

Pregledni rad
Review paper
UDC: 622.271:624.131

MODEL ZA OPTIMIZACIJU DISKONTINUALNIH TRANSPORTNIH SISTEMA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA

Lazar B. Stojanović¹,

¹*Republička administracija za inspekcijske poslove, Banja Luka*

REZIME

U radu su prezentirana dva modela za optimizaciju diskontinualnog transporta otkrivke na površinskom kopu "Bogutova Selo" Ugljevik do kraja vijeka eksploatacije kopa (2017. godine). Model za optimizaciju tehničko-tehnoloških paraetara sistema razvijen je u simulacionom jeziku GPSS/H i PROOF simulacionom paketu. Verifikacija i validacija razvijenog modela je izvršena na osnovu statistički određenih podataka sa površinskog kopa u proteklom periodu.

Ekonomski model je razvijen u softverskom paketu Xeras (Runge) i obrađuje očekivani tok prihoda, troškove kapitala za novu opremu, operativne troškove opreme, rukovaoca i radnika na održavanju. Model upotrebom DCF analize definiše: NPV neto sadašnju vrijednost dobiti, IRR (internu stopu povrata) i DAC (diskontovane prosječne troškove) procesa transporta otkrivke na PK "Bogutovo Selo" Ugljevik.

Ključne reči: simulacija, diskontovani novčani tok, neto sadašnja vrijednost, interna stopa povrata, diskontovani prosečni troškovi

MODEL FOR OPTIMISATION OF DISCONTINUOUS TRANSPORT SYSTEMS IN OPEN PITS

ABSTRACT

The paper describes two models for the optimisation of the discontinuous conveyance of overburden material in the open pit mine "Bogutovo Selo" Ugljevik throughout the lifetime of the mine (until 2017). The optimisation model of technical and technological parameters is developed in the simulation language GPSS/H and PROOF simulation package. The verification and validation of the developed model is based on data statistically obtained from the open pit mine over the past period.

The economic model is developed within the software package Xeras (Runge), which processes the flow of expected income, capital costs for new equipment, equipment and workforce running and maintenance costs. Applying DCF analysis the model is able to define the NPV- net present value, IRR - internal return rate and DAC - discounted average costs of the overburden transportation process that takes place in the Open Pit Mine "Bogutova Selo" in Ugljevik.

Key Words: simulation, discounted average costs, net present value, internal return rate, discounted average costs

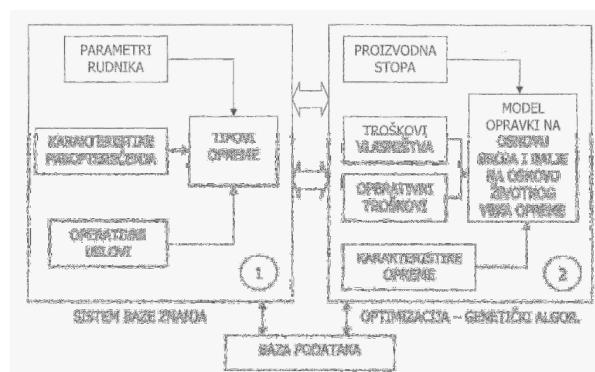
UVOD

Ekonomski uspjeh površinske eksploatacije mineralnih sirovina umnogome zavisi od planiranja i kontrole troškova transporta. U tom procesu pravilan izbor, prvenstveno prema usklađenosti kapaciteta, utovarne i transportne opreme, zatim brzo i pravilno donošenje odluka u datim situacijama predstavlja važan udio. Prvo, i osnovno pitanje koje se nameće prilikom planiranja i analize efikasnosti rada sistema površinske eksploatacije je "koji je to najefikasniji i najjeftiniji sistem transporta?". Neki rudarski stručnjaci su zagovornici tradicionalnog kamionskog načina transporta, drugi transporta trakastim transporterima, a neki daju prednost kombinovanim transportnim sistemima. Svaki od navedenih sistema transporta ima svoje specifičnosti, ali im je zajedničko da koriste različite osnovne mašine različitog jediničnog kapaciteta koje za svoju primjenu traže određene tehničke uslove, kojima se kao ograničavajući faktor javljaju prirodni uslovi ležišta, što znači da se za svako ležišta mora tražiti optimalno tehno-ekonomsko rešenje.

Diskontinualni transportni sistemi su jedan od najčešće korišćenih vidova transporta u površinskoj eksploataciji mineralnih sirovina. Ekonomska opravdanost primjene ovih sistema uglavnom zavisi od efikasnosti metoda planiranja i analize u fazi projektovanja obzirom na činjenicu da troškovi transporta dostižu preko 50 % ukupnih troškova eksploatacije. Ovaj problem je posebno evidentan pri eksploataciji raslojenih ležišta metala zbog povećanja dubine površinskog kopa i potreba transportovanja sve većih količina, kako otkrivke tako i mineralne sirovine. Radi toga postoji stalna potreba za što efikasnijom eksploatacijom koja se ogleda, između ostalog, i kroz korišćenje efikasnih metodologija i modela u fazi projektovanja.

Proces izbora strukture mašina u diskontinualnim transportnim sistemima podrazumijeva analizu velikog broja mogućih kombinacija opreme. U tom smislu, pravilan izbor prvenstveno prema usklađenosti kapaciteta utovarne i transportne opreme predstavlja važan aspekt optimizacije. S obzirom na velik broj faktora koji utiču na procjenu efekata rada utovarno-transportne opreme metodologija dimenzionisanja transportnih sistema je veoma složen proces. Klasične metode optimizacije, koje su donedavno korišćene, ne daju optimalna rješenja u većini slučajeva, a pogotovu u složenim tehnološkim procesima kakvi su diskontinualni transportni sistemi na površinskim kopovima.

Koncept optimizacije ovih sistema je dosta kompleksan postupak imajući u vidu činjenicu da se radi o različitim strukturama podsistema koji kontinualno utiču jedan na drugi tokom procesa eksploatacije. Novije metodologije za izbor optimalnih struktura opreme na površinskim kopovima obuhvataju sagledavanje: tehničko-tehnoloških karakteristika opreme, karakteristika radne sredine, raspoloživost opreme i stepen njenog iskorišćenja. Danas se, za izbor opreme sve više koriste genetički algoritmi (Haidar i Naoum) predstavljeni na slici 1. Optimizacija se u ovom slučaju zasniva na uzajamnom sagledavanju maksimalne usklađenosti utovarno-transportne opreme i minimizaciji kapitalnih i operativnih troškova rada opreme.



Slika 1. Genetički algoritam za izbor opreme (Haidar i drugi. 1999)
Figure 1 Genetic algorithm for equipment selection (Haidar et al, 1999)

METODE OPTIMIZACIJE SISTEMA TRANSPORTA

Jedna od prvih metoda koja se koristila za proučavanje procesa transporta u rudarstvu je bila teorija redova čekanja, zatim je sledila primjena stohastičke metode Monte Carlo i linearnog programiranja, da bi se danas većina tehnoloških proizvodnih procesa i sistema u rudarstvu izučavalo simulacionim modeliranjem. Analizom ovih metoda može se zaključiti da se teorija redova čekanja i Monte Carlo metoda uglavnom koristila za rješavanje jednostavnijih problema iz oblasti transporta zbog ograničenih mogućnosti modeliranja složenijih procesa, a pogotovu integralnih sistema transporta na površinskim kopovima.

Metoda linearnog programiranja je dobro poznata i često korišćena za rješavanje određenih problema na površinskim kopovima. Glavni nedostatak pri korišćenju ove metode za rješavanje problema transporta je stohastički karakter samog transportnog procesa. čime se smanjuje stepen pouzdanosti ulaznih podataka za modele, a time i valjanost rješenja linearnog modela opada.

Simulaciono modeliranje se već duže vrijeme primjenjuje kao jedna od najefikasnijih metoda za praćenje, analizu i upravljanje proizvodnim procesima i donošenje poslovnih odluka u rudarskim preduzećima širom svijeta. Pregledom istraživanja konstatovali smo da je preko 250 naučno-stručnih radova objavljeno na temu primjene računarskih simulacija u oblasti rudarstva. posebno za rješavanje problematike iz oblasti transporta.

Tehnika simulacionog modeliranja omogućava jednostavnu i detaljnu analizu relevantnih karakteristika realnih sistema. Ona na jedinstven način obuhvata kako stohastički (tj. slučajni), tako i dinamički karakter realnih sistema u prostoru i vremenu primjenom formalnih simulacionih modela.

Simulacioni modeli u rudarskom okruženju uglavnom se koriste za projektovanje novih i analizu postojećih sistema kako bi se otkrila uska grla u sistemu i kako bi se odgovorilo na pitanje tipa "Šta ako?". Simulacija je posebnu primjenu našla kod ocjene investicionih projekata za novu rudarsku opremu s obzirom na visoku nabavnu cijenu i visoke troškove eksploatacije.

Jedan od najčešće korišćenih simulacionih paketa u rudarstvu je GPSS/H (General-purpose Simulation System) sa PROOF animacijom. Prisutan je na tržištu već duže vrijeme i veoma je popularan jer ima jako dobru prateću literaturu, pogodan je za rješavanje različitih problema u rudarstvu i ima dobru podršku od strane proizvođača. Postoji nekoliko varijanti ovog jezika koji će u skorij budućnosti biti zamenjeni savremenijom poznatom kao SLX. Animacione mogućnosti programa omogućavaju korisniku da posmatra dinamičke aktivnosti u sistemu, uoči operativna pravila, logiku i pretpostavke u modelu, čime se omogućava bolje razumijevanje realnog problema.

Za procjenu ekonomske efektivnosti investicionih programa inženjeri upotrebljavaju različite metode. Oni, takođe, moraju razlikovati investicione kriterijume od metoda izračunavanja ekonomske efektivnosti investicija. Investicioni kriterijumi su težnja za postizanjem određenog efekta (maksimizacija profita, minimiziranje troškova po jedinici proizvoda, maksimizacija proizvodnje i sl.), Metodi procjene ekonomske efektivnosti investicija omogućuju nam da na bazi već utvrđenih kriterijuma izvršimo izbor između više investicionih projekata. Najčešće metodi procjene ekonomske efektivnosti investicija su:

- metod roka povraćaja uloženi sredstava,
- metod neto sadašnje vrijednosti,
- metod anuiteta,
- metod interne stope rentabilnosti,
- MAPI metod ocjene projekta.

Jedan od bitnih faktora koji utiču na ocjenjivanje nekog investicionog projekta jeste vrijeme. Gotovo svaka ekonomska odluka u rudarstvu uključuje novčane tokove odliv i priliv novca, koji se pojavljuju

u različitim momentima. Shodno tome, ekonomske ocjene moraju uzeti u obzir vremensku vrijednost novca i kamatne operacije koje iz toga proističu, da bi učinili valjanim poređenja između različitih novčanih iznosa u različitim vremenima. Pomoću kamatnih formula možemo da postavimo različite novčane tokove, koji su se dogodili u različito vrijeme, u istovremeni okvir i tako da ih upoređujemo.

Za ekonomsku analizu izbora opreme postoji više namjenskih softverskih paketa. Softver Xeras 7.1. (Runge), predstavlja jedan veoma svestran i fleksibilan sistem, koji se u posljednje vrijeme sve više primjenjuje u rudarstvu. Ovaj softver omogućava razvoj modela za obradu očekivanog toka prihoda, troškove kapitala za nabavku nove opreme, operativne troškove, zahtjeve za radnom snagom (radnike za rukovanje i održavanje), kako za sistem u cjelini tako i pojedinačno po vrstama opreme za cio vijek eksploatacije. Pored navedenog model prikazuje i indikatore ekonomičnosti: NPV - neto sadašnju vrijednost, IRR internu stopu povrata kapitala i DAC - diskontovani prosječni trošak.

Za potrebe izbora optimalne strukture diskontinualnog transporta otkrivke na PK "Bogutovo Selo" Ugljevik [6] razvijena su dva modela:

- Simulacioni model za optimizaciju tehničko tehnoloških parametara sistema,
- Model za ekonomsku ocjenu.

SIMULACIONI MODEL ZA OPTIMIZACIJU TEHNIČKO- TEHNOLOŠKIH PARAMETARA SISTEMA

Model za optimizaciju tehničko-tehnoloških parametara diskontinualnog sistema transporta otkrivke razvijen je u GPSS/H simulacionom jeziku, na bazi sadašnjeg stanja sistema eksploatacije i pokazatelja rada u prethodnom periodu. Statistička obrada podataka obavljena je sa ExpertFit softverom.

Kreiranje ulaznih datoteka sa odgovarajućom strukturom ulaznih podataka bilo je neophodno za realizaciju kvalitene i efikasne simulacione studije. Simulacioni model zahtijevao je sledeće ulazne podatke:

- tehničke karakteristike bagera,
- tehničke karakteristike kamiona,
- karakteristike mreže transportnih puteva,
- funkcije raspodjele karakterističnih slučajnih veličina koje opisuju - rad opreme (vremena ispravnosti i otkaza opreme, brzine kretanja punih i praznih kamiona, vremena manevrisanja. utovara i istovara kamiona),
- karakteristike materijala (gustina, jednoaksijalni pritisak, koeficijent rastresitosti, krupnoća), i
- opšte podatke o organizacionoj šemi rada rudnika i trajanju pojedinih aktivnosti.

Svi predhodno definisani podaci se unose u program preko datoteka. Za potrebe ovog simulacionog modela kreirane su četiri nezavisne datoteke.

Datoteka o bagerima: sadrži podatke o tipu i proizvođaču bagera, zapremini kašike bagera. trajanju ciklusa kašike, parametrima funkcije raspodjele za vremena ispravnosti i otkaza.

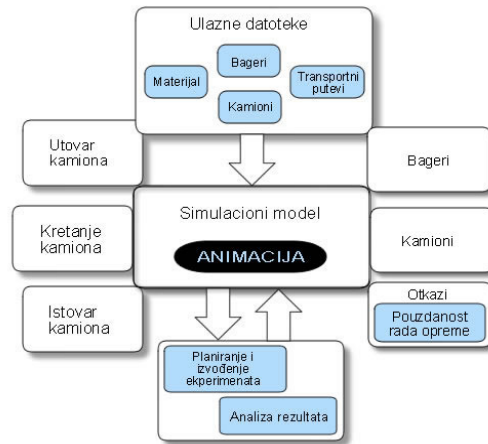
Datoteka o kamionima: sadrži podatke o tipu i proizvođaču kamiona, nosivosti kamiona. sopstvenoj masi kamiona, zapremini korpe, maksimalnoj brzini, parametrima funkcije raspodjele vremena ispravnosti i otkaza, brzine vožnje punih i praznih kamiona.

Datoteka o mreži transportnih puteva: ova datoteka sadrži podatke o broju transportnih pravaca, broju deonica, dužinama, nagibima, kvalitetu podloge puta i radijusima krivina za svaku dionicu transportnog puta.

Datoteka o opštim podacima: sadrži podatke o karakteristikama materijala koji se transportuje, kao što su gustina, koeficijent rastresitosti, lepljivost i granulometrijski sastav materijala.

Generisanje karakterističnih slučajnih procesa realnog sistema u modelu za razmatrani transportni sistem je bazirano na parametrima razmatrane utovarno-transportne opreme, parametrima dobijenim statističkom analizom i podacima vremenske studije pojedinih aktivnosti transportnog i utovarnog ciklusa.

Ulazni podaci su razvrstani u četiri nezavisne datoteke. Struktura simulacionog modela sa datotekama prikazana je na slici 2.



Slika 2. Struktura simulacionog modela
Figure 2 Structure simulation model

U strukturi simulacionog modela jasno se izdvaja sedam karakterističnih dijelova i to:

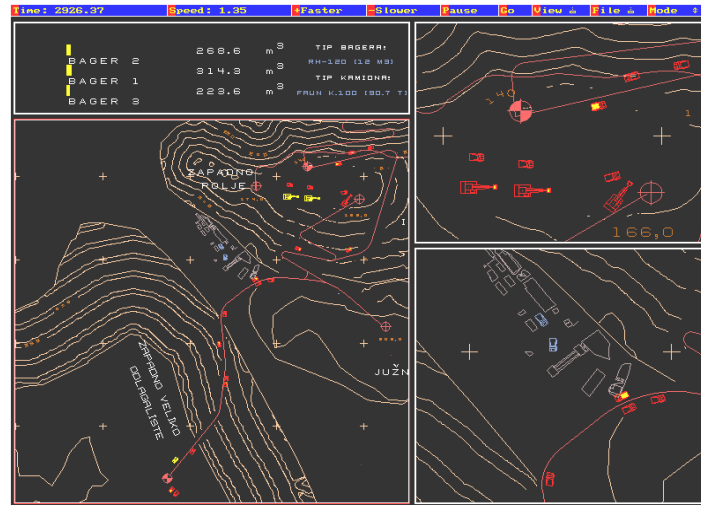
1. podmodel za simulaciju kretanja kamiona,
2. podmodel transportnog ciklusa kamiona,
3. podmodel procesa utovara bagerom kašikarom,
4. podmodel simulacije stanja ispravnosti i otkaza opreme,
5. podmodel procesa istovara kamiona na odlagalištu,
6. podmodel za izvođenje simulacionih eksperimenata i kontrolu njihove dužine i broja,
7. podmodel za animaciju.

Simulacionim modelom razmatran je istovremeni rad tri bagera čime je omogućeno sagledavanje međusobne interakcije sistema hager-kamioni, a isto tako i dobijanje realne slike nagomilavanja kamiona na mjestu utovara.

Verifikacija modela je obavljena u toku njegovog kreiranja, a validacija gotovog modela je izvršena upoređivanjem snimljenih kapaciteta realnog sistema i kapaciteta dobijenog kao izlaz simulacionog modela. U procesu kreiranja i verifikacije modela korišćena je animacija kao najpogodniji način za provjeru svih mehanizama ugrađenih u model. Na slici 3. dat je prikaz ekrana animacije modela diskontinualnog sistema transporta otkrivke na PK "Bogutovo Selo" Ugljevik.

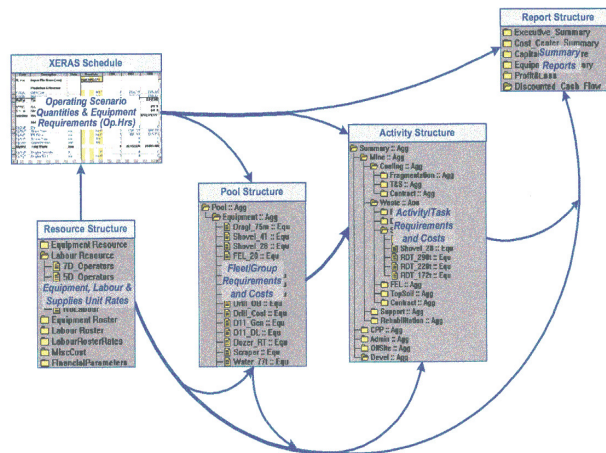
MODEL ZA EKONOMSKU OCJENU

Model za ekonomsku analizu razvijen je u softverskom paketu XERAS (Runge), i izrađen za obradu očekivanog toka prihoda, troškova kapitala za novu opremu, operacione troškove - opreme, rukovaoca i radnika na održavanju.



Slika 3. Prikaz ekrana animacionog modela
Figure 3 Animation model screen display

Model upotrebom DCF analize definiše: NPV neto sadašnju vrijednost dobiti, IRR (internu stopu povrata) i DAC (diskontovane prosječne troškove) procesa transporta otkrivke na PK "Bogutovo Selo" Ugljevik. Osnovna struktura modela razvijenog u XERAS-u sa prikazom povezivanja datoteka podataka i toka razmjena informacija i rezultata prikazana je na slici 4.



Slika 4. Pregled Xeras struktura sa protokom podataka
Figure 4 Overview of Xeras structures with data flow

Definisanje organizacije i tehnologije rada predstavlja prvi korak pri izradi modela, gdje unosimo podatke o vijeku eksploatacije - periodu rada, mase materijala koji transportujemo raspoređene na godišnje količine kroz vijek rada, procijenjeni ili ostvarivi prihod/trošak po jedinici mase, organizaciju rada (sa definisanjem neophodnog vremena angažovanja pojedine opreme na osnovu kapaciteta) i strukturu angažovane mehanizacije pri pojedinoj tehnologiji ili sistemu transporta (uz definisane kapacitete pojedine opreme).

Unesni podaci u ovu datoteku se automatski "razmjenjuju" i sa ostalim datotekama, kao i rezultati koji se obrađuju u ovoj datoteci.

Investicioni troškovi - se pri izradi modela za ekonomsku analizu tretiraju i obrađuju kroz vezane datoteke podataka, sa povezanim tokom rezultata proračuna kapitalnih i operativnih troškova u pojedinim radnim datotekama.

Unos podataka u datoteke podrazumijeva unos podataka relevantnih za investicione i operativne troškove, i ove datoteke su nezavisne od scenarija proizvodnje - prethodno objašnjene baze podataka. U ovoj bazi podataka unosimo za svaku mašinu podatke: nabavnu cijenu mašine, vijek zamjene kao i stopu amortizacije.

Uneseni podaci se određenim linkovima povezuju sa drugim datotekama i preuzimaju u istim za dalju analizu i modeliranje.

Podaci vezani za investicione troškovi, koji se unose u modele su: vijek opreme (nove ili poslije repariranja i popravke ako se proizvodnja pokreće sa postojećom opremom), dosadašnji troškovi otkopavanja i transportovanja otkrivke, nabavne cijene osnovnih mašina

Operativni troškovi - unos podataka vezanih za normative materijala i rezervnih dijelova te radne snage se pri izradi modela za ekonomsku analizu tretiraju i obrađuju kroz vezane datoteke podataka.

Za kompletiranje unosa podataka potrebnih u DCF analizi pojedinih modela transporta otkrivke neophodno je definisati i stope oporezivanja, diskontne stope i amortizacione stope.

Poresku i diskontnu stopu unosimo u datoteku finansijskih parametara. Kod datog diskontinualnog sistema transporta poreska stopa se računala na nivou do 30 % (sve vrste oporezivanja), a diskontna stopa je definisana na nivou 10 % .

Definisanje amortizacionih stopa po pojedinim mašinama, na osnovu vijeka zamjene, vrši se u zasebnoj datoteci i ona varira u zavisnosti od vrste i tipa mašine, sa napomenom da nijedna stopa amortizacije nije prelazila 10 % iz razloga ograničenog vijeka eksploatacije na PK "Bogutovo Selo" Ugljevik.

REZULTATI SIMULACIONIH MODELA

Na osnovu prikupljenih podataka o realnom sistemu u radu su razmatrane sledeće kombinacije diskontinualnih sistema:

- RH 120/FAUN K 100 (90 t)
- RH 120/W ABCO 1200 (110 t)
- H241/CAT 785 (140 t).

Ulazni podaci: Distribucija količina otkrivke po odlagalištima je data u tabeli 1.

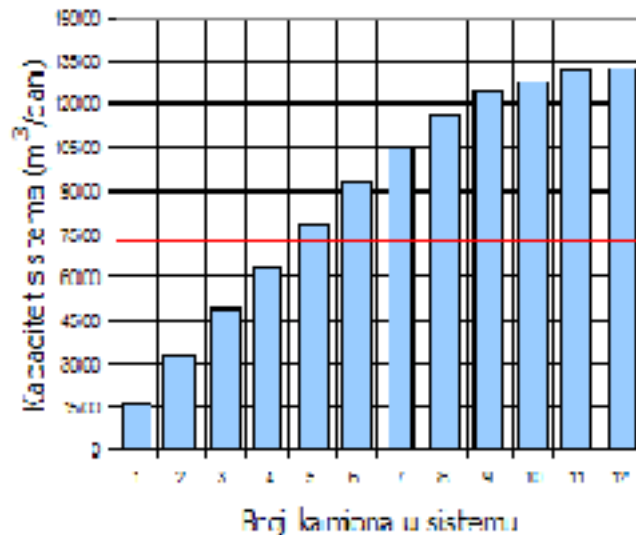
Tabela 1. Distribucija otkrivke po odlagalištima
Table 1 Distribution of overburden per disposal site

Odlagalište	Otkopno polje - revir		
	Sjeverni, 10 ⁶ m ³ (C3)	Južni, 10 ⁶ m ³ (C2)	Ukupno, 10 ⁶ m ³
Zapadno veliko odlagalište (O1) 10 ⁶ m ³	15	24	39
Unutrašnje odlagalište Sjeverni revir (O2) 10 ⁶ m ³	16,59	30,93	47,52
Sjeverno veliko odlagalište (O3) 10 ⁶ m ³	4,4	-	4,4
Ukupno, 10 ⁶ m ³	35,990	54,933	90,924

- Godišnji kapacitet na otkrivci: 8.300.000 m³,
- Materijal: lapor,
- Zapreminska masa materijala: 2100 kg/m³,
- Koeficijent rastresitosti: 1,5,
- Nivo povjerenja rezultata: 0.9,

- Vremena aktivnosti bagera generisane su po trougaonoj raspodeli,
- Brzine kretanja kamiona generisane su po normalnoj raspodeli,
- Vremena rada, popravke i servisiranja opreme generisane su Weibull i Pearsono-ovom raspodjelom.

Analizom rezultata simulacionih eksperimenata sa modelom za diskontinualni transport, prema ostvarenim kapacitetima bagera i maksimalnom stepenu usklađenosti kapaciteta bagera i kamiona, određen je potreban broj kamiona u sistemu za razmatrane kombinacije utovarne i transportne opreme. Potreban broj kamiona za rad sa jednim bagerom određen je prema rezultatima simulacionih eksperimenata i statistički dobijenog prosečnog učinka bagera. Na slici 5, prikazani su rezultati simulacije za sistem RH-120/Faun K.100 za transportnu trasu Severni revir - Veliko zapadno odlagalište C1-O1, a u tabeli 2. dat je potreban broj sistema sa optimalnim brojem kamiona u sistemu za projektovan i godišnji kapacitet od 8.300.000 m³ otkrivke.



Slika 5. Dijagram usklađenosti kapaciteta
Figure 5 Diagram of capacity balance

U ovom radu konačan broj kamiona određen je pristupom ponderisanih vrijednosti. Pošto su prvo simulacionim eksperimentima određeni potrebni brojevi kamiona po sistemima i potreban broj sistema za ostvarivanje planiranog godišnjeg kapaciteta, izvršeno je preračunavanje broja kamiona u donosu na količine koje je potrebno transportovati iz određenog revira na određeno odlagalište.

Tabela 2. Usvojeni broj bagera i kamiona
Table 2 Required number of excavators and trucks

Bager	Usvojeni broj sistema		
	Usvojeni broj kamiona		
	FAUN K.100 (90 t)	WABCO 120D (110 t)	CAT 785 B (135 t)
RH 120 (12 m ³)	5	5	3
	19	18	13
H-241 (14 m ³)	5	5	5
	19	17	12

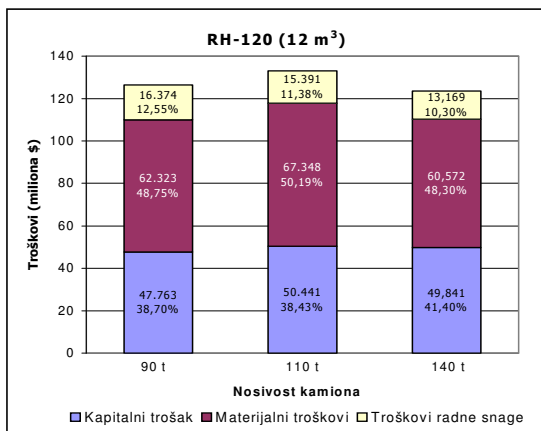
REZULTATI EKONOMSKE ANALIZE

Ekonomska analiza je izvršena primjenom dinamičkog pristupa koji uključuje sagledavanje svih troškova po varijantama i njihovo svodenje na sadašnju vrijednost. Obzirom da se radi o izboru sistema prema kriterijumu minimalnog troška po jedinici proizvoda, slijedi da je najpovoljnija varijanta sa najnižim iznosom relativnih pokazatelja.

Pod ulaznim podacima za analizu se podrazumevaju svi troškovi, bez obzira da li su oni vezani za investiciona ulaganja ili operativne troškove. Kao rezultat analize se uzima tehničko-tehnološki efekat razmatrane kombinacije opreme izražen kroz jediničnu cijenu troška.

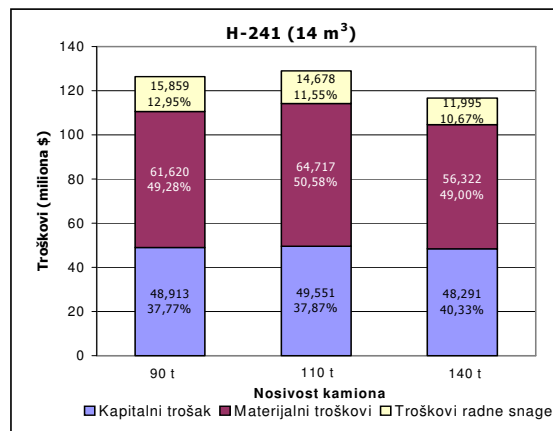
Svodenje elemenata modela na sadašnju vrijednost izvršeno je primjenom diskontne stope od 10% godišnje, s tim da je dodatno ocijenjeno u kojoj meri i u kom pravcu izbor diskontne stope utiče na dobijene rezultate. Dodatne analize su pokazale da relativan odnos rezultata u razmatranom rasponu nije osjetljiv na promjenu visine diskontne stope.

Ovde treba naglasiti da dobiveni rezultati odražavaju dinamičke troškove koštanja transporta otkrivke, a ne klasičnu knjigovodstvenu kalkulativnu kategoriju. Vrijednost ukupnih ulaganja je važna posebno zbog planiranja finansiranja cijelog vijeka eksploatacije na kopu. Slika 6. i 7. pokazuje strukturu ukupnih ulaganja, gdje dominantno mjesto imaju troškovi materijala i energije koji učestvuju sa 48.30% do 50.58% u ukupnim ulaganjima po varijantama transporta



Slika 6 Struktura troškova transportnog sistema sa bagerom RH-120

Figure 6 Structure of costs for transportation systems with excavators RH 120

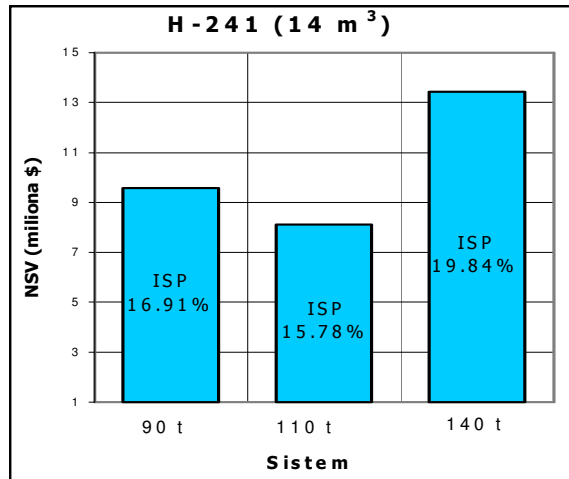


Slika 7. Struktura troškova transportnog sistema sa bagerom H-241

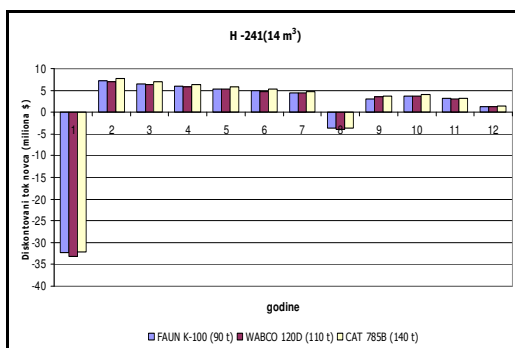
Figure 7 Structure of costs for transportation systems with excavators H-241

Neto sadašnja vrednost najveća je za kombinaciju sistema bager H-241 (14 m³) i kamione nosivosti 140 t i veća je za: 5,3 miliona \$ ili 65,4% u odnosu na kamione nosivosti 110 t, 3,9 miliona \$ ili 40,3% u odnosu na kamione nosivosti 90 t, odnosno za 4.6 miliona \$ ili 51,4% u odnosu na postojeću kombinaciju utovarno-transportne opreme na površinskom kopu. Takođe i interna stopa povrata kapitala, slika 8, najveća je za kombinaciju bager H-241 i kamione nosivosti 140 t i veća je za 15,8% od kombinacije sa kamionima nosivosti 90 t, odnosno za 24,1 % od kombinacije sa kamionima nosivosti 110 t.

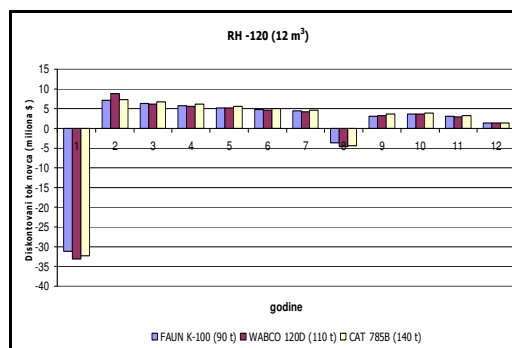
Na slikama 9. i 10. prikazano je kretanje diskontovanog toka novca po godinama za razmatrane sisteme transporta.



Slika 8. Neto sadašnja vrijednost i interna stopa povrata kapitala za sistem sa bagerom H-241
 Figure 8 Net present value and internal return rate capital for systems with excavator H-241



Slika 9. Diskontovani gotovinski tok za sistem sa bagerom H-241
 Figure 9. Discounted cash flow for systems with excavator H-241



Slika 10. Diskontovani gotovinski tok za sistema bagerom RH-120
 Figure 10. Discounted cash flow for systems with excavator RH-120

Najbolje ekonomske pokazatelje daje varijanta diskontinuiranog transporta sa bagerima H-241 i kamionima CAT 785B nosivosti 140 t. U tabeli 3. dat je pregled i međusobni odnosi diskontovanih troškova za razmatrane kombinacije sistema transporta

Tabela 3. Rang varijanti
 Table 3 Ranking alternatives

TRANSPORTNI SISTEM	Pros.disk.trošak, \$/m ³	Relat. odnos sistema	Rang
RH-120/FAUN K.100	1,80	100,6%	2
RH-120/WABCO 120D	1,91	106,7%	3
RH -120/CAT 785B	1,79	100,0%	1
H-241/FAUN K.100	1,82	112,9%	3
H-241/WABCO 120D	1,86	109,4%	2
H -241/CAT 785B	1,71	100,0%	1

ZAKLJUČAK

Za izbor optimalnog sistema transporta otkrivke na površinskom kopu "Bogutovo Selo" Ugljevik razvijen je integralni simulacioni model utovarno-transportnog sistema bageri-karnioni u GPSS/H simulacionom jeziku. Model, primjenom procesnog moda, oslikava stanja transportnog sistema na eksploataciji otkrivke u vremenu i prostoru. Fleksibilnost modela se ogleda u mogućnosti razmatranja različitih struktura opreme u sistemu i da optimizira parametre pojedinih procesa u sistemu, kao i samog transportnog sistema.

Ekonomska ocjena različitih varijanti tarsportnih sistema ili struktura opreme, putem izrade ekonomskog modela, predstavlja najbolji način sagledavanja uticaja svih struktura i vidova troškova na ukupne troškove, kako pojedine tehnološke faze tako i cjelokupne tehnologije rada i eksploatacije na površinskim kopovima. Za ekonomsku ocjenu razmatranih varijanti sistema transporta razvijen je ekonomski model u softverskom paketu Xeras (Runge) kojim se analizom diskontovanog novčanog toka definiše: neto sadašnja vrijednost (NpV), interna stpa povrata kpitala (IRR) i prosječni diskontovani troškovi (DAC). Izrada ovakvih modela baziranih na analizi rezultata dinamičkog ekonomskog modeliranja omogućava iznalaženje optimalnih dinamičkih rješenja kroz vijek eksploatacije ili određeni vremenski period.

LITERATURA

- [1] Discount rates and risk assessment in mineral project evaluations, Canadian Institute of Mining and Metallurgical Bulletin, Vol 88, No 989 , April 1995,34-43.
- [2] EVALUATING MINERAL PROJECTS: Applications and Misconceptions, T.F.Torries.
- [3] Jan Runge: MINING ECONOMICS AND STRATEGY, SME, Littleton, Co, USA, 1998., ISBN 0-87335-165-7.
- [4] Kolonja B., Stanić R., Vasiljević N.: Simulacioni model transportnog sistema na površinskom kopu "Potrlica" RU Pljevlja, YUINFO '99, Kopaonik 99.
- [5] Malbašić V.: Model za optimizaciju transporta na površinskom kopu "JEZERO" Rudnika Omarska, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet, Magistarski rad, 2004. godine.
- [6] Stojanović L.: Model za optimizaciju diskontinualnih transportnih sistema na površinskim kopovima, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet Beograd, Doktorska disertacija 2004. godine.
- [7] Stojanović L., Vasiljević N., Ristović I.: Tehnoekonomska analiza transportne opreme na prirneru površinskog kopa uglja "Bogutovo Selo", Međunarodni časopis Trnsport i logistika, 1/0 I, 89- 105.
- [8] Stojanović L., Hamović J.: Ekonomska ocjena transportnih sistema na površinskim kopovima, Treće naučno-stručno savjetovanje Saveza inženjera i tehničara rudarske, geološke i metalurške struke Republike Srspske, Gacko 29.09-02.10.2004. godine, 70-81.