

# Optimizacija razvoja rudarskih radova na eksploatacijskom polju arhitektonsko-građevnog kamena "San"

---

Strilić, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:169:095441>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-08**



Repository / Repozitorij:

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



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

**OPTIMIZACIJA RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA NA EKSPLOATACIJSKOM  
POLJU ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA „SAN“**

Diplomski rad

Marko Strilić  
R-196

Zagreb, 2019.

OPTIMIZACIJA RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU  
ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA „SAN“

Marko Strilić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U radu je obrađen prijedlog optimizacije razvoja površinskog kopa „San“. Opisano je postojeće stanje terena šireg područja te prikazano i opisano postojeće stanje površinskog kopa. Navedeni su geološki strukturni odnosi u široj i bližoj okolici ležišta. Digitalne vektorizirane karte korištene su za izradu 3D modela terena pomoću programa *Bentley Microstation*. Modeliran je novi izgled površinskog kopa „San“ s prijedlogom razvoja fronta i napretka rudarskih radova. Obrada prostornih veličina metodom triangulacije i generiranje podataka izvedeno je u programu *Bentley inroads*. Proračun rezervi arhitektonsko-građevnog kamena obavljen je uz pomoć metoda računalnog modeliranja te metodom srednje aritmetičke vrijednosti.

Ključne riječi: istraživanje, ležište „San“, arhitektonsko-građevni kameni, proračun rezervi, razvoj rudarskih radova.

Diplomski rad sadrži: 39 stranica, 21 sliku, 5 tablica, 2 priloga i 6 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentor: Dr. sc. Ivo Galić, izvanredni profesor RGNF

Pomogao pri izradi: Dr. sc. Ivo Galić, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Ivo Galić, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Davor Pavelić, redoviti profesor RGNF  
Dr. sc. Tomislav Korman, docent RGNF

OPTIMIZATION OF THE DEVELOPMENT OF MINING WORKS ON THE "SAN" DIMENSION  
STONE EXPLOITATION FIELD

Marko Strilić

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

Abstract

This thesis describes the optimization of surface development of the "San" dimension stone exploitation field. The present state of the wider area and the existing surface conditions are described, as well as geological structural relationships in the wider and near surroundings. Digital vectored maps were used to create a 3D model of the terrain, using a Bentley MicroStation. A new appearance of the "San" dimension stone exploitation field's surface has been modelled and a proposal of frontal and directional progress has been made. The processing of spatial size, triangulation method and the production of data were performed using Bentley Inroads. The calculation of dimension stone reserves was done using the method of computer modelling and the method of mean arithmetic value.

Keywords: research, "San" deposit, dimension stone, calculation of reserves, development of mining works.

Thesis contains: 39 pages, 21 figures, 5 tables, 2 enclosure and 6 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: Associate Professor Ivo Galić, PhD

Tech. assistance: Associate Professor Ivo Galić, PhD

Reviewers: Associate Professor Ivo Galić, PhD  
Full Professor Davor Pavelić, PhD  
Assistant Professor Tomislav Korman, PhD

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	I
POPIS TABLICA .....	II
POPIS PRILOGA .....	III
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA.....	IV
1. UVOD.....	1
2. OSNOVNE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA .....	2
2.1. ZEMLJOPISNI POLOŽAJ I KOMUNIKACIJE.....	2
2.2. MORFOLOŠKO-HIDROGEOLOŠKE I KLIMATSKE PRILIKE .....	4
3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA.....	5
3.1. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA.....	5
3.2. GEOLOŠKA GRAĐA LEŽIŠTA .....	6
3.3. GENEZA I TEKTONIKA LEŽIŠTA .....	7
3.4. INŽENJERSKO-GEOLOŠKE ZNAČAJKE LEŽIŠTA .....	8
4. VRSTA I KAKVOĆA KAMENA.....	9
4.1. VRSTA KAMENA .....	9
4.2. KAKVOĆA KAMENA.....	9
5. TEHNIČKO - TEHNOLOŠKA RJEŠENJA IZVOĐENJA RUDARSKIH RADOVA	
11	
5.1. OGRANIČENJE KOPA.....	11
5.2. ANALIZA STABILNOSTI KOSINA .....	12
5.3. MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITE .....	14
6. IZRADA 3D MODELA ŠIREG PODRUČJA „SAN“ .....	15
6.1. POZICIONIRANJE TOPOGRAFSKIH ELEMENATA U PROSTORU .....	15
6.2. TRIANGULACIJA 3D MODELA POSTOJEĆEG STANJA TERENA.....	18
7. MODELIRANJE NOVIH ISTRAŽNIH RADOVA I ZAVRŠNE KONTURE	
POVRŠINSKOG KOPA .....	20
7.1. PRIJEDLOG ISTRAŽNIH RADOVA.....	20
7.2. IZRADA 3D MODELA POVRŠINSKOG KOPA.....	21
7.2.1. Triangulacija 3D modela površinskog kopa .....	22
7.2.2. Generiranje računalnog modela završne konture površinskog kopa i okolnog	
terena 25	

8. OPTIMIZACIJA POLOŽAJA FRONTI I SMJER NAPRETKA RUDARSKIH RADOVA.....	26
8.1. RAZVOJ KOPA „SAN“ .....	26
8.2. PRIJEDLOG RAZVOJA ETAŽA .....	30
9. PRORAČUN REZERVI .....	33
9.1. POSTUPAK PRORAČUNAVANJA OBUJMA, METODOM SREDNJE ARITMETIČKE VRIJEDNOSTI (MSAV) .....	33
9.2. PRORAČUN OBUJMA METODOM RAČUNALNOG MODELIRANJA (MRM)	34
9.3. PROCJENA OČEKIVANIH BILANČNIH I IZVANBILANČNIH REZERVI.....	36
10. ZAKLJUČAK .....	37
11. LITERATURA.....	38

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Zemljopisni položaj eksploatacijskog polja "San". Mjerilo 1:100 000 .....	2
Slika 2.2 Površinski kop "San" .....	4
Slika 3.1 Geološka karta šireg područja eksploatacijskog polja .....	5
Slika 3.2 Pojas svjetloružičastih vapnenaca .....	6
Slika 6.1 Dizanje slojnica na zadanu visinu pomoću aplikacije Mod-z M1:1000 .....	16
Slika 6.2 „Top Veiw“ pogled na slojnice u 3D prikazu nakon podizanja na njihove visine M1:1000 .....	17
Slika 6.3 Slojnice istražnog područja „San“ prikazane u 3D modelu .....	18
Slika 6.4 Triangulirani 3D model šireg područja Istražnog prostora „San“ M1:1000 .....	19
Slika 7.1 Raspored prijedloga dodatnih istražnih radova na kopu „San“ M1:2000 .....	20
Slika 7.2 Formirani 3D model površinskog kopa „San“ .....	22
Slika 7.3 <i>Wireframe</i> (žični) prikaz modela površinskog kopa „San“ .....	24
Slika 7.4 <i>Smooth modeling</i> prikaz modela površinskog kopa „San“ .....	24
Slika 7.5 Završno stanje površinskog kopa „San“ u 3D prikazu .....	25
Slika 8.1 Prva faza razvoja etaža, M1:2 000 .....	27
Slika 8.2 Druga faza razvoja etaža, M1:2 000 .....	28
Slika 8.3 Treća faza razvoja etaža, M1:2 000 .....	29
Slika 8.4 Završno stanje razvoja etaža, M1:2 000 .....	30
Slika 8.5 Nova pristupna cesta po etaži 958 M1:2 000 .....	31
Slika 8.6 Rasjedi i slojevi na 2D prikazu napretka kopa „San“ M1:2 000 .....	32
Slika 8.7 2D nacrt napretka kopa „San“ sa granicama rezervi M1:2 000 .....	32
Slika 9.1 Rezultat proračuna ukupnog obujma za proračun bilančnih rezervi, metodom računalnog modeliranja .....	35

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Koordinate vršnih točaka eksploatacijskog polja "San" .....	3
Tablica 4.1 Varijanteti kamena ležišta "San" .....	9
Tablica 5.1 Rezultati analize stabilnosti kosina za površinski kop "San" .....	13
Tablica 9.1 Proračun srednje dubine bušotina pomoću programa <i>Microsoft Excel</i> .....	34
Tablica 9.2 Proračun očekivanih bilančnih i izvanbilančnih rezervi .....	36



## **POPIS PRILOGA**

PRILOG br. 1 Situacijska karta s prikazanim granicama rezervi

PRILOG br. 2 Znakoviti presjeci

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$O$	$m^3$	obujam
$P_B$	$m^2$	površina baze
$d_{SR}$	m	srednja dubina bušotina
$d_i$	m	dubina bušotine
$n$	m	ukupni broj bušotina

*Zahvaljujem se svima koji su na bilo koji način sudjelovali u mom školovanju. Zahvaljujem se mentoru Ivi Galiću na velikoj podršci, suradnji i pomoći u izradi diplomskog rada. Zahvaljujem se prijateljima, kolegama, obitelji, a posebno roditeljima na neprestanoj podršci i ljubavi.*

## 1. UVOD

U ovom diplomskom radu predloženi su novi istražni radovi i granice rezervi arhitektonsko-građevnog kamena dolomita i dolomitičnog vapnenca "San", koji se nalazi u Zapadno-hercegovačkoj županiji, u blizini Grada Širokog Brijega. Na eksploatacijskom polju „San“ već su ranije utvrđene granice rezervi te se izvodi eksploatacija. No, tijekom proteklih pet godina došlo je do novih saznanja i potrebe doistraživanja ležišta u cilju optimizacije položaja fronta i smjera napretka rudarskih radova, što je obrađeno u glavnom dijelu rada. Predložena je završna kontura površinskog kopa koja je bitno izmijenjena u odnosu na ranije planove. Preko jednostavnog i stvarnog primjera opisan je način izrade 3D modela područja istraživanja. Proračun rezervi obavljen je uz pomoć metoda računalnog modeliranja te metodom srednje aritmetičke vrijednosti.

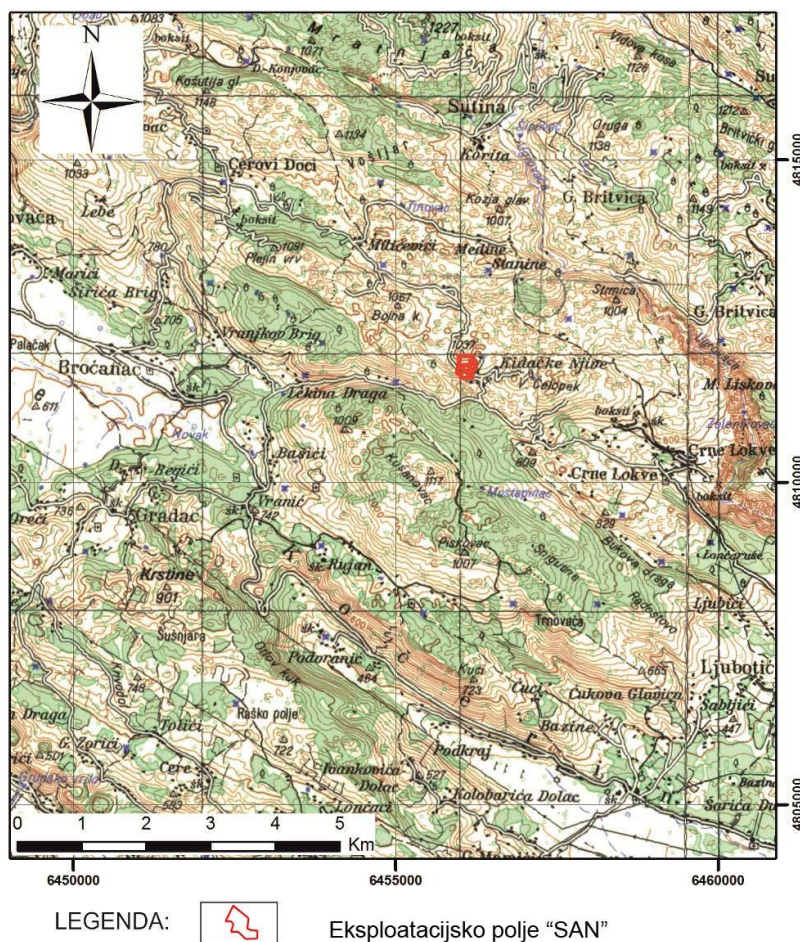
Računalnim programom *Bentley Microstation* napravljena je triangulacija situacijske karte, 3D modeliranje, triangulacija kopa, generiranje završnog izgleda terena i ležišta te proračun rezervi. Na taj način korištenjem suvremenih metoda omogućen je kvalitetniji prikaz ležišta. Digitalizacija postojećih i novostečenih podataka također je odrađena aplikacijama mod-z i InRoads kojima se upravlja pomoću Microstation-a.

## 2. OSNOVNE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

### 2.1. ZEMLJOPISNI POLOŽAJ I KOMUNIKACIJE

Eksploatacijsko polje arhitektonsko-građevnog kamena dolomita i dolomitičnog vapnenca "San" (u daljnjem tekstu a-gk) nalazi se u Zapadno-hercegovačkoj županiji, sjeverozapadno od Crnih Lokava, na udaljenosti oko 17 km od Grada Širokog Brijega (Slika 2.1).

Predmetno eksploatacijsko polje se nalazi u pustom, nenaseljenom području, ali je, zahvaljujući rudarskim aktivnostima u prošlosti, prometno povezano makadamskom cestom s Crnim Lokvama (jugoistočno oko 3 km) i Rakitnom (u smjeru sjeverozapada oko 7 km). (Galić, 2019)



Slika 2.1 Zemljopisni položaj eksploatacijskog polja "San". Mjerilo 1:100 000

U blizini, jugoistočno od eksploatacijskog polja, nalaze se Kidačke njive, gdje je u razdoblju od šezdesetih do osamdesetih godina prošlog stoljeća eksploatiran boksit, uglavnom podzemnim kopom (jamom), a mjestimično i površinskim putem.

U bližoj okolini ležišta arhitektonsko-građevnog kamena "San" nema dalekovoda, pa će se u prvoj fazi izvor pogonske energije potreban za eksploataciju nalaziti na kopu, a u kasnijoj fazi dovest će se električna energija iz javne mreže. Voda potrebna za tehnološki proces eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, kao i voda za piće dovožit će se cisternama.

Eksploatacijsko polje arhitektonsko-građevnog kamena "San" zahvaća površinu od 43 262 m<sup>2</sup> (4,3262 ha), koju omeđuju vršne točke od 1 do 12, čijim se međusobnim spajanjem dobiju dužine stranica. Koordinate vršnih točaka eksploatacijskog polja i duljine stranica prikazane su u Tablici 2.1. (Galić, 2019)

**Tablica 2.1** Koordinate vršnih točaka eksploatacijskog polja "San"

Koordinate E.P. SAN			Udaljenosti	
V.t.	Y	X	D, m	
1	6 455 956	4 811 945	1...2	186,80
2	6 456 100	4 811 826	2...3	105,93
3	6 456 086	4 811 721	3...4	96,32
4	6 456 180	4 811 700	4...5	70,00
5	6 456 180	4 811 630	5...6	111,42
6	6 456 068	4 811 627	6...7	104,80
7	6 455 992	4 811 700	7...8	59,00
8	6 455 933	4 811 700	8...9	59,24
9	6 455 955	4 811 755	9...10	17,00
10	6 455 955	4 811 772	10...11	33,97
11	6 455 930	4 811 795	11...12	43,00
12	6 455 887	4 811 795	12...1	165,11
Površina, ha			4, 3262	

## 2.2. MORFOLOŠKO-HIDROGEOLOŠKE I KLIMATSKE PRILIKE

Eksploatacijsko polje arhitektonskog kamena "San" nalazi se u području s tipičnom mediteranskom klimom planinskog tipa. Izražena krška morfologija terena uzrokuje i izrazito kršku hidrografiju šireg područja. Oborinska voda se kroz okršene stijene te duž vertikalnih i subvertikalnih pukotina lako drenira u podzemlje. U blizini ležišta nema stalnih vodenih tokova.

Značajke klime su duga suha ljeta i blage kišovite zime. Srednja temperatura u siječnju je oko 5°C, a samo nekoliko dana u godini temperatura padne ispod 0°C, tako da je rad na kopu moguć kroz veći dio godine. Najviše oborina na ovom području padne tijekom studenog i prosinca, a najmanje u lipnju i srpnju.

U području ležišta arhitektonsko-građevnog kamena "San" nemastalnih niti povremenih površinskih vodenih tokova. Kako je ležište izgrađeno od gornjokrednih dolomita i vapnenaca, u njima su razvijene tektonske pukotine i rijetke škrape nastale korozijom kao što se vidi na Slici 2.2. Zbog toga se oborinske vode po pukotinama gravitacijski dreniraju duboko u prostrano krško podzemlje. Pri eksploataciji ne postoji opasnost od površinskih i podzemnih voda. (Dragičević i dr., 2014).

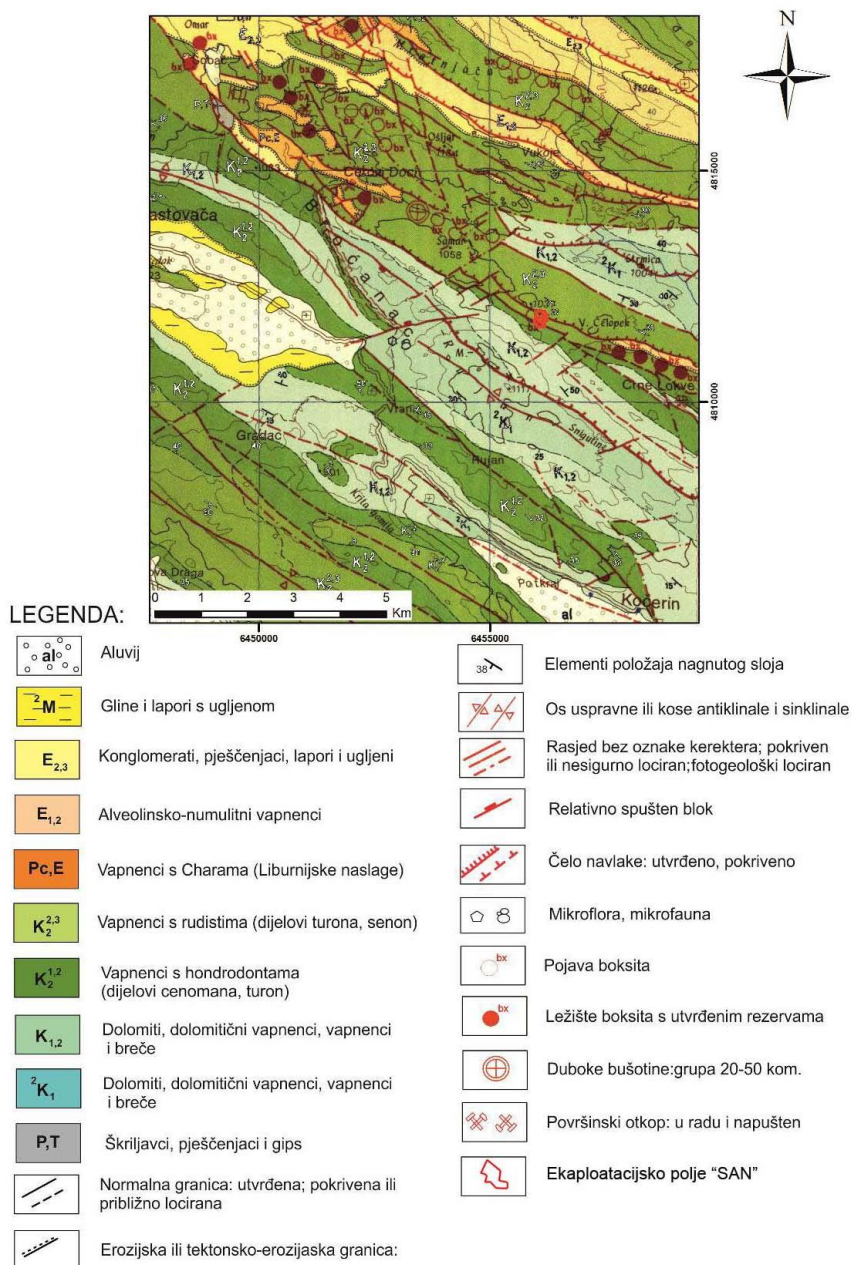


**Slika 2.2** Površinski kop "San"

### 3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA

#### 3.1. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA

Temeljem osnovne geološke karte (OGK), list IMOTSKI (33-23) utvrđeno je da šire područje ležišta "San" izgrađuju raznovrsne stijene stratigrafskog raspona od donje krede do kvartara. Dominiraju vapnenci i dolomiti kredne starosti (Slika 3.1) (Galić, 2019).



Slika 3.1 Geološka karta šireg područja eksploatacijskog polja (Račić i dr., 1967)



### 3.2. GEOLOŠKA GRAĐA LEŽIŠTA

Područje istražnog prostora arhitektonskog kamena „San“ i njegovog neposrednog okruženja, izgrađeno je od gornjokrednih karbonata, vapnenaca i dolomita turon-senona ( $K_2^{2,3}$ ) s rijetkim ostacima rudista i hodrodonti, koji su mjestimice prekriveni tankim pokrovom humusa. Mjestimično su na površini terena vidljive ogoljene plohe dolomita i vapnenaca turon-senona, koje u pogledu mineralnih sirovina predstavljaju dobru indicaciju za arhitektonsko-građevni kamen.

Uzorak kamena komercijalnog naziva "SAN" je prema rezultatu mikroskopskih i makroskopskih ispitivanja (mineralnog sastava, strukturih i teksturnih osobina), determiniran kao sitni **saharoidni dolomit**, prema R. L. Folku kao **sitni kristalasti dolomit**, a prema R. J. Dunhamu kao **kristalasta karbonatna stijena**. (Dragičević i dr., 2014).

Ležište arhitektonsko-građevnog kamena "San" nalazi se u masivnim kasno dijagenetskim dolomitima stratigrafske pripadnosti turon-senonu. U podini se nalaze pretežito slojeviti mikriti, a u krovini svjetlosivi, bijeli do svjetloružičasti brečirani vapnenci.

Dolomit je masivna neuslojena ili vrlo debelo uslojena stijena svjetlosive do sivkaste boje. Ponegdje se nepravilno javljaju i druge nijanse boja poglavito u pripovršinskim dijelovima stijenske mase. Idući u dubinu ležišta očekuju se ujednačenije nijanse boja.



Slika 3.2 Pojas svjetloružičastih vapnenaca

### 3.3. GENEZA I TEKTONIKA LEŽIŠTA

#### Geneza ležišta

U geološkom sastavu neposrednog okruženja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena "San" zastupljene su karbonatne stijene gornjokredne starosti. Izmjenjuju se vapnenci i kasno dijagenetski dolomiti. Debeloslojeviti masivni kasnodijagenetski dolomiti predstavljaju mineralnu sirovinu, odnosno arhitektonsko-građevni kamen vrlo dobrih svojstava.

Genezu ovih kasnodijagenetskih dolomita možemo smjestiti unutar dugotrajne marinske sedimentacije koja se tijekom mezozoika odvijala na prostranoj Jadranskoj karbonatnoj platformi. Prisutni masivni debeloslojeviti kasnodijagenetski dolomiti prvotno su istaloženi kao zrnasti vapnenci sa znatnom primarnom poroznošću, koja je omogućila cirkuliranje voda bogatih magnezijem. Tako je došlo do zamjene kalcijevog iona magnezijevim i stijena je procesom dolomitizacije pretvorena u kasnodijagenetski dolomit (saharoidalni, odnosno šećerasti dolomit). Debeli masivni slojevi upućuju da su oni nastali u široj predgrebenskoj, odnosno zagrebenskoj zoni.

Zaključno se može reći da je ležište sedimentnog podrijetla (Dragičević i dr., 2014).

#### Tektonika

U tektonsko-strukturnom pogledu šire područje budućeg kopa se nalazi u strukturnoj jedinici **Zavelim** (list Imotski, Raić, Ahac i Papeš, 1962-1967). Značajka te jedinice je generalno pružanje struktura SZ-JI, s brojnim antiklinalama i sinklinalama kilometarskih dimenzija te također s brojnim rasjedima različitog značaja. I bore i rasjedi najčešće imaju dinaridsku, odnosno jugozapadnu vergenciju. Posebno su znakoviti uzdužni reversni rasjedi kojima su sjeveroistočne strukture, odnosno antiklinale, „navučene“ na jugozapadne dijelove sinklinala pri čemu su ove potonje tektonski reducirane, odnosno nalaze se skrivene ispod reversnih rasjeda.

Područje ležišta arhitektonskog kamena "San" smješteno je u sjeveroistočnom dijelu antiklinale. U samom ležištu utvrđen je normalni rasjed čije je pružanje sjeveroistok-jugozapad. Pružanje slojeva je dinaridsko, a nagibi slojeva variraju od blago nagnutih u

dolomitima s znatnim povećanjem kuta nagiba slojeva idući u mlađe stratigrafske članove. U ležištu su razvijene i rijetke pukotine, odnosno pukotinski sustavi. Dominira sustav otvorenih-zjapećih relaksacijskih pukotina generalnog pružanja sjeveroistok-jugozapad. U širem području nalazimo i dijagonalne i poprečne rasjede različitog značaja, koji su dodatno poremetili stijene kredne i paleogenske starosti (Dragičević i dr., 2014).

### 3.4. INŽENJERSKO-GEOLOŠKE ZNAČAJKE LEŽIŠTA

U ležištu arhitektonsko-građevnog kamena “San” prirodni diskontinuiteti, uglavnom pukotine i manje rasjedi diktiraju stabilnost stijenske mase na vertikalnim površinama etaža i drugim zasjecima i usjecima. Mali kutevi nagiba vrlo debelih i masivnih slojeva ranodijagenetskih dolomita te homogenost i izotropnost stijenske mase, garancija su vrlo stabilnih inženjersko-geoloških uvjeta u ležištu za vrijeme eksploatacije. Manje količine zemlje crnice u dijelu zjapećih-relaksirajućih pukotina, kao i u površinskom dijelu stijenske mase, nemaju utjecaj na stabilnost. Debljina površinske trošne zone neznatna je i zanemariva (Galić, 2019).

## 4. VRSTA I KAKVOĆA KAMENA

### 4.1. VRSTA KAMENA

Na eksploatacijskom polju arhitektonsko-građevnog kamena "San" eksploatirati će se dolomiti ( ${}^2K_2^{2,3}$ ), komercijalnog naziva - "San".

Dolomit je masivna neuslojena ili vrlo debelo uslojena stijena svjetlosive do sivkaste boje. Na sjevernom djelu ležišta nalaze se svjetlosivi, bijeli do svjetloružičasti brečirani vapnenci ( ${}^3K_2^{2,3}$ ), ova formacija predstavlja krovinu produktivnom dijelu ležišta.

Utvrđeni varijeteti kamena iz ležišta "San" prikazani su u Tablici 4.1.

**Tablica 4.1** Varijeteti kamena ležišta "San"

Naziv varijeteta	Vizualni opis	Zona prostiranja	Širina zone prostiranja	Procjena kvalitete
<b>San -krovina</b>	Dominantno brečirani vapnenci svjetlosive, bijele do svjetloružičaste boje	Sjeverna-površinska strana ležišta koja predstavlja krovinu.	Najveća zona, sa širinom oko 45 m (udio oko 21%)	Vrlo dobra s postojanim izgledom
<b>San -dolomit</b>	Dominantno masivna stijena svjetlosive do sivkaste boje struktura	Južna-površinska strana ležišta koja predstavlja produktivni sloj.	Poznato oko 200 m, nepoznato ka jugu (udio oko 67)	Vrlo dobra s postojanim izgledom

Arhitektonsko-građevni kamen iz ležišta "San" ima veliku mogućnost primjene u graditeljstvu na domaćem i inozemnom tržištu i dugoročno osiguran plasman kako blokova, tako i gotovih proizvoda. (Galić, 2019)

### 4.2. KAKVOĆA KAMENA

Iz Izvještaja o određivanju kvalitete arhitektonsko–građevnoga kamena komercijalnog naziva "San" iz ležišta "San", Crne lokve, Široki Brijeg, Broj: 35/ag/12, od 27. srpnja 2012. godine, osnovom rezultata ispitivanja mineraloško-petrografskog sastava, fizičko-mehaničkih značajki i postojanosti uzorka kamena vidljivo je slijedeće:

#### - Makroskopski

Boja kamena je vrlo blijedonarančasta (10 YR 8/2) do ružičastosiva (5 YR 8/12) i sivoružičasta (5 R 8/2) s rijetkim crnim (N 1) uklopcima.

Lom: Oštar i nepravilan. Površine ploha prijeloma su neravne i srednje do sitno hrapave, te slabo svjetlucave od ploha kalavosti sitnih kristala karbonatnog minerala.

Tvrdoća kamena je približno 4 (po Mohs-u).

Tekstura kamena je homogena s rijetkim prslinama i žilicama svijetle boje.

Struktura je izrazito mikrokristalasta. Pod povećalom motrimo kristalastu građu, sitna nepravilna zrna karbonatnih minerala, zatim rijetke sitne prsline ispunjene kristalima dimenzije sparita, te plohe kalavosti. Ne zapaža se detritus.

Reakcija s HCl (10 %): Veoma slaba, sa znatnom zadržskom, tipično za stijenu dolomit.

Terenska determinacija: Dolomit kristalaste građe (Cx).

#### - **Mikroskopski**

U mikroskopskom izbrusku, u prolaznom svijetlu mikroskopa, može se vidjeti agregat približno nejednolikih presjeka kristala minerala dolomita, homogenu teksturu, te rijetke milimetarske pukotine, koje su rjeđe zapunjene kalcitom dimenzije sparita. Mineralni sastav je dolomit, kalcit i opaki mineral. Dominantni mineralni sastojak je mineral dolomit, kojega ima približno blizu 100 %. Nalazi se kao kristalna zrna različitih presjeka: nepravilnih, izometričnih, poligonalnih i romboidnih dimenzije sparita, koja duboko zadiru jedna u drugo. Kalcita ima veoma malo i nalazi se kao nepravilni presjeci dimenzije sparita, unutar kristala dolomita i duž nekih pukotina. Kod nekih zapažamo tlačne sraslačke lamene, a kod nekih dva ssustava pukotina kalavosti.

#### - **Odredba**

Uzorak kamena "SAN" je prema rezultatu mikroskopskih i makroskopskih ispitivanja (mineralnog sastava, strukturih i teksturnih osobina), determiniran kao sitni **saharoidni dolomit**, prema R. L. Folku kao **sitni kristalasti dolomit**, a prema R. J. Dunhamu kao **kristalasta karbonatna stijena**. (Galić,2019)

## 5. TEHNIČKO - TEHNOLOŠKA RJEŠENJA IZVOĐENJA RUDARSKIH RADOVA

### 5.1. OGRANIČENJE KOPA

Oblik eksploatacijskog polja podređen je obliku ležišta a-gk, rasporedu rudarskih objekata, prilaznoj cesti i planu izgradnje postrojenja za preradu kamena. Eksploatacijsko polje ima izgled nepravilnog dvanaesterokuta. Eksploatacijsko polje arhitektonsko-gradevnog kamena "San" zahvaća površinu od oko 4,33 ha.

Na prostoru eksploatacijskog polja nalaze se eksploatacijske rezerve A, B, i C1 kategorije, kao i potencijalne C<sub>2</sub> rezerve. Temeljem odobrenih granica navedenih kategorija i eksploatacijskog polja ograničen je kop po visini i širini, što se jasno vidi na slikama od 5.1 do 5.4.

Najniža točka, prije provedbe tehničkih rješenja je oko 953 m n.m. u južnom dijelu budućeg kopa, a najviša 1 000 m n.m. na sjevernom dijelu budućeg kopa, što predstavlja visinsku razliku od 47 m. Najveća duljina kopa iznosi oko 180 m a širina 120 m. Otkopavanjem će se zahvatiti oko 18 000 m<sup>2</sup> površine. (Prilog br. 1) (Galić, 2019)

### PROJEKTNI PARAMETRI KOPA

Projektirani parametri, tijekom eksploatacije kopa, bit će slijedeći (Galić, 2019):

- maksimalna visina etaža u okršenom materijalu	10 m
- visina produktivnih etaža u a-gk	7 m
- minimalna širina radne etaže	12 m
- širina završne etaže	5 m
- kut nagiba etažne kosine	90°
- kut nagiba radne kosine	≤ 60°
- kut nagiba završne kosine	≤ 57°

## 5.2. ANALIZA STABILNOSTI KOSINA

Na eksploatacijskom polju "San" nisu rađena posebna ispitivanja radne sredine. Određivanje kuta nagiba radne i završne kosine utvrđeno je osnovom podataka iz Elaborata o rezervama kao i osnovom iskustvenih podataka sa sličnih kopa (dalmatinski kopi a-gk).

Inženjersko – geološkim istraživanjem dobiveni su slijedeći podaci:

- na stabilnost stjenske mase na vertikalnim površinama utječu prirodni diskontinuiteti, uglavnom pukotine i manji rasjedi
- mali kutevi nagiba vrlo debelih i masivnih slojeva dolomita te homogenost i izotropnost stjenske mase garancija su vrlo stabilnih inženjersko-geoloških uvjeta u ležištu za vrijeme eksploatacije
- manje količine zemlje crnice u dijelu pukotina nemaju utjecaj na stabilnost. (Galić, 2019)

Iz Uvjerenja o fizičko-mehaničkim značajkama arhitektonsko-građevnog kamena dobiveni su slijedeći podaci:

Obujamska masa, $\gamma$	2 735 kg/m <sup>3</sup>
Tlačna čvrstoća, $\sigma_T$	152,1 MPa
Čvrstoća na savijanje, $\sigma_S$	26,2 MPa

Temeljem podataka za istu kategoriju stijena kao na eksploatacijskom polju "San" usvojeni su slijedeći parametri stjenskog masiva:

Kut unutarnjeg trenja, $\varphi$	45°
Kohezija, c	500 000 Pa
Koeficijent seizmičnosti	0,1

U analizi stabilnosti kosina poslužili su, pored osnovne dokumentacije, radovi:

1. T. Novosel i dr. (1980): Ocjena stabilnosti kosina u zasjecima, usjecima građenih od karbonatnih stijena, V. Geomehanički simpozij, Split.

2. E. Hoek & J.W. Bray (1981): Rock Slope Engineering, Revised Third Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London.

Na odlagalište kamenog ostatka usvojeni su slijedeći parametri:

Kut unutarnjeg trenja, $\varphi$	25°
Kohezija, c	30 000 Pa
Koeficijent seizmičnosti	0,05

Usvojene i proračunate vrijednosti iz provedene analize stabilnosti kosina prikazane su u tablici 5.1. (Galić, 2019)

**Tablica 5.1** Rezultati analize stabilnosti kosina za površinski kop "San"

Red. Br.	Značajke	Jedinica	Etažna radna kosina	Radna kosina kamenoloma	Završna kosina kamenoloma	Kosina na odlagalištu
1.	Visina kosine, H	m	9	40	40	30
2.	Jedinični tlak stijene (srednji), $\sigma_s$	Pa	26 830	26 830	26 830	19 165
3.	Kut unutarnjeg trenja, $\varphi$	°	45	45	45	25
4.	Kohezija, c	Pa	500 000	500 000	500 000	30 000
5.	Koeficijent seizmičnosti, K		0,1	0,1	0,1	0,05
6.	Kut nagiba kosine, $\alpha$	°	89,5	60	57	35
7.	Nagib kritične klizne plohe, $\alpha_k$ $\alpha_k = \frac{1}{2}(\alpha + \varphi)$	°	67,3	52,5	51	30
8.	Dubina vlačne pukotine, Z $Z = H(1 - \sqrt{\text{ctg } \alpha \cdot \text{tg } \alpha_k})$	m	7,7	5,3	4,2	2,8
9.	Dužina klizne ravnine, A $A = \frac{(H - Z)}{\sin \alpha_k}$	m	1,4	43,7	46,1	54,5
10.	Kohezija-reducirana, $c_r$ $c_r = \frac{c}{1 + K \cdot \ln H/b}$	Pa	390 466	480 442	484 433	30 695
11.	Sila uzgona u ploh, U $U = \frac{1}{2} \sigma_w \cdot Z \cdot A$	N	53 185	1 137 626	944 874	737 231
12.	Sila hidrostatskog tlaka u vlačnoj pukotini, V $V = \frac{1}{2} \sigma_w \cdot Z^2$	N	290 942	137 948	85 673	37 330
13.	Sila potencijalno nestabilne stijene, $W_s$ $W_s = 0,5 \cdot \sigma_s \cdot H^2 \left[ \left( 1 - \left( \frac{Z}{H} \right)^2 \right) \text{ctg } \alpha_k - \text{ctg } \alpha \right]$	N	112 503	3 788 211	3 252 619	2 494 559
14.	Koeficijent sigurnosti, $K_s$ $K_s = \frac{c_r \cdot A \cdot L_j + [W(\cos \alpha_k - K \sin \alpha_k) - U - V \sin \alpha_k] \cdot \text{tg } \varphi}{W(\sin \alpha_k + K \cos \alpha_k) + V \cos \alpha_k}$		1,2	6,6	8,3	1,7



### 5.3. MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITE

Prilikom izvođenja bilo kakvih radova na kopu potrebno je u potpunosti se pridržavati svih pravilnika, propisa i zakona na koje se projekt poziva a koji su navedeni na početku Projekta, te drugih odgovarajućih mjera zaštite na radu, kao konačno i uobičajenoj, ustaljenoj i provjerenoj praksi za rad na kopu tamo gdje ne postoje važeći propisi. Uz navedene propise potrebno je se pridržavati mjera zaštite i uputa za rad s opremom.

O svim propisanim mjerama koje moraju zadovoljavati djelatnici osposobljeni za rad na siguran način, rokovi u kojima se moraju izvršiti pregledi ili ispitivanje sredstava, radne okoline i osobnih zaštitnih sredstava treba voditi evidenciju.

Kop se razrađuje i eksploatira temeljem odobrenog Glavnog rudarskog projekta eksploatacije. Pri eksploataciji osiguravaju se, od svih eventualnih klizanja i odlamanja kamena radnici, oprema i mehanizacija za rad. Neophodno je stalno kontrolirati i nadzirati stanje etaža, kako onih u radu, tako i već otkopanih.

Dijelovi zdrave stijenske mase, koji su skloni odlamanju, moraju se na čelu etaže odstranjivati samo sa sigurnog mjesta i to po pravilu odozgo na niže. Za vrijeme osiguranja viših dijelova etaže ne smije se raditi na toj etaži, niti se ljudi smiju nalaziti na nižim radnim mjestima te ili niže etaže. Za zaštitu radnika od povreda, koje mogu biti prouzročene padom manjih komada stijene, neophodno je da radnici koji rade ispod radnih etaža nose zaštitne kacige.

Kako bi se provodila sigurnost na kopu nužno je:

- upošljavati stručne radnike;
- upošljavati ili osposobiti radnike za rad na siguran način;
- upućivati radnike prije upošljavanja i naknadno na zdravstvene preglede;
- prije upotrebe, nakon popravka i naknadno ispitivati strojeve po pravilima zaštite na radu.

Za svako radno mjesto treba izraditi procjenu opasnosti i temeljem procjene valja provoditi zaštitu na radu. (Galić, 2019)

## 6. IZRADA 3D MODELA ŠIREG PODRUČJA „SAN“

### 6.1. POZICIONIRANJE TOPOGRAFSKIH ELEMENATA U PROSTORU

Izrada 3D modela ležišta zasniva se na dodavanju treće dimenzije slojnicama terena ili drugim riječima podizanje slojnica na njihovu visinu u prostoru. Nizom naredbi unutar programa taj postupak je moguće napraviti, te nakon toga površinu koju dobijemo provesti kroz postupak triangulacije. Triangulacija nakon toga omogućava primjenu različitih prikaza ležišta ovisno o tome na koji način na koji ih se želi prikazati. (Soldo, 2016)

Kako bi se započeo ovaj postupak potrebno je prvo datoteku koja je u 2D obliku pretvoriti u 3D oblik. To se radi odabirom opcije:

File → export → 3D

Elemente situacijske karte (glavne i pomoćne slojnice, ceste) u trodimenzionalni prikaz moguće je podići na dva načina. Prva opcija se izvodi pomoću Microstation-ove aplikacije Mod-z pomoću koje se svaka slojnica iz tlocrta podiže na svoju stvarnu visinu kakva je i u prirodi.

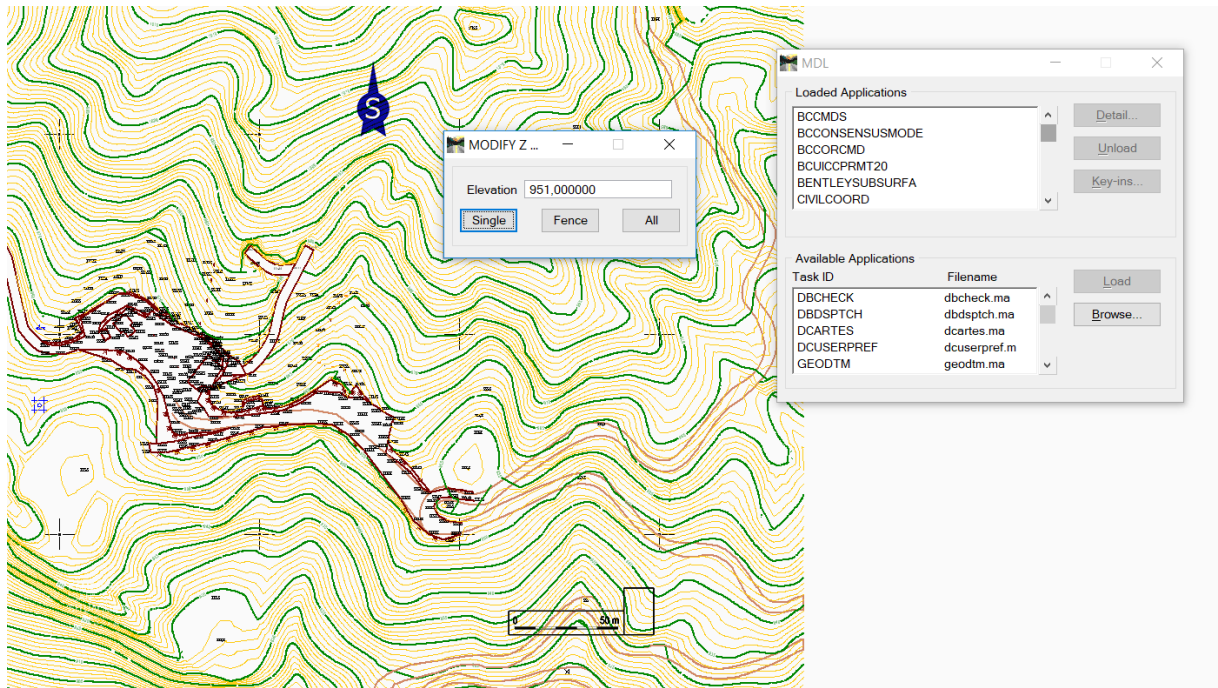
i spremanje situacijske karte u 3D okruženju naredbom

File → save as.

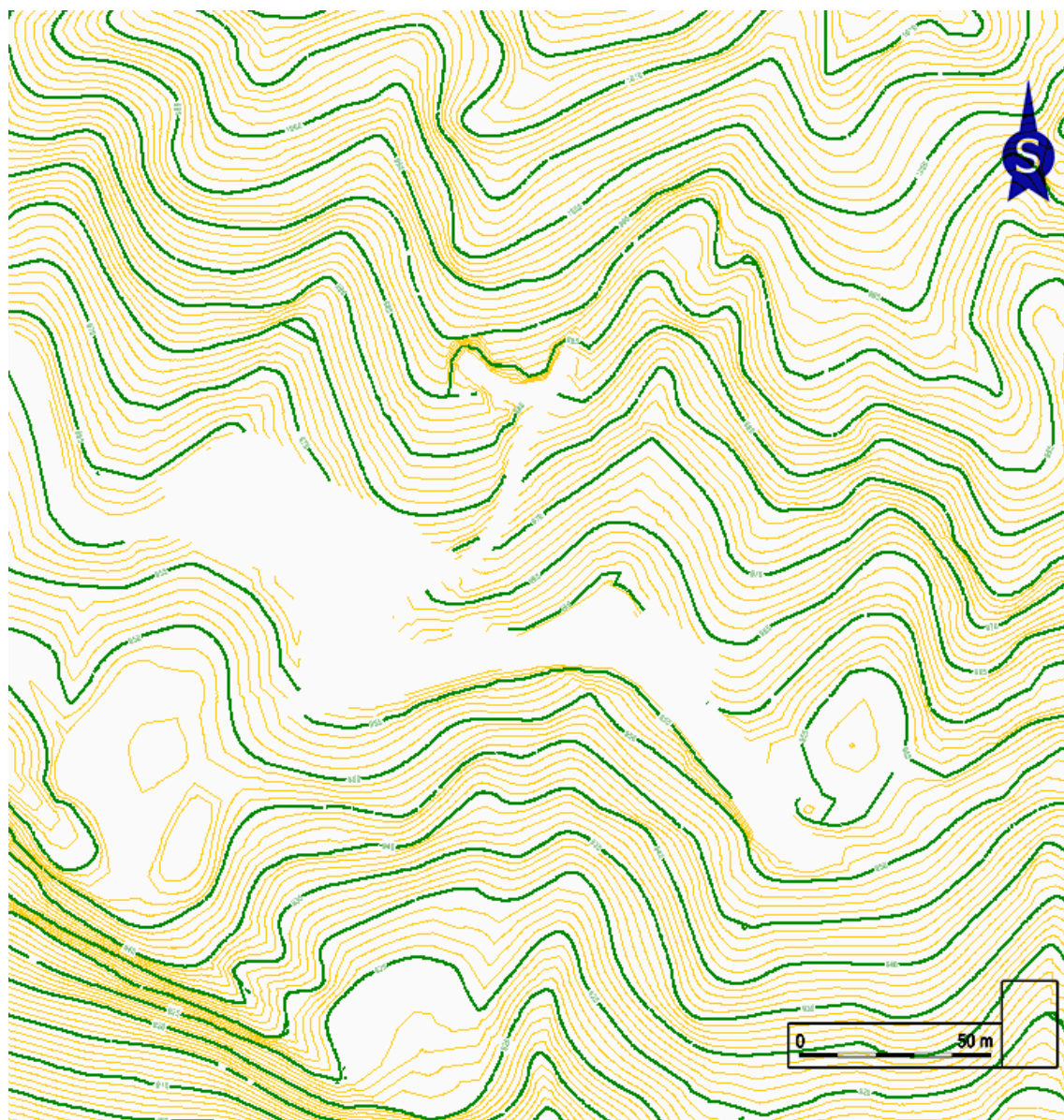
Zatim se učita snimljena datoteka te se odabire opcija

Utilities → MDL applications → browse

i pronađe se aplikacija Mod-z u datoteci u kojoj je pohranjena. Druga opcija je korištenjem pomoću naredbe set elevation, koja se nalazi pod power inroads naredbama u skupini place feature. Naredba set elevation funkcionira tako da se odabere slojnica koja se želi dignuti i taj se postupak ponavlja za sve slojnice. U izradi ovoga projekta korištena je metoda pomoću aplikacije Mod-z. (Plećaš, 2016)

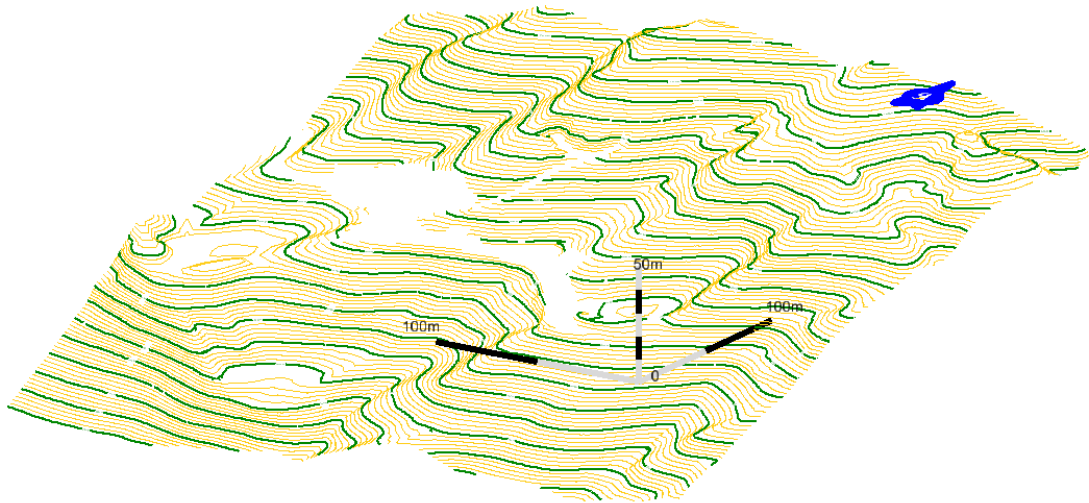


Slika 6.1 Dizanje slojnica na zadanu visinu pomoću aplikacije Mod-z M1:2000



**Slika 6.2** „Top View“ pogled na slojnice u 3D prikazu nakon podizanja na njihove visine M1:1500

Podizanjem svih slojnica na njihovu visinu dobivamo njihov prikaz u trodimenzionalnom okruženju (stvarnom prikazu terena). Trodimenzionalno okruženje omogućava pogled na slojnice terena iz svih kuteva što daje puno jasniju sliku o terenu. Primjer toga je i na slici 6.3. Nakon podizanja slojnica poželjno je koristiti opciju „Fence“, pomoću naredbe „Place fence“. Tom naredbom označava se područje koje želimo obrezati na samo onaj dio koji je potreban za prikaz istražnog ležišta. Ovim postupkom također se skraćuje vrijeme potrebno računalu za obavljanje triangulacije te prikaz prostornog modela.



Slika 6.3 Slojnice istražnog područja „San“ prikazane u 3D modelu

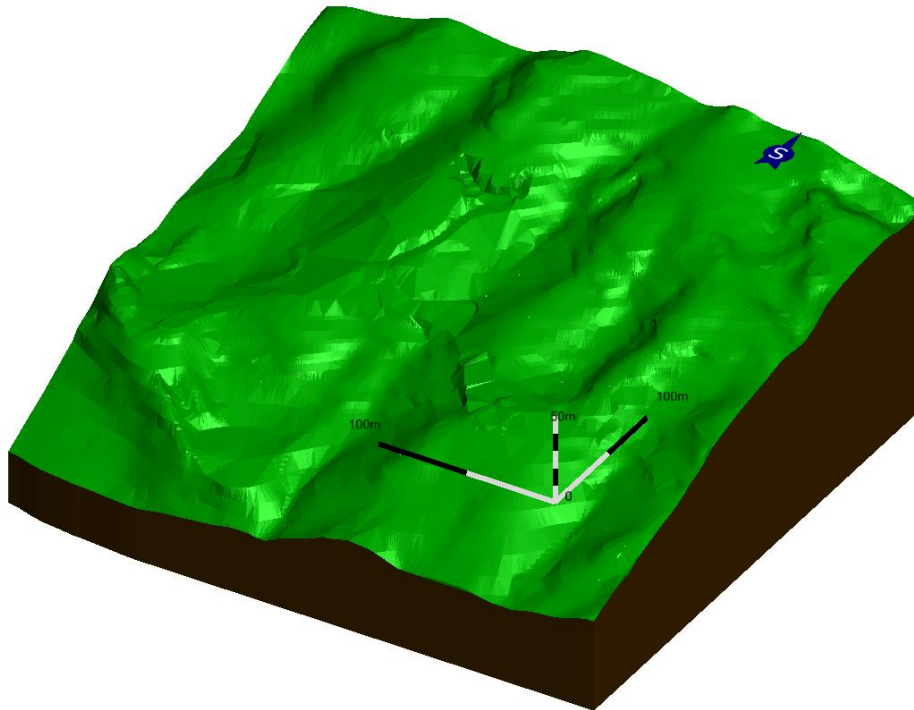
## 6.2. TRIANGULACIJA 3D MODELA POSTOJEĆEG STANJA TERENA

Triangulacija modela istražnog prostora predstavlja niz trokutova koji spajaju karakteristične točke svih crta na odabranom području. Pomoću serije takvih trokutova moguć je pregledniji i točniji 3D prikaz nekog modela. (Plećaš, 2016)

Triangulacija se također radi u aplikaciji InRoads na slijedeći način:

- *Surface* → *view surface* → *contours* – ovom metodom se proguste slojnice metodom interpolacije zbog što preglednijeg modela, odabire se interval interpolacije te podešavaju svojstva glavnih i pomoćnih slojnica
- *File* → *new* – odabere se ime koje želimo dati površini koju trianguliramo i odabiremo *apply*, nakon čega zatvorimo prozor naredbom *close*
- *File* → *Power InRoads import* → *surface* – *point type* odabiremo *random*, označavaju se svi elemente koji će biti triangulirati
- *Surface* → *triangulate surface* – odabere se površina koja će biti triangulirana
- *Surface* → *view surface* → *triangles* – odaberemo površinu koju želimo vidjeti i podesimo boju modela

- *Surface* → *view surface* → *perimeter* – odaberemo rub modela oko kojeg želimo postaviti perimetar (razvučemo ga prema dolje)
- Zbog boljeg pregleda modela u opciji *view display mode* odabire se način pogleda *smooth-modeling*
- Kada se sve ove naredbe podese i postave sve opcije za izgled modela dobije se 3D model terena kao što je prikazano na **slici 6.4.** (Plećaš, 2016)



**Slika 6.4** Triangulirani 3D model šireg područja Istražnog prostora „San“

## 7. MODELIRANJE NOVIH ISTRAŽNIH RADOVA I ZAVRŠNE KONTURE POVRŠINSKOG KOPA

### 7.1. PRIJEDLOG ISTRAŽNIH RADOVA

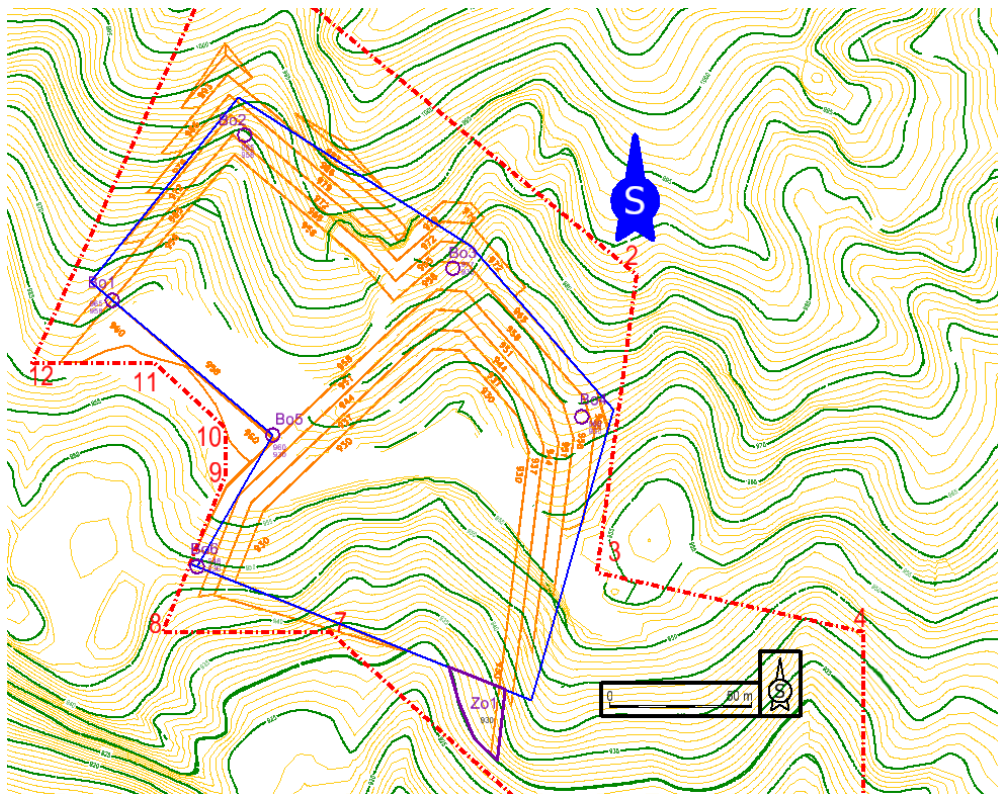
Kako bi se nastavila eksploatacija na koku „San“ do kote 930 potrebno je provesti dodatne istražne radove koji su potrebni za utvrđivanje kategorizacije i proračuna rezervi arhitektonsko-građevnog kamena na ovom području.

Istražni radovi će obuhvatiti:

1. Istražno bušenje: 6 bušotina
2. Izradu zasjeka: 1 zasjek, u prosječnoj dužini oko 20 m.

Bušotine Bo1 i Bo2 će se bušiti do dubine 958, a bušotine Bo3, Bo4, Bo5, Bo6 i zasjek Zo1 do dubine 930. Kategorija rezervi prema novom proračunu je B kategorija rezervi, u kojoj je maksimalna udaljenost između istražnih radova 160 m.

Na slici 7.1 prikazan je raspored bušotina Bo1 – Bo6 te zasjeka Z1 sa dubinama bušenja, odnosno iskopa zasjeka.



Slika 7.1 Raspored prijedloga dodatnih istražnih radova na koku „San“ M1:2000

## 7.2. IZRADA 3D MODELA POVRŠINSKOG KOPA

Prvi korak, prije izrade 3D modela, je prebacivanje datoteke (konvertiranje), u kojoj se nalaze geometrijski elementi i likovi, iz 2D polja (ravnina) u 3D polje (prostor).

Prebacivanje datoteke, s kreiranim sadržajima, koja podržava 2D polje, odnosno kreiranje nove datoteke koja podržava 3D polje izvodi se pomoću naredbe

File → export → 3D

Time je pored prebacivanja datoteke iz 2D u 3D okruženje izvršeno i njezino spremanje, odnosno kreiranje nove, neovisne datoteke. Stoga se za nastavak rada u 3D polju treba otvoriti nova kreirana datoteka i nastaviti rad.

Postupak kreiranja kontura kopa kod etaža s vertikalnom kosinom (a-g kamen) je malo drugačiji od kreiranja etaža s blažom kosinom od 90°. Razlog tomu je taj što projekcija gornjeg i donjeg ruba etaže pada u istu crtu. Stoga se crta koja graniči dvije etaže mora kopirati i podići za visinu etaže, a to je u ovom kopu za 7 m.

No, prije kopiranja i podizanja gornje konture etaže neophodno je ukazati na tehničku nemogućnost računalnog programa Bentley InRoads, u kojem se izvodi obrada i triangulacija 3D modela, da napravi inicijalnu triangulaciju 3D modela i ploha koje su nagnute pod 90° ili više. U tom slučaju događa se anomalija odnosno kriva obrada podataka tako da se dobiju nepostojeće plohe. Tehničko rješenje ove anomalije sastoji se u tome da se gornji rub etaže paralelno pomakne za vrlo mali pomak koji ne utječe ni na proračune a niti na geometriju kopa. Prema tome, etažni kut treba smanjiti za n.pr. 0,01°, što predstavlja pogrešku od 0,01%.

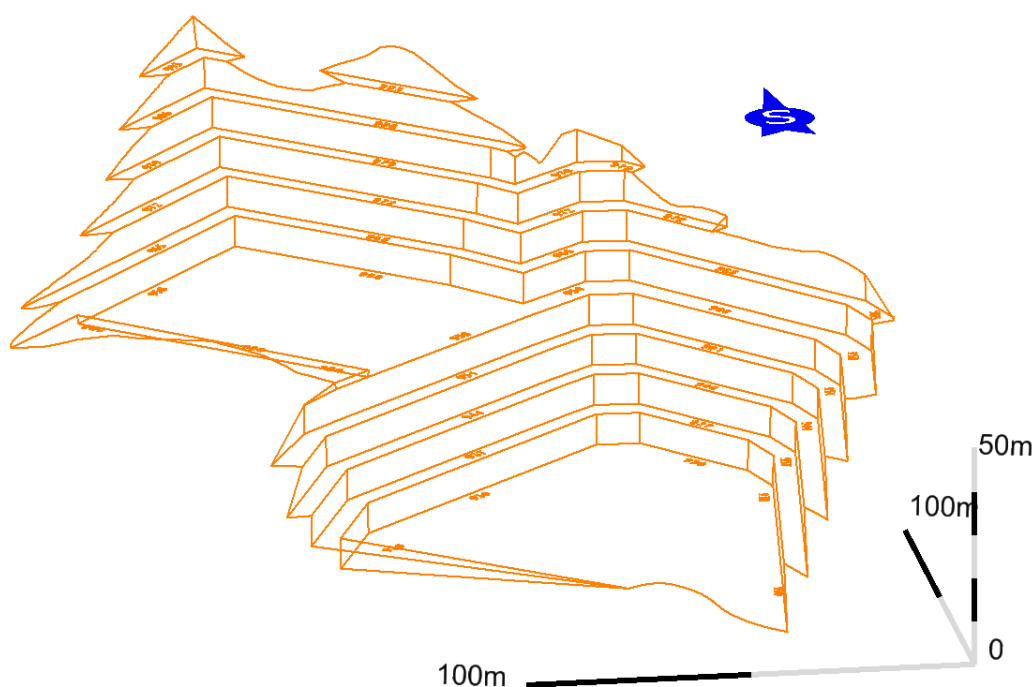
U praktičnom smislu to znači da svaku graničnu crtu između etaža i krajnju crtu najviše etaže treba kopirati i usporedno pomaknuti, pomoću naredbe '**Copy/Move Parallel**', za približno 1 mm. Praznine između rubova crta treba spojiti sa naredbom '**Extend 2 Elements to Intersection**', a subvertikalne kosine između etaža treba spojiti na presječnicama pravaca. Pri tome je važno napomenuti da se ove radnje izvode na visini 0 m. (Plećaš, 2016)

Nakon opisane pripreme kontura etaža na razini 0, slijedi podizanje napravljenih etaža na njihovu pravu visinu. To se radi isto kao i sa slojnicama sa naredbom **Set Elevation**, ili pomoću aplikacije Mod-z. U ovom radu slojnice su podignute metodom



pomoću aplikacije Mod-z. Kada su podignute sve etaže na njihovu visinu potrebno je podići i gornje krajeve etaža koji prate teren i koji su prethodno napravljeni pomoću naredbe **Generate sloped surface**. To će se učiniti naredbom **drape surface**. Ova naredba se koristi, dakle, kako bi crte gornjih rubova etaža pratile postojeći teren i u 3D okruženju. Pri tome treba aktivirati prethodno formiran **surface** situacijske karte, što se izvodi u potprogramu **InRoads**. Namjestite se sve postavke te se pritisne **Apply**. Klikne se na crtu koju se želi podići do visine terena.

Formirani 3D model površinskog kopa prikazanje na slici 7.2.



Slika 7.2 Formirani 3D model površinskog kopa „San“

### 7.2.1. Trangulacija 3D modela površinskog kopa

Kao što je prethodno u tekstu navedeno, da bi se triangulacija uspješno obavila potrebno je izvršiti pomak gornjeg ruba etaže. Ta nesavršenost računalnog programa ne utječe znatno na krajnji izgled prikaza etaža pa je zbog toga zanemariva. Računalni program ne može interpretirati plohe s kutem od  $90^\circ$  jer je njihov tangens kuta beskonačna vrijednost. Kada pomaknemo gornji rub svih etaža dobijemo nagib etažnih ravnina pod

kutem manjim od  $90^\circ$  (n.pr.  $89,99^\circ$ ) i tada se triangulacija može obaviti pravilno i točno. (Plećaš, 2016)

Kada se podesi nagibe svih etažnih ravnina započinje proces triangulacije etaža. Triangulacija etaža se kao i triangulacija terena radi pomoću aplikacije InRoads. Prvo se pomoću naredbe

File → new

otvara nova datoteka dtm. formata u kojoj će se spremiti svi podaci triangulirane površine. Zatim se naredbom

File → import → surface

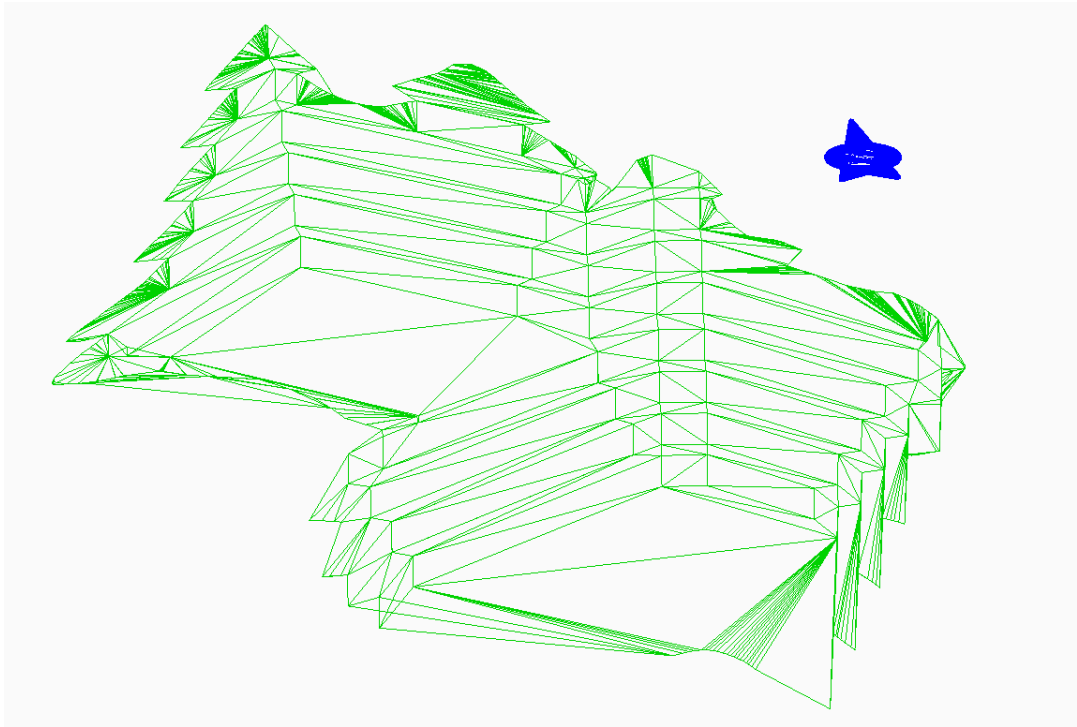
odabire naziv i površina koju se želi triangulirati (etaže i osnovni plato). Nakon toga odabire se

surface → triangulate surface

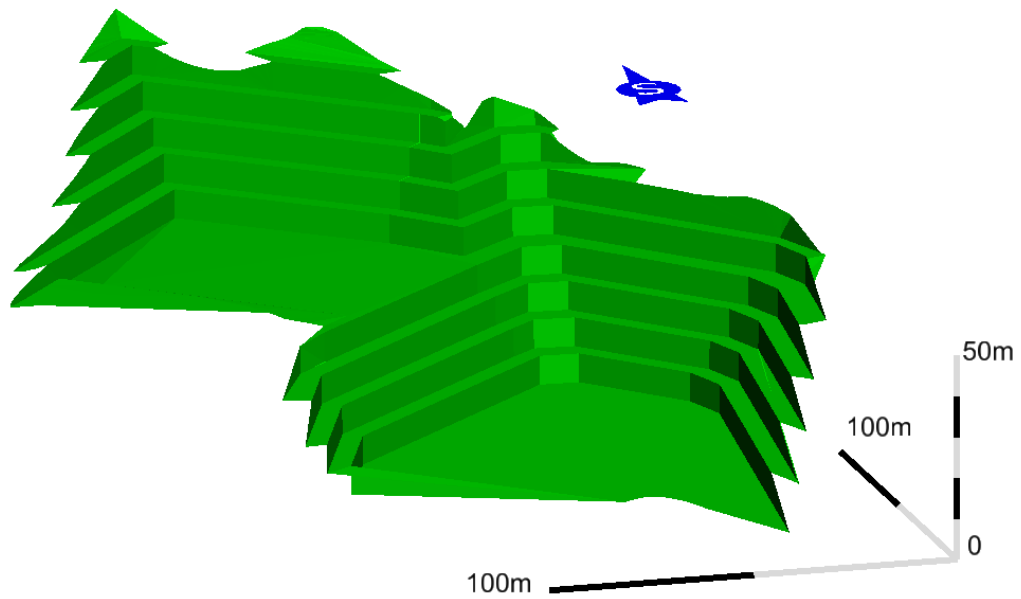
gdje se odabire naziv površine koju se želi triangulirati. Potom idemo na

surface → view surface → triangles

gdje se podešava boju i level triangulirane površine kojom će se ona prikazati. Na kraju se u view display mode prebacuje wireframe na smooth-modeling način prikazivanja jer on omogućuje bolji i detaljniji prikaz triangulirane površine. Na slici 7.3 prikazan je Wireframe (žični) prikaz modela, a na slici 7.4 prikazan je Smooth modeling prikaz površinskog kopa.



Slika 7.3 Wireframe (žični) prikaz modela površinskog kopa „San“



Slika 7.4 Smooth modeling prikaz modela površinskog kopa „San“

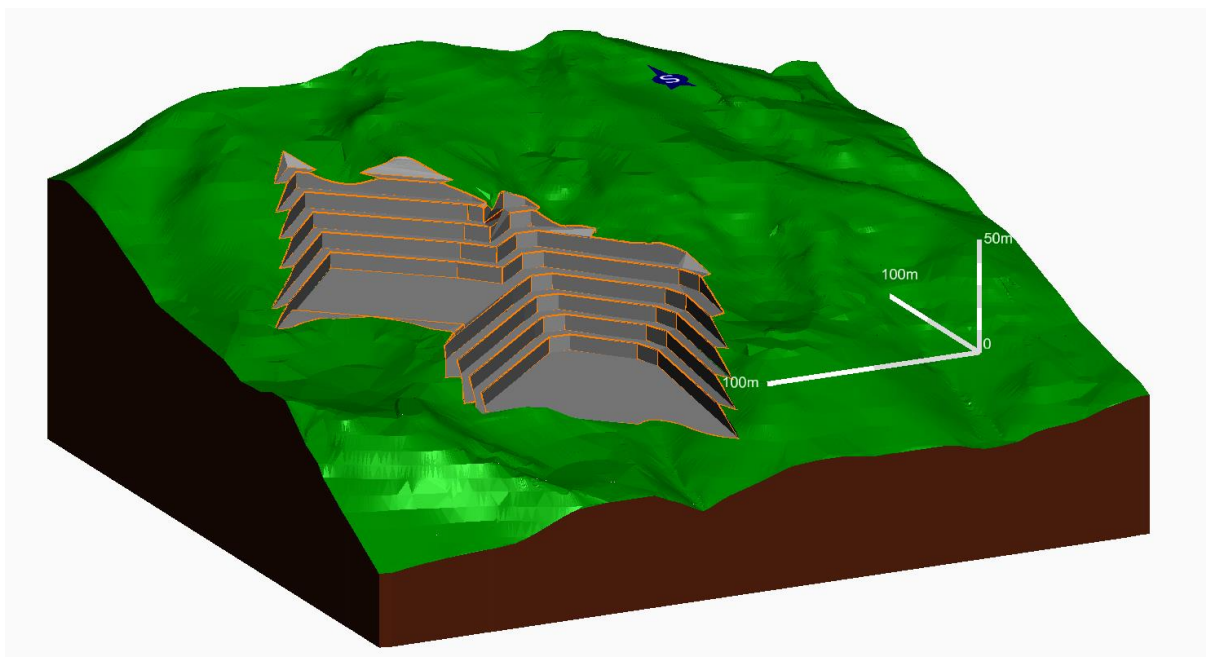
### 7.2.2. Generiranje računalnog modela završne konture površinskog kopa i okolnog terena

Završno stanje površinskog kopa predstavlja izgled površinskog kopa nakon završetka eksploatacije rezervi mineralne sirovine kada se pristupa završnim radovima uređenja i prenamjeni otkopanih prostora, u suglasju s okolišem.

Računalni 3D model površinskog kopa potrebno je uklopiti u stanje terena. To se izvodi spajanjem 3D modela terena (slika 6.4) i modela površinskog kopa (slika 8.4).

Preklapanjem ta dva modela uočava se dio terena koji treba ukloniti (izbrisati). To su praktično rezerve koje će se otkopati. Nakon izrezivanja dijela terena, kreira se model cjelokupnog terena koji će se na kraju triangulirati prema ranije opisanim postupcima. (Soldo, 2016)

Slika 7.5. prikazuje završno stanje kopa „San“ nakon završetka eksploatacije te položaj ležišta u prostoru.



Slika 7.5 Završno stanje površinskog kopa „San“ u 3D prikazu

## 8. OPTIMIZACIJA POLOŽAJA FRONTI I SMJER NAPRETKA RUDARSKIH RADOVA

### 8.1. RAZVOJ KOPA „SAN“

Prema Glavnom rudarskom projektu kop "San" razvijat će se kroz četiri faze, kombinirano odozdo prema gore i odozgo prema dolje, formiranjem etaža od 993 do 958.

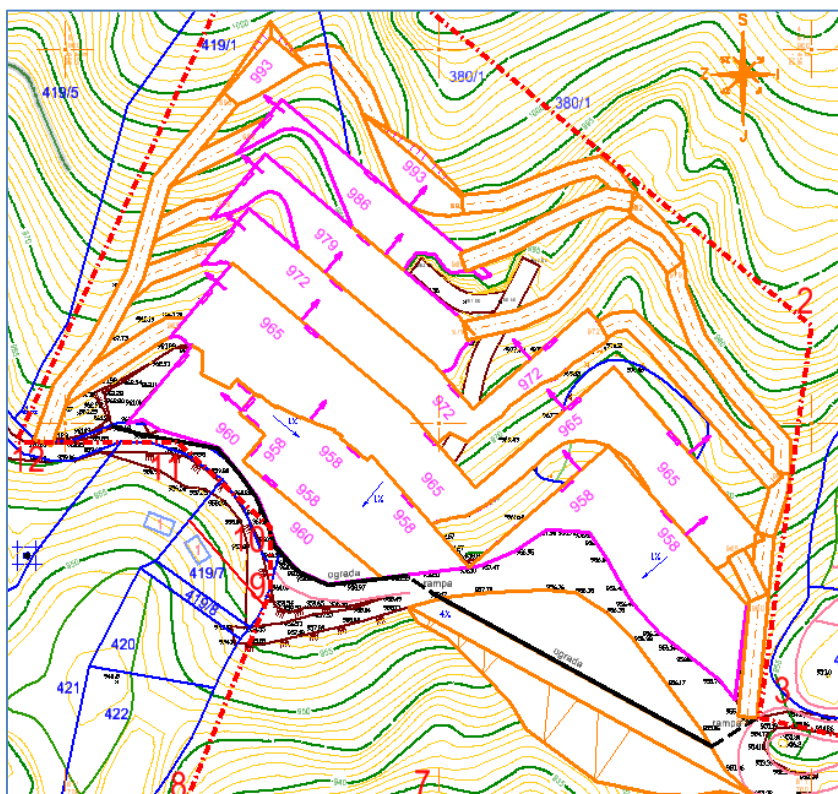
Razvoju etaža predhodi prilazna prometnica koja će se izvesti sa istočne strane kopa i u većem dijelu će imati stalan značaj. Etažom 993 otkopat će se površinski, okršeni dio stjenskog masiva. Razvoj ove etaže neophodan je za nesmetan razvoj ostalih nižih etaža i predstavlja pripremu otvaranja kopa. U ranijoj fazi razvoja kopa razvijaju se produktivne etaže 958, 960 i 965, dok se produktivne etaže 972, 979 i 986 razvijaju u kasnijoj fazi razvoja kopa. Postojeća prilazna cesta do kopa će poslužiti za izradu prilaznih cesta do svih etaža. (Galić, 2019)

#### PRVA FAZA RAZVOJA KOPA

Produktivne etaže razvijati će se u tri smjera, i to: 1. od jugoistoka ka sjeverozapadu, 2. od sjeverozapada ka jugoistoku te 3. od jugozapada ka sjeveroistoku. Etaže će se otvarati i razvijati tako da se omogući dobivanje osnovnih blokova što veće dužine. Na svim etažama treba nastojati da rezovi budu okomiti ili usporedni na pukotinske sustave (prema zatečenoj situaciji na terenu) radi veće iskoristivosti stijenskog masiva.

Etaže će se razvijati dinamičkim slijedom na način da omogućuju nesmetan napredak fronte rudarskih radova i to na način da se ostvari što veća širina čela radilišta, kao što je prikazano na slici 8.1.

Prva faza predstavlja razdoblje u kome će se djelomično eksploatirati etaže 958, 960, 965, 972, 979 i etaža 986, dok je neproduktivna etaža 993 u potpunosti razvijena. Time će se omogućiti ravnomjerna proizvodnja, te stvoriti uvjeti za nesmetano razvijanje svih etaža prilikom eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena u ležištu "San". (Galić, 2019)

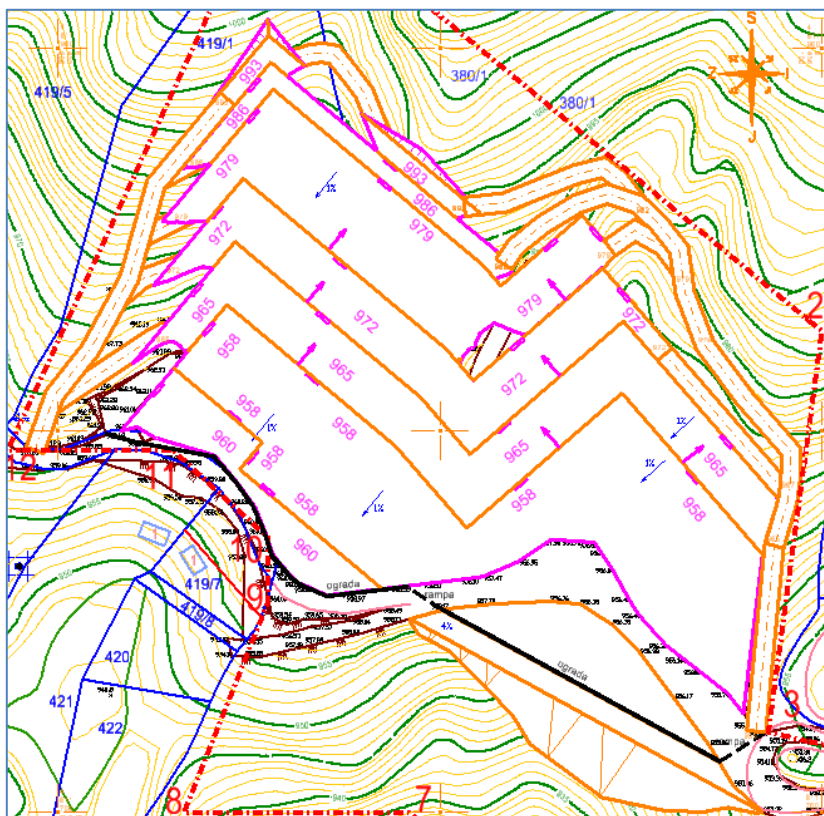


Slika 8.1 Prva faza razvoja etaža, M1:2 000

## DRUGA FAZA RAZVOJA KOPA

Napretkom fronte svih etaža, u smjerovima: od jugozapada ka sjeveroistoku te od jugoistoka ka sjeverozapadu, stvaraju se uvjeti i potreba za proširenje platoa 958. Time se osigurava dovoljno velik operativni prostor za smještaj rudarskih objekata predviđenih za obradu blokova a-gk (slika 8.2).

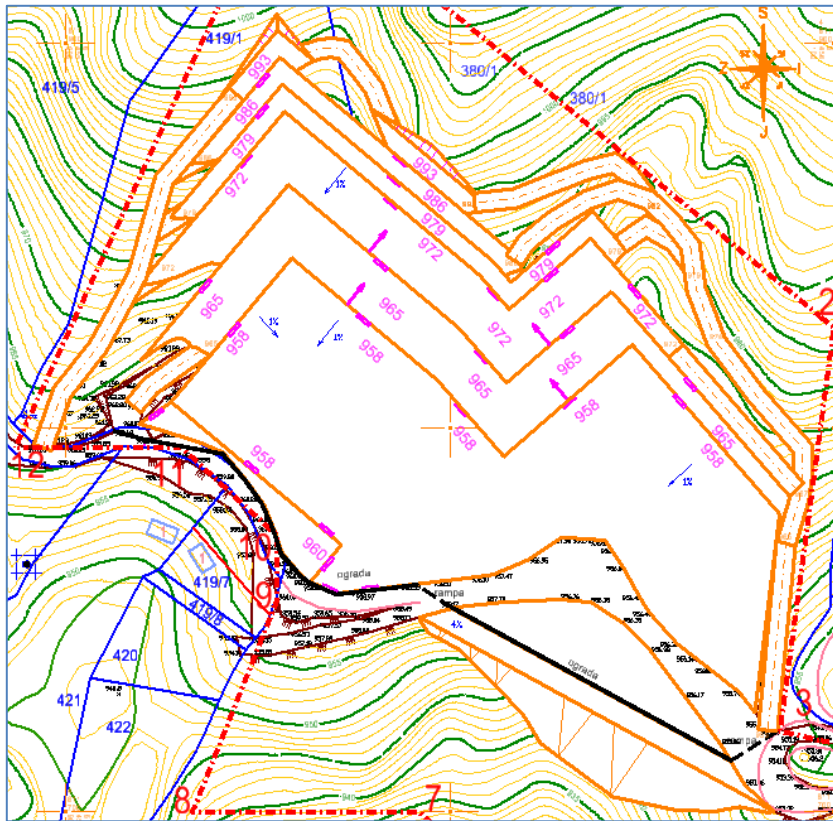
Etaže 986 i 979 otkopat će se u potpunosti prema sjeveroistoku tako da će doseći završne konture. (Galić, 2019)



Slika 8.2 Druga faza razvoja etaža, M1:2 000

### TREĆA FAZA RAZVOJA KOPA

Treća faza predstavlja razdoblje u kome će se u potpunosti eksploatirati gornje četiri etaže: 993, 986, 979 i etaža 972, tj. fronta navedenih etaža ostvaruje napredak do krajnjih granica predviđenih projektним rješenjima na kopa "San". Etaže 965, 960 (zapadni dio) i etaža 958 (istočni i zapadni dio) nastavljaju napredak fronte smjerom sjeveroistoka uz bočno širenje smjerom jugoistok-sjeverozapad do kraja bočnih granica predviđenih projektним rješenjima. Napretkom fronte etaže 965 i etaže 958 stvara se uvjet za cjelovito razvijanje fronte na spomenutim etažama što stvara uvjet za izgradnju stalne pristupne prometnice. (Galić, 2019)

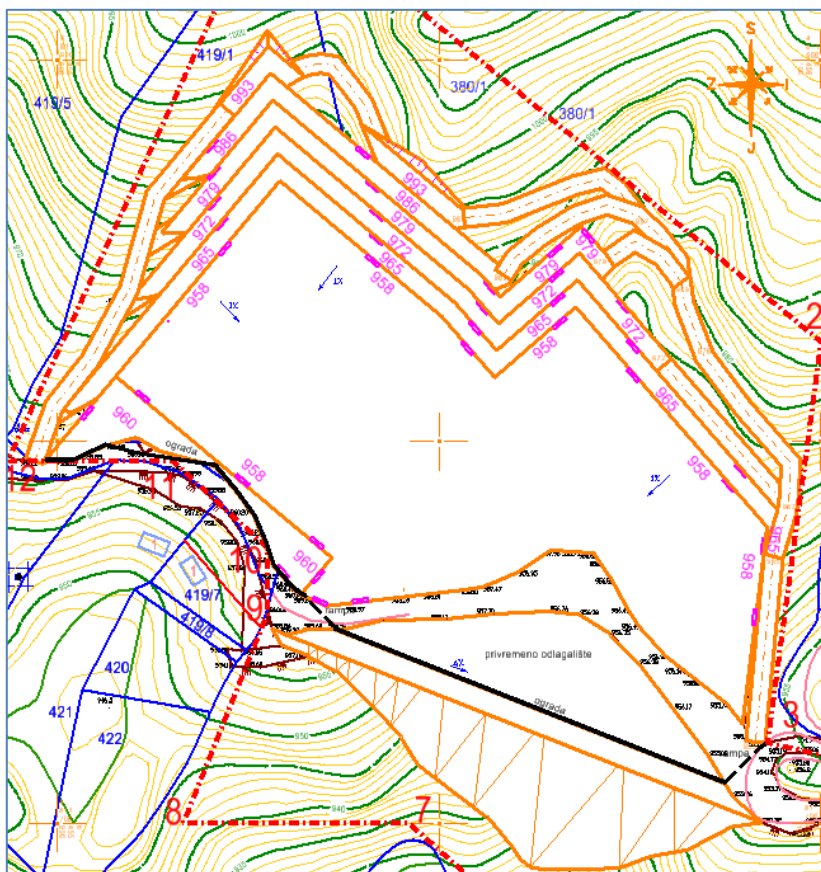


Slika 8.3 Treća faza razvoja etaža, M1:2 000

#### ČETVRTA FAZA RAZVOJA KOPA

Četvrtu-završnu fazu odlikuje rad na dvije etaže: 965 i 958. Napredak fronte etaža 965 i 958 nastavlja se smjerovima: od jugoistoka ka sjeverozapadu i od jugozapada ka sjeveroistoku. Na navedenim etažama razvijena je potpuna širina fronte što stvara uvjet za sigurnije ostvarivanje željene količine pridobivanja blokova a-gk. Privremeno odlagalište, koje ima za svrhu operativno prihvatiti kameni ostatak, nastao pri eksploataciji blokova a-gk, po završetku eksploatacije može se ukloniti ili u jednom dijelu ostaviti jer omogućuje iskorištavanje ravnog platoa na 958 m n. m. pri nekoj drugoj namjeni prostora. Završno stanje kopa vidljivo je na slici 8.4. (Galić, 2019)





Slika 8.4 Završno stanje razvoja etaža, M1:2 000

## 8.2. PRIJEDLOG RAZVOJA ETAŽA

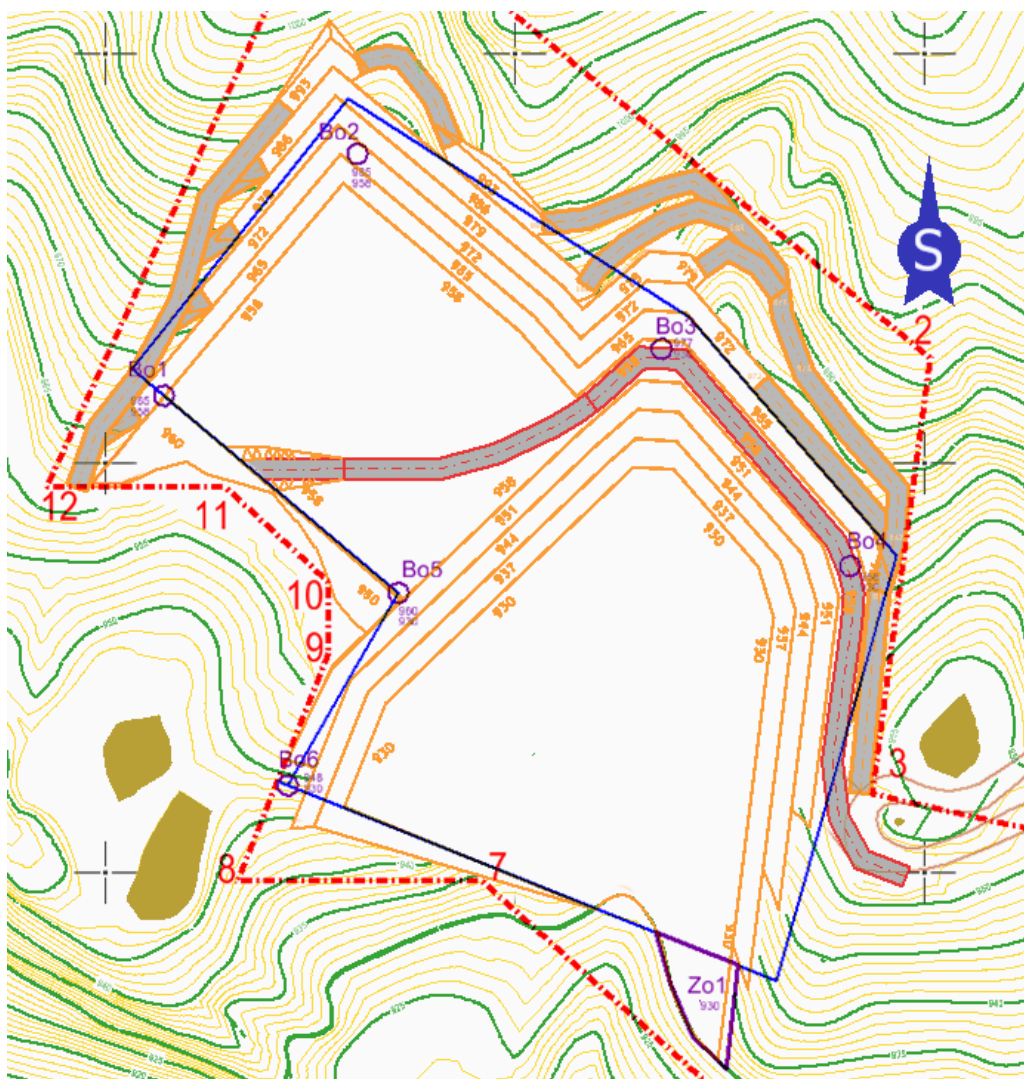
Budući da se u nižim dijelovima nalaze potencijalne rezerve, ovo bi mogao biti samo završetak eksploatacije ležišta iznad kote 958 i početak eksploatacije ležišta do kote 930.

Kop bi se dalje formirao prema sljedećim etažama:

- 958
- 951
- 944
- 937
- 930

Razvojem platoa 958 dobio bi se pristup sjeveroistočnoj strani kopa iste etaže. Proširenjem kopa 958 sa 5 na 7 metara dobit ćemo prostor za formiranje nove prilazne

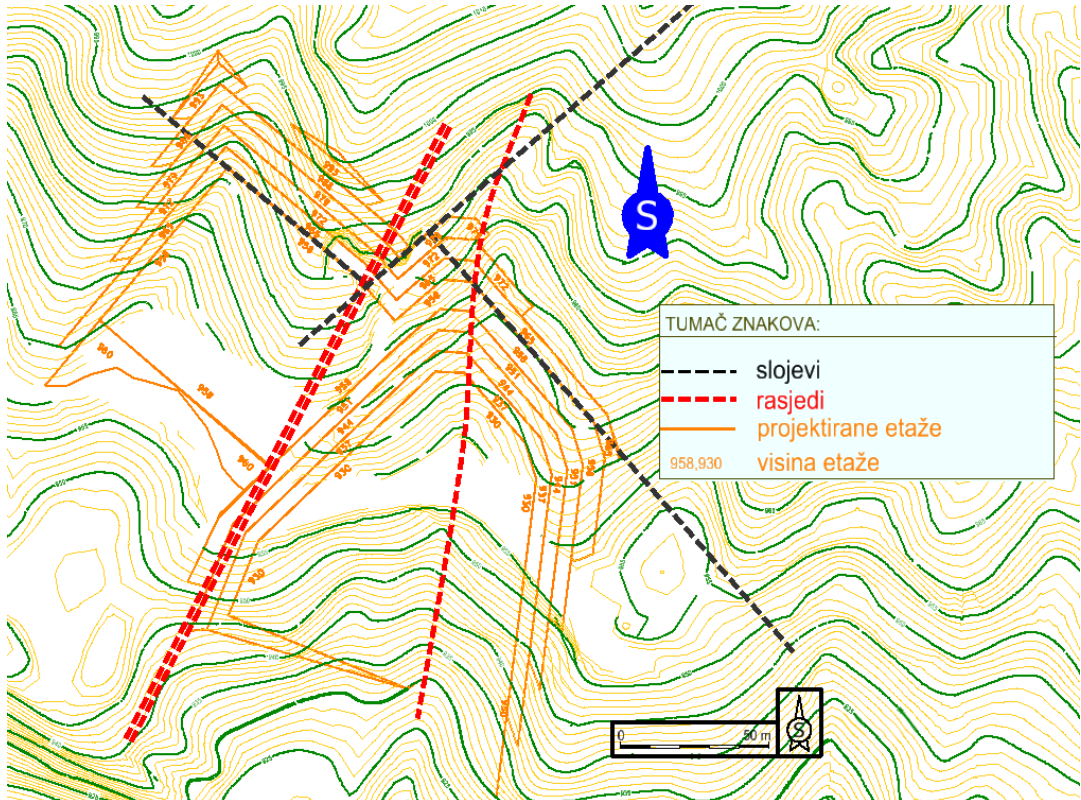
ceste koja će ići po etaži 958 sve do platoa 960 na jugozapadnoj strani kopa. Cesta će se pomoću nasipa podignuti na etažu 960, kao što je prikazano na slici 8.5.



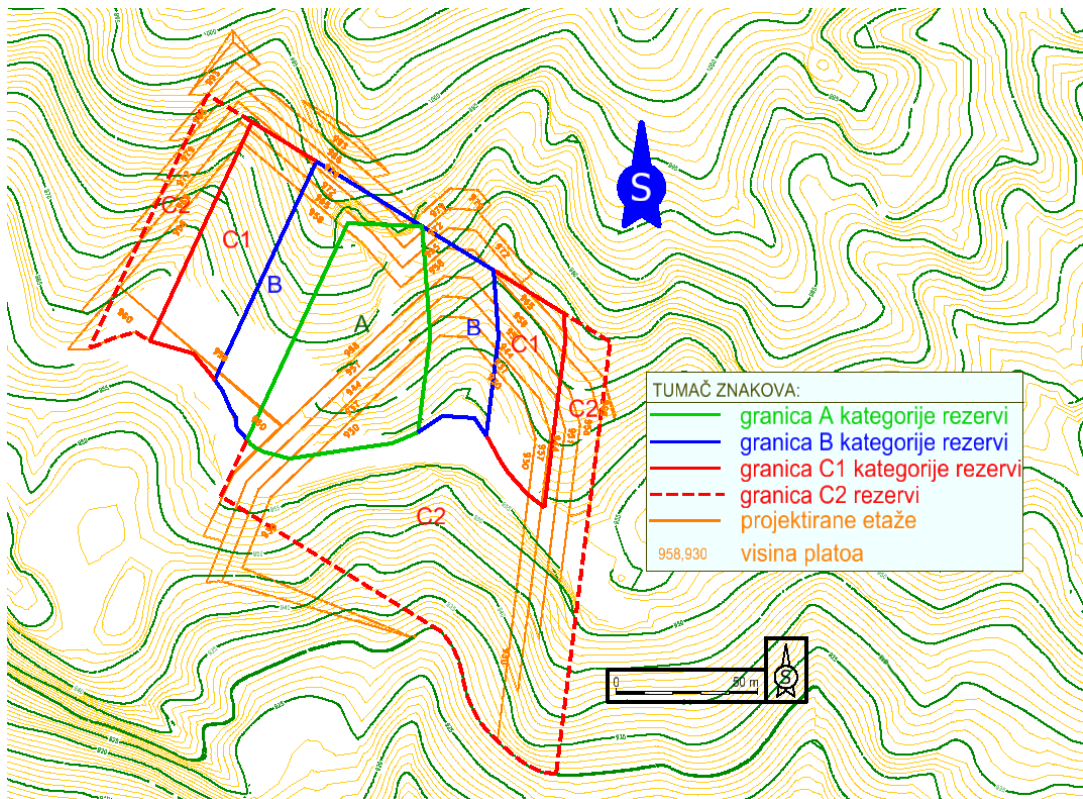
Slika 8.5 Nova pristupna cesta po etaži 958 M1:2 000

Odlagalište sa platoa 958 je uklonjeno radi nastavka eksploatacije na istom području. Etaže će se nastaviti formirati od odozgo prema dolje do kote 930 gdje će biti razvijen novi plato. Na istočnoj strani može se razviti potpuna širina fronte, dok na jugozapadnoj strani etaže će se skratiti i formirati oštro do kote 930 kako bi ostale unutar granica rezervi (Slika 8.7)

Razvoj kopa može biti promjenjen zbog rasjeda i pukotina koje mogu promijeniti smjer napretka kopa. Na slici 8.6 prikazan je položaj rasjeda i slojeva u odnosu na optimizaciju kopa do kote 930. Na slici 8.7 prikazan je 2D nacrt napretka kopa sa granicama rezervi.



Slika 8.6 Rasjedi i slojevi na 2D prikazu napretka kopa „San“ M1:2 000



Slika 8.7 2D nacrt napretka kopa „San“ sa granicama rezervi M1:2 000

## 9. PRORAČUN REZERVI

### 9.1. POSTUPAK PRORAČUNAVANJA OBUJMA, METODOM SREDNJE ARITMETIČKE VRIJEDNOSTI (MSAV)

Postupak proračuna rezervi, metodom srednje aritmetičke vrijednosti, obavljen je za dobivanje obujma iz kojeg će se uvrštavanjem popravnog koeficijenta dobiti bilančne rezerve i to na slijedeći način:

- Na karti rezervi izdvojena je površina ležišta kamena unutar predloženih istražnih radova
- Izmjerena je površina ležišta unutar poligona, računalnim programom Microstation
- Očitana vrijednost površine unešena je u program za tablične proračune (Microsoft Excel),
- U program su unešene vrijednosti duljine bušotina do razine 958 m n.m i 930 m n.m
- Izračunata je srednja debljina ležišta za B kategoriju rezervi,
- Srednja debljina rudnog tijela pomnožena je s površinom poligona svake kategorije te je dobiven obujam utvrđenih bilančnih rezervi

Izraz za proračun obujma metodom srednje aritmetičke vrijednosti

$$O = P_B \times d_{SR}$$

$P_B$  – površina baze (poligona) ležišta

$d_{SR}$  – srednja dubina bušotina (ili debljina ležišta)

$$d_{SR} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

$d_i$  – dubina i-te bušotine

n – ukupni broj bušotina

**Tablica 9.1** Proračun srednje dubine bušotina pomoću programa *Microsoft Excel*

Bušotina	Kota	Dubina	Razlika
Bo1	965	-958	7
Bo2	985	-958	27
Bo3	977	-930	47
Bo4	968	-930	38
Bo5	960	-930	30
Bo6	948	-930	18
		dsr=	27,83333

$$P_B = 21130,08 \text{ m}^2$$

$$O = 27,83 \times 21130,08$$

$$MSAV = 588\,050,13 \text{ m}^3$$

## 9.2. PRORAČUN OBUJMA METODOM RAČUNALNOG MODELIRANJA (MRM)

Metoda računalnog modeliranja je jedna od najsuvremenijih metoda koja se već uvelike primjenjuje u svim razvijenijim rudarskim zemljama. Da bismo mogli upotrijebiti ovu metodu prethodno smo izradili triangulacijski ili mrežni model ležišta arhitektonsko-gradevnog kamena. Metoda računalnog modeliranja u teoriji funkcionira na način da računalo računa integral između trianguliranih trokutova (najmanjih dijelova plohe).

Za svaki trokut računa se obujam do njemu nasuprotnog trokuta tj. računa se obujam koji zatvaraju nasuprotni trokuti. Zbrajanjem ili oduzimanjem vrijednosti pojedinih vrijednosti obujmova dobije se ukupan obujam između pojedinih ploha, u našem slučaju početnog stanja i projektiranog stanja (Galić i Farkaš 2011).

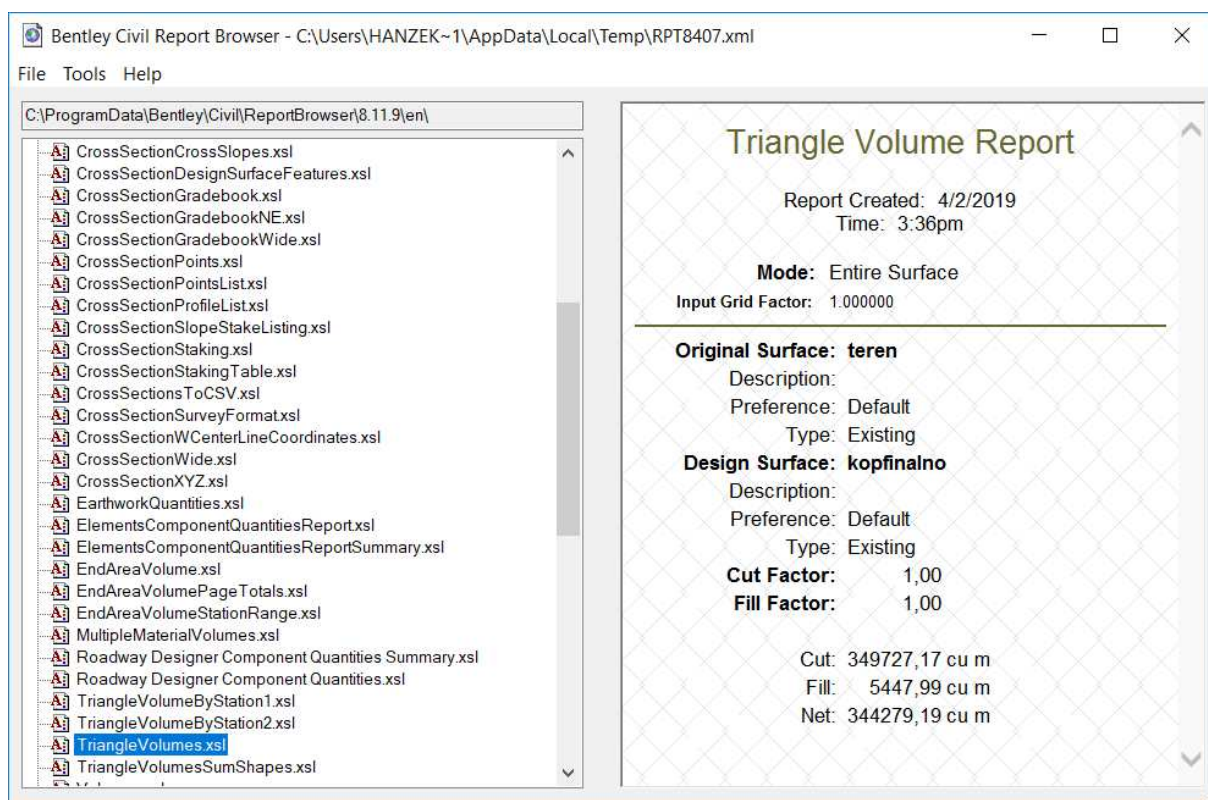
Računalna metoda proračuna rezervi radi se u aplikaciji InRoads tako da se odabere naredba

Evaluation → volumes → triangle volume.

Nakon toga otvara se prozor u kojem odabiremo dvije već snimljene površine teren.dtm i kopfinalno.dtm između kojih će računalo izračunati obujam i odabire se opcija add. Odabire se cut i fill factor koji nam iznosi 1.0 za oba faktora te se odabire opcija apply. (Vrdoljak,2013)

Računalo nam za nekoliko sekundi (2-3) izbacuje izlaznu datoteku u kojoj je prikazan obujam prostora (rezervi) između ove dvije površine. Time smo dobili ukupni obujam za proračun **bilančnih rezervi** ležišta „San“ koji, ovom metodom izračunat, iznosi **344 279,19 m<sup>3</sup>**. (Slika 9.1)

**Slika 9.1** Rezultat proračuna ukupnog obujma za proračun bilančnih rezervi, metodom računalnog modeliranja



U rezultatima izračuna, *Cut* predstavlja obujam otkopanog materijala, *Fill* obujam nasipanog materijala, a *Net* je razlika. Vrijednosti su izražene u kubičnim metrima.

Razlikom navedenih proračuna (MSAV – MRM) dobit ćemo proračun ukupnog obujma za dobivanje izvanbilančnih rezervi.

$$O_{izv} = O_{MSAV} - O_{MRM}$$

$$O_{izv} = 588\,050,13 - 344\,279,19$$

$$O_{izv} = 243\,770,94\,m^3$$

Izvanbilančne rezerve su sve one rezerve koje se u datom trenutku postojećom tehnikom i tehnologijom ne mogu rentabilno koristiti, odnosno one koje se nalaze u završnim kosinama te zaštitnim stupovima.

### 9.3. PROCJENA OČEKIVANIH BILANČNIH I IZVANBILANČNIH REZERVI

Procjena očekivanih bilančnih i izvanbilančnih rezervi prikazana je u tablici 9.2, količine očekivanih rezervi se dobiju tako da se pomnoži ukupna količina rezervi sa popravnim koeficijentom.

**Tablica 9.2** Proračun očekivanih bilančnih i izvanbilančnih rezervi

Vrsta rezervi	Ukupne količine	Očekivane rezerve	
		Popravni koef.	Količine, m3
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)x(3)
Bilančne	344 279	0,34	117 896
Izvanbilančne	243 771	0,34	83 478

## 10. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je način primjene suvremenih tehnologija u optimizaciji ležišta i proračuna rezervi arhitektonsko-građevnog kamena. Primjena računalnih programa u rudarstvu omogućuje urednije, preciznije, kvalitetnije i lakše prikazivanje stanja na postojećim ležištima ili pri izradi prikaza istražnih prostora. U ovom radu optimizacijom ležišta „San“ kop je proširen do kote 930, predložen je raspored dodatnih istražnih radova te izrada pristupne ceste po etaži 958 uz proširenje etaže. Korištenjem suvremenih tehnologija uz postojeće znanje iz rudarske struke postignuta je simbioza koja olakšava rad ljudima u struci na jedan kvalitetan način prikazuje kako bi izgledalo određeno nakon provedene eksploatacije.



## 11. LITERATURA

DRAGIČEVIĆ I., GALIĆ I., VRANJKOVIĆ A., FARKAŠ B., GALIĆ M. 2014. *Elaborat o rezervama arhitektonsko-građevnog kamena u istražnom prostoru "San"*. Široki Brijeg: Proin 21 d.o.o.

GALIĆ I. 2018. *Glavni rudarski projekt eksploatacije arhitektonsko-građevno kamena na eksploatacijskom polju „San“*. Široki Brijeg: Proin 21 d.o.o.

GALIĆ I. 2019. *Idejni projekt eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „San“*. Široki Brijeg Proin 21 d.o.o.

GALIĆ I., FARKAŠ B. 2011. *Primijenjeni računalni programi*. Skripta. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet

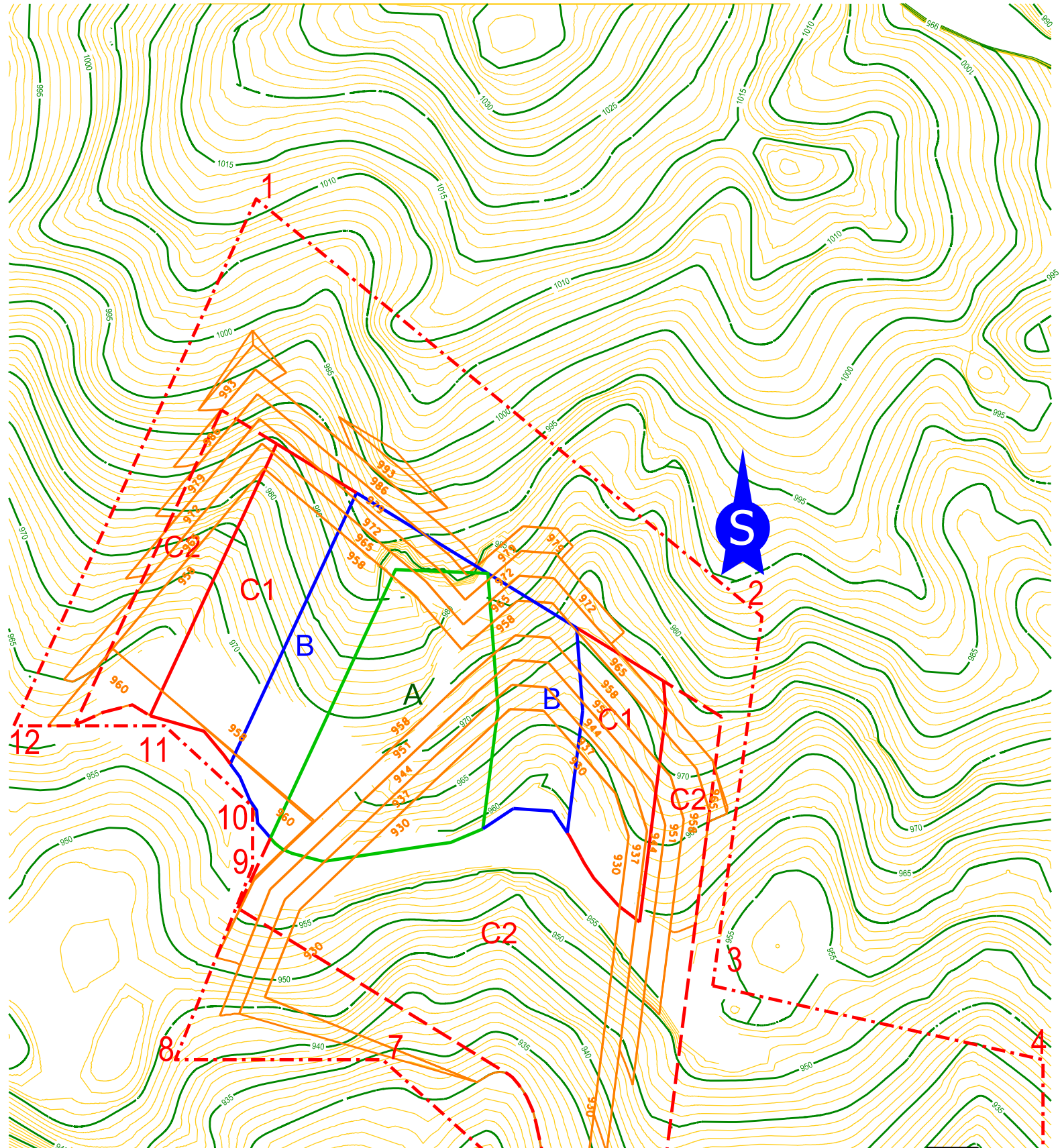
HOEK E., BRAY J.W. 1981. *Rock Slope Engineering*, Revised Third Edition. The Institution of Mining and Metallurgy, London

NOVOSEL T., TUŠAR Z., MULABDIĆ M., GARAŠIĆ M., KORAŽIJA S. 1980. *Ocjena stabilnosti kosina u zasjecima, usjecima građenih od karbonatnih stijena*. V. Geomehanički simpozij, Split.

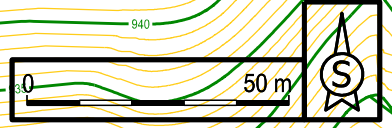
PLEĆAŠ S. 2016. *Modeliranje istražnih radova i površinskog kopa na ležištu arhitektonsko-građevnog kamena „Veliki pomet“ (diplomski rad)*, Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet.

SOLDO I., ŠETKA I. 2016. *Projektiranje u rudarstvu (interna skripta)*. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet.

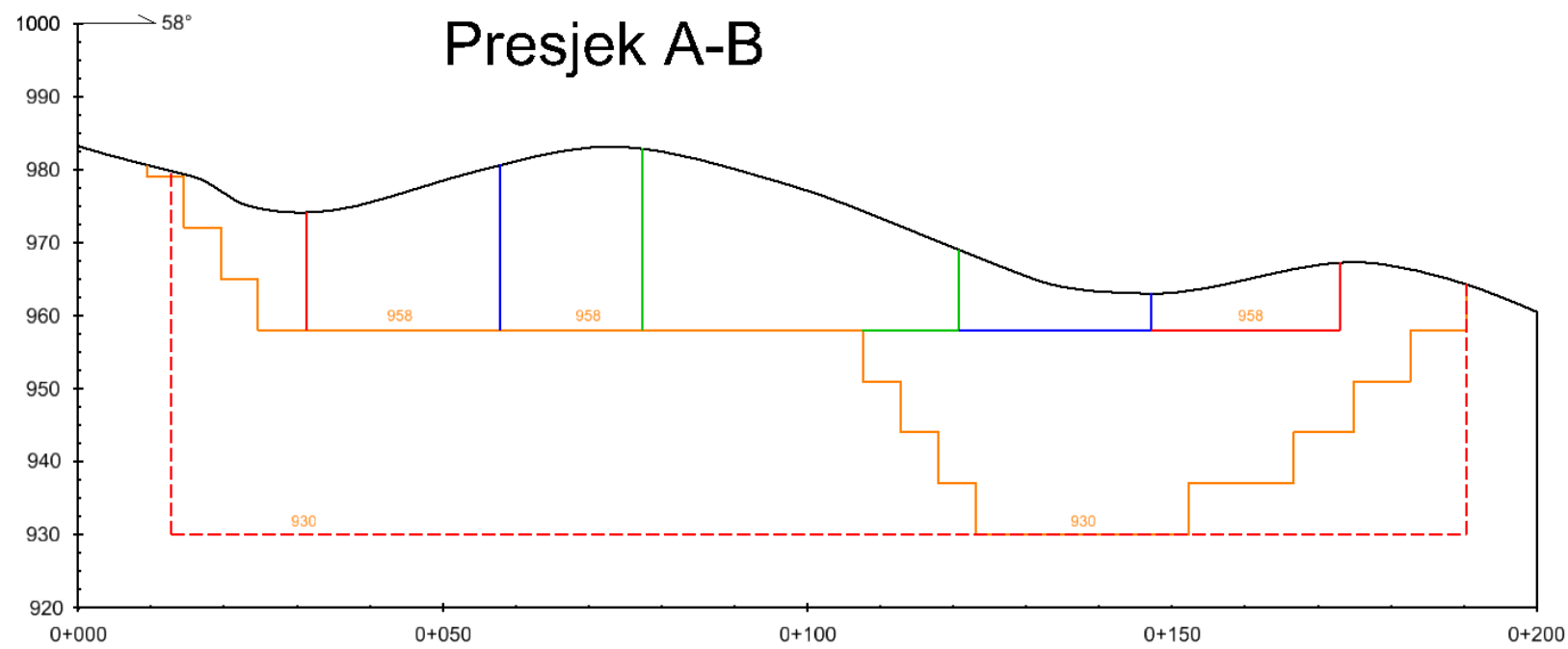
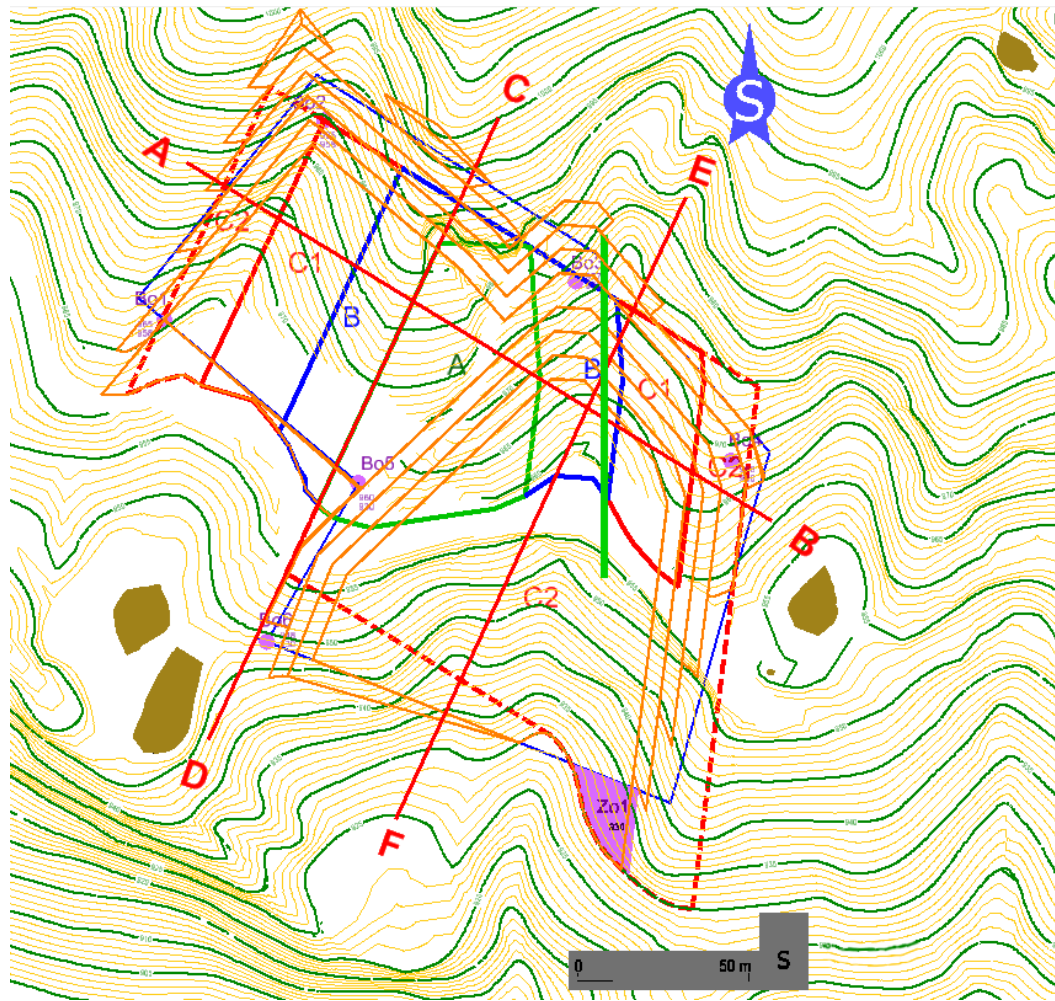
PRILOG br. 1 *Situacijska karta sa prikazanim granicama rezervi*



INVESTITOR: RGN FAKULTET	NAZIV OBJEKTA: EKSPLOATACIJSKO POLJE "SAN"	DATUM: 02.04.2019.
IZRAĐIVAČ RGN FAKULTET	NAZIV RADA: <b>OPTIMIZACIJA RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA "SAN"</b>	
NASTAVNIK Izv.prof. Ivo Galčić, dipl.ing.rud. STUDENT Marko Strilić		
MJERILO: 1:1 000	NAZIV PRILOGA: SITUACIJSKA KARTA SA PRIKAZANIM GRANICAMA REZERV EKSPLOATACIJSKOG POLJA "SAN"	PRILOG: 1
IZVOR: GEODETSKA PODLOGA 1:1000, GEOSPEKTAR D.O.O., ŠIROKI BRIJEG, 2018.		

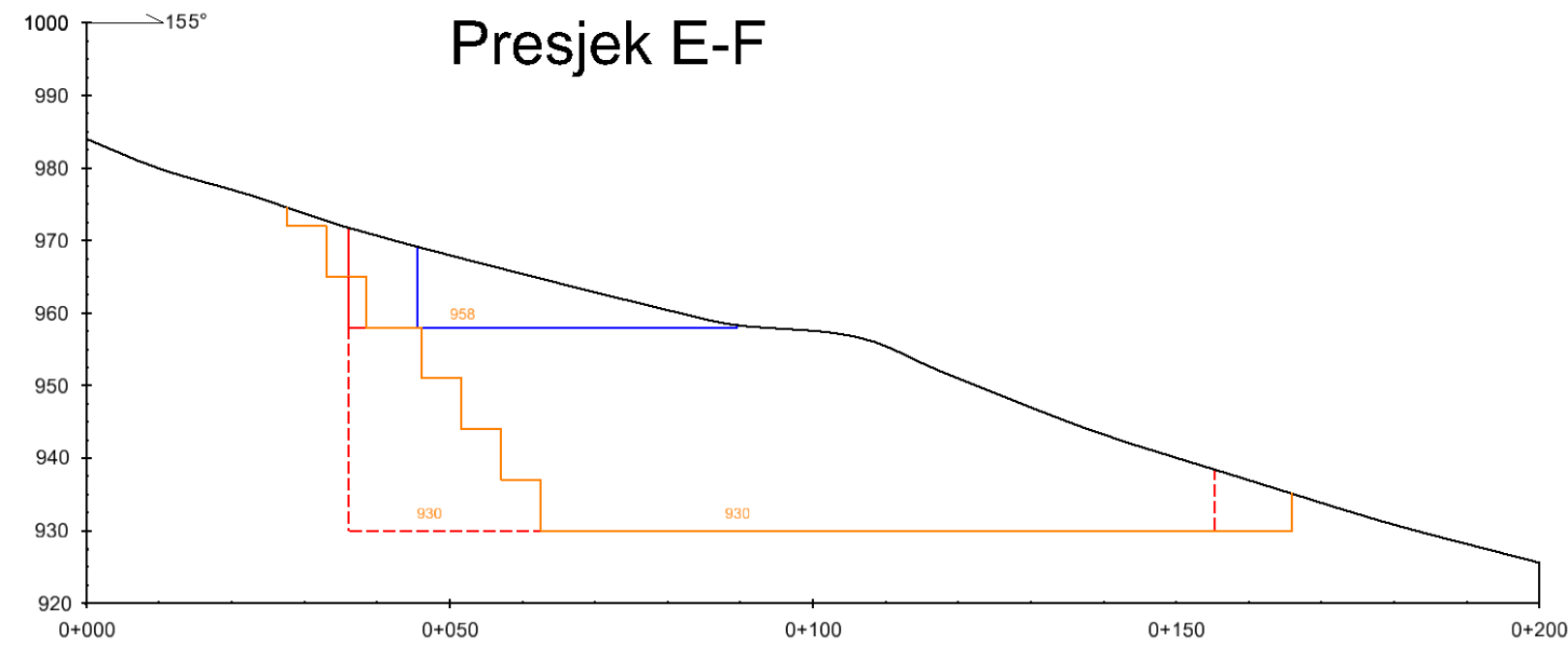
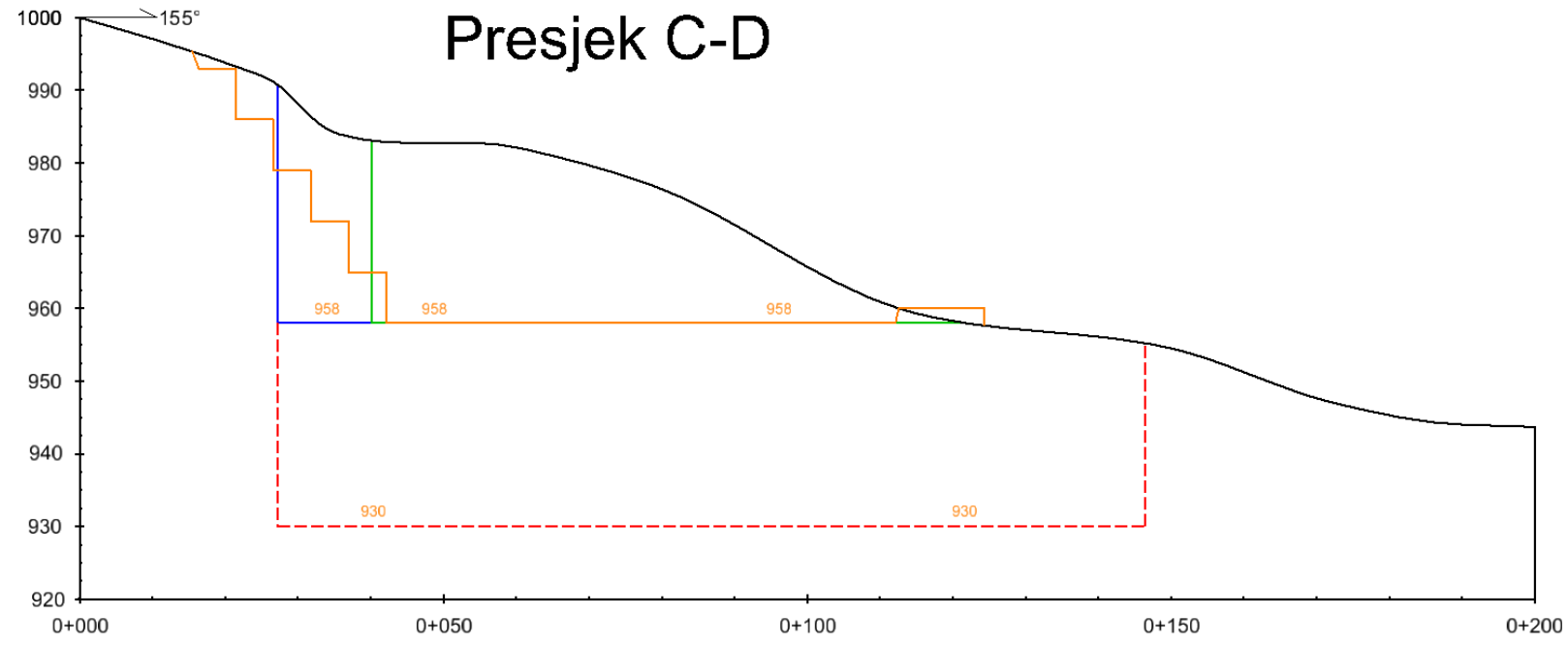


PRILOG br. 2 *Znakoviti presjeci*



TUMAČ ZNAKOVA:	
—	teren
—	granica A kategorije rezervi
—	granica B kategorije rezervi
—	granica C1 kategorije rezervi
- - -	granica C2 rezervi
—	projektirane etaže
958,930	visina platoa

INVESTITOR: <b>RGN FAKULTET</b>	NAZIV ZAHVATA: <b>EKSPLOATACIJSKO POLJE "SAN"</b>	DATUM: 02.04.2019.
IZRAĐIVAČ: <b>RGN FAKULTET</b>	NAZIV RADA: <b>OPTIMIZACIJA RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA „SAN“</b>	
NASTAVNIK: izv.prof. Ivo Galić, dipl.ing.rud.		
STUDENT: Marko Strilić		
MJERILO: 1:1 000	NAZIV PRILOGA: <b>ZNAKOVITI PRESJECI LEŽIŠTA "SAN"</b>	PRILOG: 2



TUMAČ ZNAKOVA:	
—	teren
—	granica A kategorije rezervi
—	granica B kategorije rezervi
—	granica C1 kategorije rezervi
- - -	granica C2 rezervi
—	projektirane etaže
958,930	visina platoa

INVESTITOR: RGN FAKULTET	NAZIV ZAHVATA: EKSPLOATACIJSKO POLJE "SAN"	DATUM: 02.04.2019.
IZRAĐIVAČ: RGN FAKULTET	NAZIV RADA:  OPTIMIZACIJA RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA „SAN“	
NASTAVNIK: izv.prof. Ivo Galić, dipl.ing.rud.		
STUDENT: Marko Strilić		
MJERILO: 1:1 000	NAZIV PRILOGA: ZNAKOVITI PRESJECI LEŽIŠTA "SAN"	PRILOG: 2