Optimizacija eksploatacije dijabaza u složenim ležišnim uvjetima

Klanfar, Mario

Doctoral thesis / Disertacija

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:503746

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Mario Klanfar

OPTIMIZACIJA EKSPLOATACIJE DIJABAZA U SLOŽENIM LEŽIŠNIM UVJETIMA

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2014



Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Mario Klanfar

OPTIMIZACIJA EKSPLOATACIJE DIJABAZA U SLOŽENIM LEŽIŠNIM UVJETIMA

DOKTORSKI RAD

Mentor:
Prof.dr.sc. Darko Vrkljan

Zagreb, 2014



University of Zagreb

Faculty of mining, geology and petroleum engineering

Mario Klanfar

OPTIMIZATION OF DIABASE QUARRYING IN COMPLEX DEPOSITS

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
Darko Vrkljan, full professor

Zagreb, 2014

Doktorski rad izrađen je na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor: red.prof.dr.sc. Darko Vrkljan

Doktorski rad sadrži: 107 stranica teksta, 35 slika i grafičkih prikaza, 30 tablica, te 8 grafičkih i tabličnih priloga.

Zahvale

Zahvaljujem mentoru, prof.dr.sc. Darku Vrkljanu te članovima povjerenstva, prof.dr.sc. Josipu Mesecu i prof.dr.sc. Trpimiru Kujundžiću na primjedbama i sugestijama koje su doprinijele kvaliteti ovoga rada.

Posebnu zahvalnost dugujem inženjeru Danielu Sudariću, dipl.ing.rud. i direktoru Nenadu Sabljaku, dipl.ing.geol., poduzeća IGM Radlovac d.o.o., Orahovica. Bez njihovih brojnih informacija, podataka i suradnje pri terenskim mjerenjima ideja ovoga rada ne bi bila ostvarena.

Svim kolegama i prijateljima zahvaljujem na stručnim i nestručnim raspravama i druženjima, uz koje je rad na ovoj disertaciji bio lakši i ugodniji.

Zahvaljujem se obitelji na pruženoj potpori i strpljenju, dio vremena utrošenog na ovaj rad trebao je pripasti njima.

„You load sixteen tons, what do you get
Another day older and deeper in debt
Saint Peter don't you call me 'cause I can't go
I owe my soul to the company store“

Tennessee Ernie Ford

SAŽETAK

Dijabaz i ostale eruptivne stijene slabo su zastupljene u geološkoj građi Hrvatske te stoga čine oskudnu mineralnu sirovinu. Ležišta su redovito smještena u brdskim područjima i karakterizirana visokim koeficijentima otkrivke, što umanjuje rentabilnost eksploatacije i raspoložive bilančne rezerve. Optimizacijom eksploatacijskog sustava, uz iskorištenje potencijalno korisnog stijenskog materijala otkrivke i primjenom suvremenih tehnologija, postiže se veća rentabilnost eksploatacije. Primjenom teorija učinaka rudarske mehanizacije i radova pri eksploataciji tehničko građevnog kamena, stvorena je baza proračuna za formiranje računskog modela eksploatacije. Teorije su provjerene i prilagođene specifičnim uvjetima eksploatacije, djelomično analizama podataka o eksploataciji dijabaza ustupljenim od koncesionara, a djelomično terenskim mjerenjima i opažanjima. Za rudarsku mehanizaciju koja je najviše angažirana u eksploataciji, i stoga stvara najviše eksploatacijske troškove, postavljena teorija daje prihvatljivo nisko odstupanje parametara učinka od iskustvenih ili terenski izmjerenih. Postavljene su četiri računske sheme koje predstavljaju četiri sustava eksploatacije kao kombinacije dvaju čimbenika, primjene pokretnih postrojenja za sitnjenje i kasiranje te iskorištavanja dijela otkrivke. Računske sheme su uspoređene prema strukturi troškova a zatim i prema rentabilnosti, za različite eksploatacijske uvjete, tj. uz varijaciju transportnih udaljenosti do stacionarnog oplemenjivačkog postrojenja, koeficijenta otkrivke te stupnja iskoristivosti otkrivke. Usporedba je pokazala da sustavi s primjenom pokretnih postrojenja postaju rentabilniji pri transportnim udaljenostima većim od 400-700m. Pri tome je sustav bez iskorištavanja otkrivke podjednako rentabilan kao i sustav uz iskorištavanje, pri koeficijentu otkrivke manjem od 0,2-1, gdje se granica pomiče prema nižem koeficijentu s porastom iskoristivosti otkrivke. Sustav bez iskorištavanja otkrivke i bez primjene pokretnih postrojenja postaje rentabilniji na transportnim udaljenostima manjim od 400-700m, uz pomak granice nadolje s porastom stupnja iskoristivosti. Sustav bez primjene pokretnih postrojenja a uz iskorištavanje otkrivke najmanje je rentabilan, na cijelom rasponu promatranih veličina. Istraživanjem je dokazano da sustavi s primjenom pokretnih postrojenja i iskorištavanjem dijela otkrivke omogućuju rentabilniju eksploataciju u nepovoljnijim eksploatacijskim uvjetima, tj. uz veće transportne udaljenosti i koeficijent otkrivke, te time ostvaruju veću bilančnost primarne mineralne sirovine dijabaza

Ključne riječi: Rudarstvo, Eksploatacija, Čvrste mineralne sirovine, Kamenolom, Dijabaz, Optimizacija, Računski model

SUMMARY

Diabase, along with other igneous rocks, is rarely found in geological formations of Croatia and thus it represents a scarce mineral resource. Deposits are regularly found in highlands where they are characterized by high overburden, which reduces rentability of quarrying and lowers the amount of balance reserves. Higher rentability can be achieved by optimization of quarrying system, including application of mobile processing plants and utilization of potentially useful overburden materials. Applying the theories of quarrying equipment and process productivity, the basis for formation of computational quarrying model was created. Theories were tested and adapted according to the analysis of quarrying process data provided by mining company and according to the field measurements. For most utilized quarrying equipment, that generates highest share in overall expenses, theoretical productivity parameters show acceptably low deviation from empirical and field-measured values. Four computational models were formed that represent four quarrying systems, as combinations of two factors: application of mobile processing plants and partial utilization of overburden materials. The computational models were compared by expenses structure and later on by rentability, while varying haulage distance to stationary processing plant, overburden factor and degree of overburden utilization. Comparation showed that systems with application of mobile processing plants have higher rentability with haulage distance greater than 400-700m. Where system without overburden utilization has about equal rentability as the system with overburden utilization, if overburden factor is 0,2-1 or less. The boundary between two systems moves towards lower overburden factor as degree of overburden utilization rises. System without application of mobile processing plants and overburden utilization has higher rentability below 400-700m of haulage distance, with boundary moving downwards as overburden degree of utilization rises. System with utilization of overburden and without application of mobile processing plants has lowest rentability across the whole ranges of varied parameters. The research proves that application of mobile processing plants and partial utilization of overburden can provide higher rentability if unfavorable quarrying conditions were met, that is higher haulage distances and higher overburden factors. Thus, the amount of balance reserves of primary mineral resource can be increased applying this system.

Keywords: Mining, Mineral raw materials, Quarry, Diabase, Optimization, Computational model

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Ležište Žervanjska i specifičnosti eksploatacije 3

1.2. Pristupi optimizaciji površinskih kopova 8

1.3. Ciljevi istraživanja i metodologija rada 10

2. TEORIJSKE POSTAVKE UČINAKA I UTROŠAKA STROJEVA I RUDARSKIH RADOVA 14

2.1. Sustavi eksploatacije na malim kopovima tehničko-građevnog kamena 14

2.2. Tehnologija rada strojeva i učinci rudarskih radova 16

2.2.1. Strojno pridobivanje otkrivke i mineralne sirovine 16

2.2.1.1. Primjena dozera (dobivanje, gravitacijski transport) 18

2.2.1.2. Primjena bagera (dobivanje, gravitacijski transport, utovar) 20

2.2.1.3. Primjena hidrauličnog čekića (dobivanje) 24

2.2.2. Izrada minskih bušotina 27

2.2.3. Minerski radovi 30

2.2.4. Gravitacijski transport 36

2.2.5. Usitnjavanje izvangabarita 39

2.2.6. Utovar i transport 42

2.2.6.1. Primjena utovarivača (utovar, transport) 42

2.2.6.2. Primjena kamiona istresača (transport) 45

2.2.7. Sitnjenje i klasiranje na pokretnim postrojenjima 47

2.3. Utrošci i troškovi rudarske mehanizacije 51

2.4. Pouzdanost primjene proračuna 57

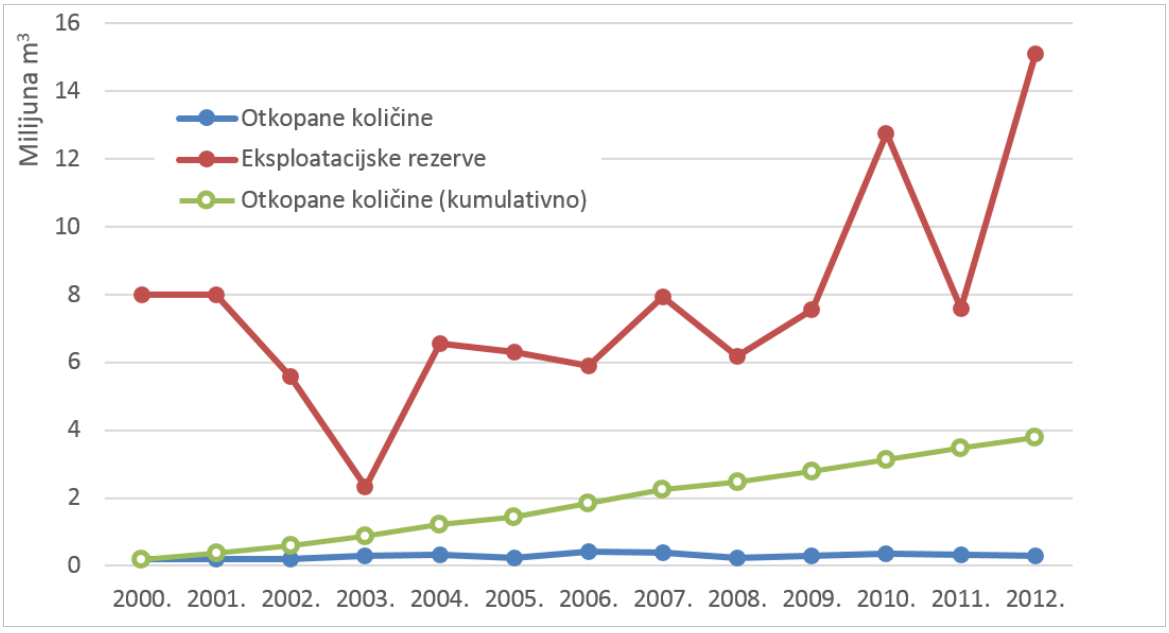
3. TERENSKA ISTRAŽIVANJA, ANALIZE PODATAKA I VERIFIKACIJA PRORAČUNA 58

3.1. Potrošnja goriva i koeficijenti opterećenja strojeva 59

3.2. Trošak održavanja mehanizacije 62
3.3. Analiza rada bušaće garniture 64
3.4. Fragmentacija stijenskog materijala 66
3.5. Terenska mjerenja 70
3.5.1. Parametri rada dozera 70
3.5.2. Parametri rada bagera s dubinskom lopatom 72
3.5.3. Parametri rada utovarivača 74
3.6. Potrebne veličine proračuna vezane na stijensku masu 76
4. RAČUNSKI MODEL EKSPLOATACIJSKOG PROCESA 80
4.1. Pomoćni proračuni modela 81
4.2. Povezivanje proračuna u računski model 84
4.3. Aplikacija za postavljanje računskog modela 88
5. PROCJENA TROŠKOVA EKSPLOATACIJE RAČUNSKIM MODELOM 92
6. GRANIČNI EKSPLOATACIJSKI UVJETI RAČUNSKIH SHEMA 101
7. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK 104
POPIS LITERATURE
POPIS SLIKA
POPIS TABLICA
POPIS OZNAKA I SIMBOLA
PRILOZI
ŽIVOTOPIS

1. UVOD

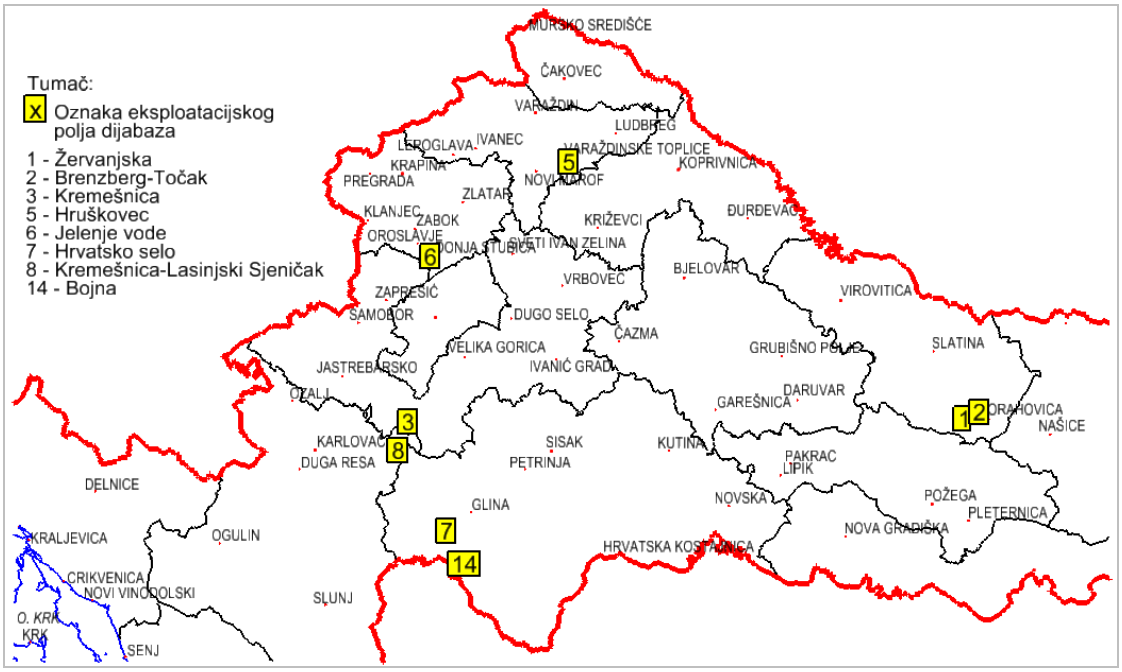
Dijabaz, kao i ostale eruptivne stijene, slabo je zastupljen u geološkoj građi Hrvatske. Ležišta se redovito nalaze u brdskim područjima, gdje napredovanjem otkopne fronte raste eksploatacijski koeficijent otkrivke, što umanjuje rentabilnost eksploatacije te smanjuje kvantum raspoloživih bilančnih i eksploatacijskih rezervi. Ove sirovine imaju gospodarsku važnost, prvenstveno kao tehničko-građevni kamen u cestogradnji i agregatima za beton te kao silikatna sirovina za industrijsku preradu u proizvodnji izolacijskih materijala. Prema bilanci stanja rezervi neenergetskih mineralnih sirovina (Ministarstvo gospodarstva, 2014), postoji blagi trend porasta eksploatacijskih rezervi, uz velike godišnje varijacije koje nisu uzrokovane eksploatacijom (slika 1.1). Eksploatacija dijabaza u poslijednjih 14 godina kreće se između 170.000 i 415.000 m^3 godišnje, uz prosječnu vrijednost od 290.000 m^3. Uz sadašnje stanje eksploatacijskih rezervi može se pretpostaviti da one zadovoljavaju potrebe Republike Hrvatske za idućih 40-50 godina. Međutim, rigidna politika upravnih autoriteta u području zaštite okoliša i prirode, razvidna kroz zabranu širenja postojećih i otvaranja novih te težnjom zatvaranja postojećih eksploatacijskih polja dijabaza u zaštićenim dijelovima prirode može u bližoj budućnosti rezultirati nedostupnošću ove mineralne sirovine u Republici Hrvatskoj. Optimizacija eksploatacijskog sustava, uz iskorištenje otkrivke i uporabu suvremenih tehnologija, na složenim ležištima dijabaza s visokim koeficijentom otkrivke može omogućiti racionalnije korištenje mineralne sirovine, veću rentabilnost eksploatacije, a povezano s time i povećanje bilančnih i eksploatacijskih rezervi.



Slika 1.1 Rezerve i eksploatacija dijabaza u Republici Hrvatskoj

Općenito, dijabaz je bazična, žična stijena homogene teksture i tipične ofitne strukture, gdje se u intergranularnom prostoru isprepletenih štapićastih plagioklasa nalazi augit. Ovakva specifična struktura rezultira izvrsnim mehaničkim svojstvima, odnosno čini ovu stijenu jednom od najčvršćih i najžilavijih koje se pojavljuju u Zemljinoj kori. Specifična gustoća dijabaza se kreće između 2,85 i 3,15 g/cm^3, volumna gustoća između 2,8 i 3,1 g/cm^3 a poroznost između 0,1 i 1%. Kompaktni i svježi dijabazi mogu biti tlačne čvrstoće i do 500 MPa, iako se najčešće kreću u rasponu od 200 do 400 MPa. (Vrkljan M., 2000). Zbog fizičko-mehaničkih svojstava i kemijske postojanosti dijabaz se primjenjuje kao kvalitetan kamen za izgradnju obaloutvrda, željezničkih pruga, habajućih slojeva cestovnih prometnica, te kao agregat za beton. Mineraloški i kemijski sastav čine ga pogodnim za proizvodnju kamene vune, a neke inačice svježih tamnih dijabaza upotrebljavaju se kao arhitektonsko-građevni kamen.

U Hrvatskoj su ležišta dijabaza redovito hidrotermalo izmjenjena, što mu slabi fizikalna i mehanička svojstva te daje zelenkastu boju (Vrkljan M., 2000). Pojave i nalazišta dijabaza postoje u sjevernom i istočnom dijelu Hrvatske, tj. na Medvednici, Ivanšćici, Papuku, Kalničkom gorju, Samoborskom gorju i na Baniji. Na većini ovih područja u prošlosti je pokrenuta eksploatacija površinskim kopovima, od kojih su recentno ili donedavno aktivni Žervanjska i Bremzberg-Točak na Papuku, Jelenje vode na Medvednici, Hruškovec na Kalniku, te Kremešnica i Bojna u Baniji (Živković et.al, 2008; Business Media, 2006). Slikom 1.2 prikazana su odobrena eksploatacijska polja dijabaza u Republici Hrvatskoj.



Slika 1.2 Eksploatacijska polja dijabaza u Republici Hrvatskoj

1.1. Ležište Žervanjska i specifičnosti eksploatacije

Ležište Žervanjska karakterizirano je značajnim količinama otkrivke i jalovine, tektonskom razlomljenošću u blokove te trošnim sekcijama dijabaza. Otkrivku ležišta čine pješčenjaci i klastiti potencijalno uporabljivi kao tehničko-građevni kamen. Eksploatacija je opterećena velikim transportnim udaljenostima mineralne sirovine, te jalovine za odlaganje a veća rentabilnost se nastoji postići iskorištenjem otkrivke i primjenom pokretnih postrojenja za sitnjenje i klasiranje. Složeni ležišni uvjeti i način eksploatacije čine ležište Žervanjska vrlo pogodnim za istraživanje u okviru ovog rada.

Primarnu mineralnu sirovinu površinskog kopa Žervanjska čini dijabaz. Rudno tijelo je izdužena dijabazna greda debljine između 62 i 73 m, utisnuta u semimetamorfite Radlovačke serije koji čine podinu i krovinu. Greda je generalnog pružanja SI-JZ s prosječnom širinom oko 100 m, a po pružanju se može pratiti u dužini od 800 m. Središnji dio ležišta po pružanju je smješten u dubokom kanjonu potoka Žervanjska, odakle je otvoren dvama površinskim kopovima: Žervanjska nova, smješten na sjevernoj obali potoka i Žervanjska stara, smješten na južnoj obali potoka. Pružanje otkopnih fronti oba kamenoloma podudara se sa pružanjem ležišta dok su smjerovi napredovanja suprotni.

Naslage Radlovačke serije sastoje se od stijena raznorodnog petrografskog sastava i nekada su tretirane kao jalovina. Ovakvim pristupom, eksploatacija dijabaza opterećena je višim koeficijentom otkrivke koji se napredovanjem otkopnih fronti povećava. Međutim, ispitivanjima je utvrđeno da se dio ovih naslaga može iskorištavati kao manje kvalitetni tehničko-građevni kamen, tj. ograničeno je primjenjiv u proizvodnji građevnih materijala. S aspekta kakvoće utvrđene ispitivanjem fizičko-mehaničkih svojstava i mineraloško petrografskog sastava, ove naslage su podijeljene u dvije kategorije: metamorfozirani pješčenjaci radlovačke serije, i metamorfozirani klastiti radlovačke serije.

Površinski pokrov čine humus i površinska trošna zona prosječne debljine do 4 m.

Tabela 1.1 prikazuje obujam i bilančne rezerve pojedine vrste tehničko-građevnog kamena s popravnim koeficijentima, te obujam humusa i trošne zone prema Elaboratu o rezervama (Matijašić, 2010).

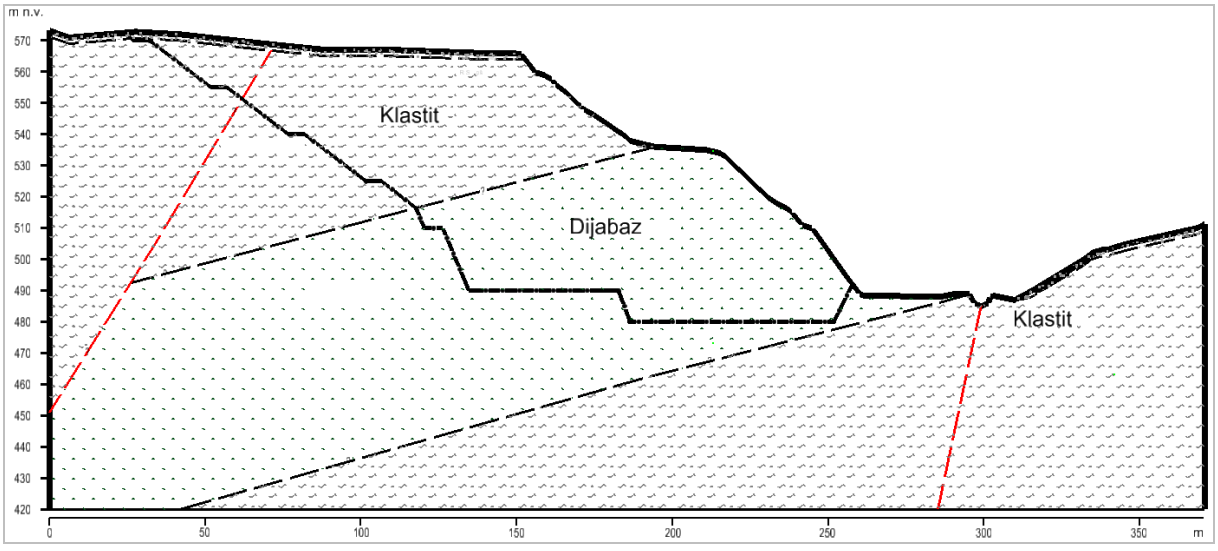
Osnovni platoi oba kopa, kojima je ležište otvoreno, smješteni su nešto iznad morfološki najnižih kota terena (potok Žervanjska). Smjerovi napredovanja otkopnih fronti podudaraju se sa smjerom porasta visine terena na obje strane kanjona.

Tabela 1.1 Količine mineralne sirovine i jalovine

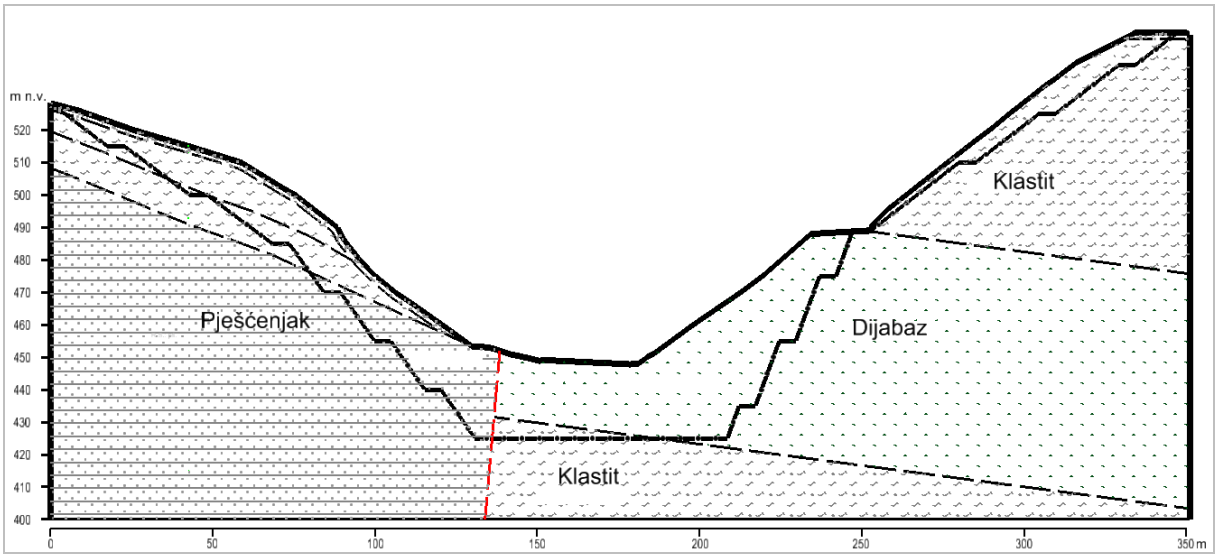
Vrsta stijenske mase	Obujam (m^3)	Popravni koeficijent	Bilančne rezerve (m^3)	Jalovina (m^3)
Dijabaza	3.822.214	0,9	3.439.993	382.221
Pješčenjak	690.834	0,8	552.667	138.167
Klastit	2.048.106	0,6	1.228.864	819.242
Humus i trošna zona	387.823	-	-	387.823
		∑	5.221.523	1.727.453

Dijabazno rudno tijelo, iako tektonski razlomljeno u blokove i na mjestima izdignuto po rasjedima, generalno pada pod kutom od 7° do 15°, također u smjeru napredovanja otkopnih fronti. Slike 1.3 i 1.4 prikazuju karakteristične poprečne profile na kojima je vidljivo kako morfologija terena i zalijeganje rudnog tijela utječu na povećanje koeficijenta otkrivke, a time i količine jalovine.

Ukoliko se Radlovačka serija promatra samo kao otkrivka, tada se u obujam jalovine može uračunati 10% obujma dijabaza (popravni koeficijent 0,9), cjelokupna radlovačka serija te obujam humusa i trošne zone. Obujam jalovine tada iznosi 3.508.984 m^3 dok su bilančne rezerve dijabaza 3.439.993 m^3. Koeficijent otkrivke, računat kao obujam stijenske mase i pokrova koji je potrebno otkopati prema obujmu dijabaznog rudnog tijela tada iznosi 0,82.



Slika 1.3 Karakteristični profil zapadnog dijela kopa



Slika 1.4 Karakteristični profil istočnog dijela kopa

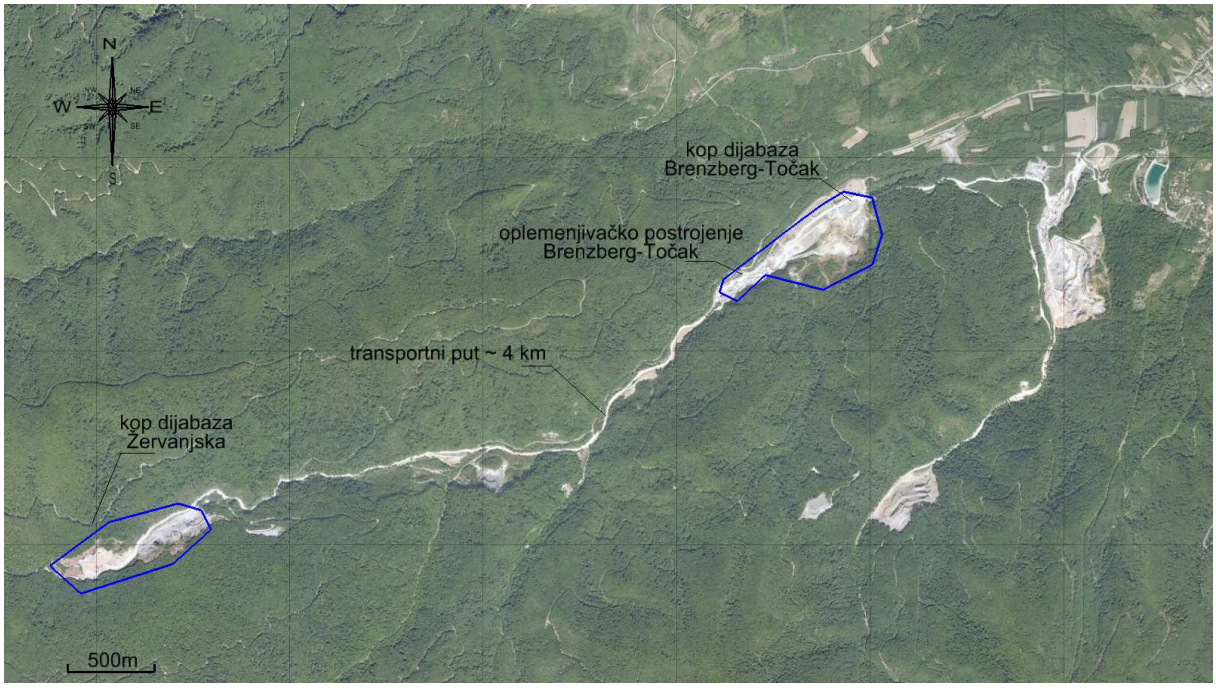
Iskorištenjem Radlovačke serije kao manje kvalitetnog tehničko-građevnog kamena, i uz pretpostavku plasmana na tržište, znatno se umanjuju otkrivka i jalove mase. Uzimajući u obzir popravne koeficijente prema Elaboratu o rezervama (tabela 1.1), jalovinu čini 10% bilančnih rezervi dijabaza, 20% pješčenjaka, 40% klastita te ukupni obujam humusa i trošne zone. Obujam jalovine na ovaj način iznosi 1.727.453 m^3, što je 50% manje u odnosu na varijantu bez iskorištenja Radlovačke serije. Kao otkrivku sada se može promatrati omjer humusa i površinske trošne zone prema ukupnim bilančnim rezervama tehničko-građevnog kamena, te koeficijent otkrivke iznosi 0,06. Navedene vrijednosti odnose se na eksploataciju do završnih kosina prema Idejnom rudarskom projektu (Vrkljan D., 2010) na temelju kojeg su u Elaboratu o rezervama proračunate rezerve, uz pretpostavku potpunog iskorištenja utvrđenih rezervi pješčenjaka i klastita.

Stacionarno postrojenje za oplemenjivanje tehničko-građevnog kamena (sitnjenje, klasiranje i pranje) smješteno je u prostoru kopa Brenzberg-Točak i udaljeno otprilike 4 km od kopa Žervanjska. Osim toga zbog manjka prostora za odlaganje jalovine unutar kopa, dio jalovine je potrebno transportirati i odlagati izvan kopa. Za prijevoz mineralne sirovine i jalovine koristi se kamionski transport, a kao pravilo struke poznato je da troškovi kamionskog transporta na površinskim kopovima mogu dosegnuti 50% troškova pridobivanja i izvoza te do 25 % ukupnih troškova eksploatacije (Burton, 1998). Povećanjem transportnih udaljenosti prirodno rastu i troškovi. U slučaju ležišta Žervanjska, tehničko-ekonomska analiza pokazuje da troškovi utovara i transporta čine 22% ukupnih troškova eksploatacije. Na slici 1.5 prikazan je transportni put te međusobna udaljenost kopa i oplemenjivačkog postrojenja.

Pri eksploataciji na velikim kopovima uobičajen je kamionski transport zbog svoje pouzdanosti i fleksibilnosti. Međutim veliki kamionski transportni sustavi, uz potrebu za izgradnjom i održavanjem puteva generiraju velike troškove, naročito u dubinskim kopovima zbog uspona punih kamiona. Već desetljećima cijenom povoljniju alternativu čine tračni transporteri, čiji učinak i normalan rad naročito ovise o fragmentaciji materijala. Ovdje su pokretna postrojenja našla primjenu u takozvanim 'run-of-mine' ili 'in-pit crushing and conveying' sustavima, gdje je njihova primarna funkcija drobljenje otkrivke i mineralne sirovine prethodno tračnom transportu (Radlovski, 1988).

Pokretna postrojenja za sitnjenje i klasiranje, pri uvjetima eksploatacije na polju Žervanjska, imaju svoje prednosti u odnosu na stacionarna postrojenja. Primarna sirovina, dijabaz, može sadržavati određenu količinu jalovine koju je povoljnije izdvojiti i odložiti na licu mjesta, primarnim oplemenjivanjem. Osim toga sitnjenjem i klasiranjem 'na etaži' dobivaju se klase produkata od kojih dio čini već gotov proizvod koji se može deponirati i plasirati na tržište unutar samog kopa. Preostali dio sirovine koji ne zadovoljava kvalitetom transportira se na sekundarno oplemenjivanje stacionarnim postrojenjem. Isto vrijedi i za iskorištavanje otkrivke (Radlovačka serija), koja sadrži znatno veće količine jalovine i čijim bi transportom do stacionarnog postrojenja zasigurno došlo do nerentabilnosti eksploatacije.

Osnovna prednost pokretnih postrojenja proizlazi iz njihove mobilnosti, tj. mogućnosti pristupa otkopanoj stijenskoj masi na etaži, što umanjuje potrebe transporta sirovine, gotovih



Slika 1.5 Položaj kopa dijabaza u odnosu na stacionarno oplemenjivačko postrojenje

proizvoda dobivenih primarnim oplemenjivanjem i jalovine izdvojene primarnim oplemenjivanjem, te tako umanjuju troškove eksploatacije. Druga prednost proizlazi iz 'modularnosti', tj. pokretna postrojenja je moguće prilagoditi i postaviti u kompleks pogodan za oplemenjivanje određene vrste stijenskog materijala i dobivanje traženog proizvoda. Na taj način je moguće primarno oplemenjivanje lošijih sekcija ležišta dijabaza, oplemenjivanje otkrivke radi iskorištavanja kao tehničko-građevnog kamena, i oplemenjivanje starih jalovišta koja sadrže kvalitetni kamen. U odnosu na stacionarna postrojenja, pokretna postrojenja imaju kraći vijek trajanja i više stope amortizacije, a pogonski strojevi pokretnih postrojenja koriste dizel gorivo, što je skuplji energent nego električna energija. Uobičajeno su primjenjivana pokretna postrojenja manjeg kapaciteta nego stacionarna, iako se proizvode u širokom rasponu veličina te po učinku mogu biti jednaka stacionarnima.

1.2. Pristupi optimizaciji površinskih kopova

U rudarstvu se primjenjuje više pristupa optimizaciji, koji su međuzavisni ali polaze od različitih aspekata ove djelatnosti. Prema tome se generalno mogu podijeliti u tri skupine:

- okonturenje površinskih kopova,
- analize tehnologije i sustava eksploatacije, te
- pristup totalnog sustava.

Okonturenje površinskih kopova orijentirano je na određivanje optimalne završne konture i redoslijeda otkopavanja. Za tu svrhu razvijene su metode poput Lerchs-Grosmannove, metode pomičnog stošca, ili metode dinamičkog programiranja (Galić, 2001). Polazište za ove metode su geometrija i elementi zalijeganja ležišta, te koncentracija i raspodjela korisne komponente u ležištu. Cilj ovih metoda je definiranje završne konture i dubine kopa koji bi pružili maksimalnu rentabilnost eksploatacije, te planiranje i razvoj eksploatacijskih faza temeljem povoljnog odnosa prihoda i troškova tijekom nekog eksploatacijskog perioda ili cijelog vijeka površinskog kopa.

Analize tehnologije i sustava eksploatacije bave se određivanjem optimalne tehnologije dobivanja, transporta i odlaganja, te sustava eksploatacije kompatibilnog s tehnologijom. Pri tome važnu ulogu imaju fizičko-mehanička svojstva otkrivke i mineralne sirovine, traženi kapacitet površinskog kopa, veličina i dubina kopa, transportne udaljenosti i dr. Sustav eksploatacije mora omogućiti što niže troškove, te potrebnu dinamiku rudarskih radova i kapacitet površinskog kopa. Sustavi eksploatacije mogu biti kompleksni i podrazumijevaju korištenje raznovrsne mehanizacije, pa stoga postoje procedure za odabir rudarske opreme (Atkinson, 1992; Sweigard, 1992) i brojne tehnike optimizacije sustava, od klasičnih proračuna do matematičkih modela i simulatora (Suboleski et al., 1992).

Pristup totalnog sustava uključuje tzv. 'mine-to-mill' ili 'drill-to-mill' koncept optimizacije, kojim se u procesu od pridobivanja do oplemenjivanja nastoje postići generalno manji utrošak energije i niži troškovi. Specifičnost ovog pristupa je što povezuje dobivanje mineralne sirovine s oplemenjivanjem, uz načelo da optimizacija samo pojedinog koraka može biti neproduktivna za postizanje optimalnog učinka narednog koraka (Adel et al., 2006). Polazište ovog pristupa je kvaliteta sirovine od dobivanja do krajnjeg produkta, tj. kod eksploatacije tehničko-građevnog kamena razmatra se usitnjavanje i fragmentacija sirovine od bušenja i

miniranja do drobljenja i mljevenja, te utjecaj fragmentacije na učinkovitost i troškove procesa.

U Hrvatskoj prevladavaju kopovi male do srednje veličine, a eksploatiraju se isključivo nemetali, od kojih većinom tehničko-građevni kamen. Sustavi eksploatacije tehničko-građevnog kamena u Hrvatskoj su relativno jednostavni, uz primjenu slične tehnologije te veličine i učinaka rudarske mehanizacije i opreme, što je određeno dugim vremenskim periodom iskustva na takvim kopovima. Stoga kompletne analize tehnologije i sustava eksploatacije nisu potrebne, ali bi varijacija kapaciteta mehanizacije mogla polučiti veću rentabilnost eksploatacije.

Konture kopova se pri projektiranju najčešće definiraju na temelju odobrenih granica eksploatacijskih polja te drugih pravnih i strukovnih ograničenja, zbog čega se nastoji što ekonomičnije pridobiti svu sirovinu unutar već zadanih kontura. Iz ovog razloga metode okonturenja kopova ne ostvaruju svoj puni potencijal a i nisu uobičajene na malim kopovima nemetala. Osim toga zahtijevaju detaljno istraženo ležište s poznatim koncentracijama korisne komponente. Zanimljivost primjene ovih metoda proizlazi iz postojanja više vrsta mineralne sirovine na kopovima sličnim Žervanjskoj (dijabaz, pješčenjaci i klastiti), u smislu odnosa ovih sirovina i udjela korisnog kamena s kojim je povoljnije eksploatirati.

Na kopovima tehničko-građevnog kamena izražena je veza između fragmentacije sirovine miniranjem, potrebe za sekundarnim usitnjavanjem, učinkovitosti utovarno transportne mehanizacije te učinkovitosti drobljenja. Budući da su frakcije kamena krajnji produkt eksploatacije u ovom slučaju, pristup totalnog sustava pruža mogućnost iznalaženja optimalne fragmentacije sirovine kroz proces od bušenja do drobljenja, pri kojoj ukupni troškovi postižu svoj minimum.

Jedan segment istraživanja u okviru ovog rada je formiranje računskog modela eksploatacije kojim je funkcijski povezan cjelokupan eksploatacijski proces. Takav model ne primjenjuje izravno niti jedan od gore navedenih pristupa optimizaciji, ali posredno kombinira njihove elemente, a prilagođen je optimizaciji malih kopova tehničko-građevnog kamena, sa specifičnim uvjetima eksploatacije.

1.3. Ciljevi istraživanja i metodologija rada

Obzirom na iznesenu problematiku eksploatacije dijabaza, istraživanje je prvenstveno usmjereno prema utjecaju eksploatacijskog sustava, tj. primijenjene tehnologije, i ključnih eksploatacijskih veličina kopova dijabaza na troškove eksploatacije. Iskorištavanje otkrivke i primjena pokretnih postrojenja ističu se kao dva najvažnija elementa eksploatacijskog sustava jer takav pristup može značajno pogodovati eksploataciji dijabaza, međutim pitanje je u kojim ležišnim i eksploatacijskim uvjetima. Pri tome se misli na koeficijent otkrivke i transportne udaljenosti koji se ističu najvećim utjecajem na troškove eksploatacije, a u slučaju iskorištavanja otkrivke važan je i udio korisnog kamena, odnosno stupanj iskoristivosti otkrivke.

Iskorištavanjem otkrivke pojavljuje se potreba za većim učincima transporta i oplemenjivanja mineralne sirovine što će u tome dijelu eksploatacijskog procesa uzrokovati veće troškove. S druge strane, istovremeno se umanjuju potrebni učinci transporta i odlaganja jalovine. Odnos ovih dvaju učinaka ovisi o stupnju iskorištenja otkrivke te transportnim udaljenostima za mineralnu sirovinu i jalovinu.

Uporabom pokretnih postrojenja za sitnjenje i klasiranje umanjuju se potrebni učinci transporta i oplemenjivanja sirovine na stacionarnim postrojenjima, te transporta gotovih proizvoda ukoliko se plasiraju na tržište unutar kopa. Međutim istovremeno se javlja potreba za utovarnim strojevima koji opslužuju pokretna postrojenja te transportom i premještanjem izlaznog produkta pokretnih postrojenja ukoliko isti čini smetnju za rad ostalih strojeva na etaži. Broj i vrsta pokretnih postrojenja pri tome ovisi o kapacitetu kopa i spektru gotovih proizvoda koji se želi dobiti na etaži.

Ako se gore navedenom priloži da troškovi eksploatacije ovise o broju strojeva, utrošcima materijala i energije koji su specifični za pojedini stroj i radni proces, a ovise o potrebnim učincima (količinama sirovine, jalovine i otkrivke) te uvjetima rada, tada postoji veći broj međuzavisnosti koje je potrebno razmotriti za iznalaženje optimalnog eksploatacijskog sustava. Budući su radni procesi povezani te promjena učinka i ostalih veličina jednog radnog procesa uvjetuje promjenu učinka i veličina s njime povezanih procesa, minimum ukupnih eksploatacijskih troškova ili veću rentabilnost moguće je postići promatranjem eksploatacijskog procesa kao cjeline. Stoga se kao sekundarni cilj istraživanja nameće razvoj računskog modela koji predstavlja sustav eksploatacije i omogućuje analizu eksploatacijskih troškova s promjenom sustava i ključnih eksploatacijskih veličina.

Analiza troškova računskim modelom uključuje varijaciju eksploatacijskog sustava i varijaciju ključnih veličina koje utječu na rentabilnost eksploatacije. Obuhvaćena su četiri sustava karakterizirana slijedećim:

- eksploatacija bez bilanciranja i iskorištenja dijela otkrivke,
- eksploatacija uz bilanciranje i iskorištenje dijela otkrivke,
- eksploatacija primjenom pokretnih postrojenja za sitnjenje i klasiranje unutar kopa, te
- eksploatacija bez primjene pokretnih postrojenja unutar kopa.

Za svaki od sustava određena je zavisnost eksploatacijskih troškova i rentabilnosti o promjeni ključnih veličina, karakterističnih za eksploataciju dijabaza:

- transportnih udaljenosti do stacionarnog postrojenja za sitnjenje i klasiranje,
- koeficijenta otkrivke, te
- stupnja iskoristivosti otkrivke, tj. udjela iskoristive sekundarne sirovine u otkrivci.

Navedene veličine na ležištima dijabaza bitno utječu na rentabilnost eksploatacije, a zavisnost troškova eksploatacije o ovim veličinama pokazuje koja od analiziranih shema čini optimalni sustav eksploatacije za određene uvjete. Na temelju ovih zavisnosti moguće je formirati proceduru odabira tehnologije i sustava eksploatacije koji je optimalan unutar nekog raspona ključnih veličina, tj. za određene ležišne i eksploatacijske uvjete.

Računski model eksploatacije većinom se bazira na postojećim teorijama učinaka strojeva i radnih procesa pri površinskoj eksploataciji tehničko-građevnog kamena. Odabrani proračuni najviše odgovaraju načinu eksploatacije na malim kopovima tehničko-građevnog kamena a prema potrebi su modificirani ili kreirani novi, ako je sa stajališta dostupnosti ulaznih podataka i pouzdanosti rezultata računskog modela utvrđeno da su tako primjenjiviji. Za konkretnu analizu troškova eksploatacije dijabaza korištene su gore navedene promjene eksploatacijskog sustava i veličina, međutim računski model uključuje određene proračune i parametre koji su pri analizi troškova eksploatacije dijabaza konstantni, tj. ne utječu na promjenu troškova. Razlog tome je što je računski model kao dio istraživanja koncipiran za širu primjenu, tj. općenito za optimizaciju eksploatacije tehničko-građevnog kamena te je planiran njegov dalji razvoj.

Postupci postojećih teorija verificirani su i prema potrebi modificirani ili kreirani novi temeljem slijedećeg:

- **analizom podataka o eksploataciji dijabaza i radu strojeva —** nositelj koncesije za eksploataciju dugi niz godina prati utrošak energije, goriva, maziva i materijala te ostvarene radne sate strojeva prema mjestu nastanka, tj. na pojedinim radnim procesima u eksploataciji. U kombinaciji s podacima o ostvarenim eksploatacijskim učincima i poznatim karakteristikama strojeva, rezultati analize služe za provjeru i modifikaciju proračuna učinaka i utrošaka strojeva,
- **terenskim mjerenjima i opažanjima —** dok se utrošci i broj radnih sati lako evidentiraju, kod pojedinih radnih procesa otežano je kontinuirano i svakodnevno praćenje količine rada/materijala (npr. prebacivanje otkrivke i mineralne sirovine ili usitnjavanje izvangabarita) te stoga takvi podaci ne postoje. Za ovakve situacije obavljena su terenska mjerenja parametara učinaka.

Analiza podataka o eksploataciji dijabaza i radu strojeva uključuje određivanje:

- normativa utrošaka goriva ili energije strojeva na pojedinim radnim procesima,
- koeficijenata opterećenja strojeva na pojedinim radnim procesima,
- normativa utrošaka maziva i ostalog materijala i opreme uključene u rad strojeva,
- satnog učinka strojeva na pojedinim radnim procesima, te
- ostalih specifičnih proračunskih parametara

Terenska mjerenja i opažanja sastoje se od utvrđivanja tehnologije rada strojeva, te zatim mjerenja brzine kretanja stroja/radnog organa, vremenskog trajanja ciklusa i radnog obujma strojeva. Ova mjerenja služe za određivanje eksploatacijskih učinaka i proračunskih koeficijenata, gdje to nije moguće ostvariti analizom podataka o radu strojeva.

Proračuni i parametri računskog modela implementirani su u MS Excel koji istovremeno služi kao korisničko sučelje za računalnu aplikaciju izrađenu pomoću VBA (Visual Basic for Aplications). Aplikacija je koncipirana tako da omogućuje postavljanje eksploatacijske sheme, odabir strojeva i proračuna za svaki radni proces u shemi, te set parametara specifičnih za pojedini radni proces. Postavljena eksploatacijska shema u pozadini sadrži niz povezanih proračuna, koji skupno čine računski model eksploatacije. Promjenom eksploatacijske sheme ili parametara moguće je promatrati promjenu utrošaka materijala i energije te troškove eksploatacije, i to zasebno za svaki stroj/radni proces i sumarno za cijeli eksploatacijski proces.

Razradom računskog modela eksploatacije i dovršetkom aplikacije pristupilo se analizi utjecaja sustava eksploatacije, tehnologije i ključnih eksploatacijskih veličina na rentabilnost eksploatacije.

Analizom utjecaja eksploatacijske sheme i ključnih eksploatacijskih veličina propituje se hipoteza da je optimizacijom eksploatacijskog sustava u složenim ležištima tehničko-građevnog kamena, uključivo bilanciranjem i iskorištavanjem dijela otkrivke kao sekundarne sirovine, moguće povećati raspoložive eksploatacijske rezerve neobnovljivog mineralnog resursa i ostvariti racionalnije iskorištavanje primarne mineralne sirovine.

2. TEORIJSKE POSTAVKE UČINAKA I UTROŠAKA STROJEVA I RUDARSKIH RADOVA

2.1. Sustavi eksploatacije na malim kopovima tehničko-građevnog kamena

Eksploatacija tehničko-građevnog kamena sastoji se od niza radnih procesa kojima se od mineralne sirovine u ležištu dolazi do konačnih proizvoda. Računski model eksploatacije zahtjeva raščlanjivanje na ove radne procese, gdje je svaki od njih definiran proračunom, specifičnim za dotični proces i za vrstu rudarske mehanizacije. Radni procesi su pri tome povezani kvantitetom i/ili kvalitetom stijenskog materijala te prema potrebi drugim zajedničkim veličinama.

Pridobivanje humusa i otkrivke slabih fizičko-mehaničkih svojstava te gravitacijski transport na niželežeće etaže najčešće se obavlja dozerima ili bagerima. Utovarno-transportna mehanizacija na malim kopovima tehničko-građevnog kamena sastoji se od utovarivača ili bagera te kamiona istresača. Zajednička karakteristika svih ovih strojeva je ciklički način rada, na temelju kojeg razni autori predlažu relacije za proračun eksploatacijskog učinka (Simonović, 1967; Linarić, 2007; Živković et al., 2002; Trbojević, 1985).

Dobivanje sirovine, a i otkrivke u slučaju velike čvrstoće stijenske mase, obavlja se bušenjem i miniranjem. Parametri miniranja, uz svojstva stijenske mase, određuju utrošak eksplozivnih sredstava, količinu bušaćih radova i u konačnici fragmentaciju odminirane mase. Fragmentacija sirovine nakon miniranja ima utjecaj na niz narednih procesa, gdje se ističu učinkovitost utovarno-transportne mehanizacije, količina izvangabaritnih blokova za sekundarno usitnjavanje, produktivnost primarnog drobljenja i kvaliteta sirovine ostvarena drobljenjem. Najistaknutiji modeli za predviđanje fragmentacije su Kuz-Ram model (Cunningham, 2005) te modificirani Kuz-Ram ili KCO model u kojem su eliminirani određeni nedostaci originalnog Kuz-Ram modela (Ouchterlony, 2005).

Usitnjavanje izvangabaritnih blokova danas se najčešće obavlja hidrauličnim čekićima. Učinak hidrauličnog čekića ovisan je o stupnju usitnjavanja izvangabarita, fizičko-mehaničkim svojstvima stijene i snazi hidrauličnog čekića, a može se odrediti na temelju empirijskih dijagrama proizvođača (Atlas Copco, 2006) ili u ovisnosti o tvrdoći stijene, granulaciji te energiji udara čekića (Kujundžić, 2002).

Sve češća je primjena pokretnih postrojenja za sitnjenje i klasiranje na kopovima zbog njihove mobilnosti i manjih ulaganja u odnosu na stacionarna postrojenja. Primjena ovih postrojenja na etažama kopa, čini ove strojeve neizostavnim dijelom eksploatacijskog procesa u kojem oplemenjivanje više nije krajnji korak procesa, već se djelomično odvija kao međukorak. Stoga je potrebno uzeti u obzir njihov učinak i međudjelovanje s ostalim radnim procesima i mehanizacijom. Kod ovih se strojeva koriste relacije za učinak i potrošnju energije (goriva) te fragmentaciju sirovine (Csoke, 1996; Donovan, 2003).

2.2. Tehnologija rada strojeva i učinci rudarskih radova

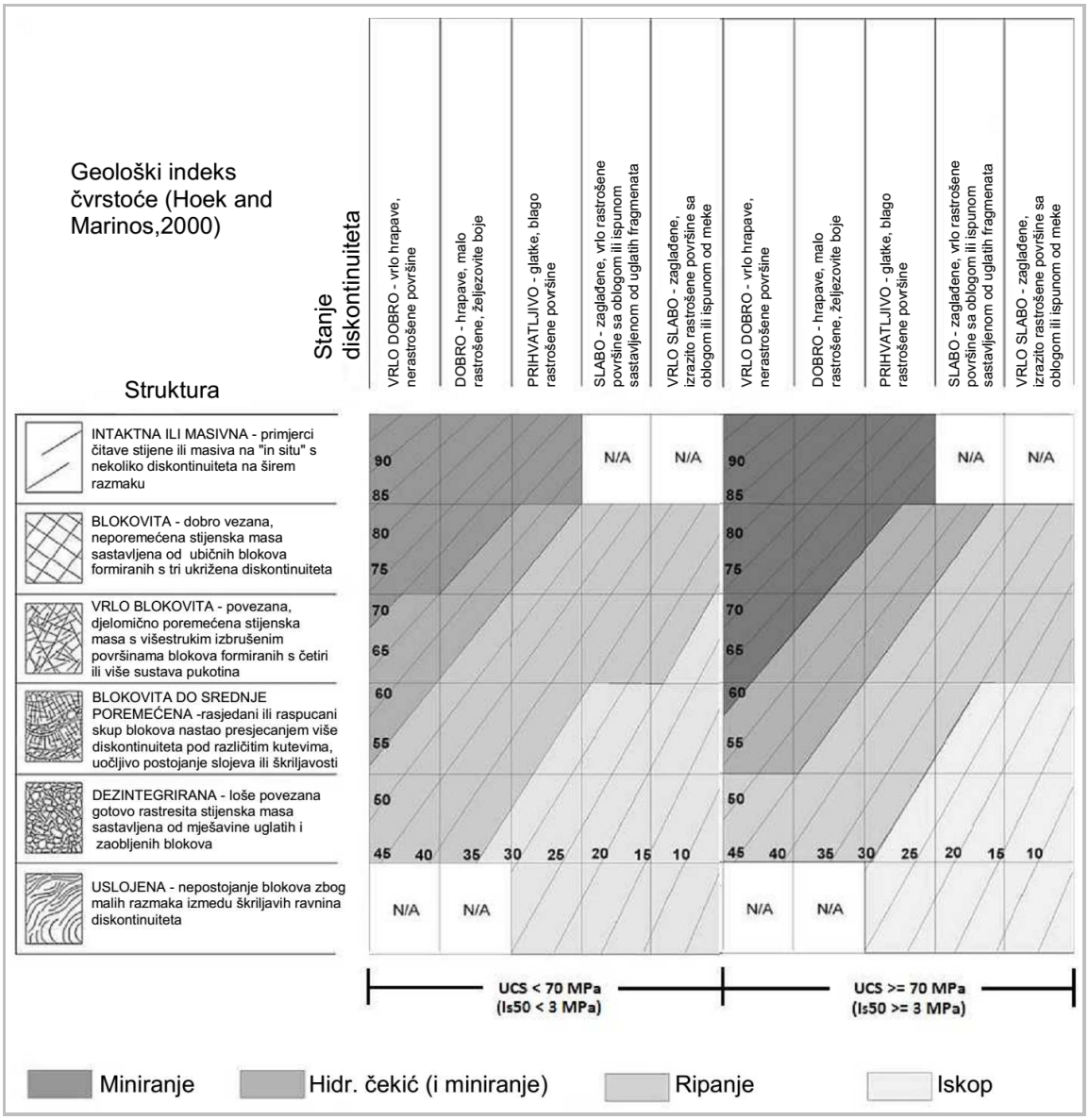
2.2.1. Strojno pridobivanje otkrivke i mineralne sirovine

Tehnologija dobivanja otkrivke i mineralne sirovine najviše ovisi o fizičko-mehaničkim i strukturnim svojstvima stijena i tala. Moderni strojevi korišteni pri površinskoj eksploataciji omogućuju razrušavanje stijena velikog raspona čvrstoća. Uobičajena je praksa da se materijali tlačne čvrstoće do 20 MPa, što uključuje meka i zbijena tla te polučvrste i vrlo raspucane stijene, dobivaju strojno. Na malim kopovima tehničko-građevnog kamena to znači primjenu dozera ili bagera s dubinskom lopatom. Materijali čvrstoća 20-60 MPa, odnosno čvrste i srednje raspucane stijene djelomično se dobivaju bušenjem i miniranjem, a česta je i primjena tehnologije udarnog razbijanja ili tehnologije glodanja. U slučaju primjene na malim kopovima tehničko-građevnog kamena radi se o dobivanju udarnim razbijanjem, odnosno hidrauličnim čekićem. Čvrste i vrlo čvrste stijene iznad 80 MPa, koje su slabo raspucane, u pravilu zahtijevaju isključivo primjenu bušenja i miniranja. U nastavku se nalazi tabela s Brisserovom podjelom stijena i primjenom modernih strojeva za dobivanje (Živković et.al, 2002). Tabela osim opisa stijene sadrži specifični otpor kopanju, koji predstavlja silu na jedinicu dužine rezajućeg ruba vjedrice ili lopate (k_L) i veličinu naprezanja na površini presjeka zahvaćenog vjedricama ili lopatom, te jednoosnu tlačnu čvrstoću stijene.

Tabela 2.1 Brisserova podjela stijena i primjena suvremenih strojeva za dobivanje

Grupa	Naziv tla ili stijene		Specifični otpor kopanju		Otpor na tlak
Tehnologija rezanja (dobivanja) klasičnim bagerima					
	Opći podaci	Primjer	k_L kN/m	k_F MPa	MPa $\sigma_{tl.}$
0	nasipi	deponiran sitan materijal, ruda, ugljen	-	-	-
I.	meka i rastresita (sipka) tla	pijesak	10, - 50	0,04 - 0,13	<3,0
II.	gotovo zbijena tla	rastresen glinovit pijesak, fini i srednji šljunak, vlažna i rastresita glina, meki lignit,	20 - 65	0,12 - 0,25	3,8 - 8,0
III.	zbijena tla	čvrsti glinoviti pijesak, polučvrsta glina, čvrsti šljunak	25 - 100	0,20 - 0,38	8,0 - 10,0
Tehnologija rezanja s bagerima ojačane konstrukcije i hidrauličkim bagerima lopatarima					
IV.	veoma zbijena tla	čvrsta glina, glinoviti šljunci, meki do polu - čvrsti ugljen	40 - 120	0,30 - 0,50	10,0 - 15,0
V.	polučvrste stijene, veoma raspucane stijene	polučvrsti škriljevci, jako čvrsta glina, kreda, meki pješčenjak, meki fosforit, meki vapnenac, čvrsti ugljen, jako raspucana ruda	55 - 160	0,50 - 0,70	15,0 - 20,0
Hidraulički bageri s uređajima za razbijanje ili glodanje stijena					
VI.	prilično čvrsta stijena, meka smrznuta tla, srednje raspucane stijene	vapnenac, lapor, kreda, gips, čvrsti fosforit, polu-čvrsti pješčenjak, škriljevac	90 - 195	0,70 - 2,0	20,0 - 30,0
VII.	čvrsta stijena, polučvrsta stijena, smrznuta tla	čvrsti vapnenac, čvrsti lapor, čvrsta kreda, čvrsti gips, vrlo tvrdi pješčar	140 - 260	1,80 - 5,0	30,0 - 60,0
Pri dobivanju mora se minirati					
VIII.	malo raspucane stijene	malo raspucana ruda, polučvrste eruptivne stijene	-	-	>80,0
IX.	gotovo monolitne stijene	monolitne eruptivne stijene, monolitna teška ruda	-	-	>80,0

Efikasna primjena određene tehnologije dobivanja zahtjeva za to povoljna svojstva stijenske mase. Za potrebe odlučivanja o načinu iskopa stijene mnogi istraživači su nastojali dovesti u vezu način iskopa sa sustavima klasifikacije i svojstvima stijenske mase. Među novijima se pojavljuje mogućnost iskopa na temelju geološkog indeksa čvrstoće (GSI) gdje su dominantni faktori, kao i u većini ostalih klasifikacija, tlačna čvrstoća stijene i struktura odnosno raspucanost stijenske mase, ali i stanje pukotina (Tsiambaos et.al, 2010). Ovakva klasifikacija jednostavna je za terensku primjenu na kopovima budući se GSI određuje vizualnom inspekcijom stijenske mase, a podatak o čvrstoći dostupan je ispitivanjima u svrhu atestiranja sirovine za proizvodnju tehničko-građevnog kamena. Klasifikacija s područjima primjene tehnologije iskopa prikazana je slikom 2.1 (UCS - jednoosna tlačna čvrstoća; Is_{50} – indeks čvrstoće u točci).



Slika 2.1 Procjena mogućnosti iskopa stijene na temelju GSI klasifikacije (prilagođeno iz Tsiambaos et.al, 2010)

Ovisno o primijenjenoj tehnologiji i ležišnim uvjetima dobivanje može biti izravno povezano s transportom, tj. bez potrebe za utovarom. U slučaju tanje otkrivke nižih čvrstoća te postojanja humusnog sloja pogodno je dobivanje dozerom uz preguravanje u rubne dijelove kopa, gdje se odlaže za potrebe tehničke rekultivacije. Ovo vrijedi za manja eksploatacijska polja gdje je transport dozerom ekonomski isplativ, tj. do udaljenosti otprilike 150 m (Hartman et.al, 2002). Pri većim debljinama otkrivke pojavljuju se i dodatne količine za koje je potreban utovar i transport do planiranog jalovišta. Na kopovima brdskog ili visinskog tipa, kakvi prevladavaju u eksploataciji tehničko-građevnog kamena, za mineralnu sirovinu i otkrivku povoljnih svojstava za strojno dobivanje u pravilu vrijedi da se istovremeno dobivanju odvija gravitacijski transport prema nižoj etaži, dok za stijene većih čvrstoća prethodi bušenje i miniranje.

U složenim ležištima pojavljuju se stijene raznolikih fizičko mehaničkih i strukturnih svojstava, a također i različite ekonomske važnosti iz aspekta gotovog prodajnog proizvoda. Promjene svojstava stijenske mase javljaju se po visini, lateralno po etažama, te u smjeru napredovanja otkopnih fronti i mogu biti vrlo učestale. Ovakvi uvjeti iziskuju primjenu više tehnologija dobivanja koje se izmjenjuju s promjenom svojstava stijenske mase, te selektivno otkopavanje u mineralnoj sirovini kako bi se spriječilo miješanje različitih materijala, što umanjuje vrijednost sirovine i zahtjeva dodatne učinke oplemenjivanja.

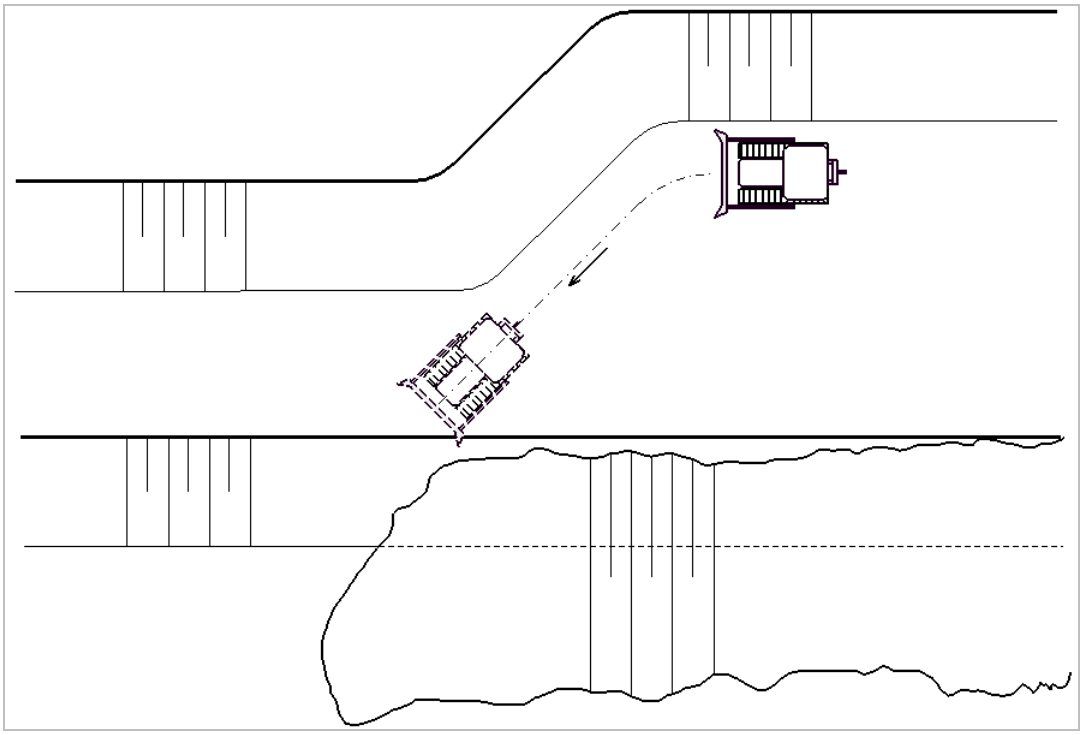
Računskim modelom predviđeno je više opcija strojnog dobivanja otkrivke i mineralne sirovine, korištenjem uobičajenih tehnologija na malim kopovima tehničko-građevnog kamena:

- pridobivanje dozerom,
- pridobivanje bagerom, te
- pridobivanje bagerom s hidrauličnim čekićem.

2.2.1.1. Primjena dozera (dobivanje, gravitacijski transport)

Tipična tehnologija rada dozera uključuje fazu iskopa dok se nož napuni, zatim transportiranja uz određene gubitke materijala ispred noža, te na kraju odlaganja i povratka praznog noža. Dobivanje dozerom na etaži kopa izvodi se u specifičnim uvjetima i načinom koji se razlikuje od navedenog. Za potrebe računskog modela pretpostavljena je tehnološka shema prikazana slikom 2.2. Dozer razrušava stijensku masu bočnim zahvatom noža, kosom putanjom u odnosu na bermu. Prilaskom rubu etaže razrušena stijenska masa se gravitacijski

spušta prema niželežećoj etaži. Ovakav način rada dozera zahtjeva dovoljnu širinu berme da bi se nož dozera potpuno ispunio, a također optimalna širina bočnog zahvata nožem je ona pri kojoj se nož potpuno napuni tek pri rubu etaže. Tako se postižu manji otpori gibanju dozera pri punjenu noža i izostaje faza transportiranja punim nožem. Gubitak materijala ispred noža dozera može se zanemariti, budući se nož puni duž cijele putanje dozera, a faza odlaganja ne postoji jer se materijal gravitacijski spušta na nižu etažu.



Slika 2.2 Tehnologija dobivanja dozerom

Za vrijeme trajanja ciklusa dozera pri ovakvom načinu rada može se primijeniti tipična formula (Linarić, 2007) koja je ovdje modificirana jer se ciklus sastoji samo od iskopa tj. punjenja noža, povratka dozera unazad, te promjene smjera:

$$T_c = l_c \cdot \left(\frac{1}{v_t} + \frac{1}{v_o} \right) + 2t_m \quad \text{(s)}, \tag{2.1}$$

gdje su: l_c - duljina putanje dozera (m),

v_t - brzina kretanja unaprijed (m/s),

v_o - brzina kretanja unazad (m/s),

t_m - vrijeme promjene smjera, manevriranja (s).

Za izračun učinka dozera pri dobivanju, uz poznato trajanje ciklusa, potreban je obujam materijala ispred dozera. Prema istraživanjima (Klanfar et.al., 2014) veliku točnost obujma

noža daje formula koja uzima u obzir dimenzije noža, kut sipanja materijala, te vertikalnu zakrivljenost noža:

$$V = l \cdot \left(\frac{h^2}{2tg\varphi} + 0{,}698 \cdot h \cdot c \right) \quad (\mathrm{m}^3), \tag{2.2}$$

gdje su: V – obujam materijala ispred noža dozera (m^3),

l – širina noža (m),

h – visina noža (m),

φ – kut sipanja materijala (°),

c – visina kružnog odsječka, tj. dubina noža (m).

Konačno, satni učinak dozera iznosi:

$$Q_{ef} = \frac{3600 \cdot V}{T_c} \quad (\mathrm{m}^3/\mathrm{h}). \tag{2.3}$$

2.2.1.2. Primjena bagera (dobivanje, gravitacijski transport, utovar)

Uobičajena vrsta stroja na kopovima tehničko-građevnog kamena je hidraulični bager s dubinskom lopatom. Ovo je najsvestraniji stroj na kopu, s mogućnostima primjene za pridobivanje lopatom, gravitacijski transport otkrivke i mineralne sirovine, utovar u kamione i postrojenja za oplemenjivanje te manipulaciju raznom opremom, a zamjenom lopate s hidrauličnim čekićem služi za pridobivanje udarnim razbijanjem te usitnjavanje izvangabaritnih blokova.

Razni autori i proizvođači mehanizacije predlažu procedure procjene učinka bagera (Trbojević, 1985; Linarić, 2007; Komatsu, 2009) koje se u osnovi svode na određivanje istih parametara. Kao kod većine cikličnih strojeva, učinak bagera ovisi o volumenu materijala u lopati te trajanju ciklusa. Pri tome je volumen materijala funkcija konstrukcijske zapremnine lopate i koeficijenta punjenja koji najviše zavisi o granulaciji, vlažnosti i čvrstoći stijenske mase, skupno izraženih pod pojmom vrste ili 'težine' iskopa, prema tabeli 2.2.

Ciklus bagera u pravilu raste s veličinom stroja, tj. veća masa konstrukcije bagera a time i veća masa tereta lopate rezultira duljim ciklusom. Veličina bagera izražava se ili masom bagera ili zapremninom lopate, u odnosu na koje je definiran standardni ciklus bagera, odnosno ciklus u uvjetima zakretanja za 90° i rada s optimalnom visinom radnog čela (40-

70% maksimalne visine/dubine dosega bagera). Standardni ciklus se potom korigira za odstupanje od optimalne visine radnog čela, odstupanje od kuta zakretanja od 90° te uvjete odlaganja materijala ili utovara u transportno vozilo.

Tabela 2.2 Koeficijent punjenja u ovisnosti o vrsti iskopa (Linarić, 2007)

Vrsta iskopa	**Koef. punjenja**	**Opis**
Laki iskop	0,95 - 1,25	Suha rastresita nekoherentna i koherentna tla (pijesak, sitni šljunak, rastresita suha zemlja)
Prosječni iskop	0,8 - 0,9	Suha ili manje vlažna ilovača, krupni šljunak, zbijena zemlja, meke trošne stijene
Srednje tvrdi iskop	0,65 - 0,8	Dobro minirana stijena, jako razlomljena i rastrošena stijena
Tvrdi iskop	0,4 - 0,65	Blokovita ili pločasta stijena (čista ili miješana sa sitnijim materijalom), miniranjem rastreseni pješčenjaci i konglomerati, vrlo tvrde i plastične gline i tla. Slabo minirana stijena

Za potrebe primjene u računskom modelu, tablično iskazani standardni ciklusi (Komatsu, 2009) dovedni su u vezu s masom bagera te regresijom pretvoreni u matematičku relaciju (2.4). Isto je izvedeno s korektivnim koeficijentom za kut zakretanja (2.5). Za koeficijent korekcije zbog visine radnog čela i uvjeta odlaganja nije bilo moguće naći jednadžbu s neznatnim odstupanjem u cijelom rasponu te je zadržan postupak određivanja na temelju tabele 2.3. Iz tabele je vidljivo kako uvjeti utječu na promjenu koeficijenta. Veća visina odlaganja ili utovara izduljuje trajektoriju lopate bagera dok manja i nepogodna transportna vozila zahtijevaju oprezniji manevar bagera. Oba slučaja rezultiraju produljenim ciklusom u odnosu na standardni. Veći omjer visine radnog čela i maksimalnog dosega bagera isto tako uzrokuje produljenje trajektorije lopate, a time i ciklusa bagera.

Tabela 2.3 Koeficijent korekcije za visinu radnog čela i uvjete odlaganja (Komatsu, 2009)

Uvjeti iskopa visina etaže (reza) —————— maks. doseg bagera	Uvjeti odlaganja			
	Lako (odlaganje na hrpu, ispod razine bagera)	Normalno (normalni utovar u veliko vozilo)	Otežano (utovar u malo vozilo)	Teško (malo vozilo, maksimalni doseg bagera)
Ispod 40%	0,7	0,9	1,1	1,4
40-75%	0,8	1	1,3	1,6
Iznad 75%	0,9	1,1	1,5	1,8

Trajanje ciklusa bagera određuje se standardnim ciklusom uz primjenu korektivnih koeficijenata prema jednadžbi (2.6).

$$T_{c1} = 4{,}33 \cdot \ln(1000 \cdot m_b) - 26{,}74 \quad \text{(s)}, \tag{2.4}$$

$$k_{Tc1} = 4{,}33 \cdot \ln(\alpha_Z) - 1{,}95 \quad , \tag{2.5}$$

$$T_c = (T_{c1} + k_{Tc1}) \cdot k_{Tc2} \quad \text{(s)}, \tag{2.6}$$

gdje su: T_{c1} – standardni ciklus bagera (s),

k_{Tc1} – koeficijent korekcije za kut zakretanja,

k_{Tc2} – koeficijent korekcije za visinu radnog čela i način odlaganja,

m_b – masa bagera (t),

α_z – kut zakretanja bagera (°),

T_c – ciklus bagera (s).

Pri radu bagera s dubinskom lopatom na etaži kopa pojavljuju se slučajevi u kojima učinak bagera ne ovisi samo o ciklusu određenom gore navedenim postupkom:

- dubinska lopata u principu je predviđena za zahvat ispod ravnine bagera i stoga vrlo visoki zahvat ovom lopatom onemogućuje punjenje lopate čak i u mekim stijenama, ali omogućuje obrušavanje stijene prema nivou etaže,
- pojavom sekcija stijene veće čvrstoće nije moguć iskop uz istovremeno punjenje lopate, ali je moguće razrušavanje stijene zubima lopate prema nivou etaže,
- kod gravitacijskog transporta prebacivanjem, dio razrušene stijenske mase ne prebacuje se punjenjem lopate i odlaganjem, već proguravanjem bočnom stranicom lopate.

Tipična relacija za učinak bagera je ovdje modificirana radi prilagodbe gore navedenim uvjetima kod pridobivanja stijene (2.7). U relaciju je uveden koeficijent korekcije učinka k_{rs} koji predstavlja udio vremena utrošen na razrušavanje stijenske mase, pri kojem je bager neučinkovit u smislu prijenosa stijenskog materijala na ciljano mjesto.

$$Q_{ef} = \frac{(1 - k_{rs}) \cdot V_0 \cdot k_p \cdot 3600}{k_r \cdot T_c} \quad \text{(m}^3\text{/h)}, \tag{2.7}$$

gdje su: k_{rs} – koeficijent korekcije učinka,

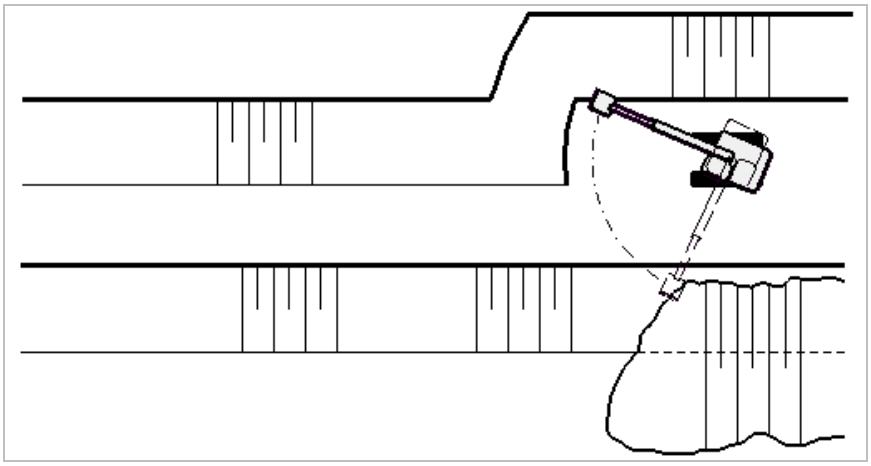
V_0 – zapremnina lopate (m^3),

k_p – koeficijent punjenja lopate,

k_r – koeficijent rastresitosti,

T_c – srednji ciklus prebacivanja (s).

Tehnologija rada bagera ovisiti će o visini etaže i širini breme. Za slučaj da je širina breme manja od maksimalnog dosega bagera, moguće je izravno prebacivanje stijenske mase prema niželežećoj etaži (slika 2.3), dok je u suprotnom potrebno naknadno prebacivanje bagerom ili preguravanje dozerom. Visina etaže izravno utječe na učinkovitost bagera kod pridobivanja. Pridobivanje je moguće dubinskim zahvatom odozgo ako je visina etaže manja od maksimalnog dosega bagera. Ovo je rijetko slučaj ako se uzme u obzir da se uobičajene visine etaža kreću između 15 i 25m a uobičajeni bageri na kopovima su mase 40-ak tona, s dubinskim dosegom 5-8m i visinskim dosegom 10-12m. Ako se ovome doda učestala promjena svojstava stijenske mase u složenim ležištima i potreba za selektivnim otkopavanjem, kao optimalan način proizlazi rad bagera s ravnine etaže ili opcionalno sa stube (međuetaže) gdje je omogućen dubinski i čeoni zahvat, a obrušavanje u višem dijelu etaže i s pojavom stijena veće čvrstoće. U svakom slučaju primjenjiv je gore predloženi postupak određivanja učinka bagera, s pažljivim odabirom visine reza i koeficijenta korekcije učinka zbog razrušavanja stijene. Primjer takvog rada bagera prikazan je na slici 2.4.



Slika 2.3 Tehnologija dobivanja bagerom s dubinskom lopatom



Slika 2.4 Rad bagera na dobivanju otkrivke

2.2.1.3. Primjena hidrauličnog čekića (dobivanje)

Hidraulični udarni čekići se u rudarstvu primjenjuju još od 1960-ih godina kada se odvija značajniji razvoj hidrauličnog sustava prijenosa energije na strojevima, iako se udarni čekić pojavljuje i ranije u vidu ručnog otkopnog čekića. Prednosti hidrauličnog čekića izražene su u područjima gdje su masovna miniranja, kao najproduktivniji i najekonomičniji način dobivanja čvrstih i vrlo čvrstih stijena, nepoželjna ili čak zabranjena. Ovdje hidraulični čekići nude alternativu koja eliminira probleme manipulacije eksplozivnim tvarima, značajno umanjuje utjecaje na okolinu, vezane uz prašinu, buku i vibracije te istovremeno ne prekida ostale radne procese pri eksploataciji. Isto vrijedi i za usitnjavanje izvangabaritnih blokova pri dobivanju bušenjem i miniranjem. U usporedbi s ostalim tehnologijama mehaničkog dobivanja koje se primjenjuju u stijenama sličnih svojstava, hidraulični čekić zahtjeva manju potisnu silu, tj. masa noseće konstrukcije (bagera) ne mora biti velika da bi omogućila prodiranje radnog alata u stijenu. Iz toga proizlazi velika fleksibilnost i pokretljivost stroja, izražena selektivnost otkopavanja te mogućnost iskorištenja defekata stijenske mase za veću učinkovitost pridobivanja. Manja masa stroja i dijelova stroja koji se gibaju za vrijeme rada znači i manji utrošak energije po jedinici pridobivene stijene.

Učinak hidrauličnog čekića često se dovodi u vezu s tlačnom čvrstoćom stijene, vjerojatno jer je to jedno od najčešće ispitivanih svojstava. Međutim tlačna čvrstoća nije mjerodavna za sve vrste stijena. Za mehanizam udarnog razbijanja izraženo utjecajno svojstvo je žilavost, ili njemu suprotno, krtost stijene. Kod vrlo krtih stijena do sloma dolazi uslijed vrlo malih deformacija, odnosno stijena prije loma apsorbira relativno malo energije utrošene na deformaciju. Tako se neke stijene vrlo visoke tlačne čvrstoće efikasno razrušavaju hidrauličnim čekićem. Drugo važno svojstvo stijena je struktura odnosno učestalost diskontinuiteta. Postojanje prirodnih diskontinuiteta i pukotina smanjuje potrebnu energiju za stvaranje novih pri razrušavanju stijene. Stoga je učinak čekića veći što je veći broj diskontinuiteta u jedinici volumena stijene.

Ne postoji standardizirani ili opće prihvaćeni način određivanja učinka hidrauličnog čekića. Dokumentacija proizvođača hidrauličnih čekića navodi okvirne procjene učinka na temelju rezultata ostvarenih u praksi, ovisno o vrsti stijene i masi čekića. Međutim ove informacije mogu biti kontradiktorne. Tako npr. Atlas Copco (Atlas Copco,2006) vapnence i dolomite svrstava u grupu gdje su čekići srednje produktivni, dok Caterpillar (Caterpillar, 2010) iste svrstava u grupu gdje su čekići najproduktivniji. Istraživanja određenih autora (Bilgin et.al., 1996) provedena pri iskopima tunela čine se primjenjivima u okviru ovoga rada. Pri izradi tunela vladaju drugačiji uvjeti iskopa i uklještenosti stijenske mase nago pri površinskom iskopu, međutim navedena ispitivanja su urađena na velikom broju uzoraka u sedimentnim stijenama te djelomično u dijabazu, a učinak je koreliran s tlačnom čvrstoćom, što je praktično zbog dostupnosti ulaznih veličina. Budući da nisu pronađeni radovi sličnih ispitivanja u površinskim uvjetima, rezultati navedenih autora upotrijebiti će se u ovom radu. Mjerenja stvarnog otkopnog učinka hidrauličnog čekića te korelacija s tlačnom čvrstoćom i RQD stijene polučili su slijedeću formulu:

$$ICR = 3{,}12 \cdot P \cdot RMCI^{-0{,}567} \quad (\mathrm{m}^3/\mathrm{h}), \tag{2.8}$$

$$RMCI = \sigma_c \cdot \left(\frac{RQD}{100}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (\mathrm{MPa}), \tag{2.9}$$

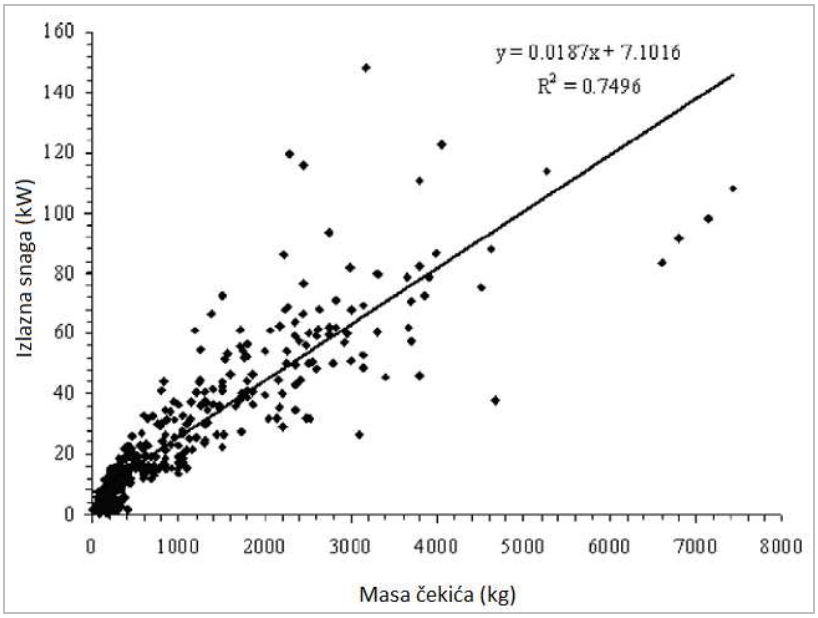
gdje su: ICR – otkopni učinak čekića (m^3/h),

P – izlazna snaga čekića (kW),

$RMCI$– indeks 'rezivosti' stijenske mase (prema autorima),

σ_c – tlačna čvrstoća stijene (MPa).

Izlazna snaga čekića, tj. udarna energija predana stijeni u jedinici vremena, ovisi o ulaznoj snazi i efikasnosti čekića. Pri se tome ulazna snaga definira kao umnožak pritiska i protoka hidrauličnog ulja, a izlazna snaga kao umnožak frekvencije udara i energije pojedinog udara. Tuncdemir (2008), analizirajući ove osnovne podatke za veliki broj čekića raznih proizvođača, izvodi korelaciju izlazne snage čekića u odnosu na masu čekića. Korelacija je prikazana slikom 2.5.



Slika 2.5 Zavisnost izlazne snage o masi čekića (Tuncdemir, 2008)

Ovako se izlazna snaga može procijeniti na temelju mase čekića, koja je najčešće dostupan podatak o čekiću, a ujedno je pojednostavljen proračun učinka čekića pri otkopavanju:

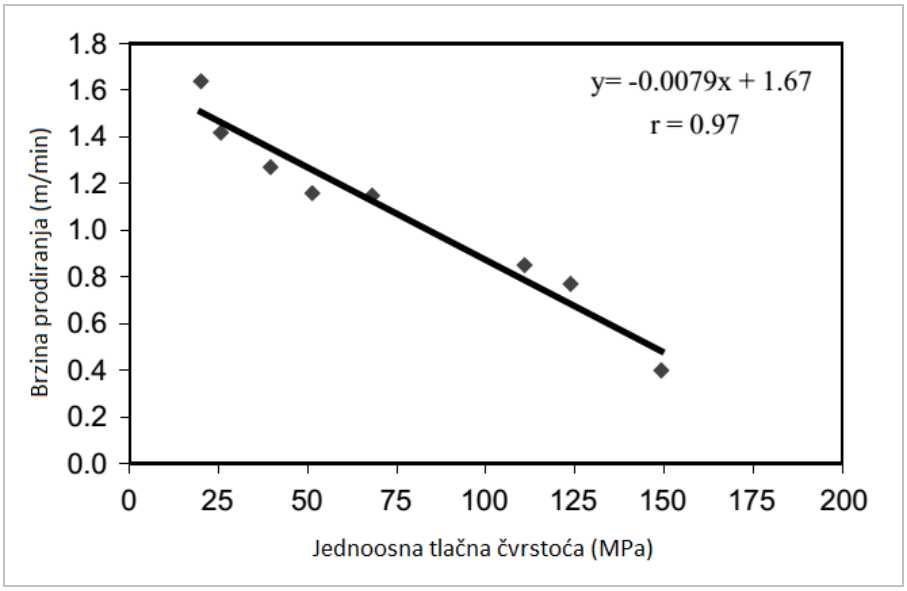
$$P = 0{,}0187 \cdot m_{č} + 7{,}1016 \quad \text{(kW)}, \tag{2.10}$$

gdje su: P – izlazna snaga čekića (kW),

$m_{č}$ – masa čekića (kg),

2.2.2. Izrada minskih bušotina

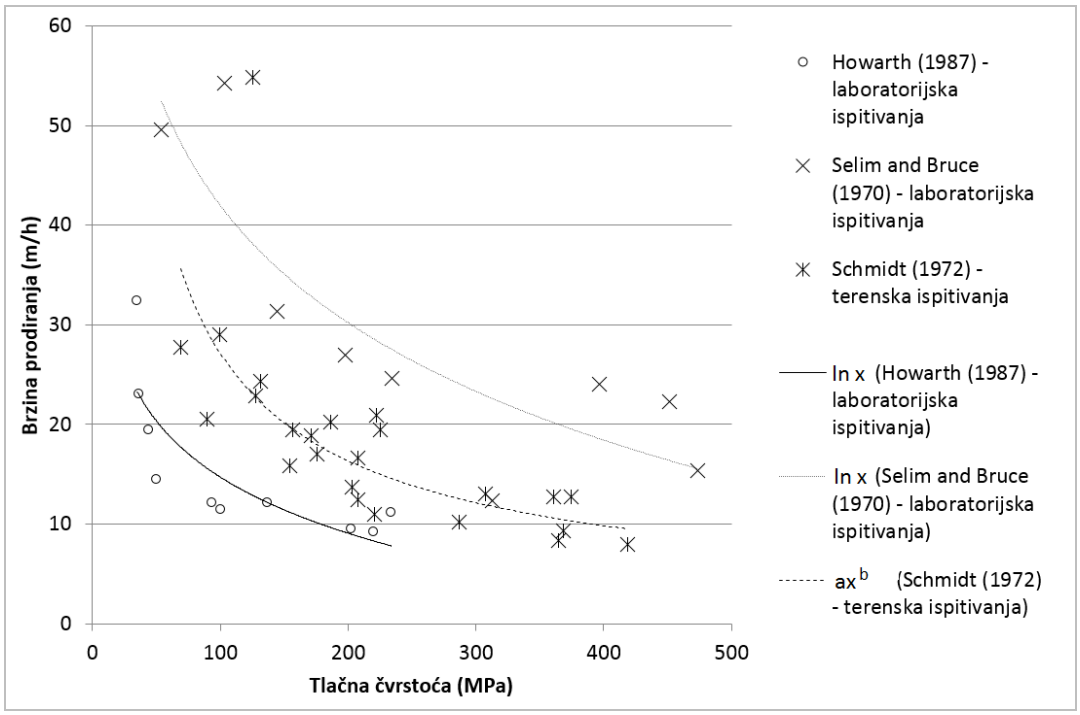
Istraživanja mnogih autora dovode u vezu brzinu prodiranja (čistog bušenja) bušaćeg pribora sa nekoliko svojstava stijene. Kaharman i dr. (2003) provode istraživanja u dolomitima, vapnencima, pješčenjacima, mramoru i dijabazu, tj. stijenama od kojih su neke vezane za temu ovoga rada a i često su predmet eksploatacije u Republici Hrvatskoj. Mjerenja su provedena na bušaćim garniturama s vanjskim hidrauličnim čekićima, snage 14-17,5 kW i promjerima bušaćih kruna između 76 i 89 mm, što pretežito odgovara veličinama koje se primjenjuju na kopovima u Republici Hrvatskoj. Prema autorima, od nekoliko ispitivanih svojstava stijene najbolju korelaciju s brzinom čistog bušenja pokazuje jednoosna tlačna čvrstoća. Zavisnost brzine čistog bušenja prikazuje slika 2.6.



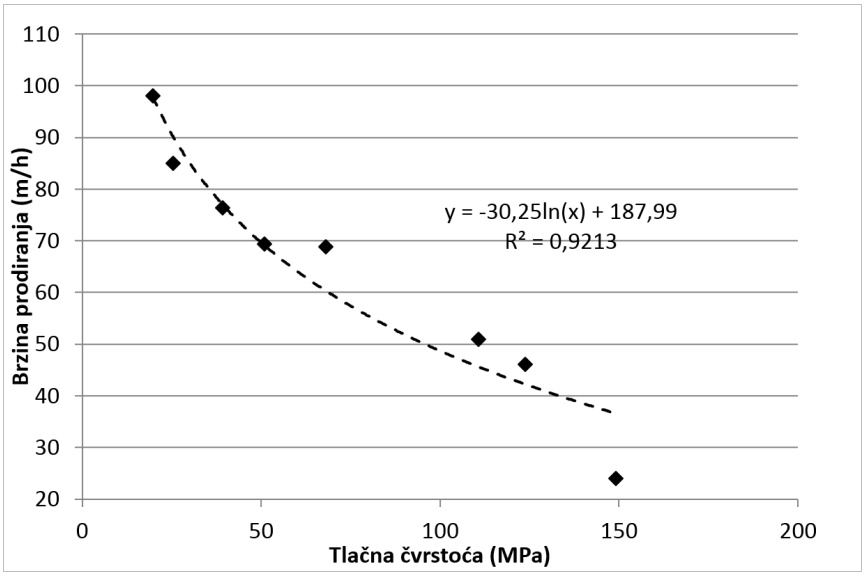
Slika 2.6 Korelacija brzine čistog bušenja i jednoosne tlačne čvrstoće (Kaharman et.al,2003)

Međutim linearna korelacija rezultira brzinom čistog bušenja koja teži nuli već pri 200 MPa, što nije realno za očekivati. Razlog tome vjerojatno leži u malom rasponu tlačnih čvrstoća uz koje su mjerene brzine čistog bušenja. Nasuprot tome, istraživanja drugih autora (Kaharman, 2003) uz veće raspone tlačnih čvrstoća, preko 400 MPa, pokazuju izrazito nelinearnu zavisnost. Na slici 2.7 prikazani su rezultati istraživanja nekoliko autora. Jedno od tih ispitivanja je terensko, međutim nepoznate su karakteristike bušaća garnitura.

Podaci prvog autora, gdje su poznate karakteristike bušaća garnitura, ovdje su upotrijebljeni za formiranje nove korelacijske funkcije, uzimajući u obzir nelinearnu zakonitost iz radova drugih autora. Najbolju korelaciju među nelinearnim funkcijama polučila je logaritamska funkcija, te je dobivena korelacija prikazana slikom 2.8.



Slika 2.7 Brzina čistog bušenja u zavisnosti o tlačnoj čvrstoći (drugi autori)



Slika 2.8 Modificirana korelacija brzine čistog bušenja

Ovakva relacija primjenjiva je samo za gore navedene snage čekića i promjere bušaćih kruna. Međutim, kako brzina čistog bušenja teorijski ovisi o energiji predanoj stijeni, a energija se raspoređuje na površinu koja ovisi o promjeru krune, moguće je brzinu čistog bušenja iz gornje relacije svesti na snagu čekića od 1 kW i promjer krune od 1 mm. S pretpostavkom da energija predana stijeni linearno ovisi o snazi čekića a potrebna energija za istu brzinu čistog bušenja raste s površinom, odnosno kvadratom promjera krune, relacija (2.11) omogućuje procjenu brzine čistog bušenja za snage čekića i promjere bušaćih kruna različite od onih u provedenim istraživanjima.

$$v_p = \frac{P}{15{,}75} \cdot \left(\frac{82{,}5}{d_b} \right)^2 \cdot \left(-30{,}25 \cdot \ln(\sigma_c) + 187{,}99 \right) \quad \text{(m/h)}, \tag{2.11}$$

gdje su: v_p – brzina čistog bušenja (m/h),

P – snaga čekića (kW),

d_b – promjer bušaće krune (mm),

σ_c – jednoosna tlačna čvrstoća stijene (MPa).

U okviru ovoga rada nisu urađena mjerenja brzine čistog bušenja, već su analizirani podaci o radu bušaće garniture koncesionara, u poglavlju 0. Gore predložena relacija za brzinu čistog bušenja uspoređena je s analiziranim podacima te pokazuje odstupanje od 5,05%.

Pri određivanju satnog učinka bušaće garniture potrebno je uzeti u obzir vrijeme utrošeno na premještanje bušaće garniture do naredne bušotine, namještanje lafete, te nastavljanje i rastavljanje bušaćih šipki. Zbog usklađenosti s dostupnim podacima o radu bušaće garniture, ovi utjecaji će se objediniti u jedan koeficijent, nazvan koeficijent bušenja, koji definira dodatno vrijeme utrošeno na manipulativne kretnje svedeno na metar bušenja.

Ukupno vrijeme bušenja T teorijski se sastoji od zbroja vremena čistog bušenja T_p i dodatnog vremena manipulacije T_m uzrokovanog gore navedenim radnjama:

$$T = T_p + T_m = \frac{l}{v_p} + l \cdot k_b \quad \text{(h)}, \tag{2.12}$$

gdje su: k_b – koeficijent bušenja (h/m),

l – duljina bušenja (m),

Pri tome vrijeme čistog bušenja ovisi samo o brzini čistog bušenja, a dodatno vrijeme uglavnom o geometrijskim parametrima, tj. razmaku i dubini bušotina, te je nevisno o brzini čistog bušenja, odnosno vrsti stijene u kojoj se izvodi bušenje. Kako je stvarna brzina bušenja jednaka omjeru ukupne duljine bušotina i ukupno utrošenog vremena, uz poznatu brzinu čistog bušenja i koeficijent bušenja, satni učinak bušaće garniture može se odrediti idućom relacijom:

$$Q_{ef} = \frac{l}{T} = \frac{1}{\frac{1}{v_p} + k_b} \quad \text{(m/h)}. \tag{2.13}$$

2.2.3. Minerski radovi

Postoji više različitih modela kojima se u praksi nastoji predvidjeti fragmentacija stijenskog materijala nakon miniranja. Načelno se mogu podijeliti u empirijske, koji pretpostavljaju sitniju fragmentaciju s većom energijom predanom stijeni, i teorijske, koji koriste fizikalne zakone detonacije eksploziva i prostiranja pukotina u stijeni.

Jedan od najšire korištenih i prihvaćenih modela je Kuz-Ram, koji se razvija već više od 20 godina na temelju empirijskih podataka, a osim toga glavna prednost nad novijim modelima je jednostavnost i dostupnost ulaznih veličina. Iako je nemoguće potpuno točno predvidjeti raspodjelu fragmentacije materijala, naročito u cijelom rasponu veličina zrna, iskustvo pokazuje da je Kuz-Ram model prilično točan u dijelu raspodijele gdje su fragmenti velike i srednje krupnoće (Cunningham, 2005), dok točnost određivanja sitnijih frakcija može biti vrlo niska. Stoga je Kuz-Ram model u ovom obliku najpouzdanije upotrijebiti samo za predviđanje udjela izvangabaritnih blokova, koje je potrebno naknadno usitnjavati.

Kuz-Ram model za rezultat daje Rosin-Rammler-ovu krivulju definiranu kroz dva parametra. Jedan parametar je karakteristična (srednja) veličina zrna x_m, ovisna o svojstvima stijene te količini (energiji) eksploziva:

$$x_m = A \cdot K^{-0,8} \cdot Q^{1/6} \cdot \left(\frac{115}{RWS} \right)^{19/20} \quad \text{(cm)}, \tag{2.14}$$

gdje su: A – faktor stijene,
K – specifična potrošnja eksploziva (kg/m^3),
Q – masa eksploziva u bušotini (kg),
RWS – relativna snaga eksploziva u odnosu na ANFO (%),

dok drugi parametar određuje oblik krivulje odnosno jednoličnost veličina zrna, a ovisi o geometrijskim parametrima miniranja:

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{D_b} \right) \sqrt{\left(\frac{1 + S/w}{2} \right)} \left(1 - \frac{W}{B} \right) \left(\frac{|BCL - CCL|}{L} + 0,1 \right)^{0,1} \frac{L}{H} \quad , \tag{2.15}$$

gdje su: w – izbojnica (m),
S – razmak bušotina (m),
W –devijacija bušotine,
D_b – promjer bušotine (mm),

BCL – duljina glavnog naboja (m),

CCL – duljina pomoćnog naboja (m),

L – ukupna duljina naboja (m),

H – visina etaže (m).

Kada su poznata dva navedena parametra, Rossin-Rammler-ova jednadžba koja opisuje fragmentacijsku krivulju tj. kumulativni udio pojedine frakcije stijenskog materijala je slijedeća:

$$U = \exp\left(-0{,}693 \cdot \left(\frac{x}{x_m} \right)^n \right) \quad , \tag{2.16}$$

gdje su: *U* – udio izvangabarita,

x - granična veličina izvangabarita (cm).

Najkritičniji parametar za Kuz-Ram model je faktor stijene, o kojem značajno ovisi srednja veličina fragmenta te ga je potrebno pažljivo odrediti. Preporučena procedura za određivanje ovog parametra je slijedeća:

$$A = 0{,}06 \cdot (RMD + RDI + HF) \quad , \tag{2.17}$$

Utjecaj strukture

RMD = 10 za vrlo raspucanu, trošnu stijenu

= 50 za masivnu stijenu (razmak pukotina veći od razmaka bušotina)

= *JF* za razmak vertikalnih pukotina manji od razmaka bušotina

JF = *(JCF*JPS)+JPA*

S*tanje pukotina*

JCF = 1,0 za zatvorene pukotine

= 1,5 za otvorene pukotine

= 2,0 za pukotine s ispunom

Razmak pukotina

JPS = 10 za razmak pukotina < 0,1 m

= 20 za razmak pukotina < 0,3 m

= 80 za razmak pukotina 0,3 m do 95% razmaka bušotina

= 50 za razmak pukotina veći od razmaka bušotina

Orijentacija vertikalnih pukotina

JPA = 20 ako ravnina pukotina izlazi prema dolje iz etaže

= 30 ako su pukotine okomite na etažu

= 40 ako ravnina pukotina izlazi prema gore iz etaže

Utjecaj gustoće stijene

RDI = 25**RD*-50

RD = prostorna masa stijene (t/m^3)

Utjecaj tvrdoće stijene

HF = *Y*/3 za *Y* < 50

=*UCS*/5 za *Y* > 50

Y = modul elastičnosti (GPa)

UCS = jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)

Dvije zamjerke koje se postavljaju pred Kuz-Ram model su netočnost prognoze sitnih frakcija, te nepostojanje gornje granice veličine bloka koja prema Rossin-Rammler-ovoj krivulji teži u beskonačnost. Rješenje ovih problema daje dogradnja Kuz-Ram modela u takozvani prošireni Kuz-Ram ili KCO model (Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony). Osnova ovog modela je zamjena Rossin-Rammler-ove funkcije s dva parametra, logaritamskom funkcijom s tri parametra (2.18) koja prema istraživanjima (Ouchterlony, 2005) točnije opisuje distribuciju fragmenata. Pri tome su parametri x_m i n određeni istovjetno kao u originalnom Kuz-Ram modelu s time da je parametar oblika krivulje n zamijenjen parametrom b koji se računa prema formuli (2.19).

Parametar x_{max} označava najveću veličinu bloka u ležištu ili najveći razmak minskih bušotina, tj. manju od tih dviju dimenzija, čime je ograničena maksimalna veličina fragmenta nakon miniranja.

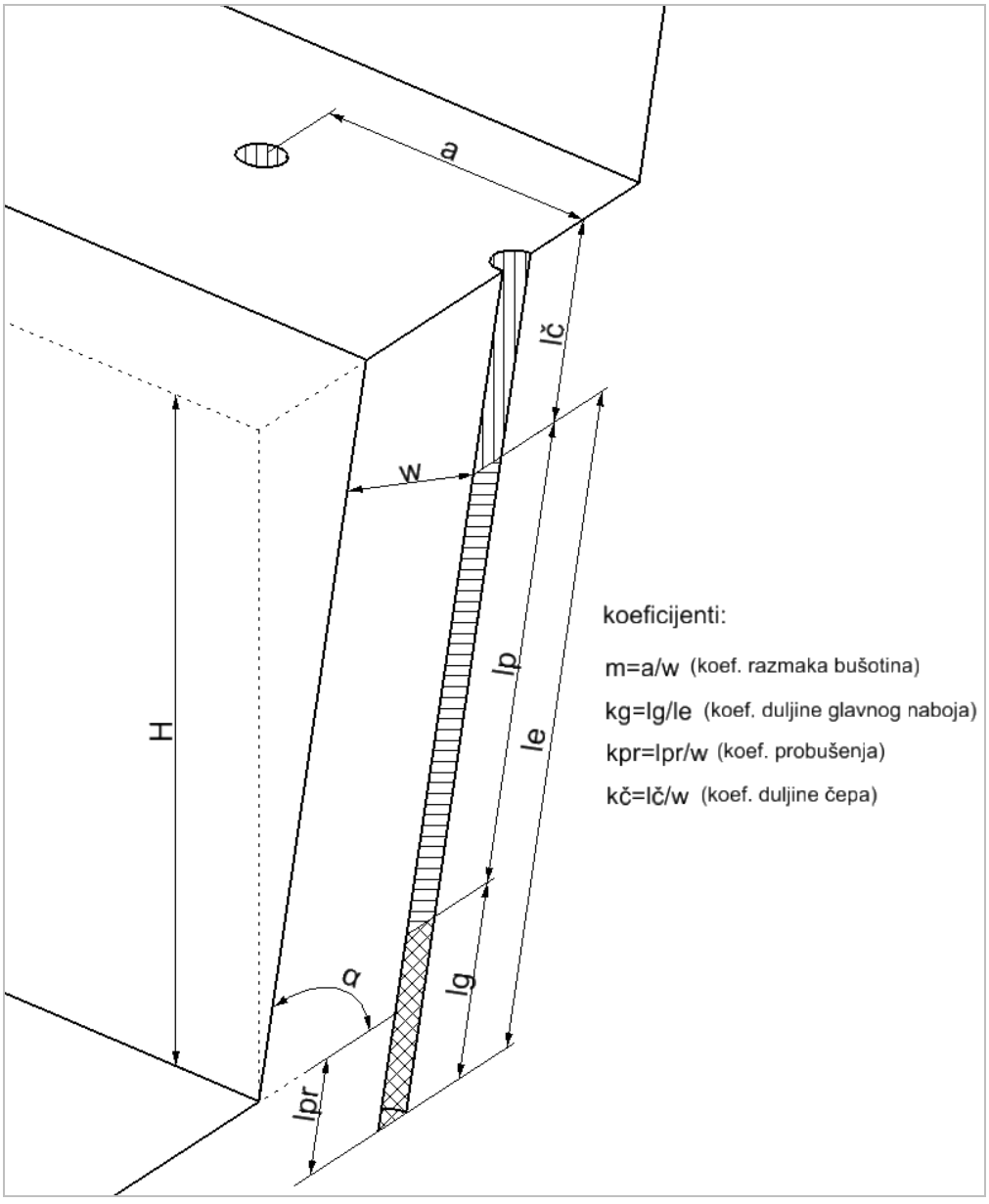
$$P(x) = \frac{1}{1 + (\ln(x_{\max} / x) / \ln(x_{\max} / x_m))^b} \quad , \tag{2.18}$$

$$b = (2\ln(2) \cdot \ln(x_{\max} / x_m)) \cdot n \quad . \tag{2.19}$$

Specifična potrošnja eksploziva može se uzeti kao iskustvena vrijednost koja određuje svojstvo stijene pri miniranju, tj. minirljivost. Uz poznatu gustoću eksploziva i geometrijske veličine etaže potrebno je odrediti parametre miniranja tako da specifična potrošnja eksploziva odgovara predviđenoj vrijednosti. Važno je da ovi parametri budu usklađeni iz

razloga što Kuz-Ram model za ulazne vrijednosti zahtjeva i specifičnu potrošnju, i masu eksploziva u bušotini, i geometrijske parametre.

U računskom modelu je predviđeno da ulazni podaci budu specifična potrošnja eksploziva, linijska gustoća eksploziva u bušotini, geometrijski elementi etaže, te koeficijenti razmaka bušotina *m*, probušenja k_{pr}, duljine čepa $k_{č}$ i duljine glavnog naboja k_g, definirani kako je prikazano na slici 2.9. Iz ovih veličina algoritam određuje odgovarajuću izbojnicu.



Slika 2.9 Geometrijski elementi minske bušotine

Specifična potrošnja eksploziva definira se kao omjer mase eksploziva u bušotini i obujma stijenske mase koji se odnosi na tu bušotinu:

$$q_e = \frac{Q}{V_b} \quad (\text{kg/m}^3), \tag{2.20}$$

gdje su: Q - ukupna količina eksploziva u bušotini (kg),

V_b - volumen stijenske mase po bušotini (m^3).

Obzirom da i brojnik i nazivnik jednadžbe (2.20) ovise o izbojnici prema jednadžbama:

$$V_b = \frac{m_r \cdot w^2 \cdot H}{\sin \alpha_e} \quad (\text{m}^3), \tag{2.21}$$

$$l_e = l_b - l_{č} = \frac{H}{\sin \alpha} + l_{pr} - l_{č} = \frac{H}{\sin \alpha} + k_{pr} w - k_{č} w \quad (\text{m}), \tag{2.22}$$

$$Q = Q_g + Q_p = k_g l_e q_g + (1 - k_g) l_e q_p \quad (\text{kg}), \tag{2.23}$$

gdje su: H - visina etaže (m),

α - nagib etažne kosine (°)

m_r - koef. razmaka bušotina

Q_g - masa glavnog punjenja (kg)

Q_p - masa pomoćnog punjenja (kg)

k_{pr} - koef. probušenja (u odnosu na izbojnicu)

$k_{č}$ - koef. duljine čepa (u odnosu na izbojnicu)

k_g - koef. duljine glavnog naboja (u odnosu na ukupnu duljinu naboja)

q_g - linijska gustoća glavnog naboja (kg/m')

q_p - linijska gustoća pomoćnog naboja (kg/m')

potrebno je naći vrijednost izbojnice koja zadovoljava jednadžbu (2.20).

Uvrštavanjem jednadžbi (2.21), (2.22) i (2.23) u jednadžbu (2.20) dobiva se sređeni oblik za specifičnu potrošnju eksploziva:

$$q_e = \frac{(k_g \cdot (q_g - q_p) + q_p) + (H + (-k_{č} + k_{pr}) \cdot w \cdot \sin \alpha)}{H \cdot m_b \cdot w^2} \quad (\text{kg/m}^3), \tag{2.24}$$

Ovu jednadžbu moguće je transformirati u kvadratnu jednadžbu izbojnice:

$$\frac{q_e \cdot H \cdot m_r}{k_g \cdot (q_g - q_p) + q_p} w^2 + (k_{č} - k_{pr}) \cdot \sin(\alpha) w - H = 0 \quad , \tag{2.25}$$

odnosno

$$aw^2 + bw + c = 0 \quad , \tag{2.26}$$

gdje se parametri kvadratne jednadžbe računaju iz ulaznih podataka:

$$a = \frac{q_e \cdot H \cdot m_r}{k_g \cdot (q_g - q_p) + q_p} \quad , \tag{2.27}$$

$$b = (k_č - k_{pr}) \cdot \sin(\alpha) \quad , \tag{2.28}$$

$$c = -H \quad , \tag{2.29}$$

Rješenje izbojnice moguće je dobiti metodom kvadratne formule:

$$w = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a} \quad \text{(m)}, \tag{2.30}$$

gdje je determinanta kvadratne jednadžbe D:

$$D = b^2 - 4ac \quad , \tag{2.31}$$

Testiranjem gornjih relacija za realne ulazne parametre utvrđeno je da je determinanta uvijek pozitivna, što znači da jednadžba (2.30) ima dva rješenja. Pri tome jedno rješenje daje negativnu izbojnicu, što nije realno, dok drugo rješenje daje pozitivnu izbojnicu koja odgovara ulaznim vrijednostima i specifičnoj potrošnji eksploziva:

$$w = \frac{-b + \sqrt{D}}{2a} \quad \text{(m)}. \tag{2.32}$$

2.2.4. Gravitacijski transport

Prebacivanje otkrivke i mineralne sirovine s radnih na utovarno-transportne etaže čini neizostavnu tehnološku fazu u nekim sustavima eksploatacije mineralnih sirovina. Gravitacijski transport, koji korištenjem sile teže spada među najekonomičnije načine transporta, uobičajen je na većini površinskih kopova tehničko-građevnog kamena u Republici Hrvatskoj.

Strojevi najčešće korišteni pri gravitacijskom transportu su bager ili dozer. Sličnost tehnologije rada ovih strojeva pri gravitacijskom transportu i na pridobivanju omogućuje određivanje učinaka prema postupcima iznesenim u prethodnim poglavljima, uz odabir odgovarajućih proračunskih parametara. Specifični problem kod gravitacijskog transporta predstavlja količina stijenskog materijala. Uz poznati učinak stroja, količina materijala mora biti pouzdano određena da bi se izračunao broj radnih sati i utrošci za neki radni proces. Prebacivanjem ili preguravanjem na niželežeće etaže, dio stijenskog materijala ne spušta se od osnovnog platoa već se zadržava na etažama i čini dio obujma koji je potrebno prebacivati višestruko. Stoga nije dovoljno upotrijebiti obujam stijenske mase u ležištu ili obujam iskopa, već se taj obujam računski uvećava kako bi se odredila količina materijala za prebacivanje.

Za potrebe izračuna obujma prebacivanja pretpostavljen je sustav prebacivanja kojeg je načelo prikazano slikom 2.10. Ciljana stijenska masa nalazi se u gornje tri etaže kopa (3,4 i 5), te se na svakoj etaži iskopom zahvaća neka širina B_z, počevši od gornje etaže 5 i završavajući u donjoj etaži 3. Jedinični obujam prebacivanja po m' otkopne fronte sa najviše etaže tada je jednak:

$$P_z = B_z \cdot H \cdot k_r \quad (\mathrm{m}^3), \tag{2.33}$$

gdje su: P_z – jedinični obujam ili obujam po dužnom metru otkopne fronte (m^3),
B_z – širina zahvata (m),
H – visina etaže (m),
k_r – koeficijent rastresitosti.

Jedinični obujam prebacivanja sa niže etaže jednak je zbroju obujma iskopa na toj etaži i obujma zadržanog materijala od preguravanja sa višeležeće etaže:

$$P_z + P_{et} \quad (\mathrm{m}^3), \tag{2.34}$$

gdje obujam zadržanog materijala na nižoj etaži ovisi o širini berme, nagibu etažne kosine i kutu sipanja materijala:

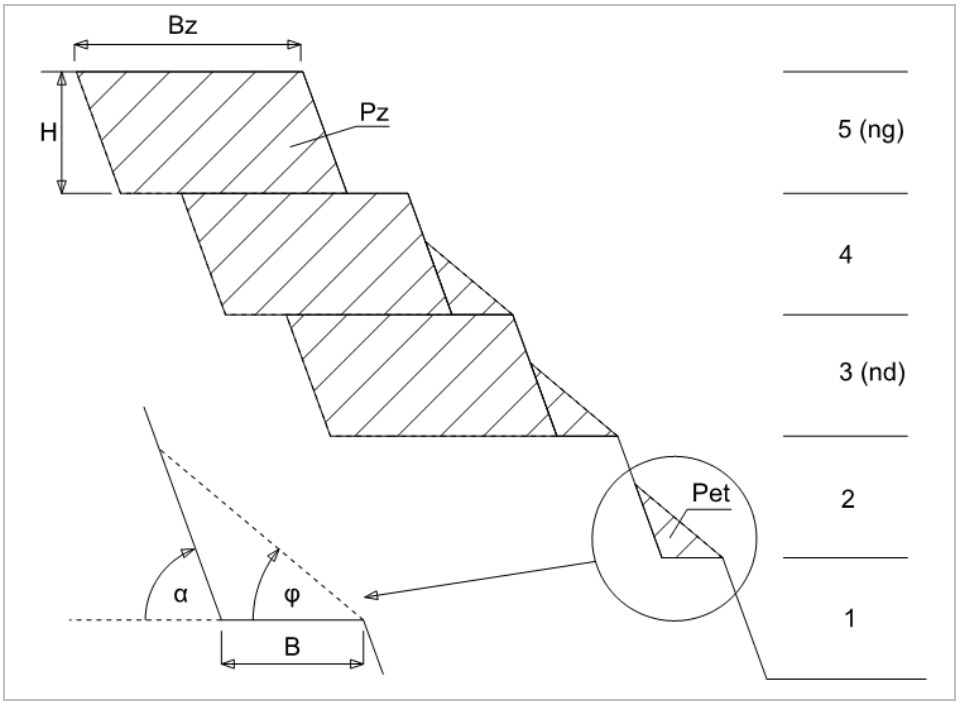
$$P_{et} = \frac{B^2}{4}\left(\sin 2\varphi + \frac{1-\cos 2\varphi}{tg(\alpha-\varphi)}\right) \quad (\mathrm{m}^3), \tag{2.35}$$

gdje su: P_{et} – jedinični obujam zadržanog materijala po m' otkopne fronte (m^3),

B – širina etaže (m),

α – nagib etažne kosine (°),

φ – kut sipanja materijala (°).



Slika 2.10 Shema i princip izračuna obujma prebacivanja

Isti obujam prebacivanja vrijedi za sve niželežeće etaže, do najniže etaže u ciljanoj stijenskoj masi, a dalje je obujam prebacivanja sa svih etaža ispod ciljane stijenske mase jednak samo obujmu zadržanog materijala $P_{et.}$

Zbrajanjem ovako izračunatih jediničnih obujmova od najviše etaže do osnovnog platoa, dobivena je sređena formula za ukupni jedinični obujam prebacivanja od najviše etaže do razine spuštanja po dužnom metru otkopne fronte:

$$P_{preg} = B_z \cdot H \cdot k_r (n_g - n_d + 1) + P_{et} (n_g - 2) \quad (\mathrm{m}^3), \tag{2.36}$$

gdje su: n_g – broj najviše etaže u ciljanoj stijenskoj masi,

n_d – broj najniže etaže u ciljanoj stijenskoj masi.

Gornja formula (2.36) vrijedi kada se ciljana stijenska masa nalazi iznad prve etaže, tj. ne uključuje prvu etažu. Stoga je ova formula prigodna za izračun obujma prebacivanja otkrivke ili mineralne sirovine koja se nalazi u višim etažama kopa, ali se ne proteže do osnovnog platoa. Za slučaj kada se ciljana stijenska masa proteže i u prvoj etaži, tj. do razine osnovnog platoa, prebacivanje tog dijela mase nije potrebno i stoga vrijedi formula koja isključuje obujam prve etaže:

$$P_{preg} = B_z \cdot H \cdot k_r (n_g - n_d) + P_{et} (n_g - n_d - 1) \quad (\mathrm{m}^3), \tag{2.37}$$

Ukupni stvarni jedinični obujam stijenske mase, koji se prebacuje do osnovnog platoa, ovisi o širini zahvata iskopa, visini etaže i broju etaža u ciljanoj stijenskoj masi:

$$P_{mat} = B_z \cdot H \cdot k_r (n_g - n_d + 1) \quad (\mathrm{m}^3), \tag{2.38}$$

Kvocijent gornjih dvaju veličina daje koeficijent prebacivanja k_{preg}, odnosno omjer ukupnog jediničnog obujma prebacivanja i stvarnog jediničnog obujma stijenske mase po dužnom metru otkopne fronte:

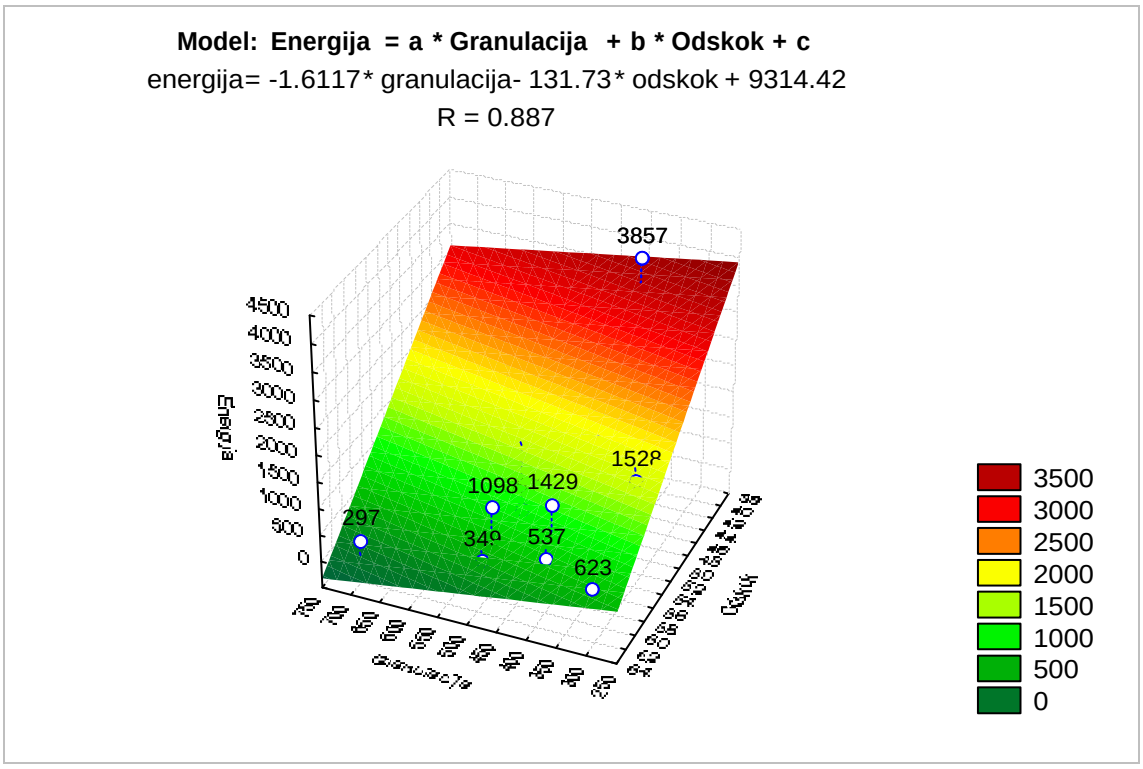
$$k_{preg} = \frac{P_{preg}}{P_{mat}} \quad . \tag{2.39}$$

Ovako definirani koeficijent prebacivanja uzima u obzir samo geometrijske veličine kopa i kut sipanja stijenskog materijala. Pri iskopu miniranjem dolazi do odbacivanja stijenske mase, naglog povećanja obujma ratsresanjem i zapunjavanja radne etaže. Uslijed toga, ovisno o širini berme doalzi do spuštanja dijela odminirane stijenske mase prema niželežećim etažama. U tom slučaju je obujam prebacivanja sa radne etaže nešto manji, što je ovakvim proračunom zanemareno.

2.2.5. Usitnjavanje izvangabarita

Pridobivanje stijene bušenjem i miniranjem uvijek rezultira pojavom izvangabarita. Pomno odabranim parametrima miniranja njihov udio se može smanjiti na određenu mjeru ali ih je nemoguće potpuno eliminirati uz racionalne troškove bušenja i miniranja. Najčešći izvor izvangabarita je zona čepljenja bušotina, ali i lokalne promjene strukturnog sklopa stijenske mase. Dvije poznate tehnike usitnjavanja izvangabarita su sekundarno miniranje i razbijanje hidrauličnim čekićem. Sekundarno miniranje se većinom izbjegava zbog problematike manipulacije eksplozivnim tvarima, zastoja u proizvodnji, stvaranja buke i sigurnosnih razloga pri otpucavanju. Stoga razbijanje hidrauličnim čekićem ostaje najviše primjenjivana a vjerojatno i jedina tehnika usitnjavanja izvangabarita na malim kopovima.

Prema istraživanjima Kujundžića (2002), učinak hidrauličnog čekića na usitnjavanju izvangabarita zavisi o zahtijevanoj granulaciji do koje se blokovi usitnjavaju te fizičko mehaničkim svojstvima stijene. Energija potrebna za usitnjavanje 1m^3 stijene korelirana je sa granulacijom i Schmidtovom tvrdoćom prema relaciji prikazanoj na slici 2.11.



Slika 2.11 Zavisnost energije razbijanja o zahtijevanoj granulaciji i Schmidtovoj tvrdoći određenoj prema ISRM-u (Kujundžić, 2002)

Ovakva relacija daje mogućnost određivanja čistog učinka čekića, bez namještanja čekića i ostalih manipulativnih radnji, gdje je učinak definiran omjerom izlazne snage čekića i

energije potrebne za usitnjavanje 1m^3 stijene (2.40). Ako se izlazna snaga određuje iz mase čekića prema već spomenutoj formuli (2.41) koja daje rezultat izražen u kW, tada je formulu za energiju razbijanja, inače izraženu u kJ/m^3, potrebno pretvoriti da bi rezultat bio izražen u kWh/m^3 (2.42).

$$Q_t = \frac{P}{E} \quad (\mathrm{m}^3/\mathrm{h}), \tag{2.40}$$

$$P = 0{,}0187 \cdot m_{\check{c}} + 7{,}1016 \quad (\mathrm{kW}), \tag{2.41}$$

$$E = \left(-1{,}6117 \cdot d - 131{,}73 \cdot h_{sch} + 9314{,}42\right) \cdot 0{,}278 \cdot 10^{-3} \quad (\mathrm{kWh/m}^3), \tag{2.42}$$

gdje su: Q_t – učinak čekića za čisto razbijanje (m^3/h),

P – izlazna snaga čekića (kW),

$m_{\check{c}}$ – masa čekića (kg),

E – energija razbijanja (kWh/m^3),

d – granulacija (mm),

h_{sch} –Schmidtova tvrdoća.

Proračun stvarnog učinka čekića zahtijeva uzimanje u obzir manipulativnih radnji bagera pri usitnjavanju. Kako bageri imaju relativno veliki doseg u odnosu na hrpu izvangabarita, vrijeme manipulativnih radnji se pretežito odnosi na namještanje čekića na blok koji se usitnjava, a manji dio na premještanje samog bagera. Broj namještanja čekića zavisi o broju blokova za usitnjavanje. Ako se uzme da ukupno vrijeme usitnjavanja izvangabarita čini zbroj vremena čistog razbijanja i vremena namještanja čekića, tada je formula za satni učinak čekića slijedeća:

$$Q_{ef} = \frac{1}{\frac{E}{P} + \frac{\left\lfloor \left(\frac{d_{van}}{d}\right)^3 \right\rfloor}{\left(\frac{d_{van}}{1000}\right)^3} \cdot \frac{t_{man}}{3600}} \quad (\mathrm{m}^3/\mathrm{h}), \tag{2.43}$$

gdje su: Q_{ef} – satni učinak čekića (m^3/h),

d_{van} – sredni promjer izvangabarita (mm),

d – ciljana granulacija usitnjavanja (mm),

t_{man} –vrijeme namještanja čekića po bloku (s).

Izraz $(d_{van}/d)^3$ predstavlja omjer promjera izvangabaritnog bloka srednje veličine i promjera bloka zahtijevane granulacije. Zaokruživanjem na nižu cjelobrojnu vrijednost dobiva se broj razbijanja potreban za usitnjavanje izvangabarita ispod zahtijevane granulacije. Dijeljenjem s obujmom srednjeg izvangabarita dobiva se broj razbijanja po kubnom metru izvangabarita. Ovako je procijenjen prosječni broj razbijanja, tj. prosječni broj namještanja čekića po m^3 izvangabarita. Za veće blokove je potreban veći broj razbijanja dok za manje blokove vrijedi obratno.

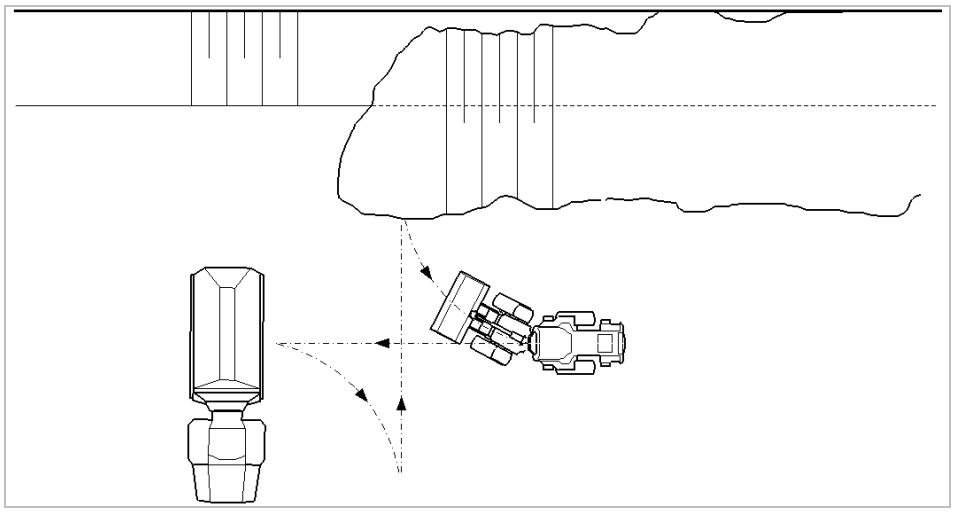
2.2.6. Utovar i transport

Za utovar u transportna sredstva i pokretna postrojenja primjenjuju se utovarivači i bageri. Utovar bagerom je tehnološki istovjetan dobivanju ili prebacivanju otkrivke i mineralne sirovine, s razlikom u vrsti iskopa, kutu zakretanja bagera i visine radnog čela ili reza. Stoga je za učinak bagera na utovaru moguće primijeniti relacije obrađene u poglavlju (0), uz primjenu odgovarajućih parametara.

Od transportne mehanizacije na malim kopovima primjenjuju se utovarivači i eventualno dozeri za transport na kraćim udaljenostima. S time da je transport dozerom najčešće povezan sa iskopom i odlaganjem otkrivke, gravitacijskim transportom i planiranjem jalovišta, a ponekad se primjenjuje i za premještanje deponiranog materijala na kraće udaljenosti. Zbog sličnosti tehnologije rada dozera na dobivanju i transportu moguće je primijeniti relacije za učinak obrađene u poglavlju (2.2.1.1). Jedini uvjet je da gubitak materijala ispred noža dozera bude neznatan ili da se kontinuiranim zahvatom noža (iskopom) nadoknađuje taj gubitak. U suprotnom je racionalnija primjena utovarivača. Od mehanizacije za transport na veće udaljenosti najzastupljeniji su kamioni istresači, a rijeđe i transpotrne trake.

2.2.6.1. Primjena utovarivača (utovar, transport)

Standardni ciklus utovarivača pri utovaru sastoji se od zapunjavanja lopate materijalom, kretanja unazad uz zakretanje, zatim kretanja unaprijed uz podizanje lopate i odlaganja materijala u transportno vozilo, te ponovno kretanja unazad uz zakretanje i povratak unaprijed prema stijenskom materijalu (Slika 2.12).



Slika 2.12 Tehnologija rada utovarivača pri utovaru

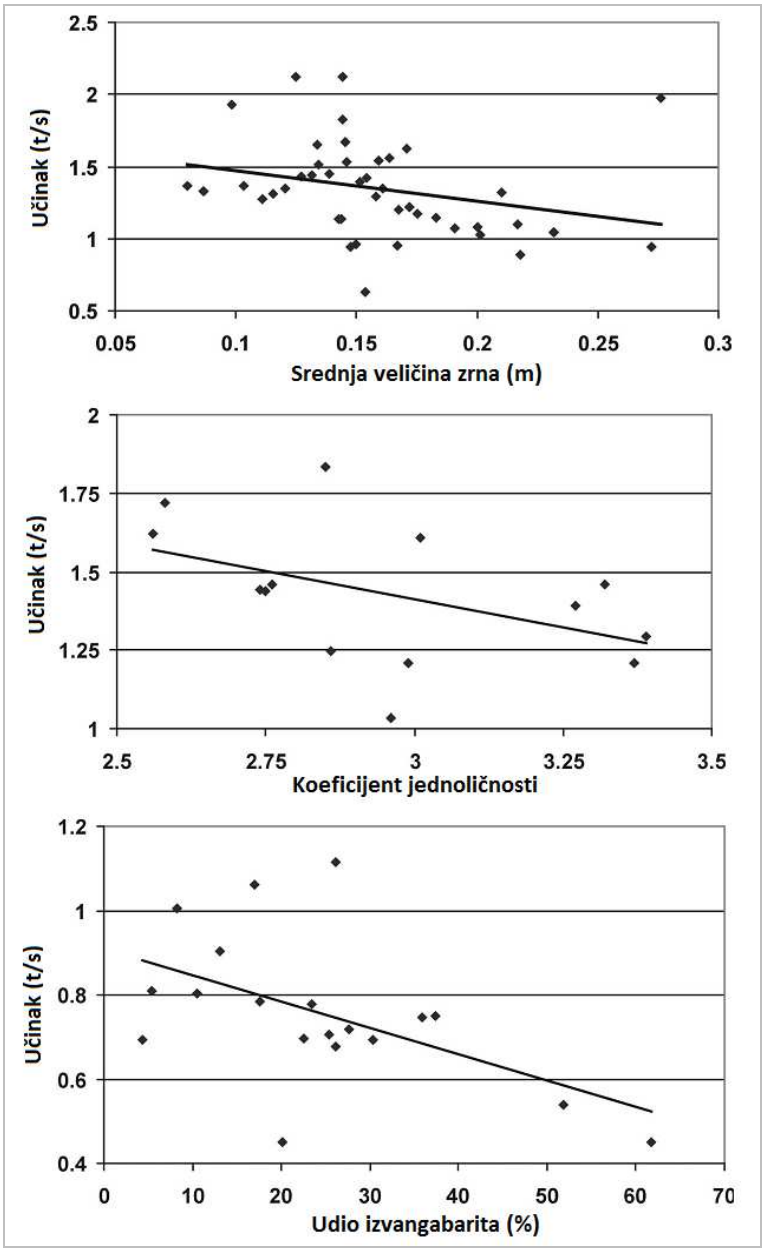
Vremensko trajanje ciklusa utovarivača neznatno se mijenja s veličinom stroja, tj. raste zbog mase stroja i većeg radijusa zakretanja, odnosno dulje trajektorije. Veći utjecaj na trajanje ciklusa, a time i učinak utovarivača, imaju svojstva stijenskog materijala. Postoji relativno mali broj terenskih istraživanja ili laboratorijskih ispitivanja na umanjenim modelima koja se bave ovom problematikom. Uglavnom se učinak utovarivača povezuje s trajanjem ciklusa i punjenjem lopate. Na obje vrijednosti značajno utječe potisna sila potrebna za prodiranje lopate u materijal. Veća potrebna sila uzrokuje dulje trajanje faze zahvata materijala a u konačnici može uzrokovati i nepotpuno punjenje lopate. Od svojstava materijala najznačajniji utjecaj ima granulometrijski sastav. Prema istraživanjima (Singh et.al, 2006), veći promjer zrna i jednoliko graduirani materijal zahtjeva veću potisnu silu što produljuje trajanje ciklusa, a punjenje lopate je manje zbog većeg udjela šupljina, odnosno manje mase materijala u lopati. Nasuprot tome, manja veličina zrna i nejednoliko graduirani materijal pogoduju kraćem ciklusu i većem koeficijentu punjenja lopate. U uobičajenim uvjetima rada fragmentacija ima izraziti utjecaj, međutim najveći pad učinka primjećuje se pojavom izvangabarita, blokova koji se dimenzijama približavaju veličini lopate utovarivača, te porastom njihova udjela u stijenskom materijalu. Izvangabariti značajno otežavaju zahvat materijala što rezultira duljim ciklusom i manjim koeficijentom punjenja. Slika 2.13 prikazuje zavisnost učinka utovarivača o srednjoj veličini zrna, koeficijentu jednoličnosti i udjelu izvangabarita (Singh et.al, 2006).

Navedena istraživanja nude određene zakonitosti u smislu pozitivnog ili negativnog utjecaja na učinak utovarivača. Međutim teško je polučiti relacije koje bi definirale učinak u odnosu na svojstva stijene i ekstrapolirati ih na druge uvijete rada i veličine utovarivača.

Iz ovih razloga prigodnije je primijeniti procjenu učinka na temelju standardnog ciklusa koji zavisi od veličine utovarivača, te ga korigirati prema opisno navedenim svojstvima stijenskog materijala (Linarić, 2007; Caterpillar, 2010) prikazanim u tabeli 2.4. Uz ovako određeni ciklus utovarivača, stvarni učinak se određuje uporabom konstrukcijske zapremnine lopate i koeficijenta punjenja prema formuli (2.44).

$$Q_{ef} = \frac{3600 \cdot V_0 \cdot k_p}{T_{c1}} \quad (\mathrm{m}^3/\mathrm{h}), \tag{2.44}$$

gdje su: T_{c1} – korigirani standardni ciklus (s),
k_p – koeficijent punjenja lopate,
V_0 – konstrukcijska zapremnina lopate (m^3).



Slika 2.13 Zavisnost učinka utovarivača o srednjoj veličini zrna, koeficijentu jednoličnosti i udjelu izvangabarita

Tabela 2.4 Ciklus utovarivača zavisno o svojstvima stijenskog materijala

Opis stijenskog materijala	Obilježja utovara	Koef. punjenja	Obujam utovarne lopate		
			< 3 m^3	3,1-5 m^3	> 5,1 m^3
			vrijeme ciklusa, min.		
Suha rastresita nekoherentna i koherentna tla (pijesak, sitni šljunak, rastresita suha zemlja)	laki	0,95 - 1,25	0,45	0,55	0,65
Suha ili manje vlažna ilovača, krupni šljunak, zbijena zemlja, meke trošne stijene	prosječni	0,8 - 0,9	0,55	0,65	0,70
Dobro minirana stijena, jako razlomljena i rastrošena stijena	razmjerno teški	0,65 - 0,8	0,70	0,70	0,75
Blokovita ili pločasta stijena (čista ili miješana sa sitnijim materijalom), miniranjem rastreseni pješčenjaci i konglomerati, vrlo tvrde i plastične gline i tla. Slabo minirana stijena	teški	0,4 - 0,65	0,75	0,75	0,80

Kako se utovarivači osim utovara primjenjuju i za transport na kraće udaljenosti, istu formulu moguće je primijeniti uz drugačiji ciklus. U slučaju transporta može se smatrati da faza zahvaćanja materijala, odlaganja i manevriranja zbog promjene smjera vremenski odgovara ciklusu određenom prema tabeli 2.4. Ovakvom ciklusu potrebno je dodati fazu transporta koja se računa iz transportne udaljenosti i brzine kretanja utovarivača prema formuli (2.45):

$$T_c = T_{c1} + l_{tr} \cdot \left(\frac{1}{v_t} + \frac{1}{v_0} \right) \quad \text{(s)}, \tag{2.45}$$

gdje su: l_{tr} – transportna udaljenost (m),

v_t – brzina utovarivača s punom lopatom (m/s),

v_0 – brzina utovarivača s praznom lopatom (m/s).

2.2.6.2. Primjena kamiona istresača (transport)

Učinak kamionskog transporta najviše zavisi o zapremnini sanduka kamiona, koeficijentu punjenja, brzini vožnje kamiona te broju kamiona koji sudjeluju u transportu. Od navedenih veličina, računski najzahtjevnija za određivanje je brzina vožnje. Brzina s jedne strane zavisi o mogućnostima stroja, tj. snazi u odnosu na masu tereta i uzdužne nagibe transportne trase. S druge strane stvarna brzina može biti znatno manja od moguće brzine zbog stanja podloge trase, preglednosti i sigurnosnih ograničenja. Računsko utvrđivanje srednje brzine vožnje unutar ciklusa zahtijevalo bi analizu brzina prema više kriterija, na cijeloj transportnoj trasi. Stoga će se ovdje smatrati da je pouzdanije srednju brzinu vožnje uzeti kao iskustvenu ili mjerenu veličinu, iako je moguće primijeniti neku drugu metodu utvrđivanja ukoliko nije upitna točnost rezultata metode.

Ciklus kamionskog transporta zavisi o transportnoj udaljenosti i srednjoj brzini vožnje, te dodatnom vremenu koje se sastoji od čekanja pri utovaru, manevriranja pri namještanju za utovar i istovar te istresanja tereta (2.46). Satni učinak kamiona se tada može izračunati upotrebom trajanja ciklusa i zapremnine materijala u sanduku, koji je produkt koeficijenta punjenja i konstrukcijske zapremnine, prema formuli (2.47).

$$T_c = T_{ut} + 2 \cdot \frac{l_{tr}}{v_{sr}} + t_i + t_m \quad \text{(s)}, \tag{2.46}$$

$$Q_{ef} = \frac{V_0 \cdot k_p \cdot 3600}{T_c} \quad (\text{m}^3/\text{h}), \tag{2.47}$$

gdje su: T_{ut} – trajanje ciklusa utovara (s),

T_c – trajanje ciklusa kamionskog transporta (s),

l_{tr} – transportna udaljenost (m),

v_{sr} – srednja brzina vožnje (m/s),

t_i – vrijeme istresanja (s),

t_m – vrijeme manevriranja (s),

V_0 – konstrukcijska zapremnina sanduka (m^3),

k_p – koeficijent punjenja sanduka.

2.2.7. Sitnjenje i klasiranje na pokretnim postrojenjima

Među već spomenutim mogućnostima i prednostima primjene pokretnih postrojenja na malim kopovima ističe se upravo rasterećenje kamionskog transporta, čime se smanjuju eksploatacijski troškovi. Primjenom pokretnih postrojenja mijenja se obim ostalih radova povezanih s postrojenjem, zbog čega je važno uzeti u obzir dva elementa rada postrojenja. Jedan je učinak postrojenja, o kojem ovisi rad utovarnog stroja koji opslužuje postrojenje, ali i općenito potrebni učinci narednih procesa. Drugi je granulometrijski sastav i kvaliteta izlaza, o čemu ovisi omjer gotovih proizvoda, poluproizvoda koje je potrebno dalje preraditi i jalovine, odnosno raspodjela ukupnog izlaznog proizvoda po narednim radnim procesima.

Učinak čeljusnih drobilica moguće je procijeniti na temelju specifikacija drobilice i svojstava ulaznog materijala. Sastri (1994) navodi dvije relacije za volumetrijski učinak drobilice. Relacija (2.48) vrijedi za rad drobilice ispod kritične okretne brzine odnosno kada je vremenski interval između dva ciklusa pokretne čeljusti dovoljan da se materijal slobodno gravitacijski spušta prema izlazu drobilice. U ovom slučaju učinak drobilice raste s brzinom rotacije. Iznad kritične brzine interval postaje prekratak za slobodno gibanje materijala, te učinak pada s brzinom, a određuje se prema relaciji (2.49).

$$V = 60 \cdot N \cdot w_d \cdot (CSS + 0{,}5 \cdot T) \cdot \left(\frac{D \cdot T}{G - (CSS + T)} \right) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (\mathrm{m}^3/\mathrm{h}), \tag{2.48}$$

$$V = 60 \cdot N \cdot w_d \cdot (CSS + 0{,}5 \cdot T) \cdot \left(\frac{450 \cdot g}{N^2} \right) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (\mathrm{m}^3/\mathrm{h}), \tag{2.49}$$

gdje su: V– volumetrijski učinak drobilice (m^3/h),
N – okretna brzina (o/min),
w_d – širina čeljusti (m),
CSS – izlazni otvor drobilice (m),
T – hod čeljusti (m),
D – vertikalna dubina između čeljusti (m),
G – ulazni otvor drobilice (m),
g – gravitacijska konstanta,
K_1 – parametar veličine ulaznog materijala,
K_2 – parametar hoda čeljusti,
K_3 – parametar vrste ulaznog materijala.

Pri odabiru relacije uspoređuje se stvarna okretna brzina drobilice, prema specifikacijama proizvođača, sa vrijednošću kritične okretne brzine koja je određena konstrukcijskim odnosno geometrijskim veličinama drobilice prema formuli:

$$N_c = \sqrt{\frac{(G-(CSS+T))\cdot 450\cdot g}{D\cdot T}} \quad \text{(o/min)}, \tag{2.50}$$

Parametri K_1, K_2 i K_3 služe za korekciju učinka 'idealne drobilice' uzimajći u obzir veličinu ulaznog materijala, zbijanje materijala uslijed vibracija tj. gibanja pokretne čeljusti te vrstu ulaznog materijala. Za parametre K_1 i K_2 postoje predložene relacije gdje K_1 zavisi o srednjem promjeru ulaznog zrna (2.51), a K_2 zavisi o hodu čeljusti prema relaciji (2.52).

$$K_1 = 0{,}85 - \left(\frac{F_{avg}}{G}\right)^{2{,}5}, \tag{2.51}$$

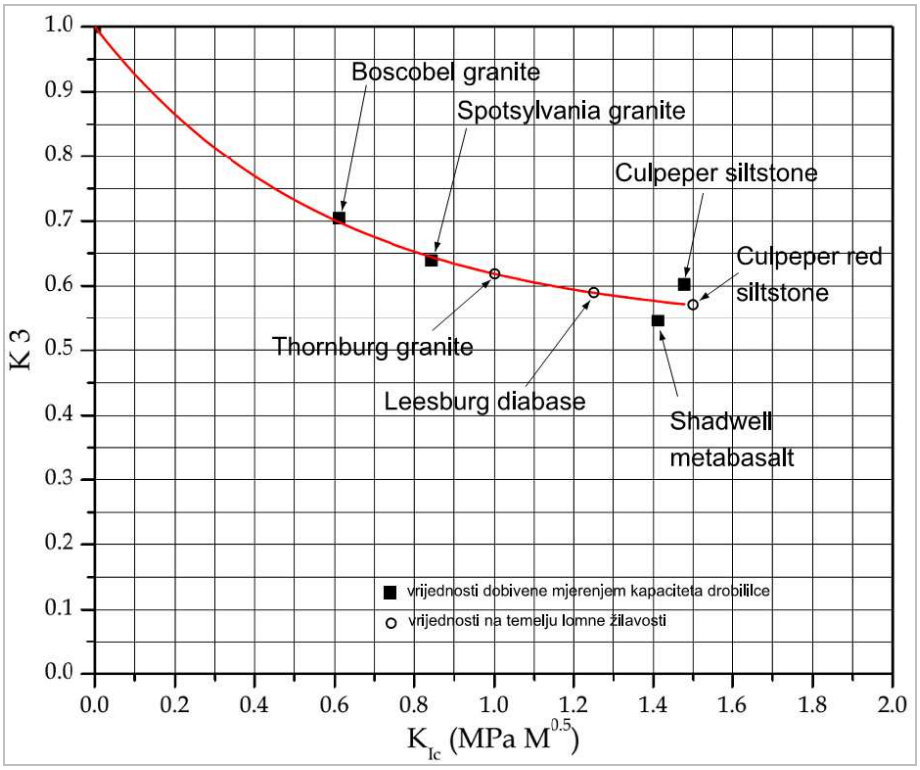
$$K_2 = 1{,}92\cdot 10^{\frac{-6{,}5\cdot T}{G}}, \tag{2.52}$$

gdje je: F_{avg} – srednja veličina ulaznog zrna (m).

Parametar K_3 nema predložene vrijednosti. Generalno se smatra da raste s tvrdoćom ili žilavošću materijala, međutim nedovoljan broj istraživanja to i potvrđuje. Donovan (2003) ispitivanjima na laboratorijskim drobilicama dovodi u vezu lomnu žilavost stijene sa parametrom K_3 gdje je pokazan trend smanjenja vrijednosti parametra, a time i učinka drobilice, s porastom žilavosti stijene. Prema dobivenoj zavisnosti i ispitanoj vrijednosti lomne žilavosti, vrijednost parametra K_3 za dijabaz iznosi 0,58 (slika 2.14). Međutim autor navodi i kako drobljenjem stijene najveće ispitane žilavosti (siltita) nije dobiven najmanji učinak drobilice, jer je drobljenjem na više sitnijih komada u odnosu prema ostalim ispitivanim stijenama uzrokovan brži prolazak materijala kroz drobilicu. Ovo navodi na zaključak da parametar K_3 nije moguće precizno odrediti na temelju jednog svojstva stijene jer se stijene slične prema istoj metodi ispitivanja mogu različito ponašati pri drobljenju, na što vjerojatno utječu postojeće plohe oslabljenja te njihova gustoća i orijentacija.

Parametar K_3 definiran je i određuje se omjerom mjerenog učinka drobilice i računski dobivenog učinka prema jednadžbama (2.48) do (2.52). Pri tome se u jednadžbama (2.48) i (2.49) izostavlja K_3 jer je to parametar koji se određuje. Stoga je uz poznati stvarni učinak neke drobilice moguće na ovaj način odrediti K_3 kao konstantu vrste materijala, te ga zatim

upotrijebiti za procjenu učinka drobilice pri promjeni drugih parametara, poput veličine ulaznog zrna materijala, otvora drobilice ili ostalih specifikacija.



Slika 2.14 Zavisnost parametra K_3 o lomnoj žilavosti (modificirano prema Donovan,2003)

Granulometrijski sastav izlaznog materijala drobilice ovisi o svojstvima materijala i vrsti drobilice. Za čeljusne drobilice (Csoke et.al, 1996) postoji empirijska funkcija koja definira sastav izlaznog materijala nastalog drobljenjem ulaznog materijala dimenzija većih od izlaznog otvora drobilice. Materijal dimenzija manjih od otvora drobilice ne uzima se u obzir, jer iz principa rada čeljusne drobilice proizlazi da takav materijal nije izložen drobljenju. Funkcija izražava pravilo da će materijal s omjerom dimenzija r u odnosu na otvor drobilice uvijek biti proizveden s istim udjelom u zdrobljenom materijalu B(d):

$$B(d) = \left(\frac{r}{r_{\max}} \right)^m , \tag{2.53}$$

$$r = \frac{x}{CSS} , \tag{2.54}$$

$$r_{\max} = \frac{d_{\max}}{CSS} , \tag{2.55}$$

gdje su: x – dimenzija zrna (mm),

CSS – izlazni otvor drobilice (mm),

d_{max} – promjer najvećeg zrna (mm),

r_{max} – parametar funkcije,

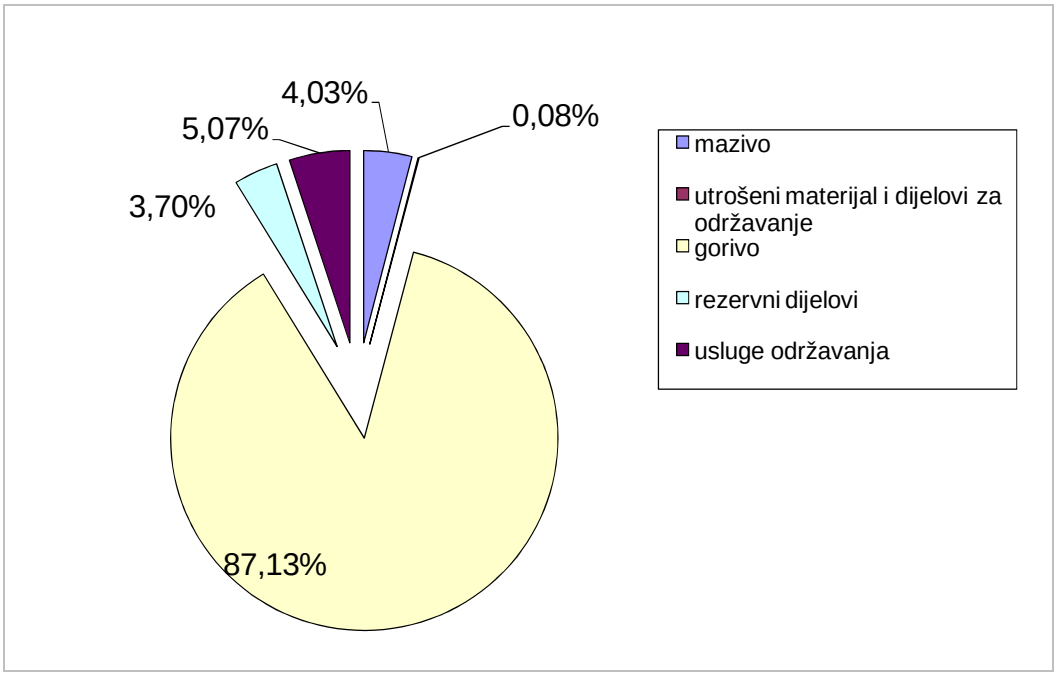
m – parametar funkcije.

Pokretna postrojenja za sitnjenje najčešće su opremljena rešetkastim dodavačem koji izdvaja većinu frakcija manjih od izlaznog otvora drobilice i čini premosnicu kako takav materijal ne bi dospio u drobilicu, te sitom za predsijavanje koje izdvaja sitnije čestice i zrna koje bez daljeg oplemenjivanja čine jalovinu. Osim toga postrojenja su često opremljena jednoetažnim ili dvoetažnim modularnim sitima tako da je moguće dobiti do tri gotova produkta izravno iz postrojenja za sitnjenje. Sastav i udio produkata ovih sita zapravo ovise o granulometrijskom sastavu izlaznog materijala drobilice te stoga sita kao uređaji neće biti posebno razmatrana.

2.3. Utrošci i troškovi rudarske mehanizacije

Utrošci strojeva i radnih procesa odnose se na energiju i materijale potrebne za obavljanje rada. U radu se proračunava utrošak potrošnih materijala poput goriva, maziva, guma, bušaćih kruna i šipki, zavisno o vrsti stroja. Preostali materijali i dijelovi koji imaju dulji vijek trajanja (interval potrošnje) izraženi su neizravno kroz cijenu održavanja strojeva. Ukupni trošak pojedinog rudarskog stroja dobije se pribrajanjem amortizacije i nadnice rukovatelja stroja.

Na kopovima tehničko-građevnog kamena uglavnom je zastupljena dizel mehanizacija zbog čega je važno određivanje potrošnje pogonskog goriva, koje među operativnim troškovima čini najveću stavku, čak do 90%. Ovo je naročito važno ako se uzme u obzir stalna tendencija porasta cijena goriva. Za primjer je na slici 2.15 prikazana raspodjela operativnih troškova dozera Komatsu D155 AX-6 na godišnjoj bazi (IGM Radlovac, 2013).



Slika 2.15 Raspodjela operativnih troškova dozera

Utrošak goriva dizel mehanizacije ovisi o više faktora, među kojima su snaga i efikasnost pogonskog motora, dotrajalost stroja, gubici mehaničkog i hidrauličnog prijenosa, uvjeti rada i opterećenje stroja, te vještina operatera. Neki od ovih faktora su nemjerljivi i moguće ih je samo okvirno procijeniti, dok potrošnja najviše zavisi o bruto snazi (energiji) potrebnoj za obavljanje nekog rada. Stoga je uobičajeno potrošnju goriva računati preko snage stroja i koeficijenta opterećenja, koji izražava iznos potrebne ili angažirane snage u odnosu na maksimalnu snagu stroja:

$$q_{dizel} = P \cdot k_{opt} \cdot s_{dizel} \quad \text{(kg/h)}, \tag{2.56}$$

gdje su: P - bruto snaga pogonskog motora (kW),

k_{opt} - koef. opterećenja,

s_{dizel} - specifična potrošnja goriva za dizel motore (kg/kWh).

Specifična potrošnja goriva je masa goriva potrošena za jedan sat rada motora pri maksimalnom opterećenju i svedena na snagu motora. Ispitivanja specifične potrošnje provode proizvođači motora. Specifična potrošnja ovisi o efikasnosti motora, tj. konstrukcijskim i tehnološkim rješenjima te unutarnjim gubicima, a za uobičajene radne dizel motore iznosi 0,21 - 0,26 kg/kWh. Pri tome niže vrijednosti u navedenom rasponu postižu moderni, tehnološki napredniji motori s ugrađenim turbopunjačima, međuhladnjacima i elektronskim sustavima ubrizgavanja goriva.

Prema iskustvenim podacima, koeficijent opterećenja ovisi o vrsti stroja odnosno uvjetima specifičnim za tehnologiju rada u kojoj se stroj primjenjuje, dok je utjecaj veličine i snage stroja neznatan, što je predočeno tabelom 2.5 (Runge, 1998).

Tabela 2.5 Zavisnost koeficijenta opterećenja od vrste i snage stroja

Stroj	Snaga (kW)	Koeficijent opterećenja	
		Niži raspon	Viši raspon
Dozer gusjeničar	160	0,40-0,52	0,67-0,83
	276	0,36-0,51	0,63-0,83
	575	0,36-0,41	0,63-0,67
Dozer na kotačima	336	0,40-0,45	0,71-0,77
Grejder	205	0,31-0,41	0,62-0,72
Hidraulični bager	287	0,30-0,35	0,69-0,74
Skreper	336	0,36-0,41	0,66-0,71
	443	0,35-0,43	0,65-0,71
	708	0,41-0,46	0,72-0,77
Kamion istresač	485	0,18-0,26	0,38-0,49
	649	0,18-0,27	0,38-0,50
	962	0,18-0,28	0,35-0,50
	1272	0,18-0,27	0,37-0,49
	1534	0,18-0,26	0,37-0,49
Utovarivač	280	0,38-0,45	0,71-0,79
	515	0,35-0,39	0,67-0,73
	932	0,36-0,39	0,68-0,74

Ovo također potvrđuju istraživanja (Kocejović et.al, 2011) prema kojima postoji linearna zavisnost potrošnje goriva o maksimalnoj snazi stroja i koeficijentu opterećenja. Prosječni koeficijenti opterećenja određuju se analizom potrošnje goriva i stoga posredno uključuju sve faktore utjecajne na potrošnju goriva.

Trenutni koeficijent opterećenja može se kretati od 0,1 za rad u praznom hodu do 1,0 za rad punim opterećenjem, međutim pri normalom radu strojevi se nalaze između ova dva ekstrema. Kod strojeva u kontinuiranom načinu rada trenutni koeficijent malo varira i jednak je prosječnom koeficijentu, dok se kod cikličkih strojeva javljaju velike promjene trenutnog koeficijenta kako se izmjenjuju faze ciklusa. Za izračun potrošnje goriva uzima se u obzir prosječni koeficijent, kojeg je moguće točnije procijeniti na temelju trajanja pojedine faze ciklusa ako za time postoji potreba, tj. ako je ciklus netipičan, međutim tipični koeficijenti su već dostupni u raznoj stručnoj literaturi. Tabele 2.6 i 2.7 prikazuju tipične prosječne koeficijente opterećenja za kamione i dozere (Kennedy, 1990) a Tabela 2.8 tipične koeficijente za razne strojeve (Day, 1991).

Tabela 2.6 Koeficijenti opterećenja kamiona

Tip kamiona	Koeficijent opterećenja*		
	Laki	Prosječni	Teži
Istresači	0.25	0.35	0.50
Tegljači	0.35	0.50	0.65
Istresači-srednji ispust	0.25	0.35	0.50
*Laki: Mnogo praznog hoda, povoljni nagibi i dobro održavani putovi.			
*Prosječni: Normalni prazni hod, puni kamioni na usponima i dobro održavani putovi.			
*Teži: Minimalan prazni hod, puni kamioni na vrlo strmim usponima.			

Tabela 2.7 Koeficijenti opterećenja dozera i skrepera

Tip dozera	Koeficijent opterećenja*		
	Laki	Prosječni	Teški
Gusjeničar	0.45	0.60	0.75
Točkaš	0.45	0.60	0.80
*Laki: Mnogo praznog hoda ili kretanja bez opterećenja.			
*Prosječni: Normalni prazni hod, normalno kopanje, skreperi bez elevatora			
*Teški: Minimalan prazni hod i kretanje unazad, teško kopanje, skreperi s elevatorom, normalno rijanje.			

Tabela 2.8 Koeficijenti opterećenja za razne strojeve

Vrsta stroja	Radni uvjeti		
	Laki	Prosječni	Teški
Točkaši, na cesti	0,25	0,30	0,40
Točkaši, van ceste	0,50	0,55	0,60
Gusjeničari	0,50	0,63	0,75
Hidraulični bageri	0,50	0,55	0,60

Upotrebom ovakvih koeficijenata u proračun se uvodi pretpostavka na temelju procjene radnih uvjeta. Kako koeficijent značajno utječe na rezultat i kako je gorivo velika stavka operativnih troškova, za potrebe ovog rada i što točnijeg određivanja potrošnje goriva napravljene su analize koeficijenata opterećenja korištenjem iskustvenih podataka o potrošnji goriva koncesionara (poglavlje 3.1). Ovako određeni koeficijenti mogu se smatrati karakterističnima za neku vrstu stroja i radni proces koji se njime obavlja, a s pretpostavkom ekvivalentnih radnih uvjeta mogu vrijediti za sve kopove tehničko-građevnog kamena.

Potrošnja ulja i maziva uglavnom ovise o redovitim intervalima izmjene ulja te kapacitetima spremnika i cijelog sustava podmazivanja. Iako se javljaju određeni gubici, naročito motornog ulja zbog izgaranja, te u izvanrednim situacijama zbog oštećenja sustava i istjecanja ulja. Kapaciteti spremnika i sustava podmazivanja su u načelu proporcionalni veličini i snazi stroja, zbog čega se i potrošnja ovih materijala može dovesti u vezu sa snagom stroja. Uobičajeni odnos snage stroja i satnog utroška ulja i maziva prikazan je u tabeli 2.9 (FAO, 1992).

Tabela 2.9 Zavisnost potrošnje ulja i maziva o snazi stroja

Vrsta ulja	Potrošnja ovisno o snazi stroja (l/h)
Motorno ulje	$0{,}8\ P \times 10^{-3}$
Ulje prijenosa	$0{,}6\ P \times 10^{-3}$
Hidraulično ulje	$0{,}15\ P \times 10^{-3}$
Kompresorsko ulje	$0{,}15\ P \times 10^{-3}$
Mast	$0{,}05\ P \times 10^{-3}$
P - snaga stroja (kW)	

Potrošnju guma koje čine značajnu stavku u troškovima rada utovarivača i kamiona moguće je procijeniti na temelju specifikacija proizvođača i uvjeta rada, ili prema iskustvenim podacima ukoliko su dostupni. Isto vrijedi i za bušaće krune i šipke pri radu bušaće garniture.

Trošak održavanja mehanizacije čini dio eksploatacijskih troškova koji je moguće svesti na radni sat strojeva. Trošenje strojeva, a time i potreba za redovitim i izvanrednim servisima te količina rada, materijala i rezervnih dijelova te usluga zavisi o broju odrađenih radnih sati. Trošak odražavanja zavisiti će o vrsti stroja, njegovoj veličini i složenosti. U poglavlju 0 analizirani su troškovi održavanja strojeva prema podacima koncesionara.

U trošak radnog sata stroja uračunava se i amortizacija, čiji iznos je definiran nabavnom cijenom i stopom amortizacije. Prema Zakonu o porezu na dobit (2004) godišnja stopa amortizacije iznosi 25% za mehanizaciju, s amortizacijskim vijekom od 4 godine. Ovu amortizacijsku stopu dozvoljeno je proizvoljno povećati do dva puta. U praksi je česti slučaj da su strojevi u dobrom radnom stanju dugo nakon što je amortizacija otplaćena, a kako se iznos amortizacije računa na godišnjoj bazi tako trošak radnog sata stroja ovisi o broju odrađenih sati godišnje. Tehnički gledano vremenski period upotrebljivosti stroja ovisi o njegovom iskorištenju, tj. broju radnih sati u nekom periodu te radnom opterećenju. Uz to, strojevi veće snage i mase pokazuju tendenciju duljeg vijeka trajanja. Kako broj radnih sati ne bi utjecao na trošak radnog sata stroja pri određivanju troškova eksploatacije i usporedbi različitih eksploatacijskih sustava, prigodnije je računati amortizaciju kao omjer nabavne cijene stroja i očekivanog vijeka trajanja (upotrebljivosti) izraženog u satima rada. Prema Caterpillarovom priručniku (1998), radni vijek stroja može se procijeniti prema vrsti i veličini stroja, te uvjetima rada, tj. radnom opterećenju. Tabela 2.10 prikazuje radni vijek strojeva uobičajenih na kopovima tehničko-građevnog kamena.

Tabela 2.10 Radni vijek strojeva (modificirano iz Caterpillar, 1998)

	Zona A Umjerno	Zona B Prosječno	Zona C Intenzivno
Dozeri, gusjeničari	Vuča skrepera, većina poljoprivrednih vučnih strojeva, deponije rude i ugljena. Bez udara. Intermitirajući rad punim opterećenjem	Pridobivanje dozerom u glinama, pijescima i šljuncima. Guranje skrepera, ripanje u mekim stijenama, čišćenje zemljišta. Umjereni udari. Odlagališta.	Ripanje u tvrdim stijenama. Dozeriranje i guranje skrepera u tvrdim stijenama. Rad na stjenovitoj podlozi. Učestali jaki udari.
7-27t, 52-180kW	12.000 h	10.000 h	8.000 h
38-49t, 230-300kW	45.000 h	35.000 h	25.000 h
66-112t, 425-634kW	50.000 h	40.000 h	30.000 h
Laki bageri gusjeničari i bageri točkaši	Polaganje instalacija. Materijali male gustoće. Pretovar i rad s grabilicom.	Kontinuirani iskop u pijescima, šljuncima i glini. Uređenje zemljišta. Manipulacija trupcima.	Kontinuirani iskop u stijeni i tvrdoj glini. Učestali udari. Hirdaulični čekić. Rad u šumi i kamenolomu.
7-15t, 40-90kW	10.000 h	8.000 h	6.000 h
11-22t, 59-123kW	12.000 h	10.000 h	8.000 h
Teški bageri	Plitko postavljanje instalacija. Rastresiti matrijal male gustoće, bez udara. Rad s grabilicom.	Iskop rovova/kanala u glinovitim materijalima. Malo premještanja i rad punim opterećenjem. Utovar trupaca.	Kontinuirani iskop kanala ili utovar u stijeni ili miniranoj stijeni. Puno premještanja na stjenovitoj podlozi. Konstantno puno opterećenje i česti udari.
20-34t, 96-195kW	15.000 h	12.000 h	10.000 h
43-80t, 216-319kW	20.000 h	18.000 h	15.000 h
182-320t, 590-1000kW	60.000 h	50.000 h	40.000 h
Kamioni	Kontinuirani rad s masom tereta ispod maksimalno preporučene. Bez pretovara. Odlično održavani putevi. Mali koeficijent opterećenja (nagibi trasa)	Kontinuirani rad s masom tereta blizu maksimalno preporučene. Minimalni pretovar. Dobro održavani putevi. Prosječni koeficijent opterećenja (nagibi trasa)	Kontinuirani rad s masom tereta na i iznad maksimalno preporučene. Česti pretovar. Loše održavani putevi. Visoki koeficijent opterećenja (nagibi trasa)
37-96t, 380-740kW	50.000 h	40.000 h	30.000 h
150-230t, 1000-1700kW	60.000 h	50.000 h	40.000 h
Zglobni kamioni	Zemljani radovi i deponije, s ispravno odabranim utovarnim strojem. Kratki transport na dobro održavanim putevima. Sipki materijal. Malo udara pri utovaru.	Izmjenjivi uvjeti utovara i transporta. Veliki otpor kotrljanja i slaba adhezija na dijelovima trase. Umjereno strmih uspona. Umjereno udara pri utovaru. Tipično za cestogradnju, nasipe i brane, površinske kopove.	Kontinuirani rad na loše održavanim putevima, uz visoki otpor kotrljanja i slabu adheziju. Česti strmi nagibi i udari pri utovaru. Loše odabrani utovarni stroj uz učestali pretovar.
-	15.000 h	10.000 h	8.000 h
Utovarivači	Intermitirajući utovar s deponije u kamione, punjenje lopate na tvrdoj i čistoj podlozi. Sipki materijali male gustoće. Transport na dobroj podlozi i kraćim udaljenostoma bez nagiba.	Kontinuirani utovar s deponije u kamione. Materijali male do srednje gustoće u pravilno odabranoj lopati. Punjenje lopate s malim do srednjim otporom kotrljanja. Transport na lošoj podlozi i s umjerenim nagibima.	Utovar odminirane stijene. Materijali velikih gustoća i rad s protuutegom. Kontinuirani rad na neravnoj i mekoj podlozi. Transport u uvjetima teškog iskopa, duljih trasa strmijih nagiba i na lošoj podlozi.
67-164kW	12.000 h	10.000 h	8.000 h
187kW	12.000 h	10.000 h	8.000 h
224-597kW	15.000 h	12.000 h	10.000 h
932kW	60.000 h	50.000 h	40.000 h

2.4. Pouzdanost primjene proračuna

Učinci i utrošci strojeva i radnih procesa zavisni su i o čimbenicima poput dotrajalosti strojeva, odabira pogodnog radnog alata i stanja radnog alata, vještine operatera, organizacijskih problema, itd. Ovakve čimbenike nemoguće je ugraditi u proračun a da se pri tome ne umanji pouzdanost rezultata. Manja pouzdanost leži u procjenjivanju čimbenika koje je teško predvidjeti, ili su nemjerljivi i promjenjivi, ili nisu predmetom znanstvenih i stručnih istraživanja kojima je dokazana određena zavisnost.

Proračuni zahtijevaju svojevrsno idealiziranje tehnologije rada strojeva. Strojevi djeluju s određenim trajektorijama gibanja pokretnih dijelova, brzinama kretanja, zapremninama materijala i ostalim parametrima za koje se u proračunima pretpostavlja da su konstantni i jednaki srednjim vrijednostima stvarnih radnih parametara. Odstupanje i varijacija stvarnih parametara od proračunom predviđenih je realna pojava koja unosi određenu pogrešku.

Pogreške u rezultatima zbog netočnosti ulaznih parametara su progresivne, tj. povećavaju se s duljim vremenskim periodom rada ili većom količinom materijala u eksploatacijskom procesu. Stoga se u ovom radu nastojalo broj pretpostavljenih čimbenika svesti na minimum.

3. TERENSKA ISTRAŽIVANJA, ANALIZE PODATAKA I VERIFIKACIJA PRORAČUNA

Pogonsko gorivo čini značajan operativni trošak rada rudarske mehanizacije i stoga je potrebna velika točnost određivanja njegove potrošnje. Stoga su u ovom poglavlju iznesene analize potrošnje goriva za mehanizaciju angažiranu na kopovima koncesionara. Također su određeni koeficijenti opterećenja rudarske mehanizacije pomoću kojih se računa potrošnja goriva i koji omogućuju izračun potrošnje kod primjene strojeva različitog kapaciteta, odnosno različite snage pogonskog dizel motora.

Za eksploatacijske troškove isto tako je važno precizno određivanje učinaka strojeva. Za mehanizaciju koja je najviše angažirana u eksploataciji na kopovima, a time i stvara najveće eksploatacijske troškove, urađene su usporedbe računskih radnih parametara prema iznesenoj teoriji, s parametrima ostvarenim u praksi. Ovo se odnosi na bušaću garnituru, bager, utovarivač pri utovaru i pokretno postrojenje za drobljenje. Izuzetak čine dozer, kamion i utovarivač pri transportu čije se brzine kretanja ne određuju računski već izravno dodjeljuju proračunu. Za ove parametre nije potrebna usporedba ali je potrebno utvrditi ih kao ulazne veličine. Praktično ostvareni radni parametri dobiveni su ili analizom podataka koncesionara ili terenskim mjerenjima, ovisno o mogućnostima.

Potreban broj radnih sati stroja određen učinkom stroja, te količinom stijenskog materijala u radnom procesu. Za određene radne procese ta količina zavisi o fragmentaciji stijenskog materijala. Stoga je izvedena usporedba računski dobivene fragmentacije materijala, nakon miniranja i nakon usitnjavanja na pokretnom postrojenju, s iskustvenim vrijednostima.

3.1. Potrošnja goriva i koeficijenti opterećenja strojeva

Prema podacima koncesionara o potrošnji goriva za petogodišnji period izračunati su koeficijenti opterećenja pojedinih strojeva. Pri izračunu je obujam goriva pretvoren u masu uzimajući u obzir uobičajenu gustoću dizel goriva od 0,85 kg/l (INA, 2013). Dijeljenjem sa snagom pogonskog motora dobivena je specifična potrošnja pri radnom opterećenju. Koeficijent opterećenja čini omjer specifične potrošnje pri radnom opterećenju i specifične potrošnje pri maksimalnom opterećenju za dizel strojeve, za koju je uzeta vrijednost od 0,22 kg/kWh (poglavlje 2.3), obzirom da se radi modernim strojevima starosti do 6 godina. Podaci te izračunati koeficijenti opterećenja prikazani su u tabeli 3.1

Prosječni koeficijent opterećenja svih bagera gusjeničara iznosi 0,561, uz neznatno odstupanje između modela. Prema koeficijentima drugih autora (poglavlje 2.3) ovaj iznos spada u prosječne radne uvjete. Izuzetak čini 20-tonski bager na pneumaticima R200W-7, čiji koeficijent opterećenja od 0,301 nije uvršten u prosjek. Prema navodnima koncesionara ovaj bager najčešće obavlja usitnjavanje izvangabarita hidrauličnim čekićem, dok su preostali angažirani na iskopu i utovaru. Moguće je da primjena hidrauličnog čekića zahtjeva nižu snagu stroja u odnosu na iskop i utovar, međutim kako se radi o samo jednom bageru teško je donijeti generalni zaključak.

Prosječni koeficijent opterećenja utovarivača iznosi 0,273 a kamiona 0,236, također uz neznatno odstupanje između modela. Prema ovome kamioni i utovarivači predstavljaju najmanje opterećene strojeve pri eksploataciji. Razlog niskog koeficijenta opterećenja može se naći u tehnologiji rada ovih strojeva, gdje se polovina ciklusa odvija bez tereta. Uvjeti rada na kopovima koncesionara uz dobro održavane puteve i bez strmih uspona također pogoduju nižem koeficijentu opterećenja, koji i prema drugim autorima odgovara lakim radnim uvjetima.

Koeficijent opterećenja dozera iznosi 0,485 što prema drugim autorima spada u lake do prosječne radne uvjete. Ovo odgovara uvjetima rada dotičnog dozera budući se koristi uglavnom kod gravitacijskog transporta, pri čemu radi na horizontalnim etažama i s rastresenim stijenskim materijalom, zbog čega su opori gibanja dozera manji u odnosu na iskop ili ripanje.

Tabela 3.1 Analizirani koeficijenti opterećenja strojeva

	Stroj	snaga (kW)	potrošnja (l/h)	potrošnja (kg/h)	radna spec. potrošnja (kg/kWh)	koef. opterećenja
		(1)	(2)	(3)=(2)*0,85	(4)=(3)/(1)	(5)=(4)/0,22
Bageri	Hyundai R 200W - 7	114	8,87	7,54	0,066	**0,301**
	Liebher R 944 C HD-S Litronic	190	32,52	27,64	0,145	0,661
	Liebher R 944 B HD-S Litronic	180	23,96	20,37	0,113	0,514
	Liebher R 934 C HD-S Litronic	150	21,96	18,67	0,124	0,566
	Liebher R 934 B HD-S Litronic	145	17,62	14,98	0,103	0,469
	Liebher R 914 B Litronic	112	17,29	14,70	0,131	0,596
					$\overline{X}$	**0,561**
Utovarivači	Caterpillar 966 H	213	15,07	12,81	0,060	0,273
	Caterpillar 966 H	213	14,59	12,40	0,058	0,265
	Liebherr L 576	205	16,43	13,97	0,068	0,310
	Liebherr L 576	205	14,5	12,33	0,060	0,273
	Liebherr L 576	205	13,96	11,87	0,058	0,263
	Liebherr 574	195	12,76	10,85	0,056	0,253
					$\overline{X}$	**0,273**
Kamioni	Bell B40D	308	18,67	15,87	0,052	0,234
	Bell B40D	308	18,78	15,96	0,052	0,236
	Terex TR45	370	22,74	19,33	0,052	0,237
					$\overline{X}$	**0,236**
Dozer	Komatsu D155 AX - 6	264	33,16	28,19	0,107	**0,485**
Bušaća garnitura	Bohler BPI 155	125	19,96	16,97	0,135	**0,616**
Pokretne drobilice	LT 105 S	224	27,98	23,78	0,106	0,483
	LT 110S	310	36,26	30,82	0,099	0,452
					$\overline{X}$	**0,467**
	LT 200 HP	310	31,04	26,38	0,085	**0,387**
Pokretna sita	Finlay 393	69	6	5,10	0,074	0,336
	Powerscreen Chieftain 2100	74	15	12,75	0,172	0,783
	FLEX RO - RO	149	8,49	7,22	0,048	0,220
	Powerscreen Warrior 1800	74	12	10,20	0,138	0,627
					$\overline{X}$	**0,491**
	Tračni transporteri					
	TELESTACK TC 421	28,8	3,9	3,32	0,115	**0,523**

Koncesionar posjeduje jednu bušaću garnituru za koju izračunati koeficijent opterećenja iznosi 0,616. Kako se radi o jednome stroju, nije moguće utvrditi radi li se o podatku reprezentativnom za ovu vrstu mehanizacije. Osim toga ovaj podatak predstavlja prosječnu vrijednost za sve stijene u kojima garnitura izrađuje minske bušotine, pa se postavlja pitanje razlikuje li se koeficijent opterećenja u pojedinim vrstama stijena.

Kod pokretnih drobilica izračunat je koeficijent opterećenja dviju čeljusnih drobilica, čiji koeficijenti imaju približno isti iznos, a njihov prosjek iznosi 0,467. Konusna drobilica LT 200 HP pokazuje niži koeficijent opterećenja nego čeljusne pa je stoga izdvojen i ne ulazi u prosjek. Razlika između konusne i čeljusnih drobilica može se pripisati tipu drobilice ali vjerojatno i vrsti stijenskog materijala u kojem se primjenjuje.

Pokretna sita pokazuju najveći rasap koeficijenta opterećenja među modelima, od 0,22 do 0,783, uz prosječnu vrijednost 0,491. Najmanji koeficijent opterećenja pokazuje pokretno postrojenja za klasiranje s rotirajućim valjcima dok je za postrojenja s vibracijskim sitima iznos generalno veći, međutim uz značajna odstupanja među modelima. Za pretpostaviti je da na koeficijent utječe sami princip rada sita, ali i konstrukcijske značajke poput broja ugrađenih sita i tračnih transportera te snage pogonskog motora.

3.2. Trošak održavanja mehanizacije

U svrhu određivanja satnog troška održavanja mehanizacije, analizirani su podaci koncesionara za dvogodišnji period. Prema ukupnom broju radnih sati strojeva te troškovima održavanja koji uključuju potrebne materijale, rezervne dijelove, rad i usluge održavanja, izračunati su troškovi održavanja po radnom satu pojedinog stroja, što je prikazano tabelom 3.2.

Tabela 3.2 Troškovi održavanja strojeva

	Stroj	radni sati	trošak održavanja (Kn)	trošak održavanja (Kn/h)
		(1)	(2)	(3)=(2)/(1)
Bageri				
	Hyundai R 200W - 7	951	18651	19,61
	Liebher R 944 C HD-S Litronic	2844	109121	38,36
	Liebher R 944 B HD-S Litronic	2704	166447	61,55
	Liebher R 934 C HD-S Litronic	1262	16919	13,40
	Liebher R 934 B HD-S Litronic	2105	82123	39,01
	Liebher R 914 B Litronic	1304	35102	26,91
			$\overline{X}$	**33,14**
Utovarivači	Caterpillar 966 H	2510	57508	22,91
	Caterpillar 966 H	2760	46973	17,01
	Liebherr L 576	570	19483	34,18
	Liebherr L 576	3773	82703	21,91
	Liebherr L 576	2341	31801	13,58
	Liebherr 574	750	25288	33,71
			$\overline{X}$	**23,88**
Kamioni	Bell B40D	3581	160042	44,69
	Bell B40D	2585	201714	78,03
	Terex TR45	2397	210986	88,02
			$\overline{X}$	**70,24**
Dozer	Komatsu D155 AX - 6	1264	46831	**37,04**
Bušaća garnitura	Bohler BPI 155	1324	43446	**32,81**
Pokretne drobilice	LT 105 S	739	166639	225,49
	LT 110S	1369	76629	55,97
	LT 200 HP	742	231704	312,26
			$\overline{X}$	**197,91**
Pokretna sita	Finly 393	72	6922	96,13
	Powerscreen Chieftain 2100	-	-	-
	FLEX RO - RO	1372	54053	39,39
	Powerscreen Warrior 1800	202	8014	39,67
			$\overline{X}$	**58,40**

Ovako dobiveni troškovi održavanja nisu konzistentni, tj. variraju čak i među istim modelima strojeva. Razlog tome je što potreba za održavanjem nije stalna ako se promatraju kraći vremenski periodi. Redoviti servisi mogu se obavljati svakih nekoliko godina, zavisno o angažiranosti stroja, a izvanredni servisi imaju karakter slučajnih događaja zbog kvarova. Osim toga za pretpostaviti je i da stroj veće starosti zahtjeva i veće troškove održavanja. Međutim, izuzev dozera i bušaće garniture za svaku vrstu stroja postoji više jedinica temeljem kojih je dobiven prosječni trošak održavanja po radnom satu.

3.3. Analiza rada bušaće garniture

Radi određivanja parametara potrebnih za izračun učinka bušenja, analizirani su podaci o radu bušaće garniture koncesionara (udarno-rotacijske) Bohler BPI 115. Bušaća garnitura je opremljena dubinskim bušaćim čekićem Mission 30, te se koristi za izradu dubokih minskih bušotina promjera 90mm. Evidentiran je broj radnih sati bušaćeg čekića, broj radnih sati pogonskog motora bušaće garniture, te duljina bušenja za niz godina. Omjer duljine bušenja i radnih sati čekića daje brzinu čistog bušenja koja varira između 17,56 i 23,29 m/h, a u prosjeku iznosi 21,09 m/h. Varijacija brzine čistog bušenja može se pripisati radu bušaće garniture u stijenama različitih fizičko-mehaničkih svojstava, jer se ista bušaća garnitura primjenjuje na više kopova i to uglavnom u dijabazu i dolomitu a rjeđe pješčenjaku. Na podatak o brzini čistog bušenja utječu i razlike u strukturama stijena, jer pojava diskontinuiteta i zona sklonih zarušavanju otežava bušenje, odnosno zahtjeva vremenski dulji rad čekića za istu duljinu bušotine. Koeficijent bušenja dobiven je omjerom dodatnog vremena manipulacije i duljine bušenja. Ovako je vrijeme manipulacije svedeno na metar bušenja i nezavisno od brzine čistog bušenja. Može se smatrati da je vrijeme manipulativnog rada bušaće garniture jednako u uvjetima istih geometrijskih parametara bušenja, tj. kada se minska polja izrađuju s približno istim rasporedom i dubinama bušotina, bez obzira na vrstu stijene u kojoj se odvija bušenje. Koeficijent bušenja se tada može smatrati konstantom, s pretpostavkom sličnosti geometrijskih parametara bušenja. Prema analiziranim podacima, koeficijent bušenja varira u granicama 0,022 h/m do 0,035 h/m, uz prosječnu vrijednost od 0,027 h/m. Podaci o radu bušaće garniture te analizirana brzina čistog bušenja i koeficijent bušenja sažeti su u tabeli 3.3.

Tabela 3.3 Podaci o radu bušaće garniture

Godina	Rad pogonskog motora (h)	Rad čekića (h)	Manipulativni rad (h)	Duljina bušenja (m)	Brzina čistog bušenja (m/h)	Koeficijent bušenja (h/m)
	(1)	(2)	(3) = 1-2	(4)	(5) = 4/2	(6) = 3/4
2004.	1024,00	564,00	460,00	13135,00	23,29	0,035
2005.	833,00	532,00	301,00	12089,00	22,72	0,025
2006.	1281,00	883,00	398,00	18376,00	20,81	0,022
2007.	1864,00	1261,00	603,00	22145,00	17,56	0,027
2008.	1837,00	1292,00	545,00	-	-	-
2009.	904,00	550,00	354,00	-	-	-
2010.	516,00	363,00	153,00	-	-	-
$\overline{X}$	**1179,85**	**777,85**	**402,00**	**16436,25**	**21,095**	**0,027**

Brzina čistog bušenja prema formuli (2.11) iz poglavlja 2.2.2 u nastavku je uspoređena s navedenim iskustvenim vrijednostima. Budući ne postoji eksplicitni podatak o snazi dubinskog čekića, snaga je izračunata prema karakteristikama čekića i kompresora bušaće garniture, korištenjem površine klipa, hoda klipa, radnog pritiska i frekvencije udara pri danom pritisku. Bitne karakteristike čekića i kompresora prikazane su tabelom 3.4.

Tabela 3.4 Karakteristike dubinskog čekića i kompresora

Karakteristike čekića	
Vanjski promjer:	81,3 mm
Unutarnji promjer cilindra:	61,4 mm
Hod klipa:	124 mm
Radni pritisak:	10 - 24 bar
Potrošnja komprimiranog zraka:	4,9 - 12,3 m^3/min
Frekvencija udara pri 10 bar:	24 Hz
Frekvencija udara pri 16 bar:	27 Hz
Karakteristike kompresora bušaće garniture	
Radni pritisak:	3,5 - 14 bar
Učinak:	11 m^3/min

Prema karakteristikama najmanji radni pritisak čekića je 10 bara, dok kompresor bušaće garniture daje najveći pritisak od 14 bar. Pretpostavka je da se stvarni radni pritisak mora nalaziti u ovom rasponu i stoga je snaga izračunata za te dvije krajnje vrijednosti pritisaka, a srednja vrijednost rezultata uzeta kao prosječna snaga kojom čekić radi. Dobivena snaga iznosi 8,8 kW pri tlaku od 10 bar te 13,87 kW pri tlaku od 14 bar, što daje srednju vrijednost od 11,34 kW.

Za srednju vrijednost snage čekića 11,34 kW i promjer krune od 90mm izračunate su brzine čistog bušenja u dijabazu i dolomitu uzimajući prosječne tlačne čvrstoće na kopovima dotičnih stijena. Prema podacima koncesionara bušaća garnitura je upotrebljavana 60% vremena na radovima u dolomitu, a 40% vremena u dijabazu. Na temelju ovog odnosa izračunata je prosječna brzina čistog bušenja. Iz usporedbe prikazane tabelom 3.5 može se zaključiti da provedeni proračun daje dobre rezultate, uz vrlo malo odstupanje od iskustvene vrijednosti.

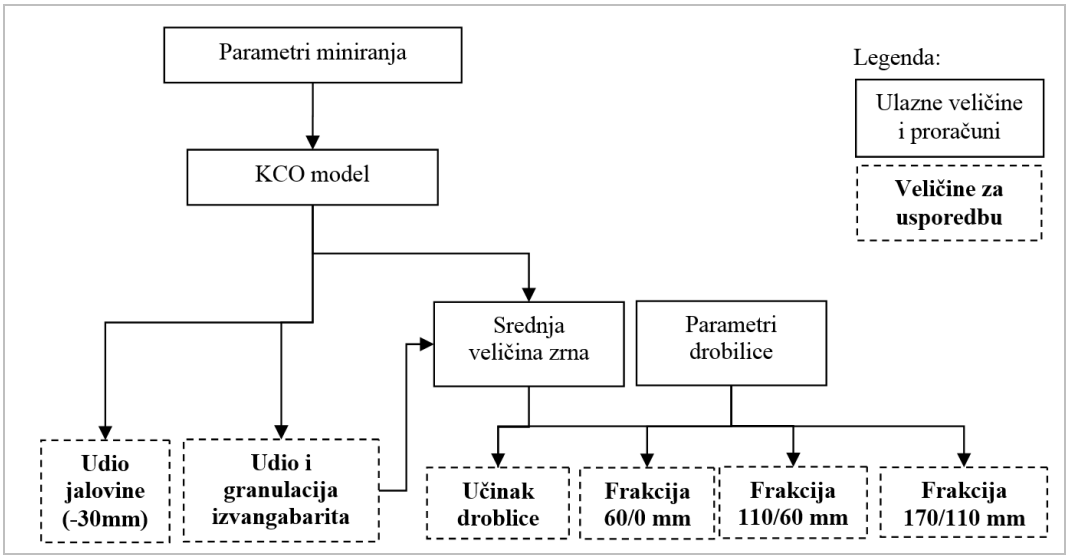
Tabela 3.5 Računska brzina čistog bušenja u zavisnosti o tlačnoj čvrstoći stijene

Vrsta stijene	Dijabaz	Dolomit
Tlačna čvrstoća (MPa)	207	120
Računska brzina čistog bušenja (m/h)	16,23	26,12
Vrijeme rada u stijeni	40%	60%
Srednja računska brzina čistog bušenja (m/h)	22,160	
Srednja iskustvena brzina čistog bušenja (m/h)	21,095	
Apsolutno odstupanje (m/h)	1,065 (5,05%)	

3.4. Fragmentacija stijenskog materijala

Računski dobivena fragmentacija dijabaza kroz proces od bušenja i miniranja do drobljenja uspoređena je s iskustvenim podacima prikupljenim od koncesionara. Kako je nepoznat stvarni granulometrijski sastav stijenske mase nakon miniranja, uspoređeni su poznati krajnji produkti nakon miniranja i drobljenja te učinak drobilice, tj. promatra se rezultat tog dijela eksploatacijskog procesa.

Usporedba je moguća temeljem slijedećeg. KCO model daje fragmentacijsku krivulju stijenske mase nakon miniranja. Ovu krivulju je moguće izravno provjeriti u dvije točke, od kojih je jedna udio izvangabarita, veličina koju koncesionar procjenjuje na temelju iskustva. U konkretnom slučaju eksploatacije na kopu Žervanjska, odminirani dijabaz prolazi sitnjenje na pokretnom postrojenju Lokotrack LT110 koje izdvaja frakciju -30mm predsijavanjem, odnosno ta frakcija čini dio odminirane mase koja ne ulazi u drobljenje. Udio ove frakcije je također poznat i predstavlja drugu točku provjere. Nadalje, računski učinak drobilice značajno ovisi o srednjoj veličini ulaznog zrna koja je rezultat granulometrijske krivulje KCO modela te udjela izvangabarita i granulacije do koje se usitnjavaju. Može se reći da je učinak drobilice posredni pokazatelj točnosti određivanja srednje veličine zrna, a time i granulometrijske krivulje KCO modela. Drobilica je opremljena dvoetažnim modularnim sitom te se izravno dobivaju tri gotove frakcije dijabaza, 60/0, 110/60 i 170/110 čiji su udjeli poznati, i stoga ih je moguće usporediti sa računski dobivenim vrijednostima. Shema proračuna s uspoređenim veličinama prikazana je na slici 3.1.



Slika 3.1 Proračunska shema i veličine usporedbe fragmentacije

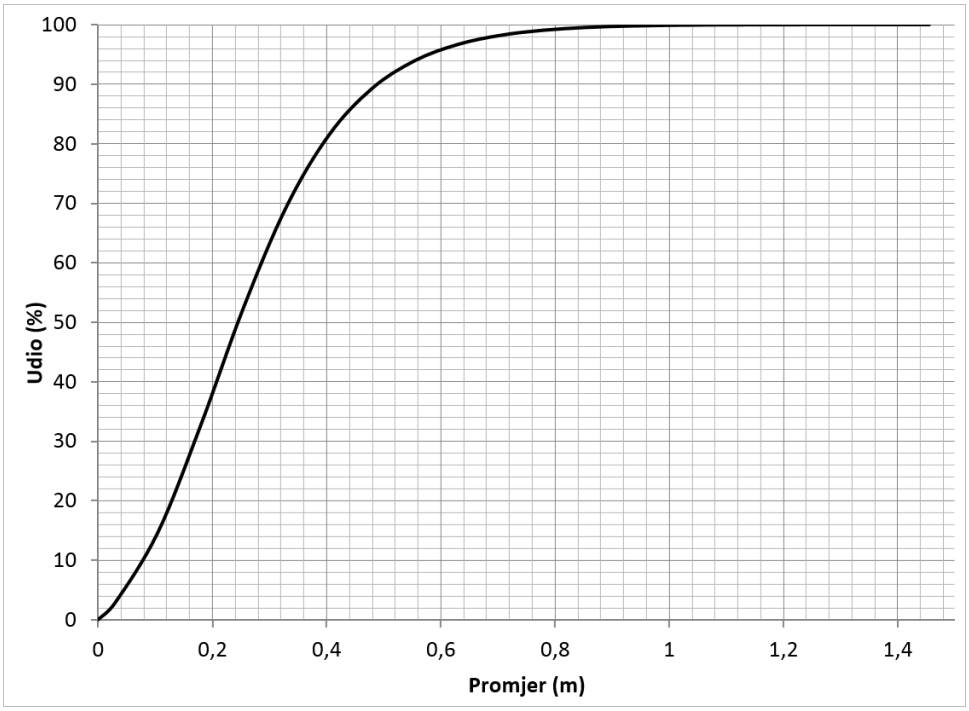
Postupkom iznesenim u poglavlju 2.2.3 izračunati su parametri miniranja i fragmentacijske krivulje prema KCO modelu. Pri definiranju ulaznih vrijednosti pretpostavljeno je uobičajeno masovno miniranje dubokim bušotinama kakvo se izvodi u dijabazu na kopu Žervanjska, uz glavno eksplozivno punjenje patroniranim Perunitom-E Φ65 i pomoćno punjenje Amonitom-6 u rasutom stanju. Faktor stijene i najveća veličina bloka 'in situ' određeni su temeljem svojstva stijenske mase dijabaza u poglavlju 3.6. Sve ulazno izlazne veličine proračuna sažete su u narednoj tabeli.

Tabela 3.6 Ulazno izlazne veličine proračuna miniranja i KCO modela

Ulazne veličine		**Izlazne veličine**	
Visina etaže (m)	20,00	Izbojnica (m)	2,69
Nagib etažne kosine (°)	70,00	Duljina minske bušotine (m)	21,79
Promjer bušotine (mm)	90,00	Duljina probušenja (m)	0,51
Koncentracija glavnog punjenja (kg/m')	4,74	Duljina glavnog naboja (m)	4,14
Koncentracija pomoćnog punjenja (kg/m')	6,2	Duljina pomoćnog naboja (m)	14,67
Koeficijent razmaka bušotina	1,30	Duljina čepa (m)	2,99
Specifična potrošnja eksploziva (kg/m3)	0,55	Ukupna duljina naboja (m)	18,81
Duljina čepa u odnosu na izbojnicu (m/m)	1,11	Količina glavnog eksplozivnog punjenja (kg)	19,6
Duljina probušenja u odnosu na izbojnicu (m/m)	0,19	Količina pomoćnog eksplozivnog punjenja (kg)	90,9
Relativna duljina glavnog naboja (m/m)	0,22	Ukupno količina eksplozivnog punjenja (kg)	110,54
Relativna energija eksploziva (%ANFO)	115	Razmak bušotina (m)	3,5
Faktor stijene A	6,93	Srednja veličina bloka x_m (mm)	245,3
Devijacija bušotine (m)	0,10	Parametar oblika krivulje n	1,83
Trokutni raspored bušotina (1,1=DA, 1,0=NE)	1,10	Parametar oblika krivulje b	4,58
Veličina bloka in situ x_{max} (mm)	1500,00		

Dobiveni parametri x_{max}, x_m i b rezultiraju fragmentacijskom krivuljom prikazanom na slici 3.2. Iz ove krivulje izračunati su udio izvangabarita i udio frakcije -30mm koja se izdvaja predsijavanjem te uspoređeni s iskustvenim vrijednostima. Za donju graničnu veličinu izvangabarita uzeta je vrijednost 60% veličine ulaza drobilice, što za konkretnu drobilicu iznosi 510 mm. Računski udio izvangabarita iznosi 9,21% a frakcije -30mm 2,85%. Nadalje, iz krivulje je izračunat udio fakcije 510/30 mm, što čini dio stijenskog materijala koji izravno ulazi u drobilicu, te srednja veličina zrna te frakcije za potrebe proračuna učinka drobilice. Udio ove frakcije iznosi 88,61% a srednja veličina zrna 234,4mm. Za srednju veličinu ulaznog zrna drobilice potrebno je ovom dijelu stijenskog materijala dodati vangabaritni dio s njegovom srednjom veličinom zrna nakon usitnjavanja hidrauličnim čekićem. Srednja veličina zrna nakon usitnjavanja izvangabarita izračunata je postupkom iznesenim u poglavlju

4.1, te iznosi 475,3 mm. Usrednjavanjem ovih dviju grupa stijenskog materijala prema njihovim udjelima dobiva se rezultantna srednja veličina zrna 255,5 mm, što čini ulazni podatak za proračun učinka drobilice.



Slika 3.2 Fragmentacijska krivulja KCO modela

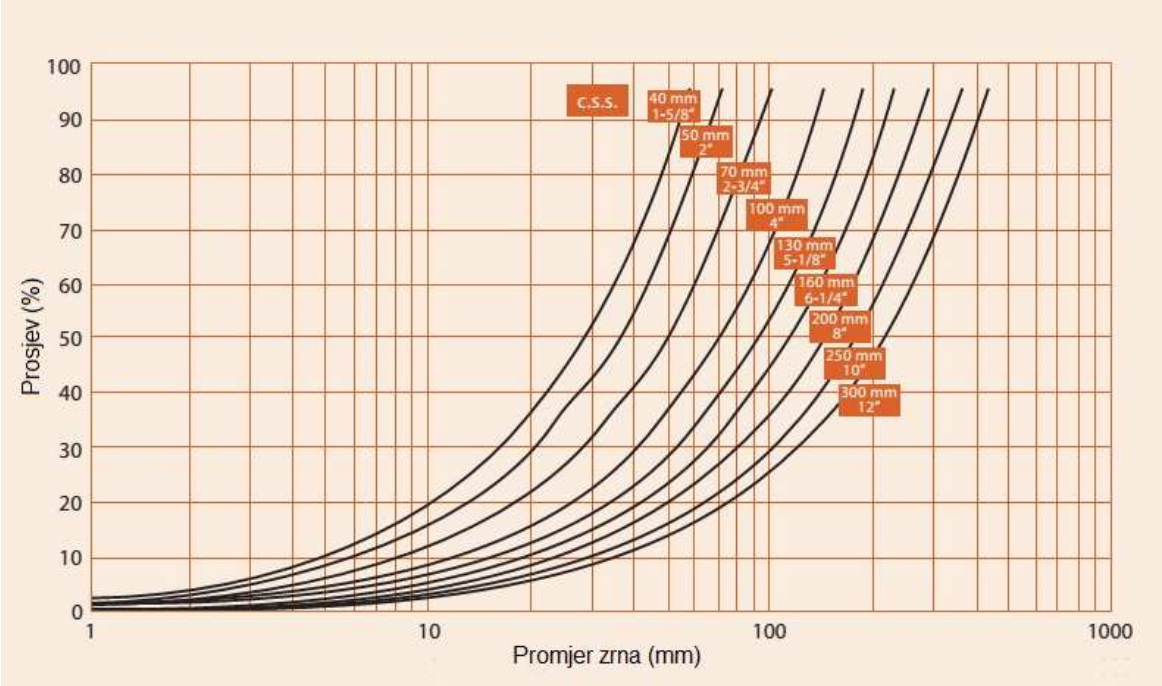
Učinak drobilice izračunat je prema jednadžbama (2.48) do (2.52). Parametar vrste materijala K_3 ovdje čini nepoznanicu, međutim na temelju istraživanja drugih autora iznesenih u poglavlju 2.2.7 pretpostavljena je vrijednost za dijabaz od 0,58. Uz prethodno izračunatu srednju veličinu ulaznog zrna upotrijebljene su specifikacije drobilice prikazane u tabeli 3.7. Računski dobiveni učinak drobilice iznosi 70,69 m^3/h, odnosno 207,11 t/h.

Tabela 3.7 Specifikacije drobilice C110

Vertikalna dubina čeljusti	1940 mm
Širina čeljusti	1100 mm
Ulaz drobilice	850 mm
Hod pokretne čeljusti	36 mm
Rotacijska brzina	230 o/min

Prema jednadžbama (2.53) do (2.55), fragmentacijska krivulja drobilice definirana je dvjema konstantama zavisnim o karakteristikama drobilice, r_{max} i m, te otvorom drobilice CSS koji je slobodno podesiv. Dijagrami fragmentacije u zavisnosti o otvoru drobilice mogu se naći u tehničkim specifikacijama proizvođača. Za drobilicu tipa Nordberg C serije, kakva je ugrađena na pokretno postrojenje Locotrack LT110 prikazan je dijagram na slici 3.3 (Metso

minerals, 2011). Iz ovog dijagrama regresijom su dobivene konstante koje odgovaraju krivuljama, te njihove vrijednosti iznose r_{max} = 1,5 i m = 0,91. Zatim su određene frakcije 170/110, 110/60 i 60/0 za otvor drobilice *CSS* = 100 mm te uspoređene s iskustvenim vrijednostima.



Slika 3.3 Fragmentacijske krivulje drobilice Nordberg C110

Usporedba svih računskih i iskustvenih vrijednosti prikazana je u tabeli 3.8. Udio izvangabarita koncesionar procjenjuje na 10%. Računski dobivena vrijednost se nalazi nešto ispod ove vrijednosti. Isto tako je vidljivo da je računski učinak drobilice nešto veći od iskustvene vrijednosti od 200 t/h. Preostale veličine, udio frakcije koja se izdvaja predsijavanjem te izlazne frakcije drobilice, pokazuju vrlo malo odstupanje u odnosu na iskustvene vrijednosti. Može se zaključiti da izvedeni proračuni polučuju vrlo realne rezultate i moguće ih je pouzdano upotrijebiti u računskom modelu za procjenu dotičnih veličina.

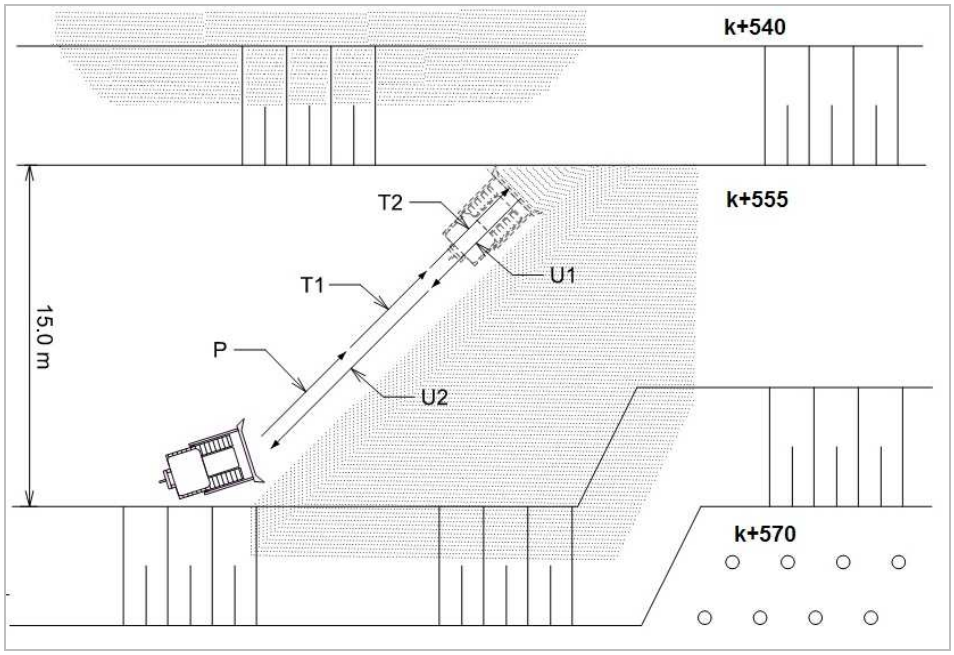
Tabela 3.8 Usporedba računskih i iskustvenih vrijednosti fragmentacije dijabaza i učinka drobilice

	Računska vrijednost	Iskustvena vrijednost	Apsolutno odstupanje	Pogreška proračuna
Udio izvangabarita	9,21 %	10%	0,79 %	7,6 %
Udio jalovine (30/0)	2,85 %	2 %	0,85 %	42,5 %
Učinak drobilice	207 t/h	200 t/h	7 t/h	3,5 %
Frakcija 60/0	43,44 %	43 %	0,44 %	1,02 %
Frakcija 110/60	31,97 %	30 %	1,97 %	6,5 %
Frakcija 170/110	24,59 %	25 %	0,41 %	1,64 %

3.5. Terenska mjerenja

3.5.1. Parametri rada dozera

Utvrđivanje radnih parametara dozera obavljeno je mjerenjima pri radu dozera na skidanju otkrivke i gravitacijskom transportu preguravanjem. Način rada dozera sastojao se od iskopa bočnim zahvatom noža pri čemu se odvija intenzivno punjenje na dionici 8-10m. Na preostalom dijelu putanje dozera slijedi transport materijala do ruba etaže, uz manji bočni zahvat radi eliminacije gubitaka ispred noža dozera, te zatim povratak unazad (slika 3.4). Analizirane su snimke četiri ciklusa dozera, postavljanjem kontrolnih točaka i praćenjem vremena prolaska osovina dozera, te su na temelju osovinskog razmaka izračunate brzine kretanja. Pri tome je putanja kretanja unaprijed podijeljena u tri dionice (P-punjenje; T1,T2-transport) radi razlikovanja brzina pri punjenju noža i transportu te zbog reprezentativnijih vrijednosti jer su uočene manje promjene brzine zbog ukliještena većih blokova ispod noža dozera. Putanja kretanja unazad podijeljena je u dvije dionice (U1,U2) jer je uočeno sporije kretanje dozera pri rubu etaže zbog nagomilanog stijenskog materijala i većih blokova, dok je na čistom dijelu etaže kretanje brže i jednolično.



Slika 3.4 Shema mjerenja brzina kretanja dozera

Brzine kretanja pri punjenju noža i transportiranju neznatno se razlikuju te iznose prosječno 0,62 odnosno 0,68 m/s. Srednja vrijednost brzine kretanja pri povratku unazad iznosi 1,21 m/s.

Osim brzina kretanja obavljeno je i mjerenje obujma materijala ispred noža dozera prilikom dva ciklusa. Pomoću software-a za fotogrametrijsku analizu, iz parova fotografija prvo je izrađen model praznog noža, a zatim i punog noža. Oduzimanjem ova dva modela dobiven je obujam materijala noža dozera, čija je srednja vrijednost 9,77 m^3.

Podaci dobiveni mjerenjima i srednje vrijednosti sažeti su tabelom 3.9.

Tabela 3.9 Mjerene veličine pri radu dozera

Ciklus	Brzina kretanja (m/s)					Vrijeme promjene smjera (s)		Volumen noža (m^3)
	P (8m)	T1 (8m)	T2 (8m)	U1 (8m)	U2 (16m)	Unaprijed	Unazad	
1	0,62	0,66	0,57	0,77	1,58	3-4	3-4	9,74
2	0,66	0,67	0,65	0,88	1,35			9,81
3	0,66	0,69	0,81	0,94	1,29			-
4	0,55	0,55	0,90	1,09	1,56			-
Srednja vrijednost	0,62	0,68		1,21		3-4		9,77
P – punjenje noža, T – transport, U – povratak unazad								

Korišteni dozer je Komatsu D155AX-6, mase 40 t i snage pogonskog motora 268 kW. Visina noža dozera iznosi 1,85 m, širina noža 4,06 m a visina kružnog odsječka na sredini noža je 0,28 m.

Uz prirodni kut sipanja materijala procijenjen na 38° do 40°, relacija za obujam noža (2.2) rezultira srednjom vrijednošću od 10,04 m^3 što vrlo malo odstupa od izmjerene vrijednosti 9,77 m^2.

Izračun trajanja ciklusa dozera (2.1) zahtjeva izravno unošenje brzina kretanja dozera. Budući se relacija za izračun obujma noža pokazala dovoljno točnom, uz primjenu izmjerenih vrijednosti brzina kretanja dozera, proračun učinka dozera trebao bi polučiti rezultate zadovoljavajuće točnosti.

3.5.2. Parametri rada bagera s dubinskom lopatom

Utvrđivanje radnih parametara bagera i usporedba s računski dobivenim vrijednostima izvršeno je mjerenjem na tri lokacije pri različitim slučajevima primjene bagera. Mjerenja su rađena snimanjem bagera video kamerom nakon čega su analizom snimke određena pojedinačna i srednja vremena trajanja ciklusa.

U sva tri slučaja bageri ne vrše izravno iskop etaže gdje bi se mogao definirati odnos visine radnog čela i maksimalnog dosega bagera radi određivanja korektivnog koeficijenta prema tabeli 2.3. Umjesto toga procijenjena je duljina putanje lopate bagera pri zahvaćanju materijala te usvojena kao ekvivalent visini radnog čela.

Prvi slučaj je rad bagera pri dobivanju otkrivke na kopu Žervanjska kraj Orahovice. Bager je bio smješten na povišenom platou na etaži, tako da je iznad razine platoa stijena razrušavana zubima lopate prema nivou etaže. Razrušenu stijenu te djelomično sraslu stijensku masu ispod razine platoa bager je zahvaćao lopatom i odlagao na etažu zakretanjem za otprilike 90°. Budući je berma etaže veće širine, otkrivka nije izravno prebacivana na ispodležeću etažu već je dobivanje bagerom prethodilo preguravanju dozerom. Korišten je bager Liebherr 944C, mase 40 t, snage 190kW, konstrukcijske zapremnine lopate 2,0 m^3 i maksimalne visine dosega 13m. Duljina zahvata materijala iznosi otprilike 40% maksimalnog dosega, a kako bager odlaže materijal ispod razine na kojoj je smješten, usvojen je koeficijent korekcije $k_{Tc2} = 0,8$.

Drugi slučaj je utovar bagerom u kamion istresač na kopu Pusto groblje nedaleko od Knina. Bager, smješten u istoj razini s kamionom, zahvaćao je odminiranu stijensku masu gipsa te zakretanjem za 180° istu utovarao u kamion. Korišteni bager je Volvo EC290B, mase 30 t, snage 153kW, zapremnine lopate 1,5 m^3, te visinskog dosega 10m. Kako je utovarao u kamion u razini na kojoj je stajao, a duljina zahvata materijala iznosi manje od 40% najvećeg dosega, usvojen je korektivni koeficijent $k_{Tc2} = 0,9$.

Treći slučaj je utovar bagerom u pokretno postrojenje za sitnjenje na kopu Škrobotnik blizu mjesta Grdanjci. Bager, smješten na povišenom platou, zahvaćao je razrušenu stijensku masu ispod svoje razine i zakretanjem za 100° vršio utovar u bunker pokretnog postrojenja. Korišteni bager je Komatsu PC340, mase 34 t, zapremnine lopate 1,5 m^3 i najveće visine dosega 10,5 m. Duljina zahvata materijala iznosila je manje od 40% najvećeg dosega a kako se radi o utovaru u bunker, usvojen je korektivni koeficijent $k_{Tc2} = 1,1$.

Za svaki slučaj određeni su standardni ciklusi prema masi bagera formulom (2.4) te korigirani za navedeni kut zakretanja prema formuli (2.5). Zatim je primijenjena korekcija za visinu radnog čela i uvjete odlaganja te izračunato trajanje ciklusa prema formuli (2.6). Ulazni podaci te usporedba rezultata prikazana je u tabeli 3.10.

Tabela 3.10 Usporedba računskih i mjerenih ciklusa bagera

Stroj	Masa bagera	Kut zakretanja	koef. k_{Tc2}	Računski ciklus	Srednji mjereni ciklus	Apsolutno odstupanje	Pogreška proračuna
Komatsu PC340	34 t	100°	1,1	20,8 s	20,0 s	0,8 s	4 %
Volvo EC290B	30 t	180°	0,9	18,81 s	18,9 s	0,09 s	0,47 %
Liebher 944	40 t	90°	0,8	15,31 s	16,1 s	0,79 s	4,9 %

Usporedbom rezultata je vidljivo da računski ciklusi bagera vrlo malo odstupaju od izmjerenih u stvarnim uvjetima. Za zaključiti je da uz ispravni obujam materijala u lopati, proračun učinka bagera može polučiti zadovoljavajuće točne rezultate.

Rad bagera na kopu Žervanjska sastojao se od razrušavanja stijenske mase zubima lopate i zatim prebacivanja razrušene stijenske mase na putanju dozera, koji obavlja gravitacijski transport prema nižoj etaži. Obzirom da formula za učinak bagera (2.7) predviđa ovakav način rada, istovremeno određivanju ciklusa, snimka je iskorištena i za određivanje koeficijenta korekcije učinka k_{rs}. Analizom snimke dobivena su vremena trajanja faze razrušavanja i faze prebacivanja stijenskog materijala. Od ukupnog vremena bager je na razrušavanje stijene utrošio 36%, na čekanje dozera 4%, a na iskop i prebacivanje stijenske mase 60% vremena. Prema ovim podacima koeficijent korekcije k_{rs} iznosi 0,36. Izmjereni podaci sažeti su u tabeli 3.11.

Tabela 3.11 Mjerene veličine kod dobivanja otkrivke bagerom

Prosječno trajanje ciklusa bagera	16,1 s
Udio vremena za iskop i prebacivanje	60%
Udio vremena za razrušavanje stijene	36%
Čekanje na prolazak dozera	4%

3.5.3. Parametri rada utovarivača

U površinskom kopu Gradna kod Samobora izmjereni su ciklusi dvaju utovarivača pri utovaru u kamion. Oba utovarivača su radila u istim uvjetima, tj. vršen je utovar u slično vozilo, a stijenski materijal je bio sitnozrnati, rastresit i relativo suhi dolomit. Jedan od korištenih utovarivača je Renders - Đuro Đaković RL250, snage 210 kW, mase 27 t i zapremnine utovarne lopate 4,5 m^3. Drugi utovarivač je Komatsu WA500, snage 266 kW, mase 32 t i zapremnine lopate 4,5 m^3.

U površinskom kopu Koromačno na Labinskom poluotoku izmjereni su također ciklusi dvaju utovarivača, međutim ovdje je utovarana odminirana stijenska masa koja je granulometrijski nejednolika a sadrži i blokove promjera više desetaka centimetara. Korišteni su utovarivači Caterpillar 980G i Catrepillar 980H. Prvi utovarivač je snage 239 kW i mase 30 t, a drugi je snage 293 kW i mase 32 t. Oba utovarivača su opremljena utovarnom lopatom obujma 5,25 m^3.

Prema procjeni trajanja ciklusa utovarivača na temelju tabele 2.4, za dane zapremnine lopata i opis stijenskog materijala, ciklus utovarivača Renders RL250 i Komatsu WA500 iznosi 0,55 min odnosno 33 s. Utovarivači Caterpillar 980G i 980H imaju nešto veće zapremnine lopata i rade u odminiranoj stijenskoj masi pa je ciklus nešto duži, te iznosi 0,75 min odnosno 45 s. U usporedbi sa srednjim mjerenim ciklusima prikazanim tabelom 3.12, procijenjeni ciklusi daju određeno pozitivno i negativno odstupanje, ali se nalaze unutar raspona mjerenih ciklusa pojedinačnog stroja. Varijaciju trajanja ciklusa u istim uvjetima rada, tj. za istu zapremninu lopate i stijenski materijal logično je pripisati različitim snagama strojeva. Komatsu WA500 ima 56 kW snažniji pogonski motor nego Renders RL250 i 8 s kraći ciklus. Isto vrijedi i za Caterpillar 980H koji ima pogonski motor snažniji za 54 kW te ciklus kraći za 6,7 s.

Tabela 3.12 Usporedba procijenjenih i mjerenih ciklusa utovarivača

			Za pojedinačni stroj			Za isti stijenski materijal		
Stroj	Procijenj-eni ciklus	Stijenski materijal	Srednji mjereni ciklus	Apsolutno odstupanje	Pogreška	Srednji mjereni ciklus	Apsolutno odstupanje	Pogreška
Renders RL250	33,0 s	Sitan, sipki materijal	35,0 s	2,0 s	5,7%	31,0 s	2,0 s	6,45%
Komatsu WA500			27,0 s	6,0 s	22,2%			
Caterpillar 980G	45,0 s	Odminirana stijenska masa	46,7 s	1,7 s	3,64%	43,35	1,65 s	3,81%
Caterpillar 980H			40,0 s	5,0 s	12,5%			

Tabela 2.4 predviđa procjenu ciklusa na temelju zapremnine lopate i opisa stijenskog materijala. Ako se usporede srednji mjereni ciklusi oba stroja, dakle za istu zapremninu lopate i isti stijenski materijal, dobiva se srednji ciklus od 31 s u sitnom, sipkom dolomitu, što daje odstupanje 2 s od procijenjenog ciklusa. U slučaju odminirane stijenske mase srednji mjereni ciklus iznosi 43,35 s, što od procijenjenog ciklusa odstupa za 1,65 s.

Iz usporedbe se može zaključiti da će ciklus realnog utovarivača odstupati od procijenjenog u određenim granicama, zavisno o karakteristikama stroja. Međutim kako su provedena mjerenja s različitim utovarivačima, mjereni ciklus 'prosječnog' utovarivača dobro se slaže s procijenjenim za isti obujam utovarne lopate i stijenski materijal. Stoga procjena iznesena u poglavlju 2.2.6.1 čini dobru podlogu za određivanje trajanja ciklusa ukoliko je nepoznat stvarni prosječni ciklus utovarivača.

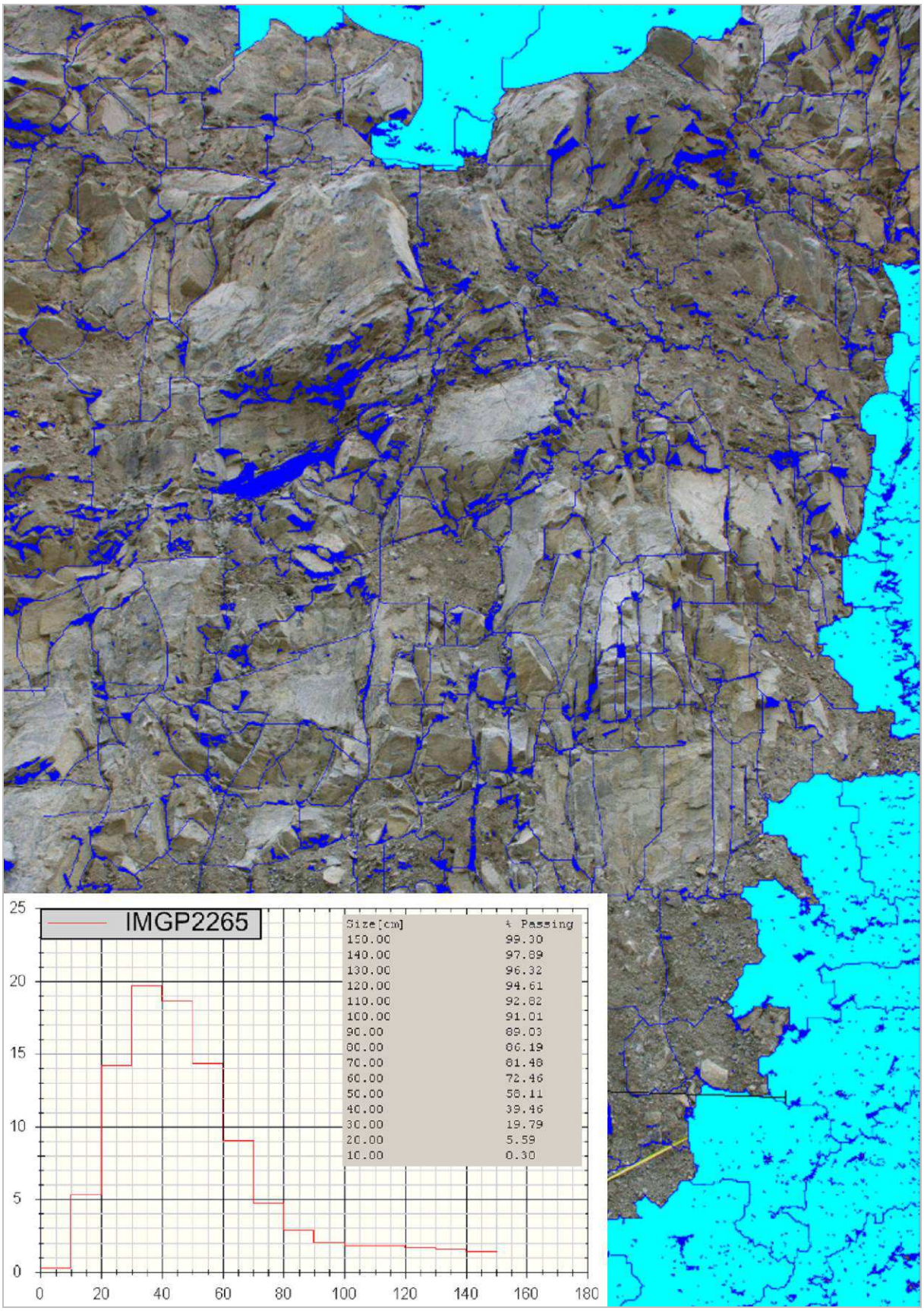
3.6. Potrebne veličine proračuna vezane na stijensku masu

Prema istraživanjima strukturnih svojstava stijenske mase dijabaza u ležištu Žervanjska (Hrženjak et.al, 2008) pukotinski sustav sastoji se od četiri familije pukotina različite orijentacije, od kojih svaka ima razmak diskontinuiteta 15 do 150 cm. Iz ovoga se može zaključiti da će se u ležištu pojavljivati i blokovi dimenzija u istom rasponu. Radi bolje procjene faktora stijene (prema proceduri u poglavlju 2.2.3) potrebnog za KCO model, određena je raspodjela veličine blokova programom za fragmentacijsku analizu (slika 3.5). Analiza pokazuje visoku zastupljenost manjih blokova promjera 20-60 cm, što je znatno manje od razmaka bušotina. Iz ovog razloga je faktor razmaka pukotina *JPS* procijenjen na 20. Najveći promjer bloka 'in situ' prema fragmentacijskoj analizi i prema istraživanjima navedenih autora iznosi 150 cm. Stoga je ova vrijednost usvojena za x_{max} parametar KCO modela. Prosječna tlačna čvrstoća dijabaza prema dugogodišnjim ispitivanjima za proizvodnju tehničko-građevnog kamena iznosi 206 MPa (Kljajić, 2009). Ovo je u skladu i sa ispitanim valjkastim uzorcima (Hrženjak et.al, 2008), zbog čega je vrijednost usvojena kao reprezentativna za ležište. Za prostornu masu dijabaza uzeta je vrijednost 2,93 g/cm^3, prema Elaboratu o rezervama (Matijašić, 2010). Ovako definirana svojstva rezultiraju dolje prikazanim veličinama i konačno faktorom stijene za dijabaz A = 6,93, koji je primijenjen u analizi u poglavlju 3.4 te u računskom modelu u poglavljima 5 i 6.

Tabela 3.13 Veličine za procjenu faktora stijene

Veličina	Oznaka	Iznos
Utjecaj stanja pukotina	*JCF*	1,0
Utjecaj razmaka pukotina	*JPS*	20
Utjecaj orijentacije pukotina	*JPA*	30
Utjecaj gustoće stijene	*RDI*	24,5
Utjecaj tvrdoće stijene	*HF*	41,2
Utjecaj strukture	*RMD*	50
Faktor stijene	*A*	6,93

Relacije za određivanja učinka hidrauličnog čekića na usitnjavanju izvangabarita zahtjevaju poznavanje Schmidtove tvrdoće stijene prema ISRM-u. Ova veličina za dijabaz na lokaciji kopa Žervanjska iznosi 61, prema istraživanjima Kunjundžića (2002).



Slika 3.5 Stijenska masa dijabaza

Relacija za učinak hidrauličnog čekića pri dobivanju stijene (poglavlje 0) zahtjeva poznavanje jednoosne tlačne čvrstoće i *RQD* jezgre. U radu je predviđeno pridobivanje pješčenjaka hidrauličnim čekićem. Kako *RQD* pješčenjaka nije određen provedenim istražnim radovima, ovdje je procijenjen na temelju fotografija nabušenih jezgri iz Elaborata o rezervama (slika 3.6). Iz fotografije etaže u pješčenjacima vidljivo je kako se radi o vrlo blokovitoj i raspucanoj stijenskoj masi, s dominantnim i relativno gustim diskontinuitetima po slojevitosti. Mjerenjem u CAD software-u, dobiveno je 32% udjela zbroja komada jezgri većih od 10cm u odnosu na ukupnu duljinu nabušene jezgre, na obje fotografije. Ova vrijednost usvojena je za *RQD* u proračunima. Tlačna čvrstoća prema Elaboratu o rezervama je ispitana na dva uzorka iz jezgri istražnih bušotina te iznosi 111,5 i 84,8 MPa, što daje srednju vrijednost od 98,15 MPa. U nedostatku većeg broja podataka, ova vrijednost usvojena je u proračunima. Prostorna masa pješčenjaka iznosi 2,68 t/m^3.



Slika 3.6 Stijenska masa pješčenjaka

Stijensku masu klastita (slika 3.7) čine škriljavi litološki članovi, debljine slojeva 20-40 cm, s izraženom internom tankopločastom do laminarnom teksturom. Mogu sadržavati značajni udio glinovite komponente. Uz ovakva strukturna svojstva i pretežno slaba fizikalno-mehanička svojstva moguće je pridobivanje bagerom loparatom. Prostorna masa klastita iznosi 2,55 t/m^3.



Slika 3.7 Stijenska masa klastita

Obzirom na svojstva stijenskih masa u proračunima su rabljeni slijedeći koeficijenti rastresitosti: 1,25 za humusni sloj, 1,35 za klastite te 1,4 za pješčenjake i dijabaz.

4. RAČUNSKI MODEL EKSPLOATACIJSKOG PROCESA

Računski model sastoji se od niza povezanih proračuna, gdje proračuni međusobno dijele potrebne veličine. Osnova većine proračuna je uporaba postavljene teorije radi određivanja učinka strojeva na temelju predviđene tehnologije rada te karakteristika strojeva i stijenskih materijala koji su predmet eksploatacije. Računski učinci strojeva uz zadanu količinu materijala/rada rezultiraju potrebnim brojem radnih sati strojeva. Potom se iz radnih sati strojeva prema definiranim parametrima ili normativima računaju utrošci rada strojeva. Izuzetak ovdje čine proračuni koji nisu vezani za strojeve, tj. gdje nije potreban izračun učinka. To je proračun miniranja, kojem je glavni zadatak odrediti fragmentaciju materijala te utrošak eksplozivnih sredstava uz zadane parametre. Pomoćni proračuni služe za određivanje obujma prebacivanja, količina materijala iz fragmentacijskih krivulja, te rezultirajućih parametara odsijecanjem jednog dijela krivulje ili kombiniranjem dviju fragmentacijskih krivulja. Na izračunate utroške tada se primjenjuju odgovarajuće tržišne cijene, što se dodaje eksploatacijskim troškovima.

Poveznica ili veličina koja se uvijek razmjenjuje među proračunima je količina materijala koja prelazi iz jedne radnog procesa u naredni. Osim toga u određenim proračunima javlja se potreba za razmjenom jedne kvalitativne veličine, a to je fragmentacija materijala. Ovo se odnosi na proračune miniranja, usitnjavanja izvangabarita i oplemenjivanja na pokretnim postrojenjima koji moraju polučiti fragmentacijsku krivulju izlaza dotičnih radnih procesa, budući o tome ovise količine i fragmentacija materijala u narednim procesima. Uz količinu i fragmentaciju materijala pojedini proračuni razmjenjuju i neke druge veličine. Radni procesi gdje su strojevi povezani u kompleks, ili učinak jednog stroja ovisi o radnim parametrima drugoga, zahtijevaju razmjenu parametara koji su specifični za te strojeve i njima dodijeljene proračune.

U teorijskom dijelu rada (poglavlje 2) iznesene su teorijske postavke glavnih proračuna potrebnih za formiranje računskog modela. Konkretnijom primjenom teorije, ovim proračunima su dodane relacije za izračun utrošaka i troškova, te prema potrebi definirane ulazno izlazne veličine kojima se proračuni međusobno povezuju. Ispis kompletnih proračuna u zapisu MS Excela nalazi se u Prilogu 1. Povezivanje tih proračuna i pomoćni proračuni koji to dodatno omogućuju čine zasebnu problematiku, tj. način tvorbe računskog modela.

4.1. Pomoćni proračuni modela

Pomoćni proračun obujma prebacivanja iznesen je u poglavlju 2.2.4, paralelno sustavu gravitacijskog transporta kao dijela eksploatacijskog procesa. Preostali pomoćni proračuni objašnjeni su u nastavku.

Udio izvangabarita računa se iz parametara fragmentacijske krivulje dobivene Kuz-Ram ili KCO modelom. Parametri krivulje se razlikuju ovisno o korištenom modelu, pa tako postoje i proračuni udjela za svaki od modela. Osim udjela, proračuni su predviđeni i za određivanje srednje veličine izvangabarita prije i nakon usitnjavanja, što su ulazni parametri potrebni drugim proračunima. U slučaju Kuz-Ram modela rezultat je Rosin-Rammler ova krivulja iz koje se udio izvangabarita računa prema formuli (4.1). Za troparametarsku krivulju KCO modela upotrebljava se formula (4.2).

$$U = e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n} \quad , \tag{4.1}$$

$$U = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{\ln(X_{\max} / X}{\ln(X_{\max} / X_m)}\right)^b} \quad , \tag{4.2}$$

gdje su: U – udio izvangabarita,

X_c –karakteristična veličina zrna (Kuz-Ram) (mm),

n – parametar oblika krivulje (Kuz-Ram),

X – granična veličina izvangabarita (mm),

X_m – srednja veličina zrna (Kuz-Ram) (mm),

X_{max} – najveća veličina bloka (KCO) (mm),

b – parametar oblika krivulje (KCO).

Srednju veličinu izvangabarita ili općenito neke frakcije moguće je dobiti iz fragmentacijske krivulje iznalaženjem vrijednosti na ordinati koja odgovara udjelu od 50% na traženom rasponu krivulje, tj. dijelu krivulje koji se odnosi na izvangabarite ili neku frakciju. Na tu vrijednost je potrebno primijeniti inverznu funkciju udjela, čime se dobiva odgovarajući promjer, odnosno srednja veličina zrna ili bloka. Inverzne funkcije Rosin-Rammler-ove i KCO fragmentacijske krivulje prikazane su jednadžbama (4.3) i (4.4).

$$X_{50} = X_c \cdot \left(-\ln(1-U_{50})\right)^{1/n} \quad \text{(mm)}, \tag{4.3}$$

$$X_{50} = X_{\max} \cdot \left(\frac{X_{\max}}{X_m}\right)^{-\left(\frac{1}{U_{50}}-1\right)^{\frac{1}{b}}} \quad \text{(mm)}. \tag{4.4}$$

Pri tome se udio koji odgovara iznosu od 50% na traženom rasponu krivulje nalazi na ordinati na polovini između 100% i poznatog udjela izvangabarita, te se može odrediti prema formuli:

$$U_{50} = 1 - \frac{U}{2} \quad . \tag{4.5}$$

Oba proračuna procjenjuju srednju veličinu blokova nakon usitnjavanja prema formuli (4.6). Način procjene temelji se na srednjoj veličini izvangabarita i broju blokova na koje ga je potrebno usitniti da bi se njegov promjer smanjio ispod ciljane granulacije. Dijeljenjem obujma izvangabarita srednje veličine sa brojem usitnjenih blokova dobiva se obujam jednog usitnjenog bloka, iz čega se računa njegov efektivni promjer. Broj usitnjenih blokova dobiva se kao omjer obujma izvangabarita srednje veličine i obujma bloka zahtijevane granulacije, zaokružen na višu cjelobrojnu vrijednost.

$$X_{50A} = \sqrt[3]{\frac{{X_{50}}^3}{\left|\left(\frac{X_{50}}{X}\right)^3\right|}} \quad \text{(mm)}. \tag{4.6}$$

Udio neke frakcije se također računa iz fragmentacijskih krivulja, ali za razliku od izvangabarita, ovdje je potrebno definirati i donji i gornji granični promjer frakcije:

$$U = e^{-\left(\frac{X_1}{X_c}\right)^n} - e^{-\left(\frac{X_2}{X_c}\right)^n} \quad , \tag{4.7}$$

$$U = \frac{1}{1+\left(\frac{\ln(X_{\max}/X_2}{\ln(X_{\max}/X_m)}\right)^b} - \frac{1}{1+\left(\frac{\ln(X_{\max}/X_1}{\ln(X_{\max}/X_m)}\right)^b} \quad , \tag{4.8}$$

gdje su: X_1 – donji granični promjer frakcije (mm),

X_2 –gornji granični promjer frakcije (mm).

Srednji promjer frakcije određuje se istim inverznim jednadžbama (4.5) i (4.4) kao za izvangabarite. Međutim potrebno je udio 50% za raspon frakcije odrediti na temelju gornjeg i donjeg graničnog promjera frakcije prema formuli (4.9) za Rosin-Rammlerovu, odnosno prema formuli (4.10) za KCO fragmentacijsku krivulju.

$$U_{50} = \frac{2+e^{-\left(\frac{X_1}{X_c}\right)^n} - e^{-\left(\frac{X_2}{X_c}\right)^n}}{2} \quad , \tag{4.9}$$

$$U_{50} = \frac{\dfrac{1}{1+\left(\dfrac{\ln(X_{\max}/X_2}{\ln(X_{\max}/X_m)}\right)^b} + \dfrac{1}{1+\left(\dfrac{\ln(X_{\max}/X_1}{\ln(X_{\max}/X_m)}\right)^b}}{2} \quad . \tag{4.10}$$

Za slučaj primjene fragmentacijske krivulje drobilice udio pojedine frakcije određuje se prema formuli:

$$U = \left(\frac{X_2}{r_{\max} \cdot CSS}\right)^m - \left(\frac{X_1}{r_{\max} \cdot CSS}\right)^m \quad , \tag{4.11}$$

gdje su: m – parametar funkcije,

r_{max} – parametar funkcije,

CSS – izlazni otvor drobilice (mm).

Određeni proračuni zahtijevaju srednju veličinu frakcije kao ulaznu vrijednost. U slučaju miješanja dvaju različitih frakcija, rezultirajuća srednja veličina frakcije može se odrediti iz količine i srednje veličine zasebnih frakcija prema formuli:

$$X_{50} = \frac{X_{50A} \cdot Q_A + X_{50B} \cdot Q_B}{Q_A + Q_B} \quad \text{(mm)}, \tag{4.12}$$

gdje su: Q_A – količina prve frakcije,

Q_B – količina druge frakcije,

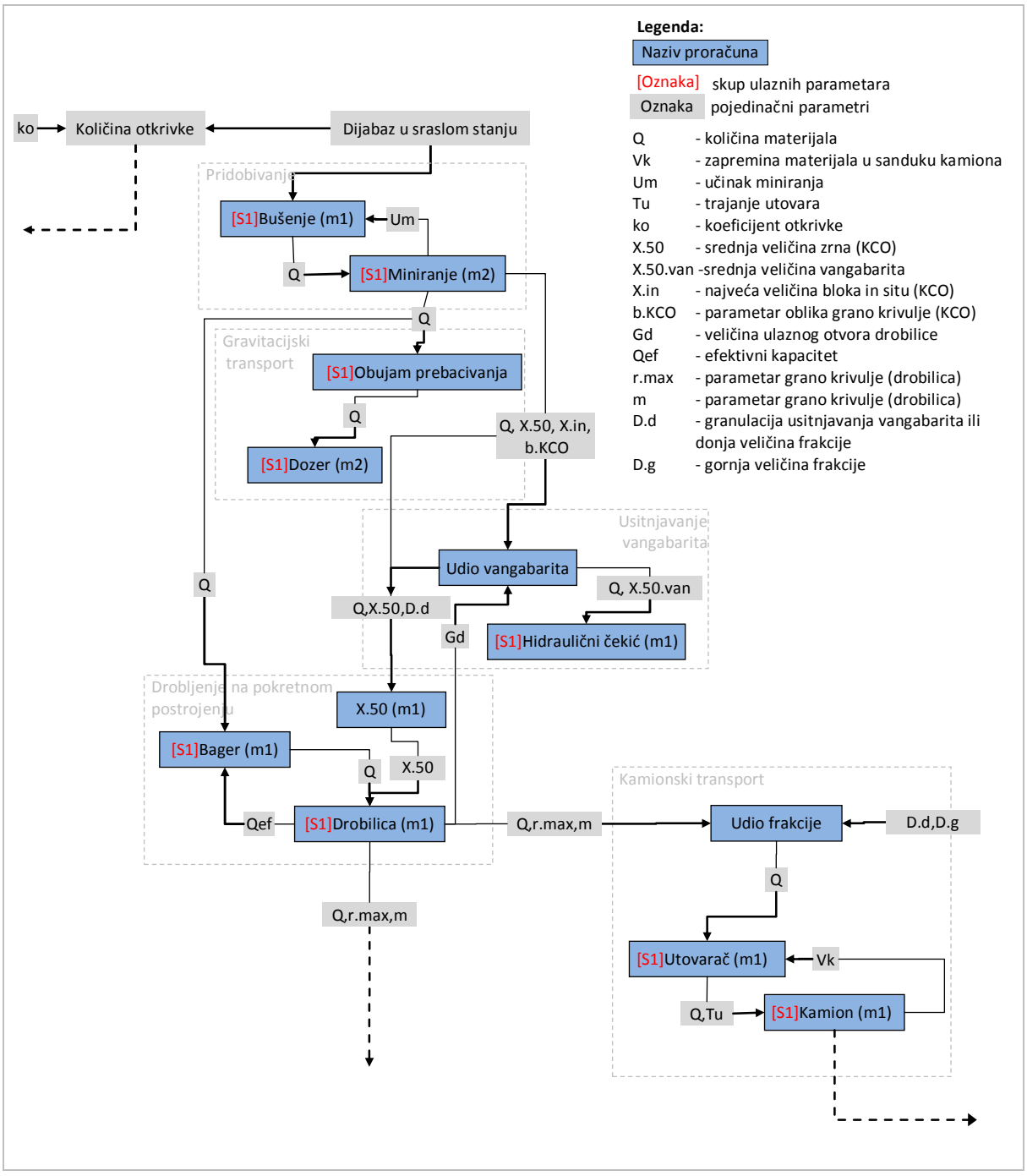
X_{50A} – srednji promjer prve frakcije,

X_{50B} – srednji promjer druge frakcije.

4.2. Povezivanje proračuna u računski model

Primijenjeni načini povezivanja glavnih proračuna ilustrirani su na primjeru isječka iz računske sheme prikazanog slikom 4.1. Primjer sadrži tipična mjesta i načine povezivanja kakvi se inače pojavljuju na svim računskim shemama.

Svaki od proračuna može ulazne veličine preuzeti iz vanjskog skupa podataka, u ovom primjeru 'S1', definiranog u eksternim tabelama. Ovo se odnosi na specifikacije strojeva i



Slika 4.1 Isječak računske sheme

materijala, specifične proračunske parametre, geometrijske veličine površinskog kopa, karakteristike stijenske mase i ostale veličine koje mogu biti zajedničke mnogim proračunima te nije potrebno da ih proračuni međusobno razmjenjuju. Drugi način je preuzimanje ulaznih veličina sa računske sheme, gdje ta veličina može biti izravno dodijeljena ili pak izlazna veličina nekog drugog proračuna. Ovo je važno kada jedan proračun kao ulaznu veličinu zahtjeva rezultat nekog prethodnog proračuna.

Na prikazanoj shemi (slika 4.1.) prvi ulazni podatak čini količina dijabaza u sraslom stanju. Primjenom koeficijenta otkrivke na količinu dijabaza dobiva se količina otkrivke. Na sličan način se operacijama množenja, zbrajanja, ili jednostavno preslikavanjem vrijednosti na eksploatacijskoj shemi dobiva ulazna veličina za neki proračun. Pri tome vrijednosti mogu biti izravno dodijeljene, ili izlazni rezultat nekog drugog proračuna.

Naredni radni proces je pridobivanje bušenjem i miniranjem. Količina dijabaza u sraslom stanju je zajednička veličina i stoga se ulazno/izlazna veličina 'Q' proračuna 'Bušenje (m1)' dodjeljuje kao ulazna veličina proračunu 'Miniranje (m2)'. Ukupna duljina bušotina koje je potrebno izraditi za pridobivanje neke količine stijene zavisi o geometrijskim parametrima miniranja, zbog čega proračun miniranja sadrži izlaznu veličinu učinka miniranja 'Um' koja definira obujam stijenske mase po metru bušotine. Ovaj podatak čini ulaznu veličinu proračunu bušenja. Proračun miniranja je izveden tako da iz vanjskog skupa, između ostalog, povlači i koeficijent rastresitosti te ga primjenjuje za izračun izlazne količine.

Zatim slijedi gravitacijski transport dozerom. Izlazna količina proračuna miniranja ovdje se prenosi u pomoćni proračun 'Obujam prebacivanja'. Proračun preuzima geometrijske parametre kopa iz vanjskog skupa te iz ulazne količine računa obujam stijene za gravitacijski transport. Nova količina čini ulazni podatak proračunu 'Dozer (m2)' koji se odnosi na gravitacijski transport dozerom.

Pomoćni proračun 'Udio vangabarita' služi određivanju količine izvangabarita 'Q' u odminiranoj masi te srednje veličine izvangabarita 'X.50.van', što čini ulazne veličine za proračun usitnjavanja hidrauličnim čekićem 'Hidraulični čekić (m1)'. Za izračun količine i srednje veličine izvangabarita potrebni su parametri fragmentacijske krivulje odminirane mase KCO modela, 'X.in', 'X.50' i 'b.KCO' što su izlazne veličine proračuna miniranja i stoga povezane s proračunom udjela izvangabarita. Nadalje, potrebno je definirati donju granicu iznad koje se blokovi odminirane mase smatraju vangabaritima. U ovom slučaju se donja granica određuje na temelju ulaznog otvora drobilice 'Gd' koju proračun 'Udio vangabarita' povlači iz proračuna 'Drobilica (m1)'.

Za računski učinak drobilice važna je srednja veličina ulaznog zrna. Ta veličina primarno je rezultat fragmentacije postignute miniranjem, međutim naknadnim usitnjavanjem izvangabarita dolazi do promjene fragmentacijske krivulje a time i srednje veličine zrna na ulazu drobilice. Pomoćni proračun 'X.50 (m1)' služi određivanju srednje veličine zrna koja rezultira iz dvaju materijala različite fragmentacije. U ovom slučaju potrebno je uzeti fragmentacijsku krivulju KCO modela ispod donje veličine izvangabarita, granulaciju do koje se izvangabariti usitnjavaju, te količine jednog i drugog materijala da bi se izračunala rezultantna srednja veličina zrna. To je postignuto povezivanjem s izlaznim veličinama 'X.50' i 'Q' iz proračuna 'Miniranje (m2)' te granulacije usitnjavanja izvangabarita 'D.d' i količine 'Q' iz proračuna 'Udio vangabarita'. Ovako određena srednja veličina zrna čini ulaznu veličinu proračun 'Drobilica (m1)'.

Pokretna postrojenja za sitnjenje i klasiranje zahtijevaju rad u kompleksu s nekim od utovarnih strojeva. Optimalan način rada se postiže kada su strojevi u kompleksu usklađenog učinka. Ako ovo nije slučaj, tada će broj sati rada za neku količinu materijala zavisiti o stroju manjeg učinka, dok će stroj većeg učinka biti manje opterećen i moguće nedovoljno iskorišten. Osim toga, zavisno o svojstvima stijenskog materijala može se pojaviti potreba za pripremom, odnosno razvrstavanjem i selektivnim zahvatom utovarnim strojem prethodno utovaru, na što će biti utrošeno dodatno vrijeme utovarnog stroja. U praksi su utovarni strojevi redovito većeg učinka. Stoga se ovdje učinak drobilice 'Qef' iz proračuna 'Drobilica (m1)' povezuje s proračunom 'Bager (m1)' da bi se odredio broj radnih sati bagera, te informativno pokazatelj usklađenosti učinaka.

Različite frakcije materijala, bilo nakon miniranja ili sitnjenja i klasiranja, mogu imati različite putanje u eksploatacijskom procesu. Da bi se računski odredila količina određene frakcije potrebno je poznavati parametre fragmentacijske krivulje izvornog materijala, te definirati gornju i donju granicu dotične frakcije. U računskom modelu je predviđeno korištenje tri vrste krivulja, Rosin-Ramlerove dvo-parametarske kakvom rezultira klasični Kuz-Ram model, takozvane Swebrec tro-parametarske krivulje kakvom rezultira KCO model, te eksponencijalne dvo-parametarske koja opisuje fragmentaciju izlaznog materijala drobilice (poglavlje 2.2.7). Za svaku od ovih vrsta krivulja postoji pomoćni proračun 'Udio frakcije' koji uz zadane granice računa udio, količinu i srednju veličinu zrna te frakcije, isto kao i proračun 'Udio vangabarita'. Na gornjoj shemi određuje se količina frakcije nakon drobljenja koja je predviđena za kamionski transport. Proračun 'Udio frakcije' preuzima ukupnu količinu

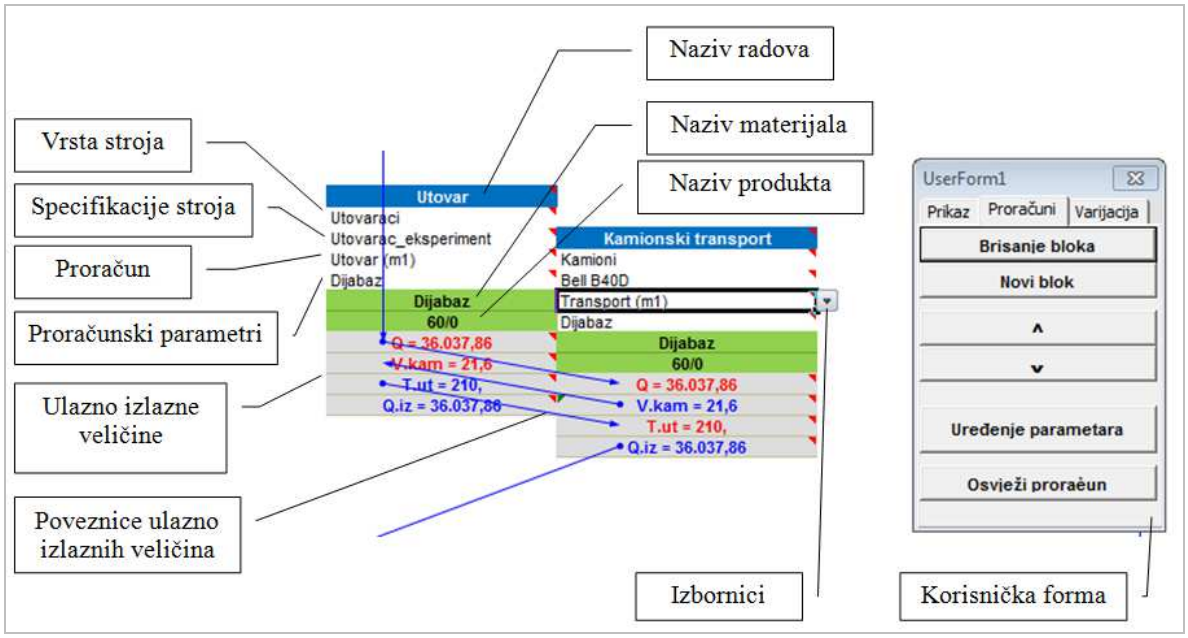
izlaza drobilice 'Q' te parametre krivulje 'r.max' i 'm' iz proračuna 'Drobilica (m1)', dok se gornja i donja granica frakcije, 'D.g' i 'D.d' unose izravno na shemu.

Posljednji radni proces na prikazanoj shemi je kamionski transport. Broj ciklusa utovarnog stroja a time i trajanje utovara pri kamionskom transportu ovisi o zapremnini sanduka kamiona te zapremnini lopate utovarnog stroja. Također i ciklus kamionskog transporta zavisi o trajanju utovara. Stoga su proračuni povezani tako da proračun 'Utovarač (m1)' prosljeđuje količinu materijala 'Q' i vrijeme trajanja utovara 'Tu' proračunu 'Kamion (m1)', a proračun 'Kamion (m1)' prosljeđuje zapremninu materijala u sanduku kamiona 'Vk' proračunu 'Utovarač (m1)'.

4.3. Aplikacija za postavljanje računskog modela

Za potrebe postavljanja računskog modela, usporedbe više različitih eksploatacijskih sustava te varijacije ključnih parametara, izrađena je aplikacija pomoću VBA paketa unutar Microsoft Excela. Osnovna namjena aplikacije je interaktivna manipulacija računskim modelom, izvođenje proračuna te prikazivanje rezultata. Dok u istraživačkom dijelu rada aplikacija služi za razvoj i testiranje proračunskih relacija na temelju iskustvenih i mjerenih podataka.

Osnovna ideja je raščlaniti eksploatacijski proces u blokove na eksploatacijskoj shemi, primjer kojega prikazuje slika 4.2. Svaki blok na shemi predstavlja jedan radni proces, iza kojeg stoji proračun učinaka/utrošaka, ovisno o vrsti stroja koji se primjenjuje u tom procesu. Blokovi sadrže izbornike kojima je moguće odabrati vrstu stroja, proračun prema kojem se računaju učinci/utrošci za taj stroj, set parametara koji definiraju specifikacije stroja, te set specifičnih proračunskih parametara. U blokove se proizvoljno upisuju nazivi radova, vrste materijala u kojem se rad odvija te naziv izlaznog proizvoda ili poluproizvoda. Na blokovima je moguće prikazati i/ili upisivati ulazno-izlazne veličine proračuna te ih dijeliti među blokovima, tako da pojedinačni proračuni mogu biti međusobno povezani varijablama. Na taj način niz blokova čini računski model eksploatacijskog procesa.



Slika 4.2 Isječak blokova eksploatacijske sheme

Eksploatacijska shema je koncipirana tako da grafički predstavlja tok eksploatacijskog procesa. U bilo kojem trenutku može se izmijeniti, dodavanjem, premještanjem ili brisanjem blokova. Time se mijenjaju radni procesi i njihov redoslijed, i postavljaju već prema željenoj

eksploatacijskoj shemi. Isto tako je u bilo kojem trenutku moguće unutar svakog bloka promijeniti vrstu i tip stroja, vrstu proračuna te setove parametara koji se primjenjuju. Paralelno postavljanju i povezivanju blokova ulazno-izlaznim veličinama na eksploatacijskoj shemi, automatski se ažuriraju proračuni pri svakoj promjeni.

Aplikacija se sastoji od ukupno tri datoteke MS Excela, ekstenzije xls. U prvoj se datoteci definiraju podaci vezani za konkretni slučaj eksploatacije, tj. sadrži definiranu eksploatacijsku shemu s povezanim blokovima, vrijednosti potrebnih ulaznih parametara za konkretni slučaj eksploatacije, i također rezultate prikazane tablično i grafički. Preostale dvije datoteke nisu vezane za konkretni slučaj eksploatacije, već jedna služi općenito kao baza strojeva i materijala te njihovih specifikacija, dok su u drugoj definirani razni proračuni iz domene rudarstva, vezani za učinke strojeva, parametre miniranja, pomoćni proračuni i sl. Tri datoteke su programski povezane i sadrže iste nazive veličina koje međusobno izmjenjuju prilikom kalkulacije. Prema odabranom proračunu, vrsti i setu specifikacija stroja, te odabranom setu specifičnih proračunskih parametara unutar bloka, aplikacija preuzima proračun iz datoteke proračuna i s njime povezuje potrebne veličine. Istovremeno u datoteci s eksploatacijskim podacima povezuje tražene rezultate s tabelama i grafikonima, te ih strukturira prema nazivima radova, materijala, proizvoda i stroja.

U datoteci s proračunima (slika 4.3) unose se matematičke relacije proračuna za pojedini stroj/radni proces. Za svaki proračun se formiraju nazivi i oznake parametara koji se zatim povezuju s potrebnim matematičkim relacijama. U proračunima se definira koje parametre aplikacija povlači iz seta specifikacija strojeva a koje iz seta specifičnih proračunskih parametara. Zatim se definira koje parametre prikazati kao ulazno izlazne veličine na eksploatacijskoj shemi radi povezivanja blokova, te koje parametre se želi prikazati u rezultatima.

	A	B	C	I
1			**Prikaži sve**	**Izvangabariti KCO**
2	**Specifikacije strojeva**			
4	**Zajednicki parametri**			
41	**Specificni parametri**			
43	Veličina bloka in situ (mm)	X.in	1200	1200
44	Srednja veličina vangabarita (mm)	X.50.van	799,752412813411	=X.in*(X.in/X.50)^((-1*(1/(((100-U.frac/2)/100)-1)^(1/B.KCO)))
45	Srednja veličina usitnjenog vangabarita (mm)	X.50.us	634,763910707051	=(X.50.van^3/ROUNDUP((X.50.van/D.d)^3;0))^(1/3)
47	**Formule**			
48	Volumen materijala (m3)	Q	140000	140000
49	Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	14551,4752776033	**=Q*U.frac/100**
56	Donja veliėina frakcije (mm)	D.d	700	700
59	Udio frakcije (%)	U.frac	10,3939109125736	=100*(1-1/(1+(LN(X.in/D.d)/LN(X.in/X.50))^B.KCO))
60	Srednja veličina bloka (mm)	X.50	354,67	354,67
61	Parametar oblika krivulje b	B.KCO	2,64	2,64
502				

Slika 4.3 Datoteka proračuna

U ovoj datoteci je također moguće izvoditi proračune neovisno o podacima u ostalim datotekama, unošenjem proizvoljnih parametara. Tako je moguće testirati i usporediti više različitih proračuna za isti stroj/radni proces.

U datoteci strojeva obavlja se unos specifikacija strojeva i materijala upotrebljavanih pri eksploataciji (npr. eksploziva). Iz ove datoteke aplikacija povlači veličine definirane nazivom seta specifikacija odabranim u bloku proračuna na eksploatacijskoj shemi. Slika 4.4 prikazuje primjer baze specifikacija kamiona.

	A	B	C	D	E	F	G
1		Kapacitet sanduka (m3)	Kapacitet SAE 2:1	Kapacitet SAE 1:1	Nosivost (t)	Snaga pogonskog motora (kW)	Normativ potrošnje goriva (kg/h)
2		Vo	V.SAE.2	V.SAE.1	Nt	Pm	Npg
3	Bell B40D	18	22,6	27,4	37	315	32
4	Tatra Jamal						
5	Terex TR45	19,6	26		40	392	
6	Kamion_eksperiment	18	26	28	40	400	32
7							
8							
9							
10							
11							
12							

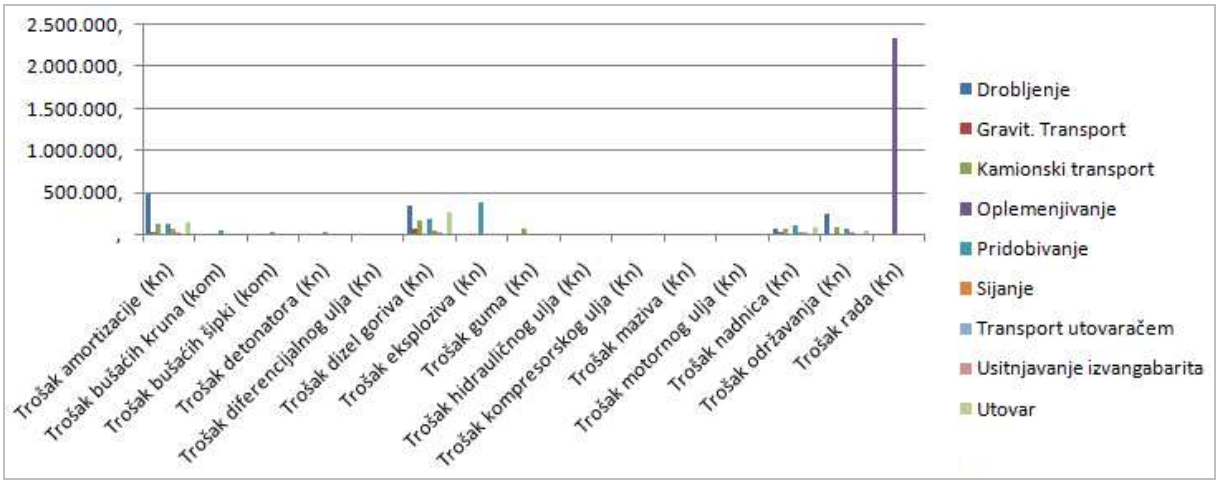
Slika 4.4 Datoteka baze strojeva

Rezultati proračuna su bilo koje veličine označene u datoteci proračuna kao izlazne za prikaz u tabelama i grafikonima. Najčešće se to odnosi na utroške i troškove eksploatacije, ali mogu se prikazivati i učinci strojeva, cijene koštanja rada strojeva, količine stijenskog materijala ili druge veličine koje se želi razmotriti. Podaci rezultata čine ulazne veličine za takozvane 'pivot' tabele i grafikone u MS Excelu. Ovaj tip tabela i grafikona koriste oznake ili 'tagove' dodijeljene pojedinim veličinama za strukturiranja prikaza. U ovom slučaju iskorišteni su nazivi radova, materijala, proizvoda i strojeva definirani u blokovima proračuna na eksploatacijskoj shemi. To znači da su sve veličine odabrane za prikaz u rezultatima označene ovim nazivima. Pivot tabele i grafikone je moguće jednostavno i brzo modificirati da strukturiraju i sumiraju veličine prema nazivu radova, nazivu materijala, nazivu proizvoda, nazivu stroja i njihovim kombinacijama, jednostavnim uključivanjem i isključivanjem oznaka. Tako je moguće prikazati primjerice koliko je neki bager utrošio goriva na utovaru dijabaza, ili na svim radovima u dijabazu, ili ukupno u cijelom eksploatacijskom procesu, itd. Ovo je način za usporedbu više različitih varijanti eksploatacije prema bilo kojim zajedničkim veličinama. Slike 4.5 i 4.6 daju primjer eksploatacijskih troškova strukturiranih prema nazivu radova, s izbornikom koji omogućuje odabir naziva materijala u kojem se radovi odvijaju.

	B	C	D	E	F	G
1						
2	Column	(All)				
3	Page2	(All)				
4	Page3					
5						
6	Sum of Value					
7	Row		Gravit. Transport	Kamionski transport	Oplemenjivanje	Pridobivanje
8	Trošak amortizaci		18.563,05	124.318,81		119.793,27
9	Trošak bušaćih kr					31.351,11
10	Trošak bušaćih ši					15.675,55
11	Trošak detonatora					13.938,
12	Trošak diferencija		746,35	5.009,86		3.408,46
13	Trošak dizel goriv		52.387,72	160.575,84		186.180,3
14	Trošak eksploziva					376.819,22
15	Trošak guma (Kn)			55.665,14		
16	Trošak hidraulično		186,59	1.252,47		852,12
17	Trošak kompresor					348,35
18	Trošak maziva (K		199,03	1.335,96		908,92
19	Trošak motornog		1.194,15	8.015,78		5.453,54
20	Trošak nadnica (K		12.781,22	60.587,9		99.699,59
21	Trošak održavanja (Kn)	252.280,6	7.833,29	74.474,65		52.193,87
22	Trošak rada (Kn)				2.331.965,81	
23	Grand Total	1.117.789,9	93.891,4	491.236,41	2.331.965,81	906.622,29
24						
25						

(All)
Dijabaz
Humus
Klastit
Otkrivka
Pješčenjak
Select Multiple Items
OK
Cancel

Slika 4.5 Tablični prikaz eksploatacijskih troškova



Slika 4.6 Grafički prikaz eksploatacijskih troškova

Posebni način rada aplikacije je varijacija parametara. Za postavljenu eksploatacijsku shemu moguće je odabrati više parametara koje se želi mijenjati, uz zadavanje donje i gornje granične vrijednosti te inkrementa promjene parametra. Pokretanjem varijacije, tablično i grafički se promatra promjena ranije odabranih veličina (za prikaz rezultata) u odnosu na promjenu variranih parametara. Tako je moguće promatrati npr. ukupne troškove eksploatacije u odnosu na promjenu učinka strojeva, fragmentacije mineralne sirovine ili koeficijenta otkrivke i iskorištenja otkrivke, u svrhu iznalaženja njihova minimuma.

5. PROCJENA TROŠKOVA EKSPLOATACIJE RAČUNSKIM MODELOM

Postavljene su četiri eksploatacijske sheme za koje su izračunati troškovi eksploatacije. Sheme se međusobno razlikuju prema eksploatacijskim troškovima, ali i količini i vrsti gotovih proizvoda o čijim tržišnim cijenama ovise prihodi. Stoga povoljnija shema ne mora nužno polučiti najniže eksploatacijske troškove, ukoliko su prihodi dovoljno visoki da opravdaju veće troškove. Iz ovog razloga su sheme uspoređene temeljem strukture eksploatacijskih troškova, ali i omjera prihoda i troškova, gdje povoljniju shemu karakterizira veći omjer.

Model eksploatacije postavljen je za period od jedne godine, tijekom koje se eksploatira 61.000 m^3 dijabaza u sraslom stanju, što iznosi oko 180.000 t i čini prvu ulaznu veličinu modela. Koeficijent otkrivke postavljen je na 0,8 s udjelom humusa 12,4%, pješčenjaka 22,1% i klastita 65,5%, što čini volumni odnos u ležištu prema Elaboratu o rezervama. Širine bermi radnih etaža iznose 5m, uz visinu etaža 20m u dijabazu te 15m u klastitima i pješčenjacima. Nagibi kosina radnih etaža iznose 70° u dijabazu te 55° u klastitima i pješčenjacima.

Tehnologija pridobivanja otkrivke i mineralne sirovine zajednička je svim shemama. Prema svojstvima sastavnica stijenske mase ležišta predviđeno je pridobivanje humusnog sloja dozerom, uz istovremeni gravitacijski transport prema niželežećoj etaži. Pridobivanje klastita predviđeno je bagerom s dubinskom lopatom, pješčenjaka hidrauličnim čekićem, a dijabaza bušenjem i miniranjem. Pri gravitacijskom transportu odvija se preguravanje dozerom na trenutno radnoj etaži u otkrivci, gdje je širina zahvata u smjeru napredovanja fronti 10m, a na svim ispodležećim etažama se zbog širine berme od 5m odvija prebacivanje bagerom. U dijabazu, i pješčenjacima za slučaj iskorištavanja otkrivke, predviđena je širina zahvata od 5m i gravitacijski transport isključivo bagerom.

Jalove sekcije ležišta i jalovina izdvojena na pokretnim postrojenjima odlažu se unutar kopa, uz kamionski transport za koji je usvojena prosječna udaljenost od 200m. Deponije gotovih proizvoda unutar kopa, izdvojenih na pokretnim postrojenjima, slijede otkopnu frontu na udaljenosti od 50m, što je uzeto za transportnu udaljenost utovarivača kod premještanja gotovih proizvoda.

Stacionarno postrojenje za oplemenjivanje ugrađeno je u računski model kao izdvojeni sustav s fiksno definiranim učinkom i troškom radnog sata, u kojem se mijenjaju jedino ulazne količine stijenskog materijala kao rezultat prethodnih radnih procesa. Postrojenje se

sastoji iz tri dijela od kojih jedan ima funkciju primarnog sitnjenja i klasiranja, drugi sekundarnog sitnjenja i klasiranja, a treći pranja i klasiranja mineralne sirovine. Primjena stacionarnog postrojenja zavisi o eksploatacijskoj shemi, odnosno primjeni pokretnih postrojenja za primarno sitnjenje i klasiranje. Na svim shemama dio sirovine prolazi sekundarno sitnjenje i klasiranje te pranje na stacionarnom postrojenju. Na shemama bez primjene pokretnih postrojenja za oplemenjivanje, primarno sitnjenje i klasiranje odvija se na stacionarnom postrojenju.

Ulazne veličine modela određene su na temelju analiza, mjerenja, empirijskih ili literarnih podataka iznesenih u prethodnim poglavljima. Potrebne veličine iskazane su prilozima 2 i 3 u obliku setova podataka nazivom vezanih na proračunske sheme u prilozima 4 do 7.

Prva shema (prilog 4) pretpostavlja eksploataciju bez iskorištenja dijela otkrivke i primjenom pokretnih postrojenja. Cjelokupni humus te pješčenjaci i klastiti radlovačke serije smatraju se otkrivkom-jalovinom, a dijabaz se kao primarna mineralna sirovina djelomično oplemenjuje na pokretnim postrojenjima te djelomično transportira do 4000m udaljenog stacionarnog postrojenja. Pridobivanje pojedinih sastavnica otkrivke vrši se već navedenom tehnologijom. Budući nije potrebna selekcija stijenskog materijala otkrivke, gravitacijski transport dozerom i bagerom te kamionski transport do jalovišta mogu biti zajednički bez obzira na vrstu materijala. Za dijabaz, kao mineralnu sirovinu potrebno je selektivno pridobivanje kao i odvojeni ostali radovi. Stoga ovaj dio eksploatacije čini zasebnu granu računske sheme, uključujući bušenje i miniranje, gravitacijski transport do osnovnog platoa te usitnjavanje hidrauličnim čekićem. Nakon toga, dijabaz se djelomično oplemenjuje na pokretnom postrojenju za drobljenje i klasiranje, čime se dobivaju tri proizvoda. Frakcija 30/0mm dobiva se predsijavanjem na pokretnom postrojenju izravno iz odminiranog stijenskog materijala, i čini jalovinu koja se odvozi do jalovišta. Frakcije 170/110mm i 110/60mm dobivaju se sitnjenjem i klasiranjem na pokretnoj drobilici, te čine gotovi proizvode za proizvodnju mineralne vune. Ove frakcije utovarivačem se prevoze do deponije unutar kopa. Frakcija 60/0mm je izlazni poluproizvod pokretne drobilice, koji se klasiranjem na pokretnom situ razdvaja na frakcije 60/16mm te 16/0mm. Obje frakcije se zasebno prevoze kamionskim transportom do stacionarnog postrojenja za proizvodnju agregata dijabaza, s time da krupnija frakcija prolazi sekundarno sitnjenje i klasiranje, a sitnija pranje i klasiranje. Oba postupka daju gotovi agregat frakcija 16/11, 11/8, 8/4, 4/2 te 2/0mm. Struktura eksploatacijskih troškova za ovu računsku shemu prikazana je tabelom 5.1.

Struktura gotovih proizvoda s prodajnim cijenama i prihodima prikazana je tabelom 5.2. Od ukupne mase dijabaza 2,85% se izdvaja predsijavanjem na pokretnom postrojenju kao otpadna sipina-jalovina. Drobljenjem i klasiranjem na pokretnom postrojenju dobiva se 24,59% frakcije 170/110mm te 31,97% frakcije 110/60mm. Preostalih 43,44% dobiva se na stacionarnom postrojenju kao kamene frakcije, što je objedinjeno u jedan proizvod sa srednjom prodajnom cijenom. Ukupni prihodi i eksploatacijski troškovi rezultiraju omjerom od 2,89.

Tabela 5.1 Eksploatacijski troškovi sheme 1

	Drobljenje (pokretno postrojenje)	Gravit. transport	Kamionski transport	Stacionarno oplemenjivanje	Pridobivanje	Sijanje (pokretno postrojenje)	Transport utovarivačem	Usitnjavanje izvangabarita	Utovar	∑
Amortizacija	467.902	18.563	142.324		111.981	51.812	23.425	7.269	146.654	951.925
Bušače krune					31.351					31.351
Bušače šipke					15.676					15.675
Detonatori					13.938					13.938
Diferencijalno ulje	5.458	746	5.429		3.198	566	545	196	3.850	19.569
Dizel gorivo	333.544	52.388	176.117		186.180	48.189	20.220	7.996	266.722	1.080.272
Eksploziv					376.819					376.819
Gume			57.682				2.624		3.280	61.568
Hidraulično ulje	1.364	187	1.357		799	141	136	49	962	4.892
Kompresorsko ulje					348					348
Mazivo	1.455	199	1.448		852	151	145	52	1.026	5.218
Motorno ulje	8.732	1.194	8.686		5.166	905	873	314	6.161	31.311
Nadnice	67.067	12.781	68.819		95.236	29.133	10.709	4.153	80.455	360.122
Održavanje	232.269	7.833	77.914		49.077	29.774	4.475	2.900	44.490	445.293
Rad postrojenja				2.331.966						2.331.965
∑	**1.117.790**	**93.891**	**491.236**	**2.331.966**	**895.029**	**160.671**	**63.152**	**22.931**	**553.603**	**5.730.271**

Tabela 5.2 Struktura gotovih proizvoda i prihodi sheme 1

Proizvod	Količina (t)	Cijena (Kn/t)	Prihod (Kn)
Frakcija 170/110, za mineralnu vunu	42.638,6	92,00	3.922.755,36
Frakcija 110/60 za mineralnu vunu	55.434,9	74,00	4.102.180,07
Frakcije 16 - 0 mm za kameni agregat	75.319,1	115,00	8.548.852,64
		∑	**16.573.788,07**

Druga shema (prilog 5) pretpostavlja eksploataciju bez iskorištenja dijela otkrivke i bez primjene pokretnih postrojenja. Humus, klasiti i pješčenjaci smatraju se otkrivkom-jalovinom, što znači da je ova grana računske sheme istovjetna onoj u prvoj shemi, dok se dijabaz transportira i oplemenjuje na udaljenom stacionarnom postrojenju. Za dijabaz, kao mineralnu sirovinu, potrebno je selektivno pridobivanje kao i odvojeni ostali radovi. Budući u ovoj shemi nema primjene pokretnih postrojenja za oplemenjivanje, računska grana dijabaza sastoji se od pridobivanja, gravitacijskog transporta do osnovnog platoa, usitnjavanja izvangabarita te utovara i transporta cjelokupne mase do stacionarnog postrojenja za oplemenjivanje.

Struktura eksploatacijskih troškova za ovu računsku shemu prikazana je tabelom 5.3.

Tabela 5.3 Eksploatacijski troškovi sheme 2

	Gravit. transport	Kamionski transport	Stacionarno oplemenjivanje	Pridobivanje	Usitnjavanje izvangabarita	Utovar	∑
Amortizacija	18.563	248.839		111.981	8.200	43.165	430.749
Bušače krune				31.351			31.351
Bušače šipke				15.675			15.675
Detonatori				13.938			13.938
Diferencijalno ulje	746	10.028		3.197	221	1.005	15.198
Dizel gorivo	52.388	321.412		190.637	9.021	37.258	610.715
Eksploziv				376.819			376.819
Gume		111.420				4.834	116.254
Hidraulično ulje	187	2.507		799	556	251	3.799
Kompresorsko ulje				348			348
Mazivo	199	2.674		852	59	268	4.052
Motorno ulje	1.194	16.045		5.116	354	1.608	24.316
Nadnice	12.781	121.274		95.235	4.686	19.732	253.709
Održavanje	7.833	149.070		49.077	3.272	8.246	217.498
Rad postrojenja			3.970.124				3.970.123
∑	**93.891**	**983.268**	**3.970.124**	**895.029**	**25.870**	**116.367**	**6.084.550**

Za razliku od sheme 1 gdje je struktura gotovih proizvoda dijabaza rezultat računskog modela, odnosno fragmentacijskih krivulja, u shemi 2 pretpostavljeno je da će kompletno oplemenjivanje na stacionarnom postrojenju rezultirati istom količinom pojedinog proizvoda kao i shema 1. Stoga su i prihodi sheme 1 i 2 jednaki. Uz jednaku strukturu proizvoda i prihode te nešto veće troškove eksploatacije, omjer prihoda i troškova za ovu shemu iznosi 2,71.

Treća shema (prilog 6) pretpostavlja eksploataciju uz iskorištenje dijela otkrivke i primjenom pokretnih postrojenja za sitnjenje i klasiranje. U ovoj shemi grana dijabaza

istovjetna je grani sheme 1, tj. uključuje pridobivanje bušenjem i miniranjem, gravitacijski transport, usitnjavanje izvangabarita, djelomično oplemenjivanje na pokretnim postrojenjima, te utovar i transport dijela dijabaza do stacionarnog postrojenja. Pješčenjaci i dio klastita smatraju se iskoristivim sastavnicama otkrivke, i stoga zahtijevaju selektivno pridobivanje i odvojene ostale radove. Pridobivanje pješčenjaka obavlja se hidrauličnim čekićem što omogućuje izravno postizanje ciljane granulacije. Nakon gravitacijskog transporta bagerom pješčenjaci se usitnjavaju i klasiraju na pokretnom postrojenju, što rezultira otpadnom sipinom-jalovinom izdvojenom predsijavanjem, te preostalim frakcijama veličine do 60mm koje čine tamponsku mješavinu kao gotovi proizvod. Za razliku od bušenja i miniranja u dijabazu, gdje KCO model daje fragmentacijsku krivulju iz koje se određuje udio jalovine i ostalih frakcija, ovdje ne postoji takva mogućnost. Stoga su udjeli izravno dodijeljeni proračunu a vrijednosti određene na temelju iskustva koncesionara. Jalovina (10%) se odvozi kamionskim transportom, dok se tamponska mješavina (90%) utovarivačem prevozi do obližnje deponije. Klastiti se pridobivaju selektivno bagerom s dubinskom lopatom. Dio klastita (40%) smatra se neiskoristivim, tj. uopće ne sadrži kvalitetni kamen ili je njegov udio nedovoljan za dalju preradu. Ovakve sekcije ležišta nakon pridobivanja se gravitacijskim transportom prebacuju do osnovnog platoa i kamionskim transportom prevoze do jalovišta, zajedno sa humusom. Iskoristive sekcije klastita (60%) zasebno se pridobivaju i gravitacijski prebacuju radi zadržavanja kvalitete. Nakon gravitacijskog transporta slijedi sijanje na pokretnom postrojenju Flex Roro, koje izdvaja jalovinu (20%) od korisnog kamena a korisni kamen (80%) klasira na frakcije -80mm i +80mm. Frakcija +80mm (50%) sitni se na pokretnom postrojenju, čime se dobiva tamponska mješavina kao gotovi proizvod, koji se utovarivačem transportira do obližnje deponije. Frakcija -80mm (50%) kamionskim transportom se prevozi do stacionarnog postrojenja za pranje i klasiranje, čime se opet dobiva tamponska mješavina. Kao i u slučaju pješčenjaka, ne postoji karakteristika klastita kojom se određuju udjeli jalovine i korisnog kamena, već se izravno dodjeljuju proračunima na temelju Elaborata o rezervama ili iskustvenih vrijednosti koncesionara.

Struktura eksploatacijskih troškova za ovu računsku shemu prikazana je tabelom 5.4.

Struktura gotovih proizvoda koji potječu od dijabaza istovjetna je ostalim shemama. Dodatne proizvode ovdje čine tamponske mješavine dobivene preradom pješčenjaka i klastita (tabela 5.5). Sitnjenjem i klasiranjem pješčenjaka na pokretnom postrojenju izdvaja se 10% jalovine predsijavanjem, dok ostatak čini tamponsku mješavinu. Sijanjem iskoristivih sekcija

klastita na pokretnom situ izdvaja se 20% jalovine, dok 80% čini tamponsku mješavinu nakon sitnjenja ili pranja. Omjer prihoda i eksploatacijskih troškova ove sheme iznosi 2,91.

Tabela 5.4 Eksploatacijski troškovi sheme 3

	Drobljenje (pokretno postrojenje)	Gravit. transport	Kamionski transport	Stacionarno oplemenjivanje	Pridobivanje	Sijanje (pokretno postrojenje)	Transport utovarivačem	Usitnjavanje izvangabarita	Utovar	∑
Amortizacija	640.879	20.476	128.214		116.872	65.198	37.260	7.269	202.763	1.218.930
Bušače krune					31.351					31.351
Bušače šipke					15.675					15.675
Detonatori					13.938					13.938
Diferencijalno ulje	7.475	742	5.027		3.329	722	867	196	5.610	23.969
Dizel gorivo	456.850	53.064	162.090		200.697	52.862	32.161	7.996	388.551	1.354.272
Eksploziv					376.819					376.819
Gume			54.653				4.173		8.061	66.887
Hidraulično ulje	1.869	185	1.257		832	181	217	49	1.403	5.992
Kompresorsko ulje					348					348
Mazivo	1.993	198	1.341		887	193	231	52	1.496	6.391
Motorno ulje	11.960	1.187	8.043		5.327	1.156	1.388	314	8.976	38.351
Nadnice	91.860	13.375	62.238		98.030	33.131	17.033	4.153	112.976	432.798
Održavanje	318.135	8.081	73.459		50.697	33.860	7.118	2.900	68.957	563.209
Rad postrojenja				2.715.150						2.715.150
∑	**1.531.022**	**97.309**	**496.322**	**2.715.150**	**914.807**	**187.303**	**100.449**	**22.931**	**798.793**	**6.864.086**

Tabela 5.5 Struktura proizvoda sheme 3

Proizvod	Količina (t)	Cijena (Kn/t)	Prihod (Kn)
Frakcija 170/110, za mineralnu vunu	42.638,6	92,00	3.922.755,36
Frakcija 110/60 za mineralnu vunu	55.434,9	74,00	4.102.180,07
Frakcije 16 - 0 mm za kameni agregat	75.319,1	115,00	8.548.852,64
Tamponska mješavina (pješčenjak)	25.818,8	53,00	1.168.396,90
Tamponska mješavina (klastit)	38.318,4	53,00	2.030.788,50
		∑	**19.973.062,55**

Četvrta shema (prilog 7) pretpostavlja eksploataciju uz iskorištenje dijela otkrivke i bez primjene pokretnih postrojenja. Grana radova u dijabazu istovjetna je grani u računskoj shemi 2, tj. selektivno pridobivanje i odvojeni ostali radovi uz transport cjelokupnog dijabaza do stacionarnog postrojenja za oplemenjivanje. Radovi u otkrivci uključuju selektivno

pridobivanje pješčenjaka i dijela klastita uz odvojene ostale radove, slično kao u shemi 3. Razlika je u tome što što nema primjene pokretnih postrojenja, već se pješčenjaci i iskoristive sekcije klastita prevoze kamionskim transportom do stacionarnog postrojenja za oplemenjivanje. Pješčenjaci se pridobivaju hidrauličnim čekićem uz istovremeno usitnjavanje većih blokova. Nakon gravitacijskog transporta do osnovnog platoa slijedi utovar i kamionski transport do stacionarnog postrojenja.

Struktura eksploatacijskih troškova za ovu računsku shemu prikazana je tabelom 5.6.

Tabela 5.6 Eksploatacijski troškovi sheme 4

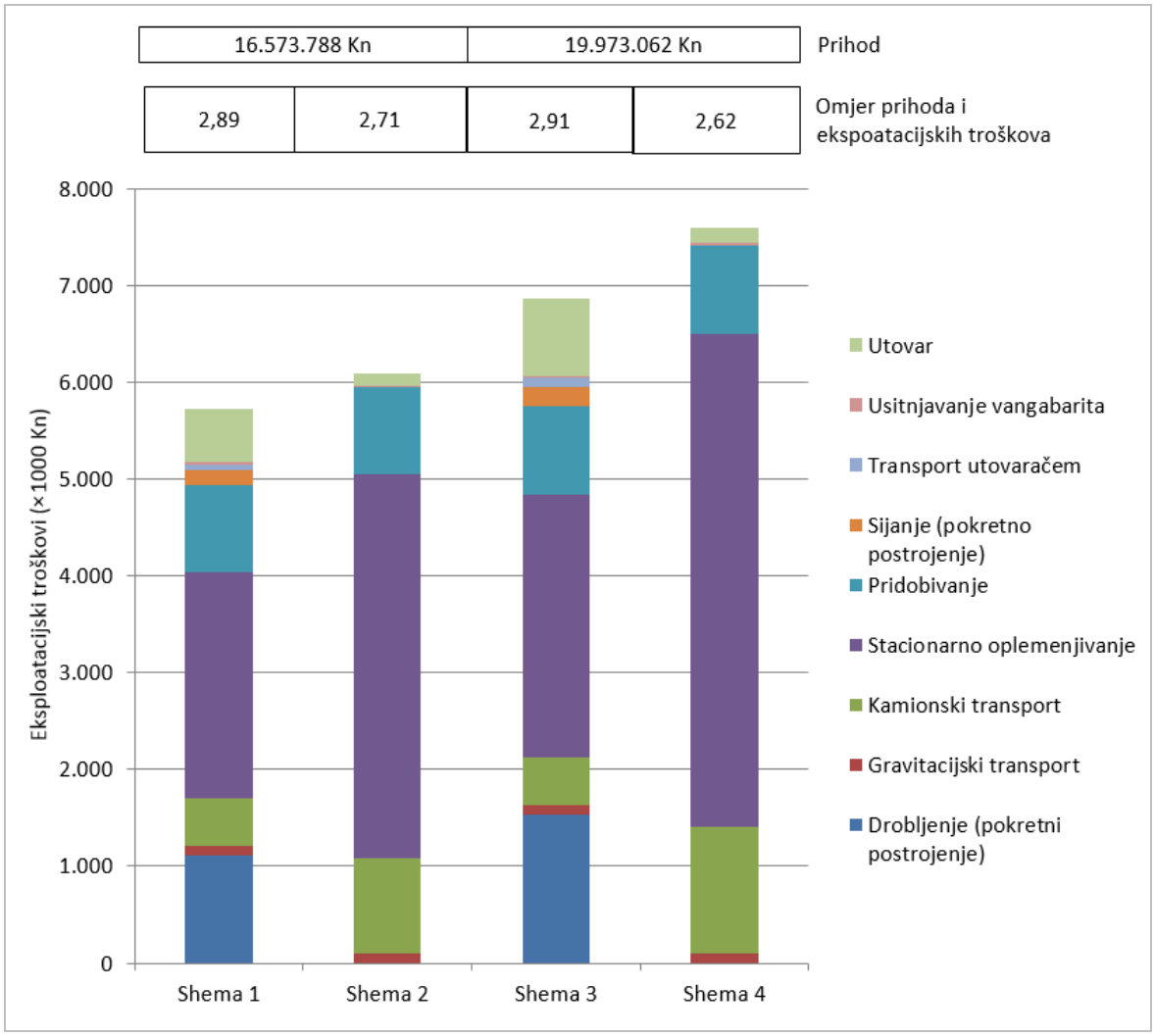
	Gravit. Transport	Kamionski transport	Stacionarno oplemenjivanje	Pridobivanje	Usitnjavanje izvangabarita	Utovar	∑
Amortizacija	20.476	332.323		116.872	8.200	54.312	532.183
Bušače krune				31.351			31.351
Bušače šipke				15.675			15.675
Detonatori				13.938			13.938
Diferencijalno ulje	742	13.252		3.329	221	1.508	19.053
Dizel gorivo	53.064	425.726		200.697	9.021	53.013	741.523
Eksploziv				376.819			376.819
Gume		146.045				10.889	156.934
Hidraulično ulje	185	3.313		832	55	377	4.763
Kompresorsko ulje				348			348
Mazivo	198	3.534		887	59	402	5.080
Motorno ulje	1.187	21.204		5.327	354	2.413	30.485
Nadnice	13.375	161.713		98.030	4.686	25.261	303.065
Održavanje	8.081	195.733		50.697	3.272	16.217	274.000
Rad postrojenja			5.095.215				5.095.215
∑	**97.309**	**1.302.843**	**5.095.215**	**914.807**	**25.870**	**164.392**	**7.600.437**

Pretpostavljeno je da će oplemenjivanje na stacionarnom postrojenju rezultirati istim količinama pojedinog proizvoda iz otkrivke kao i uz primjenu pokretnih postrojenja, tj. kao u shemi 3. Stoga su struktura gotovih proizvoda, prodajna cijena i prihodi istovjetni su za ove dvije sheme. Veći eksploatacijski troškovi uzrokuju pad omjera prihoda i troškova koji za ovu shemu iznosi 2,62.

Za postavljene računske sheme i uvjete eksploatacije dobivene strukture eksploatacijskih troškova te omjeri prihoda i troškova su radi lakše usporedbe prikazani skupnim dijagramom na slici 5.1.

Strukture eksploatacijskih troškova razlikuju se po shemama najviše zbog promjene količina stijenskog materijala u pojedinim radovima. Na dijagramu je uočljivo kako su troškovi pridobivanja i gravitacijskog transporta približno jednaki u svim shemama, jer ne

postoji promjena u količini materijala, ni tehnologiji i uvjetima rada strojeva. Isto vrijedi i za usitnjavanje izvangabarita koje se odvija samo u dijabazu. Značajnije razlike u troškovima javljaju se kod radova utovara, transporta kamionima i utovarivačem te oplemenjivanja na stacionarnom i pokretnim postrojenjima.



Slika 5.1 Usporedba računskih shema

Najveći trošak u svim shemama proizlazi iz oplemenjivanja na stacionarnom postrojenju, međutim znatno je niži u slučaju djelomičnog oplemenjivanja na pokretnim postrojenjima, tj. u shemi 1 i 3. U ovim shemama pojavljuje se značajni trošak drobljenja na pokretnom postrojenju te manje izraženi trošak sijanja na pokretnom postrojenju. Kako pokretna postrojenja zahtijevaju rad u kompleksu s utovarnim strojem, znatno je povećan i trošak utovara. Budući se dobiva dio gotovih proizvoda unutar kopa, pojavljuje se i trošak transporta utovarivačem do deponije. Nasuprot tome, primjena pokretnih postrojenja i proizvodnja gotovih proizvoda unutar kopa uzrokuje više nego dvostruko smanjenje troškova kamionskog transporta.

Eksploatacija bez iskorištenja otkrivke u shemama 1 i 2 polučuje niže ukupne troškove zbog manjih količina stijenskog materijala koji prolazi oplemenjivanje te utovar i transport. Međutim istovremeno ovdje ne postoje gotovi proizvodi iz otkrivke koji u eksploataciji s iskorištavanjem otkrivke povećavaju prihode.

Prema omjeru prihoda i troškova najpovoljnija je shema 3, s omjerom 2,91. To znači da je sustav eksploatacije primjenom pokretnih postrojenja i iskorištavanjem dijela otkrivke najrentabilniji.

Iduća shema prema rentabilnosti je shema 1, tj. sustav eksploatacije primjenom pokretnih postrojenja ali bez iskorištavanja otkrivke, s omjerom prihoda i troškova 2,89.

Treća po rentabilnosti je shema 2, tj. sustav eksploatacije bez primjene pokretnih postrojenja i bez iskorištavanja otkrivke, s omjerom prihoda i troškova 2,71.

Najnepovoljnija po rentabilnosti je shema 4, odnosno sustav eksploatacije s iskorištavanjem otkrivke i bez primjene pokretnih postrojenja, s omjerom 2,62. U odnosu na ostale sheme značajno su veći troškovi transporta do stacionarnog postrojenja i samog oplemenjivanja a prihodi jednaki kao u shemi 3.

6. GRANIČNI EKSPLOATACIJSKI UVJETI RAČUNSKIH SHEMA

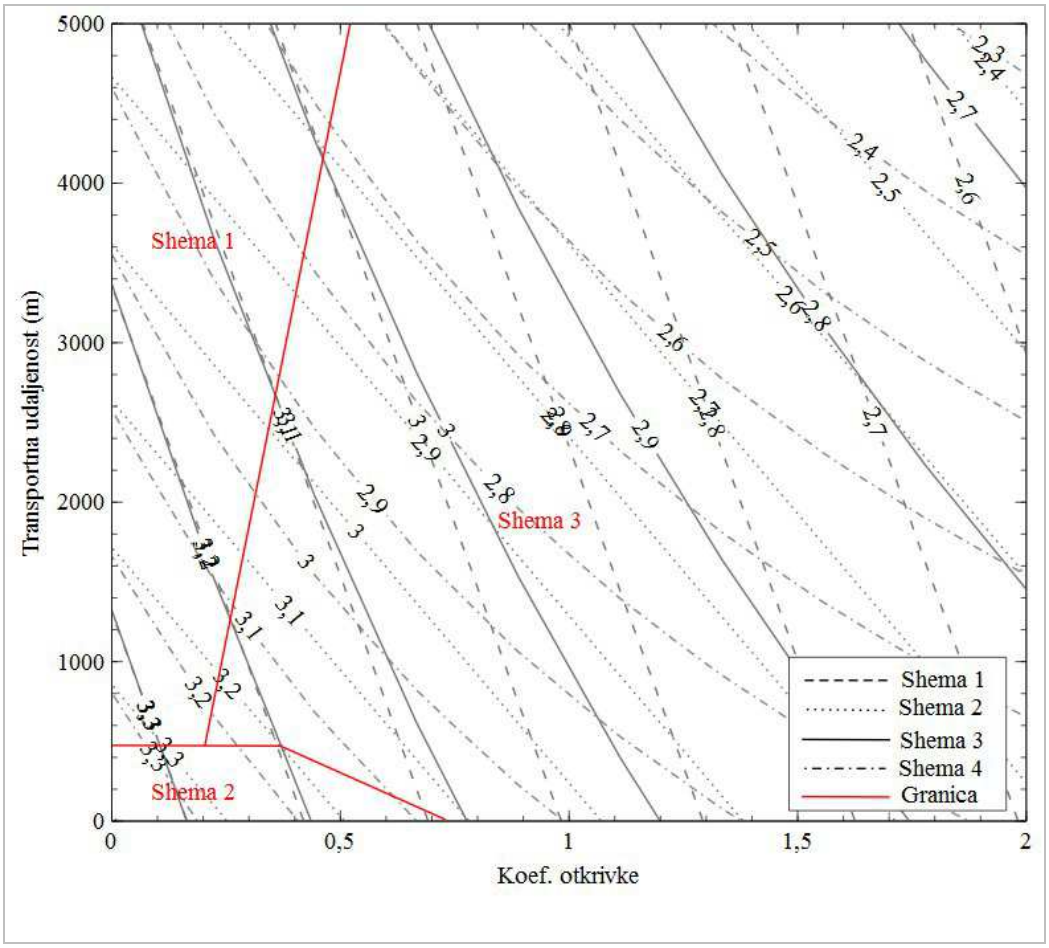
Za određivanje graničnih uvjeta u kojima je jedna shema povoljnija od ostalih, potrebno je obaviti varijaciju veličina prema kojima se sheme uspoređuju. Prema definiranim ciljevima istraživanja, sheme su uspoređene za različite uvjete, promjenom koeficijenta otkrivke, transportne udaljenosti do stacionarnog postrojenja za oplemenjivanje, te za slučaj iskorištavanja otkrivke promjenom stupnja iskoristivosti otkrivke.

U eksploataciji na kopu Žervanjska primarna mineralna sirovina je dijabaz čija svojstva variraju unutar ležišta, ali prostorno čini zasebne sekcije koje ne sadrže ili sadrže vrlo malo jalovih primjesa. Stoga se cjelokupna masa dijabaza može smatrati iskoristivom. Isto vrijedi i za pješčenjake koji čine zasebnu sekciju u sjevernom dijelu ležišta. Međutim klastiti koji imaju najveći udio u masi otkrivke mogu varirati prema kvaliteti i udjelu korisnog kamena. Iz ovog razloga se pod iskoristivosti otkrivke smatra udio korisnog kamena u klastitima, na slijedeći način. Sekcije klastita koje ne sadrže dovoljno kvalitetni kamen nakon pridobivanja predstavljaju jalovinu i ne ulaze dalje u proizvodnju. Sekcije klastita koje sadrže kvalitetni kamen pridobivaju se selektivno te ulaze u proizvodnju. Varijacijom se mijenja udio korisnog kamena u ovim sekcijama, tj. odnos izlaznog gotovog proizvoda i klastita koji ulazi u preradu na postrojenjima. Pri tome je količina klastita koja ulazi u preradu konstantna, ali se mijenja količina korisnog kamena i jalovine koja se izdvaja preradom.

Za sve četiri sheme postavljene u prethodnom poglavlju obavljena je varijacija koeficijenta otkrivke u rasponu 0-2, transportne udaljenosti do stacionarnog postrojenja za oplemenjivanje u rasponu 0-5000m te stupnja iskoristivosti klastita u rasponu 0-100%. Zajednička promatrana veličina pri varijaciji je omjer prihoda i eksploatacijskih troškova, temeljem koje su sheme uspoređene.

Budući je potrebno prikazati jednu zavisnu varijablu u odnosu na tri nezavisne, rezultati varijacija prikazani su konturnim dijagramima gdje je izražena zavisnost omjera prihoda i troškova o transportnoj udaljenosti i koeficijentu otkrivke. Pri tome svaki dijagram prikazuje rezultat za određenu vrijednost stupnja iskoristivosti klastita. Na taj način su dobivene izolinije koje predstavljaju plohe omjera prihoda i troškova za svaku od shema. Presječnice ovih ploha omeđuju polja unutar kojih jedna od shema daje najveći omjer prihoda i troškova i stoga čini najpovoljniju shemu za dane eksploatacijske uvjete. Dijagrami su izrađeni za raspon stupnja iskoristivosti otkrivke 0-100% s inkrementom od 20%. U nastavku je prikazan

konturni dijagram za stupanj iskoristivosti 80%, dok su preostali radi bolje preglednosti i usporedbe prikazani u prilogu 8.



Slika 6.1 Konturni dijagram rentabilnosti (stupanj iskoristivosti otkrivke 80%)

Na izrađenim dijagramima može se primijetiti pojavljivanje shema 1, 2 i 3. Naime, shema 4 u cijelom rasponu variranih veličina ima najmanji omjer prihoda i troškova. Prema tome je sustav eksploatacije s iskorištavanjem otkrivke i oplemenjivanjem isključivo na stacionarnom postrojenju najmanje rentabilan, bez obzira na transportnu udaljenost te koeficijent i iskoristivost otkrivke.

Shema 2, koja predstavlja sustav eksploatacije bez iskorištavanja otkrivke i primjene pokretnih postrojenja, na svim dijagramima pokazuje tendenciju veće rentabilnosti pri kraćim transportnim udaljenostima i nižim koeficijentima otkrivke. Ovo je i logično jer je rad stacionarnog postrojenja jeftiniji po jedinici sirovine nego rad pokretnih postrojenja i utovarnih strojeva koji ih opslužuju. Rentabilnost pada povećanjem transportne udaljenosti i koeficijenta otkrivke, čime se povećava udio troškova kamionskog transporta.

Sheme 1 i 3, koje predstavljaju sustave eksploatacije primjenom pokretnih postrojenja, dominiraju većim područjem dijagrama. Primjena pokretnih postrojenja postaje rentabilnija pri transportnim udaljenostima većim od 400-700m i koeficijentu otkrivke većem od 0,75, zavisno o stupnju iskoristivosti otkrivke.

Uočava se granica rentabilnosti između sheme 3 i sheme 1, odnosno sustava eksploatacije sa i bez iskorištavanja otkrivke. Prema izolinijama omjera prihoda i troškova za ove dvije sheme, lijevo od granice se nalazi područje gdje su oba sustava podjednako rentabilna ili je sustav bez iskorištavanja otkrivke neznatno rentabilniji. Desno od granice nalazi se područje na kojem su izolinije bitno razdvojene te sustav s iskorištavanjem otkrivke postaje znatno rentabilniji.

Promjenom stupnja iskoristivosti otkrivke dolazi do pomicanja granica unutar kojih je jedna od shema najrentabilnija. Povećanjem stupnja iskoristivosti, sustav bez iskorištavanja otkrivke i primjene pokretnih postrojenja je rentabilniji pri nešto manjoj transportnoj udaljenosti i značajno manjem koeficijentu otkrivke. Obratno vrijedi za sustave s primjenom pokretnih postrojenja. Isto tako povećanjem stupnja iskoristivosti, sustav s iskorištavanjem otkrivke i primjenom pokretnih postrojenja postaje rentabilniji pri sve nižem koeficijentu otkrivke i manjoj transportnoj udaljenosti.

7. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Za osnovni cilj rada postavljeno je istraživanje utjecaja sustava eksploatacije, primijenjene tehnologije i ključnih eksploatacijskih veličina na rentabilnost eksploatacije, radi određivanja sustava kojim se može ostvariti veća bilančnost primarne mineralne sirovine dijabaza u danim eksploatacijskim uvjetima.

U radu je ovo postignuto formiranjem računskog modela eksploatacije, koji se sastoji od proračuna baziranih na teorijama učinaka rudarske mehanizacije i radova, primjenjivih u površinskoj eksploataciji tehničko-građevnog kamena. Varijacijom računskog modela, tj. izmjenom računskih shema koje predstavljaju različite sustave eksploatacije, i ključnih veličina, promatrana je rentabilnost kao pokazatelj da sustav eksploatacije može polučiti veću bilančnost i racionalniju eksploataciju primarne mineralne sirovine dijabaza.

Primijenjene teorije ugrađene u računski model nastojalo se provjeriti i prema potrebi modificirati na osnovi analiziranih podataka terenskih mjerenja i podataka o eksploataciji ustupljenim od koncesionara.

Postavljena relacija za učinak bušaće garniture provjerena je usporedbom srednje brzine čistog bušenja prema iskustvenim podacima koncesionara za niz godina. Kako nisu obavljena mjerenja brzine čistog bušenja a podaci koncesionara su zbirni za rad bušaće garniture u dijabazu i dolomitu, usporedba se ne odnosi isključivo na rad u dijabazu već na srednju brzinu čistog bušenja u dijabazu i dolomitu. Relacija pokazuje razliku od 1,06 m/h ili 5,05 % što se može smatrati niskim odstupanjem za procjenu učinka bušaće garniture.

Fragmentacija stijenskog materijala analizirana je prema dostupnim podacima za radove u dijabazu. Uspoređena je krivulja fragmentacije dobivena KCO modelom, fragmentacija primarnim sitnjenjem na pokretnom postrojenju, te učinak pokretnog postrojenja. Bez mjerenja fragmentacije stijenske mase, upotrijebljene su vrijednosti prema navodima koncesionara, tj. udio izvangabarita od 10 %, ganična veličina izvangabarita od 500 mm, te udio izlaznih produkata pokretnog postrojenja. Krivulju KCO modela bilo je moguće izravno provjeriti u dvije točke: udio izvangabarita koji je manji za 0,79 % od iskustvene vrijednosti te udio jalovine izdvojene predsijavanjem koji je veći za 0,85 %. Računski učinak pokretne drobilice osim samog učinka predstavlja i posrednu točku provjere KCO krivulje, zbog zavisnosti o srednjem promjeru ulaznog zrna u drobilicu. Računski učinak veći je za 7 t/h ili 3,5 %, što je dobro slaganje s iskustvenom vrijednošću od 200 t/h. Računska fragmentacijska krivulja pokretne drobilice provjerena je za tri izlazna produkta, tj. frakcije dijabaza 60/0,

110/60 i 170/110 mm. Dobivena su apsolutna odstupanja od 0,44 %, 1,97 % i 0,41 % što znači da računska krivulja precizno definira izlazni produkt drobilice.

Relacije i koeficijenti za određivanje ciklusa bagera s dubinskom lopatom provjerene su terenskim mjerenjima. Izmjereni su ciklusi za tri slučaja primjene različitih strojeva: utovara u pokretno postrojenje, utovara u kamion, te pridobivanja otkrivke. U prvom slučaju računski ciklus je veći za 0,8 s ili 4 % u odnosu na srednji mjereni ciklus, u drugom slučaju računski ciklus je manji za 0,09 s ili 0,47 % a u trećem slučaju manji za 0,79 s ili 4,9 %. Pri terenskim mjerenjima korišteni strojevi bili su različitih masa, zapremina lopata i kuta zakretanja, a rad se odvijao u različitim stijenskim materijalima. Može se zaključiti da postupak određivanja učinka bagera daje dobre rezultate na relativno širem rasponu karakteristika strojeva i uvjeta rada.

Tablično određivanje ciklusa utovarivača temeljem zapremnine utovarne lopate i opisa stijenskog materijala provjereno je terenskim mjerenjima pri utovaru u kamione. Pri mjerenjima su korištena četiri različita stroja od kojih su po dva utovarala u istim uvjetima, tj. istovjetnom stijenskom materijalu. Dobivena su odstupanja od 2,0 s ili 6,5 % u sitnom i sipkom materijalu, te 1,65 s ili 3,8 % u odminiranoj stijenskoj masi. Za procjenu učinka utovarivača ovo nisu velika odstupanja te se tablično određivanje učinka može pouzdano upotrijebiti.

Relacije za određivanje učinka hidrauličnog čekića na pridobivanju stijene i na usitnjavanju izvangabarita nije bilo moguće verificirati na temelju podataka o eksploataciji, niti su urađena terenska mjerenja parametara učinaka. Relacije su svejedno ugrađene u računski model, budući su dotični autori provodili istraživanja u istovrsnim stijenama kakve su predmet ovoga rada te s hidrauličnim čekićima čije su mase u rasponu upotrebljavanih na malim kopovima. Prema postavljenim parametrima satni učinak hidrauličnog čekića na pridobivanju iznosi 17,02 m^3/h, a na usitnjavanju izvangabarita 71,65 m^3/h. Ove vrijednosti mogu se smatrati realnima prema indikativnim učincima za iste mase čekića navedene u drugim izvorima (Atlas Copco, 2006; Caterpillar, 2010), međutim ostaju neverificirane. Rezultati modela pokazuju približno iste troškove ovih radova na svim računskim shemama, koji su istovremeno niski u odnosu na ukupne eksploatacijske troškove. Niski troškovi usitnjavanja izvangabarita rezultat su relativno velikog učinka hidrauličnog čekića čekića, zbog granične veličine izvangabarita od 500 mm. Zanemarive razlike u troškovima proizlaze iz iste količine stijenskog materijala a time i obima radova na svim shemama. Obim ovih radova mijenja se jedino varijacijom koeficijenta otkrivke, ali jednako u svim shemama i

stoga se može smatrati da eventualna netočnost određivanja učinaka neće značajno utjecati na krajnji rezultat računskog modela, tj. usporedbu eksploatacijskih sustava u različitim uvjetima.

Učinci dozera i kamionskog transporta izravno ovise o brzini kretanja ovih strojeva. Iako se u literaturi nalaze računski postupci za određivanje ovih brzina, zbog pouzdanosti proračuna brzine kretanja nisu određivane računski, već su korištene izmjerene ili iskustvene vrijednosti. Slično je sa pokretnim sitima, za koja nisu pronađeni prigodni postupci određivanja učinka, već su u proračunima izravno primijenjene vrijednosti prema iskustvu koncesionara.

Kompletna stacionarna oplemenjivačka postrojenja su složeni sustavi, pa tako i određivanje njihovih učinaka i troškova može biti vrlo kompleksno. Najveće promjene eksploatacijskog sustava unutar modela, tj. među četiri postavljene sheme, odvijaju se ispred samog stacionarnog postrojenja. Iz ovih razloga su za stacionarna postrojenja izravno primijenjeni fiksni učinci i cijene koštanja radnog sata prema iskustvu koncesionara vezano uz preradu dijabaza, a jedina poveznica s ostatkom modela je količina stijenskog materijala koja se prerađuje na ovim postrojenjima. Ovo značajno pojednostavljuje računski model, međutim postavlja se pitanje kakve su promjene u učincima i troškovima rada stacionarnih postrojenja kod prerade drugih stijenskih materijala, tj. pješčenjaka a posebice klastita zbog varijacije svojstava i udjela korisnog kamena. Isto se može ustvrditi i za pokretna postrojenja za sijanje odnosno klasiranje.

Investicije i ukupni rashodi u eksploataciji mineralnih sirovina ovise o više čimbenika koji su ovdje zanemareni. U radu su uzeti u obzir samo direktni eksploatacijski troškovi rada, zbog čega dobiveni rezultati ne izražavaju apsolutnu rentabilnost eksploatacije. Omjeri prihoda i troškova stoga poprimaju iznose koji su veći od realnih, međutim omogućuju relativnu usporedbu eksploatacijskih sustava.

Prema omjeru prihoda i troškova postavljenih shema u poglavlju 5, najpovoljnija je shema 3, s omjerom 2,91. To znači da je sustav eksploatacije s primjenom pokretnih postrojenja i iskorištenjem dijela otkrivke najrentabilniji, što je i očekivano prema postavljenoj hipotezi rada. Veća rentabilnost omogućuje proširenje granica otkopavanja, pri čemu koeficijent otkrivke raste, te sustav eksploatacije s primjenom pokretnih postrojenja i iskorištenjem dijela otkrivke omogućuje povećanje kvantuma bilančnih rezervi dijabaza i racionalnije korištenje neobnovljivog mineralnog resursa.

Varijacijom ključnih veličina, tj. koeficijenta otkrivke, transportne udaljenosti do stacionarnog postrojenja te stupnja iskoristivosti otkrivke također je dokazno da sustav s primjenom pokretnih postrojenja i iskorištenjem otkrivke u nepovoljnijim uvjetima eksploatacije omogućuje veću bilančnost rezervi. Sustav bez iskorištavanja otkrivke postaje približno jednako rentabilan pri nižem koeficijentu otkrivke, što ovisi o stupnju iskoristivosti. Tek pri transportnoj udaljenosti manjoj od 400-700m i nižem koeficijentu otkrivke ovi sustavi postaju manje rentabilni a prednosti pokazuje sustav bez primjene pokretnih postrojenja i bez iskorištavanja otkrivke.

POPIS LITERATURE

Adel, G., Kojovic, T., Thornton, D. M. (2006): *Mine to mill optimization of aggregate production.* Report. URL:http://www.osti.gov/bridge/purl.cover.jsp?purl=/914568-TIDTd7/ 914568.pdf, 15.4.1011.

Atkinson, T. (1992): *Selection and sizing of excavating equipment*. U: Hartman, U.L. (ur.): Mining engineering hanbook, Society for Mining Metallurgy & Exploration, str. 1311-1334.

Atlas Copco (2006): *Hydraulic breakers in mining applications*. Atlas Copco Construction Tools GmbH, Essen, Germany.

Bilgin, N., Yazici, S., Eskikaya, S. (1996): *A model to predict the performance of roadheaders and impact hammers in tunnel drivages*. EUROCK-ISRM International symposium, (2), str. 715-720. International Society for Rock Mechanics.

Burton, A. *Hard rock miner's handbook.* Tempe: MacIntosh redpath engineering.

Business Media (2006): *Atlas rudarstva Republike Hrvatske.* Springer Business Media Croatia, Zagreb.

Caterpillar (1998): *Caterpillar performance handbook - edition 29.* Caterpillar Inc., Peoria, Illinois, U.S.A.

Caterpillar (2010): *Caterpillar performance handbook - edition 40.* Caterpillar Inc., Peoria, Illinois, U.S.A.

Csoke, B., Petho, S., Foldesi, J., and Meszaros, L. (1996): *Optimization of Stone-Quarry Technologies*, International Journal of Mineral Processing, vol. 44-45, str. 447-459.

Cunningham, C.V.B. (2005): *The Kuz-Ram fragmentation model – 20 years on*. Brighton Conference Proceedings 2005, R. Holmberg et al. European Federation of Explosives Engineers, str. 201-210.

Day, D.A., Benjamin, B.H.N. (1991): *Construction equipment guide*. Wiley and Sons. New York.

Donovan, J.G. (2003): *Fracture toughness based models for the prediction of power consumption, product size and capacity of jaw crushers*. PhD Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute.

FAO (1992): *Cost control in forest harvesting and road construction.* Food and agriculture organization of the United Nations, Italy.http//www.fao.org/docrep/t0579e/t0579e00.htm, 16.1.2014.

Galić, I. (2001): *Projektiranje u rudarstvu uz primjenu namjenskih programa*, magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Hartman, L. H., Mutmansky, J. M. (2002). *Introductory mining engineering*. John Wiley & Sons. New Jersey.

Hrženjak, P., Kujundžić, T. (2008): *Studija podzemne eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju Žervanjska.* Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

INA (2013): *Katalog goriva.* Izdanje 07. Ina - industrija nafte d.d. Zagreb, Hrvatska.

Kaharman, S. (2003): *Performace analysis of drilling machines using rock modulus ratio*. The journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, str 515 - 522.

Kaharman, S., Bilgin, N., Feridunoglu, C. (2003): *Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills.* International journal of rock mechanics & mining sciences, br. 40, st.r 711-723.

Kennedy, B. (ur.) (1990): *Surface mining.* Society for Mining Metallurgy & Exploration, Baltimore.

Klanfar, M., Kujundžić, T., Vrkljan, D. (2014): *Calculation analysis of bulldozer's productivity in gravitational transport on open pits*. Tehnički vijesnik. Vol. 21, br. 3, str. 517-523.

Kljajić, J. (2009): *Eksploatacija dijabaza primjenom pokretnih postrojenja za sitnjenje.* Završni rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Kocejović, V., Komljenović, D. (2002): *Impact of bulldozer's engine load factor on fuel consumption, CO_2 emission and cost.* American Journal of Environmental Sciences, 7 (2), str 125-131.

Komatsu (2009): *Specification & application handbook - edition 30.* Komatsu Ltd., Tokyo, Japan.

Kujundžić, T. (2002): *Utjecajne veličine pri iskopu stijena hidrauličnim čekićima*, doktorski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Linarić, Z. (2007): *Leksikon strojeva i opreme za proizvodnju građevinskih materijala*. Business Media Croatia. Zagreb.

Matijašić, I. (2010). *Elaborat o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju Žervanjska*. Zagreb: Calx d.o.o., Zagreb.

Metso minerals (2011): *Nordberg C series jaw crushers*. Tehnička dokumentacija. Metso corporation, Helsinki, Finska.

Ministarstvo gospodarstva (2014): *Godišnja bilanca stanja mineralnih sirovina Republike Hrvatske*. Minstarstvo gospodarstva, Sektor za rudarstvo, Zagreb.

Narodne novine br. 177/04. *Zakon o porezu na dobit.* Zagreb: Narodne novine d.d.

Ouchterlony, F. (2005): *The Swebrec function: linking fragmentation by blasting and crushing*. Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology. Vol. 114, str. 29-44. Maney Publishing.

Radlowski, J.K. (1988): *In pit crushing and conveying as an alternative to an all truck system in open pit mines*, dissertation. The University of British Columbia, Vancouver, Canada.

Runge, C.I. (1998): *Mining economics and strategy*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. Littleton.

Sastri, S.R.S. (1994): *Capacities and performace characteristics of jaw crushers.* Minerals and metallurgical processing, vol. 11, (2), str. 80-86.

Simonović, M. (1967): *Buldozeri, skreperi i postrojenja za dubinsko bušenje na površinskim kopovima*: Tehnika površinskog otkopavanja. Rudarski institut, Beograd.

Singh, S.P., Narendrula, R. (2006): *Factors affecting the productivity of loaders in surface mines*. International Journal of Mining, Reclamation and Environment. Vol. 20, br. 1, str. 20-32.

Suboleski, C., Cameron, R., Albert, K. (1992): *Systems engineering*. U: Hartman, U.L. (ur.): Mining engineering hanbook, Society for Mining Metallurgy & Exploration, str. 563-598.

Sweigard, J.R. (1992): *Materials handling:Loading and haulage*. U: Hartman, U.L. (ur.): Mining engineering handbook, Society for Mining Metallurgy & Exploration, str. 761-782.

Trbojević,B. (1985): *Građevinske mašine.* Građevinska knjiga, Beograd.

Tsiambaos, G., Saroglou, H. (2010): *Excavability assessment of rock masses using the Geological Strenth Index (GSI).* Bulletin of Engineering Geology and the Environment, br. 69, str 12-27.

Tuncdemir, H. (2008): *Impact hammer applications in Istanbul metro tunnels.* Tunnelling and Underground Space Technology, (23) 264–272. Elsevier.

Vrkljan, D., Kujundžić, T. (2010): *Idejni projekt eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju Žervanjska*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Vrkljan, M. (2000). *Mineralogija i petrologija - osnove i primjena*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Živković, S.A., Vrkljan, D. (2002): *Površinska eksploatacija mineralnih sirovina*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu.

Živković, S.A., Krasić, D. (2008): *Strategija gospodarenja mineralnim sirovinama Republike Hrvatske*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

POPIS SLIKA

Slika 1.1 Rezerve i eksploatacija dijabaza u Republici Hrvatskoj 1

Slika 1.2 Eksploatacijska polja dijabaza u Republici Hrvatskoj 2

Slika 1.3 Karakteristični profil zapadnog dijela kopa 4

Slika 1.4 Karakteristični profil istočnog dijela kopa 5

Slika 1.5 Položaj kopa dijabaza u odnosu na stacionarno oplemenjivačko postrojenje..... 6

Slika 2.1 Procjena mogućnosti iskopa stijene na temelju GSI klasifikacije (prilagođeno iz Tsiambaos et.al, 2010) 17

Slika 2.2 Tehnologija dobivanja dozerom..... 19

Slika 2.3 Tehnologija dobivanja bagerom s dubinskom lopatom 23

Slika 2.4 Rad bagera na dobivanju otkrivke 24

Slika 2.5 Zavisnost izlazne snage o masi čekića (Tuncdemir, 2008)..... 26

Slika 2.6 Korelacija brzine čistog bušenja i jednoosne tlačne čvrstoće (Kaharman et.al,2003) 27

Slika 2.7 Brzina čistog bušenja u zavisnosti o tlačnoj čvrstoći (drugi autori) 28

Slika 2.8 Modificirana korelacija brzine čistog bušenja 28

Slika 2.9 Geometrijski elementi minske bušotine..... 33

Slika 2.10 Shema i princip izračuna obujma prebacivanja 37

Slika 2.11 Zavisnost energije razbijanja o zahtijevanoj granulaciji i Schmidtovoj tvrdoći određenoj prema ISRM-u (Kujundžić, 2002) 39

Slika 2.12 Tehnologija rada utovarivača pri utovaru 42

Slika 2.13 Zavisnost učinka utovarivača o srednjoj veličini zrna, koeficijentu jednoličnosti i udjelu izvangabarita 44

Slika 2.14 Zavisnost parametra K_3 o lomnoj žilavosti (modificirano prema Donovan,2003) . 49

Slika 2.15 Raspodjela operativnih troškova dozera 51

Slika 3.1 Proračunska shema i veličine usporedbe fragmentacije 66

Slika 3.2 Fragmentacijska krivulja KCO modela..... 68

Slika 3.3 Fragmentacijske krivulje drobilice Nordberg C110 69
Slika 3.4 Shema mjerenja brzina kretanja dozera 70
Slika 3.5 Stijenska masa dijabaza 77
Slika 3.6 Stijenska masa pješčenjaka 78
Slika 3.7 Stijenska masa klastita 79
Slika 4.1 Isječak računske sheme 84
Slika 4.2 Isječak blokova eksploatacijske sheme 88
Slika 4.3 Datoteka proračuna 89
Slika 4.4 Datoteka baze strojeva 90
Slika 4.5 Tablični prikaz eksploatacijskih troškova 91
Slika 4.6 Grafički prikaz eksploatacijskih troškova 91
Slika 5.1 Usporedba računskih shema 99
Slika 6.1 Konturni dijagram rentabilnosti (stupanj iskoristivosti otkrivke 80%) 102

POPIS TABELA

Tabela 1.1 Količine mineralne sirovine i jalovine 4

Tabela 2.1 Brisserova podjela stijena i primjena suvremenih strojeva za dobivanje..... 16

Tabela 2.2 Koeficijent punjenja u ovisnosti o vrsti iskopa (Linarić, 2007) 21

Tabela 2.3 Koeficijent korekcije za visinu radnog čela i uvjete odlaganja (Komatsu, 2009).. 21

Tabela 2.4 Ciklus utovarivača zavisno o svojstvima stijenskog materijala 44

Tabela 2.5 Zavisnost koeficijenta opterećenja od vrste i snage stroja 52

Tabela 2.6 Koeficijenti opterećenja kamiona..... 53

Tabela 2.7 Koeficijenti opterećenja dozera i skrepera 53

Tabela 2.8 Koeficijenti opterećenja za razne strojeve..... 54

Tabela 2.9 Zavisnost potrošnje ulja i maziva o snazi stroja..... 54

Tabela 2.10 Radni vijek strojeva (modificirano iz Caterpillar, 1998) 56

Tabela 3.1 Analizirani koeficijenti opterećenja strojeva..... 60

Tabela 3.2 Troškovi održavanja strojeva 62

Tabela 3.3 Podaci o radu bušaće garniture..... 64

Tabela 3.4 Karakteristike dubinskog čekića i kompresora 65

Tabela 3.5 Računska brzina čistog bušenja u zavisnosti o tlačnoj čvrstoći stijene..... 65

Tabela 3.6 Ulazno izlazne veličine proračuna miniranja i KCO modela..... 67

Tabela 3.7 Specifikacije drobilice C110 68

Tabela 3.8 Usporedba računskih i iskustvenih vrijednosti fragmentacije dijabaza i učinka drobilice..... 69

Tabela 3.9 Mjerene veličine pri radu dozera..... 71

Tabela 3.10 Usporedba računskih i mjerenih ciklusa bagera..... 73

Tabela 3.11 Mjerene veličine kod dobivanja otkrivke bagerom..... 73

Tabela 3.12 Usporedba procijenjenih i mjerenih ciklusa utovarivača 74

Tabela 3.13 Veličine za procjenu faktora stijene 76

Tabela 5.1 Eksploatacijski troškovi sheme 1 94
Tabela 5.2 Struktura gotovih proizvoda i prihodi sheme 1 94
Tabela 5.3 Eksploatacijski troškovi sheme 2 95
Tabela 5.4 Eksploatacijski troškovi sheme 3 97
Tabela 5.5 Struktura proizvoda sheme 3 97
Tabela 5.6 Eksploatacijski troškovi sheme 4 98

POPIS OZNAKA I SIMBOLA

A	faktor stijene
w	izbojnica (m)
b	parametar oblika fragmentacijske krivulje KCO modela
B	širina berme etaže (m)
BCL	duljina glavnog naboja (m)
B_z	širina zahvata otkopne etaže (m)
CCL	duljina pomoćnog naboja (m)
CSS	izlazni otvor drobilice (mm)
d	granulacija usitnjavanja izvangabarita (mm)
D_b	promjer minske bušotine (mm)
D	vertikalna dubina između čeljusti drobilice (mm)
d_b	promjer bušaće krune (mm)
d_{max}	promjer najvećeg zrna (mm)
d_{van}	promjer izvangabarita srednjeg obujma (mm)
E	energija razbijanja bloka (kWh/m^3)
F_{avg}	srednja veličina ulaznog zrna (mm)
g	gravitacijska konstanta (m/s^2)
G	ulazni otvor drobilice (mm)
h_{sch}	Schmidtova tvrdoća
H	visina etaže (m)
ICR	otkopni učinak čekića (m^3/h)
K	specifična potrošnja eksploziva (kg/m^3)
K_1	parametar veličine ulaznog materijala drobilice
K_2	parametar hoda čeljusti drobilice
K_3	parametar vrste ulaznog materijala drobilice
k_b	koeficijent bušenja (h/m)
$k_č$	koeficijent duljine čepa
k_g	koeficijent duljine glavnog naboja
k_{opt}	koeficijent opterećenja stroja
k_p	koeficijent punjenja lopate, sanduka kamiona
k_{pr}	koeficijent probušenja
k_r	koeficijent rastresitosti

k_{rs}	koeficijent korekcije učinka
k_{Tc1}	korekcija za kut zakretanja bagera
k_{Tc2}	korekcija za visinu radnog čela i način odlaganja bagera
L	ukupna duljina naboja (m)
l_{tr}	transportna udaljenost (m)
m_r	koeficijent razmaka bušotina
m	parametar fragmentacijske krivulje drobilice
m_b	masa bagera (kg)
$m_č$	masa čekića (kg)
N	okretna brzina (o/min)
n	parametar fragmentacijske krivulje Kuz-Ram modela
n_d	broj donje etaže u ciljanoj stijenskoj masi
n_g	broj gornje etaže u ciljanoj stijenskoj masi
P	snaga pogonskog motora stroja ili radnog alata (kW)
P_{et}	jedinični obujam stijenskog materijala zadržanog po m' otkopne fronte (m^3)
P_z	jedinični obujam zahvata po dužnom metru otkopne fronte (m^3)
Q	ukupna masa eksploziva u bušotini (kg)
Q_A, Q_B	količina frakcije (t, m^3)
Q_{ef}	satni učinak stroja (m/h, m^3/h)
q_g	linijska gustoća glavnog naboja (kg/m')
Q_g	masa glavnog punjenja (kg)
Q_p	masa pomoćnog punjenja (kg)
q_p	linijska gustoća pomoćnog naboja (kg/m')
r_{max}	parametar fragmentacijske krivulje drobilice
$RMCI$	indeks rezivosti stijenske mase
RWS	relativna snaga eksploziva u odnosu na ANFO (%)
S	razmak bušotina (m)
s_{dizel}	specifična potrošnja goriva za dizel motore (kg/kWh)
T	hod čeljusti drobilice (mm)
T_c	trajanje ciklusa stroja (s, min)
T_{c1}	standardni ciklus stroja (s, min)
t_i	vrijeme istresanja kamiona (s)
t_m	vrijeme manevriranja kamiona (s)
t_{man}	vrijeme namještanja čekića po bloku (s)

U	udio frakcije ili izvangabarita (%)
$UCS,\ \sigma_c$	jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
U_{50}	iznos na ordinati karakteriziran s 50% udjela frakcije ili izvangabarita
V_b	volumen stijenske mase po bušotini (m^3)
V	volumetrijski učinak drobilice (m^3/h)
v_0	brzina vožnje praznog stroja (m/s)
V_0	konstruktivna zapremnina lopate, sanduka kamiona (m^3)
v_p	brzina čistog bušenja (m/h)
v_{sr}	srednja brzina vožnje (m/s)
v_t	brzina vožnje punog stroja (m/s)
W	devijacija minske bušotine
w_d	širina čeljusti drobilice (mm)
X, x	granične veličine frakcije ili izvangabarita (mm, m)
X_{50}	srednji promjeri frakcija (mm)
X_c	karakteristični promjer zrna (mm)
x_m	srednji promjer zrna (mm, m)
x_{max}	najveći promjer bloka in-situ (m)
Y	modul elastičnosti (GPa)
α	nagib etažne kosine (°)
α_z	kut zakretanja bagera (°)
φ	kut sipanja materijala (°)

PRILOZI

PRILOG 1 Ispis proračuna računskog modela u zapisu MS Excela

PRILOG 2 Eksterne tabele specifikacija strojeva i postrojenja

PRILOG 3 Eksterne tabele proračunskih parametara

PRILOG 4 Proračunska shema eksploatacije bez iskorištenja dijela otkrivke i primjenom pokretnih postrojenja

PRILOG 5 Proračunska shema eksploatacije bez iskorištenja dijela otkrivke i bez primjene pokretnih postrojenja

PRILOG 6 Proračunska shema eksploatacije iskorištenjem dijela otkrivke i primjenom pokretnih postrojenja

PRILOG 7 Proračunska shema eksploatacija iskorištenjem dijela otkrivke i bez primjene pokretnih postrojenja

PRILOG 8 Konturni dijagrami rentabilnosti eksploatacijskih sustava

ŽIVOTOPIS

Rođen 12. veljače 1982. godine u Zagrebu. Osnovnu školu i Tehničku školu Ruđera Boškovića, na smjeru Elektrotehnika, pohađao u Zagrebu. Studirao na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, na smjeru Rudarstva i modulima Dobivanje mineralnih sirovina te Podzemne prostorije i tuneli. Diplomirao 2007. godine i stekao zvanje diplomiranog inženjera rudarstva. Poslijediplomski studij Rudarstva upisao krajem 2008. godine na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu.

Tijekom diplomskog studija obavljao demonstrature iz predmeta Miniranje I, Miniranje II, Podzemne prostorije te Mehanika tla i sudjelovao u izradi projekata i elaborata. Prisustvovao kongresu Geomechanics Colloquy 2007, u Salzburgu.

Tijekom 2008. godine zaposlen u poduzeću Hidroelektra niskogradnja d.d. u svojstvu rukovodioca minerskih radova, gdje radi na iskopu i izgradnji cestovnih tunela.

Krajem 2008. godine zapošljava se na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, u Zavodu za rudarstvo i geotehniku, gdje radi do sada. Surađivao na znanstvenom projektu Zaštita okoliša pri eksploataciji nemetalnih mineralnih sirovina u kršu. Izvodi nastavu iz predmeta Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina, Vjetrenje i odvodnjavanje, Tehnika sigurnosti, te Alternativne metode eksploatacije.

Član Udruge hrvatskih rudarskih inženjera.

Popis objavljenih radova:

1. Klanfar, Mario; Trpimir, Kujundžić; Darko, Vrkljan. Calculation analysis of bulldozer's productivity in gravitational transport on open pits. // Tehnički vjesnik/Technical Gazette. 21 (2014), 517-523 (članak, znanstveni).
2. Klanfar, Mario; Janković, Branimir. Deposits and mining potential of bentonite in Croatia. // Rudarsko-geološko-naftni zbornik. 24 (2012) ; 35-39 (pregledni rad, znanstveni).
3. Klanfar, Mario; Vulin, Domagoj; Veinović, Želimir. Procjena mogućnosti eksploatacije metana iz istarskih ugljena. // Rudarsko-geološko-naftni zbornik. 22 (2010) ; 73-80 (članak, znanstveni).

4. Klanfar, Mario; Vrkljan, Darko. Benefits of using mobile crushing and screening plants in quarrying crushed stone // AGH Journal of Mining and Geoengineering / Jan Sas (ur.). Krakow : AGH University of Science and Technology, 2012. 167-175 (predavanje,međunarodna recenzija,objavljeni rad,znanstveni).
5. Klanfar, Mario; Vulin, Domagoj; Veinović, Želimir. Study of Istrian unmineable coal utilization // Proceedings of ECOS 2011 Conference. (predavanje,međunarodna recenzija,objavljeni rad,znanstveni).

PRILOG 1

Ispis proračuna računskog modela u zapisu MS Excela

Legenda:

[spec] - podatak eksterne tabele specifikacija strojeva

[par] - podatak eksterne tabele proračunskih parametara

[ulaz] - ulazni parametar za povezivanje na računskoj shemi

[izlaz] - izlazni parametar za povezivanje na računskoj shemi

= X - formula proračuna

= X - formula proračuna i izlazni parametar za povezivanje na računskoj shemi

Frakcija RR

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	=Q*U.frac/100
Gornja velièina frakcije (mm)	D.g	[ulaz]
Donja velièina frakcije (mm)	D.d	[ulaz]
Karakteristièna velièina zrna (mm)	X.c	[ulaz]
Parametar oblika grano krivulje	N.gran	[ulaz]
Udio frakcije (%)	U.frac	=100*(EXP(-1*((D.d/X.c)^N.gran))-EXP(-1*((D.g/X.c)^N.gran)))
Srednja veličina frakcije (mm)	X.50.frac	=(1)*X.c*((-LN(1-Pom1))^(1/N.gran))
Pomocni_50%	Pom1	=(1-EXP(-1*((D.d/X.c)^N.gran))+1-EXP(-1*((D.g/X.c)^N.gran)))/2
Količina 1	Q.1	=EXP(-1*((D.g/X.c)^N.gran))

Frakcija KCO

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Veličina bloka in situ (mm)	X.in	[ulaz]
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	=Q*U.frac/100
Gornja velièina frakcije (mm)	D.g	[ulaz]
Donja velièina frakcije (mm)	D.d	[ulaz]
Udio frakcije (%)	U.frac	=100*(1/(1+(LN(X.in/D.g)/LN(X.in/X.50))^B.KCO)-1/(1+(LN(X.in/D.d)/LN(X.in/X.50))^B.KCO))
Srednja veličina bloka (mm)	X.50	[ulaz]
Parametar oblika krivulje b	B.KCO	[ulaz]
Srednja veličina frakcije (mm)	X.50.frac	=X.in*(X.in/X.50)^((-1*(1/Pom1-1)^(1/B.KCO)))
Pomocni_50%	Pom1	=(1/(1+(LN(X.in/D.g)/LN(X.in/X.50))^B.KCO)+1/(1+(LN(X.in/D.d)/LN(X.in/X.50))^B.KCO))/2

Izvangabariti RR

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Srednja veličina vangabarita (mm)	X.50.van	=X.c*((-LN(1-Pom1))^(1/N.gran))
Srednja veličina usitnjenog vangabarita (mm)	X.50.us	=(X.50.van^3/ROUNDUP((X.50.van/D.d)^3;0))^(1/3)
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	**=Q*U.frac/100**
Donja velièina frakcije (mm)	D.d	[ulaz]
Karakteristièna velièina zrna (mm)	X.c	[ulaz]
Parametar oblika grano krivulje	N.gran	[ulaz]
Udio frakcije (%)	U.frac	=100*(EXP(-1*((D.d/X.c)^N.gran)))
Pomocni_50%	Pom1	=1-(EXP(-1*((D.d/X.c)^N.gran)))/2

Izvangabariti KCO

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Veličina bloka in situ (mm)	X.in	[ulaz]
Srednja veličina vangabarita (mm)	X.50.van	=X.in*(X.in/X.50)^((-1*(1/((100-U.frac/2)/100)-1)^(1/B.KCO)))
Srednja veličina usitnjenog vangabarita (mm)	X.50.us	=(X.50.van^3/ROUNDUP((X.50.van/D.d)^3;0))^(1/3)
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	**=Q*U.frac/100**
Donja velièina frakcije (mm)	D.d	[ulaz]
Udio frakcije (%)	U.frac	=100*(1-1/(1+(LN(X.in/D.d)/LN(X.in/X.50))^B.KCO))
Srednja veličina bloka (mm)	X.50	[ulaz]
Parametar oblika krivulje b	B.KCO	[ulaz]

Frakcija DR

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	=U.frac/100*Q
Gornja veliėina frakcije (mm)	D.g	[ulaz]
Donja veliėina frakcije (mm)	D.d	[ulaz]
Udio frakcije (%)	U.frac	=IF((D.g/r.max.CSS)^m.2<=1;((D.g/r.max.CSS)^m.2-(D.d/r.max.CSS)^m.2)*100;(1-(D.d/r.max.CSS)^m.2)*100)
pomocni_1 (r.max*CSS)	r.max.CSS	[ulaz]
pomocni_2	m.2	[ulaz]

Obujam prebacivanja

Visina etaže (m)	H	[par]
Širina berme (m)	Bb	[par]
Nagib etažne kosine (°)	α	[par]
Prirodni kut sipanja materijala (°)	ϕ	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Donja etaža u materijalu	Et.donja	[par]
Gornja etaža u materijalu	Et.gornja	[par]
Širina zahvata (m)	Bz	[par]
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	=Q*k.preb
Ukupna površina zahvata u profilu (m2)	P.z	=(Et.gornja-Et.donja+1)*H*Bz*k.r
Površina zadržavanja na etaži u profilu (m2)	P.et	=Bb^2/4*(SIN(2*RADIANS(ϕ))+(1-COS(2*RADIANS(ϕ)))/TAN(RADIANS(α)-RADIANS(ϕ)))
Omjer volumena prebacivanj i iskopa (m3/m3)	k.preb	=P.preb/P.z
Ukupna površina prebacivanja (m2)	P.preb	=IF(Et.donja=1;IF(Et.gornja=1;0;Bz*H*k.r*(Et.gornja-Et.donja)+(Et.gornja-Et.donja-1)*P.et);Bz*H*k.r*(Et.gornja-Et.donja+1)+(Et.gornja-2)*P.et)
Ukupna površina ispod ciljane mase (m2)	P.et.pod	=IF(Et.donja=1;0;P.et*(Et.donja-2))
Ukupna površina u ciljanoj masi (m2)	P.et.un	=IF(Et.donja=1;(Et.gornja-Et.donja)*H*Bz*k.r+P.et*(Et.gornja-Et.donja-1);(Et.gornja-Et.donja+1)*H*Bz*k.r+P.et*(Et.gornja-Et.donja))
Omjer ispod ciljane mase	k.preb.pod	=P.et.pod/P.z
Omjer u ciljanoj masi	k.preb.un	=P.et.un/P.z
Volumen materijala ispod ciljane mase (m3)	Q.iz.pod	=k.preb.pod*Q
Volumen materijala u ciljanoj masi (m3)	Q.iz.un	=k.preb.un*Q

Miniranje (KCO)

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Visina etaže (m)	H	[par]
Nagib etažne kosine (°)	α	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Promjer bušotine (mm)	Db	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Cijena eksploziva (Kn/kg)	c.ex	[par]
Cijena detonatora (Kn/kg)	c.det	[par]
Pregled i pročišćavanje bušotina (min/bušotini)	T.1	[par]
Raznošenje i raspoređivanje eksploziva (min/bušotini)	T.2	[par]
Spuštanje udarne patrone (min/bušotini)	T.3	[par]
Punjenje minskih bušotina (min/bušotini)	T.4	[par]
Čepljenje bušotina (min/bušotini)	T.5	[par]
Povezivanje minskog polja (min/bušotini)	T.6	[par]
Osiguravanje i otpucavanje minskog polja (min)	T.7	[par]
Pregled otpucanog minskog polja (min)	T.8	[par]
Nepredviđeni zastoji (min)	Tnz	[par]
Utrošak detonatora (kom/bušotini)	Ndet	[par]
Broj članova ekipe	Nekp	[par]
Koncentracija glavnog punjenja (kg/m')	Sgp	[par]
Koncentracija pomoćnog punjenja (kg/m')	Spp	[par]
Koeficijent razmaka bušotina	m	[par]
Specificna potrošnja eksploziva (kg/m3)	Se	[par]
Duljina èepa u odnosu na izbojnicu (m/m)	L.èep	[par]
Duljina probušenja u odnosu na izbojnicu (m/m)	L.prob	[par]
Duljina glavnog naboja (m/m)	L.gn	[par]
Koef. zbijanja glavnog naboja	Kzg	[par]
Koef.zbijanja pomoænog naboja	Kzp	[par]
Izbojnica (m)	W	=(-B.kf-(D.kf^0,5))/(2*A.kf)
Duljina minske bušotine (m)	Lb	=H/SIN(RADIANS(α))+Lpr
Duljina probušenja (m)	Lpr	=W*L.prob
Duljina glavnog naboja (m)	Lg	=Lnab*L.gn
Duljina pomoènog naboja (m)	Lp	=Lnab-Lg
Duljina èepa (m)	Lè	=L.èep*W
Ukupna duljina naboja (m)	Lnab	=Lb-Lè
Volumen stijene za jedno miniranje (m3)	Vmin.1	[par]
Količina glavnog eksplozivnog punjenja (kg)	Qgl	=Lg*Sgp
Količina pomoænog eksplozivnog punjenja (kg)	Qpom	=Lp*Spp
Ukupno količina eksplozivnog punjenja (kg)	Quk	=Qpom+Qgl
Volumen izbijanja minske bušotine (m3)	Vizb	=H*W*a/SIN(RADIANS(α))
Razmak bušotina (m)	a	=W*m
Uèinak miniranja (m3/m)	Um	=Vizb/Lb
Broj miniranja	N.min	=Q/Vmin.1
Relativna energija eksploziva (%ANFO)	E.rel	[par]
Minirljivost stijene	A.min	[par]
Devijacija bušotine (m)	Dev.b	[par]
Cik-cak raspored bušotina (1,1=DA, 1,0=NE)	K.raspored	[par]
Veličina bloka in situ (mm)	X.in	[ulaz] [izlaz]
Konstanta A kvadratne funkcije	A.kf	=-Se*H*m/SIN(RADIANS(α))
Konstanta B kvadratne funkcije	B.kf	=-(L.èep-L.prob)*(L.gn*Kzg*Sgp-(-1+L.gn)*Kzp*Spp)
Konstanta C kvadratne funkcije	C.kf	=(H/SIN(RADIANS(α)))*(L.gn*Kzg*Sgp-(-1+L.gn)*Kzp*Spp)
Determinanta D kvadratne funkcije	D.kf	=B.kf^2-4*A.kf*C.kf
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj bušotina godišnje	Nbuš.g	=ROUND(Q/Vizb;0)
Utrošak eksploziva glavnog punjenja (kg)	Ugl	=Qgl*Nbuš.g

Utrošak eksploziva pomoænog punjenja (kg)	Upom	=Qpom*Nbuš.g
Utrošak detonatora (kom)	Udet	=Nbuš.g*Ndet
Broj sati rada (h)	hr	=N.min*Hmin.1
Broj radnih sati na jednom miniranju (h)	Hmin.1	=((T.1+T.2+T.3+T.4+T.5+T.6)*Nbuš.1+T.7+T.8+Tnz)/60
Broj bušotina za jedno miniranje	Nbuš.1	=Vmin.1/Vizb
Broj nadnica	Nad.min	=N.min*Nekp
Srednja veličina bloka (mm)	X.50	=(A.min*Se^-0,8*Quk^0,167*(115/E.rel)^0,633)*10
Parametar oblika granulometrijske krivulje	N.gran	=(2,2-14*W/Db)*(1-Dev.b/W)*((1+m)/2)^0,5*(ABS(Lg-Lp)/Lnab+0,1)^0,1*(Lnab/H)*K.raspored
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	**=Q*k.r**
Parametar oblika krivulje b	B.KCO	=2*LN(2)*LN(X.in/X.50)*N.gran
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=Nad.min*c.n
Trošak eksploziva (Kn)	Cex	=(Ugl+Upom)*c.ex
Trošak detonatora (Kn)	Cdet	=Udet*c.det

Miniranje (KuzRam)

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Visina etaže (m)	H	[par]
Nagib etažne kosine (°)	α	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Promjer bušotine (mm)	Db	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Cijena eksploziva (Kn/kg)	c.ex	[par]
Cijena detonatora (Kn/kg)	c.det	[par]
Pregled i pročišćavanje bušotina (min/bušotini)	T.1	[par]
Raznošenje i raspoređivanje eksploziva (min/bušotini)	T.2	[par]
Spuštanje udarne patrone (min/bušotini)	T.3	[par]
Punjenje minskih bušotina (min/bušotini)	T.4	[par]
Čepljenje bušotina (min/bušotini)	T.5	[par]
Povezivanje minskog polja (min/bušotini)	T.6	[par]
Osiguravanje i otpucavanje minskog polja (min)	T.7	[par]
Pregled otpucanog minskog polja (min)	T.8	[par]
Nepredviđeni zastoji (min)	Tnz	[par]
Utrošak detonatora (kom/bušotini)	Ndet	[par]
Broj članova ekipe	Nekp	[par]
Koncentracija glavnog punjenja (kg/m')	Sgp	[par]
Koncentracija pomoćnog punjenja (kg/m')	Spp	[par]
Koeficijent razmaka bušotina	m	[par]
Specificna potrošnja eksploziva (kg/m3)	Se	[par]
Duljina èepa u odnosu na izbojnicu (m/m)	L.èep	[par]
Duljina probušenja u odnosu na izbojnicu (m/m)	L.prob	[par]
Duljina glavnog naboja (m/m)	L.gn	[par]
Koef. zbijanja glavnog naboja	Kzg	[par]
Koef.zbijanja pomoænog naboja	Kzp	[par]
Izbojnica (m)	W	=(-B.kf-(D.kf^0,5))/(2*A.kf)
Duljina minske bušotine (m)	Lb	=H/SIN(RADIANS(α))+Lpr
Duljina probušenja (m)	Lpr	=W*L.prob
Duljina glavnog naboja (m)	Lg	=Lnab*L.gn
Duljina pomoènog naboja (m)	Lp	=Lnab-Lg
Duljina èepa (m)	Lè	=L.èep*W
Ukupna duljina naboja (m)	Lnab	=Lb-Lè
Volumen stijene za jedno miniranje (m3)	Vmin.1	[par]
Količina glavnog eksplozivnog punjenja (kg)	Qgl	=Lg*Sgp
Količina pomoænog eksplozivnog punjenja (kg)	Qpom	=Lp*Spp
Ukupno količina eksplozivnog punjenja (kg)	Quk	=Qpom+Qgl
Volumen izbijanja minske bušotine (m3)	Vizb	=H*W*a/SIN(RADIANS(α))
Razmak bušotina (m)	a	=W*m
Uèinak miniranja (m3/m)	Um	=Vizb/Lb
Broj miniranja	N.min	=Q/Vmin.1
Relativna energija eksploziva (%ANFO)	E.rel	[par]
Minirljivost stijene	A.min	[par]
Devijacija bušotine (m)	Dev.b	[par]
Cik-cak raspored bušotina (1,1=DA, 1,0=NE)	K.raspored	[par]
Konstanta A kvadratne funkcije	A.kf	=-Se*H*m/SIN(RADIANS(α))
Konstanta B kvadratne funkcije	B.kf	=-(L.èep-L.prob)*(L.gn*Kzg*Sgp-(-1+L.gn)*Kzp*Spp)
Konstanta C kvadratne funkcije	C.kf	=(H/SIN(RADIANS(α)))*(L.gn*Kzg*Sgp-(-1+L.gn)*Kzp*Spp)
Determinanta D kvadratne funkcije	D.kf	=B.kf^2-4*A.kf*C.kf
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj bušotina godišnje	Nbuš.g	=ROUND(Q/Vizb;0)
Utrošak eksploziva glavnog punjenja (kg)	Ugl	=Qgl*Nbuš.g
Utrošak eksploziva pomoænog punjenja (kg)	Upom	=Qpom*Nbuš.g

Utrošak detonatora (kom)	Udet	=Nbuš.g*Ndet
Broj sati rada (h)	hr	=N.min*Hmin.1
Broj radnih sati na jednom miniranju (h)	Hmin.1	=((T.1+T.2+T.3+T.4+T.5+T.6)*Nbuš.1+T.7+T.8+Tnz)/60
Broj bušotina za jedno miniranje	Nbuš.1	=Vmin.1/Vizb
Broj nadnica	Nad.min	=N.min*Nekp
Srednja veličina bloka (mm)	X.50	=(A.min*Se^-0,8*Quk^0,167*(115/E.rel)^0,633)*10
Parametar oblika granulometrijske krivulje	N.gran	=(2,2-14*W/Db)*(1-Dev.b/W)*((1+m)/2)^0,5*(ABS(Lg-Lp)/Lnab+0,1)^0,1*(Lnab/H)*K.raspored
Karakteristicna velicina bloka (mm)	X.c	=X.50/(0,693)^(1/N.gran)
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	**=Q*k.r**
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=Nad.min*c.n
Trošak eksploziva (Kn)	Cex	=(Ugl+Upom)*c.ex
Trošak detonatora (Kn)	Cdet	=Udet*c.det

Hidr. čekić US

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Pm*Spg*k.os
Masa čekića (kg)	G.č	[spec]
Izlazna snaga čekića (kW)	Pč	=0,0187*G.č+7,1016
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cn+Ca+Cod)/hr
Koeficijent iskorištenja radnog vremena	Krv	[par]
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje kompresorskog ulja (%)	k.ku	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Volumni udio vangabaritnih blokova (%)	Uvb	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
Schmidtova tvrdoća (mm)	t.sch	[par]
Prosječno vrijeme razbijanja bloka (s)	Tblok	[par]
Prosjeèni volumen vangabarita (m3)	Vvgb	[par]
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Ciljana granulacija (mm)	d.gran	[ulaz]
Koeficijent namještanja	k.man	[par]
Srednja veličina vangabarita (mm)	d.van	[ulaz]
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj vangabaritnih blokova	Nvgb	=(d.van/d.gran)^3*Q
Broj sati rada (h)	hr	=Q/Qef/k.r
Broj nadnica	Nn	=hr/ERV
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Efektivni kapacitet (m3/h)	Qef	=1/(E.raz*0,000278/Pč+ROUNDDOWN((d.van/d.gran)^3;0)*k.man/(d.van^3)/3600)
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=Nn*c.n
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od
Energija razbijanja (kJ/m3)	E.raz	=-1,6117*d.gran-131,73*t.sch+9314,42

Hidr. čekić PR

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Pm*Spg*k.os
Masa čekića (kg)	G.č	[spec]
Izlazna snaga čekića (kW)	Pč	=0,0187*G.č+7,1016
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cn+Ca+Cod)/hr
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
RQD stijenske mase	RQD	[par]
Tlačna čvrstoća (MPa)	St	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Fond radnih sati (h)	N.h	[par]
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj sati rada (h)	hr	=Q/Qef
Broj nadnica	Nn	=hr/(ERV)
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	=Q*k.r
Indeks rezivosti stijenske mase	RMCI	=St*(RQD/100)^(2/3)
Efektivni kapacitet (m3/h)	Qef	=4,24*Pč*RMCI^(-0,567)
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=Nn*c.n
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od

Drobilica

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Pm*Spg*k.os
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Širina čeljusti drobilice (m)	Sč	[spec]
Vertikalna dubina čeljusti (m)	Dč	[spec]
Hod čeljusti drobilice (m)	hod.č	[spec]
Veličina ulaza drobilice (m)	Gč	[spec] [Izlaz]
Rotacijska brzina (o/min)	N.r	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cn+Ca+Cod)/hr
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Parametar grano sastava rmax	r.max	[spec]
Parametar grano sastava m	m	[spec]
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Koeficijent uvjeta rada	Kur	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
Specifična gustoća	ρ.s	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Fond radnih sati (h)	N.h	[par]
Gravitacijska konstanta (m/s2)	gg	[par]
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Otvor drobilice (m)	CSS	[par]
Koeficijent veličine ulaznog materijala	K.1	=0,85-(Fav/Gč)^2,5
Koeficijent hoda čeljusti	K.2	=1,92*10^(-6,5*hod.č/Gč)
Koeficijent vrste ulaznog materijala	K.3	[par]
Srednja veličina ulaznog zrna (m)	Fav	[ulaz]
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj sati rada (h)	hr	=Q/Qef
Broj nadnica	Nn	=hr/ERV
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	**=Q**
Efektivni kapacitet (m3/h)	Qef	=IF(N.r<n.krit;Sč*(CSS+hod.č/2)*(Dč*hod.č/(Gč-(CSS+hod.č)))*K.1*K.2*K.3*60*N.r;Sč*(CSS+hod.č/2)*(450*gg/N.r^2)*K.1*K.2*K.3*60*N.r)
Efektivni kapacitet (t/h)	Qef.m	=Qef*ρ.s
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=Nn*c.n
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Kritična brzina rotacije (o/min)	n.krit	=SQRT((Gč-(CSS+hod.č))*450*gg/(Dč*hod.č))
pomocni_1 (r.max*CSS)	r.max.CSS	=r.max*CSS*1000
pomocni_2	m.2	=m
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od

Utovarač UT

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Zapremina lopate (m3)	Vo	[spec]
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Spg*Pm*k.os
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cn+Ca+Cgum+Cod)/hr
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Fond radnih sati (h)	N.h	[par]
Vremenski ciklus stroja (s)	Tc	[par]
Koeficijent punjenja lopate	K.pu	[par]
Trajanje utovara (s)	T.ut	=n.c*Tc
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Cijena gume (h)	C.gum	[par]
Vijek gume (h)	T.gum	[par]
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj sati rada (h)	hr	=Q/Qef
Broj nadnica	Nn	=hr/ERV
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Zapremina materijala u lopati (m3)	V.u	=Vo*K.pu
Volumen materijala u sanduku kamiona (m3)	V.kam	[ulaz]
Broj lopata za punjenje kamiona	N.lop	=V.kam/V.u
Stvarni volumen materijala u sanduku (m3)	V.sand	19
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	=Q
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Broj potrebnih ciklusa	n.c	=ROUNDUP(N.lop;0)
Efektivni kapacitet (m3/h)	Qef	=3600*V.u/Tc
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=Nn*c.n
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Trošak guma (Kn)	Cgum	=Q.gum*C.gum
Utrošak guma (kom)	Q.gum	=hr*4/T.gum
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od

Utovarač TR

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Zapremina lopate (m3)	Vo	[spec]
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Spg*Pm*k.os
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cn+Ca+Cgum+Cod)/hr
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Fond radnih sati (h)	N.h	[par]
Vremenski ciklus stroja (s)	Tc	[par]
Brzina vožnje s punom lopatom (m/s)	V.pun	[par]
Brzina vožnje s praznom lopatom (m/s)	V.praz	[par]
Transportna udaljenost (m)	L.tr	[par]
Koeficijent punjenja lopate	K.pu	[par]
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Cijena gume (h)	C.gum	[par]
Vijek gume (h)	T.gum	[par]
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj sati rada (h)	hr	=Q/Qef
Broj nadnica	Nn	=hr/ERV
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Zapremina materijala u lopati (m3)	V.u	=Vo*K.pu
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	=Q
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Efektivni kapacitet (m3/h)	Qef	=3600*V.u/(Tc+L.tr/V.pun+L.tr/V.praz)
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=Nn*c.n
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Trošak guma (Kn)	Cgum	=Q.gum*C.gum
Utrošak guma (kom)	Q.gum	=hr*4/T.gum
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od

Bager PR

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Zapremina lopate (m3)	Vo	[spec]
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Spg*Pm*k.os
Masa (t)	G	[spec]
Visinski doseg bagera (m)	hv.max	[spec]
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cn+Ca+Cod)/hr
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Fond radnih sati (h)	N.h	[par]
Koeficijent punjenja lopate	Kp	[par]
Vremenski ciklus stroja (s)	Tc	=(Tc1+Ktc1)*Ktc2
Udio vremena razrušavanja stijene	T.raz	[par]
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Standardni ciklus bagera (s)	Tc1	=4,33*LN(G*1000)-26,74
Kut zakretanja (°)	alfa	[par]
Korekcija za kut zakretanja	Ktc1	=4,33*LN(RADIANS(alfa))-1,95
Visina radnog čela (m)	h.rč	[par]
Korekcija za visinu radnog čela i način odlaganja	Ktc2	[par]
Omjer visine radnog čela i dosega bagera (%)	k.vr	=h.rč/hv.max*100
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj sati rada (h)	hr	=Q/Qef
Broj nadnica	Nn	=hr/ERV
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	**=Q*k.r**
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Efektivni kapacitet (m3/h)	Qef	=(1-T.raz)*Vo*Kp*3600/(Tc*k.r)
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=Nn*c.n
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od

Bager UT

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Zapremina lopate (m3)	Vo	[spec]
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Spg*Pm*k.os
Masa (t)	G	[spec]
Visinski doseg bagera (m)	hv.max	[spec]
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cn+Ca+Cod)/hr
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Fond radnih sati (h)	N.h	[par]
Koeficijent punjenja lopate	Kp	[par]
Vremenski ciklus stroja (s)	Tc	=(Tc1+Ktc1)*Ktc2
Udio vremena razrušavanja stijene	T.raz	[par]
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Standardni ciklus bagera (s)	Tc1	=4,33*LN(G*1000)-26,74
Kut zakretanja (°)	alfa	[par]
Korekcija za kut zakretanja	Ktc1	=4,33*LN(RADIANS(alfa))-1,95
Visina radnog čela (m)	h.rč	[par]
Korekcija za visinu radnog čela i način odlaganja	Ktc2	[par]
Omjer visine radnog čela i dosega bagera (%)	k.vr	=h.rč/hv.max*100
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj sati rada (h)	hr	=Q/Qef
Broj nadnica	Nn	=hr/ERV
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	**=Q**
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Efektivni kapacitet (m3/h)	Qef	=(1-T.raz)*Vo*Kp*3600/Tc
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=Nn*c.n
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od

Bušilica

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Spg*Pm*k.os
Snaga čekića (kW)	Pč	[spec]
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cku+Cn+Ca+Ckr+Cbš+Cod)/hr
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje kompresorskog ulja (%)	k.ku	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Promjer bušotine (mm)	Db	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena kompresorskog ulja (Kn/kg)	c.ku	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
Tlačna čvrstoća (MPa)	St	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Fond radnih sati (h)	N.h	[par]
Cijena bušaće šipke (Kn)	c.bš	[par]
Cijena bušaće krune (Kn)	c.kr	[par]
Koeficijent bušenja	Kb	[par]
Brzina prodiranja (m/h)	Vprod	=(Pč/15,75)*(82,5/Db)^2*(-30,25*LN(St)+187,99)
Uèinak miniranja (m3/m)	Um	[ulaz]
Broj èlanova posade	Nekip	[par]
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Potrošnja bušaćih kruna (kom/h)	s.kr	[par]
Potrošnja bušaćih šipki (kom/h)	s.bš	[par]
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Volumen matrijala (m3)	Q	[ulaz]
Duljina bušenja (m)	Lb.g	=Q/Um
Broj sati rada (h)	hr	=Lb.g/V.ef
Broj nadnica	Nn	=hr/ERV
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak kompresorskog ulja (kg)	Q.ku	=Pm*k.ku*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Efektivna brzina bušenja (m/h)	V.ef	=1/(1/Vprod+Kb)
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Trošak kompresorskog ulja (Kn)	Cku	=Q.ku*C.ku
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	=Q
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=Nn*c.n
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Utrošak bušaćih kruna (kom)	Q.kr	=s.kr*hr
Utrošak bušaćih šipki (kom)	Q.bš	=s.bš*hr
Trošak bušaćih kruna (kom)	Ckr	=Q.kr*c.kr
Trošak bušaćih šipki (kom)	Cbš	=Q.bš*c.bš
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od

Kamion

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Kapacitet sanduka (m3)	Vo	[spec]
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Pm*Spg*k.os
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cn+Ca+Cgum+Cod)/hr
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena kompresorskog ulja (Kn/kg)	c.ku	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Fond radnih sati (h)	N.h	[par]
Transportna udaljenost (m)	L.tran	[par]
Vrijeme istresanja (s)	T.ist	[par]
Vrijeme manevriranja (s)	T.man	[par]
Prosječna brzina vožnje (m/s)	V.sred	[par]
Trajanje utovara (s)	T.ut	[ulaz]
Koeficijent punjenja	K.pun	[par]
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Cijena gume (h)	C.gum	[par]
Vijek gume (h)	T.gum	[par]
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Vrijeme ciklusa (s)	Tc	=2*L.tran/V.sred+T.ut+T.ist+T.man
Volumen materijala u sanduku kamiona (m3)	V.kam	=Vo*K.pun
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj sati rada (h)	hr	=Q/Qef
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Broj nadnica	Nn	=hr/ERV
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	=Q
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Efektivni kapacitet (m3/h)	Qef	=V.kam/Tc*3600
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=Nn*c.n
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Trošak guma (Kn)	Cgum	=Q.gum*C.gum
Utrošak guma (kom)	Q.gum	=hr*6/T.gum
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od

Dozer PR

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Širina noža (m)	l.nd	[spec]
Visina noža (m)	h.nd	[spec]
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Kapacitet noža (m3)	Vnd	=l.nd*(h.nd^2/(2*TAN(RADIANS(ϕ)))+0,698*h.nd*h.ko)
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Pm*Spg*k.os
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Visina kružnog odsječka noža (m)	h.ko	[spec]
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cn+Ca+Cod)/hr
Širina berme (m)	Bb	[par]
Prirodni kut sipanja materijala (°)	φ	[par]
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Širina zahvata (m)	Bz	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Fond radnih sati (h)	N.h	[par]
Brzina transportiranja (m/s)	Vt	[par]
Brzina povratka (m/s)	Vp	[par]
Vrijeme promjene smijera (s)	t.ps	[par]
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Duljina trejektorije u jednom smjeru (m)	L.tr	=Bz/SIN(RADIANS(45))+Bb
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Ciklus dozera (s)	Tc	=L.tr*(1/Vt+1/Vp)+2*t.ps
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj sati rada (h)	hr	=Q*k.r/Qef
Broj nadnica	Nn	=hr/ERV
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	**=Q*k.r**
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Efektivni kapacitet (m3/h)	Qef	=3600*Vnd/Tc
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=c.n*Nn
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od

Dozer GT

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Širina noža (m)	l.nd	[spec]
Visina noža (m)	h.nd	[spec]
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Kapacitet noža (m3)	Vnd	=l.nd*(h.nd^2/(2*TAN(RADIANS(ϕ)))+0,698*h.nd*h.ko)
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Pm*Spg*k.os
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Visina kružnog odsječka noža (m)	h.ko	[spec]
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cn+Ca+Cod)/hr
Širina berme (m)	Bb	[par]
Prirodni kut sipanja materijala (°)	φ	[par]
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Fond radnih sati (h)	N.h	[par]
Brzina transportiranja (m/s)	Vt	[par]
Brzina povratka (m/s)	Vp	[par]
Vrijeme promjene smijera (s)	t.ps	[par]
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Duljina trejektorije u jednom smjeru (m)	L.tr	=Bb/SIN(RADIANS(45))
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Ciklus dozera (s)	Tc	=L.tr*(1/Vt+1/Vp)+2*t.ps
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj sati rada (h)	hr	=Q/Qef
Broj nadnica	Nn	=hr/ERV
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	**=Q**
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Efektivni kapacitet (m3/h)	Qef	=3600*Vnd/Tc
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=c.n*Nn
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od

Dozer PR2

Naziv veličine	Oznaka	Funkcija
Širina noža (m)	l.nd	[spec]
Visina noža (m)	h.nd	[spec]
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	[spec]
Kapacitet noža (m3)	Vnd	=l.nd*(h.nd^2/(2*TAN(RADIANS(ϕ)))+0,698*h.nd*h.ko)
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	=Pm*Spg*k.os
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	[spec]
Visina kružnog odsječka noža (m)	h.ko	[spec]
Radni vijek (h)	T.rv	[spec]
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	=(Cg+Cmu+Cdu+Chu+Cm+Cn+Ca+Cod)/hr
Širina berme (m)	Bb	[par]
Prirodni kut sipanja materijala (°)	φ	[par]
Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	[par]
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	[par]
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	[par]
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	[par]
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	[par]
Koeficijent rastresitosti	k.r	[par]
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	[par]
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	[par]
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	[par]
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	[par]
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	[par]
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	[par]
Iznos nadnice (Kn)	c.n	[par]
Fond radnih sati (h)	N.h	[par]
Brzina transportiranja (m/s)	Vt	[par]
Brzina povratka (m/s)	Vp	[par]
Vrijeme promjene smijera (s)	t.ps	[par]
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	[par]
Duljina trejektorije u jednom smjeru (m)	L.tr	[par]
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	[par]
Ciklus dozera (s)	Tc	=L.tr*(1/Vt+1/Vp)+2*t.ps
Volumen materijala (m3)	Q	[ulaz]
Broj sati rada (h)	hr	=Q/Qef
Broj nadnica	Nn	=hr/ERV
Utrošak dizel goriva (kg)	Q.dizel	=hr*Npg
Utrošak motornog ulja (kg)	Q.mu	=Pm*k.mu*hr/1000
Utrošak diferencijalnog ulja (kg)	Q.du	=Pm*k.du*hr/1000
Utrošak hidrauličnog ulja (kg)	Q.hu	=Pm*k.hu*hr/1000
Utrošak maziva (kg)	Q.m	=Pm*k.m*hr/1000
Volumen materijala izlaz (m3)	Q.iz	**=Q**
Trošak dizel goriva (Kn)	Cg	=Q.dizel*c.g
Trošak motornog ulja (Kn)	Cmu	=Q.mu*C.mu
Trošak diferencijalnog ulja (Kn)	Cdu	=Q.du*C.du
Trošak hidrauličnog ulja (Kn)	Chu	=Q.hu*C.hu
Trošak maziva (Kn)	Cm	=Q.m*C.m
Efektivni kapacitet (m3/h)	Qef	=3600*Vnd/Tc
Trošak nadnica (Kn)	Cn	=c.n*Nn
Trošak amortizacije (Kn)	Ca	=C.ns/T.rv*hr
Iskorištenje stroja	k.stroj	=hr/N.h
Trošak održavanja (Kn)	Cod	=hr*c.od

PRILOG 2

Eksterne tabele specifikacija strojeva

S1		dozer
Širina noža (m)	l.nd	4,06
Visina noža (m)	h.nd	1,85
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	268
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	2.266.100,00
Visina kružnog odsječka noža (m)	h.ko	0,28
Radni vijek (h)	T.rv	35000

S2		bager
Zapremina lopate (m3)	Vo	2
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	180
Masa (t)	G	40
Radni vijek (h)	T.rv	18000
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	1800000

S3		hidraulični čekić
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	180
Masa čekića (kg)	G.č	1500
Radni vijek (h)	T.rv	18000
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	1800000

S4		kamion
Kapacitet sanduka (m3)	Vo	18
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	315
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	2345000
Radni vijek (h)	T.rv	20000

S5		bušaća garnitura
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	125
Snaga čekića (kW)	Pč	11,5
Radni vijek (h)	T.rv	15000
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	900000

S6		utovarač
Zapremina lopate (m3)	Vo	4,5
Normativ potrošnje goriva (kg/h)	Npg	14,65
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	194
Radni vijek (h)	T.rv	12000
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	1500000

S7		drobilica
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	310
Širina čeljusti drobilice (m)	Sč	1,1
Vertikalna dubina čeljusti (m)	Dč	1,94
Hod čeljusti drobilice (m)	hod.č	0,036
Veličina ulaza drobilice (m)	Gč	0,85
Rotacijska brzina (o/min)	N.r	230
Radni vijek (h)	T.rv	15000
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	5980000
Parametar grano sastava rmax	r.max	1,5
Parametar grano sastava m	m	0,91

S8		sito s rotirajućim valjcima
Kapacitet (t/h)	Qe	200
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	149
Radni vijek (h)	T.rv	20000
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	3826000

S9		vibracijsko sito
Snaga pogonskog motora (kW)	Pm	74
Radni vijek (h)	T.rv	15000
Nabavna cijena stroja (Kn)	C.ns	1524400

S10		prim.stac.postrojenje
Kapacitet (t/h)	Qei	200
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	1900

S11		sek.stac.postrojenje
Kapacitet (t/h)	Qei	30
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	1070

S12		stac. pranje
Kapacitet (t/h)	Qei	25
Cijena rada stroja (Kn/h)	C.h	500

P1

Širina berme (m)	Bb	5
Prirodni kut sipanja materijala (°)	ϕ	40
Koeficijent rastresitosti	k.r	1,25
Širina zahvata (m)	Bz	10
Brzina transportiranja (m/s)	Vt	0,68
Brzina povratka (m/s)	Vp	1,13
Vrijeme promjene smijera (s)	t.ps	4
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,485
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	37,04

P2

Širina berme (m)	Bb	5
Prirodni kut sipanja materijala (°)	φ	40
Širina zahvata (m)	Bz	10
Brzina transportiranja (m/s)	Vt	0,68
Brzina povratka (m/s)	Vp	1,13
Vrijeme promjene smijera (s)	t.ps	4
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,485
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	37,04

P3

Koeficijent rastresitosti	k.r	1,35
Koeficijent punjenja lopate	Kp	1
Udio vremena razrušavanja stijene	T.raz	0,36
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,561
Kut zakretanja (°)	alfa	90
Korekcija za visinu radnog čela i način odlaganja	Ktc2	0,8
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	33,14

P4

Koeficijent punjenja lopate	Kp	0,9
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,561
Kut zakretanja (°)	alfa	90
Korekcija za visinu radnog čela i način odlaganja	Ktc2	0,8
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	33,14

P5

Koeficijent punjenja lopate	Kp	0,9
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,561
Kut zakretanja (°)	alfa	90
Korekcija za visinu radnog čela i način odlaganja	Ktc2	1,1
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	33,14

P6

Koeficijent rastresitosti	k.r	1,4
Tlačna čvrstoća (MPa)	St	98,15
RQD stijenske mase	RQD	32
Iznos nadnice (Kn)	c.n	400
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,3
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	39,9

P7

Koeficijent rastresitosti	k.r	1,4
Schmidtova tvrdoća (mm)	t.sch	61
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,3
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	39,9
Koeficijent namještanja	k.man	8

P8

Vremenski ciklus stroja (s)	Tc	39
Koeficijent punjenja lopate	K.pu	1,1
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,273
Cijena gume (h)	C.gum	35000
Vijek gume (h)	T.gum	10000
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	23,88

P9

Vremenski ciklus stroja (s)	Tc	42
Brzina vožnje s punom lopatom (m/s)	V.pun	3
Brzina vožnje s praznom lopatom (m/s)	V.praz	4
Transportna udaljenost (m)	L.tr	50
Koeficijent punjenja lopate	K.pu	1,1
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,273
Cijena gume (h)	C.gum	35000
Vijek gume (h)	T.gum	10000
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	23,88

P10

Transportna udaljenost (m)	L.tran	200
Vrijeme istresanja (s)	T.ist	20
Vrijeme manevriranja (s)	T.man	30
Prosječna brzina vožnje (m/s)	V.sred	5,6
Koeficijent punjenja	K.pun	1,2
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,236
Cijena gume (h)	C.gum	35000
Vijek gume (h)	T.gum	4000
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	70,24

P11

Transportna udaljenost (m)	L.tran	4000
Vrijeme istresanja (s)	T.ist	20
Vrijeme manevriranja (s)	T.man	30
Prosječna brzina vožnje (m/s)	V.sred	5,6
Koeficijent punjenja	K.pun	1,2
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,236
Cijena gume (h)	C.gum	35000
Vijek gume (h)	T.gum	4000
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	70,24

P12

Specifična gustoća	ρ.s	2,97
Gravitacijska konstanta (m/s2)	gg	9,81
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,45
Otvor drobilice (m)	CSS	0,1
Koeficijent vrste ulaznog materijala	K.3	0,58
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	197,9

P13

Specifična gustoća	ρ.s	2,72
Gravitacijska konstanta (m/s2)	gg	9,81
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,45
Otvor drobilice (m)	CSS	0,05
Koeficijent vrste ulaznog materijala	K.3	0,8
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	197,9

P14

Specifična gustoća	ρ.s	2,71
Gravitacijska konstanta (m/s2)	gg	9,81
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,45
Otvor drobilice (m)	CSS	0,05
Koeficijent vrste ulaznog materijala	K.3	0,9
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	197,9

P15

Visina etaže (m)	H	15
Širina berme (m)	Bb	5
Nagib etažne kosine (°)	α	55
Prirodni kut sipanja materijala (°)	ϕ	40
Koeficijent rastresitosti	k.r	1,35
Donja etaža u materijalu	Et.donja	3
Gornja etaža u materijalu	Et.gornja	5
Širina zahvata (m)	Bz	10

P16

Visina etaže (m)	H	20
Širina berme (m)	Bb	5
Nagib etažne kosine (°)	α	70
Prirodni kut sipanja materijala (°)	ϕ	35
Koeficijent rastresitosti	k.r	1,4
Donja etaža u materijalu	Et.donja	1
Gornja etaža u materijalu	Et.gornja	3
Širina zahvata (m)	Bz	5

P17

Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,627
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	58,4

P18

Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,22
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	58,4

P19

Promjer bušotine (mm)	Db	90
Tlačna čvrstoća (MPa)	St	206
Koeficijent bušenja	Kb	0,027
Koeficijent opterećenja stroja	k.os	0,616
Potrošnja bušaćih kruna (kom/h)	s.kr	0,015
Potrošnja bušaćih šipki (kom/h)	s.bš	0,01
Cijena održavanja (Kn/h)	c.od	32,81

P20

Visina etaže (m)	H	20
Nagib etažne kosine (°)	α	70
Koeficijent rastresitosti	k.r	1,4
Promjer bušotine (mm)	Db	90
Pregled i pročišćavanje bušotina (min/bušotini)	T.1	2
Raznošenje i raspoređivanje eksploziva (min/bušotini)	T.2	1
Spuštanje udarne patrone (min/bušotini)	T.3	5
Punjenje minskih bušotina (min/bušotini)	T.4	3
Čepljenje bušotina (min/bušotini)	T.5	1,5
Povezivanje minskog polja (min/bušotini)	T.6	20
Osiguravanje i otpucavanje minskog polja (min)	T.7	20
Pregled otpucanog minskog polja (min)	T.8	30
Nepredviđeni zastoji (min)	Tnz	2
Utrošak detonatora (kom/bušotini)	Ndet	2
Broj članova ekipe	Nekp	4
Koncentracija glavnog punjenja (kg/m')	Sgp	4,74
Koncentracija pomoćnog punjenja (kg/m')	Spp	6,2
Koeficijent razmaka bušotina	m	1,3
Specificna potrošnja eksploziva (kg/m3)	Se	0,55
Duljina èepa u odnosu na izbojnicu (m/m)	L.èep	1,11
Duljina probušenja u odnosu na izbojnicu (m/m)	L.prob	0,19
Duljina glavnog naboja (m/m)	L.gn	0,22
Koef. zbijanja glavnog naboja	Kzg	1
Koef.zbijanja pomoænog naboja	Kzp	1
Volumen stijene za jedno miniranje (m3)	Vmin.1	5500
Relativna energija eksploziva (%ANFO)	E.rel	115
Minirljivost stijene	A.min	6,93
Devijacija bušotine (m)	Dev.b	0,1
Cik-cak raspored bušotina (1,1=DA, 1,0=NE)	K.raspored	1,1
Veličina bloka in situ (mm)	X.in	1500

P21

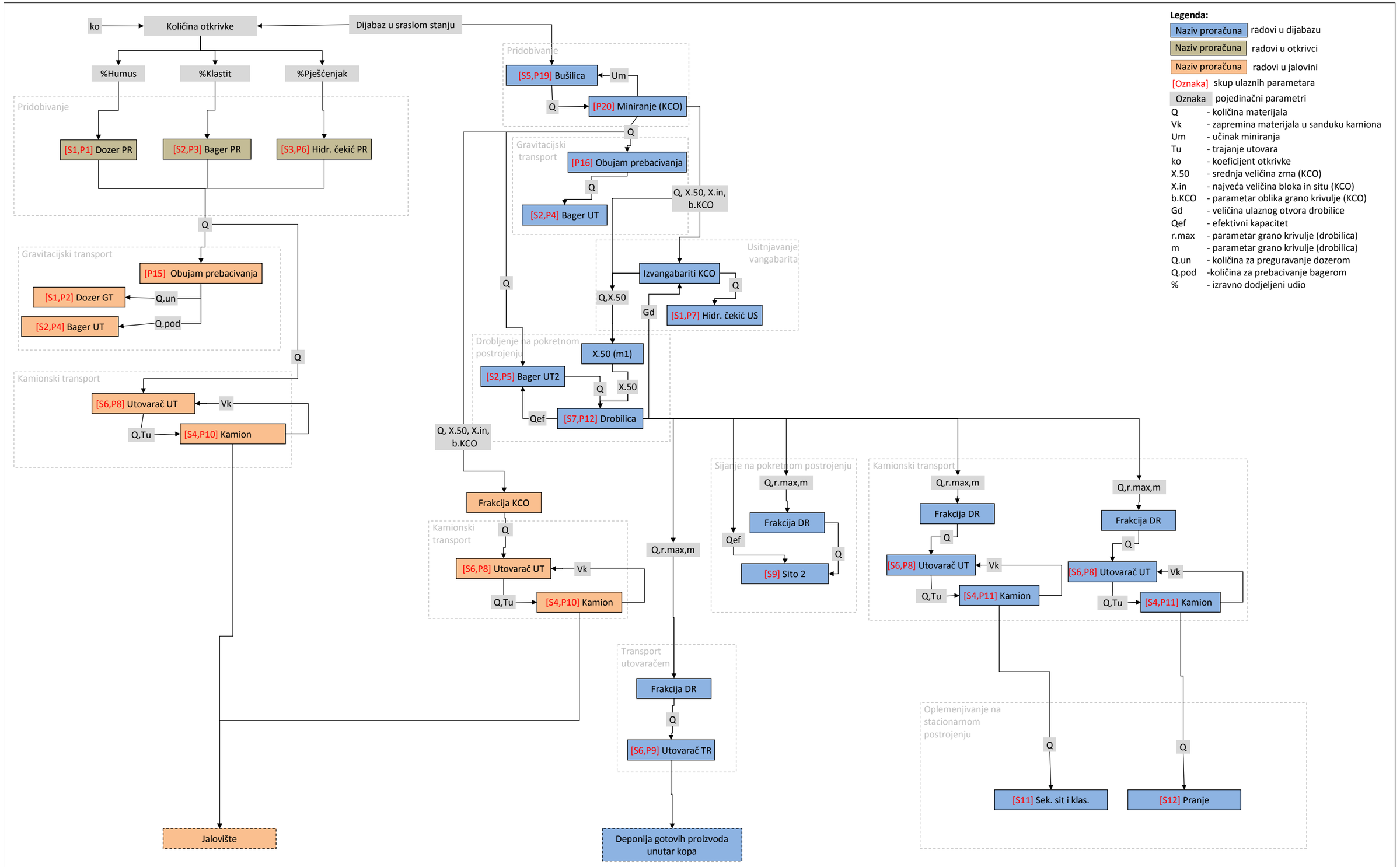
Visina etaže (m)	H	15
Širina berme (m)	Bb	5
Nagib etažne kosine (°)	α	55
Prirodni kut sipanja materijala (°)	ϕ	35
Koeficijent rastresitosti	k.r	1,4
Donja etaža u materijalu	Et.donja	1
Gornja etaža u materijalu	Et.gornja	5
Širina zahvata (m)	Bz	5

Zajednički parametri

Specifična potrošnja goriva (kg/kWh)	Spg	0,22
Koeficijent potrošnje motornog ulja (%)	k.mu	0,8
Koeficijent potrošnje diferencijalnog ulja (%)	k.du	0,6
Koeficijent potrošnje hidrauličnog ulja (%)	k.hu	0,15
Koeficijent potrošnje maziva (%)	k.m	0,05
Efektivno radno vrijeme (h)	ERV	7
Cijena dizel goriva (Kn/kg)	c.g	9,26
Cijena motornog ulja (Kn/kg)	c.mu	30
Cijena diferencijalnog ulja (Kn/kg)	c.du	25
Cijena hidrauličnog ulja (Kn/kg)	c.hu	25
Cijena maziva (Kn/kg)	c.m	80
Iznos nadnice (Kn)	c.n	400
Fond radnih sati (h)	N.h	2400
Koeficijent potrošnje kompresorskog ulja (%)	k.ku	0,15
Cijena kompresorskog ulja (Kn/kg)	c.ku	32
Cijena bušaće šipke (Kn)	c.bš	2700
Cijena bušaće krune (Kn)	c.kr	3600
Cijena eksploziva (Kn/kg)	c.ex	11,25
Cijena detonatora (Kn/kg)	c.det	23

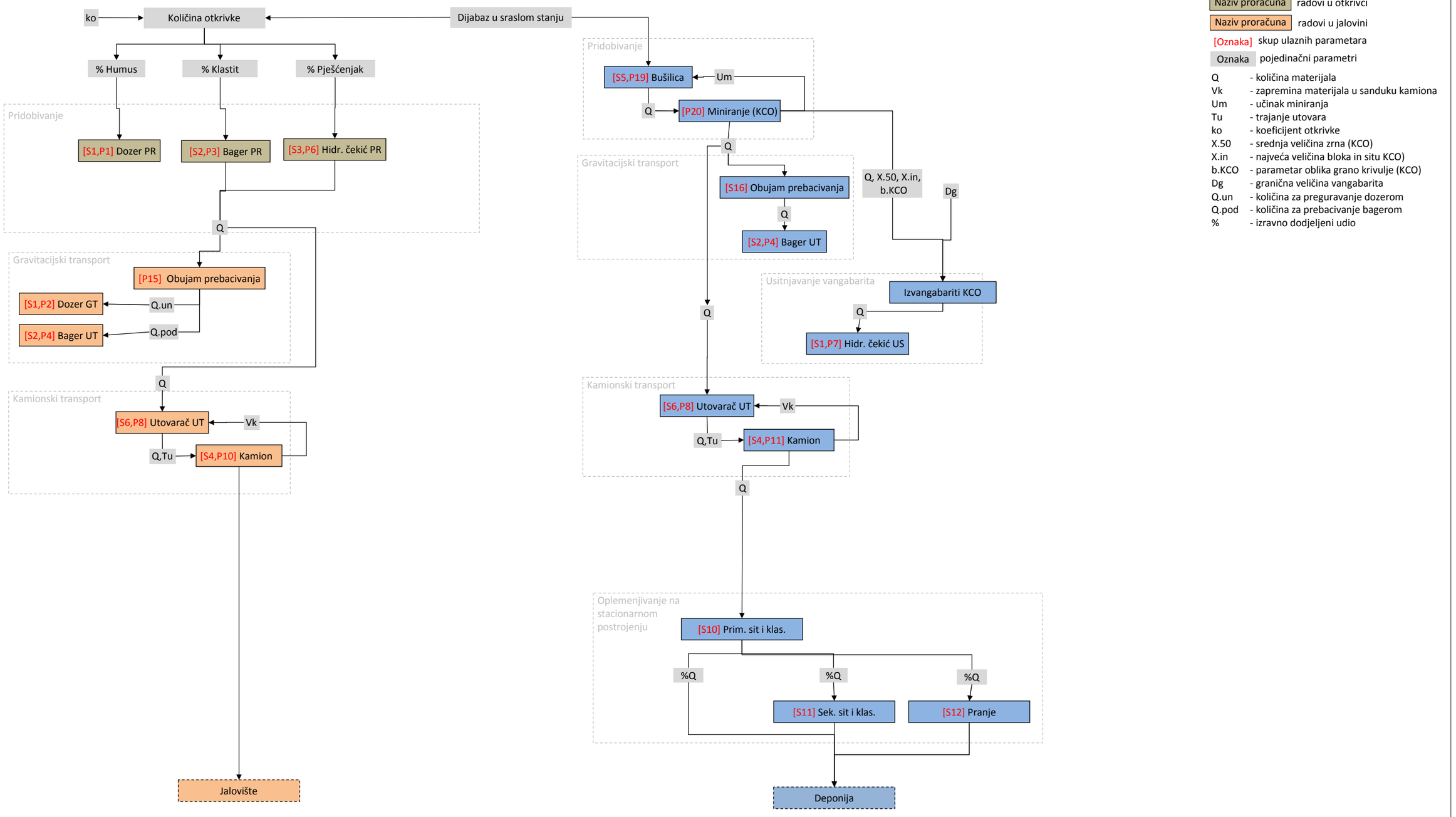
PRILOG 4

Proračunska shema eksploatacije bez iskorištenja dijela otkrivke i primjenom pokretnih postrojenja



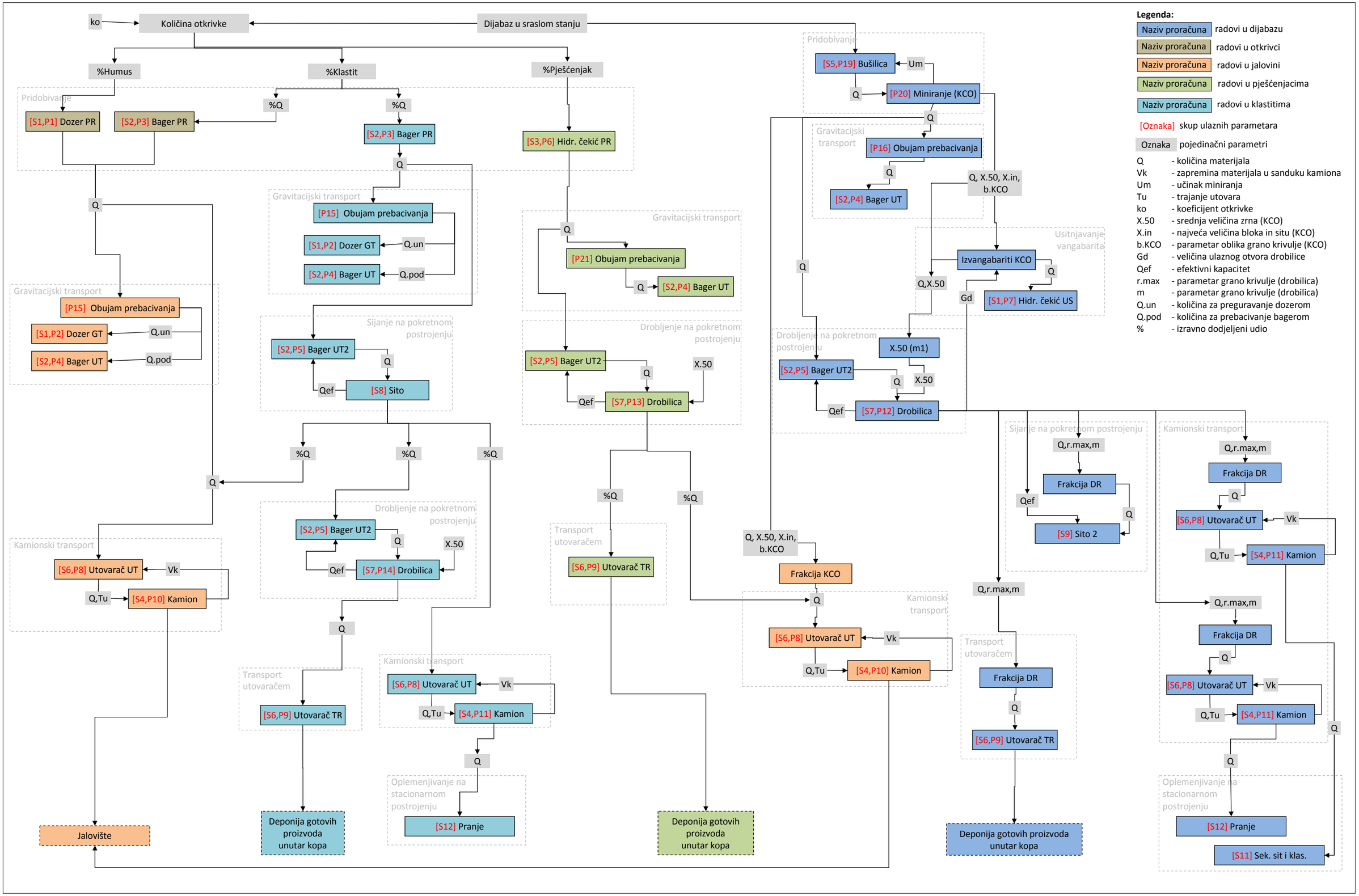
PRILOG 5

Proračunska shema eksploatacije bez iskorištenja dijela otkrivke i primjene pokretnih postrojenja



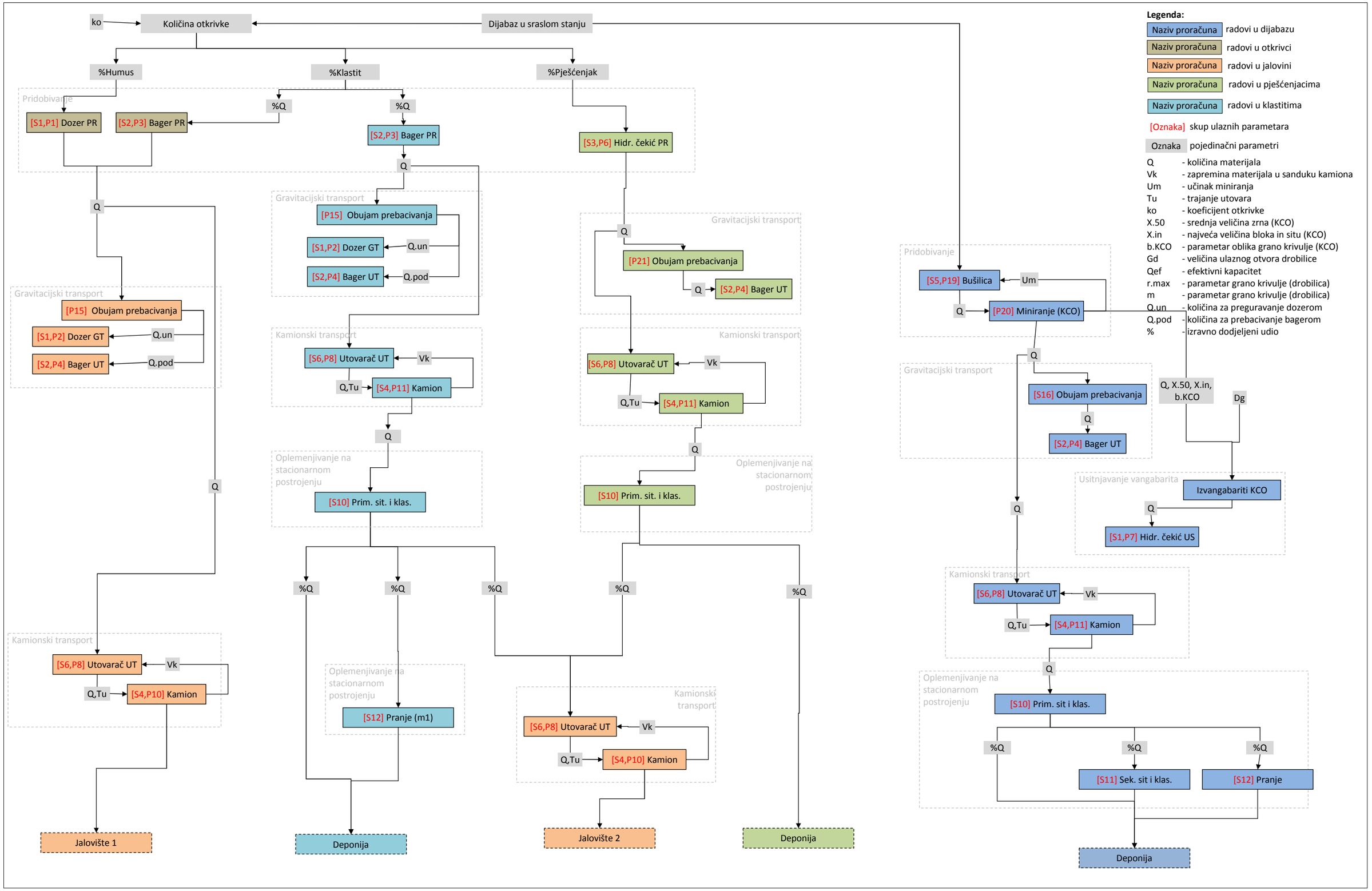
PRILOG 6

Proračunska shema eksploatacije iskorištenjem dijela otkrivke i primjenom pokretnih postrojenja



PRILOG 7

Proračunska shema eksploatacije iskorištenjem dijela otkrivke i bez primjene pokretnih postrojenja



PRILOG 8

Konturni dijagrami rentabilnosti eksploatacijskih sustava

