina, visina izvoza, promena normativa rada, ird), korišćen je primjer rada diskontinualnih sistema na jalovini na primjeru kopa „Bogutovo Selo“ u toku 2015. godine. Iz navedenih razloga uzimani su u obzir istorijski podaci o efikasnosti rada sistema bager-kamioni za određenu konfiguraciju površinskog kopa Bogutovo Selo (slika 6.).

Provedena je analiza tako što je upoređen fiksni način rada kamiona sa dva moguća pristupa unapređenja rada ovih sistema, i to:

- minimizacija transportnog ciklusa kamiona,
- minimizacija vremena čekanja bagera.

Statistička analiza ulaznih podataka za simulacioni model - Za potrebe simulacije realnog sistema bager-kamioni veoma je bitno koristiti podatke koji što tačnije odražavaju realnost. Ulazne podatke je veoma teško uopštavati u cilju da model bude univerzalno primjenljiv.

Uglavnom svaki površinski kop koristi različite tipove i veličine utovarno-transportnih jedinica, broj

odlagališta, konfiguraciju mreže transportnih puteva tako da bi praktično bilo nemoguće definisati uopštenu grupu ulaznih podataka za simulacionu analizu [1, 2, 3, 5].

Statistički modeli radnih ciklusa sistema su matematički izrazi koji stohastički objašnjavaju kako se slučajne promjenljive ponašaju u određenom prostoru [1, 3, 8]. Zbog toga se koriste stohastički modeli u simulacijama za generisanje slučajnih varijabli koje objašnjavaju ponašanje stvarnog sistema u određenim radnim uslovima. U našem slučaju koristimo podatke koji su bili prikupljeni kroz informacioni sistem rudnika Ugljevik za 2015. godinu.

Generisanje karakterističnih slučajnih procesa realnog sistema u modelu za diskontinualni transportni sistem je bazirano na tehničko-tehnološkim parametrima razmatrane opreme, parametrima dobijenim statističkom analizom i podacima vremenskih snimanja trajanja pojedinih aktivnosti transportnog i utovarnog ciklusa. Vrijeme utovara jedne bagerske kašike je računato u funkciji stohastičkog trajanja vremena ciklusa pojedinih operacija bagera u realnim karakteristikama radne sredine. U tabeli 1 su date usvojene funkcije raspodjele vremena aktivnosti bagera sa potrebnim parametrima za pozivanje u Talpac simulacionom softveru.

Tabela 1. Usvojeni parametri raspodjela vremenskih aktivnosti bagera

Aktivnost	Raspodjela	Ispis raspodjele sa parametrima
PC 3000 – vrijeme utovara kamiona	Gamma	$60*(0.9600+RVGAMA(str.,0.69219,58.8339))$
RH 120 - vrijemeutovarakamiona	Gamma	$60*(2.84706+RVGAMA(str.,0.63534,30.2740))$

Vremena ispravnosti i vremena u otkazu bagera su generisana Gamma i Weibull-ovom raspodjelom, a

određene su prema uzorcima registrovanih podataka u upravljačkom sistemu Rudnika (tabela 2).

Tabela 2. Usvojeni parametri raspodjela otkaza bagera

Aktivnost	Raspodjela	Ispisraspodjelesaparametrima
Vrijeme ispravnosti bagera PC 3000	Gamma	$60*(0.9600+RVGAMA(str.,0.69219,58.8339))$
Vrijeme ispravnosti bagera RH 120	Gamma	$60*(2.84706+RVGAMA(str.,0.63534,30.2740))$
Vrijeme otkaza bageraPC 3000	Weibull	$60*(3.9954 +RVWEIB(str.,0.87350,15.6302))$
Vrijeme otkaza bagera RH 120	Weibull	$60*(0.88925 +RVWEIB(str.,0.62672,14.7694))$

Parametri spremnosti rada kamiona sa kojima je obavljeno generisanje vremena otkaza i ispravnosti dati su u tabeli 3. Ovdje je potrebno naglasiti da su za sva tri tipa kamiona usvojene iste raspodjele vremena

ispravnosti i otkaza zbog nedostatka podataka o novim jedinicama koje trenutno ne operišu na kopu i zbog tehnički ravnopravnijeg upoređivanja alternativnih kombinacija.

Tabela 3. Usvojeni parametri raspodjela otkaza kamiona

Aktivnost	Raspodjela	Ispisraspodjelesaparametrima
VrijemeispravnostikamionaBellaz	Gamma	$60*(7.9235+RVGAMA(str.,0.42938, 184.197))$
Vrijeme u otkazukamionaBellaz	Weibull	$60*(2.9931+RVWEIB(str.,0.90356, 13.6224))$

Prosječne brzine kretanja punih i praznih kamiona su generisane normalnom raspodjelom na osnovu

podataka iz sistema Rudnika za usvojenu strukturu trasa puteva po fazama rada. Transportni putevi su dobijeni

povezivanjem centra masa na radnim etažama sa lokacijom odlagališta i za svaku dionicu puta definisani su potrebni elementi za simulaciju (dužine, nagibi, otpori kratanja, itd) – slika 6.

Simulaciona analiza - Simulacioni model obuhvata okvirne realnih procesa u sistemu počev od otkopavanja i utovara bagerom, transporta materijala kamionima do mjesta istovara na odlagalištu i povratak kamiona od mjesta istovara do bagera [1, 4, 5, 8]. Naravno u modelu nije bilo moguće obuhvatiti sve detalje koji se javljaju u realnim uslovima rada transportnog sistema, ali validacijom i verifikacijom modela sakupljenim podacima i korišćenjem pomenutih softvera, dobijena je željena preciznost rezultata simulacije u okviru ove studije slučaja.

U svakom slučaju, simulacioni model, izgrađen na osnovu podataka prikupljenih u realnim uslovima i vremenu i obrađenim statističkim i stohastičkim modelima, oslikava stanja transportnog sistema na eksploataciji otkrivke dinamički u konkretnom vremenu i prostoru. Fleksibilnost modela se ogleda u mogućnosti razmatranja različitih struktura opreme u sistemu i da optimizira parametre pojedinačnih procesa u sistemu, kao i jedinstvenog transportnog sistema [2, 3, 5].

U ovoj studiji slučaja razmatran je istovremeni rad tri diskontinualna sistema na otkrivci čime je

omogućeno sagledavanje mogućnosti unaprijedanja efikasnosti rada sistema bager-kamioni. Polazna osnova za analizu sistema je definisanje kombinacija utovarne i transportne opreme u 2015. godini, a to su sledeći sistemi:

- Sistem 1: Bager PC 3000 (15 m³) / Kamioni Belaz 75135 (130t, 6 komada),
- Sistem 2: Bager PC 3000 (15 m³) / Kamioni Belaz 75135 (130t, 6 komada),
- Sistem 3: Bager RH 120 (12 m³) / Kamioni Belaz 75135 (130t, 4 komada).

Ova tri sistema su radila u fiksnom ciklusu (modu) tako što je svaki bager radio sa njemu pripisanim brojem kamiona. Ovaj način rada sistema čini bazni sistem za poređenje sa dinamičkim ciklusom rada kamiona. Dinamički ciklus rada („dispatching mode“) podrazumijeva otvoreni ciklus rada za sve kamione u sistemu, tako da u svakom narednom ciklusu kamion može biti utovaren sa bilo kojim bagerom [1, 2, 5].

Uporedni prikaz rezultata simulacije sa statistikom za različite kriterijume dispečinga prikazani su u tabeli 4. Ovdje *FCK* predstavlja fiksni ciklus kamiona, odnosno bazna varijanta rada Sistema u 2015. godini sa kojom poredimo moguće varijante rada diskontinualnih sistema. Pored toga nalizirana su dva modaminimizacija trajanja ciklusa kamiona *MTCK* i miniizacija vremena čekanja bagera *MVČB*.

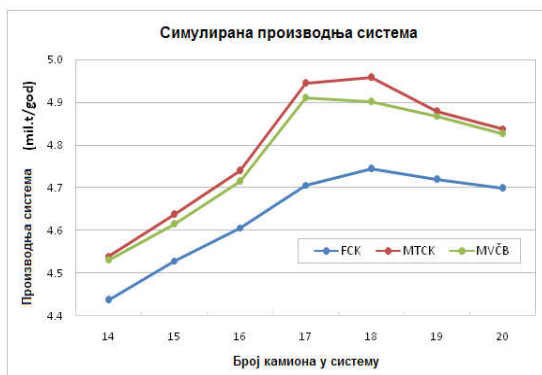
Tabela 4. Uporedni prikaz parametara simulacije za različite kriterijume dispečinga

Broj kamiona u sistemu	Dispatch kriterijum	Simulirana proizvodnja, t/god	Povećanje proizvodnje %	Kapacitet bagera, t/god		
				bager 1	bager 2	bager 3
14	FCK	4436366		1676010	1761360	998996
	MTCK	4539691	1.0233	1707855	1801871	1029965
	MVČB	4529701	1.0210	1707855	1801871	1019975
15	FCK	4528023		1710637	1797750	1019636
	MTCK	4636695	1.0240	1751693	1840896	1044107
	MVČB	4613605	1.0189	1742968	1831727	1038907
16	FCK	4605862		1740044	1828654	1037164
	MTCK	4739023	1.0289	1804426	1872542	1062056
	MVČB	4714254	1.0235	1793985	1863398	1056870
17	FCK	4705809		1777803	1868336	1059670
	MTCK	4943327	1.0505	1871849	1959884	1111594
	MVČB	4909138	1.0432	1855493	1959324	1094322
18	FCK	4744038		1792245	1883514	1068279
	MTCK	4957520	1.0450	1872896	1968272	1116351
	MVČB	4901118	1.0331	1846013	1949437	1103669
19	FCK	4719166		1782849	1873639	1062678
	MTCK	4878202	1.0337	1842931	1936781	1098490
	MVČB	4867820	1.0315	1839009	1932659	1096153
20	FCK	4697979		1774845	1865227	1057907
	MTCK	4837979	1.0298	1827735	1920811	1089433
	MVČB	4824825	1.0270	1822766	1915588	1086471

Kao što se i očekivalo, rezultati simulacije pokazuju da kriva simulirane proizvodnje, u funkciji broja kamiona, ima iste karakteristike kao i kriva

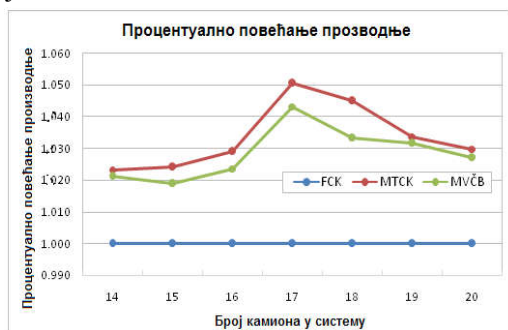
proizvodnje sistema u 2015. godini, slika 7. Proizvodni kapacitet sistema konstantno raste sa povećanjem broja kamiona u sistemu do tačke zasićenja sistema, gdje kriva

počinje sa blagim padom. U ovom trenutku bageri rade sa maksimalnim iskorišćenjem, zbog čega nema više rasta u kapacitetu bez obzira na dodavanje kamiona u sistem. Interesantno je takođe konstatovati da su krive simuliranih kapaciteta uvijek ispod idealnog, odnosno maksimalnog teoretskog kapaciteta sistema. Ovo posebno naglašava valjanost logike koja je primjenjivana u simulacionom modelu.



Slika 7 - Uporedni prikaz simulacije kapaciteta

Oba razmatrana kriterijuma su uticala na povećanje proizvodnje sistema bager-kamion. Međutim, pošto je simulacija stohastički eksperiment neophodno je statistički konstatovati valjanost ovih povećanja. Zbog toga je fiksni sistem korišćen kao bazni sistem, a svi drugi sistemi su komparirani sa njime radi utvrđivanja statistički značajnih povećanja u proizvodnji.



Slika 8 - Procentualni rast kapaciteta u odnosu na sistem

Slika 8 prikazuje procentualnu razliku u proizvodnji u poređenju sa fiksnim (zatvorenim ciklusom rada).

Kao što se sa vidi analizirani dispečing algoritmi pravilno utiču na povećanje proizvodnje sistema, ali procenat povećanja je u funkciji zasićenosti sistema kamionima. Oba kriterijuma postižu bolju efikasnost ako je broj kamiona u sistemu u optimalnom rasponu, 17 do 18 u ovom slučaju. Procenat povećanja konstantno raste do optimalnog broja kamiona u sistemu, koji nastaje negdje oko 17 kamiona, odakle počinje nagli pad procentualnog povećanja za sve sisteme.

Ako je sistem nezasićen ili prezasićen kamionima, procenat povećanja proizvodnje skoro je isti za sve algoritme. Zbog toga, analizu učinaka dispečing kriterijuma treba izvesti za svaki dispečing sistem za pun raspon kamiona u sistemu od nezasićenog do prezasićenog.

U slučaju MVČB u odnosu na MTCK kriterijum, rezultati pokazuju da će udaljeniji bageri biti konstantno manje korišćeni, slika 7 i 8, a razlike u vremenima čekanja bagera su više izražene za sisteme sa manjim brojem kamiona. Ovo se objašnjava činjenicom da MTCK kriterijum upućuje kamione bagerima gdje mogu biti najbrže natovareni uz najkraći ciklus kamiona, što znači da će bageri vezani za duže cikluse akumulirati više vremena čekanja.

Vrijeme čekanja bagera je proporcionalno dužini transporta u slučaju MTCK kriterijuma. MVČB kriterijum teži da distribuiraju vrijeme čekanja ujednačeno između svih bagera zato što se kamioni alternativno distribuiraju bagerima, što generalno generiše manje povećanje proizvodnje kod ovog kriterijuma.

Sa povećanjem broja kamiona u sistemu (slika 7) efikasnost ovih kriterijuma opada s obzirom da vrijeme čekanja bagera postaje beznačajno, pa bageri rade sa maksimalnim učincima. Prema tome, nema porasta u proizvodnji sa dodavanjem kamiona u sistem kada sistem prelazi u stanje prezasićenja kamionima, a možemo konstatovati, za ovaj slučaj analize, da MTCK algoritam može ostvariti superiornije kvantitativne rezultate u proizvodnji postizujući veću proizvodnju preko 5% u odnosu na FCK.

Studija slučaja u ovom radu je pokazala da razmatrani algoritmi mogu doprinijeti optimizaciji diskontinualnih sistema eksploatacije u konkretnim radnim uslovima [1, 4, 5, 8, 9]. U slučaju analize korišćenjem MTCK algoritma, rezultati su pokazali da se može postići značajno efikasniji rad sistema.

Ovaj kriterijum više koristi bliže bagere tako da je vreme čekanja proporcionalno transportnoj dužini kamiona. Razlika u vremenu čekanja bagera je više izražena sa manjim brojem kamiona u sistemu. Ovo može biti objašnjeno činjenicom da ovaj kriterijum distribuiraju kamion onom bageru gdje će najbrže biti utovaren, što izaziva distribuciju kamiona najbližim bagerima, jer samo u tom slučaju kamion prelazi najkraće dužine, odnosno ostvaruje najkraći ciklus.

U slučaju MVČB algoritma, vrijeme čekanja bagera se minimizira, odnosno proizvodni kapacitet maksimizira. Tendencija ovog kriterijuma je da vrijeme čekanja bagera distribuiraju između svih bagera, s obzirom da će kamioni alternativno biti distribuirani bagerima. Ovaj postupak omogućava skoro jednako korišćenje svih bagera. Ovdje treba naglasiti da je razlika bilo u kapacitetu ili vremenu čekanja samo zbog različitih vremena vožnje.

5. ZAKLJUČAK

U fazi dugoročnog planiranja eksploatacije na površinskom kopu, projektant je uvijek suočen sa dva osnovna zadatka. Prvi je da se koriste savremene metode i pristupi u analizi i projektovanju u cilju iznalaženja optimalnih rješenja, drugi je da dokaže mogućnost primjene ovih metoda, a onda podstakne rudarske inženjere da ih koriste u realnim okolnostima.

Imajući u vidu da Rudnik već raspolaže sa nadzorno-informacionim sistemom (NIS) postoji velika mogućnost nadgradnje ovog sistema tako da se u sistem uključi nedostajuća oprema uz primjenu odgovarajućeg softverskog rješenja. Na ovaj način bi se jednostavno omogućilo automatsko upravljanje ovim sistemima u realnom vremenu prema odgovarajućem kriterijumu i ciljevima Rudnika.

Ovi modeli upravljanja mogu uticati na povećanje kapaciteta diskontinualnih sistema do 15%, zavisno od veličine sistema i uslova na kopu. U svakom slučaju konačno rješenje treba da proistekne iz detaljne tehno-ekonomske analize u odnosu na dugoročne ciljeve Rudnika.

U današnjim uslovima tržišta, stanja industrije minerala u svijetu i planova razvoja i realizacije površinske eksploatacije u dužem vremenskom periodu neophodno je maksimalno operacionalno i racionalno organizovati masovnu proizvodnju.

LITERATURA

- [1] Kolonja, B, Vasiljevic N, *Computer Simulation of Open-Pit Transportation Systems*, Mine Planning and Equipment Selection Panagiotou and Michalakopoulos (Eds), Balkema, Rotterdam, pp. 613-618, 2000.
- [2] Alarie S. & Gamache M, *Overview of solution strategies used in truck dispatching systems for open pit mine*, International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment 16(1), 59-76, 2002
- [3] Panagiotou G, Michalakopoulos T, eds. *Mine planning and equipment selection*, Proceedings of the Ninth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Athens, Greece, A.A. Balkema, Rotterdam, 547-553, 2000.
- [4] Burt C. N. & Caccetta L, *Match factor for heterogeneous truck and loader fleets*, International journal of mining, reclamation and environment 21, pp. 262-270, 2007
- [5] Çetin Necmettin, *Open pit truck / shovel haulage system simulation*. Ph.D thesis., The Graduate School of Natural and Applied Sciences of the Middle East Technical University- Department of Mining Engineering, 116 pages, 2004.
- [6] Belyakov N, *Modeling Development of Deep Horizons of Open Pits*, Proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, Germany, pp 43-51, 2013.
- [7] Drebenstedt C, *The Responsible Mining Concept*, Proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, Germany, pp 3-22, 2013.
- [8] Malbašić V, *Model for evaluation of transport systems in the function of long-term planning of surface mines*. Doctoral dissertation, University of Belgrade, RGF Beograd, 2007.
- [9] White J, Arnold M. J, Clavenger J. G, *Automated Open-Pit Truck Dispatching at Tyrone*, Engineering & Mining Journal, vol. 183, no. 6, pp. 76-84, 1982.
- [10] Krause A. & Musingwini C, *Modelling open pit shovel-truck systems using the Machine Repair Model*, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Volume 107, Number 8, pp. 469-476, 2007.
- [11] Milošević D, *A model of management of discontinuous exploitation systems on surface mines*. Doctoral dissertation. University of Banja Luka, Faculty of Mining Prijedor. Bosnia and Herzegovina, 2018.
- [12] Liu J, Bongaerts J. C, *Mine Planning and Equipment Selection Supply Chain of Rare Earth Elements (REEs)*, Proceedings Mine Planning and Equipment Selection pp 1419-1426, 2014.
- [13] A. M. Newman, E. Rubio, R. Caro, A. Weintraub, K. Eurek, *A Review of Operations Research in Mine Planning*, INFORMS Journal on Applied Analytics Vol. 40, No. 3, 2010. <https://doi.org/10.1287/inte-1090.0492>

SUMMARY

MANAGEMENT MODEL FOR DISCONTINUOUS EXPLOITATION SYSTEM APPLIED ON OPEN PIT „BOGUTOVO SELO“, UGLJEVIK

This paper presents the possibility of applying a management model for discontinuous system of exploitation in the specific working conditions on the open pit "Bogutovo Selo" Ugljevik. Development of this model is a contribution to global trends and efforts to the use of information technology as much as is possible for the purpose of modeling and optimisation of production systems in the mining industry. In this sense, information technology and management techniques have been used, with detailed research of the discontinuous exploitation system and specificity with a huge number of influencing parameters and variables that largely define the method of this management process.

Application of the developed model in real terms were analyzed and the optimization of the process can be significantly influenced by increase of the capacity of discontinuous systems, depending on the size of the system and working conditions on the pit itself.

Key words: open pit mine, production, discontinuous system, statistics, shovel- truck system, simulation