

# Prijedlog proširenja eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Dubac"

---

**Zubčević, Haris**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*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:169:153984>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-03**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij rudarstva

**PRIJEDLOG PROŠIRENJA EKSPLOATACIJE TEHNIČKO-GRAĐEVNOG  
KAMENA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU „DUBAC“**

Diplomski rad

Haris Zubčević

R246

Zagreb, 2020.



KLASA: 602-04/20-01/157  
URBROJ: 251-70-03-20-3  
U Zagrebu, 07.09.2020.

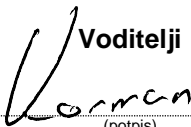
**Haris Zubčević, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/20-01/157, UR. BROJ: 251-70-11-20-1 od 08.05.2020. godine priopćujemo temu diplomskog rada koja glasi:

### PRIJEDLOG PROŠIRENJA EKSPLOATACIJE TEHNIČKO- GRAĐEVNOG KAMENA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU „DUBAC“

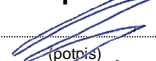
Za voditelje ovog diplomskog rada imenuju se u smislu Pravilnika o diplomskom ispitu doc. dr. sc. Tomislav Korman, docent Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i doc. dr. sc. Zlatko Briševac, docent Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

**Voditelji**  
  
(potpis)

Doc. dr. sc. Tomislav Korman

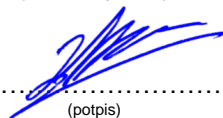
(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva  
za završne i diplomske  
ispite**

  
(potpis)

Doc. dr. sc. Dubravko  
Domitrović

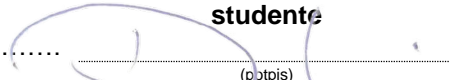
(titula, ime i prezime)

  
(potpis)

Doc. dr. sc. Zlatko Briševac

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i  
studente**

  
(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)

PRIJEDLOG PROŠIRENJA EKSPLOATACIJE TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA NA  
EKSPLOATACIJSKOM POLJU „DUBAC“

Haris Zubčević

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U diplomskom radu opisan je razvoj rudarskih radova na eksploatacijskom polju tehničko-građevnog kamena "Dubac" pored grada Dubrovnika. Napravljen je prijedlog proširenja eksploatacije na dvije nove etaže produblivanjem i povećanjem generalnog kuta nagiba u računalnom programu OpenRoadsDesigner, napravljen je proračun obujma metodom paralelnih presjeka, objašnjen je način prikupljanja podataka za analizu stabilnosti i dvije metode transporta.

Ključne riječi: eksploatacijsko polje, Dubac, analiza stabilnosti, OpenRoads, transport

Završni rad sadrži: 36 stranica, 10 tablica, 18 slika, 4 priloga, i 17 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr. sc. Tomislav Korman, docent RGNF  
Dr. sc. Zlatko Briševac, docent RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Trpimir Kujundžić, redoviti profesor RGNF  
Dr. sc. Tomislav Korman, docent RGNF  
Dr. sc. Zlatko Briševac, docent RGNF  
Dr. sc. Mario Klanfar, docent RGNF  
Dr. sc. Dubravko Domitrović, docent RGNF

PROPOSAL FOR EXPANSION OF EXPLOITATION OF CRUSHED STONE IN THE "DUBAC"  
EXPLOITATION FIELD

Haris Zubčević

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Mining Engineering and Geotechnics  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

This Master's thesis presents development of mining activities at open pit of crushed stone „Dubac“ near city of Dubrovnik. A proposal was made to expand the exploitation to two new benches by deepening and increasing the general angle of inclination in the computer program OpenRoadsDesigner, made a calculation of the volume by the method of parallel sections, explained how to collect data for stability analysis and two methods of transportation.

Keywords: exploitation field, Dubac, stability analysis, OpenRoads, transportation

Thesis contains: 36 pages, 10 tables, 18 figures, 4 appendixes, i 17 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Assistant Professor Tomislav Korman, PhD  
Assistant Professor Zlatko Briševac, PhD

Reviewers: Professor Trpimir Kujundžić, PhD  
Assistant Professor Tomislav Korman, PhD  
Assistant Professor Zlatko Briševac, PhD  
Assistant Professor Mario Klanfar, PhD  
Assistant Professor Dubravko Domitrović, PhD

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	7
2. OPĆI PODACI O EP „DUBAC“ .....	8
2.1. Povijest i izgled ležišta .....	8
2.2. Položaj kamenoloma.....	8
2.3. Klima .....	9
2.4. Geologija i tip terena .....	10
3. PROŠIRENJE EKSPLOATACIJE TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU „DUBAC“ .....	12
3.1. Nova geometrija kopa.....	14
3.2. Izrada novih presjeka .....	17
3.3. Proračun obujma metodom paralelnih presjeka .....	18
4. ANALIZA PRIJEDLOGA PROŠIRENJA .....	21
4.1. Izazov analize stabilnosti na EP „Dubac“ .....	21
4.1.1. Prikupljanje i analiza ulaznih podataka .....	21
4.1.2. Preliminarna analiza stabilnosti .....	28
4.1.3. Lokalna (etažna) analiza za ravni oblik sloma.....	29
4.1.4. Analiza stabilnosti sustava kosina .....	30
4.2. Pretpostavljene količine materijala koje bi se dobile strmijim kosinama.....	32
5. TRANSPORT MATERIJALA SA NOVIH ETAŽA .....	34
5.1. Utovar i transport strojevima .....	34
5.2. Gravitacijski transport .....	36
6. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK.....	40
7. LITERATURA.....	42

## POPIS SLIKA

Slika 2-1 Položaj kamenoloma Dubac M 1:50000 (Google Earth, 2020).....	9
Slika 2-2 Satelitski snimak eksploatacijskog polja „Dubac”, M 1:5000 (Informacijski sustav prostornog uređenja, 2020).....	11
Slika 3-1 Situacijska karta eksploatacijskog polja „Dubac“ u programu OpenRoads Designer M 1:2500 .....	12
Slika 3-2 Područje na kojem bi se napravile nove etaže M 1:2000.....	13
Slika 3-3 Pogled na plato +205 sa budućeg osnovnog platoa +175 .....	14
Slika 3-4 Prikaz novih etaža +190 i +175 M 1:2000.....	15
Slika 3-5 Osnovne veličine konstrukcije etaža površinskog kopa novog stanja .....	17
Slika 3-6 Položaj novih presjeka M 1:2000 .....	18
Slika 3-7 Granice kategorija rezervi M 1:2500 .....	18
Slika 4-1 Postupak ocjene strukture stijenske mase (Hrženjak i Briševac, 2009).....	26
Slika 4-2 Postupak određivanja vrijednosti za GSI (Hrženjak i Briševac, 2009.).....	27
Slika 4-3 Orijentacija azimuta završnih kosina .....	28
Slika 4-4 Model ravnog loma bez vlačne pukotine (Hrženjak i Briševac, 2009).....	30
Slika 4-5 Bishopova metoda na primjeru profila sa slike 3-5. ....	31
Slika 4-6 Površina dijela sa povećanim generalnim kutom nagiba za 5 stupnjeva .....	32
Slika 5-1 Dimenzije izabranog utovarivača.....	34
Slika 5-2 Dimenzije izabranog kamiona .....	35
Slika 5-3 Shema i princip izračuna obujma prebacivanja .....	37

## **POPIS TABLICA**

Tablica 2-1 Srednja mjesečna i godišnja temperature	9
Tablica 2-2 Srednje vrijednosti oborina po godišnjim dobima	10
Tablica 3-1 Proračun bilančnih rezervi (M.P.P)	20
Tablica 3-2 Proračun ukupne količine eksploatacijskih rezervi	20
Tablica 4-1 Vrijednosti veličina za ocjenu hrapavosti, trošnosti i ispune diskontinuiteta (Bienawski, 1979)	27
Tablica 4-2 Orijentacija i nagib kosina	28
Tablica 4-3 Obračunska tablica za dobivanje obujma sa povećanjem generalnog kuta nagiba	32
Tablica 5-1 Tehničke specifikacije utovarivača	34
Tablica 5-2 Tehničke specifikacije bagera gusjeničara	35
Tablica 5-3 Tehničke specifikacije kamiona istresača	36



## **POPIS PRILOGA**

Prilog 1 Situacijska karta površinskog kopa „Dubac“

Prilog 2 Karta završnog stanja površinskog kopa „Dubac“ nakon proširenja

Prilog 3 Položaj obračunskih presjeka

Prilog 4 Obračunski presjeci

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
$\alpha_e$	(°)	kut nagiba etažne kosine u radnom položaju
$\alpha_z$	(°)	kut nagiba etažne kosine u završnom položaju
$x_e$	(m)	projekcija etažne kosine u radnom položaju
$x_z$	(m)	projekcija etažne kosine u završnom položaju
$B$	(m)	širina završne etaže (berma)
$tg \alpha_e$	-	tangens kuta etažne kosine
$tg \alpha_z$	-	tangens kuta završne kosine
$h$	(m)	visina etaže na kopu
$H$	(m)	ukupna visina kopa
$\varphi_g$	(t/m <sup>3</sup> )	gustoća
-	(% vol.)	poroznost
$\sigma_t$	(MPa)	jednoosna tlačna čvrstoća
$E_m$	(MPa)	modul deformabilnosti
-	(°)	orijentacija
-	(cm)	razmak
-	(mm)	zijevoj
$R_r$	-	ocjena hrapavosti
$R_f$	-	ocjena ispune
$R_w$	-	ocjena trošnosti
$JRC$	-	Koeficijent hrapavosti pukotine
$JCS$	(MPa)	Čvrstoća stijenki diskontinuiteta
$c$	(N/m <sup>2</sup> )	vrijednost kohezije na diskontinuitetu
$A$	(m <sup>2</sup> )	površina klizne plohe
$W$	(N)	težina kliznog bloka
$\psi_p$	(°)	nagib klizne plohe
$\alpha$	-	koeficijent za izračun horizontalne sile uslijed seizmičkih opterećenja
$U$	(N)	sila uzgona vode na kliznoj plohi
$\phi$	(°)	kut unutarnjeg trenja
$W$	(N)	težina kliznog bloka
$u_i$	(kPa)	porni tlak u lameli
$c_{ef}, \varphi_{ef}$	(kPa)	efektivne vrijednosti parametara posmične čvrstoće tla

<i>li</i>	(m)	duljina baze lamele
<i>bi</i>	(m)	širina lamele
<i>Pz</i>	(m <sup>3</sup> )	jedinični obujam ili obujam po dužnom metru otkopne fronte
<i>Bz</i>	(m)	širina zahvata
<i>Kr</i>	-	koeficijent rastresitosti
<i>Pet</i>	(m <sup>3</sup> )	jedinični obujam zadržanog materijala po m' otkopne fronte
$\varphi$	(°)	kut sipanja materijala
<i>n<sub>g</sub></i>	-	broj najviše etaže u ciljanoj stijenskoj masi
<i>n<sub>d</sub></i>	-	broj najniže etaže u ciljanoj stijenskoj masi

## 1. UVOD

Ovaj diplomski rad ima zadatak opisati prijedlog proširenja eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Dubac“. Po ovom prijedlogu omogućio bi se razvoj kopa od kote +205 do +175 po visini i površini kao novi plan eksploatacije na sada neplaniranom prostoru za izvođenje radova. Diplomski rad ima svrhu usvajanja kritičkog promišljanja pri planiranju budućih rudarskih radova. Prilikom izrade prikupljeni su dostupni podatci potrebni za analiziranje nove geometrije kopa i koristi od izrade dviju novih etaža i eventualno izrade strmijeg generalnog nagiba kopa. Za podatke koji nisu bili dostupni ili nisu do sada određivani opisana je svrha i važnost utvrđivanja tih podataka. Od diplomskog rada se očekivalo proračunavanje volumena stijenske mase koja bi se po prijedlogu otkopala te naznačavanje dodatnih mogućih poboljšanja u postojećem tehničkom rješenju. Budući je rad ispunio očekivanja, može poslužiti kao polazna osnova za ocjenu isplativosti budućih zahvata na eksploatacijskom polju „Dubac“.

## 2. OPĆI PODACI O EP „DUBAC“

### 2.1. Povijest i izgled ležišta

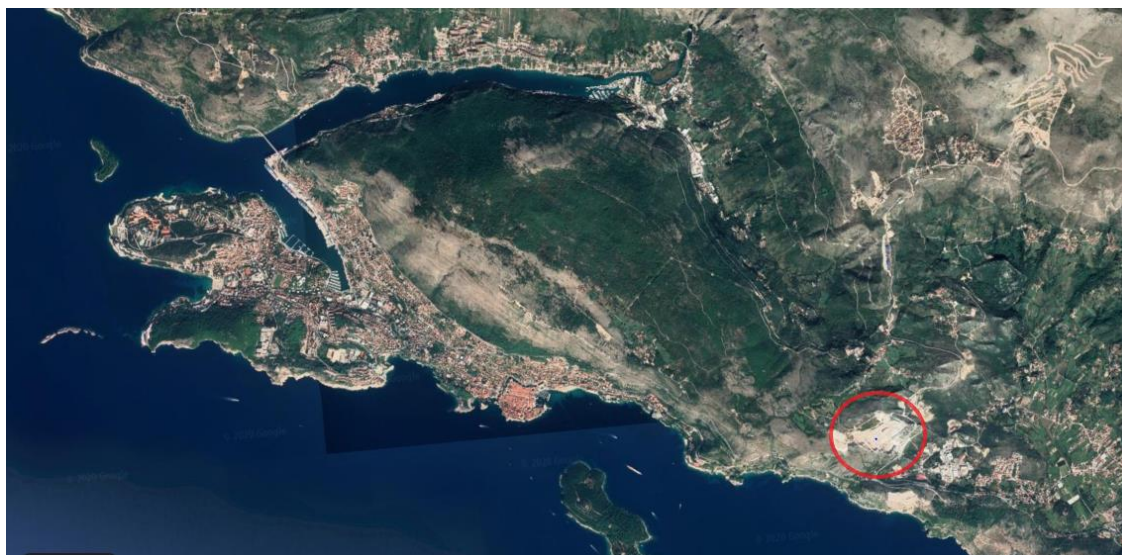
Površinski kop tehničko-građevnog kamena „Dubac“ posluje u sastavu poduzeća P.G.M. RAGUSA iz Dubrovnika. Sam kamenolom postoji još iz vremena Dubrovačke Republike gdje se vadio kamen za gradnju zidina i objekata u gradu. S proizvodnjom tucanika započelo se već 1948. godine, da bi 1967. bilo postavljeno postrojenje za drobljenje kamena tvrtke „AMMAN“ iz Švicarske, kapaciteta od 65 m<sup>3</sup>/h uz primarno, sekundarno i tercijarno drobljenje. Ratna razdoblja prouzročila su znatnu štetu na kamenolomu i na drobilično-mlinskom postrojenju, tako da od 1. listopada 1991. do 1. ožujka 1993. pogon nije radio, što zbog okupacije, što zbog popravka oštećenja. Pogon je sada osposobljen da može raditi s kapacitetom od 100 m<sup>3</sup>/h svih frakcija. Eksploatacija kamena započeta je na nadmorskoj visini +175 od koje su se kasnije razvile tri etaže na nadmorskoj visini +205, +240 i +260 (Seražin, 1998).

Tijekom 1997. godine dovršena je izgradnja ceste na nadmorskoj visini +240 u istočnom dijelu eksploatacijskog polja i započeto je otkopavanjem etaže na toj nadmorskoj visini. Materijal se minira, utovaruje i vozi na nadmorsku visinu +175 gdje se drobi, melje, sije i odlaže. Na toj nadmorskoj visini smješteni su svi objekti kamenoloma. Kasnije se razvila i etaža na nadmorskoj visini +220 te se materijal dobiva na isti način kao i na ostalim etažama (Seražin, 1998).

### 2.2. Položaj kamenoloma

Ležište tehničko-građevnog kamena Dubac nalazi se 4,5 km jugoistočno od Dubrovnika i oko 400 m od Jadranske magistrale u pravcu Trebinja. Na osnovnom platou kamenoloma smješteno je drobilično-mlinsko postrojenje i skladišni prostor kamena u frakcijama 0-4, 4-8, 8-16, 16-22,5 i 16-32,5. Tu se također nalazi asfaltna baza. S obzirom da se nalazi blizu Jadranske magistrale, kamenolom Dubac je dobro cestovno povezan sa svim industrijskim i potrošačkim centrima šireg područja (Seražin, 1998).

Položaj kamenoloma vidljiv je na slici 2-1.



Slika 2-1 Položaj kamenoloma Dubac M 1:50000 (Google Earth, 2020)

### 2.3. Klima

Klimatski to je područje klime sredozemnih obala koje imaju obilježja blage zime i suha ljeta. Količina oborina u najsušem mjesecu je manja od 40 mm, a klima je označena kao klima masline. To područje spada u južno vegetacijsko područje zimzelenih šuma crnike (Orno – Quercetum ilicis). Za područje kamenoloma najbliža je klimatološka postaja Čibača koja je oko 800m jugoistočnije od kamenoloma, te njeni klimatski podaci bolje odgovaraju položaju kamenoloma od klimatskih podataka postaje Dubrovnik (Seražin, 1998). Srednja mjesečna i godišnja temperature prikazana je u tablici 2-1.

Tablica 2-1 Srednja mjesečna i godišnja temperature

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.	Ampl.
Dubrovnik	9,2	9,3	10,7	13,9	18,0	21,9	24,5	24,7	21,6	17,6	13,6	11,3	16,4	15,5
Čibača	8,7	9,0	10,4	13,8	17,9	21,9	24,6	24,5	21,4	17,0	13,1	10,8	16,0	15,9

Dubrovnik ima srednju godišnju temperaturu 16,4 °C i nešto je topliji od postaje Čibače (16,0 °C), dok su amplitudne vrijednosti u postaji Čibača veće za 2 °C. Godišnji broj vrućih dana ( temperatura veća ili jednaka od 30 °C) je skoro dvostruko veći u Čibači (30,7 dana) od Dubrovnika (16,2 dana). Broj dana s toplim noćima ( temperatura veća ili jednaka 20 °C) u Dubrovniku je 61,5 dana, što je daleko veći nego u Čibači (17,0 dana). Srednja mjesečna godišnja relativna vlaga zraka je nešto veća u Čibači (69%) od srednje godišnje u

Dubrovniku koja iznosi 65 %. To je odraz veće količine oborina u Čibači (god.1340 min) nego u Dubrovniku, gdje iznosi 1256 mm(Seražin, 1998).

Srednje vrijednosti oborina po godišnjim dobima u mm u Dubrovniku i Čibači prikazane su u tablici 2-2.

**Tablica 2-2** Srednje vrijednosti oborina po godišnjim dobima

	proljeće	ljetno	jesen	zima
<b>Dubrovnik</b>	269	120	441	426
<b>Čibača</b>	318	119	525	522

#### 2.4. Geologija i tip terena

Ležište Dubac oblikovano je karakterističnim krškim reljefom, strmih stjenovitih padina, bez ili s vrlo malo kržljave vegetacije, ostrim grebenima i uskim udubinama između njih. Interesantno je da lokalno pružanje vapnenačkih serija odstupa od dinarskog pravca. Količina oborina je relativno mala i primjerena mediteranskoj klimi južnog Jadrana. Površinskih vodenih tokova nema. U zimskom period snažni vjetrovi mogu periodički, na kraće vrijeme, ometati eksploataciju. Široku okolicu Dupca čine sedimentne tvorevine gotovo cijelog mezozoika, od gornjeg trijasa do senona, svrstane u dvije osnovne regionalne geotektonske cjeline: dubrovački para-autohton i navlaku visokog krša (Seražin, 1998).

Regionalnim tektonskim pokretima ta serija slojeva je zaokrenuta i sada zauzima položaj s elementima pada slojeva prema jugu (170-180) i veličinom padnog kuta od 25°. Osnovne tektonske značajke para-autohtona su reversni rasjedi i bore, a navlake visokog krša veoma visoka raspucalost, rasjedanje, navlačenje i ljuskanje. Ležište je locirano u stijenskom masivu iznad same ceste Dubrovnik-Trebinje u blizini njenog početka s Jadranske magistrale. Pogled na kamenolom može se vidjeti na slici 2-2. U sastavu stijenskog masiva u kojem je smješten kamenolom ulaze isključivo vapnenci srednjooceanske starosti. S obzirom na litološke razlike između pojedinih dijelova cjelokupne stijenske mase, mogu imati za posljedicu izvjesne razlike u fizičko-mehaničkim osobinama kamena, odnosno sirovinske supstance. Na području kamenoloma "Dubac" dominira krš s pjegama, crvenica i erodirana crvenica. To je plitko skeletno tlo na vapnencu što je odraz erozijskih procesa kamenite padine te slabe pokrovne vegetacije, koja je u prošlosti često bila zahvaćena požarima. Pošto je površina padine jako skeletna, a tlo je vrlo malo u pukotinama, neće se

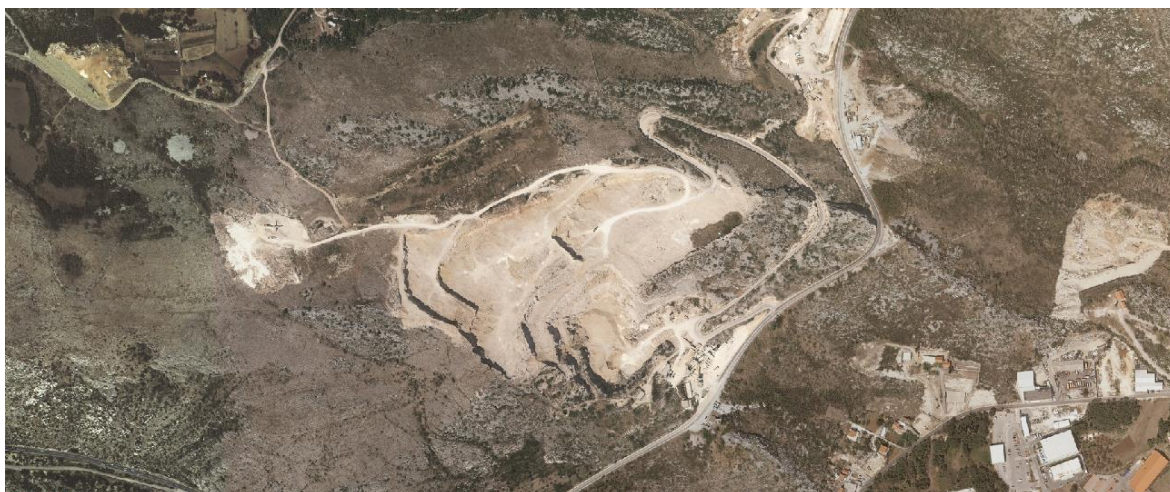
moći zemlja odlagati na jalovište kako bi se kasnije mogla koristiti kod ozelenjavanja kamenoloma. Zbog toga će za biološku sadnju trebati dovoziti zemlju (Seražin, 1998).

Prilikom kartiranja selektirana su četiri litostrukturalna tipa vapnenca:

- masivni numulitni vapnenac - ima najveću raspucalost;
- tamno sivi vapnenac - javlja se u sjevernoj polovici ležišta i leži ispod masivnog numulitnog vapnenca;
- mramorasti vapnenac - konstatiran je na malom prostoru u sjeverozapadnom dijelu ležišta;
- žučkasti vapnenac - izgrađuje sjeverni dio ležišta.

Na osnovi obavljenih analiza fizičko mehaničkih svojstava kamena konstatirano je da tehničko-građevni kamen iz ležišta Dubac ima dobru čvrstoću na tlak, dobru otpornost na habanje, malo upijanje vode, dobru otpornost na mraz i da se stoga može koristiti za proizvodnju (Seražin, 1998):

- agregata za beton i armirani beton;
- drobljenog kamena za žbuke i mortove;
- drobljenog kamenog materijala za izradbu donjih nosivih tamponskih slojeva mehanički i kemijski stabiliziranih;
- kamene sitneži za izradu gornjih nosivih slojeva od bituminiziranog materijala BNS-a za sve prometne razrede;
- kamene sitneži za izradu završnih slojeva asfaltnih kolnika 3., 4. i 5. prometnog razreda.



**Slika 2-2** Satelitski snimak eksploatacijskog polja „Dubac“, M 1:5000 (Informacijski sustav prostornog uređenja, 2020)

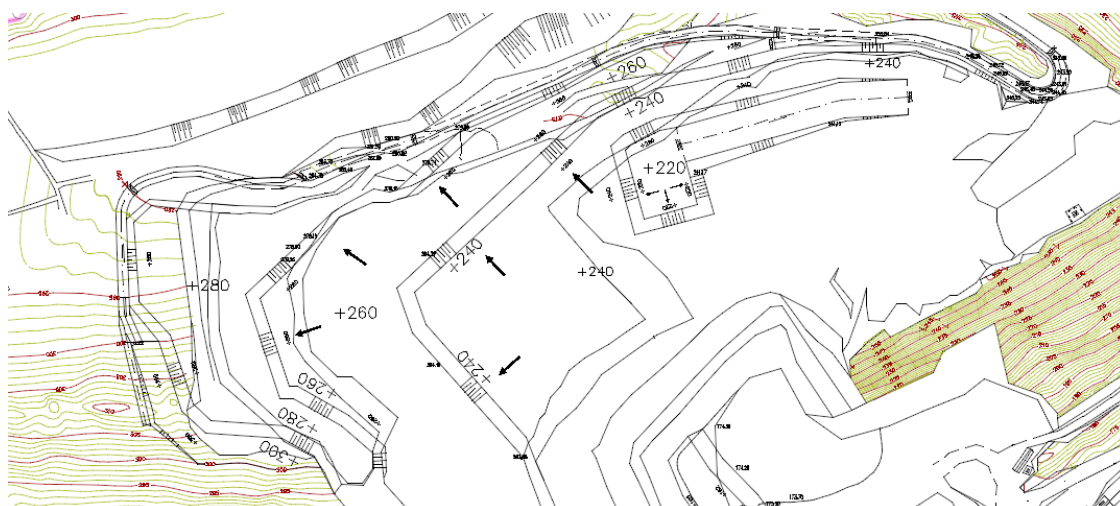


### 3. PROŠIRENJE EKSPLOATACIJE TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU „DUBAC“

Dosadašnja geometrija kopa je takva da ima 5 etaža na kotama +280, +260, +240, +220 i +205, a sami kamenolom zauzima površinu približno 20 ha. Količine jalovine su male (oko 2,5% ukupnih masa). Slijedom razvoja otkopne fronte, otkopavanje je podijeljeno na etape kao tehnološke cjeline (Živković, 2014):

- I. etapa, otkopavanje do K240 (1,2 godine)
- II. etapa, otkopavanje do K220 (trenutno stanje) (3,9 godina)
- III. etapa, otkopavanje do K205 (7,2 godine)
- IV. etapa, završno stanje eksploatacije (5,2 godine)

Prikaz sadašnjeg stanja otkopavanja u programu OpenRoads Designer može se vidjeti na slici 3-1.



**Slika 3-1** Situacijska karta eksploatacijskog polja „Dubac“ u programu OpenRoads Designer M 1:2500

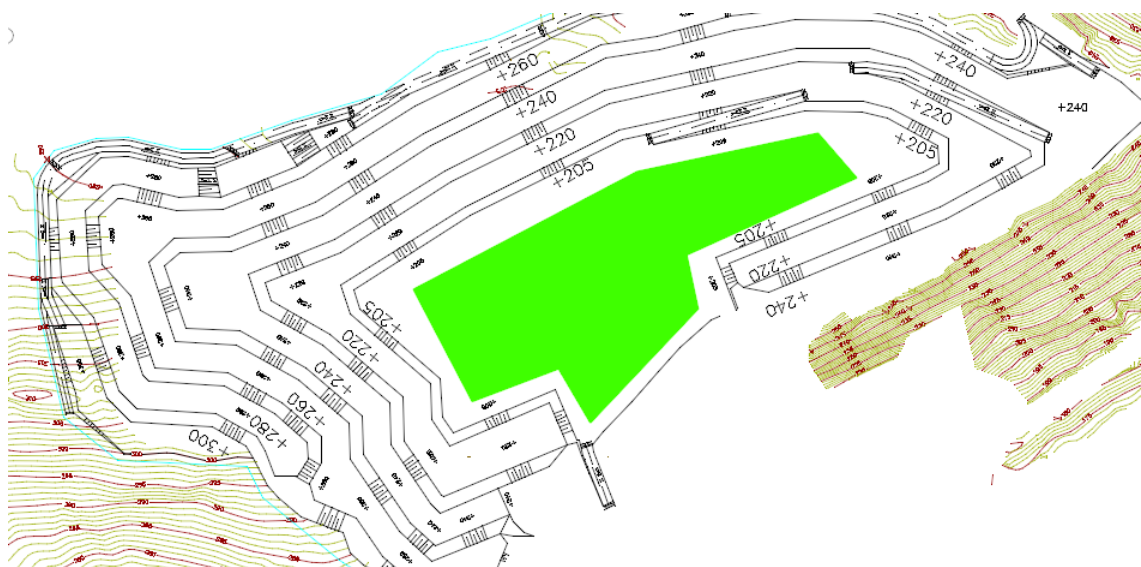
U dopunskom projektu iz 2014.godine izračun ukupnog obujma stijenske mase okonturen na površinskom kopu „Dubac“ iznosio je 2 260 550,7 m<sup>3</sup>. Dodavanjem popravnog koeficijenta 0,98 dobije se da su količine bilančnih rezervi 2 215 340 m<sup>3</sup>. Kada uzmemo u obzir i eksploatacijske gubitke u iznosu od 5% onda se dobije ukupna količina eksploatacijskih rezervi u iznosu od 2 104 573 m<sup>3</sup> (Živković, 2014).

Tehnološki proces dobivanja, utovara i transporta tehničko-građevnog kamena odvija se diskontinuiranim sustavom. Takav izbor usvojen je već i ranije i njime se postižu zadovoljavajući tehno-ekonomski rezultati. Tehnološki proces eksploatacije sastoji se od (Živković, 2014):

- Dobivanja mineralne sirovine s podfazama bušenja i miniranja
- Utovara s podfazom razbijanja iznadgabaritnih komada
- Transporta mineralne sirovine do postrojenja za sitnjenje i klasiranje
- Sitnjenja i klasiranja
- 

Prijedlog proširenja eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Dubac“ temelji se na stvaranju dviju novih etaža od kote +205 do novog osnovnog platoa na koti +175, te bi se predložio za eksploataciju nakon isteka postojeće koncesije koja vrijedi do 31. prosinca 2034.godine (Živković, 2014).

Područje obojano zeleno na slici 3-2 je područje na kojem bi se nove etaže trebale napraviti. Slika je načinjena iz programom OpenRoads Designer.



**Slika 3-2** Područje na kojem bi se napravile nove etaže M 1:2000

Pogled na sadašnji osnovni plato predodređen sadašnjim projektom na koti +205 sa novog osnovnog platoa +175 može se vidjeti na slici 3-3.



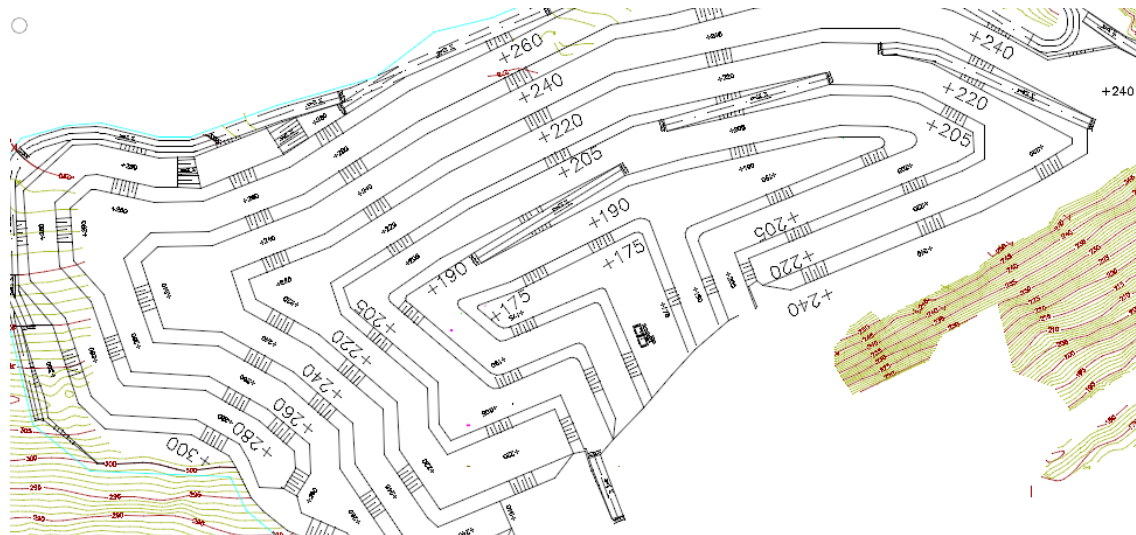
**Slika 3-3** Pogled na plato +205 sa budućeg osnovnog platoa +175

### **3.1. Nova geometrija kopa**

Za potrebe izrade novih etaža u ovom diplomskom radu korišten je Bentley računalni servis, odnosno program OpenRoads Designer, čija se funkcionalnost pokazala izrazito povoljnom za projektiranje u rudarstvu. Za izradu novih etaža bila je potrebna određena podloga sa ulaznim parametrima, u ovom slučaju geodetska karta situacije kopa u dvodimenzionalnom sustavu. Osnova za izradu situacijske karte je Elaborat o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Dubac“ (2019).

Na temelju postojeće situacije površinskog kopa tehničko-građevnog kamena „Dubac“, daje se prijedlog za izradu novih etaža. Planirani zahvat obuhvaća širenje kopa u dubinu za 30m na dvije etaže kako bi se maksimalno iskoristile bilančne rezerve tehničko-građevnog kamena u brdskom masivu na južnom dijelu kopa koji sadrži vrijednu mineralnu sirovinu u znatnim količinama koje će se izračunati u narednim poglavljima.

Prvi korak je izrada etaža u 2D pridržavajući se određenih parametara, nakon toga izrada pristupne ceste po uzoru na prethodne, određenog nagiba i širine, te na kraju izrada završne konture kopa. Prikaz izrađenih etaža u programu OpenRoads Designer može se vidjeti na slici 3-4.



Slika 3-4 Prikaz novih etaža +190 i +175 M 1:2000

Parametri koje je bilo potrebno odrediti prilikom izrade etaže bili su:

- Broj etaža, **n**
- Kut nagiba etažne kosine u radnom položaju,  $\alpha_e$  (°)
- Kut nagiba etažne kosine u završnom položaju,  $\alpha_z$  (°)
- Projekciju etažne kosine u radnom položaju,  $x_e$  (m)
- Projekciju etažne kosine u završnom položaju,  $x_z$  (m)
- Širina završne etaže **B** (m)
- Tangens kuta etažne kosine, **tg  $\alpha_e$**
- Tangens kuta završne kosine, **tg  $\alpha_z$**
- Visina etaže na kopu, **h** (m)
- Ukupna visina kopa, **H** (m)

Potrebno je napomenuti kako se analiza stabilnosti ne može provesti jer u dokumentaciji nedostaju podaci koji su potrebni za kvalitetnu analizu (orijentacija diskontinuiteta, hrapavost i čvrstoća stijenki diskontinuiteta) koji nisu prikupljeni za potrebe dosadašnje eksploatacije, te će se opisati teorijske osnove i raditi pretpostavke, a za osnovne parametre će se preuzeti dosadašnji korišteni podaci.

Za širinu radnih etaža uzeta je vrijednost 15 metara, kut nagiba etažne kosine  $\alpha_z$  iznosi  $70^\circ$ , a kut nagiba završne kosine čitavog kopa je  $41^\circ$ , dok je ostale parametre potrebno proračunati. Broj etaža iznosi 7.

Projekcija etažne kosine računa se prema formuli:

$$x_e = \frac{h}{\tan \alpha_e}, \quad (3-1)$$

Gdje su:

$x_e$  – projekcija etažne kosine (m)

$h$  – visina etaže (m)

$\tan \alpha_e$  – tangens kuta etažne kosine

Projekcija završne kosine iznosi 5,46 metara, ako je visina etaže  $h = 15$  m, a 7,28 ako je visina etaže  $h = 20$  m, a nagib etažne kosine  $70^\circ$ .

Projekcija završne kosine računa se prema formuli:

$$x_z = \frac{H}{\tan \alpha_z}, \quad (3-2)$$

Gdje je:

$x_z$  – projekcija završne kosine (m)

$H$  – ukupna visina (m)

$\tan \alpha_z$  – tangens kuta završne kosine

Projekcija završne kosine iznosi 144,1 metara, ako je visina  $H = 125$  metara, a kut završne kosine  $41^\circ$ .

Širina etaže računa se prema slijedećoj formuli:

$$B = \frac{x_z - x_e \cdot (n-1) - x_e \cdot (n-1)}{n-1}, \quad (3-3)$$

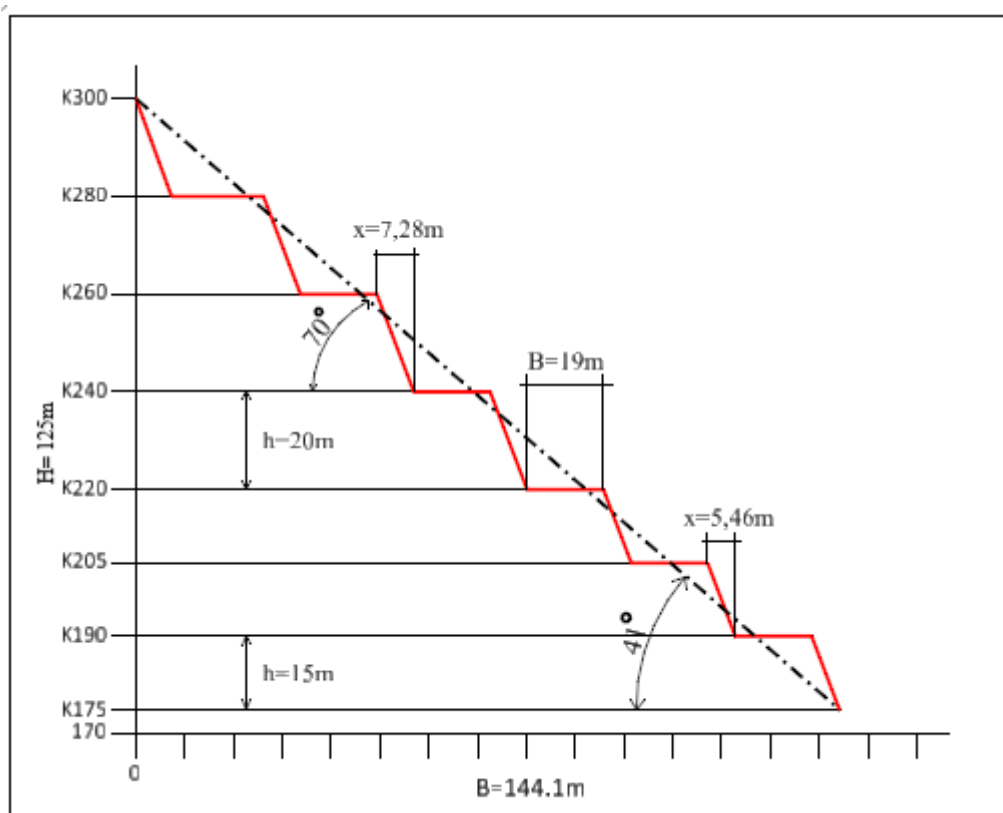
Gdje je:

$x_z$  – projekcija završne kosine (m)

$x_e$  – projekcija etažne kosine (m), kako su visine etaža različite na gornjem i donjem dijelu kamenoloma, imamo dvije projekcije etažnih kosina

$n$  – broj etaža

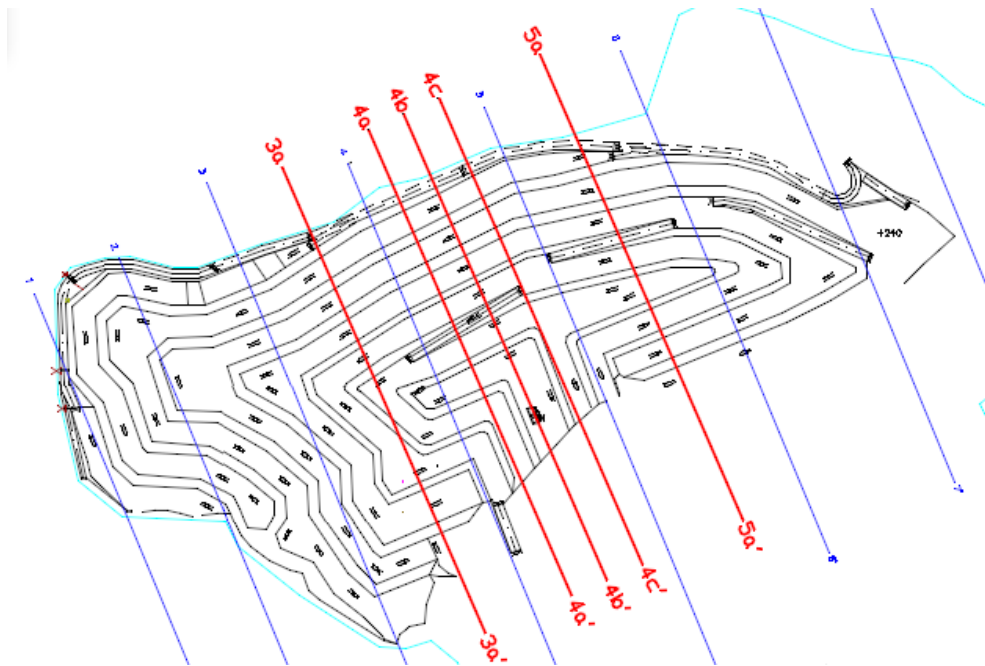
Izračunata širina etaže iznosi 18,56 metara pa ju zaokružujemo na 19 metara. Prikaz završne kosine nove situacije sa novim etažama prikazana je na slici 3-5.



Slika 3-5 Osnovne veličine konstrukcije etaža površinskog kopa novog stanja

### 3.2. Izrada novih presjeka

U svrhu nove geometrije kopa potrebno je izraditi nove presjeke uz već postojeće iz dopunskog projekta (2014) kako bi se napravio proračun bilančnih rezervi. Kao i u prethodnim poglavljima, i ovdje se koristio računalni program OpenRoads Designer pomoću kojega smo napravili presjeke. Presjeci se postavljaju na dijelovima na kojima su vidljive promjene nagiba i oblika terena te kontura površinskog kopa. Presjeci su označeni brojevima i slovima, primjerice presjek 3a-3a' i tako redom, ovisno o količini presjeka. Na slici 3-5. prikazana je karta završnog stanja sa etažama +190 i +175 sa već postojećim presjecima iz dopunskog projekta (2014) koji su označeni plavom bojom, dok su novi presjeci označeni crvenom bojom.

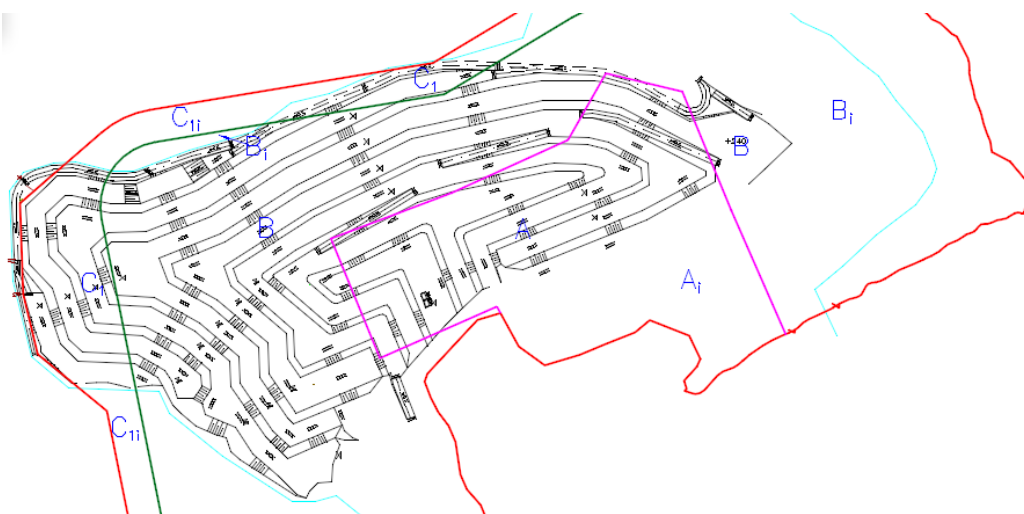


Slika 3-6 Položaj novih presjeka M 1:2000

Svaki pojedini presjek prikazuje različitu površinu koja se planimetrira, za svaki pojedini presjek će se izračunati površina te će se za proračun obujma koristiti metoda paralelnih presjeka. Osim te metode, u novije vrijeme je često korištena i metoda računalnog modeliranja, ali u ovom diplomskom radu će se koristiti isključivo metoda paralelnih presjeka.

### 3.3. Proračun obujma metodom paralelnih presjeka

Što se tiče kategorija rezervi, u dopunskom projektu (2014) opisano je kako je područje na kojem se planiraju raditi nove etaže u prostoru rezervi najvećim dijelom A kategorije i malim dijelom B kategorije. Slika 3-7. prikazuje granice kategorija rezervi.



Slika 3-7 Granice kategorija rezervi M 1:2500

Za svaki od pojedinih presjeka u programu OpenRoads Designer je izračunata površina, te je od tih podataka potrebno izračunati srednju površinu susjednih blokova prema formuli:

$$P_{sr} = \frac{P_n + P_{n+1} + \sqrt{P_n \times P_{n+1}}}{3}, \quad (3-4)$$

gdje je:

$P_{sr}$  – srednja površina (m<sup>2</sup>)

$P_n$  – površina n-tog vertikalnog presjeka (m<sup>2</sup>)

$P_{n+1}$  – površina n+1 vertikalnog presjeka (m<sup>2</sup>)

Nakon toga, potrebno je izračunati obujam između pojedinih blokova prema formuli:

$$O_{n...n+1} = P_{sr} \times l_{n...n+1} = \frac{P_n + P_{n+1} + \sqrt{P_n \times P_{n+1}}}{3} \times l_{n...n+1} \quad (3-5)$$

gdje su:  $O_n$  - obujam između pojedinih blokova (m<sup>3</sup>)

$l_n$  – udaljenost između n-tog i n+1 presjeka (m)

$n$  – broj presjeka

Ukupni obujam dobije se prema formuli:

$$O = \sum_{i=1}^r O_i \quad (3-6)$$

gdje su:  $O$  - ukupni obujam (m<sup>3</sup>)

$r$  – ukupni broj blokova (broj presjeka-1)

$i$  – broj blokova

Za proračun obujma između pojedinih blokova i ukupnog obujma korišten je računalni program Excel, u kojem je napravljena proračunska tablica, uneseni podaci pojedinih površina i udaljenosti između pojedinih presjeka. Proračun bilančnih rezervi metodom paralelnih presjeka prikazan je u tablici 3-1.



**Tablica 3-1** Proračun bilančnih rezervi (M.P.P)

<b>Presjeci</b>	<b>Površina presjeka, m<sup>2</sup></b>	<b>Površina sr.</b>	<b>Udaljenost presjeka l,m</b>	<b>Obujam Ob=Psr * l m<sup>3</sup> č.m.</b>
<i>Presjek 3-3'</i>	0,0	202,5	20,6	4 171
<i>Presjek 3a-3a'</i>	607,4			
<i>Presjek 3a-3a'</i>	607,4	918,9	41,0	37 674
<i>Presjek 4-4'</i>	1270,7			
<i>Presjek 4-4'</i>	1270,7	1617,6	21,6	34 940
<i>Presjek 4a-4a'</i>	1991,4			
<i>Presjek 4a-4a'</i>	1991,4	2325,0	25,6	59 521
<i>Presjek 4b-4b'</i>	2675,5			
<i>Presjek 4b-4b'</i>	2675,4	1926,0	25,6	49 305
<i>Presjek 4c-4c'</i>	1263,7			
<i>Presjek 4c-4c'</i>	1263,7	846,5	25,7	21 755
<i>Presjek 5-5'</i>	498,4			
<i>Presjek 5-5'</i>	498,4	425,5	47,5	20 212
<i>Presjek 5a-5a'</i>	364,7			
<i>Presjek 5a-5a'</i>	364,7	256,3	48,4	12 405
<i>Presjek 6-6'</i>	161,5			
<i>Presjek 6-6'</i>	161,5	53,8	17,0	915
<i>Kraj</i>	0,0			
<i>Ukupno</i>				240 899

Na taj način dobivene su vrijednosti bilančnih rezervi, međutim, potrebno je tome pridodati eksploatacijske gubitke koji su potrebni kako bi se izračunale konačne eksploatacijske rezerve. Prema dopunskom rudarskom projektu (2014) na EP „Dubac“ koeficijent eksploatacijskih gubitaka je 5%. Tablica 3-2. prikazuje proračun ukupne količine eksploatacijskih rezervi:

**Tablica 3-2** Proračun ukupne količine eksploatacijskih rezervi

<b>Rezerve</b>	<b>Ukupne količine za bilančne rezerve, m<sup>3</sup></b>	<b>Popravni koef.</b>	<b>Količine, m<sup>3</sup></b>	<b>Eksploatacijski gubici (5%)</b>	<b>Obujam, m<sup>3</sup></b>	<b>Obujam. masa, t/m<sup>3</sup></b>	<b>Masa, t</b>
	240 899	1,0	236 081	11 804	224 277	2,70	605 548

## 4. ANALIZA PRIJEDLOGA PROŠIRENJA

### 4.1. Izazov analize stabilnosti na EP „Dubac“

Analiza stabilnosti ima svrhu utvrđivanje stanja stabilnosti kosina s ciljem osiguranja potrebne sigurnosti i funkcionalnosti kako projektiranih tako i prirodnih kosina u stijenskim masama. Zbog specifičnog, diskontinuiranog karaktera stijenskih masa, pojave nestabilnosti mogu se prema osnovnim oblicima pokretanja mase na kosini podijeliti na: obrušavanje, prevrtanje, klizanje, puzanje te kompleksna pokretanja (Giani, 1992).

Obzirom na svrhu i karakteristike metoda analize stabilnosti stijenskih kosina mogu se podijeliti na: klasifikacijske, grafičke, proračunske i statističke. Klasifikacijske analize temelje se ili na postojećim sustavima klasifikacija stijenskih masa ili na posebno razrađenim sustavima klasifikacije za stabilnost. Svrha ovih analiza je određivanje mjere opće stabilnosti kosina, koja se izražava preko određenog raspona bodova, slično kao što se izražava stanje stijenske mase kod klasifikacijskih sustava. Od grafičkih analiza stabilnosti najpoznatija je grafička analiza na sfernoj projekciji kojom se na temelju orijentacija diskontinuiteta i položaja kosina preliminarno utvrđuju potencijalni oblici nestabilnosti. Proračunske analize imaju za svrhu izračun mjere stabilnosti koja se najčešće izražava ili preko faktora sigurnosti ili preko općeg stanja naprezanja i deformacija materijala. One predstavljaju glavnu okosnicu u procjeni stanja stabilnosti stijenskih kosina. Statističke analize su utemeljene na statističkoj obradi karakteristika, uvjeta i stanja većeg broja obrađenih kosina, na temelju čega se radi projekcija stanja za promatranu kosinu (Hrženjak i Briševac, 2009).

Kod proširenja ili produbljenja kopa mora se obavezno napraviti analiza stabilnosti kako na lokalnoj razini novih etaža tako i cijelog novog sustava kosina. Najveći izazov na EP Dubac je to što ne postoje podatci na temelju kojih bi se takve analize stabilnosti mogle napraviti. Zbog toga će se u sljedećim potpoglavljima prikazati podatci koji postoje i opisati oni koje će u budućnosti trebati odrediti kako bi se analiza stabilnosti mogla provesti.

#### 4.1.1. Prikupljanje i analiza ulaznih podataka

Za analizu ulaznih podataka potrebno je prikupiti određene značajke materijala kao što su: gustoće, poroznost, jednoosna tlačna čvrstoća, modul deformabilnosti itd.

Gustoća kamena predstavlja omjer mase kamena i njegova volumena. Uobičajeno se označava grčim slovom  $\rho$ , a mjerna jedinica je  $\text{kg/m}^3$ .

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (4-1)$$

gdje su:  $\rho$  - gustoća kamena ( $\text{kg/m}^3$ ),  
 $m$  - masa kamena (kg),  
 $V$  - volumen kamena ( $\text{m}^3$ ),

Gustoća kamena ovisi o kemijskom sastavu i gustoći odnosno strukturi pojedinih minerala, ali i o sadržaju vode u uzorku koji se ispituje.

Poroznost je svojstvo kamena kojim se definira udio pora u uzorku. Razlikuju se apsolutna i ukupna poroznost, koja se uobičajeno označava kao poroznost, nepotpuna i otvorena tj. dijelom dostupna vodi, od relativne ili otvorene koju voda može ispuniti u uvjetima normalnog tlaka (Tomašić, 2007).

$$n = \frac{V_v}{V}, \quad (4-2)$$

gdje su:  $n$  - efektivna otvorena poroznost (%)  
 $V_v$  - volumen pora ( $\text{m}^3$ ),  
 $V$  - ukupni volumen ( $\text{m}^3$ ),

Jednoosna tlačna čvrstoća materijala predstavlja jednu od najčešće korištenih značajki stijena. Zbog toga i postupak ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće predstavlja jedan od najčešćih postupaka ispitivanja u mehanici stijena. Ispitivanje se provodi prema preporučenoj metodi Međunarodnog društva za mehaniku stijena na valjkastim ili prizmatičnim uzorcima pravilnih dimenzija uz dopušteno bočno širenje (ISRM, 1979).

Na EP „Dubac“ sukladno s Elaboratom o rezervama (2019.) ispitane su vrijednosti gustoće, poroznosti i jednoosne tlačne čvrstoće prema propisanim normama: Gustoća prema HRN B.B8.032 iznosi  $2,705 \text{ t/m}^3$  odnosno  $2\,705 \text{ kg/m}^3$ . Poroznost ima vrijednost 0,3 % dok najveća jednoosna tlačna čvrstoća u suhom stanju iznosi 142,9 MPa, a najmanja 114,4 MPa. Srednja vrijednost jednoosne čvrstoće iznosi 129,6 MPa.

Ovakva ispitivanja gustoće i poroznosti su iskoristiva za analizu stabilnosti, ali ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće po normi HRN B.B8.032 ne mogu se jednoznačno upotrijebiti u analizi jer se zahtjevi pri ispitivanju po toj normi znatno razlikuju od preporuka ISRM-a za određivanje jednoosne tlačne čvrstoće.

Deformabilnost uz jednoosnu tlačnu i vlačnu čvrstoću materijala predstavlja jednu od osnovnih mehaničkih značajki stijena. Deformabilnost materijala definira se preko dviju konstanti elastičnosti, Youngovog modula elastičnosti i Poissonovog koeficijenta. Određivanje se najčešće provodi u postupku ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće kod kojeg se dodatno provode mjerenja osnih i poprečnih deformacija uzorka. Svrha tog mjerenja je

određivanje dijagrama naprezanja i deformacija, na temelju kojeg se zapravo dobivaju vrijednosti za Youngov modul elastičnosti  $E$  i Poissonov koeficijenta  $\nu$ . Ispitivanje se provodi prema preporučenoj metodi Međunarodnog društva za mehaniku stijena (ISRM, 1979).

Potrebno je prikupiti i određena svojstva diskontinuiteta kao što su: orijentacija, razmak, zijev, ocjena hrapavosti, ocjena ispune, ocjena trošnosti, JRC (*Joint Roughness Coefficient*), JCS (*Joint wall Compressive Strength*).

Orijentacija je prostorni položaj diskontinuiteta koji se definira azimutom horizontalne projekcije vektora pada  $\alpha$  i kutom pada ravnine  $\beta$ . Može se određivati geološkim kompasom, laserskim teodolitom i obradom stereoskopskih fotografija. Da bi se u potpunosti definirala orijentacija diskontinuiteta nije potrebno izmjeriti sve tri veličine. Ako se izmjeri pružanje i nagib može se izračunati pravac nagiba. Ako se izmjere nagib i pravac nagiba moguće je izračunati pružanje (Dugonjić Jovančević, 2017).

Razmak diskontinuiteta predstavlja okomitu udaljenost između susjednih ploha diskontinuiteta koji pripadaju istoj familiji. Prije mjerenja razmaka diskontinuiteta na terenu potrebno je utvrditi sustave diskontinuiteta i njihove orijentacije. Razmaci diskontinuiteta mogu se ustanoviti direktnim mjerenjem na izdancima ili izvedenim objektima, iz jezgre bušotine ili snimanjem stijenske bušotine, ali i indirektno preko ustanovljene korelacije broja pukotina i brzina širenja uzdužnih elastičnih valova. Mjerenje se obavlja za svaki sustav odvojeno, pri čemu bi sveukupna duljina mjerenog intervala morala biti deset puta veća od procijenjenog srednjeg razmaka diskontinuiteta pojedinog sustava (Dugonjić Jovančević, 2017).

Zijev diskontinuiteta je razmak između stijenki otvorenog diskontinuiteta ukoliko otvoreni dio diskontinuiteta predstavlja prazan prostor ili prostor ispunjen vodom. Zijev treba razlikovati od širine diskontinuiteta koja je definirana udaljenošću stijenki diskontinuiteta, bez obzira sadrži li diskontinuitet ispunu ili ne. Zijev diskontinuiteta utječe na mjeru u kojoj dolazi do kontakta dvaju blokova, ali i na količinu vode koja može cirkulirati diskontinuitetom. Ukoliko prilikom smicanja ne dolazi do kontakta stijenki dvaju blokova, čvrstoću smicanja određuju materijal ispune i njegova svojstva. Zbog toga smanjenjem zijeva diskontinuiteta dolazi do kontakta neravnina, a u tom slučaju na posmičnu čvrstoću diskontinuiteta utječu ispuna i kvaliteta stijenske diskontinuiteta (Dugonjić Jovančević, 2017).

JRC (*Joint Roughness Coefficient*) predstavlja koeficijent hrapavosti pukotine, hrapavost diskontinuiteta je samo jedan od parametara koji se u inženjerskoj geologiji prikuplja u svrhu

klasificiranja ili definiranja svojstava stijenske mase. Na izdancima, usjecima i čelu tunela hrapavosti diskontinuiteta se može razmatrati u raznim veličinskim mjerilima, dok se na jezgrama bušotina obično može promatrati samo hrapavost u centimetarskom mjerilu. JCS (*Joint wall Compressive Strenght*) predstavlja čvrstoću stijenki diskontinuiteta, ona se može određivati na terenu (prstima, noktom, nožićem, geološkim čekićem). Međutim, u čvrstim stijinama se relevantniji podaci mogu dobiti ispitivanjem Schmidt-ovim čekićem (Dugonjić Jovančević, 2017).

Isto tako važan je modul deformabilnosti stijenske mase kao neophodan parametar za svaku numeričku analizu i interpretaciju izmjerenih deformacija u tijeku radova u stijenskoj masi. Deformabilnost stijenske mase ovisi o stupnju raspucanosti stijenske mase, stišljivosti pukotina i stišljivosti intaktnog stijenskog materijala između pukotina. Jače raspucala stijenska masa ima znatno veću deformabilnost od intaktne stijene. Osim raspucanosti stijenske mase, dodatan utjecaj na deformabilnost ima i utjecaj veličine promatranog problema. Stijenska masa je najčešće raspucala uz pojavu više skupova pukotina koje se pružaju u više smjerova. Danas se uglavnom koriste empirijske metode u kojima se deformabilnost stijenske mase određuje na osnovi klasifikacije stijenske mase. (Arbanas, 2015)

Bieniawski (1979) je predložio slijedeću relaciju koja uspostavlja vezu između modula deformabilnosti stijenske mase i vrijednosti RMR:

$$E_m = 2RMR - 100, \quad (4-3)$$

gdje su:  $E_m$  - modul deformabilnosti stijenske mase (GPa),  
 $RMR$  - Rock mass rating,

Izraz vrijedi za  $RMR > 50$ . Izraz je empirijski dobiven iz 22 izvedena pokusa određivanja in situ deformabilnosti stijenske mase uglavnom pri izvedbi temelja brana. Nažalost, za stijensku masu  $RMR < 55$  izraz daje negativnu vrijednost  $E_m$ .

Serafim i Pereira (1983) proširili su postojeću bazu podataka i predložili slijedeći izraz:

$$E_m = 10^{\frac{RMR-10}{40}} \quad (4-4)$$

gdje su:  $E_m$  - modul deformabilnosti stijenske mase (GPa),  
 $RMR$  - Rock mass rating,

Hoek i Brown (Hoek i Brown, 1997) utvrdili su da izraz Serafima i Pereire dobro opisuje deformabilnost za bolje kvalitetne stijenske mase, ali daje previsoke vrijednosti za slabije stijenske mase. Na osnovi rezultata mjerenja i povratnih analiza predložili su slijedeću modifikaciju jednadžbe za vrijednosti  $\sigma_c < 100$  MPa:

$$E_m = \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} 10^{\frac{GSI-10}{40}} \quad (4-5)$$

gdje su:  $E_m$ - modul deformabilnosti stijenske mase (GPa),  
 $\sigma_c$  - jednoosna tlačna čvrstoća (MPa),  
 $GSI$  – *Geological Strenght Index*,

Najopsežnije istraživanje na području određivanje modula deformabilnosti stijenske mase do sada proveli su Hoek i Diederichs (2006) na bazi od oko 500 rezultata terenskih mjerenja modula deformabilnosti u korelaciji s izmjerenim geološkim indeksom čvrstoće te su predložili slijedeći izraz:

$$E_m = 100000 \left( \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\left( \frac{75 + 25D - GSI}{11} \right)}} \right) \quad (4-6)$$

gdje su:  $E_m$ - modul deformabilnosti stijenske mase (GPa),  
 $D$  - faktor poremećaja  
 $GSI$  – *Geological Strenght Index*,

Posljednji izraz pokazao je najbolja slaganja s rezultatima mjerenja in situ i u najčešćoj uporabi u recentnoj inženjerskoj praksi (Arbanas, 2015).

U početku GSI klasifikacija je zamišljena kao jednostavna klasifikacija koja se temeljila na vizualnom pregledu geološkog stanja stijenske mase. Bodovanje prema GSI-u, prvotno je izvedeno na temelju dviju relacija, korelacijom bodova  $RMR_{76}$  i modificirane Q klasifikacije pomoću izraza (Hrženjak i Briševac, 2009):

$$GSI = RMR - 5; \text{ za } GSI \geq 18 \text{ ili } RMR \geq 23, \quad (4-7)$$

gdje je: RMR geomehantička klasifikacija (od eng. - „*Rock Mass Rating*“)

$$GSI = 9 \ln Q' + 44; \text{ za } GSI < 18,, \quad (4-8)$$

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (4-9)$$

gdje je:

$Q'$  - modificirana vrijednost Q klasifikacije,

$J_n$  - broj sustava pukotina,

$J_r$  - indeks hrapavosti pukotine,

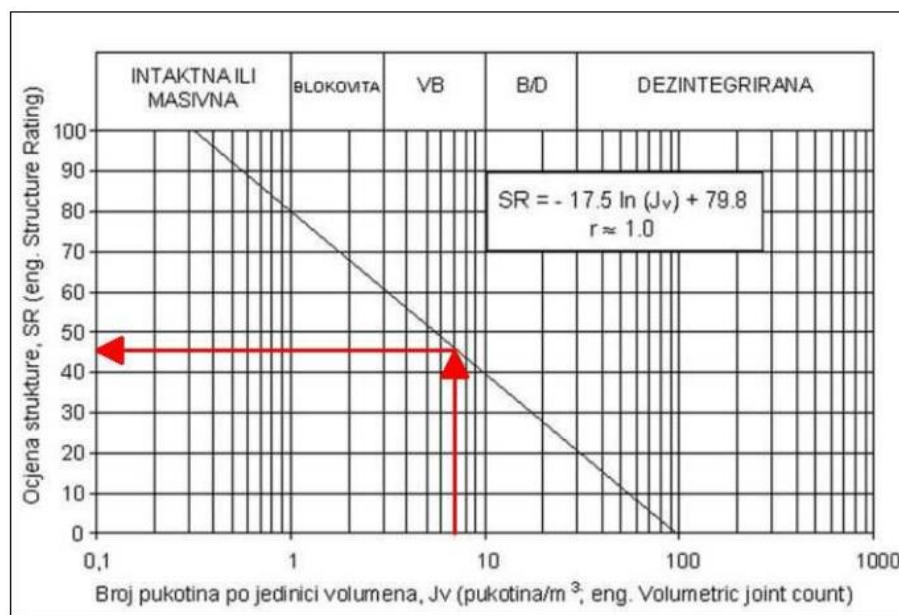
$J_a$  - indeks pukotinske ispune,

$J_w$  – faktor redukcije vode,

$SRF$  – faktor redukcije naprezanja

Osnovu dijagrama za određivanje GSI vrijednosti čine dva temeljna kriterija: ocjena strukture stijenske mase te ocjena stanja površinskih uvjeta na plohama diskontinuiteta.

Ocjena strukture stijenske mase SR provodi se pomoću dijagrama ili relacije na temelju broja pukotina po jedinici volumena ( $J_v$ ) koje su prikazane na slici 4-1.



**Slika 4-1** Postupak ocjene strukture stijenske mase (Hrženjak i Briševac, 2009)

Ocjena stanja površinskih uvjeta na plohama diskontinuiteta SCR provodi se na temelju zbroja bodova prema relaciji:

$$SRC = Rr + Rr + Rf, \quad (4-10)$$

gdje je:

$Rr$  – ocjena hrapavosti diskontinuiteta,

$Rw$  – ocjena trošnosti diskontinuiteta,

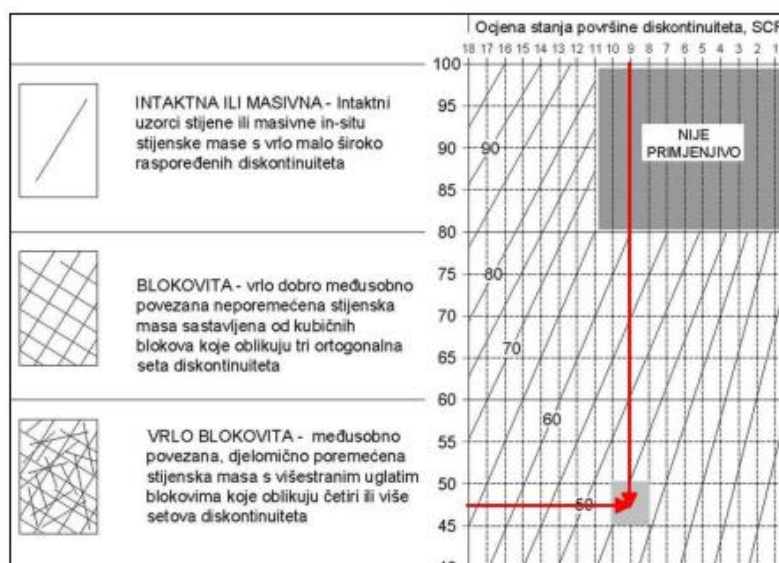
$Rf$  – ocjena ispune diskontinuiteta.

Vrijednosti veličina za ocjenu hrapavosti, trošnosti i ispune diskontinuiteta dobivaju se na temelju opisa stanja u kojem se one nalaze pomoću tablice 4-1.

**Tablica 4-1** Vrijednosti veličina za ocjenu hrapavosti, trošnosti i ispune diskontinuiteta (Bienawski, 1979)

<b>Ocjena hrapavosti</b>	Vrlo hrapavo	Hrapavo	Neznatno hrapavo	Glatko	Zaglađeno
	6	5	3	1	0
<b>Ocjena trošnosti</b>	Rastrošeno	Neznatno trošno	Umjereno trošno	Izrazito trošno	Raspadnuto
	6	5	3	1	0
<b>Ocjena ispune</b>	Bez	Tvrda <5mm	Tvrda >5mm	Meka <5mm	Meka >5mm
	6	4	2	2	0

Nakon određivanja ocjene strukture stijenske mase te ocjene stanja površinskih uvjeta na plohama diskontinuiteta određuje se vrijednost za GSI (raspon vrijednosti) postupkom prikazanim na slici 4-2.



**Slika 4-2** Postupak određivanja vrijednosti za GSI (Hrženjak i Briševac, 2009.)

Potrebno je naglasiti kako se modul deformabilnosti stijenske mase na EP Dubac, ne može procijeniti na gore opisane načine u izrazima od 4-3 do 4-6 jer nije provedena niti jedna kvalitetna klasifikacija stijenske mase.

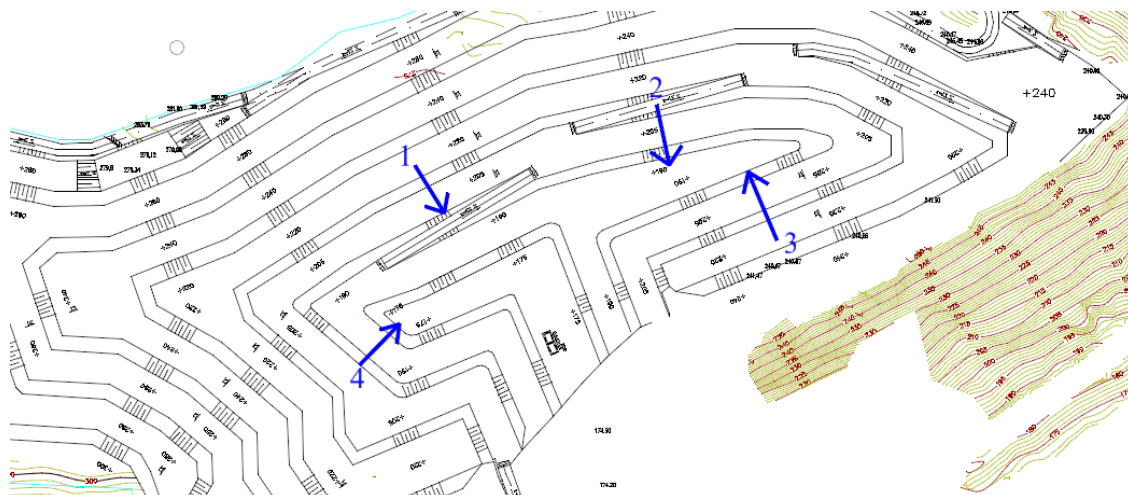
Pri rješavanju inženjerskih problema u stijenskoj masi uglavnom se koristi Hoek-Brownov (empirijski) kriterij sloma stijenske mase. Originalni Hoek-Brownov kriterij razvijan je tijekom vremena njegove primjene do danas prihvaćenog općeg oblika Hoek-Brownovog kriterija čvrstoće stijenske mase. Kriterij je primjenjiv ili u intaktnoj stijeni ili u znatno raspucanim stijenskim masama, a za obje sredine se može usvojiti da se ponašaju



homogeno i izotropno. U slučajevima u kojima je veličina blokova stijenske mase reda veličine građevine ili gdje je pojedini sustav diskontinuiteta znatno slabiji od ostalih, nije moguće koristiti Hoek-Brownov kriterij čvrstoće ili ga je moguće koristiti uz znatan oprez. U tim slučajevima preporuka je analizirati kritičan mehanizam sloma koji uključuje moguće pojave rotacije ili klizanje blokova ili klinova uvjetovanih položajem diskontinuiteta (Dugonjić Jovančević, 2017).

#### 4.1.2. Preliminarna analiza stabilnosti

Preliminarna analiza stabilnosti je grafička metoda analize stabilnosti koja služi za utvrđivanje potencijalno mogućih oblika sloma za položaj kosina i orijentacija diskontinuiteta. Slika 4-3. prikazuje kartu sa označenim azimutima, a tablica 4-2. prikazuje orijentaciju i nagib kosina.



Slika 4-3 Orijehtacija azimuta završnih kosina

Tablica 4-2 Orijehtacija i nagib kosina

	Azimut (°)	Nagib (°)
1	148	70
2	168	70
3	337	70
4	44	70

Uzete su kosine sa orijentacijama 148/70, 168/70, 337/70 i 44/70. Kako bi se napravila preliminarna analiza stabilnosti potrebno je prikupiti podatke o diskontinuitetima koji se će analizirati prilikom izrade projekta. Na taj način dobiti će se podaci za određivanje mogućih slomova koji pokazuju koji su se diskontinuiteti proučavali na pojedinoj kosini kao i oznake na kojima je došlo do pojedinog sloma.

No, potrebno je napomenuti kako se preliminarna analiza stabilnosti ne može napraviti zbog toga što ne postoje podaci za orijentaciju diskontinuiteta koji su potrebni za određivanje slomova. Prvo je potrebno prikupiti te podatke a onda krenuti u obavljanje cjelokupne analize.

#### 4.1.3. Lokalna (etažna) analiza za ravni oblik sloma

Kako je već spomenuto, osnovna svrha proračunskih metoda analiza stabilnosti je izračun mjere stabilnosti koja se najčešće izražava faktorom sigurnosti. Konceptija faktora sigurnosti originalno je izvedena na temelju metoda granične ravnoteže kao mjera stanja stabilnosti (Hoek i Bray, 1977). Pri tome je faktor sigurnosti definiran kao omjer sila otpora i aktivnih sila, tj. sila koje izazivaju nestabilnost. Proračun faktora sigurnosti u postupcima analiza stabilnosti stijenskih kosina uglavnom ovisi o obliku nestabilnosti, odnosno mehanici loma stijenske mase. Obzirom na diskontinuirani karakter stijenskih masa, postoji čitav niz oblika nestabilnosti koji se mogu pojaviti prema kojima su razvijene pojedine metode proračuna. (Hrženjak i Briševac, 2009)

Da bi se objasnio princip proračunskih metoda analize stabilnosti metodama granične ravnoteže, u nastavku se prikazuje postupak izračuna faktora sigurnosti za ravni oblik loma prema metodi Hoeka i Braya (1977) za koju se može slobodno reći da ima jedno od najvećih primjena u praksi. (Hrženjak i Briševac, 2009)

Analiza stabilnosti stijenskih kosina prema ovoj metodi ima smisla u slučaju da je pružanje diskontinuiteta približno paralelno pružanju kosine s dužinom diskontinuiteta koja može formirati ovakav oblik sloma. Proračun faktora sigurnosti za ravni oblik sloma prema metodi Hoeka i Braya može biti proveden za slučaj kosine bez vlačne pukotine i za slučaj kosine s vlačnom pukotinom i djelovanjem sidra. (Hrženjak i Briševac, 2009)

Kako se za slučaj na EP „Dubac“ ne primjenjuju sidra niti je uočena pojava vlačnih pukotina pa zbog toga slučaj kosine s vlačnom pukotinom i djelovanjem sidra neće biti analiziran.

Prikaz dimenzija pojedinih veličina za slučaj modela kosine bez vlačne pukotine dan je na slici 4-4. Opća relacija za proračun faktora sigurnosti kosine uz djelovanje vode i seizmičkih opterećenja za kosinu bez vlačne pukotine dana je izrazom 4-11.:

$$F = \frac{c \cdot A + (W \cdot (\cos \psi_p - \alpha \cdot \sin \psi_p) - U) \cdot \tan \phi}{W \cdot (\sin \psi_p - \alpha \cdot \cos \psi_p)} \quad (4-11)$$

gdje je:

$c$  - vrijednost kohezije na diskontinuitetu ( $\text{N/m}^2$ ),

$A$  - površina klizne plohe ( $\text{m}^2$ ),

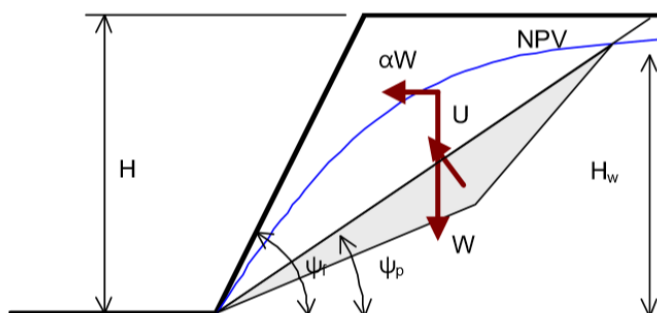
$W$  - težina kliznog bloka ( $\text{N}$ ),

$\psi_p$  - nagib klizne plohe ( $^\circ$ ),

$\alpha$  - koeficijent za izračun horizontalne sile uslijed seizmičkih opterećenja,

$U$  - sila uzgona vode na kliznoj plohi ( $\text{N}$ ),

$\phi$  - kut unutarnjeg trenja na diskontinuitetu ( $^\circ$ ).



**Slika 4-4** Model ravnog loma bez vlačne pukotine (Hrženjak i Briševac, 2009)

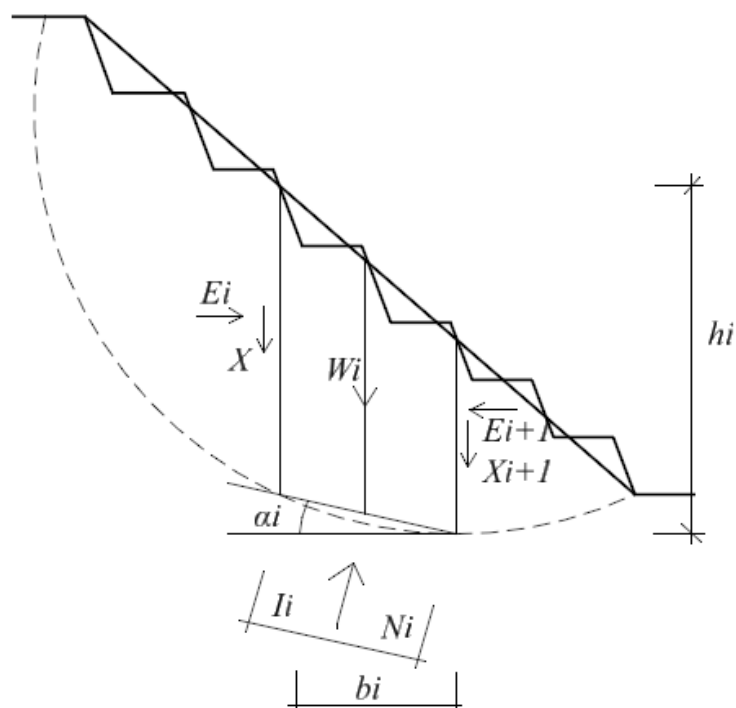
S obzirom da ne postoje podaci za orijentaciju diskontinuiteta te se ne zna postoje li pretpostavke ravninskog sloma ne može se obaviti ova analiza. Potrebno je napomenuti kako nije uspostavljen niti Bartonov kriterij odnosno nisu utvrđeni parametri čvrstoće (kohezija i kut unutarnjeg trenja) te se i zbog toga također ne može obaviti lokalna analiza za ravni oblik sloma.

#### 4.1.4. Analiza stabilnosti sustava kosina

Kod analiza stabilnosti sustava stijenskih kosina treba pretpostaviti da se slom odvija po zakrivljenoj ili složenoj kliznoj plohi. Podaci koji su potrebni za rad su geometrija kosine, točnije koordinate pojedinih etaža, diskontinuitet po kojima se odvija slom, gustoća

materijala, čvrstoća materijala koja računa se prema dvama kriterijima, Mohr-Coulombovom i Hoek-Brownovom kriteriju. Utvrđeni profil s obzirom na kritičnost elemenata modela stijenske mase i geometrijskih karakteristika kosina je već prikazan na slici 3-5.

Jedna od klasičnih metoda zasnovanih na teoriji granične ravnoteže je pojednostavljena Bishopova metoda koja se temelji na rješavanju jednadžbi ravnoteže za kružnu kliznu plohu s vertikalnim lamelama približno jednakih površina. Sile koje djeluju na lamele su prikazane na slici 4-5.



**Slika 4-5** Bishopova metoda na primjeru profila sa slike 3-5.

Oznaka  $X_i$  predstavlja posmična naprezanja između lamela,  $N_i$  su normalna naprezanja, a  $W_i$  težina pojedine lamele. Bishopova metoda je nastala iz Pettersonove metode, prema kojoj je faktor sigurnosti ( $F_s$ ) računa prema izrazu 4-12 (Bishop, 1955):

$$F_s = \frac{1}{\sum W_i \sin \alpha_i} \sum [c e f l_i + (N_i - u_i l_i) \tan \varphi e f] \quad (4-12)$$

gdje je:

$u_i$  – porni tlak u lameli (kPa),

$c, \varphi$  – vrijednosti parametara posmične čvrstoće za stijensku masu (kPa),

$\alpha_i$  – nagib baze lamele prema horizontali ( $^\circ$ ),

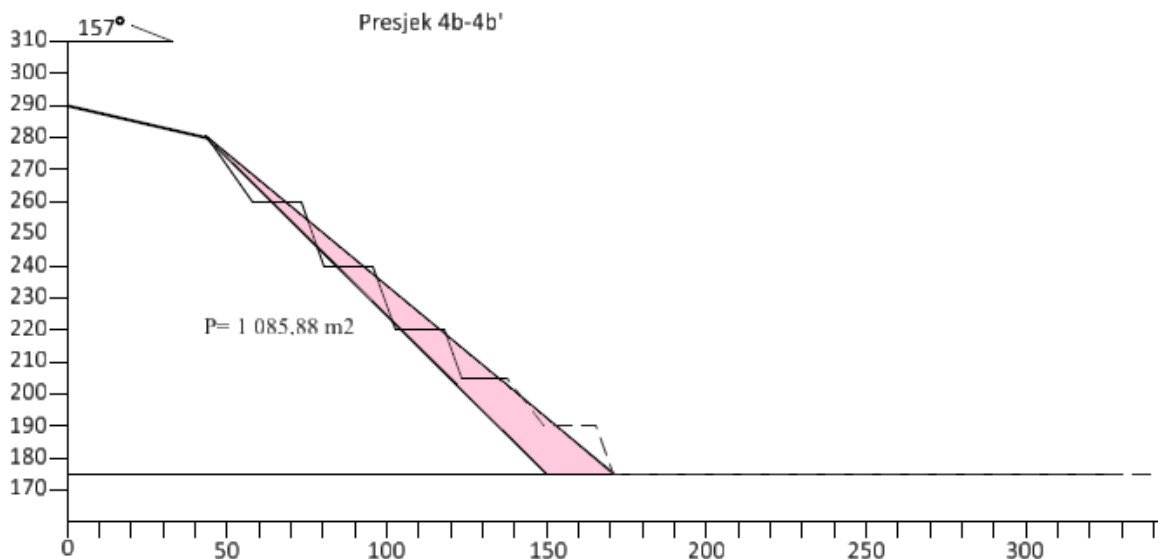
$l_i$  – duljina baze lamele (m),

$b_i$  – širina lamele (m)

#### 4.2. Pretpostavljene količine materijala koje bi se dobile strmijim kosinama

Budući da postoji realna mogućnost većeg nagiba kosina na EP Dubac u ovom podpoglavlju je napravljena simulacija koja okvirno pokazuje koliki bi se volumen stijenske mase mogao dobiti sa strmijim kosinama. To se praktično obavilo na slijedeći način. Prvo je pretpostavljan 5° strmiji generalni nagib na proračunskim profilima (slika 4-6).

Slika 4-6. prikazuje profil 4b-4b' na kojemu je prikazana dodatna površina koja se dobije sa povećanjem generalnog kuta nagiba za 5 stupnjeva.



**Slika 4-6** Površina dijela sa povećanim generalnim kutom nagiba za 5 stupnjeva

Isti postupak napravljen je na svim obračunskim presjecima i na osnovu toga izračunat je ukupni obijam. Rezultat proračuna je prikazan u tablici 4-3.

**Tablica 4-3** Obračunska tablica za dobivanje obujma sa povećanjem generalnog kuta nagiba

Profili	Površine dodanog dijela, m <sup>2</sup>	Površina sr.	Udaljenost presjeka l,m	Ou (5°), Obujam m <sup>3</sup> č.m.
<i>Početak</i>	349,8	481,9	60.6	29 204
<i>Presjek 2-2'</i>	627,45			
<i>Presjek 2-2'</i>	627,45	923,5	73.3	67 695
<i>Presjek 3-3'</i>	1,255,56			
<i>Presjek 3-3'</i>	1,255,56	1,210.4	52.6	63 665

<i>Presjek 3a-3a'</i>	1,165,7			
<i>Presjek 3a-3a'</i>	1,165,7	1,235.6	39.2	48 437
<i>Presjek 4-4'</i>	1,306,9			
<i>Presjek 4-4'</i>	1,306,9	1,208.6	23.8	28 765
<i>Presjek 4a-4a'</i>	1,112,9			
<i>Presjek 4a-4a'</i>	1,112,9	1,099.4	25.6	28 144
<i>Presjek 4b-4b'</i>	1,085,9			
<i>Presjek 4b-4b'</i>	1,085,9	912.5	25.6	23 360
<i>Presjek 4c-4c'</i>	749,5			
<i>Presjek 4c-4c'</i>	749,5	734.4	23.1	16 965
<i>Presjek 5-5'</i>	719,4			
<i>Presjek 5-5'</i>	719,4	720.7	50.1	36 110
<i>Presjek 5a-5a'</i>	722,1			
<i>Presjek 5a-5a'</i>	722,1	699.5	48.0	33 535
<i>Presjek 6-6'</i>	677,1			
<i>Presjek 6-6'</i>	677,1	225.7	95.1	21 464
<i>Kraj</i>	0,0			
<i>Ukupno</i>				397 382

Iz tablice 4-3 može se iščitati da bi se sa povećanjem generalnog kuta nagiba za 5 stupnjeva moglo eksploatirati dodatnih 397 382 m<sup>3</sup>. Radi zornijeg prikaza izražen je i volumen po stupnju ustrmljenja kosina koji se dobije prema izrazu 4-13.

$$O_u(1^\circ) = \frac{O_u(5^\circ)}{5} = \frac{397\,382}{5} = 79\,476,4 \text{ m}^3 \quad (4-13)$$

Gdje je:

$O_u(1^\circ)$  - obujam mineralne sirovine za povećanje generalnog kuta nagiba za 1° (m<sup>3</sup>),

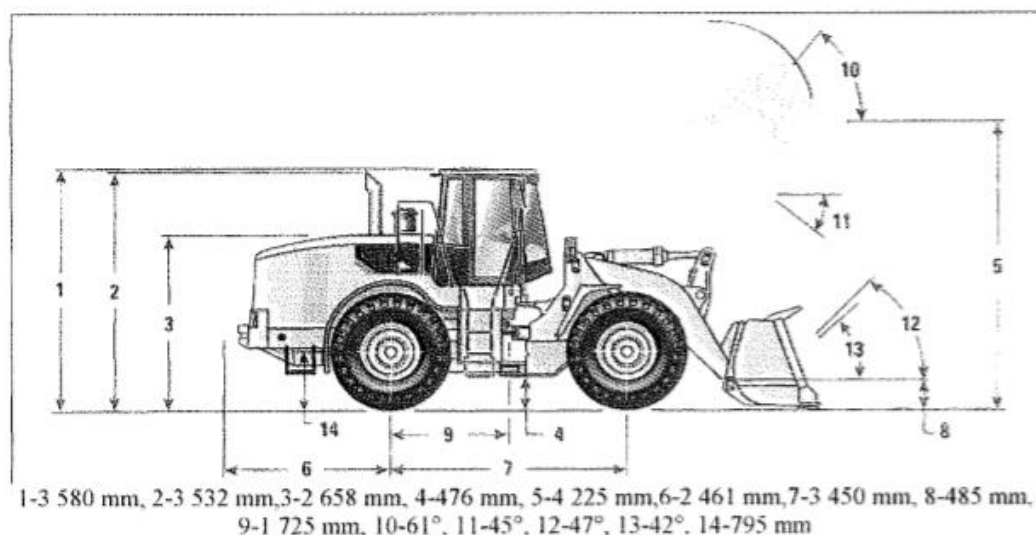
$O_u(5^\circ)$  - obujam mineralne sirovine za povećanje generalnog kuta nagiba za 5° (m<sup>3</sup>)

Iz ove analize se može zaključiti kako se za svaki stupanj povećanja generalnog kuta nagiba dobije 79 476,4 m<sup>3</sup> stijenske mase za eksploataciju.

## 5. TRANSPORT MATERIJALA SA NOVIH ETAŽA

### 5.1. Utovar i transport strojevima

Kod transporta mineralne sirovine na kamenolomu Dubac sirovina se prevozi od etaže do postrojenja za sitnjenje i klasiranje kamionima istresaćima sa sandukom obujma do 18 m<sup>3</sup>. Investitor po potrebi može koristiti i treća lica u unutarnjem transportu. Za utovar se koristi utovarivač sa obujmom lopate 5,5 m<sup>3</sup>. Osim rada na etaži, utovarivač se koristi pri utovaru u kamione trećih lica. Za izvođenje tehnološke radnje utovara i transporta tehničko-građevnog kamena mogu se koristiti svi tipovi utovarivača/bagera koji zadovoljavaju tražene tehničko-tehnološke značajke. Prikaz izabranog utovarivača i njegove dimenzije prikazane su na slici 5-1. (Živković, 2014):



Slika 5-1 Dimenzije izabranog utovarivača

Utovarivač je marke Liebherr Germany tip L 524 sa pogonom na kotačima. Tehničke specifikacije prikazane su u tablici 5-1.( Tehnoekspert, 2018)

Tablica 5-1 Tehničke specifikacije utovarivača

Snaga	86 kW
Masa	13 500 kg
Max. brzina	40 km/h
Radne tvari i sirovine koje koristi pri radu	Dizel, motorno i hidraulično ulje

Osim utovarivača, za utovar se koristi i bager gusjeničar marke Liebherr tip R942 HD/S. Tehničke specifikacije prikazane su u tablici 5-2 ( Tehnoekspert, 2018).

**Tablica 5-2** Tehničke specifikacije bagera gusjeničara

<b>Snaga</b>	150 kW
<b>Masa</b>	31 000 kg
<b>Max. brzina</b>	2,8 km/h
<b>Radne tvari i sirovine koje koristi pri radu</b>	Dizel, motorno i hidraulično ulje

U izračunima kao odvozna dužina od čela radilišta do postrojenja za sitnjenje i klasiranje uzeto je 1 200 m kao dužina za koju je računat kapacitet odvoza mineralne sirovine. Uzimajući u obzir i povratnu vožnju kamiona ukupna dužina odvoza iznosi 2 400 m (Živković, 2014.)

Utovar se izvodi na razini svih etaža, a utovarene mase se odvoze unutarnjim prometnicama do prijemnog bunkera postrojenja za sitnjenje. Izabrana širina prometnice je 6 m, a proširenja prometnica u krivinama iznose 2 m ( Živković, 2014).

Dimenzije izabranog kamiona za odvoz mineralne sirovine kao i tehnički parametri prikazani su na slici 5-2:



Dužina 9 070 mm, visina 3 300 mm, širina 2 550 mm

**Slika 5-2** Dimenzije izabranog kamiona



Kamion je marke MAN pogonjen na sve kotače. Tehničke specifikacije prikazane su u tablici 5-3.( Tehnoekspert, 2018.)

Tablica 5-3 Tehničke specifikacije kamiona istresača

<b>Snaga</b>	286 kW
<b>Obujam sanduka</b>	17,4 m <sup>3</sup>
<b>Nosivost kamiona</b>	32 000 kg
<b>Radne tvari i sirovine koje koristi pri radu</b>	Dizel

## 5.2. Gravitacijski transport

Osim transporta strojevima vrlo popularna i u mnogim situacijama znatno ekonomičnija metoda transporta je gravitacijski transport. Gravitacijski transport, koji korištenjem sile teže spada među najekonomičnije načine transporta, uobičajen je na većini površinskih kopova tehničko-građevnog kamena u Republici Hrvatskoj. Najčešći strojevi koji se koriste kod gravitacijskog transporta su bageri ili dozeri, no međutim, jedan od glavnih problema je kod gravitacijskog transporta je količina materijala koja mora biti točno određena i pouzdana kako bi se mogao izračunati broj radnih sati i trošci za neki radni proces. Obujam stijenske mase u ležištu se računski uvećava da bi se odredila količina materijala za prebacivanje jer se prebacivanjem na niže etaže dio stijenskog materijala ne spušta od osnovnog platoa nego se zadržava na etažama. Taj obujam je potrebno više puta prebaciti.

Za potrebe izračuna obujma prebacivanja pretpostavljen je sustav prebacivanja kojeg je načelo prikazano slikom 5-3. Ciljana stijenska masa nalazi se u gornje tri etaže kopa (3,4 i 5), te se na svakoj etaži iskopom zahvaća neka širina  $Bz$ , počevši od gornje etaže 5 i završavajući u donjoj etaži 3. Jedinični obujam prebacivanja po m' otkopne fronte sa najviše etaže tada je jednak ( Klanfar, 2014):

$$Pz = Bz + H + Kr, \quad (5-1)$$

gdje je:

$P_z$  – jedinični obujam ili obujam po dužnom metru otkopne fronte ( $m^3$ ),

$B_z$  – širina zahvata (m),

$H$  – visina etaže (m),

$kr$  – koeficijent rastresitosti.

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

$$P_z + P_{et}, \quad (5-2)$$

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

$$P_{et} = \frac{B^2}{4} \left( \sin 2\phi + \frac{1 - \cos 2\phi}{\tan(\alpha - \phi)} \right) (m^3) \quad (5-3)$$

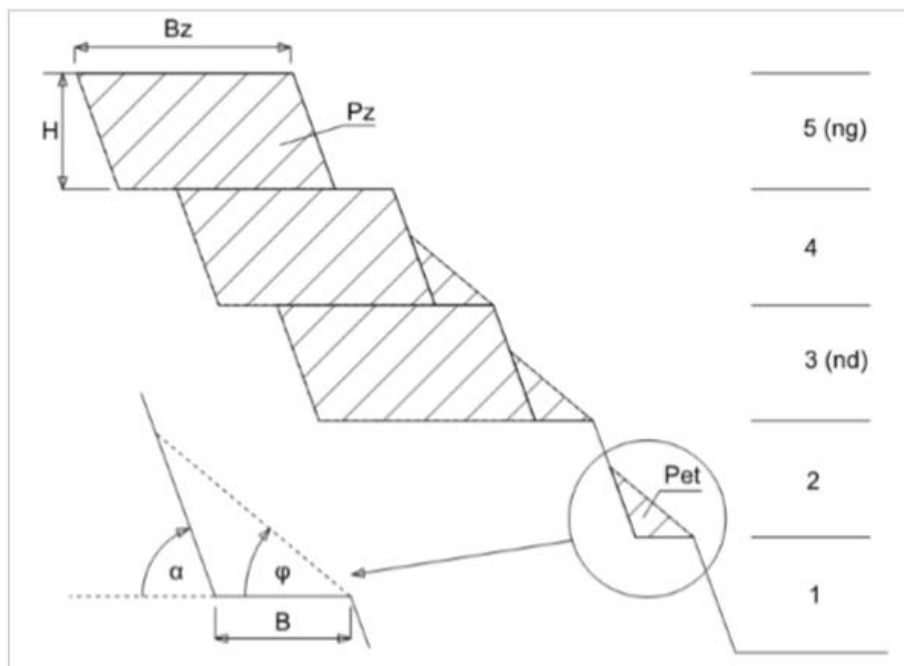
gdje je:

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

$B$  – širina etaže (m),

$\alpha$  – nagib etažne kosine ( $^\circ$ ),

$\phi$  – kut sipanja materijala ( $^\circ$ ).



Slika 5-3 Shema i princip izračuna obujma prebacivanja

Isti obujam prebacivanja vrijedi za sve niže ležeće 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  $P_{et}$ .

Prema Klanfaru (2014.) zbrajanjem izračunatih obujmova od najviše etaže do osnovnog platoa, dobije se formula za ukupni jedinični obujam prebacivanja od najviše etaže do razine spuštavanja po dužnom metru otkopne fronte:

$$P_{preg} = B_z \cdot H \cdot k_r(n_g - n_d + 1) + P_{et}(n_g - 2), (\text{m}^3) \quad (5-4)$$

gdje je:

$n_g$  – broj najviše etaže u ciljanoj stijenskoj masi,

$n_d$  – broj najniže etaže u ciljanoj stijenskoj masi.

Gornja formula (5-4) 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 (Klanfar, 2014):

$$P_{preg} = B_z \cdot H \cdot k_r(n_g - n_d) + P_{et}(n_g - n_d - 1), (\text{m}^3) \quad (5-5)$$

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:

$$P_{mat} = B_z \cdot H \cdot k_r(n_g - n_d + 1), (\text{m}^3) \quad (5-6)$$

Kvocijent gornjih dvaju veličina daje koeficijent prebacivanja  $k_{preg}$ :

$$k_{preg} = \frac{P_{preg}}{P_{mat}}, (\text{m}^3) \quad (5-7)$$

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 rastresanjem i zapunjavanju radne etaže. Uslijed toga,

ovisno o širini berme dolazi do spuštanja dijela odminirane stijenske mase prema niže ležećim etažama. U tom slučaju je obujam prebacivanja sa radne etaže nešto manji, što je ovakvim proračunom zanemareno (Klanfar, 2014).

Prilikom planiranja proširenja eksploatacije na dvije nove etaže, za znatno ekonomičniju metodu razmatra se upravo gore objašnjena alpska metoda odnosno metoda obaranja mineralne sirovine i gravitacijski transport sa etaže +205 na etažu +190 i sa etaže +190 na osnovni plato +175. Sami gravitacijski transport uz tehnologiju obaranja mineralne sirovine izvodio bi se sa bagerom gusjeničarom/utovarivačem na gusjenicama/ buldozerom. U već postojećem projektu se dotakla tema obaranja masa, no radi malih količina odminirane sirovine za tehničko-građevni kamen koje se mogu obarati niz etažu nije rađen izračun kapaciteta, no usvojeno je da bi minimalna širina etažne ravni bila 10 m. Projektirane etaže u ovom radu zadovoljavaju minimalnu širinu tako da bi se ovaj rad mogao iskoristiti u izradi novog projekta. Na taj način transport mineralne sirovine kamionima ne bi bio potreban i mineralna sirovina bi odmah bila spremna za utovar na postrojenje za sitnjenje i klasiranje.

Detaljan izračun utroška energenata kao i cjelokupna usporedba ekonomičnosti između transporta kamionima pristupnim putevima i gravitacijskim transportom biti će urađena prilikom izrade novog dopunskog projekta ukoliko se bude razmatralo novo proširenje eksploatacije.

## 6. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Eksploatacijsko polje Dubac jedino je eksploatacijsko polje koje opskrbljuje tehničko-građevnim kamenom šire područje grada Dubrovnika sve od Molunta pa do Dubrovačkog primorja te je kao takvo od izrazitog značaja u dubrovačkom građevinskom društvu. Dosadašnjom eksploatacijom i proizvodnjom pokazalo se kako se na eksploatacijskom polju Dubac dobiva izrazito kvalitetna mineralna sirovina koja se koristi u proizvodnji betona za izradu betonskih konstrukcija, bitumenskih mješavina, cesta i drugih prometnih površina pa je i samim time znatno tražena na čitavom dubrovačkom području.

Radni vijek kamenoloma je još najmanje 15 godina, a čak i više uzimajući u obzir da se godišnja proizvodnja od 120 000 m<sup>3</sup> ne ispunjava u potpunosti, te se može nagađati kako će se preostale količine od približno 1 700 000 m<sup>3</sup> eksploatirati kroz 17 godina. Naravno to je uvjetovano time da se koncesija za eksploataciju još produži jer trenutno vrijedi do 31. prosinca 2034. godine.

S obzirom da se radi o turistički jako poznatom gradu, biti će potrebni veliki naponi da se ta koncesija produži zbog izrazito male udaljenosti samog područja kamenoloma od centra Dubrovnika pa sami vizualni izgled kamenoloma nije primamljiv za turiste. Također i emisija prašine stvara negativnu percepciju domaće i inozemne javnosti, iako je zapravo utjecaj eksploatacije tehničko-građevnog kamena na okoliš relativno mali.

Valja napomenuti kako se u koncept ishoda nove dozvole za eksploataciju razmatra i stvaranje novih etaža kao i izrada strmijih završnih kosina na već postojećim. Analize provedene u ovom radu baziraju se upravo na ta dva zahvata. Stvaranjem novih etaža dobilo bi se 224 277 m<sup>3</sup>, a izradom strmijih kosina 397 382 m<sup>3</sup>. Kod izrade strmijih kosina kao prepreka se javlja nepostojanje podataka za izradu kvalitetne analize stabilnosti koja bi pokazala je li taj zahvat izvediv i još važnije, siguran za provedbu, dok se kod izrade novih kosina postavlja pitanje kakav će se tip transporta materijala napraviti, kamionima ili gravitacijski.

Na osnovi provedenih analiza da se zaključiti kako bi eksploatacijsko polje Dubac osiguravalo kvalitetan rad eksploatacijom dodatnih 621 659 m<sup>3</sup> što bi značilo kada bi se pratila godišnja proizvodnja od 120 000 m<sup>3</sup>, produljenje proizvodnje bi bilo oko 5,2 godine što bi zahtijevalo podnošenje zahtjeva za novu koncesiju. Vrlo kvalitetnim prijedlogom smatra se izrada strmijih kosina gdje bi se povećanjem generalnog kuta nagiba za 1° dobilo novih 79 476,4 m<sup>3</sup> materijala. Za postizanje uvjeta za izvođenje tih radova potrebno je

dodatno istražiti fizikalno mehaničke značajke intaktnog materijala, značajke diskontinuiteta i provesti klasifikaciju stijenske mase kao preduvjet za istinsku analizu stabilnosti kosina koja će omogućiti veću iskoristivost mineralne sirovine na ovom eksploatacijskom polju.

## 7. LITERATURA

Arbanas, Ž., 2015. *Opservacijske metode pri projektiranju i izvođenju građevinskih jama u stijenskoj masi u urbanim sredinama*. Rijeka: Građevinski fakultet

Bieniawski, Z.T., 1979. *The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications*, Montreux

Bishop, A.W., 1955. *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes*. *Geotechnique* 5(1): 7-17.

Dugonjić Jovančević, S., 2017. *Inženjerska mehanika stijena*. Skripta. Rijeka: Građevinski fakultet

Giani, G. P., 1992. *Rock Slope Stability Analysis*. A. A. Balkema, Rotterdam.

Hoek, E., Bray, J. W. 1977. *Rock Slope Engineering*. Institution of Mining and Metallurgy, London.

Hoek E., Brown E.T., 1997. *Practical Estimates of Rock Strength*, Int. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts

Hoek, E., Diederich, M.S., 2006. *Empirical estimation of rock mass modulus*, Int. J. Rock. Mech. Min.

Hrženjak, P., Briševac, Z., 2009. *Upute i predlošci za laboratorijske vježbe i programe iz mehanike stijena*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet

ISRM 1979: *Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials*

Klanfar, M., (2014): *Optimizacija eksploatacije dijabaza u složenim ležišnim uvjetima*, Doktorski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Krasić, O., 2019 *Elaborat o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju Dubac – šesta obnova*, Zagreb. RUDIST d.o.o.

Serafim, J.L., Pereira, J.P., 1983. *Consideration of the Geomechanical Classification of Bieniawski*, Proc. Int. Symp. on engineering Geology and Underground Construction, Lisbon

Seražin, V., 1998. *Glavni rudarski projekt otkopavanja tehničko-građevnog kamena ležišta Dubac kod Dubrovnika*. Zagreb: MESEC MINING d.o.o.

TEHNOEKSPERT (2018): *Zapisnik o izvršenom pregledu i ispitivanju radne opreme*, Zagreb

Tomašić, I., 2007. *Primijenjena geologija*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Živković, A. S. 2014. *Dopunski rudarski projekt eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju Dubac – II. dopuna*. Zagreb.

Web izvori:

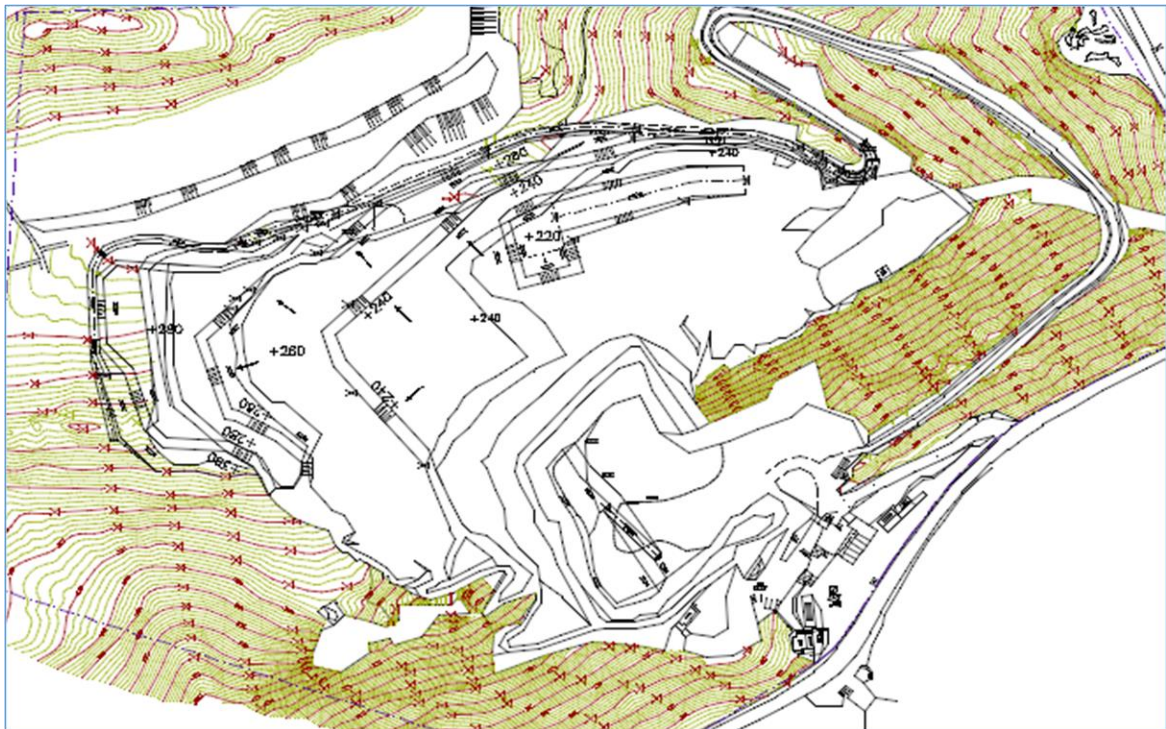
Google Earth 2020.: <https://earth.google.com/web/> (27.4.2020.)

Informacijski sustav prostornog uređenja 2019.: <https://ispu.mgipu.hr/> (29.4.2020.)



## Prilozi

### Prilog 1 Situacijska karta površinskog kopa „Dubac“

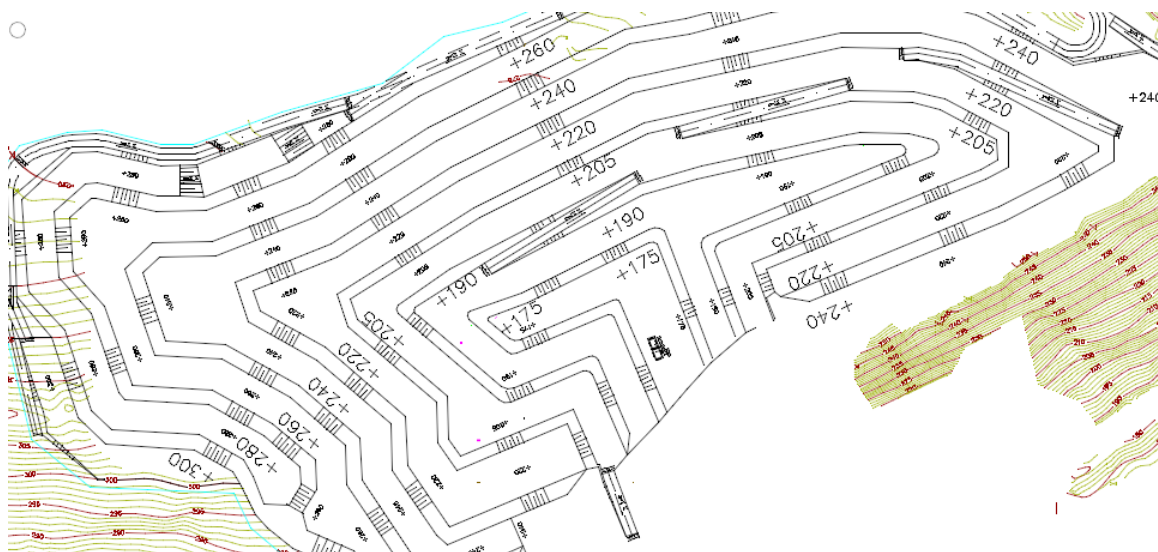


#### TUMAĀ:

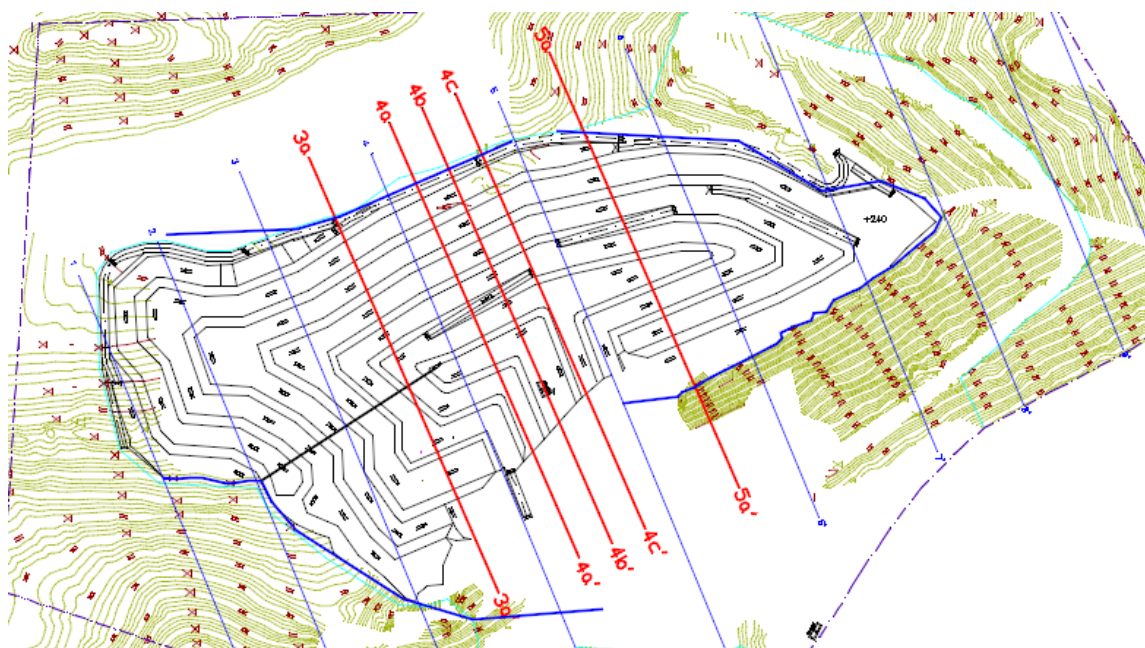
	GRANICA EKSPLOATACIJSKOG POLJA
	GRANICA PRORAĀUNA REZERV
	GRANICA IZVANBILANĀNIH REZERV - ZAŠTITNI STUP
	OGRADA OKO RUDARSKOG OBJEKTA
	NAGIB CESTE
	KOTA TERENA
	OZNAKA KOSINE U MINERALNOJ SIROVINI
	OZNAKA KOSINE NA ODLAGALIŠTU
	SMJER NAPRETKA FRONTE
	SMJER PUNIH KAMIONA
	SMJER PRAZNIH KAMIONA

PROJEKTIHO TRGOVAĀKO DRUŠTVO: RUDIST d.o.o. ZAGREB	DATUM: 5./2014.	NAZIV OBJEKTA: POVRŠINSKI KOP "DUBAC"
ODGOVORNI PROJEKTANT: Dr.sc. Stanislav Anto Źiković, dpl.ing.rud.		NAZIV RADA: DOPUNSKI RUDARSKI PROJEKT EKSPLOATACIJE TEHNIĀKO-GRAĀEVNOG KAMENA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU "DUBAC" - II. DOPUNA
PROJEKTANT: Damir Krank, dpl.ing.rud.		
PROJEKTANT: Tomislav Horvat, dpl.ing.rud.		

**Prilog 2** Karta završnog stanja površinskog kopa „Dubac“ nakon proširenja



**Prilog 3** Položaj obračunskih presjeka



## Prilog 4 Obračunski presjeci

