

# Analiza modela pripreme za probnu eksploataciju ležišta arhitektonsko-građevnog kamena "Ljut"

---

**Polić, Kristian**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*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:169:937976>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-02**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO–GEOLOŠKO–NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij rudarstva–smjer Geotehnika

**ANALIZA MODELA PRIPREME ZA PROBNU EKSPLOATACIJU LEŽIŠTA  
ARHITEKTONSKO–GRAĐEVNOG KAMENA „LJUT“**

Diplomski rad

Kristian Polić

R – 273

Zagreb, 2021.

**ANALIZA MODELA PRIPREME ZA PROBNU EKSPLOATACIJU LEŽIŠTA  
ARHITEKTONSKO–GRAĐEVNOG KAMENA „LJUT“**

KRISTIAN POLIĆ

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko–geološko–naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U ovom diplomskom radu opisane su općenite i geološke karakteristike istražnog prostora „Ljut“. Isto tako, dan je detaljan opis mogućnosti eksploatacije arhitektonsko–građevnog kamena na temelju kojeg je odabrana najbolja varijanta podzemne eksploatacije. Sukladno tome, definirana su tehnološka rješenja za pripreme radovi, kao i za probnu podzemnu eksploataciju. Nadalje, napravljen je digitalni model terena i model pripremnih radova u 3D prikazu, zajedno sa znakovitim presjecima istih. U konačnici, na temelju navedenog proračunat je obujam rezervi na temelju metode paralelnih presjeka i metode računalnog modeliranja, pa se na temelju tih rezultata (obujma rezervi) definirao model dobiti i gubitaka.

Ključne riječi: Model pripreme, probna eksploatacija, arhitektonsko–građevni kamen, tehničko–građevni kamen, model dobiti i gubitaka

Diplomski rad sadrži: 67 stranica, 47 slike, 18 tablica i 7 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko–geološko–naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: dr. sc. Ivo Galić, izvanredni profesor

Ocjenjivači: dr. sc. Ivo Galić, izvanredni profesor  
dr. sc. Trpimir Kujundžić, redoviti profesor  
dr. sc. Davor Pavelić, redoviti profesor

**ANALYSIS OF THE PREPARATORY MODEL FOR PROBATIONARY UNDERGROUND  
EXPLOITATION OF DIMENSION STONE DEPOSIT “LJUT”**

KRISTIAN POLIĆ

Thesis completed in : University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Mining engineering and Geotechnics  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

This master thesis describes the general and geological characteristics of the exploration area “Ljut”. Also, a detailed description of the possibility of exploitation of the dimension stone is given, on the basis of which best variant of underground exploitation was selected. Accordingly, technological solutions for preparatory works, as well as for probationary underground exploitation have been defined. Furthermore, a digital terrain model and a model of preparatory works were made in 3D, together with significant cross–sections of the same. Finally, based on above, the volume of reserves was calculated based on the method of parrallel cross–sections and the method of computer modeling, and based on these results (volume of reserves), the profit and loss model was defined.

Key words: Preparatory model, probationary exploitation, dimension stone, crushed stone, profit and loss model

Thesis contains: 67 pages, 47 figures, 18 tables and 7 references

Original language: Croatian

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

Supervisor: PhD Ivo Galić, Associate Professor

Reviewers: PhD Ivo Galić, Associate Professor  
PhD Trpimir Kujundžić, Full Professor  
PhD Davor Pavelić, Full Professor

Date of defense: September 16, 2021., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OPĆENITO O PODRUČJU ISTRAŽNOG PROSTORA LJUT .....	2
2.1. Zemljopisni položaj .....	2
2.2. Prometna, energetska, vodoopskrbna i telekomunikacijska infrastruktura .....	3
2.3. Hidrografske i klimatske značajke .....	4
2.3.1. Hidrografske značajke .....	4
2.3.2. Klimatske značajke .....	6
2.4. Geološko–tektonske i hidrogeološke značajke .....	6
2.4.1. Geološka građa ležišta .....	6
2.4.2. Tektonika ležišta .....	7
2.4.3. Hidrogeologija šireg područja .....	7
2.5. Provedeni istražni radovi .....	8
2.6. Podaci o vrsti, količini i kakvoći mineralne sirovine .....	9
2.6.1. Vrsta mineralne sirovine .....	9
2.6.2. Količina mineralne sirovine .....	9
2.6.1. Kakvoća mineralne sirovine .....	10
3. STANJE I MOGUĆNOST EKSPLOATACIJE MINERALNE SIROVINE U LEŽIŠTU „LJUT“ .....	12
3.1. Ograničenje eksploatacijskog polja .....	12
3.2. Idejna rješenja eksploatacije ležišta arhitektonsko–građevnog kamena „Ljut“ .....	12
3.3. Analiza idejnih rješenja podzemne eksploatacije ležišta arhitektonsko–građevnog kamena „Ljut“ .....	14
3.3.1. Postupak odabira najboljeg idejnog rješenja podzemne eksploatacije ležišta arhitektonsko–građevnog kamena .....	14
3.3.2. Analiza idejnih rješenja prve i druge varijante za podzemnu eksploataciju arhitektonsko–građevnog kamena .....	17
3.4. Odabir najpovoljnije varijante podzemne eksploatacije .....	24
3.5. Postupak otvaranja i razvoj podzemnog kopa prema odabranoj varijanti .....	25
3.5.1. Prva faza razvoja podzemnog kopa .....	25
3.5.2. Druga faza razvoja podzemnog kopa .....	26
3.5.3. Treća faza razvoja podzemnog kopa .....	26
3.5.4. Četvrta faza razvoja podzemnog kopa .....	27

3.5.5.	Peta faza razvoja podzemnog kopa.....	28
3.5.6.	Šesta faza razvoja podzemnog kopa .....	29
3.5.7.	Sedma faza razvoja podzemnog kopa.....	31
4.	PRIPREMNI RADOVI I NJIHOVA TEHNOLOŠKA RJEŠENJA ZA PROBNU PODZEMNU EKSPLOATACIJU .....	33
4.1.	Pripremni radovi za odabranu varijantu podzemne eksploatacije .....	33
4.2.	Potrebna mehanizacija i tehnološka rješenja za pripremne radove za odabranu varijantu podzemne eksploatacije.....	34
4.2.1.	Potrebna mehanizacija za pripremne radove za odabranu varijantu podzemne eksploatacije .....	34
4.2.2.	Tehnološka rješenja za pripremne radove za odabranu varijantu podzemne eksploatacije .....	34
5.	3D MODEL PRIPREMNIH RADOVA I NJIHOVI ZNAKOVITI PRESJECI.....	50
5.1.	Izrada 3D modela pripremnih radova .....	50
5.2.	Znakoviti presjeci pripremnih radova.....	55
6.	PRORAČUN OBUJMA REZERVI.....	56
6.1.	Proračun obujma metodom paralelnih presjeka .....	56
6.2.	Proračun obujma metodom računalnog modeliranja .....	59
6.3.	Usporedba rezultata i odabir odgovarajućeg obujma za daljnje razmatranje .....	60
7.	PRORAČUN DOBITI I GUBITAKA ZA MODEL PRIPREME .....	62
8.	ZAKLJUČAK .....	66
9.	LITERATURA .....	67

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Topografska karta područja oko ležišta „Ljut“ (Galić i dr., 2020) .....	3
Slika 2-2. Prikaz mreže cesta prema ležištu „Ljut“ (www.google.com/maps) .....	4
Slika 2-3. Prikaz orijentacije nagiba padina šireg područja ležišta „Ljut“ .....	5
Slika 2-4. Prikaz istražne bušilice u radu na bušotini B7 (Galić i dr., 2020.) .....	8
Slika 3-1. Prostorni prikaz ležišta arhitektonsko–građevnog kamena „Ljut“ (Galić i dr., 2020.).....	13
Slika 3-2. Pripremni platoi za otvaranje podzemnog kopa u prvoj varijanti (Galić i dr., 2020.) .....	17
Slika 3-3. Otvaranje i razvoj galerija podzemnog kopa u prvoj varijanti (Galić i dr., 2020.) .....	18
Slika 3-4. Završno stanje razvoja podzemnog kopa u prvoj varijanti (Galić i dr., 2020.) ..	19
Slika 3-5. Znakoviti presjek stanja podzemnog kopa u prvoj varijanti (Galić i dr., 2020.)	19
Slika 3-6. Pripremni platoi za otvaranje podzemnog kopa u drugoj varijanti (Galić i dr., 2020.).....	20
Slika 3-7. Otvaranje i razvoj galerija podzemnog kopa u drugoj varijanti (Galić i dr., 2020.) .....	21
Slika 3-8. Završno stanje razvoja podzemnog kopa u drugoj varijanti (Galić i dr., 2020.)	22
Slika 3-9. Znakoviti presjek završnog stanja podzemnog kopa u drugoj varijanti (Galić i dr., 2020).....	22
Slika 3-10. 3D model pripreme i otvaranje galerije G6 n1 +16 m (Galić i dr., 2020.) .....	25
Slika 3-11. 3D model otvaranja svih galerija na +16 m (Galić i dr., 2020.) .....	26
Slika 3-12. 3D model proširenih galerija na +16 m (Galić i dr., 2020.).....	27
Slika 3-13. 3D model otkopanih galerija na +16 m (Galić i dr., 2020.).....	28
Slika 3-14. 3D model pripreme i otkopavanja galerija na platou +10 m (Galić i dr., 2020.) .....	29
Slika 3-15. 3D model pripreme i otkopavanja galerija na 0 m (Galić i dr., 2020.).....	30
Slika 3-16. 3D model pripreme platoa i otkopavanja galerija na -20 m (Galić i dr., 2020.)	32
Slika 4-1. Usjek prema središnjem dijelu ležišta eksploatacijskog polja „Stara kava“ (Kamen Pazin d.d.–Plano).....	35
Slika 4-2. Shema izrade usjeka sustavom trokuta (Galić i dr., 2020.).....	36
Slika 4-3. Shema razrade trokutnog usjeka (Galić i dr., 2020.) .....	37

Slika 4-4. Shema izrade trapeznog usjeka (Galić i dr., 2020.) .....	38
Slika 4-5. Shema pripreme i dobivanja bloka dijamantnom žičnom pile (Galić i dr., 2020.) .....	39
Slika 4-6. Shema dobivanja blokova lančanom sjekačicom i dijamantnom žičnom pilom (Galić i dr., 2020.) .....	40
Slika 4-7. Shematski i foto prikaz dobivanja blokova kombinacijom lančanih sjekačica (1– bager; 2–lančana sjekačica L=8 m, uzdužni vertikalni rez; 3–lančana sjekačica L=4 m, poprečni vertikalni rez) (Galić i dr., 2020.).....	41
Slika 4-8. Shematski i foto prikaz dobivanja blokova sjekačicom i dijamantnom žičnom pilom (1–bager; 2–dijamantna žična, vertikalni rezovi pila; 3–lančana sjekačica L=3–4 m, horizontalan rez) (Galić i dr., 2020.) .....	42
Slika 4-9. Izgled reza dijamantne žične pile (Kamen Pazin d.d.–Plano).....	43
Slika 4-10. Izgled reza lančane sjekačice (Kamen Pazin d.d.–Plano).....	43
Slika 4-11. Odvaljivanje i prevrtanje osnovnog bloka .....	44
Slika 4-12. Shema raspilavanja osnovnih i dobivanja završnih blokova iz trokutnog usjeka (Galić i dr., 2020.) .....	45
Slika 4-13. Shema dobivanja i raspilavanja prvog osnovnog bloka iz trapeznog usjeka (Galić i dr., 2020.) .....	46
Slika 4-14. Shema dobivanja završnih blokova na razvijenoj etaži (Galić i dr., 2020.) .....	46
Slika 4-15. Prikaz komercijalnih blokova a–gk (Galić i dr., 2020.).....	47
Slika 4-16. Otvaranje i razvoj galerije sjekačicom i dijamantnom žičnom pilom (RBJ– Crvene stijene).....	48
Slika 4-17. Otvaranje i razvoj galerije specijaliziranom sjekačicom dosega 8,8 m širine (Kamen Pazin d.d.–Kanfanar) .....	48
Slika 4-18. Shema sidrenja na vertikalnom presjeku A-A' za probnu podzemnu eksploataciju na +16 m.....	49
Slika 5-1. Primjer vektorizirane topografske karte (Polić, 2019.).....	50
Slika 5-2. Primjer gotove situacijske karte na temelju geodetskih mjerenja.....	51
Slika 5-3. Triangulirani model terena područja istražnog polja „Ljut“ .....	52
Slika 5-4. Renderirani digitalni model terena područja istražnog polja „Ljut“ .....	52
Slika 5-5. Renderirani model pripremnih radova .....	53
Slika 5-6. Triangulirani model završnog stanja sa probnom galerijom G6.....	54
Slika 5-7. Renderirani model završnog stanja sa probnom galerijom G6.....	54
Slika 5-8. Primjer obračunskog presjeka 14-14' .....	55



## POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Koordinate vršnih točaka istražnog prostora „Ljut“ .....	2
Tablica 2-2. Potvrđene rezerve arhitektonsko–građevnog kamena u istražnom prostoru „Ljut“ (Pavelić i dr., 2020) .....	9
Tablica 2-3. Potvrđene rezerve tehničko–građevnog kamena u istražnom prostoru „Ljut“ (Pavelić i dr., 2020) .....	10
Tablica 3-1. Reducirana tablica rezultata grafo–analitičke analize varijanti podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.).....	16
Tablica 3-2. Količina eksploatacijskih rezervi a–gk za prvu varijantu podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.).....	23
Tablica 3-3. Količina eksploatacijskih rezervi t–gk za prvu varijantu podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.) .....	23
Tablica 3-4. Količina eksploatacijskih rezervi a–gk za drugu varijantu podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.).....	24
Tablica 3-5. Količina eksploatacijskih rezervi t–gk za drugu varijantu podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.).....	24
Tablica 4-1. Trošak stabilizacije probne galerije G6.....	49
Tablica 6-1. Proračun rezervi metodom paralelnih presjeka.....	58
Tablica 6-2. Razlika u proračunu MRM i MPP .....	60
Tablica 6-3. Eksploatacijske rezerve za a–gk.....	60
Tablica 6-4. Eksploatacijske rezerve za t–gk .....	61
Tablica 7-1. Vrijednost ulaganja u pripreme radove (Galić i dr., 2020.) .....	62
Tablica 7-2. Vrijednost ulaganja za podzemnu eksploataciju (Galić i dr., 2020.) .....	62
Tablica 7-3. Troškovi godišnje eksploatacije za pripreme radove (Galić i dr., 2020.) .....	63
Tablica 7-4. Troškovi podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.) .....	64
Tablica 7-5. Proračun dobiti iz pripremnih radova na platou +16 m .....	64
Tablica 7-6. Proračun dobiti iz probne podzemne eksploatacije u galeriji G6.....	65

## **POPIS PRILOGA**

**Prilog 1** – Situacijska i geološka karta ležišta arhitektonsko–građevnog kamena „Ljut“  
(Pavičić, 2020.)

**Prilog 2** – Karta završnog stanja pripremnih radova na ležištu „Ljut“

**Prilog 3** – Obračunski presjeci od 1-1' do 4-4'

**Prilog 4** – Obračunski presjeci od 5-5' do 8-8'

**Prilog 5** – Obračunski presjeci od 9-9' do 12-12'

**Prilog 6** – Obračunski presjeci od 13-13' do 16-16'

**Prilog 7** – Obračunski presjeci od 17-17' do 20-20'

**Prilog 8** – Obračunski presjeci od 21-21' do 24-24'

**Prilog 9** – Obračunski presjeci 25-25' i 26-26'

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Opis	Jedinica
c	kohezija	MPa
$\varphi$	kut unutarnjeg trenja	°
$\alpha$	kut nagiba kritične klizne plohe	°
$J_v$	volumetrijski broj pukotina	$m^{-3}$
$\gamma$	obujamska masa	$kg/m^3$
$K_o$	odnos otvorene površine galerija i presjeka stupa	/
$F_s$	sila iznad stupa	MN
$F_g$	sila iznad galerije	MN
K	koeficijent bočnog tlaka	/
$\sigma_{vs}$	vertikalna naprezanja u stupu	MPa
$\sigma_{vg}$	vertikalna naprezanja u natkopu galerije	MPa
$\sigma_H$	horizontalna naprezanja u stupu	MPa
$\sigma_N$	normalna naprezanja na kliznoj plohi stupa	MPa
$\tau_n$	posmična naprezanja u stropu–natkopu	MPa
$\tau_p$	posmična naprezanja u stupu	MPa
$\sigma_{vl}$	vlačna naprezanja u stropu galerije	MPa
$c_p$	kohezija na kritičnoj plohi	MPa
$\varphi_p$	kut unutarnjeg trenja na kritičnoj plohi	°
$S_\tau$	posmična čvrstoća u stupovima	MPa
$S_{tl}$	tlačna čvrstoća u stropu galerije	MPa
$S_{vl}$	vlačna čvrstoća u stropu galerije	MPa
$K_s$	koeficijent sigurnosti	/
$O_v$	optimalna varijanta	/
O	ukupni obujam	$m^3$
$P_{sr}$	srednja površina	$m^2$
$P_n$	površina n–tog vertikalnog presjeka	$m^2$
$P_{n+1}$	površina n+1 vertikalnog presjeka	$m^2$
$l_n$	udaljenost između n–tog i n+1 presjeka	m
n	broj blokova	/
r	ukupni broj blokova	/

i broj blokova /

## **POPIS KRATICA**

a-gk	arhitektonsko–građevni kamen
t-gk	tehničko–građevni kamen
ORD	OpenRoads Designer
MRM	metoda računalnog modeliranja
MPP	metoda paralelnih presjeka

## 1. UVOD

U diplomskom radu biti će analiziran model pripreme za probnu podzemnu eksploataciju arhitektonsko–građevnog kamena u istražnom prostoru „Ljut“. Kroz rad dati će se detaljan opis nekih općenitih značajki istražnog prostora „Ljut“ (geografske i klimatske značajke), kao i detaljan opis geoloških značajki samog ležišta, koji će biti zaključen provedenim istražnim radovima. Prema idejnom projektu razmotrit će se mogućnost eksploatacije i stanje ležišta, prema čemu će se odabrati najbolja varijanta podzemne eksploatacije i prema kojoj će biti analiziran model pripreme do +16 m nadmorske visine. Nadalje, dati će se detaljan opis tehnoloških rješenja za razradu modela pripreme, kao i za otvaranje odabrane probne galerije. Nakon toga, korištenjem računalnog programa *OpenRoads Designer* tvrtke Bentley, napraviti će se model pripremnih radova i digitalni model terena u 3D prikazu, uz koje će se i definirati znakoviti presjeci pripremnih radova. Na temelju navedenog izračunati će se obujam rezervi metodom paralelnih presjeka i metodom računalnog modeliranja. Zaključno, sa proračunom obujma kreirati će se model dobiti i gubitaka na temelju kojeg će se dati završna ocjena isplativosti pripremnih radova zajedno s probnom podzemnom eksploatacijom odabrane probne galerije.

## 2. OPĆENITO O PODRUČJU ISTRAŽNOG PROSTORA LJUT

Istražni prostor „Ljut“ nalazi se u središnjem sjevernom dijelu poluotoka Pelješca (Dubrovačko–neretvanska županija, Republika Hrvatska) nedaleko od mjesta Janjina kao jednom od četiri općinska središta na Pelješcu.

### 2.1. Zemljopisni položaj

Istražni prostor „Ljut“ zauzima površinu od 6 ha, a omeđen je vršnim točkama od 1 do 5. Koordinate vršnih točaka prema HTRS96/TM sustavu prikazane su u tablici 2-1.

Tablica 2-1. Koordinate vršnih točaka istražnog prostora „Ljut“

Oznake vršne točke	Koordinate točaka po HTRS96/TM sustavu, m		Dužina stranica, m'
	EAST (E)	NORD (N)	
1	574 411,38	4 758 009,85	
			249,92
2	574 202,17	4 758 145,65	
			195,00
3	574 308,49	4 758 309,11	
			331,99
4	574 586,96	4 758 128,35	
			85,03
5	574 538,90	4 758 058,20	
			136,38
1	574 411,38	4 758 009,85	
<b>Površina</b>	<b>6 ha</b>		

Ako gledamo mikrolokalno, ležište je oko 1 km zračne udaljenosti od zaseoka Osobjava u smjeru istok–sjeveroistoka, oko 5 km od centra mjesta Janjina, a oko 33 km cestom od Stona. Ležište je brežuljkasto i razvijenog reljefa, okršeno i mjestimično pokriveno makijom (Galić i dr., 2020). Najniža kota ležišta je 0 m n.m., a najviša na 75 m n.m. Na slici 2-1 prikazana je topografska karta istražnog prostora „Ljut“.



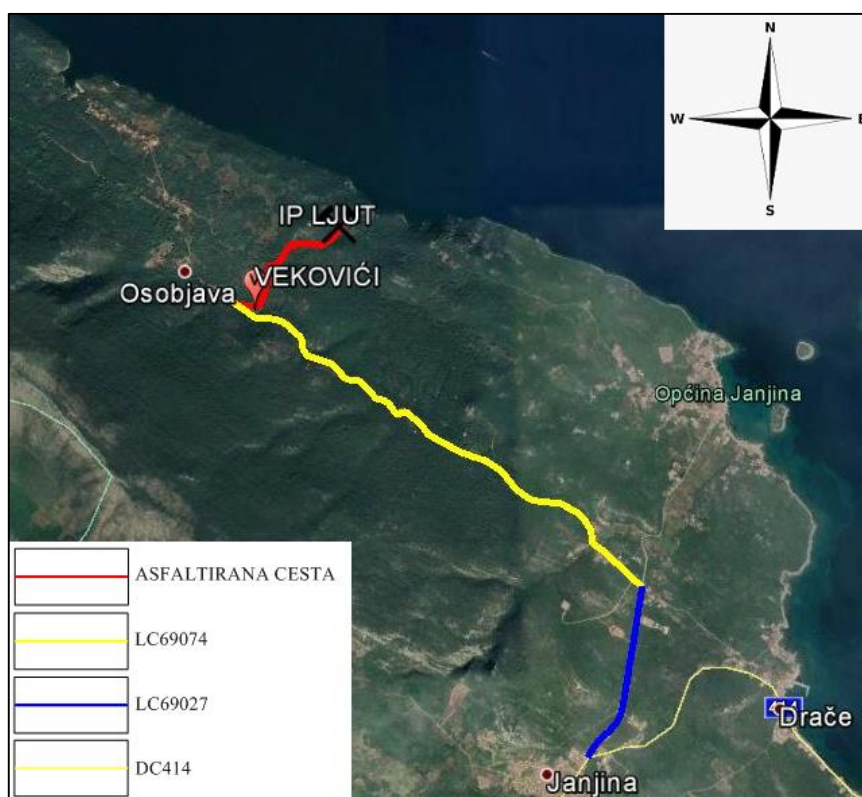
Slika 2-1. Topografska karta područja oko ležišta „Ljut“ (Galić i dr., 2020)

## 2.2. Prometna, energetska, vodoopskrbna i telekomunikacijska infrastruktura

Prometna veza prema istražnom prostoru „Ljut“ ostvarena je već postojećom asfaltiranom cestom, koja se u zaseoku Vekovići spaja s lokalnom cestom oznake LC69074, koja se preko lokalne ceste LC 69027 u mjestu Janjina nastavlja dalje na državnu cestu DC414 (vidi sliku 2-2).

U tehnološkom procesu koristit će se sljedeće vrste pogonske energije: električna energija, kao primarni izvor za napajanje strojeva za rezanje kamena (žična pila, sjekačica i dr.); diesel gorivo (nabavljat će se putem ovlaštenih dobavljača), za napajanje motora sa unutrašnjim izgaranjem (utovarivač, bager, kamion, diesel–električni agregat, kompresor i dr.); te komprimirani zrak i hidraulička energija, kao sekundarni izvor. Za potrebe eksploatacije koristit će se tehnološka voda iz mobilne nadzemne cisterne 20 000 l koja se puni prema potrebi. Voda za piće i sanitarne potrebe osigurat će se iz aparata za pitku vodu

odnosno iz plastičnih spremnika. Pri međusobnoj komunikaciji djelatnika koristiti će se mobilni telefonski uređaji (Galić i dr., 2020).



Slika 2-2. Prikaz mreže cesta prema ležištu „Ljut“ ([www.google.com/maps](http://www.google.com/maps))

## 2.3. Hidrografske i klimatske značajke

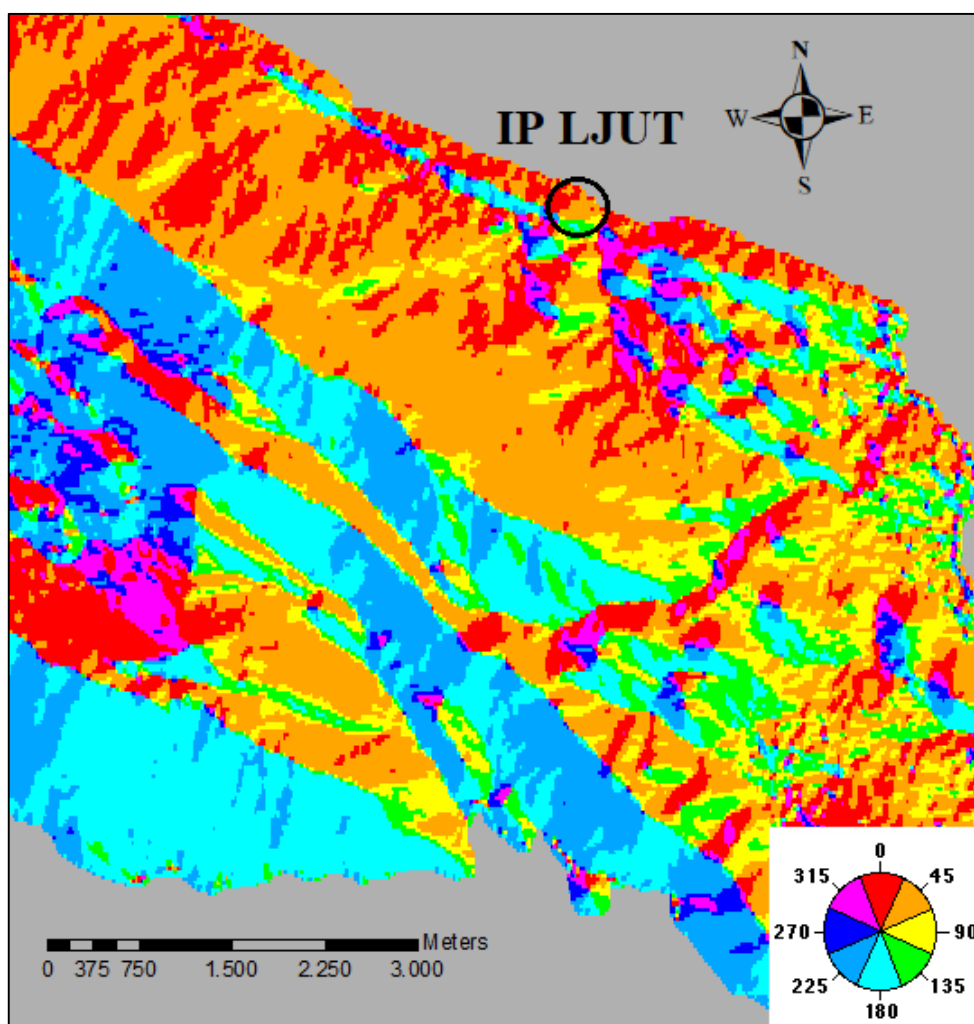
### 2.3.1. Hidrografske značajke

U morfološkom pogledu istražni prostor nalazi se u Južnoj Dalmaciji, a teren oko istražnog prostora se sastoji od niza brežuljaka, neposredno uz obalu Jadranskog mora, nagibom terena prema sjeveroistoku. Teren ima tipičan krški izgled s izraženom kavernožnošću (Galić i dr., 2020).

Orijentacija nagiba terena jasno je vidljiva na slici 2-3 na primjeru digitalnog modela reljefa izrađenom u programu ArcMap koristeći naredbu „aspect“, koja je jedna od temeljnih naredbi pri rasterskoj obradi podataka. Skala u desnom kutu slike 2-3 prikazuje azimute: 0°–



sjever, 45°–sjeveroistok, 90°–istok, 135°–jugoistok, 180°–jug, 225°–jugozapad, 270°–zapad, 315°–sjeverozapad.



Slika 2-3. Prikaz orijentacije nagiba padina šireg područja ležišta „Ljut“

Poluotok Pelješac pripada jadranskom tipu mediteranske klime koju karakterizira duga, suha i topla ljeta s vedrim i mirnim danima, dok je zima blaga i vlažna. Što se tiče padalina one se najviše bilježe tijekom studenog i prosinca, a najmanje tijekom lipnja i srpnja. Ukupna količina padalina u prosjeku (za zadnjih 6 godina) iznosi 1056,35 mm.

U hidrogeološkom pogledu stijene su dosta propusne zbog litoloških značajki i veličine sekundarnog poroziteta. Ležište Ljut nalazi u području tipičnog krša. Izrazito krška morfologija terena uzrokuje i izrazito kršku hidrografiju šireg područja. Stijenski masiv je ispresijecan sustavom pukotina koje omogućuju oborinskoj vodi da se kroz njih infiltrira u podzemne dijelove ležišta. Prirodni dren oborinskoj vodi je morska obala (Galić i dr., 2020)

### 2.3.2. Klimatske značajke

Temperature zraka su više od prosjeka (s obzirom na područje čitave Republike Hrvatske) tijekom cijele godine osim u mjesecima siječnja i veljače kada one padaju ispod 10°C u prosjeku za razdoblje od 1961–2019. godine.

Na temelju dugogodišnjih serija podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda RH, utvrđeno je da je srednja temperatura zraka u Janjini 16,1°C, a ukupna količina oborina 1.279 mm. Najniža srednja mjesečna temperatura zraka bila je 8,9°C, a zabilježena je u veljači. Najmanja apsolutna temperatura zraka koja je ikad izmjerena u Janjini iznosila je –6,5°C u siječnju. Temperatura zraka od 25°C i veća, bilježi se 100 dana u godini, dok je prosječan broj kišnih dana u godini 108. Najkišovitiji mjesec je studeni. Srednja godišnja relativna vlažnost zraka je 69%. Prosječni broj dana s vjetrom u godini je 313, s najvećom učestalošću (do 30%) vjetrova južnih smjerova (oštro, šilok, lebić). Ukupna godišnja osunčanost iznosi oko 2.700 sati, a prosječna dnevna 7,0–7,4 sata. Srednja godišnja osunčanost iznosi 2.584 sata (Galić i dr., 2020).

## 2.4. Geološko–tektonske i hidrogeološke značajke

### 2.4.1. Geološka građa ležišta

Ležište arhitektonsko–građevnog kamena nalazi se u srednje do vrlo debelim slojevima gornjokrednih karbonatnih stijena. Na području istražnog polja „Ljut“ prema litološkom sastavu prevladavaju uslojeni vapnenci, u kojima dolaze znatno zastupljeni dolomiti. Vapnenci su biokalkareniti, kalcilutiti i biokalciruditi, pa se susreću svi litološki prijelazi od vapnovitih dolomita do dolomitičnih vapnenaca. Starost ovih naslaga je dokazano gornjokredna (tj. senonska  $K_2^3$ ), dok njihova debljina iznosi oko 700 m (Korolija i dr., 1975). Naslage pripadaju prijelazu iz neformalne litostratigrafske jedinice Visočani vapnenac u Sumartin formaciju (Lukšić et al., 2008).

Visočani vapnenac (VV) predstavlja glavnu mineralnu sirovinu u ležištu. Zastupljen je debelo do vrlo debelo uslojenim rekristaliziranim i kristaliničnim rudistno–bioklastični floutstonima do radstonima izrazito svijetlosive do bijele boje. Naslage Sumartin formacije (SFM) predstavljaju dobro slojeviti vapnenci do rekristalizirani i dolomitizirani vapnenci,

vapnenci i/ili dolomiti s ulošcima-lećama vapnenca (Pavelić i dr., 2020). Geološka karta istražnog polja „Ljut“ dana je u prilogu 1.

#### 2.4.2. Tektonika ležišta

Strukturno–tektonske karakteristike ležišta relativno su jednostavne. Stijene pripadaju sjeveroistočnom krilu kredne antiklinale pružanja sjeverozapad–jugoistok. Smjer nagiba uslojenih vapnenaca i dolomita je prema sjeveroistoku, a kut nagiba između 35 i 55°. Na površini se može uočiti više sustava otvorenih i zatvorenih pukotina (Pavelić i dr., 2020).

#### 2.4.3. Hidrogeologija šireg područja

Ležište arhitektonsko–građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Ljut“ karakterizirano je sekundarnom, pukotinsko–kavernozno prožnošću prvenstveno generiranom tektonskim naprezanjima kao posljedicom kompresijskim deformacija. Boranje i rasjedanje poluotoka Pelješca praćeno je formiranjem više sustava otvorenih i zatvorenih pukotina u vapnencima ležišta. Svi promatrani diskontinuiteti su vidljivog zijeva i uglavnom ispunjeni crvenicom što ukazuje na relaksacijske tektonske uvjete te omogućuju infiltraciju vode u podzemlje. Slojne plohe imaju srednju orijentaciju 20/39; S1 set pukotina, 221/70, S2 set pukotina, 90/68 te S3 set pukotina 325/75. Uz slojne plohe, te su pukotine predisponirale površinsko otjecanje oborinskih voda, kemijsko trošenje vapnenaca i infiltraciju vode u podzemlje (Pavelić i dr., 2020).

## 2.5. Provedeni istražni radovi

Istražni radovi provedeni su kako bi se utvrdili geološki odnosi na površinskim i dubljim dijelovima ležišta te omogućila klasifikacija i kategorizacija rezervi te kako bi se izračunale količine arhitektonsko–građevnog kamena i tehničko–građevnog kamena (Pavelić i dr., 2020):

- geodetsko snimanje 1:1 000,
- geološka prospekcija šireg područja ležišta,
- izrada geološke karte mjerila 1:1 000 područja ležišta,
- korištenje podataka iz uvjerenja o ispitivanju arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena ,
- bušenje deset istražnih bušotina na jezgru (B-1, B-2, B-3, B-4, B-5, B-6, B-7, B-8, B-9 i B-10 ukupne dužine 599,2 m.



**Slika 2-4.** Prikaz istražne bušilice u radu na bušotini B7 (Galić i dr., 2020.)

## 2.6. Podaci o vrsti, količini i kakvoći mineralne sirovine

### 2.6.1. Vrsta mineralne sirovine

Stijene u ležištu „Ljut“ su sedimentnog postanka i slojevitog oblika. Prema tome, u ležištu „Ljut“ eksploatirat će se arhitektonsko–građevni kamen pri čemu će se jedan dio stijene odvajati u formi kamenog ostatka koji će se iskoristiti za dobivanje tehničko–građevnog kamena (Pavelić i dr., 2020).

Arhitektonsko–građevni kamen u ležištu „Ljut“ javlja se u tri litološka tipa (dolomit, vapnenac i dolomitični vapnenac) koji su utvrđeni kao produktivni slojevi, različite debljine i dobili su komercijalne nazive (Pavelić i dr., 2020):

- Ragusa sivi (podinski sloj),
- Ragusa bijeli (glavni–središnji sloj),
- Ragusa modri (krovinski sloj).

### 2.6.2. Količina mineralne sirovine

Potvrđena količina mineralne sirovine arhitektonsko–građevnog kamena i tehničko–građevnog kamena u istražnom prostoru „Ljut“ dana je tablicama 2-2 i 2-3.

**Tablica 2-2.** Potvrđene rezerve arhitektonsko–građevnog kamena u istražnom prostoru „Ljut“ (Pavelić i dr., 2020)

<b>Količina rezervi mineralne sirovine (m<sup>3</sup>)</b>				
<b>Klasa kategorija</b>	<b>Bilančne rezerve</b>	<b>Izvanbilančne rezerve</b>	<b>Ukupne rezerve</b>	<b>Eksploatacijske rezerve</b>
A	-	-	-	-
B	222 611	67 838	290 449	200 350
C <sub>1</sub>	38 202	94 387	132 590	34 382
<b>A+B+C<sub>1</sub></b>	<b>260 813</b>	<b>162 225</b>	<b>423 038</b>	<b>234 732</b>

**Tablica 2-3.** Potvrđene rezerve tehničko–građevnog kamena u istražnom prostoru „Ljut“ (Pavelić i dr., 2020)

<b>Količina rezervi mineralne sirovine (m<sup>3</sup>)</b>				
<b>Klasa kategorija</b>	<b>Bilančne rezerve</b>	<b>Izvanbilančne rezerve</b>	<b>Ukupne rezerve</b>	<b>Eksploatacijske rezerve</b>
A	-	-	-	-
B	799 438	243 618	1 043 056	775 455
C <sub>1</sub>	137 191	428 498	565 688	133 075
<b>A+B+C<sub>1</sub></b>	<b>936 629</b>	<b>672 115</b>	<b>1 608 744</b>	<b>908 530</b>

### 2.6.1. Kakvoća mineralne sirovine

Provedeni istražni radovi na području ležišta „Ljut“ dali su vrijedne podatke o pružanju, prostiranju kao i o debljini slojeva arhitektonsko–građevnog kamena. U svrhu određivanja kakvoće arhitektonsko–građevnog kamena i tehničko–građevnog kamena kontinuirano su uzimani uzorci iz 10 istražnih bušotina, ukupne duljine 70 metara. Uzorci jezgara su odabrani na taj način da postoji ravnomjerna zastupljenost svakog litotipa kamena. Uzorci kamena su uzeti i iz površinskog dijela stijene u obliku manjih komada stijene, dimenzija 25x35x50 cm (Pavelić i dr., 2020).

Na temelju dobivenih rezultata provedenih ispitivanja ocjenjuje se da je kamen vrlo visoke kvalitete te se može kao arhitektonsko–građevni kamen primijeniti (Pavelić i dr., 2020):

- za vertikalne obloge,
- za oblaganje objekata,
- za horizontalna popločenja pješačkih površina,
- za izradu klupica stepenica, pragova, bunja, ciklopa i klesarskih elemenata,
- za proizvodnju blokova i cijepanog kamena,
- za grubu arhitekturu,
- za gaterske ploče, masivne kamene elemente i zidanje kamenom i za slične namjene.

Također, na temelju provedenih ispitivanja kvalitete tehničko–građevnog kamena ustvrdilo se da sirovina zadovoljava uvjete za proizvodnju (Pavelić i dr., 2020):

- Drobljenog kamena granulata za izradu betona, (HRN EN 12620:2008 i Tehnički propis za betonske konstrukcije, NN 139/09, 14/10, 125/10 i 136/12),
- Agregat za bitumenske mješavine i površinsku obradu cesta, aerodromskih pista i drugih prometnih površina ( HRN EN 13043)
- Kamenog granulata za nevezane i hidrauličkim vezivom vezane materijale za upotrebu u građevinarstvu i cestogradnji (HRN EN 13242:2008 i OTU–Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Knjiga III, Zgb 2001.),
- Kamenog granulata za mort (HRN EN 13139:2003/AC:2006).

### **3. STANJE I MOGUĆNOST EKSPLOATACIJE MINERALNE SIROVINE U LEŽIŠTU „LJUT“**

#### **3.1. Ograničenje eksploatacijskog polja**

Ograničenje eksploatacijskog polja ovisi o (Galić i dr., 2020.):

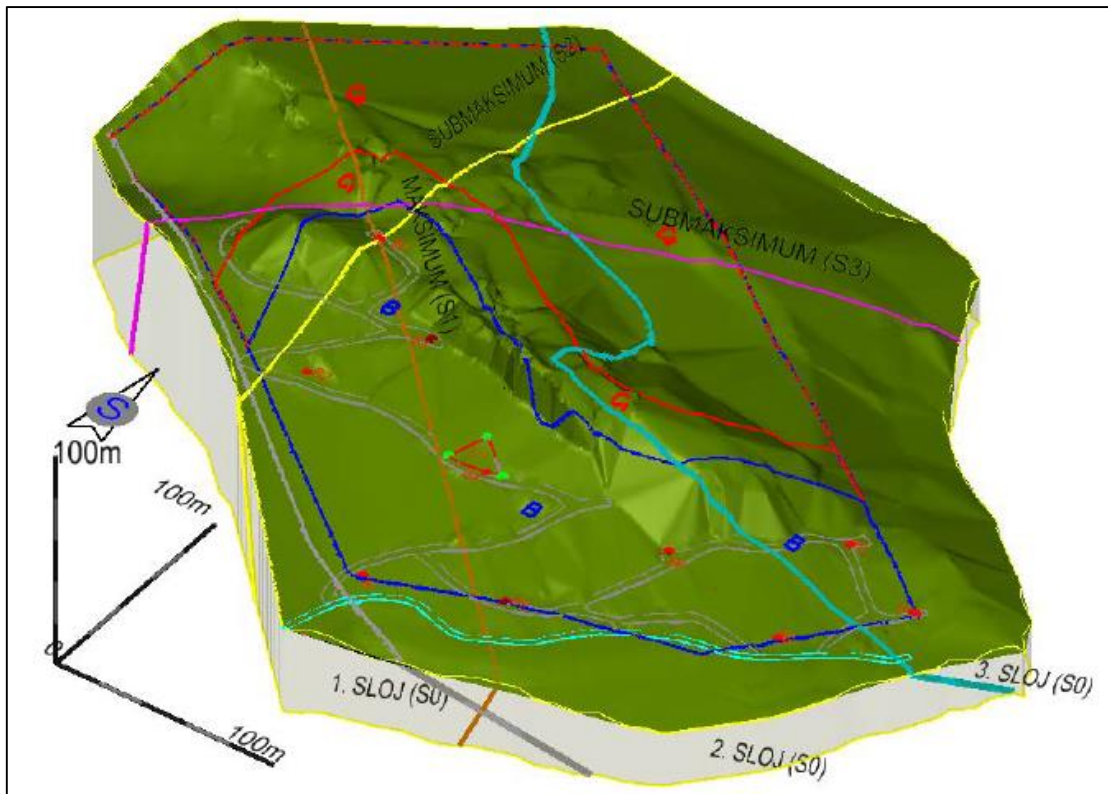
- odobrenim rezervama,
- utjecaju na okoliš,
- konfiguraciji terena,
- fizičko-mehaničkim značajkama stijena,
- tehničko-tehnološkim uvjetima eksploatacije,
- odredbama Prostornog plana Dubrovačko–neretvanske županije (PP DNŽ) i Prostornog plana uređenja Općine Janjina (PPUO).

Prema Prostornom planu Dubrovačko–neretvanske županije eksploatacija arhitektonsko–građevnog kamena u ovom trenutku je jedino moguća podzemnom eksploatacijom.

#### **3.2. Idejna rješenja eksploatacije ležišta arhitektonsko–građevnog kamena „Ljut“**

Ležište „Ljut“ istraženo je s 10 istražnih bušotina (bušenjem na jezgru) u dužini od oko 600 m. Također, detaljno su snimljene stijenske bušotina (preko 300 m), te je napravljen detaljan snimak terena. Na temelju snimljenih podataka izrađeni su stereogrami, te su određeni dominantni smjerovi pukotinskih sustava što je uvjetovalo i granice rezervi, kako po planu tako i po dubini (Galić i dr., 2020.). Dominantni smjerovi pukotinskih sustava kao i projektirane granice rezervi prikazane su slikom 3-1.





**Slika 3-1.** Prostorni prikaz ležišta arhitektonsko–građevnog kamena „Ljut“ (Galić i dr., 2020.)

Isto tako treba istaknuti da je bušenjem dosegnuta razina 62 m ispod mora. Također, utvrđeno je da se s dubinom poboljšava kvaliteta kamena, međutim zbog tehnoloških uvjeta određeno je da se buduća eksploatacija planira do razine 20 m ispod razine mora (Galić i dr., 2020.).

Laboratorijskim istraživanjima utvrđeno je da se u ležištu nalaze slojevi jako kvalitetnog arhitektonsko–građevnog kamena, no stijena je ispresijecana brojnim pukotinama (Galić i dr., 2020.). S obzirom na složene geološke uvjete i činjenicu da je ovo prvi (idejno) podzemni kop u Dinaridima, stoga su odgovorni projektanti idejnog projekta eksploatacije ležišta arhitektonsko–građevnog kamena „Ljut“ pristupili ovom projektu prema načelima: racionalnog iskorištenja ležišta, zaštite na radu i zaštite okoliša.

S obzirom na već navedenu složenost situacije, napravljena je grafička i numerička analiza ukupno 11 modela eksploatacije, od čega je: deset modela podzemne eksploatacije i jedan model površinske eksploatacije (Galić i dr., 2020.)

U konačnici izbor je sužen na tri varijante, od koje su: dvije varijante podzemne eksploatacije i jedna varijanta površinske eksploatacije. Naravno, zbog već postojeće odredbe Prostornog plana Dubrovačko–neretvanske županije prioritet je dan podzemnoj

eksploataciji, no i zbog same teme rada koja se bavi modelom pripreme za probnu podzemnu eksploataciju.

### **3.3. Analiza idejnih rješenja podzemne eksploatacije ležišta arhitektonsko–građevnog kamena „Ljut“**

#### **3.3.1. Postupak odabira najboljeg idejnog rješenja podzemne eksploatacije ležišta arhitektonsko–građevnog kamena**

Najadekvatnije idejno rješenje podzemne eksploatacije je uvjetovano odabirom dimenzija stupova i galerija, koji mogu biti (Galić i dr., 2020.):

- dimenzije stupova: 18x18 m, 15x15 m, 12x12 m, 9x9 m, visine 41 m
- dimenzije galerija (slobodne duljine): 6 m, 9 m, 12 m, 15 m, visine 41 m

Dimenzije stupova i galerija mogu biti i drugih vrijednosti, međutim zbog tehničko–tehnoloških i komercijalnih zahtjeva najjednostavnije su forme koje u konačnici mogu davati numeričke vrijednosti djeljive s 3, odnosno dimenzije gotovih blokova najviše vrijednosti po jedinici proizvoda (I. kategorija). Zbog složenosti strukturnog sklopa u ležištu zauzet je stav da se stupovi i galerije pravilno rasporede kako ne bi došlo do poremećaja ravnoteže tlakova (prekomjernih naprezanja) i zarušavanja otkopanog prostora (Galić i dr., 2020.).

Najpovoljniji smjer razvoja za sva razmatrana idejna rješenja, biti će (Galić i dr., 2020.):

- razvoj galerija po pružanju dominantnih diskontinuiteta (maksimuma i slojevitosti) 110–290°,
- razvoj poprečnih hodnika 20–200°,
- izrada pripremnih platoa s vertikalnim odsječcima na ulazu i iznad galerije 20–200°
- pripreme radnje i otvaranje kopa započet će se na istočnoj strani ležišta, gdje je morfološki najpovoljnija pozicija

Za ležište „Ljut“ usvojena je minimalna visina natkopa od 9 m, početna širina ulaza 6 m i visina 5 m, pa je visina otkopavanja od +21 do –20 m, ukupnog iznosa 41 m. Prilikom pažljivih razmatranja i proračuna prvenstveno vezanih uz probleme stabilnosti u otkopanom prostoru, u nastavku će biti dana tri osnovna oblika stupova koja su analizirana u idejnim rješenjima, i to (Galić i dr., 2020.):

- stup s jednim prepustom–gredom (zubom), na najvišoj razini +16
- stup s više prepusta–greda (zuba), od najviše razine do sredine stupa
- ravni stup u cijeloj visini otkopavanja

Kako je već navedeno za svaku varijantu podzemne eksploatacije provedena je grafo–analitička analiza, dok su u tablici 3-1. prikazani njezini rezultati. Tablica prikazuje ulazne podatke o stijeni koji su mjereni u laboratoriju, modele geometrijskih oblika (duljina, širina i visina galerija i stupova), proračunate vrijednosti parametara naprezanja u stijeni, proračunate parametre otpora (čvrstoće stijene), izračun koeficijenta sigurnosti (za stupove i galerije u svakoj varijanti), kao i odabir najprihvatljivije varijante ( $O_v$ ) za podzemnu eksploataciju. Također, treba istaknuti da će u tablici biti prikazani rezultati za samo četiri modela koji su odabrani za daljnja razmatranja u samome idejnom projektu.

Napomena: Vrijednost  $O_v$  predstavlja ravnotežu između sigurnosti, koja se dobije iz odnosa koeficijenta sigurnosti ( $K_s$  i  $K_z$ ), i efikasnosti eksploatacije (iskoristivosti) stijene u ležištu, koja se dobije iz odnosa površine otkopanog (galerija) i horizontalnog presjeka stupa (Galić i dr., 2020.).

**Tablica 3-1.** Reducirana tablica rezultata grafo–analitičke analize varijanti podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.)

ULAZNI PODACI O STUJENI-MJERENI U LABORATORIJU I NA TERENU		Jedinica	Izmjerene vrijednosti								
Kohezija, c		MPa	28,73								
Kut unutarnjeg trenja, $\phi$		°	42,56								
Kut nagiba (prosječni) kritične klizne plohe (ravnina), $\alpha$		°	40								
Volumetrijski broj pukotina (Jv)		m-3	2,34								
Obujamska (prostorna) masa, $\gamma$		kg/m3	2540								
DIMENZIJE	Jedinica	Usvojene-modelirane vrijednosti	MODELI GEOMETRIJSKIH OBLIKA								
			1		2		3		4		
			GALERIJA	STUP	GALERIJA	STUP	GALERIJA	STUP	GALERIJA	STUP	
Duljina galerije i stupa	m	a; s	6	18	9	15	6	15	9	12	
Širina galerije i stupa	m	a;s	6	18	9	15	6	15	9	12	
Visina galerije i stupa	m	hg; hs	41	41	41	41	41	41	41	41	
Visina nadsvoda i zarušavanja	m	hn; hz	44	44	44	44	44	44	44	44	
Udio otkopane stijene	%	$= (1 - (s*s)/(a+s)*(a+s)) * 100$	43,75%		60,94%		48,98%		67,35%		
Odnos otvorene površine galerije i presjeka stupa, Ko		=Pg:Ps	1,78		2,56		1,96		3,06		
PARAMETRI NAPREZANJA U STUJENI	Jedinica	Postupak	PRORAČUNATE VRIJEDNOSTI IZ ULAZNIH PODATAKA								
			1		2		3		4		
			GALERIJA	STUP	GALERIJA	STUP	GALERIJA	STUP	GALERIJA	STUP	
Sila iznad stupa, Fs	MN	$=ms*g$ $=(((a+s)*(a+s)*hn)+(s*s)*hs)*y*g$		962,5		861,4		713,4		630,6	
Sila iznad galerije, Fg	MN	$=mg-((a*a)*hn)*y*g$	39,5		88,8		39,5		88,8		
Koeficijent bočnog tlaka, K	-	$=((hs+hz/s)*\sin(a)*(1/(2*s)))$		0,08		0,12		0,12		0,19	
Vertikalna naprezanja u stupu, $\sigma_{vs}$	MPa	$=Fs/(s*s)$		2,97		3,83		3,17		4,38	
Vertikalna naprezanja u natkopu galerije, $\sigma_{vg}$	MPa	$=Fg/(a*a)$	1,096		1,096		1,096		1,096		
Horizontalna naprezanja u stupu, $\sigma_{H}$	MPa	$=K*(Fs/(s*s))$		0,250		0,465		0,385		0,83	
Normalna naprezanja na kliznoj plohi stupa, $\sigma_N$	MPa	$=((Fs/(s*s))*(1+\cos(2a)/2))$		1,744		2,248		1,862		2,571	
Posmična naprezanja u stropu-natkopu, $\tau_n$	MPa	$=-(Fg/(4*a*hn))$	0,580		1,110		0,580		1,110		
Posmična naprezanja u stupu, $\tau_p$	MPa	$=-((Fs/(s*s))/2)*\sin(2a)$		-1,463		-1,885		-1,561		-2,156	
Vlačna naprezanja u stropu galerije, $\sigma_{vi}$	MPa	$=-(Fg/(a*a))$	-1,096		-1,096		-1,096		-1,096		
PARAMETRI OTPORA (ČVRSTOĆE) STUJENE	Jedinica	Postupak	PRORAČUNATE VRIJEDNOSTI IZ ULAZNIH PODATAKA								
			1		2		3		4		
			GALERIJA	STUP	GALERIJA	STUP	GALERIJA	STUP	GALERIJA	STUP	
Kohezija (na kritičnoj plohi), $c_p$	MPa	$=c/10$	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	
Kut unutarnjeg trenja (na kritičnoj plohi), $\phi_p$	°	$=0,5*\phi$	21,28	21,28	21,28	21,28	21,28	21,28	21,28	21,28	
Posmična čvrstoća u stupovima, $S_r$	MPa	$S_r = \sigma_n * \tan \phi_p + c_p$		3,55		3,75		3,6		3,87	
Tlačna čvrstoća u stropu galerije, $S_H$	MPa	$S_H = (S_n * K_0/a) - \sigma_v$	42,58		28,02		42,58		28,02		
Vlačna čvrstoća u stropu galerije, $S_{vi}$	MPa	$S_{vi} = 0,1 * S_{H_i}$	4,26		2,8		4,26		2,8		
Koeficijent sigurnosti, $K_s$ (uvjet $\geq 1,5$ )	-	$= S_{vi}/\sigma_{vi} ; = S_r/\tau_p$	3,88	2,43	2,56	1,99	3,88	2,3	2,56	1,8	
<b>ODABIR NAJPRIHVATLJIVJE (OPTIMALNE) VARIJANTE</b>	-	$O_v = \log(K_s/K_0) * K_0^3 + \log(K_0/n)$		0,426		1,462		0,697		1,738	

Model pod rednim brojem 1 u tablici 4 ima najveću sigurnost ( $K_s$ ), no najnepovoljnije iskorištenje stijenske mase ( $K_0$ ). Kompatibilan je s modelom broj 2 jer se s vremenom može napraviti dinamički prijelaz iz jednog modela u drugi kako bi se poboljšalo iskorištenje stijene ( $K_0$ ). U daljnjem tekstu, prva varijanta predstavlja kombinaciju prva dva modela iz tablice 4, te zajedno oni čine par prve varijante (Galić i dr., 2020.).

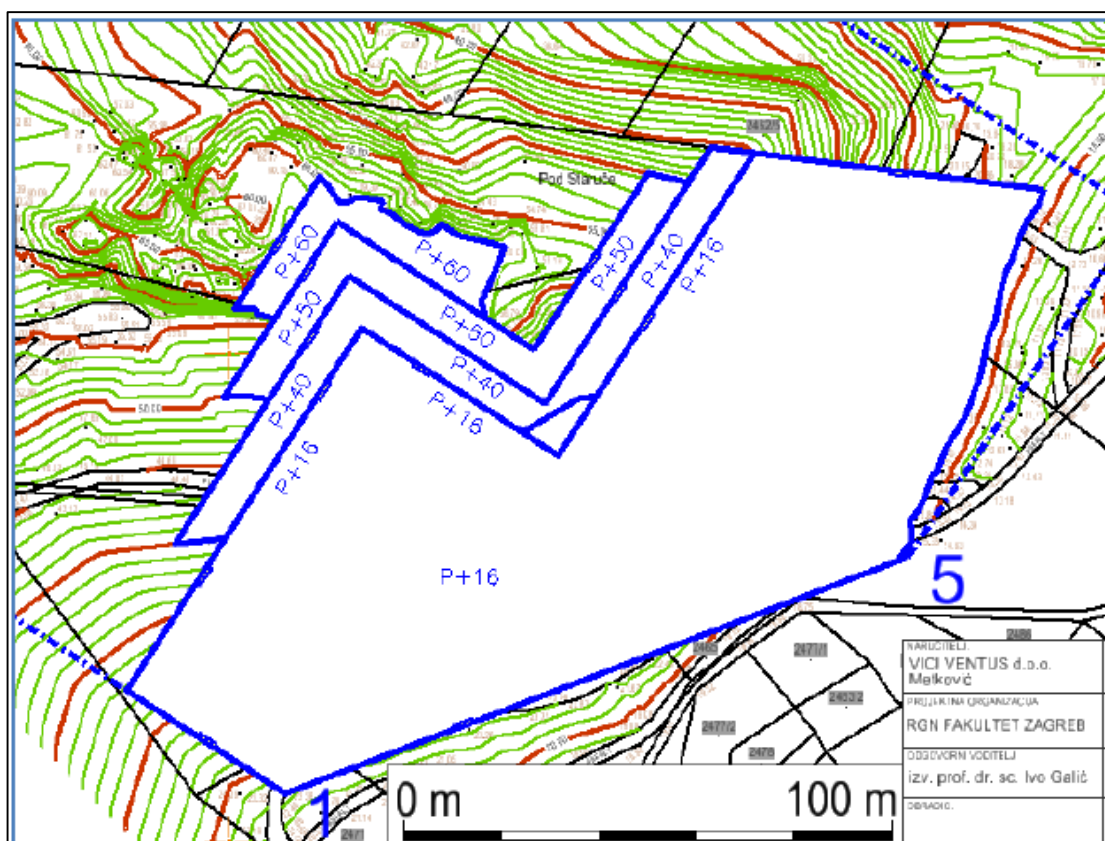
Model pod rednim brojem 4 u tablici 4 ima najveći rang optimizacije ( $O_v$ ) odnosno najbolji odnos između koeficijenata sigurnosti i iskorištenja stijene. Međutim, bez probne eksploatacije bilo bi prerizično započeti rad s otvorom galerije od 9 m. Iz tog razloga pribjelo se rješenju u kojem će se model 3 spojiti s modelom 4. Time će se radovi započeti prema dimenzijama i obliku galerija i stupova za model 3, a nakon probne eksploatacije i potvrde teorijskih vrijednosti iz provedenih analiza moći će se preći na model 4. U daljnjem tekstu, druga varijanta predstavlja kombinaciju modela broj 3 i 4, te zajedno oni čine par druge varijante (Galić i dr., 2020.).

### 3.3.2. Analiza idejnih rješenja prve i druge varijante za podzemnu eksploataciju arhitektonsko–građevnog kamena

Prema tablici 4 u uži krug razmatranja ušli su modeli podzemne eksploatacije pod rednim brojem 1, 2, 3 i 4. Zbog kompatibilnosti pojedinih modela došlo je do njihove fuzije te su modeli 1 i 2 sada par prve varijante, dok su modeli 3 i 4 par druge varijante podzemne eksploatacije arhitektonsko–građevnog kamena.

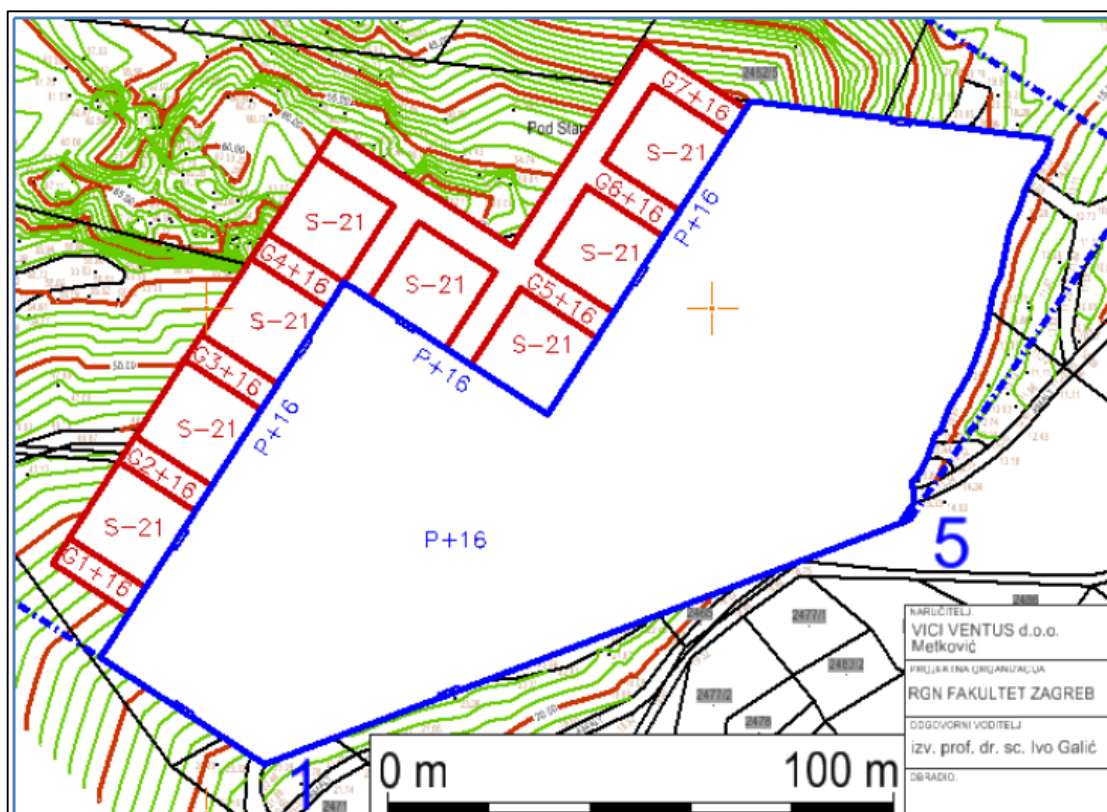
#### 3.3.2.1. Prva varijanta podzemne eksploatacije

U prvom koraku kreće se sa izradom pripremnih platoa. Tako uz osnovni plato 16, stijena će se zasjeci s platoima K40, K50 i K60 (slika 3-2), kako ne bi došlo do obrušavanja stijene, odnosno da bi se osigurali stabilni geomehanički uvjeti (Galić i dr., 2020.).



Slika 3-2. Pripremni platoi za otvaranje podzemnog kopa u prvoj varijanti (Galić i dr., 2020.)

U narednom koraku sa visine osnovnog platoa +16 m uslijedit će razvoj 7 galerija, visine 5, a širine 6 m. Također, formirat će se stupovi dimenzija 18x18 m, a napredak galerija će biti dovoljan za ograničenje prvog reda stupova što se može okarakterizirati kao probna eksploatacija (Slika 3-3) (Galić i dr., 2020.).

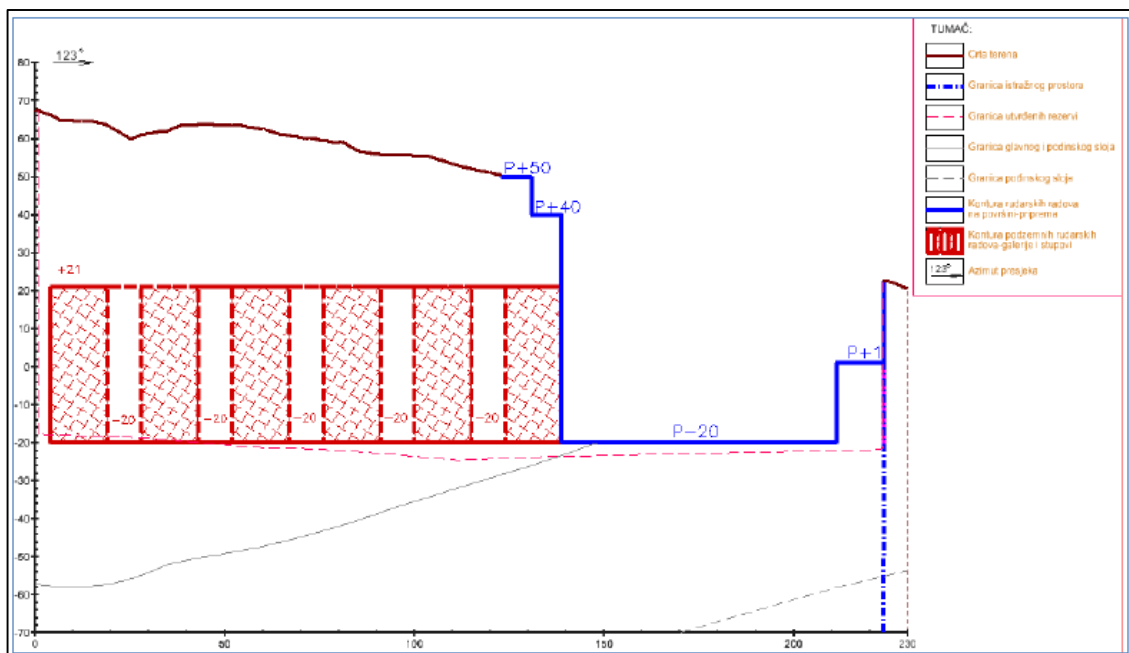


**Slika 3-3.** Otvaranje i razvoj galerija podzemnog kopa u prvoj varijanti (Galić i dr., 2020.)

Nakon što se potvrdi stabilnost izrađenih galerija u probnoj podzemnoj eksploataciji, naredne galerije će se proširiti smanjenjem dimenzija stupova sa 18x18 m na 15x15 m, na razini osnovnog platoa +16 m. Na taj način će se dobiti galerije širine 9 m, što je onda optimalno za primjenu tehnologije za podzemnu eksploataciju. Prema prvoj varijanti izradit će se ukupno 8 galerija i 32 zaštitna stupa. Ukupna površina koja će se zahvatiti otkopavanjem je 3,7 ha (od čega 1,8 ha otpada na pripremni plato, a 1,9 ha na podzemni kop). Ukupno će se otkopati 1 038 000 m<sup>3</sup>, od čega će biti oko 196 000 m<sup>3</sup> a–gk i 755 000 m<sup>3</sup> t–gk (tablica 3-2 i 3-3) (Galić i dr., 2020.). Na slici 3-4 prikazano je završno stanje razvoja kopa u prvoj varijanti, dok je na slici 3-5 prikazan znakoviti presjek stanja podzemnog kopa u prvoj varijanti.



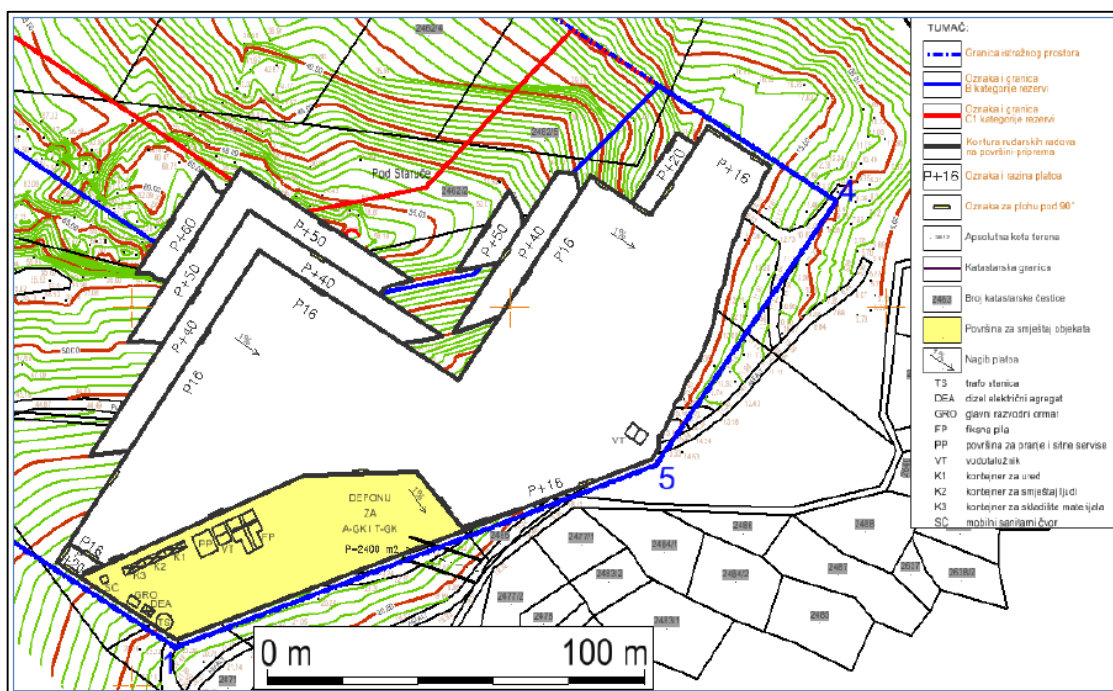
Slika 3-4. Završno stanje razvoja podzemnog kopa u prvoj varijanti (Galić i dr., 2020.)



Slika 3-5. Znakoviti presjek stanja podzemnog kopa u prvoj varijanti (Galić i dr., 2020.)

### 3.3.2.2. Druga varijanta podzemne eksploatacije

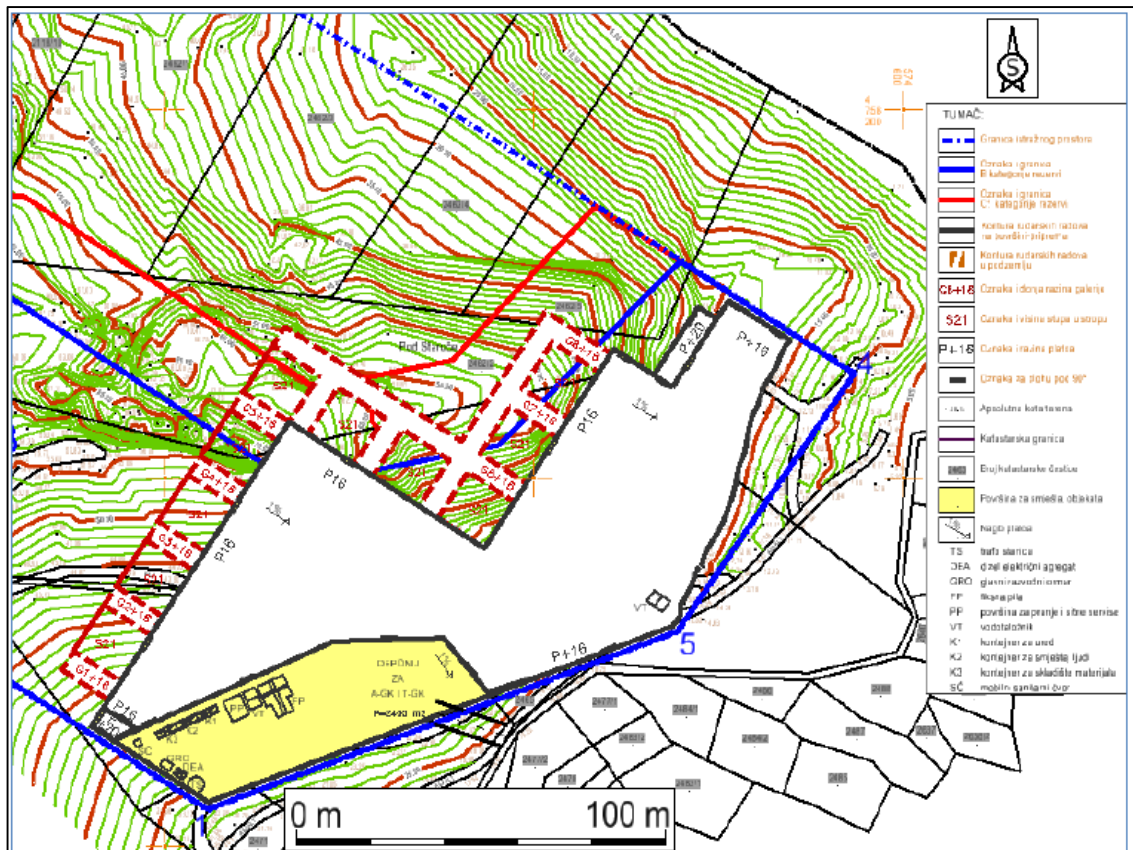
Isto kao i za prvu varijantu kreće se sa izradom pripremnih platoa. Uz plato 16, zasjeći će se stijena s platoima K40, K50 i K60 kako bi se osigurali stabilni geomehanički uvjeti za ulaz u podzemni dio ležišta. Također, na južnoj strani ležišta formirat će se plato +24 koji će biti u funkciji smještaja rudarskih objekata i deponiranje blokova arhitektonsko–građevnog kamena (slika 3-6) (Galić i dr., 2020.).



Slika 3-6. Pripremini platoi za otvaranje podzemnog kopa u drugoj varijanti (Galić i dr., 2020.)

Nakon izrade platoa na +16 m, slijedi razvoj 8 galerija visine 5 i širine 6 m. Formirani stupovi imati će dimenzije 15x15 m. Kao i u prvoj varijanti napredak galerija će biti dovoljan za ograničenje prvog reda stupova što se može okarakterizirati kao probna eksploatacija. Uz probnu eksploataciju izvest će se i detaljno snimanje geomehaničkih parametara na temelju kojih će se donijeti odluka o konačnim dimenzijama stupova i galerija za ležište „Ljut“ (Galić i dr., 2020.). Razvoj galerija podzemnog kopa u drugoj varijanti je prikazan slikom 3-7.



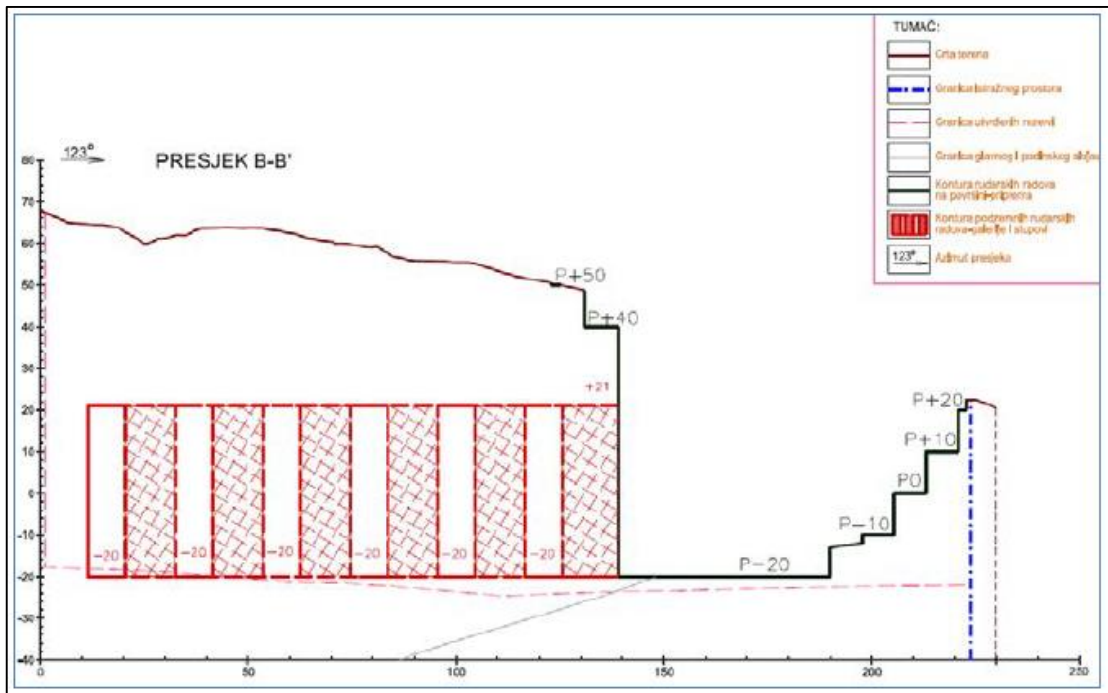


Slika 3-7. Otvaranje i razvoj galerija podzemnog kopa u drugoj varijanti (Galić i dr., 2020.)

Nastavak rudarskih radova uslijedit će potvrdom o stabilnosti izrađenih galerija prilikom probne eksploatacije. U tom koraku, galerije će se proširiti smanjenjem dimenzija stupova sa 15x15 m na 12x12 m, na razini osnovnog platoa +16 m. Također, galerija G1 će završiti na etaži 0 m, u cilju povećanja stabilnosti jugozapadne strane ležišta, a ostale galerije će dosegnuti razinu -20 m. Prema drugoj varijanti, izraditi će se ukupno 8 galerija i 32 zaštitna stupa. Ukupna površina koja će se zahvatiti otkopavanjem iznosi 2,5 ha (od čega 1,4 ha otpada na pripremi plato, a 1,1 ha na podzemni kop). Ukupno će se otkopati oko 884 000 m<sup>3</sup>, od čega će biti oko 167 000 m<sup>3</sup> a-gk i 643 000 m<sup>3</sup> t-gk (tablica 3-4 i 3-5) (Galić i dr., 2020.). Na slici 3-8 je prikazano završno stanje razvoja podzemnog kopa u drugoj varijanti, dok je na slici 3-9 prikazan znakoviti presjek završnog stanja podzemnog kopa u drugoj varijanti.



Slika 3-8. Završno stanje razvoja podzemnog kopa u drugoj varijanti (Galić i dr., 2020.)



Slika 3-9. Znakoviti presjek završnog stanja podzemnog kopa u drugoj varijanti (Galić i dr., 2020)

3.3.2.3. *Količina eksploatacijskih rezervi za prvu i drugu varijantu podzemne eksploatacije arhitektonsko–građevnog kamena*

U sljedećim tablicama dan je prikaz količine eksploatacijskih rezervi a–gk i t–gk za prvu i drugu varijantu podzemne eksploatacije.

**Tablica 3-2.** Količina eksploatacijskih rezervi a–gk za prvu varijantu podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.)

UKUPNI OBUJAM STIJENE m <sup>3</sup>		BILANČNE REZERVE KOJE SE OTKOPAVAJU		EKSPLOATACIJSKI GUBICI 10%	EKSPLOATACIJSKE REZERVE m <sup>3</sup>
		POPRAVNI KOEFIČIJENT	IZNOS, m <sup>3</sup>		
POZICIJA	(1)	(2)	(3) = (1) X (2)	(4) = (3) X e.g. %	(5) = (3) - (4)
IZ PRIPREME	600 000	0,21	126 000	12 600	113 400
IZ GALERIJA	438 000	0,21	91 980	9 198	82 782
<b>UKUPNO</b>	<b>1 038 000</b>		<b>217 980</b>	<b>21 798</b>	<b>196 182</b>

**Tablica 3-3.** Količina eksploatacijskih rezervi t–gk za prvu varijantu podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.)

UKUPNI OBUJAM STIJENE m <sup>3</sup>		BILANČNE REZERVE KOJE SE OTKOPAVAJU		EKSPLOATACIJSKI GUBICI 3%	EKSPLOATACIJSKE REZERVE m <sup>3</sup>
		POPRAVNI KOEFIČIJENT	IZNOS, m <sup>3</sup>		
POZICIJA	(1)	(2)	(3) = (1) X (2)	(4) = (3) X e.g. %	(5) = (3) - (4)
IZ PRIPREME	474 000	0,95	450 300	13 509	436 791
IZ GALERIJA	346 020	0,95	328 719	9 862	318 857
<b>UKUPNO</b>	<b>820 020</b>		<b>779 019</b>	<b>23 371</b>	<b>755 648</b>

**Tablica 3-4.** Količina eksploatacijskih rezervi a–gk za drugu varijantu podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.)

UKUPNI OBUJAM STIJENE m <sup>3</sup>		BILANČNE REZERVE KOJE SE OTKOPAVAJU		EKSPLOATACIJSKI GUBICI 10%	EKSPLOATACIJSKE REZERVE m <sup>3</sup>
		POPRAVNI KOEFIČIJENT	IZNOS, m <sup>3</sup>		
POZICIJA	(1)	(2)	(3) = (1) X (2)	(4) = (3) X e.g. %	(5) = (3) - (4)
IZ PRIPREME	477 000	0,21	100 170	10 017	90 153
IZ GALERIJA	406 672	0,21	85 401	8 540	76 861
<b>UKUPNO</b>	<b>883 672</b>		<b>185 571</b>	<b>18 557</b>	<b>167 014</b>

**Tablica 3-5.** Količina eksploatacijskih rezervi t–gk za drugu varijantu podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.)

UKUPNI OBUJAM STIJENE m <sup>3</sup>		BILANČNE REZERVE KOJE SE OTKOPAVAJU		EKSPLOATACIJSKI GUBICI 3%	EKSPLOATACIJSKE REZERVE m <sup>3</sup>
		POPRAVNI KOEFIČIJENT	IZNOS, m <sup>3</sup>		
POZICIJA	(1)	(2)	(3) = (1) X (2)	(4) = (3) X e.g. %	(5) = (3) - (4)
IZ PRIPREME	376 830	0,95	357 989	10 740	347 249
IZ GALERIJA	321 271	0,95	305 207	9 156	296 051
<b>UKUPNO</b>	<b>698 101</b>		<b>663 196</b>	<b>19 896</b>	<b>643 300</b>

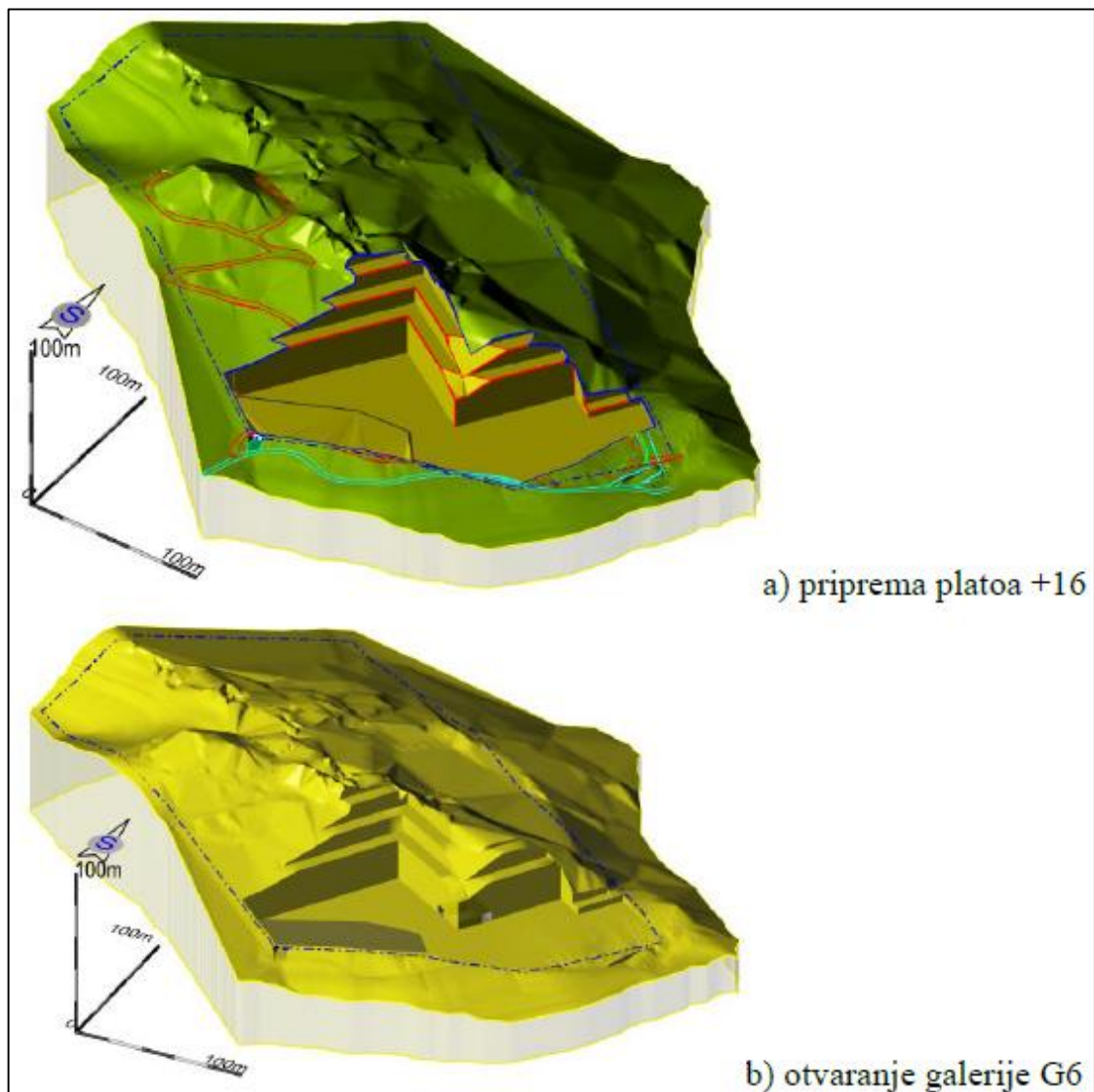
### 3.4. Odabir najpovoljnije varijante podzemne eksploatacije

Prema izračunatim podacima ukupna količina stijenske mase koja bi se iskopala u prvoj varijanti iznosi 1 038 000 m<sup>3</sup>, a u drugoj varijanti 883 672 m<sup>3</sup>, pa je prema toj logici prva varijanta u prednosti. Međutim, kako je i prije navedeno površina koja će se zahvatiti otkopavanjem za prvu varijantu iznosi 3,7 ha, dok za drugu varijantu iznosi 2,5 ha. Kada se uzme u odnos ukupna otkopana količina stijenske mase i zahvaćena površina otkopavanja, onda se druga varijanta ističe svojom efikasnošću, stoga se ona uzima u daljnje razmatranje.

### 3.5. Postupak otvaranja i razvoj podzemnog kopa prema odabranoj varijanti

#### 3.5.1. Prva faza razvoja podzemnog kopa

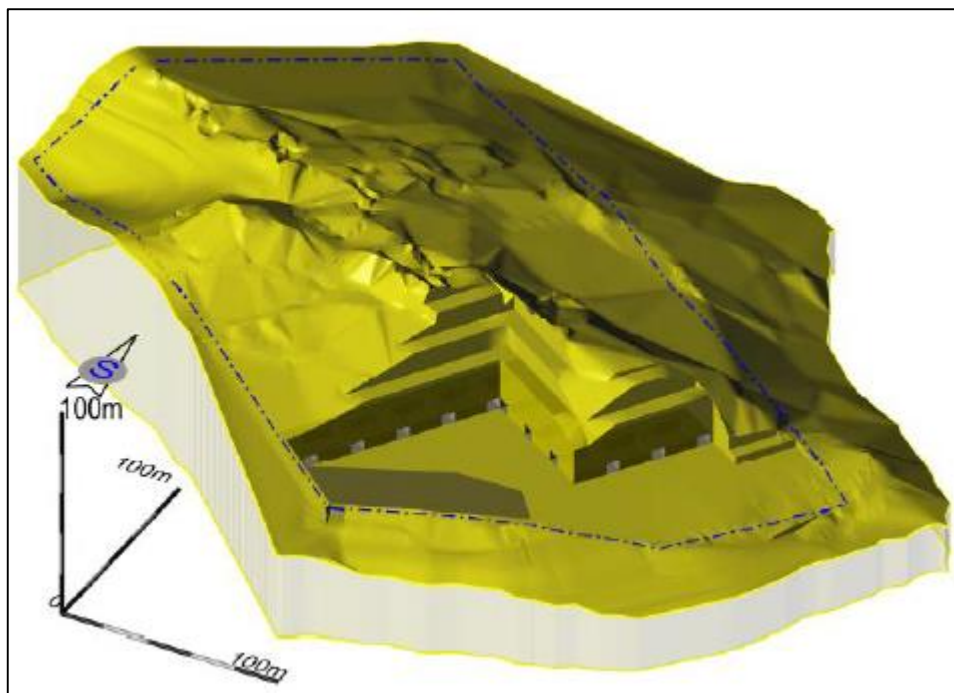
Prva faza razvoja podzemnog kopa započinje izradom platoa +16 m na kojem će se izraditi galerije visine 5 m, a širine 6 m s formiranjem stupova dimenzija 15x15 m. Ova faza će zapravo biti prva prilika za provjeru projektnih parametara, kao i za terenska istraživanja i in-situ mjerenja paralelno s razvojem galerije G6 (Galić i dr., 2020.). Na slici 3-10 je prikazan model pripreme i otvaranje galerije G6 na +16 m.



Slika 3-10. 3D model pripreme i otvaranje galerije G6 n1 +16 m (Galić i dr., 2020.)

### 3.5.2. Druga faza razvoja podzemnog kopa

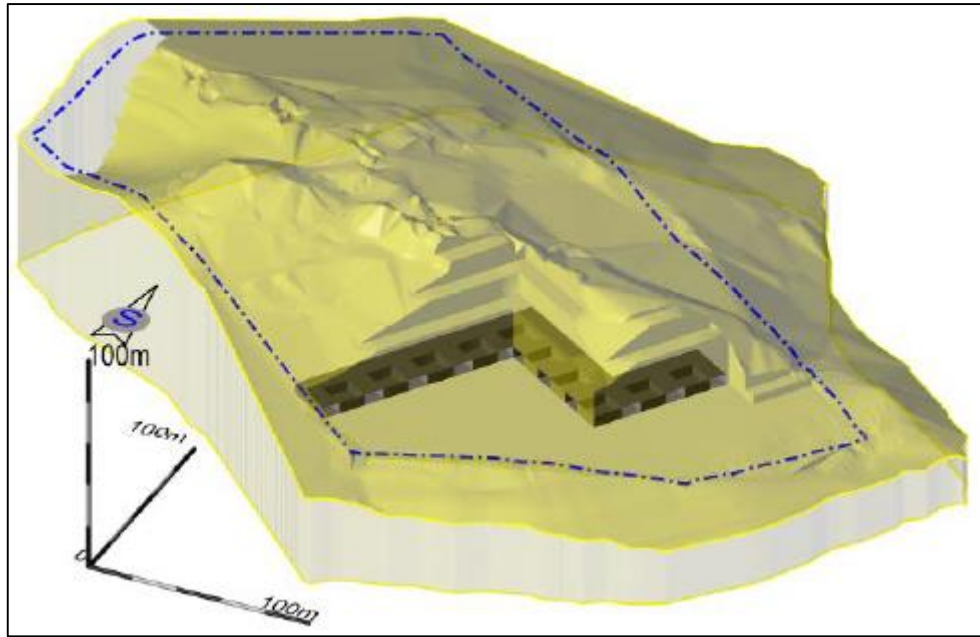
Nakon provjere odabranih dimenzija, započeti će se s izradom i ostalih galerija na razini osnovnog platoa +16 prema istim dimenzijama kao i u prvoj fazi. U ovoj fazi će se provesti potrebna mjerenja naprezanja u stupu i stropu galerija (Galić i dr., 2020.). Na slici 3-11 prikazan je 3D model otvaranja svih galerija na osnovnoj razini platoa +16 m.



Slika 3-11. 3D model otvaranja svih galerija na +16 m (Galić i dr., 2020.)

### 3.5.3. Treća faza razvoja podzemnog kopa

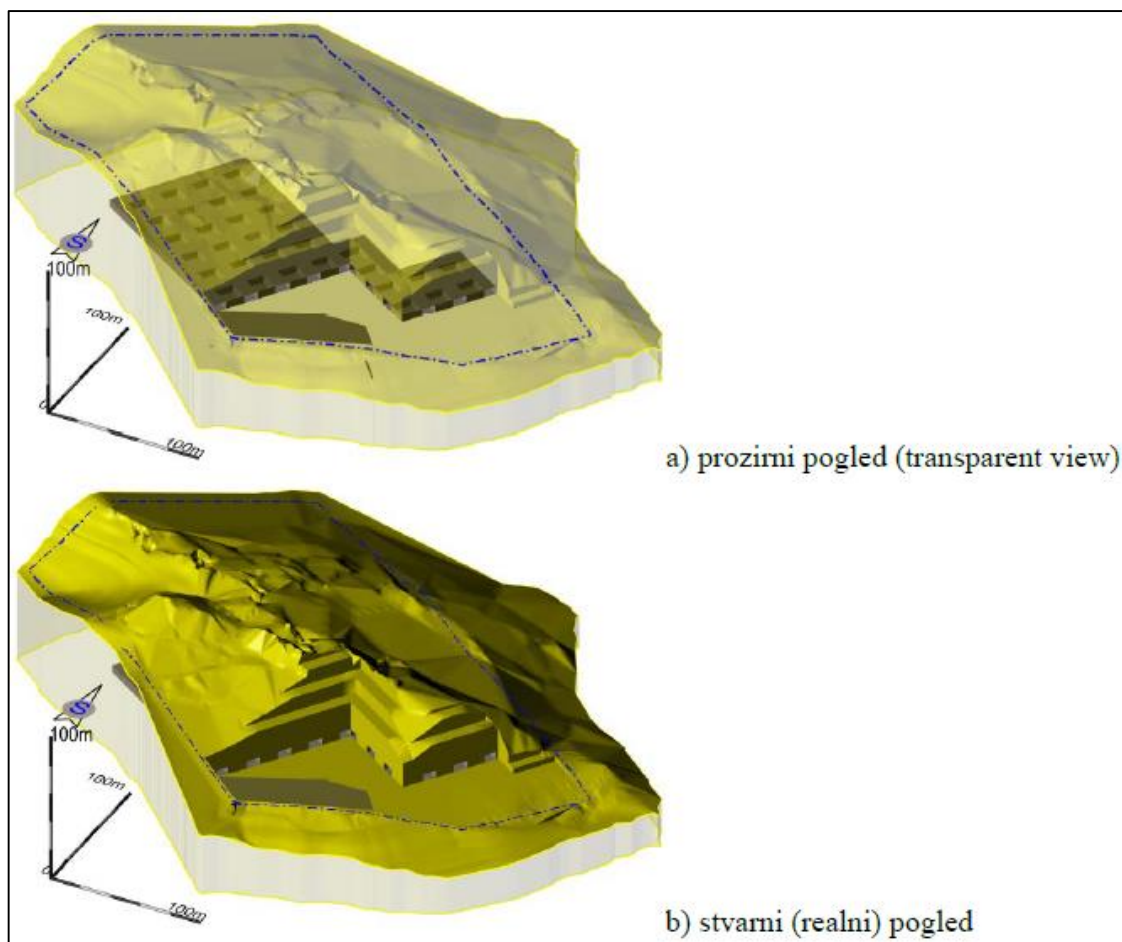
Nakon potvrde svih mjerenih podataka o nosivosti stijenske mase, širine galerija će se povećati na projektiranu dimenzije od 9 m, čime će doći do formiranja prvog reda zaštitnih stupova (Galić i dr., 2020.). Na slici 3-12 prikazan je 3D model proširenih galerija na +16 m.



Slika 3-12. 3D model proširenih galerija na +16 m (Galić i dr., 2020.)

#### 3.5.4. Četvrta faza razvoja podzemnog kopa

U ovoj fazi razvoj galerija će se odvijati prema projektiranim smjerovima, pa će se tako otkopati čitava etaža na +16 m do granice rezervi (Galić i dr., 2020.). Na slici 3-13 je prikazan 3D model otkopanih galerija na +16 m.

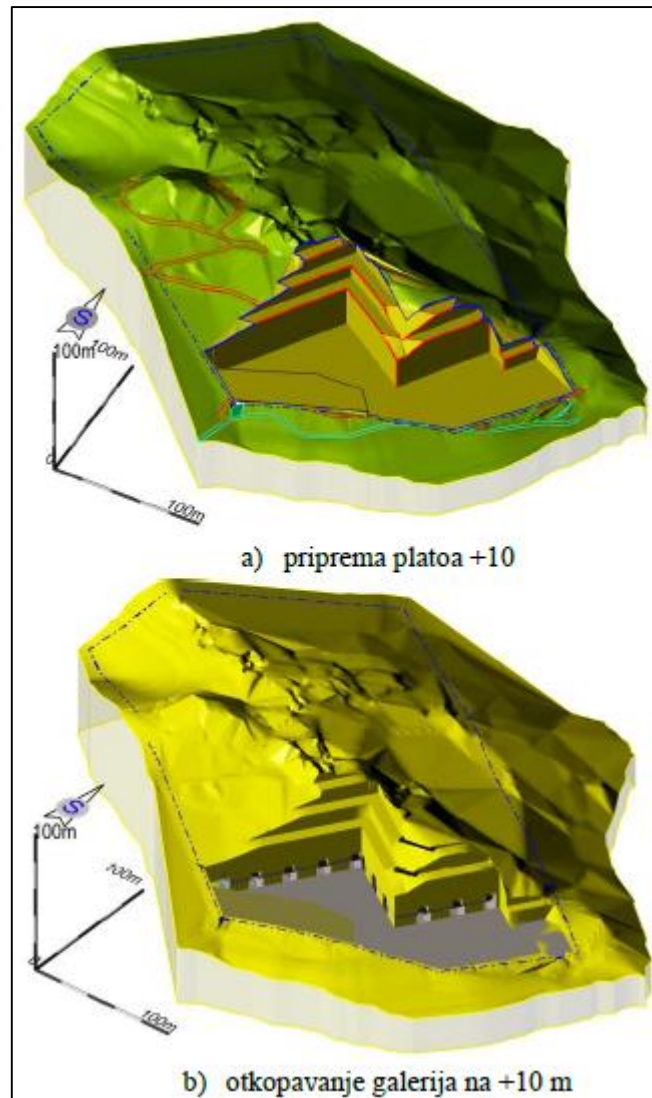


Slika 3-13. 3D model otkopanih galerija na +16 m (Galić i dr., 2020.)

### 3.5.5. Peta faza razvoja podzemnog kopa

U petoj fazi dolazi do razvoja podzemnog kopa do razine +10 m. Ova visina je znakovita iz toga razloga zato što s obzirom na okolnu topografiju predstavlja granicu između visinskog i dubinskog dijela ležišta (Galić i dr., 2020.). Na slici 3-14 prikazana je priprema platoa i razvoj galerija na +10 m.

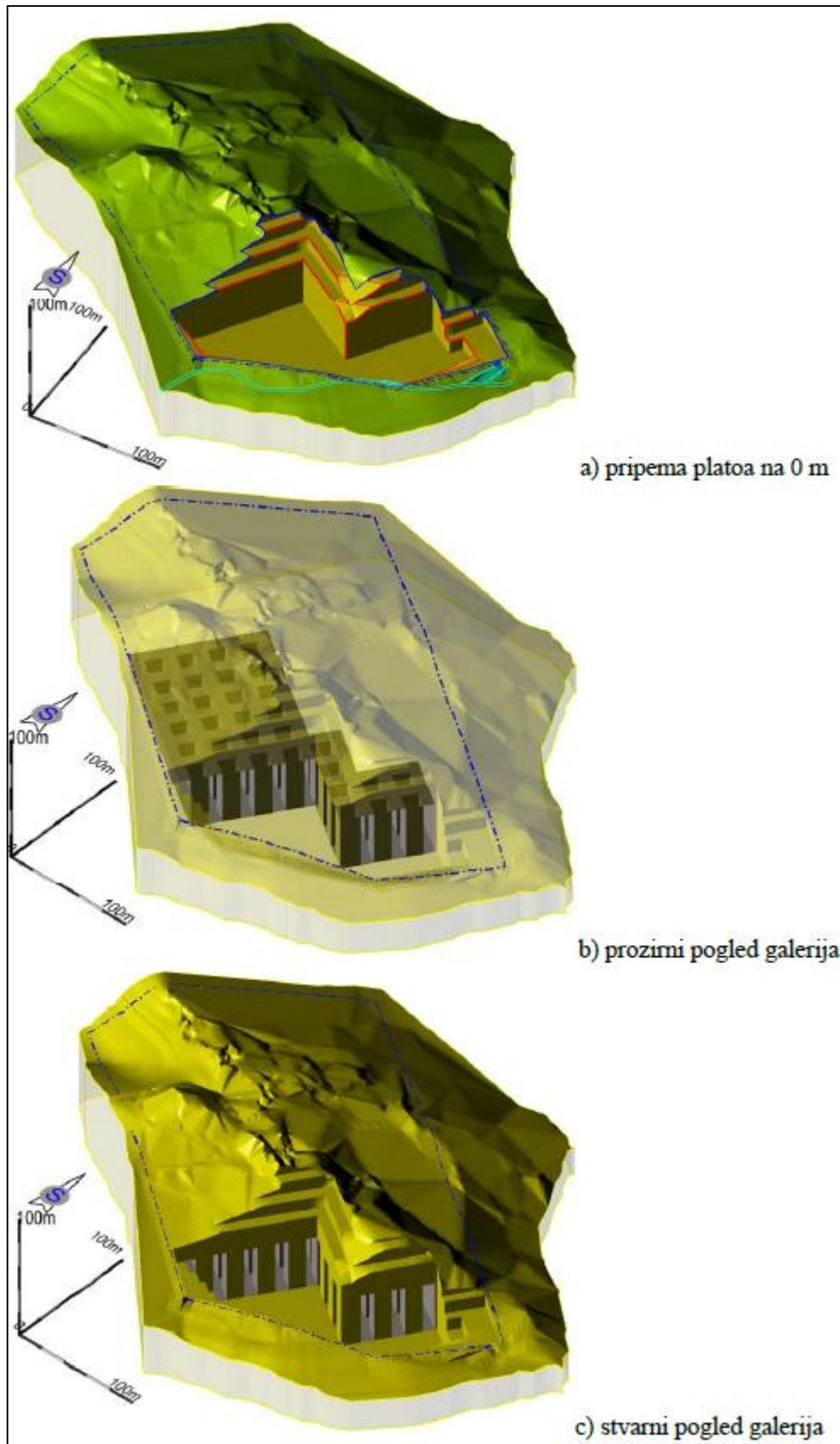




Slika 3-14. 3D model pripreme i otkopavanja galerija na platou +10 m (Galić i dr., 2020.)

### 3.5.6. Šesta faza razvoja podzemnog kopa

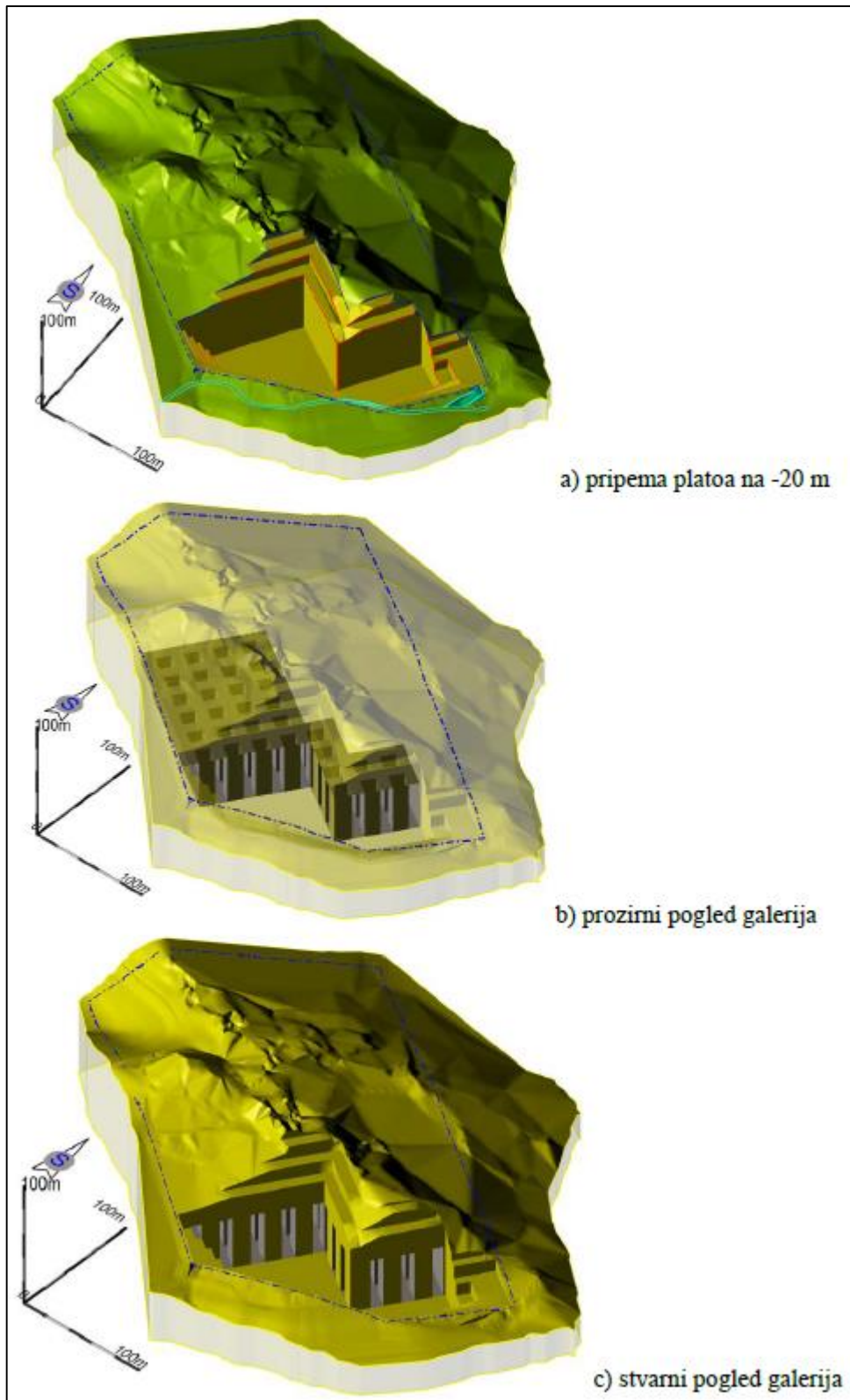
Šesta faza razvoja podzemnog kopa je zadnja faza u smislu eksploatacije iznad razine mora, te u njoj dolazi do razvoja kopa do razine 0 m. Do razine 0 m ležište je bezvodno, pa su iz tog razloga i uvjeti eksploatacije povoljnije nego u zavodnjenom dijelu ležišta, do razine –20 m. Simbolično, ova faza predstavlja svojevrсну prekretnicu u eksploataciji a–gk ležišta „Ljut“ (Galić i dr., 2020.). Slika 3-15 prikazuje 3D model pripreme platoa i otkopavanje galerija na 0 m.



Slika 3-15. 3D model pripreme i otkopavanja galerija na 0 m (Galić i dr., 2020.)

### 3.5.7. Sedma faza razvoja podzemnog kopa

Sedma faza predstavlja zadnju fazu razvoja podzemnog kopa, no isto tako i tehnološki najzahtjevniju fazu. Pojava podzemne morske vode, suženi plato i samim time smanjeni manevarski prostor su čimbenici koji zahtijevaju dodatnu pažnju. S južne strane ležišta napraviti će se silazne ceste za transport ljudi i materijala. Smjer rudarskih radova odvijati će se kao i na višim razinama s ciljem dostizanja razine –20 m, odnosno maksimalne dubine iskopa od 41 m. Prije nego što se uopće i krene na sam iskop u ovoj fazi potrebno je provesti dodatna hidrogeološka istraživanja (Galić i dr., 2020.) Na slici 3-16 prikazan je model pripreme platoa i otkopavanja galerija na –20 m.



Slika 3-16. 3D model pripreme platoa i otkopavanja galerija na -20 m (Galić i dr., 2020.)

#### **4. PRIPREMNI RADOVI I NJIHOVA TEHNOLOŠKA RJEŠENJA ZA PROBNU PODZEMNU EKSPLOATACIJU**

Pripremni radovi na neki način predstavljaju i svojevrsni početak rudarskih radova. Oni u pravilu podrazumijevaju: izgradnju pristupnih cesta (ukoliko one ne postoje), zasijecanje, usijecanje, iskop, poravnanje i nasipavanje terena, ali u ovom slučaju pripremni radovi će i podrazumijevati eksploataciju arhitektonsko–građevnog kamena . Slijed pripremnih radova za svaku vrstu podzemne ili površinske eksploatacije nije isti za bilo koje buduće istražno/eksploatacijsko polje, pa tako i neki od navedenih pripremnih radova mogu biti preskočeni.

##### **4.1. Pripremni radovi za odabranu varijantu podzemne eksploatacije**

Za odabranu varijantu podzemne eksploatacije pripremni radovi mogu podrazumijevati zasijecanje terena i usijecanje u teren korištenjem prvenstveno lančane sjekačice u kombinaciji sa bagerom za skidanje tanjeg sloja otkrivke i eventualne vegetacije na površini terena. Daljnjim razvojem pripremnog platoa na +16 m u navedenu kombinaciju se može i ubaciti dijamantna žična pila, ovisno o kvaliteti stijenske mase i mogućnosti dobivanja zdravih komercijalnih blokova u ovako ranoj fazi rudarskih radova. Sumarno, ono što je cilj je pripreme radove obaviti na način kako se i vrši sama eksploatacija arhitektonsko–građevnog kamena. Također, uz pripremni plato na +16 m izraditi će se galerija G6 visine 5 m i širine 6 m u svrhu probne podzemne eksploatacije, in–situ mjerenja i provjere projektnih parametara.

Što se tiče pristupnog puta prema istražnom polju „Ljut“, to je asfaltna cesta koja se veže na lokalnu cestu Janjina–Osobjava. Cesta prilazi s jugoistočne strane i prolazi uz istočnu stranu ležišta te ujedno tako omogućava pristup visinskim etažama do kojih je izrađena trasa. Dodatni putevi unutar samog polja izraditi će se po potrebi kako bude i napredovala sama eksploatacija. U idejnom projektu zamišljeno je da se ti putevi izrade u širini od 6 m, s poprečnim nagibom prema unutarnjem rubu od 2,5% , uzdužnim nagibom do 20% (za kamionski transport) i najmanjim radijusom okretanja od 7 m (Galić i dr., 2020.).

## **4.2. Potrebna mehanizacija i tehnološka rješenja za pripremne radove za odabranu varijantu podzemne eksploatacije**

### **4.2.1. Potrebna mehanizacija za pripremne radove za odabranu varijantu podzemne eksploatacije**

Kako bi se izveli pripremni radovi za odabranu varijantu podzemne eksploatacije potrebna je i određena vrsta mehanizacije (radnih strojeva). S obzirom da će se pripremni radovi vršiti na način tehnologije eksploatacije arhitektonsko–građevnog kamena uz klasične strojeve za vršenje rudarskih radova biti će potrebni već navedena lančana sjekačica i dijamantna žična pila.

Mehanizacija potrebna za izvođenje pripremnih radova:

- bageri (s hidrauličkim čekićem i lopatom),
- utovarivač,
- kombinirka (s mogućnošću montiranja reznog noža za obradu blokova),
- zračni ili hidraulički bušaći čekić,
- kompresor,
- lančana sjekačica,
- dijamantna žična pila,
- diesel električni agregat (150 kW),
- zračni ili limeni jastuci, ili čak pogurivači,
- drobilice,
- transportni kamioni.

### **4.2.2. Tehnološka rješenja za pripremne radove za odabranu varijantu podzemne eksploatacije**

Kako bi dosegla mogućnost razvoja rudarskih radova, potrebno je stvoriti dovoljno prostora za dobivanje blokova. Potreban prostor postići će se usijecanjem u stijenski masiv kako bi se stvorile nove slobodne površine koje omogućuju rezanje osnovnih i završnih blokova projektiranih dimenzija, te proširivanje radne površine na etaži. Usjek će se izraditi

u obliku trokuta i trapeza, ovisno o uvjetima rada, mogućnostima opreme i strojeva. Dodatno, uz pripremu terena na platou +16 m, teren će se zasjeći na visinama od +60, 50, 40 i 20 m nadmorske visine (Galić i dr., 2020.). Prikaz jednog gotovog usjeka u teren je vidljiv na slici 4-1 na primjeru eksploatacijskog polja „Stara kava“.



**Slika 4-1.** Usjek prema središnjem dijelu ležišta eksploatacijskog polja „Stara kava“ (Kamen Pazin d.d.–Plano)

Izrada usjeka vršit će se na dva načina (Galić i dr., 2020.):

- Kombiniranim piljenjem; lančanom sjekačicom (horizontalni rez) i dijamentnom žičnom pilom (vertikalni rezovi),
- Piljenjem dijamentnom žičnom pilom horizontalnog reza i vertikalnih rezova.

#### 4.2.2.1. Izrada trokutnog usjeka

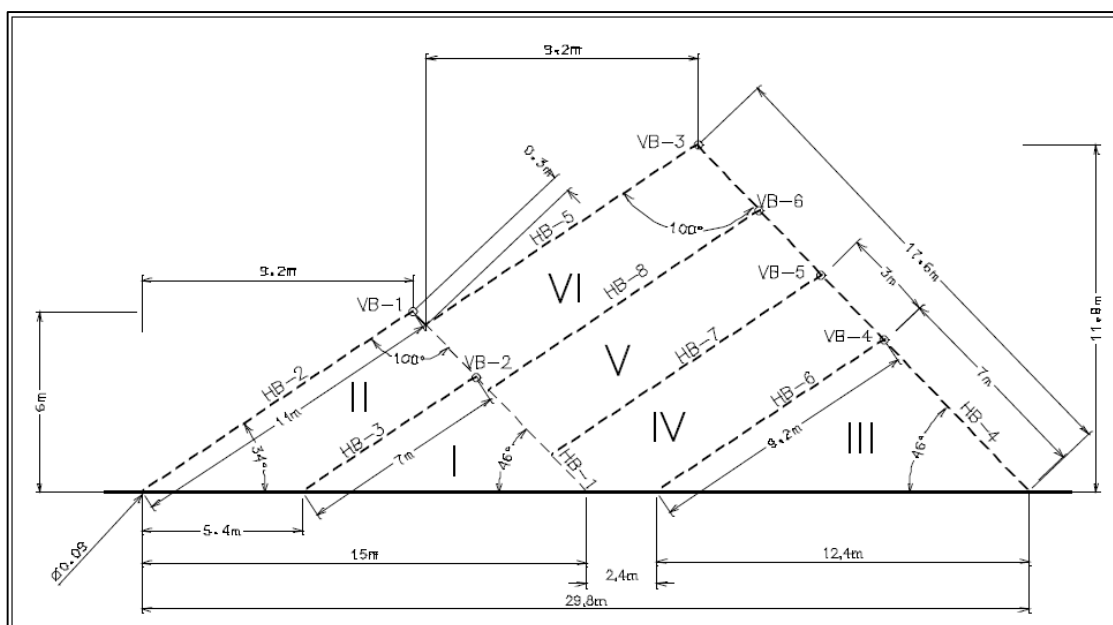
Pripremne radnje za izradu usjeka primjenom dijamentne žične pile sastoje se od bušenja horizontalnih i vertikalnih bušotina. Dimenzije usjeka za kop „Ljut“ su određene temeljem iskustvenih podataka i realnih pokazatelja na samom terenu. Poseban naglasak se stavlja na

kut dobiven križanjem kraćih stranica trokuta koji treba biti veći od  $90^\circ$ , a poželjno je od  $95-105^\circ$  poradi laganijeg odvaljivanja blokova iz usjeka (Galić i dr., 2020.).

Trokutni usjek prikazan je slikom 4-2 i ima sljedeće dimenzije (Galić i dr., 2020.):

- dubina usjeka 11,8 m,
- širina ulaza 29,8 m,
- kraća stranica (desna) 17,6 m,
- duža stranica (lijeva) 22,0 m,
- projektirana visina usjeka (etaže) 0-10,0 m,
- kut između stranica  $100^\circ$ .

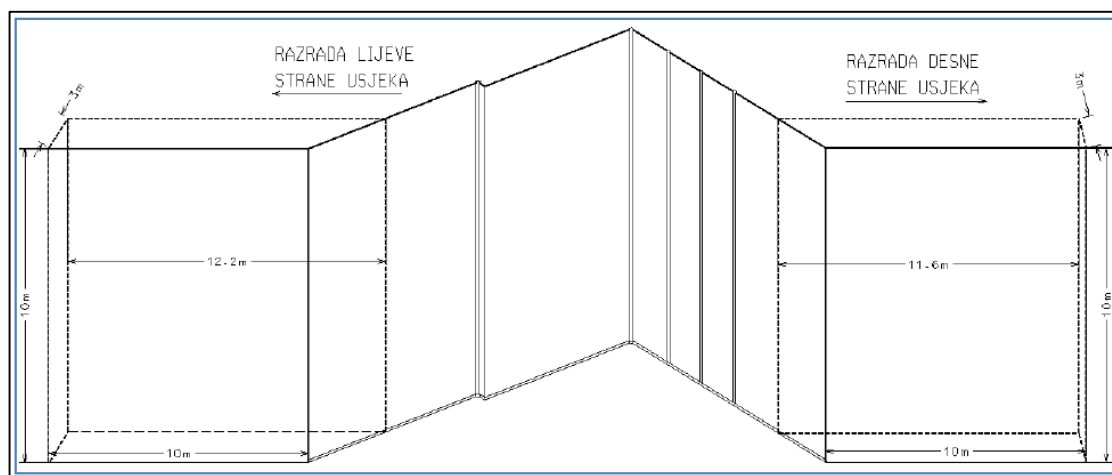
Na slici 4-2 se može vidjeti da duža stranica trokuta nije ravna već ima otklon od pravca u iznosu od 0,3 m. Razlog tome je ostavljanje minimalne širine koju zauzme bušilica prilikom izrade horizontalne bušotine HB-5. Također, usjek je načelno podijeljen u dva segmenta od kojih prvi segment čini I. i II. blok, dok drugi segment predstavljaju blokovi III., IV., V. i VI. Ukupna površina usjeka iznosi  $175 \text{ m}^2$  (Galić i dr., 2020.).



Slika 4-2. Shema izrade usjeka sustavom trokuta (Galić i dr., 2020.)



Kako se usjek izvodi u dva segmenta, prvo se pile blokovi I i II (1. segment), pa zatim blokovi III, IV, V, VI (2. segment). Prije početka izrade usjeka, mora se osigurati dovoljna širina gornje etaže tako da se usijecanjem donje etaže ne smanji radna površina. Širina gornje etaže mora biti jednaka ili veća od dvostruke širine usijecanja. Na slici 4-2 možemo vidjeti da nakon izrade trokutnog usjeka prijeći će se na razradu lijeve i desne strane usjeka Galić i dr., 2020.).



**Slika 4-3.** Shema razrade trokutnog usjeka (Galić i dr., 2020.)

#### 4.2.2.2. Izrada trapeznog usjeka

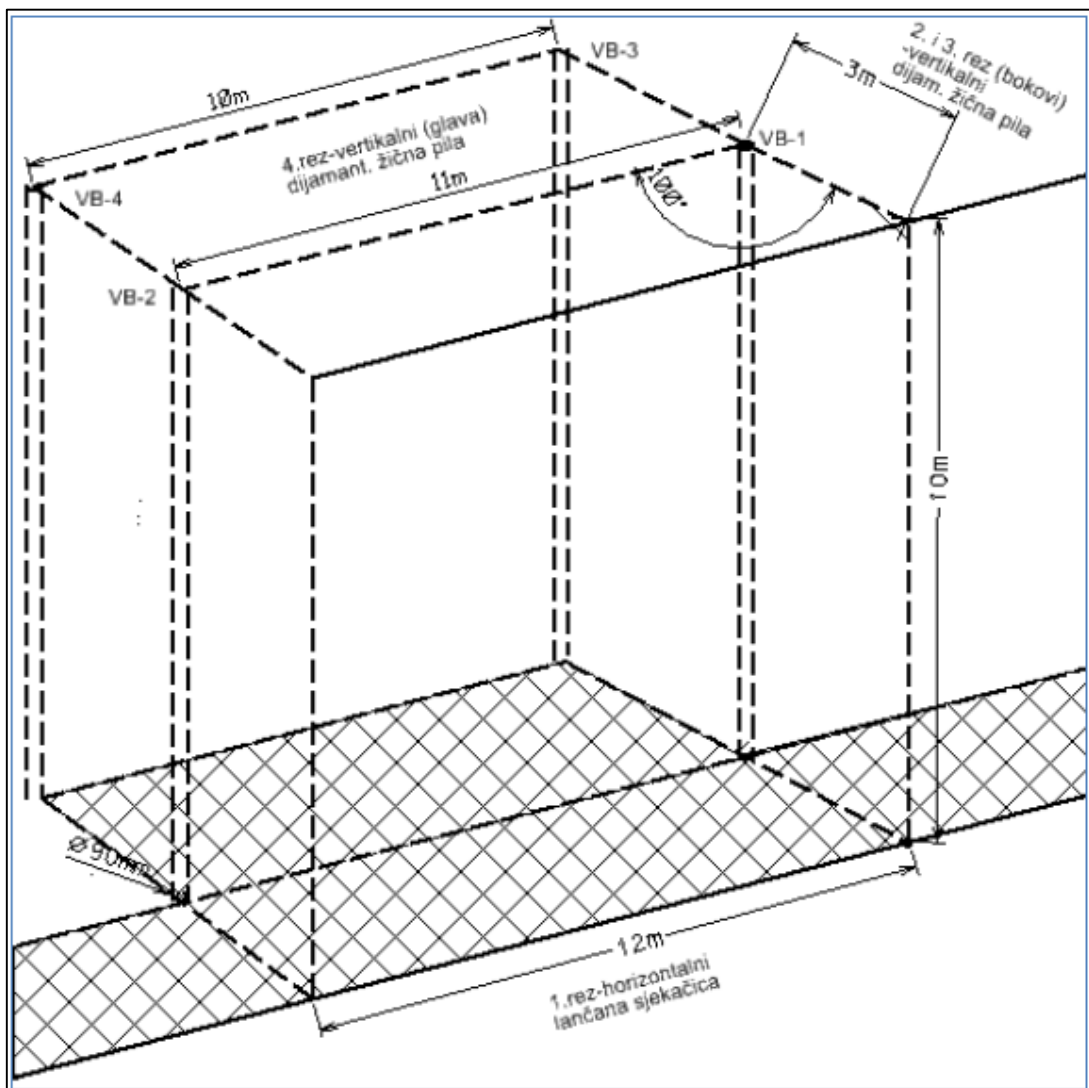
Izrada trapeznog usjeka je jednostavnija od izrade trokutnog usjeka, a ovaj tip usjeka će se izvoditi kombiniranim piljenjem. Trapezni usjek će se izraditi na središnjem dijelu etaže. Kao i za trokutni usjek, dimenzije usjeka određene su temeljem iskustvenih podataka i realnih pokazatelja na terenu. Kut dobiven križanjem bočnih vertikalnih rezova i reza glave mora biti veći od  $90^\circ$ , a poželjno je od  $95-105^\circ$  radi laganijeg odvajanja blokova iz usjeka (Galić i dr., 2020.).

Usjek trapeznog oblika prikazan je slikom 4-4, a ima sljedeće dimenzije (Galić i dr., 2020.):

- dubina usjeka 6,0 m
- širina ulaza (čela) 12,0 m
- dubina zahvata (širina bloka) 3,0 m

- broj zahvata (blokova) 2 kom
- projektirana visina usjeka (etaže) do 10 m
- kut između vertikalnih rezova  $100^\circ$

Usjek će se raditi u dva zahvata, s tim da će razina narednog horizontalnog reda biti viša od prethodnog za debljinu mača lančane sjekačice ( $d=4$  cm), što generalno daje pad etaže od 1%. Nakon obaranja prvog osnovnog bloka, može se paralelno raditi na produbljivanju usjeka i razrade cjelokupne etaže. Iz tog razloga će se prvi horizontalan rez lančanom sjekačicom uvijek izrađivati duž cijelog fronta pripadajuće etaže, za cijelu duljinu noža od 3,2 m. Ukupna površina usjeka iznosi  $66 \text{ m}^2$  (Galić i dr., 2020.).



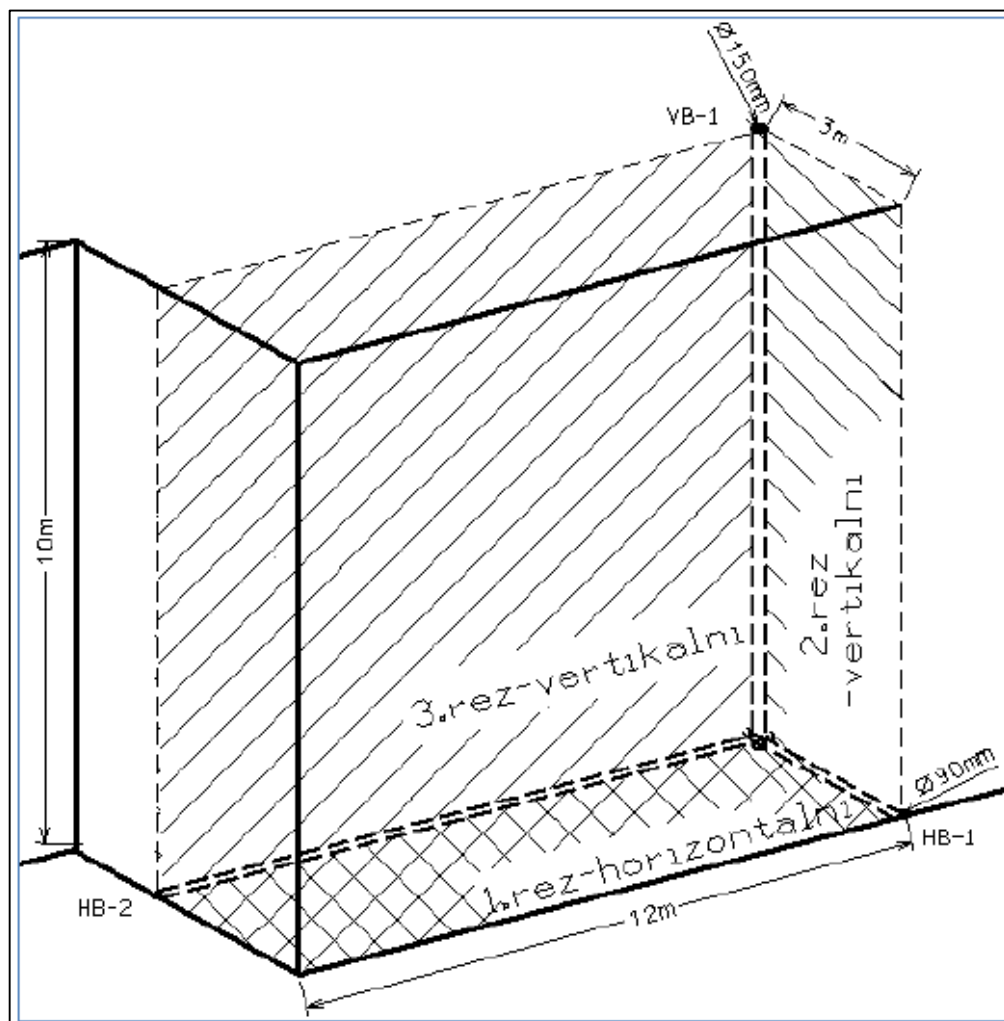
Slika 4-4. Shema izrade trapeznog usjeka (Galić i dr., 2020.)

#### 4.2.2.3. Dobivanje arhitektonsko–građevnog kamena na platoima

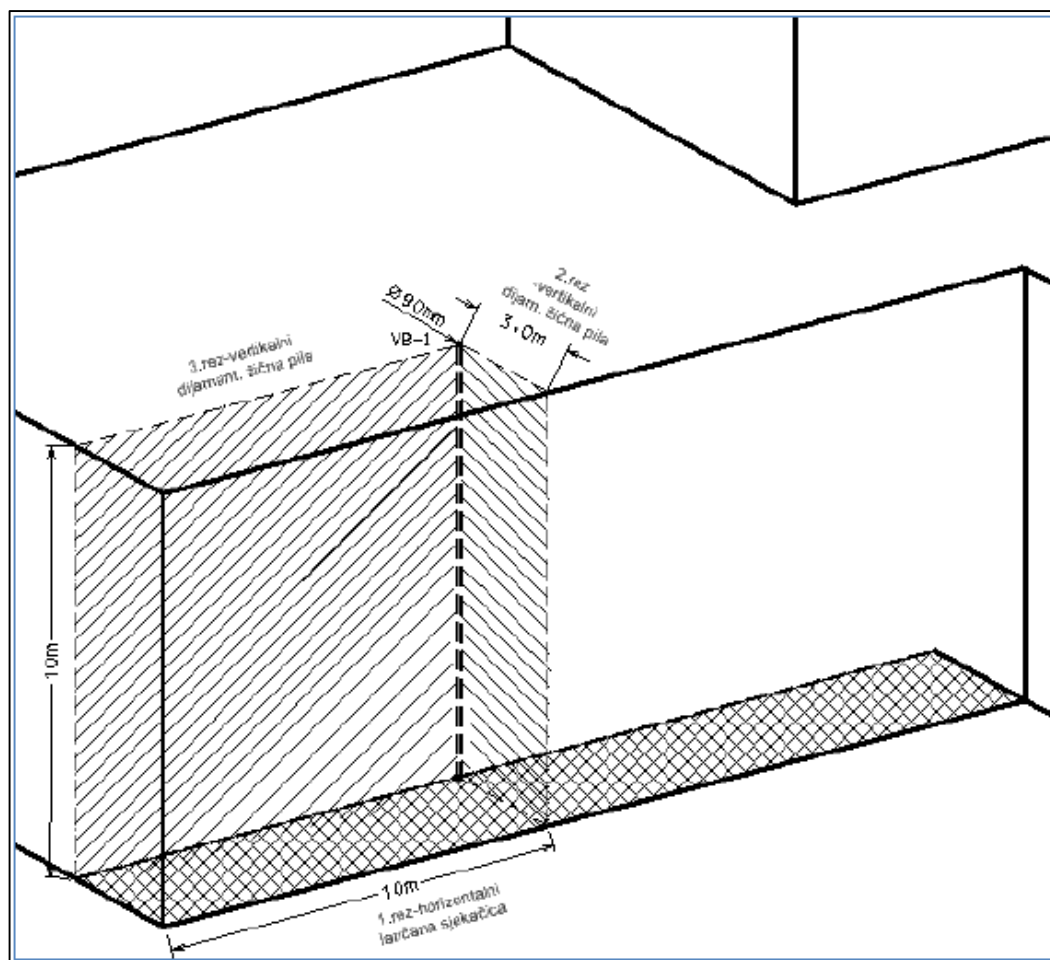
Dobivanje osnovnih blokova arhitektonsko–građevnog kamena kako je već navedeno odvijati će se na dva načina, a oni su:

- dobivanje osnovnih blokova dijamantnom žičnom pilom (slika 4-5)
- dobivanje osnovnih blokova kombinacijom lančana sjekačice i dijamantne žične pile (slika 4-6)

Prilikom dobivanja osnovnih blokova potrebno je napraviti određene pripreme radnje, a to su bušenje horizontalnih i vertikalnih bušotina kako bi se mogla provući žica dijamantne pile.

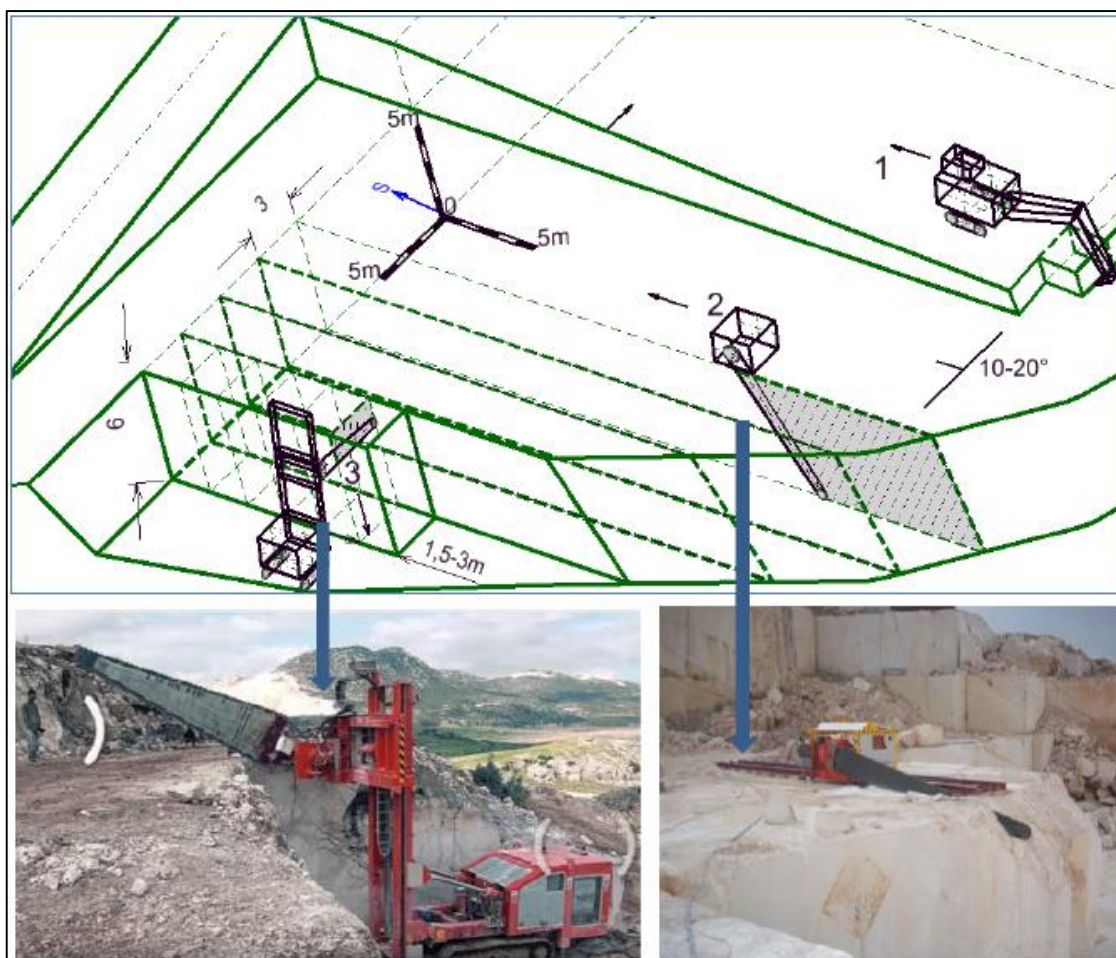


Slika 4-5. Shema pripreme i dobivanja bloka dijamantnom žičnom pile (Galić i dr., 2020.)

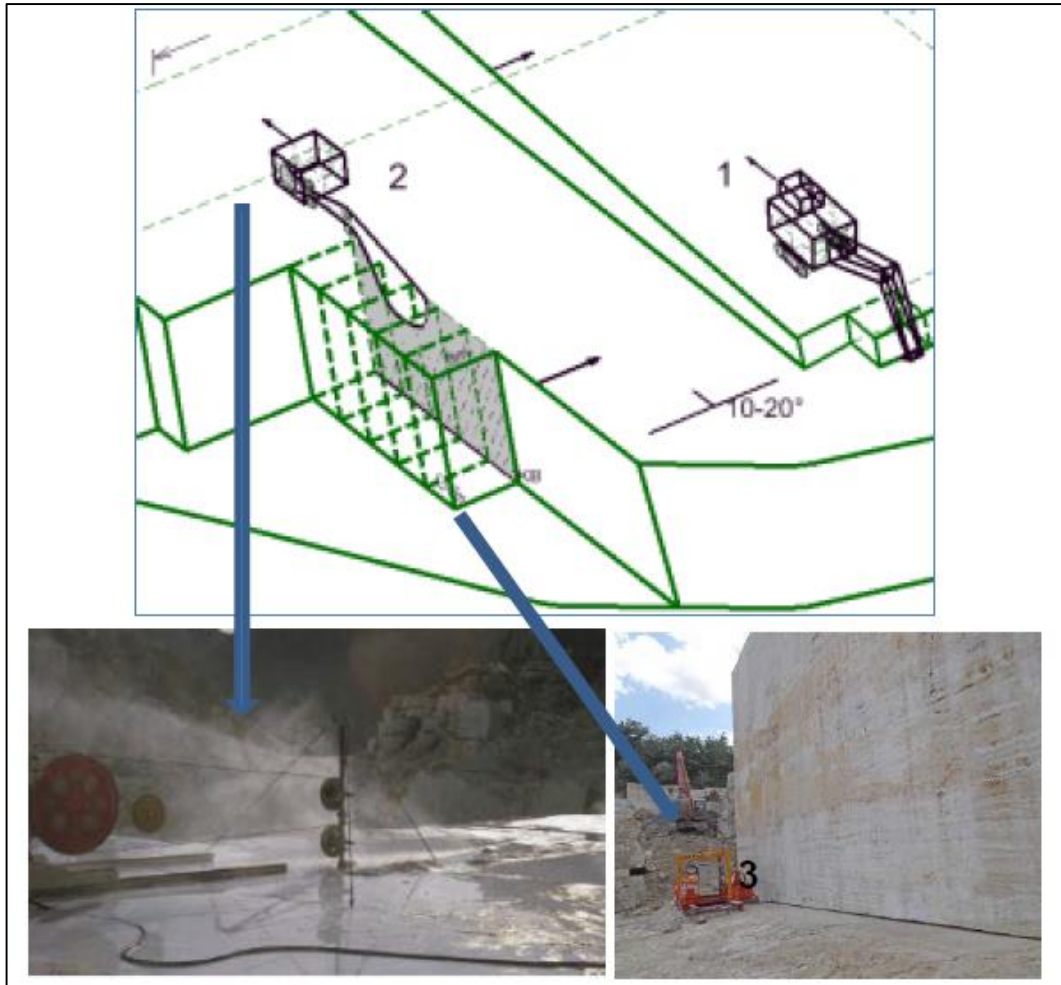


**Slika 4-6.** Shema dobivanja blokova lančanom sjekačicom i dijamantnom žičnom pilom (Galić i dr., 2020.)

Uz standardne metode dobivanja osnovnih blokova arhitektonsko–građevnog kamena, također se dobivanje može izvoditi strojnim rezanjem i/ili cijepanjem stijene ili kombiniranim metodama (sjekačice, žične pile, disk pile i namjenski strojevi). Postoji više načina dobivanja blokova namjenskim strojevima i alatima, a odabir tehnologije će ovisiti o uvjetima u ležištu i to prvenstveno fizikalno–mehaničkim značajkama stijene. Na slikama 4-7 i 4-8 su prikazani neki od načina strojnog dobivanja osnovnih blokova u slojevitim ležištima sedimentnih stijena (Galić i dr., 2020.).



**Slika 4-7.** Shematski i foto prikaz dobivanja blokova kombinacijom lančanih sjekačica (1–bager; 2–lančana sjekačica L=8 m, uzdužni vertikalni rez; 3–lančana sjekačica L=4 m, poprečni vertikalni rez) (Galić i dr., 2020.)



**Slika 4-8.** Shematski i foto prikaz dobivanja blokova sjekačicom i dijamantnom žičnom pilom (1–bager; 2–dijamantna žična, vertikalni rezovi pila; 3–lančana sjekačica L=3–4 m, horizontalan rez) (Galić i dr., 2020.)

Ovdje bi još trebalo istaknuti da kod blokova arhitektonsko–građevnog kamena najčešće kupac gleda njegove vizualne karakteristike i iz tog razloga nije isto kada se osnovni blok dobiva dijamantnom žičnom pilom ili lančanom sjekačicom. Obično kada se osnovni blok dobiva dijamantnom žičnom pilom u pravilu on ima ljepši vizualni dojam, odnosno „ispolirani“ izgled, dok kod lančane sjekačice blok ima grublji „izgrebani“ izgled. Dodatno, taj grublji izgled osnovnog bloka kod dobivanja s lančanom sjekačicom se može malo ispraviti drugačijim postavljanjem zuba sjekačice. Na slikama 4-9 i 4-10 mogu se uočiti jasno navedene razlike rezova dijamantnom žičnom pilom i lančanom sjekačicom.

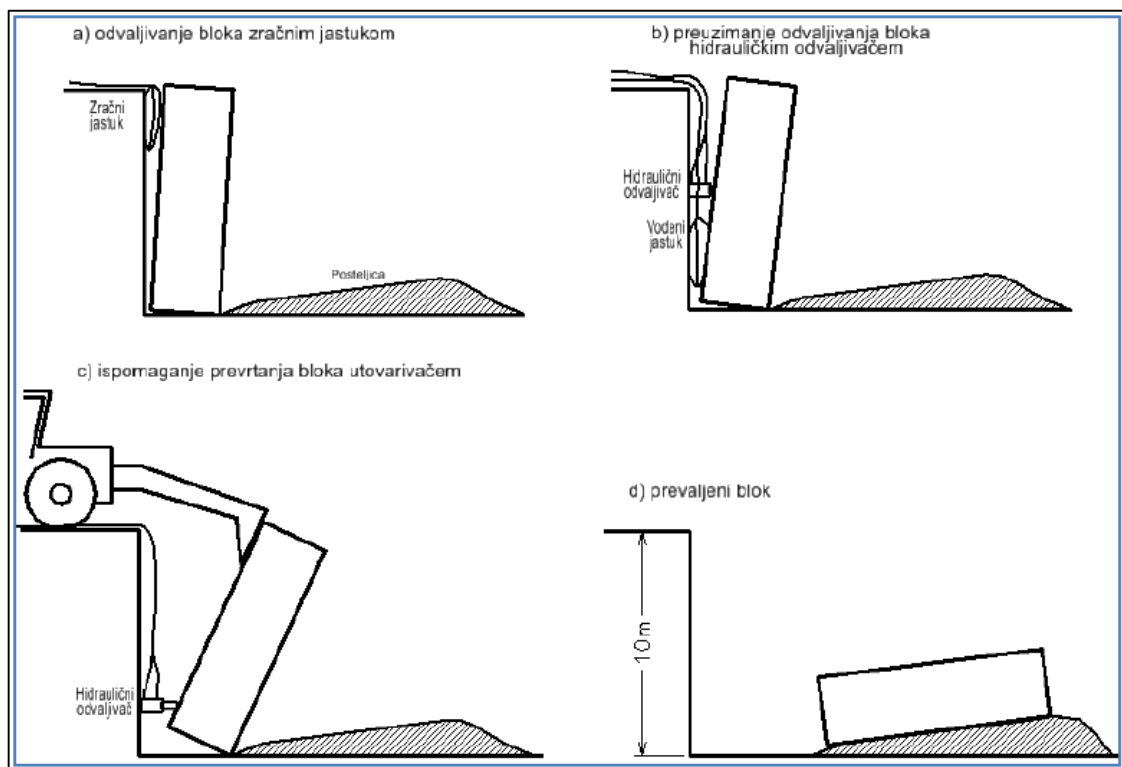


**Slika 4-9.** Izgled reza dijamantne žične pile (Kamen Pazin d.d.–Plano)



**Slika 4-10.** Izgled reza lančane sjekačice (Kamen Pazin d.d.–Plano)

Nakon što se blokovi izrežu potrebno ih je odvaliti i oboriti kako bi se mogli oblikovati završni blokovi. Kada su blokovi odvaljeni potrebno ih je oboriti na prednju plohu. Dimenzije prednje plohe biti će oko 10x12 m. Sam blok će se odvaljivati od stijenskog masiva korištenjem vodenih ili zračnih jastuka te hidrauličkih odvaljivača, a po potrebi i uz pripomaganje utovarivača. Na mjestu gdje se očekuje prevrtanje bloka, potrebno je izraditi posteljicu u dimenzijama najmanje 12x14 m. Posteljica će se izraditi od kamenog otpada i sitneži, dok granulacija materijala nije strogo određena. Pritom, moramo pripaziti da prilikom izrade posteljice nemamo veće komade kamenog otpada jer bi pri obaranju mogli uzrokovati pucanje bloka. Sama debljina posteljice se kreće od 0,3 m, na mjestu prijanjanja donjeg ruba, do 0,6 m, na mjestu prijanjanja gornjeg ruba bloka (Galić i dr., 2020.). Na slici 4-11 je prikazano prevrtanje osnovnog bloka.

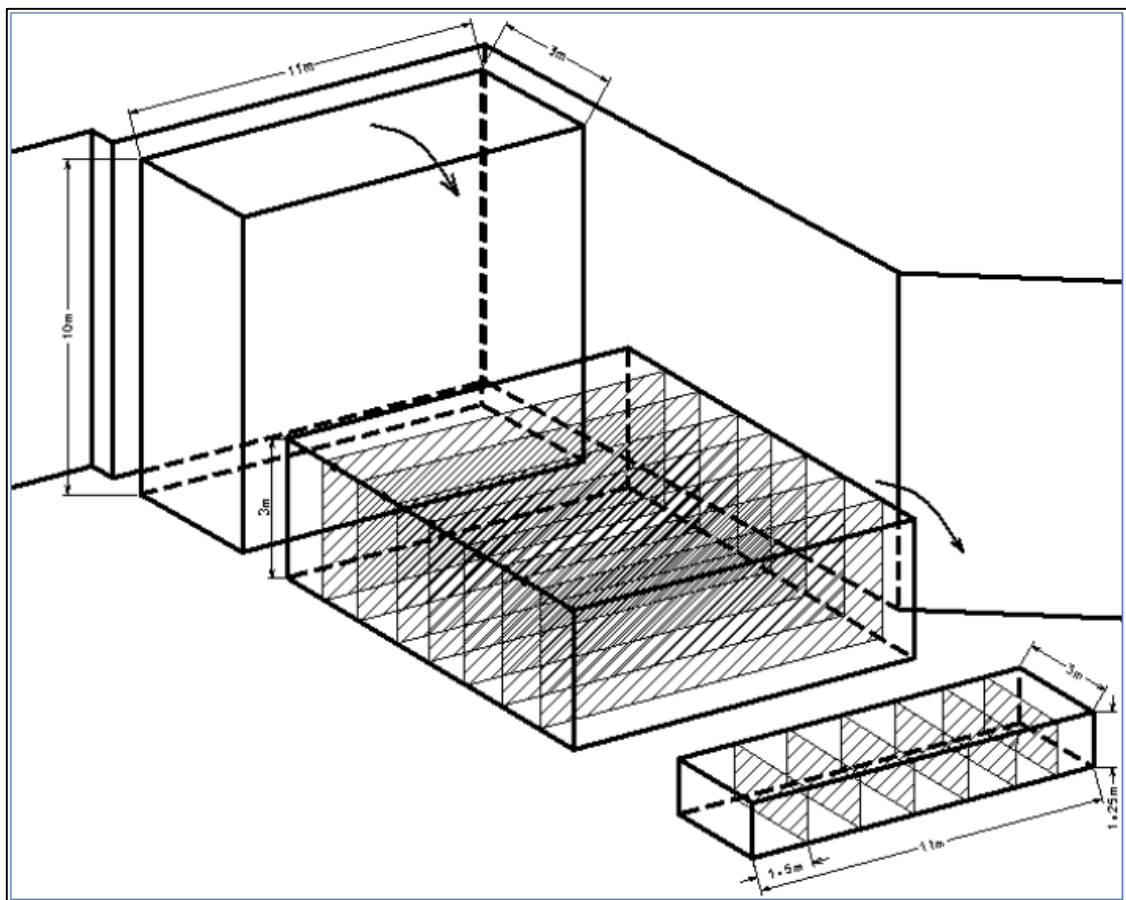


Slika 4-11. Odvaljivanje i prevrtanje osnovnog bloka

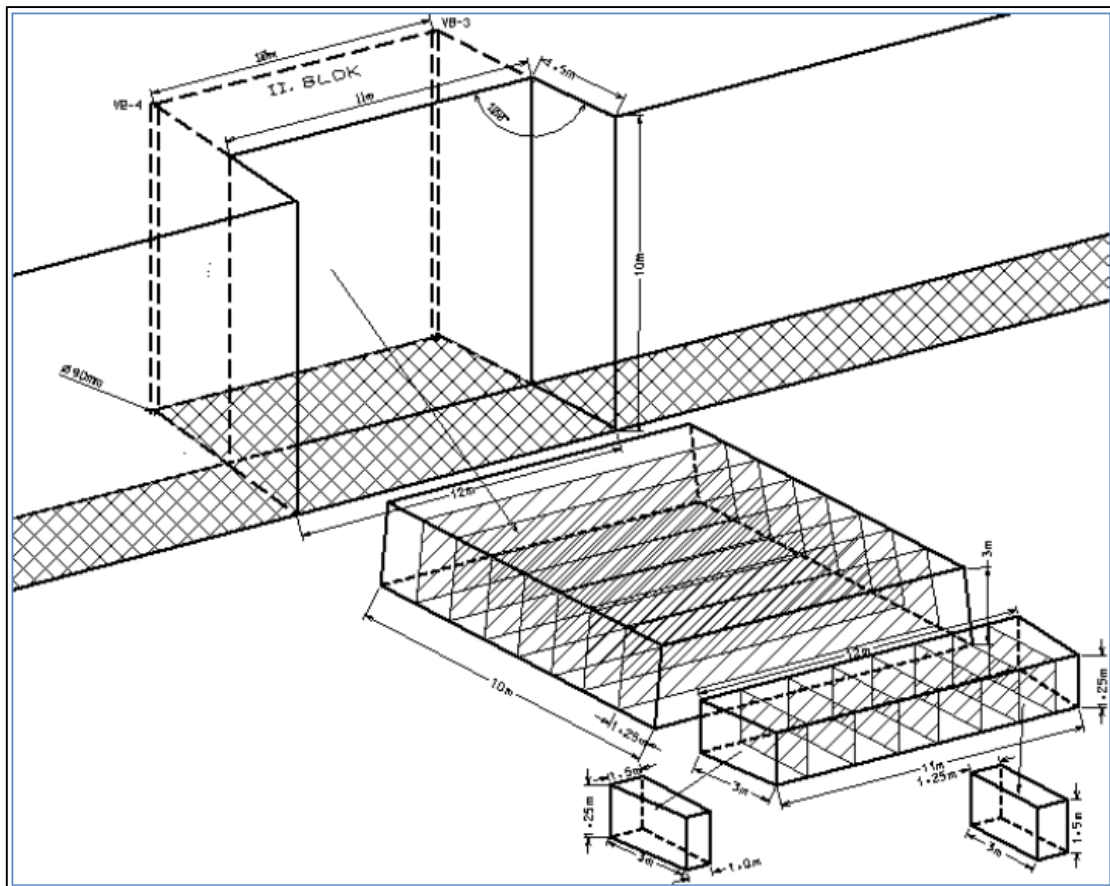
Kada se osnovni blok prevali na radnu površinu etaže, daljnjim raspilavanjem će se oblikovati i dobiti završni blokovi. Posteljica bi trebala biti napravljena od sipkog materijala tako da se može napraviti slobodan put za provlačenje dijamantne žice ispod osnovnog bloka. Prije daljnje obrade, blok je potrebno prvo očistiti ispiranjem vodom, te pažljivo pregledati i obilježiti pukotine. Vodeći računa o pružanju pukotina u bloku, odredit će se i označiti završni blokovi, a pritom će se nastojati da oni budu projektiranih dimenzija, tako



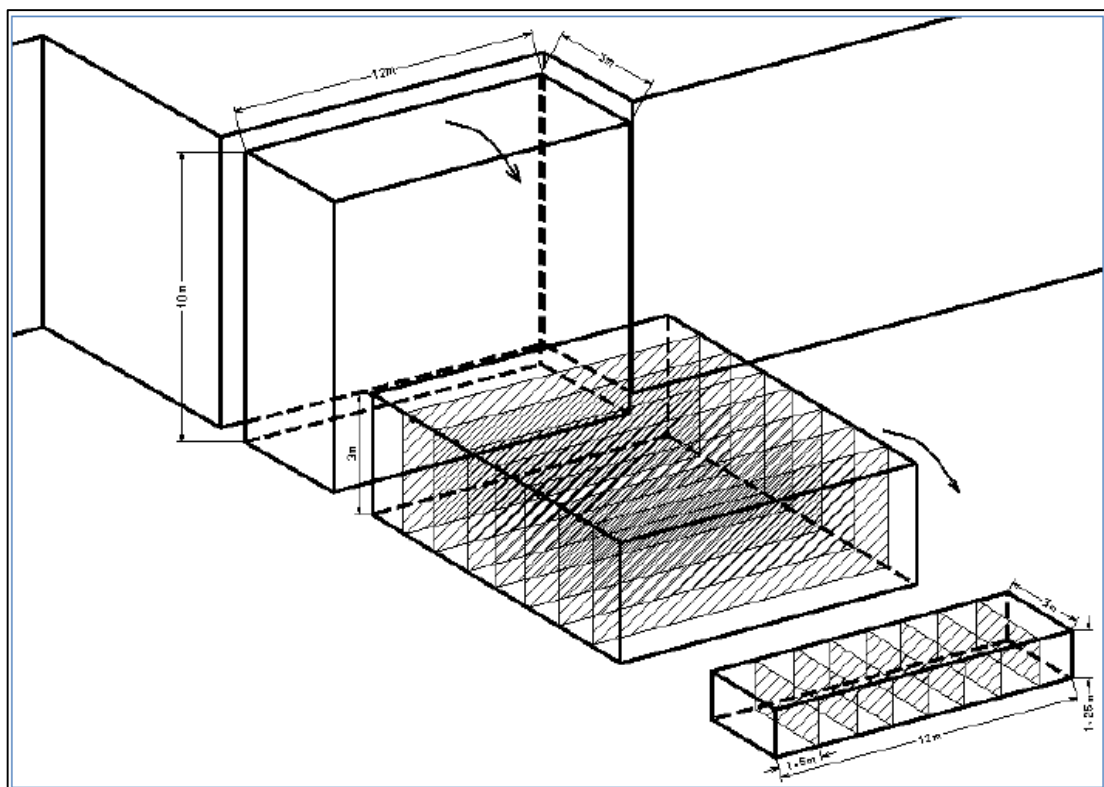
da iskorištenje stijenskog masiva bude što je veće moguće. Ukoliko postoje određeni pukotinski sustavi koji mogu uzrokovati odlamanje i klizanje dijela bloka, od imperativa je da se takvi dijelovi bloka otklone prije nastavka radova, odnosno postavljanja jastuka, povlačenja žice, odvaljivanja blokova i piljenja, a pritom treba poštivati sve norme zaštite na radu kako bi radno okruženje bilo sigurno. Osnovni blokovi dobivat će se na različitim pozicijama i to iz trokutnih (slika 4-12) i trapeznih (slika 4-13) usjeka, kao i sa otvorenih platoa (slika 4-14) (Galić i dr., 2020.).



**Slika 4-12.** Shema raspilavanja osnovnih i dobivanja završnih blokova iz trokutnog usjeka (Galić i dr., 2020.)



Slika 4-13. Shema dobivanja i raspilavanja prvog osnovnog bloka iz trapeznog usjeka (Galić i dr., 2020.)



Slika 4-14. Shema dobivanja završnih blokova na razvijenoj etaži (Galić i dr., 2020.)

Zbog mogućih prirodnih diskontinuiteta unutar blokova, veliki dio blokova će trebati dodatno promotriti i oblikovanjem dotjerati, dajući im približno kvadratičan oblik, u svrhu povećanja tržišne vrijednosti. Dodatnom obradom će biti obuhvaćeni i tomboloni, jer se cijeni da se i oni isplate obrađivati. Tako oblikovani blokovi će biti prihvaćeni utovarivačem i biti odloženi na predviđeno mjesto za deponiranje, dok će se kameni ostatak otpremiti na odlagalište. Odveženi blok potrebno je ponovno dodatno procijeniti po pitanju kakvoće i dimenzija, te je iste potrebno uvesti u knjigu evidencije. Na blok je potrebno postaviti njegov broj, oznaku radilišta, kategoriju i označiti najpovoljniji smjer piljenja. Također, blokovi će se razvrstati u kategorije, prema Pravilniku o kategorizaciji. Cijena blokova ovisi o vanjskim faktorima, odnosno ponudi i potražnji na tržištu te o kvaliteti, dimenzijama i geometriji blokova. Najvrjedniji blokovi (I. klase) se smatraju oni koji su geometrijski pravilni komadi stijene, strojno obrađeni sa svih strana, ujednačenog izgleda, bez vidljivih pukotina, s dimenzijama oko 3,0 m x 1,6 m x 1,5 m, volumena od 7 do 8 m<sup>3</sup> (Galić i dr., 2020.).

Što se tiče iskoristivosti stijenske mase u svrhu dobivanja blokova arhitektonsko–građevnog kamena tu će se iskoristivost saznati tek kada se krene s rudarskim radovima i razvojem platoa i realno je za očekivati dosta nizak koeficijent iskoristivosti. Kameni ostatak se može iskoristiti u svrhe tehničko–građevnog kamena s visokim koeficijentom iskoristivosti. Na slici 4-15 prikazani su primjeri komercijalnih blokova.



**Slika 4-15.** Prikaz komercijalnih blokova a–gk (Galić i dr., 2020.)

#### 4.2.2.4. *Razvoj prve Galerije G6 na +16 m nadmorske visine*

Uz izradu platoa na +16 m nadmorske visine, u model pripreme prema idejnom projektu također spada i izrada galerije G6. Dimenzije galerije za probnu podzemnu eksploataciju bi

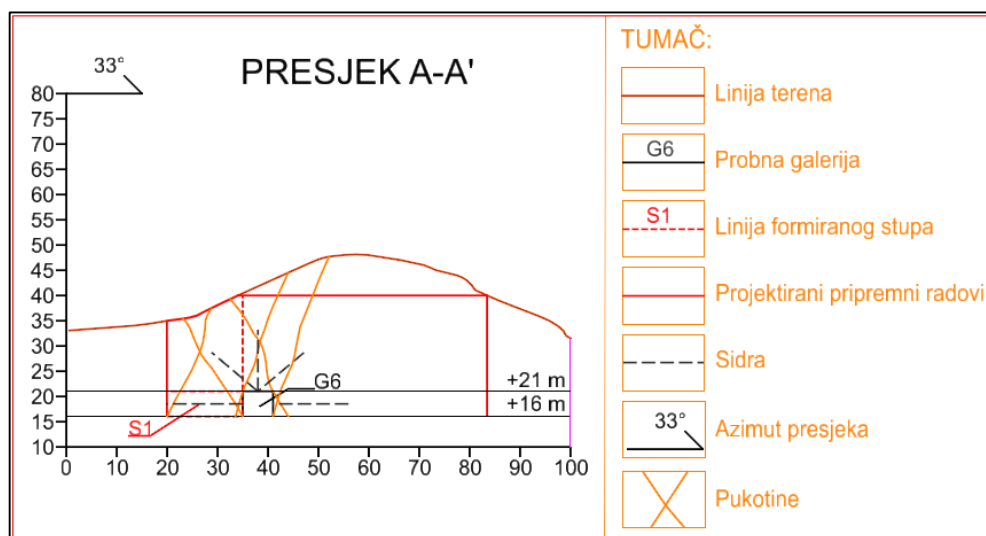
bile 5 x 6 x 3 m. Izrada navedene galerije vršit će se prvenstveno lančanom sjekačicom efektivne duljine noža 3 m. Što se tiče same duljine noža sjekačice postoje one duljine koje su standardizirane na tržištu, međutim u dogovoru s proizvođačem mogu se i naručiti sjekačice sa duljinom noža koja je potrebna za specifične ili projektirane uvjete eksploatacije a–gk..Pri izradi probne galerije najprije bi se izradili horizontalni rezovi, odozgo prema dolje, pa zatim vertikalni rezovi. Stražnji rez se ostvaruje lomljenjem potisnom silom hidrauličkih jastuka. U novije vrijeme se lomi samo dio pripremljenog osnovnog bloka (80–100 cm). Nakon vađenja jednog dijela bloka u otvor se postavlja manja sjekačica pa se reže stražnji rez. Na taj način se dobivaju ravne plohe što u konačnici rezultira većom vrijednosti blokova (Galić i dr., 2020.). Primjeri otvaranja galerija prikazani su slikama 4-16 i 4-17. Također, prilikom izrade probne galerije postoji mogućnost sidrenja stijenske mase kako bi se osigurali uvjeti stabilnosti, ukoliko oni ne budu bili zadovoljavajući prilikom in–situ mjerenja. Shema sidrenja dana je slikom 4-18.



**Slika 4-16.** Otvaranje i razvoj galerije sjekačicom i dijamantnom žičnom pilom (RBJ–Crvene stijene)



**Slika 4-17.** Otvaranje i razvoj galerije specijaliziranom sjekačicom dosega 8,8 m širine (Kamen Pazin d.d.–Kanfanar)



**Slika 4-18.** Shema sidrenja na vertikalnom presjeku A–A' za probnu podzemnu eksploataciju na +16 m

S obzirom da postoji realna potreba za stabilizacijom galerije G6 dan je samostalan proračun za trošak stabilizacije iste u tablici 4-1. Parametri su izvedeni prema idejnom projektu eksploatacije ležišta „Ljut“. Međutim, cijene u kunama po jedinici potrošnog materijala treba uzeti s dozom rezerve, pošto je zbog COVID krize cijena građevnog materijala naglo porasla u zadnjih godinu dana.

**Tablica 4-1.** Trošak stabilizacije probne galerije G6

POTROŠNI MATERIJAL	Jedinica	UTROŠAK	Cijena	TROŠAK
		MATERIJALA		
Otvorena površina koja se štiti	m <sup>2</sup>	UKUPNO	kn/jed.	kn
SIDRO, L=6 m (za stup 1 kom/24 m <sup>2</sup> )	kom	24	1.800	43.200
SIDRO, L=9 m (za galerije 1 kom/4,5 m <sup>2</sup> )	kom	18	2.700	48.600
SIDRO, L=12 m (za stup 1 kom/48 m <sup>2</sup> )	kom	12	3.600	43.200
SIDRO, L=15 m (za galerije 1 kom/9 m <sup>2</sup> )	kom	6	4.500	27.000
			Σ	162.000

Prema proračunu, ukupni trošak stabilizacije probne galerije G6 iznosi 162 000 kn ili 21 600 €. Isto tako, stvarno stanje stijenske mase i strukturnog sklopa koji generalno vlada u istoj, znati će se tek kad se krene sa probnom podzemnom eksploatacijom. Kada se provedu in–situ mjerenja, dodatno će se provesti daljnja studija o stabilnosti, gdje ako je stijenska masa stabilna će se razmatrati daljnja mogućnost smanjivanja zaštitnih stupova i otkopavanja veće količine a–gk.

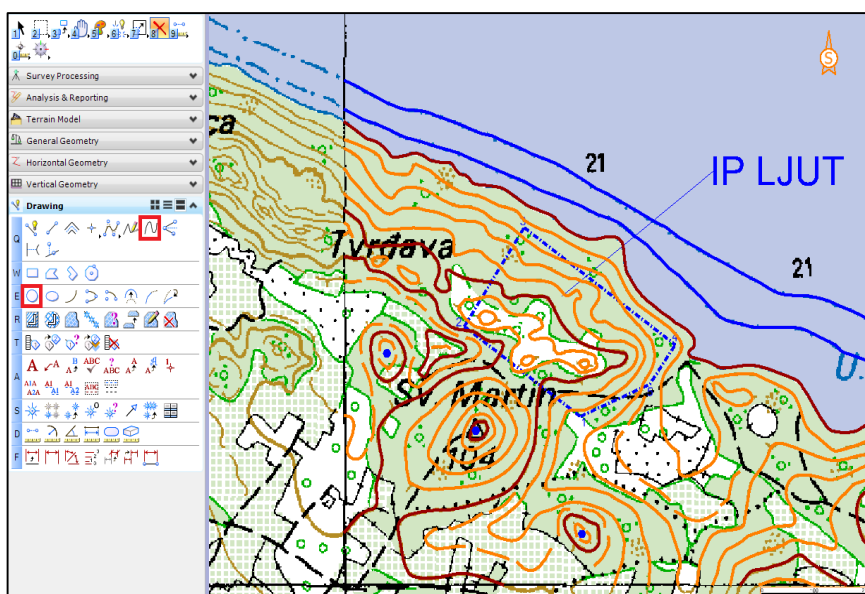
## 5. 3D MODEL PRIPREMNIH RADOVA I NJIHOVI ZNAKOVITI PRESJECI

Upotreba računala i računalnih programa postižu sve veći trend pri projektiranju u rudarstvu. Njihova upotreba je znatno pridonijela pri predočavanju dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih prikaza terena za potrebe rudarstva. Trodimenzionalni modeli služe da se primjenom računalnih programa dobiju veličine kao što su opseg i obujam rudnog tijela, površine etažnih ravnina, nagibi etaža i druge vrijednosti (Polić, 2019.).

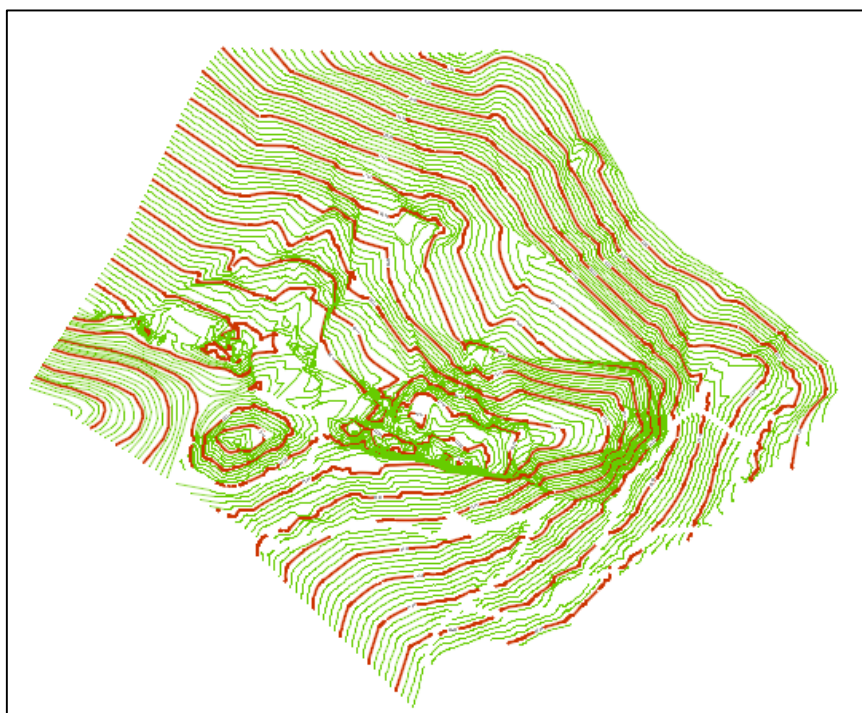
### 5.1. Izrada 3D modela pripremnih radova

Postupak izrade 3D modela pripremnih radova u pravilu je podijeljen u nekoliko ključnih, u praksi etabliranih segmenata. Prvenstveno, sam postupak najčešće započinje izradom digitalnog modela terena na temelju situacijske karte. Situacijsku kartu možemo dobiti ili izraditi na sljedeće načine:

- Izrada situacijske karte postupkom vektorizacije postojećih karata (najčešće ovakva karta se može koristiti u svrhu preliminarnih proračuna rezervi, slika 5.1)
- Dobivanje gotove situacijske karte na temelju geodetskih mjerenja odgovarajućim tehnikama (ovakva karta detaljno prikazuje stanje na terenu i koristi se u svrhu detaljnih proračuna rezervi, slika 5.2)

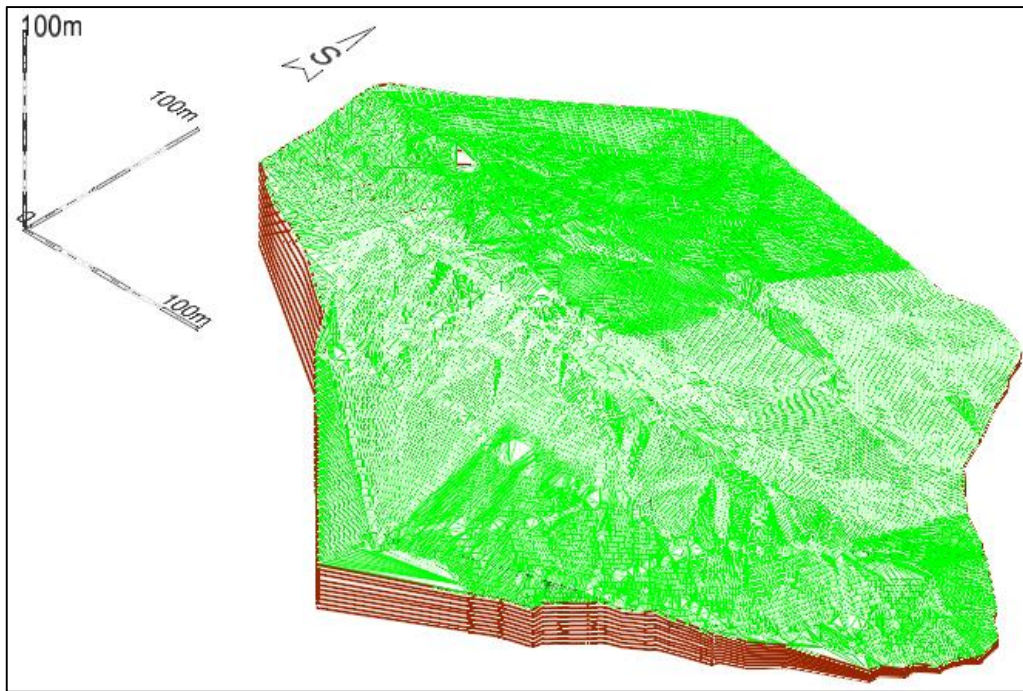


Slika 5-1. Primjer vektorizirane topografske karte (Polić, 2019.)

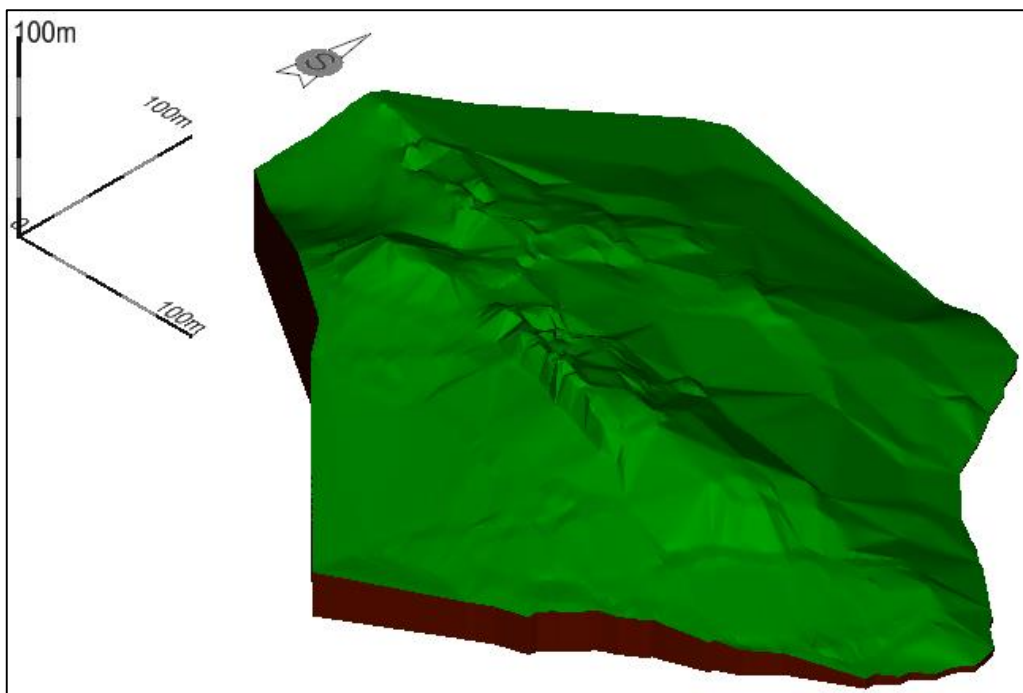


**Slika 5-2.** Primjer gotove situacijske karte na temelju geodetskih mjerenja

Korištenjem programa *OpenRoads Designer* (u daljnjem tekstu *ORD*) potrebno je prijeći iz 2D prikaza u 3D prikaz kako bi mogli podići izohipse u prostor. Izohipse se jednostavno podižu u prostor naredbom *Set Element Elevation* pod izbornikom *Drawing* u sekciji *Manipulation*. Kada su izohipse podignute u prostor sa vrijednošću odgovarajuće z koordinate, završni korak je triangulacija terena na temelju istih. Triangulacija je inicijalni korak za generiranje mrežnog i konturnog modela u najvećem broju rudarskih programa. Ovaj model sačinjava niz trokuta formiranih na bazi referentnih točaka (Polić, 2019.). U ORD-u pod padajućim izbornikom odaberemo *Reality Modeling*, zatim pod tabom *Terrain* i sekcijom *Create* se odabere naredba *From Elements* kako bi iz odgovarajućih elemenata (izohipsa, eng. contours) dobili triangulirani digitalni model terena. Često je praksa da se digitalni model terena u završnoj fazi prikazuje kao ispunjeni zaobljeni (smooth) model. Triangulirani i renderirani (smooth) model su prikazani slikama 5-3 i 5-4.



**Slika 5-3.** Triangulirani model terena područja istražnog polja „Ljut“

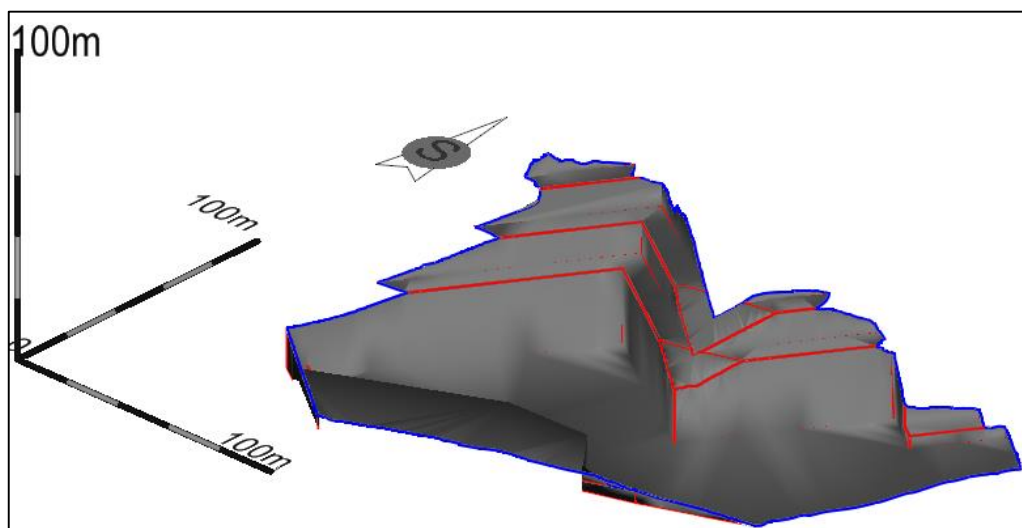


**Slika 5-4.** Renderirani digitalni model terena područja istražnog polja „Ljut“

Kada je izrađen digitalni model terena u sljedećem koraku je potrebno već projektirane rudarske radove (prema: *IDEJNI PROJEKT EKSPLOATACIJE LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO–GRAĐEVNOG KAMENA „LJUT“*, Galić i dr., 2020.) prebaciti iz 2D u 3D prikaz kako bi konture pripremnih radova, etaže, platoe, probnu galeriju i ostale

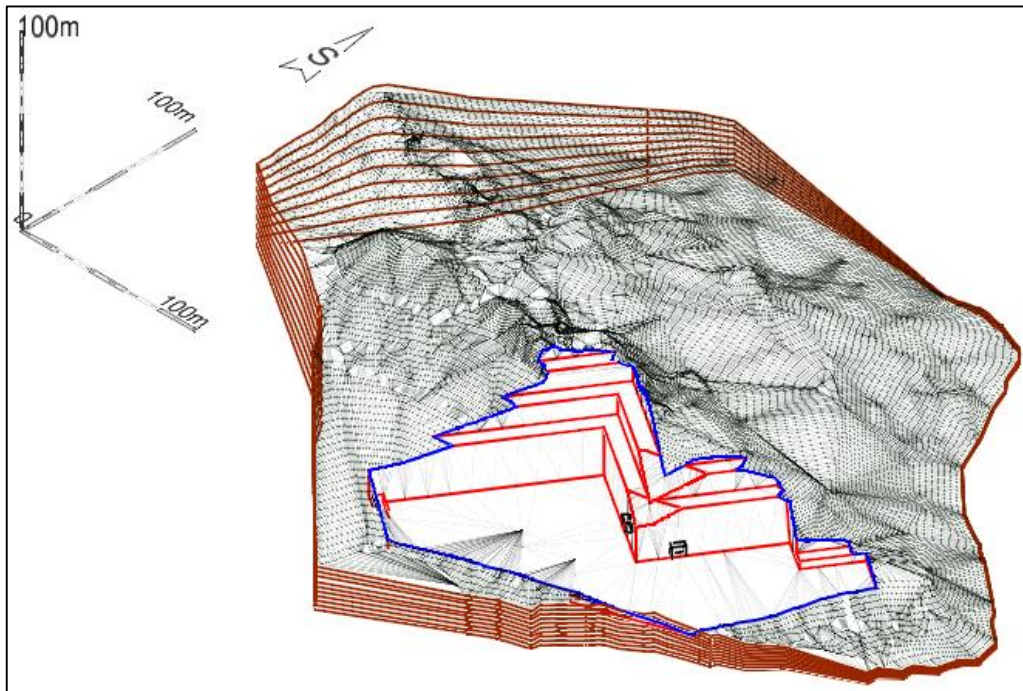


projektirane elemente mogli podići u prostor, te kako bi mogli izvršiti triangulaciju istih. Kao i za podizanje izohipsa u prostor, projektirane rudarske radove podižemo u prostor naredbom *Set Element Elevation*. Nadalje, određene elemente (poput granice pripremnih radova) nije moguće podići u prostor prethodno navedenom naredbom, stoga se koristi druga, praktičnija naredba *Drape Element* koja se nalazi pod padajućim izbornikom *Reality Modeling*, pod tabom *Extract* i sekcijom *Scalable Terrain Models*. Svrha ove naredbe je zalijepiti odabrane elemente (Granica pripremnih radova, cesta i sl.) točno po površini digitalnog modela terena. Kada su pripremni radovi podignuti u prostor potrebno ih je triangulirati na isti način kao i izohipse (vidi str. 50). Prikaz trianguliranih pripremnih radova dan je slikom 5-5.

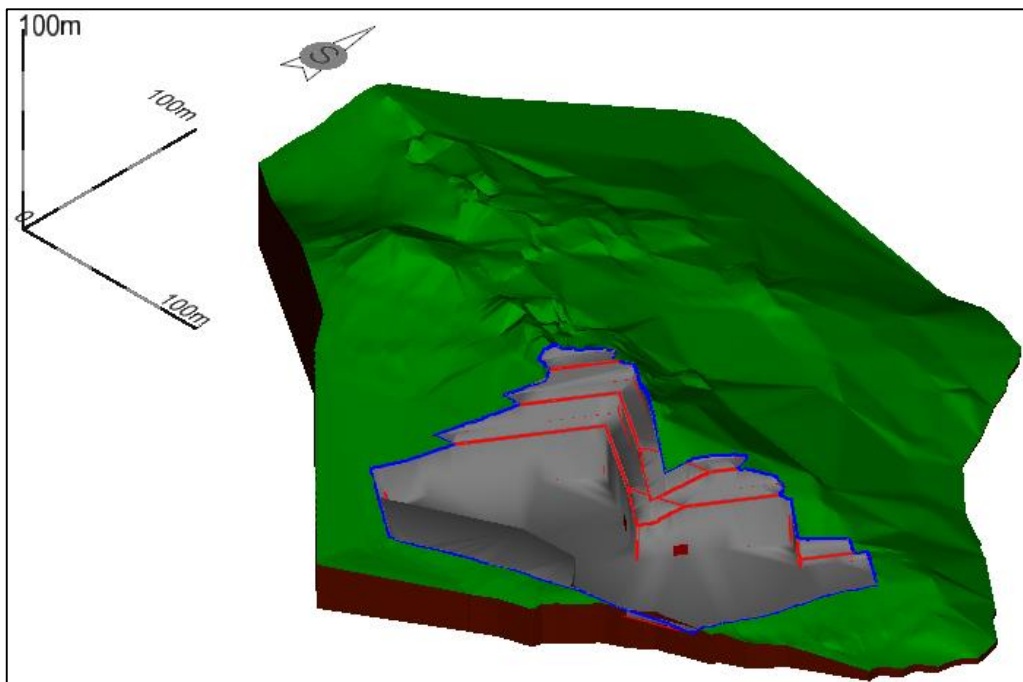


Slika 5-5. Renderirani model pripremnih radova

Prilikom završetka triangulacije pripremnih radova potrebno je izraditi završno stanje pripremnih radova. U ovom smislu ta faza podrazumijeva uklapanje pripremnih radova u digitalni model terena. Kako je u prethodnom dijelu pomoću naredbe *Drape Element* podignuta granica pripremnih radova na površinu digitalnog modela terena, sada je potrebno istu granicu označiti, pa pod padajućim izbornikom odabrati *Reality Modeling*, zatim pod tabom *Terrain* i sekcijom edit se odabere *Feature Management*. Prilikom tog odabira se otvori prozor gdje se odabere odgovarajući digitalni model terena, a tip značajke koji se odabere je *Hole* kako bi u tom dijelu unutar granice pripremnih radova odrezali dio digitalnog modela terena (praktično dio terena koji će se otkopati). Na taj način su uklopljeni triangulirani pripremni radovi s digitalnim modelom terena. Prikaz završnog stanja pripremnih radova sa probnom galerijom G6 dan je slikama 5-6 i 5-7.



Slika 5-6. Triangulirani model završnog stanja sa probnom galerijom G6

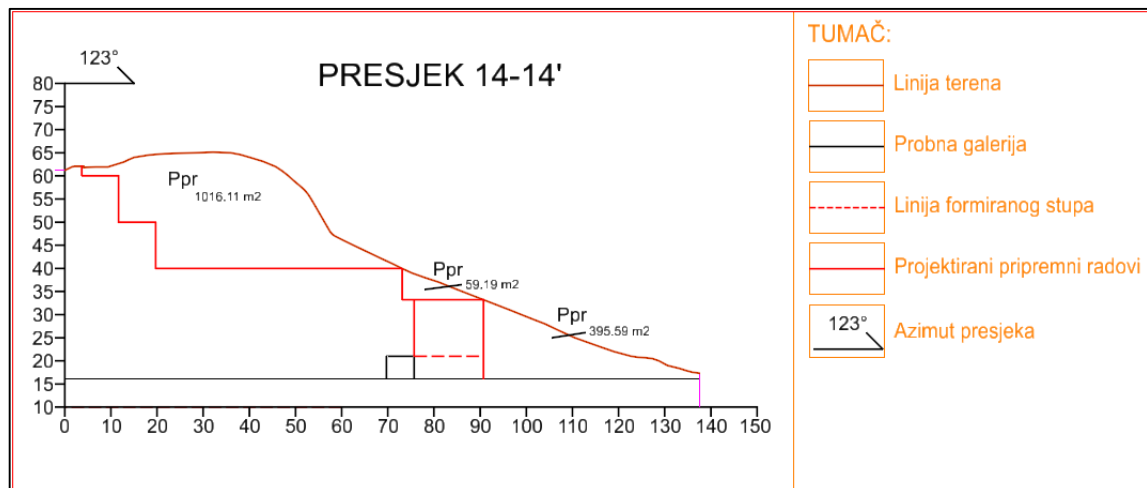


Slika 5-7. Renderirani model završnog stanja sa probnom galerijom G6

## 5.2. Znakoviti presjeci pripremnih radova

Profil terena ili poprečni presjek je presjek topografske plohe i projicirajuće ravnine koju nazivamo profilna ravnina (Cvetko, 2019.). Kod projektiranja u rudarstvu svrha crtanja poprečnih presjeka jest dvodimenzionalni prikaz znakovitih dijelova ležišta, projektiranih rudarskih radova, a isto tako služi za proračun volumena otkopane stijenske mase. Postupak izrade presjeka terena u **ORD-u** je takav da se postavi linija naredbom **Place Line** koja se nalazi u izborniku **Drawing**, pod tabom **Home** i sekcijom **Placement**. U pravilu linija mora biti dovoljno dugačka kako bi zahvatila područje projektiranih rudarskih radova i granica kategorija rezervi. Kada definiramo jednu takvu liniju, onda ostale linije jednostavno kopiramo na ključna mjesta naredbom **Move Parallel** koja se također nalazi u izborniku **Drawing**, pod tabom **Home**, ali pod sekcijom **Manipulate**. Na prilogu 2 su prikazani definirani presjeci pripremnih radova s azimutom od 123/303°.

Na slici 5-8 prikazan je primjer obračunskog presjeka, dok su svi ostali obračunski presjeci dio priloga 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9. Također, jedna od svrha crtanja ovih obračunskih presjeka je proračun rezervi mineralne sirovine metodom paralelnih presjeka, što će biti detaljnije objašnjeno u poglavlju broj 6.



Slika 5-8. Primjer obračunskog presjeka 14–14'

## 6. PRORAČUN OBUJMA REZERVU

Proračun obujma rezervi mineralne sirovine je vrlo važan korak kod projektiranja u rudarstvu jer prema njemu praktično možemo definirati model dobiti/gubitaka. Sam proračun rezervi izvršen je na dva načina:

- proračun obujma metodom paralelnih presjeka (MPP)
- proračun obujma metodom računalnog modeliranja (MRM)

### 6.1. Proračun obujma metodom paralelnih presjeka

Metoda paralelnih presjeka teoretski gledano zasniva se na računanju površina svakog presjeka pojedinačno. Zatim se računa aritmetička sredina površina presjeka između susjednih presjeka (Matasić, 2015.).

Za svaki od 26 definiranih presjeka u poglavlju 5. izračunata je površina, pa je prema tome dobivena srednja površina susjednih blokova prema sljedećoj formuli:

$$P_{sr} = \frac{P_n + P_{n+1} + \sqrt{P_n \cdot P_{n+1}}}{3} \cdot l_{n...n+1} \quad (9-1)$$

Formula za proračun obujma između blokova je:

$$O_{n...n+1} = P_{sr} \cdot l_{n...n+1} = \frac{P_n + P_{n+1} + \sqrt{P_n \cdot P_{n+1}}}{3} \cdot l_{n...n+1} \quad (9-2)$$

Ukupni obujam se računa prema izrazu:

$$O = \sum_{i=l}^r O_i \quad (9-3)$$

Gdje je:

$O$  – ukupni obujam ( $m^3$ )

$P_{sr}$  – srednja površina ( $m^2$ )

$P_n$  – površina n-tog vertikalnog presjeka ( $m^2$ )

$P_{n+1}$  – površina n+1 vertikalnog presjeka ( $m^2$ )

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

$n$  – broj presjeka (/)

$r$  – ukupni broj blokova (broj presjeka – 1, /)

$i$  – broj blokova (/)

Prema navedenim formulama i korištenjem *MS Office* alata *Excel* formirana je tablica 6-1 u kojoj je prikaz proračuna rezervi metodom paralelnih presjeka.

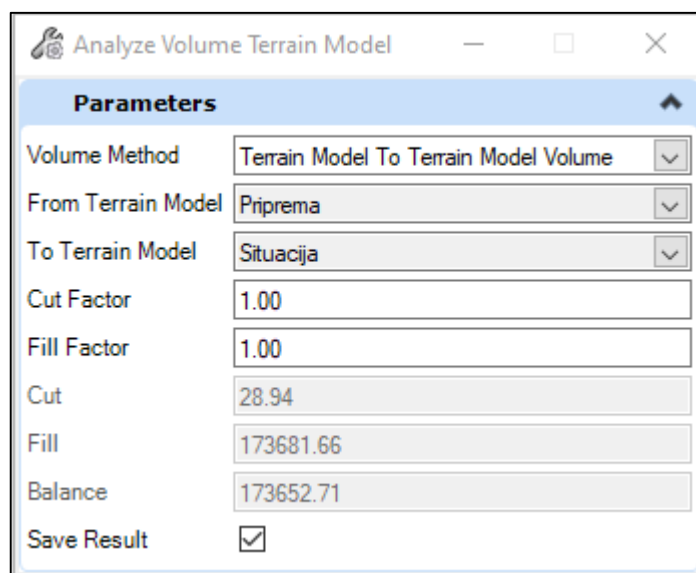
**Tablica 6-1.** Proračun rezervi metodom paralelnih presjeka

Presjek	Blok	Površina pripremnih radova ( $P_{pr}$ )			
		POVRŠINA, m <sup>2</sup>		Udaljenost presjeka	Obujam
		$P_{pres.}$	$P_{sr}$	$l, m$	$Ob=P_{sr} * l$ m <sup>3</sup> č.m.
1-1'	I	0	103,45	8,49	878,29
2-2'		310,35			
2-2'	II	310,35	362,65	7,5	2719,85
3-3'		417,59			
3-3'	III	417,59	484,42	7,5	3633,12
4-4'		554,47			
4-4'	IV	554,47	621,94	7,5	4664,53
5-5'		691,94			
5-5'	V	691,94	766,44	7,5	5748,27
6-6'		843,43			
6-6'	VI	843,43	932,05	7,5	6990,36
7-7'		1023,57			
7-7'	VII	1023,57	1062,91	7,5	7971,82
8-8'		1102,74			
8-8'	VIII	1102,74	1232,28	7,5	9242,06
9-9'		1.366,52			
9-9'	IX	1.366,52	1518,92	7,5	11391,90
10-10'		1.676,60			
10-10'	X	1.676,60	1842,54	7,5	13819,05
11-11'		2.013,62			
11-11'	XI	2.013,62	2230,34	7,5	16727,54
12-12'		2454,32			
12-12'	XII	2454,32	2610,47	7,5	19578,50
13-13'		2769,79			
13-13'	XIII	2769,79	2086,37	7,5	15647,77
14-14'		1470,89			
14-14'	XIV	1470,89	1247,87	7,51	9371,51
15-15'		1037,43			
15-15'	XV	1037,43	973,91	8	7791,27
16-16'		911,74			
16-16'	XVI	911,74	717,83	7,5	5383,69
17-17'		540,04			
17-17'	XVII	540,04	547,30	7,5	4104,74
18-18'		554,59			
18-18'	XVIII	554,59	580,76	7,5	4355,67
19-19'		607,32			
19-19'	XIX	607,32	589,04	7,5	4417,77
20-20'		570,94			
20-20'	XX	570,94	560,18	7,5	4201,32
21-21'		549,48			
21-21'	XI	549,48	501,42	7,5	3760,65
22-22'		454,85			
22-22'	XII	454,85	280,89	7,5	2106,70
23-23'		137,63			
23-23'	XIII	137,63	117,59	7,5	881,92
24-24'		98,63			
24-24'	XIV	98,63	86,96	7,5	652,20
25-25'		75,79			
25-25'	XV	75,79	25,26	9,51	240,25
26-26'		0			
UKUPNO					<b>166280,76</b>

Prema proračunu iz tablice 6-1. ukupna količina rezervi iznosi 166 280,76 m<sup>3</sup>.

## 6.2. Proračun obujma metodom računalnog modeliranja

Uz metodu paralelnih presjeka, obujam modela pripreme izračunati će se i metodom računalnog modeliranja koristeći program *ORD*. U poglavlju 5. je objašnjena triangulacija modela pripreme i digitalnog modela terena, ove dvije površine će služiti kao ulazne za proračun obujma u *ORD-u*. Proračun površine se vrši tako da se u padajućem izborniku odabere *OpenRoads Modeling*, zatim pod tabom *Terrain* i sekcijom *Analysis* se odabere opcija *Volumes*, gdje se izabere *Analyze Volume*. Prilikom odabira navedene naredbe otvori se prozor u kojem definiramo metodu proračuna volumena (*Terrain model to Terrain model volume*), površinu od koje mjerimo (model pripreme nazvan „Priprema“), površinu do koje mjerimo (digitalni model terena nazvan „Situacija“), te cut i fill factore definiramo sa 1. Potvrdom navedenih značajki dobije se automatski proračun obujma između modeliranih površina. Na slici 6-1 prikazan prozor za proračun obujma naredbom *Analyze volume*. Uz ukupnu vrijednost *Balance* (razlika vrijednosti cut i fill), tu je i vrijednost *Cut* koja izražava obujam otkopanog materijala i vrijednost *Fill* koja izražava obujam nasipanog materijala.



Slika 6-1. Naredba *Analyze Volume* i proračun rezervi metodom računalnog modeliranja

Prema rezultatima proračuna metodom računalnog modeliranja, ukupni obujam rezervi za model pripreme iznosi 173 652,71 m<sup>3</sup>.

### 6.3. Usporedba rezultata i odabir odgovarajućeg obujma za daljnje razmatranje

Nakon proračuna obujma rezervi često je dobra praksa da se usporede rezultati dviju metoda. Također, prilikom usporedbe rezultata bilo bi dobro da su razlike između dvije metode manje od 5%, obično one mogu biti i veće (razlike i do gotovo 20%), međutim, kod ozbiljnih proračuna važna je preciznost i točnost. Razlika u proračunu metode računalnog modeliranja (MRM) i metode paralelnih presjeka (MPP) dana je tablicom 6-2.

**Tablica 6-2.** Razlika u proračunu MRM i MPP

Obujam za ukupne rezerve (m <sup>3</sup> )	
MRM	173 653
MPP	166 281
Razlika	4,25%

Prema rezultatima iz tablice 6-2, razlika u proračunu između metode računalnog modeliranja i metode paralelnih presjeka je 4,25%, time je zadovoljena razlika manja od 5%. U daljnje razmatranje uzet će se rezultati proračuna metode računalnog modeliranja, iz razloga preciznijeg proračuna. U tablicama 6-3 i 6-4 prikazani su rezultati umanjeni odgovarajućim koeficijentima (popravni koeficijent, eksploatacijski gubici) kako bi se dobio iznos eksploatacijskih rezervi a–gk i t–gk.

\*Napomena: zbog pravilnih dimenzija, proračun rezervi iz probne galerije G6 napravljen je zasebno, iz čega je dobiveno da njezin obujam iznosi 1080 m<sup>3</sup>.

**Tablica 6-3.** Eksploatacijske rezerve za a–gk

UKUPNI OBUJAM STIJENE (m <sup>3</sup> )		BILANČNE REZERVE KOJE SE OTKOPAVAJU		EKSPLOATACIJSKI GUBICI 10%	EKSPLOATACIJSKE REZERVE m <sup>3</sup>
		POPRAVNI KOEFICIJENT	IZNOS, m <sup>3</sup>		
POZICIJA	(1)	(2)	(3) = (1) x (2)	(4) = (3) x e.g. %	(5) = (3) - (4)
IZ PRIPREME	173.653	0,15	26.048	2.605	23.443
IZ PROBNE GALERIJE	1.080	0,21	227	23	204
<b>UKUPNO</b>	<b>174.733</b>		<b>26.275</b>	<b>2.627</b>	<b>23.647</b>



**Tablica 6-4.** Eksploatacijske rezerve za t–gk

UKUPNI OBUJAM STIJENE (m <sup>3</sup> )		BILANČNE REZERVE KOJE SE OTKOPAVAJU		EKSPLOATACIJSKI GUBICI 3%	EKSPLOATACIJSKE REZERVE m <sup>3</sup>
		POPRAVNI KOEFIČIJENT	IZNOS, m <sup>3</sup>		
POZICIJA	(1)	(2)	(3) = (1) x (2)	(4) = (3) x e.g. %	(5) = (3) - (4)
IZ PRIPREME	147.605	0,95	140.225	4.207	136.018
IZ PROBNE GALERIJE	853	0,95	811	24	786
<b>UKUPNO</b>	<b>148.458</b>		<b>141.035</b>	<b>4.231</b>	<b>136.804</b>

Ono što se odmah da primijetiti je da se zapravo mala količina eksploatacijskih rezervi a–gk i t–gk dobije iz probnih galerija. Razlog tome je jednostavan, naime, u fazi pripreme terena za probnu podzemnu eksploataciju, probne galerije će se raditi samo da se potvrde projektni parametri i izvedu in–situ mjerenja, dok najveća količina eksploatacijskih rezervi dolazi upravo iz pripremnih radova. Dobiveni rezultati služit će kao jedni od ulaznih parametara za stvaranje modela dobiti/gubitaka.

## 7. PRORAČUN DOBITI I GUBITAKA ZA MODEL PRIPREME

Proračun dobiti i gubitaka za model pripreme urađen je na temelju rezultata obujma rezervi preko metode računalnog modeliranja, koji su prikazani tablicama 6-3 i 6-4 u prethodnom poglavlju. Prema idejnom projektu u tablicama 7-1 i 7-2 definirane su vrijednosti ulaganja u opremu, objekte, pripremu platoa i za podzemnu eksploataciju.

**Tablica 7-1.** Vrijednost ulaganja u pripreme radove (Galić i dr., 2020.)

Red. br.	Vrsta strojeva i opreme	Značajke	Pogonska energija	Broj jedinica	Jedin. Vrijednost EUR	Ukupno EUR
1	TRAFO	600 kW	Javna mreža	1	100.000	100.000
2	DIZEL ELEKTRIČNI AGREGAT	400 Kw	Diesel	1	40.000	40.000
3	Dijamantna žična pila	50 kW	El. energija	10	15.000	150.000
4	Monopila (disk ili žična fiksna pila)	30 kW	El. energija	1	50.000	50.000
5	Lančana sjekačica-etažna, 4 m	50 kW	El. energija	1	100.000	100.000
6	Lančana sjekačica-eterna, 2 m	30 kW	El. energija	1	140.000	140.000
7	Bušača sonda	na zrak	Komprimirani zrak	3	20.000	60.000
8	Kompresor	10 m <sup>3</sup> /min	Diesel	1	30.000	30.000
9	Kamion, 4 osovine	25 t	Diesel	1	100.000	100.000
10	Utovarnač	300 kW	Diesel	1	300.000	300.000
11	Bager s priključkom za hidro. Čekić	45 t	Diesel	1	200.000	200.000
12	Hidraulički čekić	> 2000 kg	Hidraulična energija	1	20.000	20.000
13	Bager za rasuti kamen-utovar	30 t	Diesel	1	100.000	100.000
14	Autodizalica	50 t	Diesel	1	150.000	150.000
15	Kamion-dostavni, 2 osovine	10 t	Diesel	1	50.000	50.000
16	Terensko vozilo s karoserijom	4x4	Diesel	1	30.000	30.000
17	Cistema za vodu	30.000 l, metalna		2	10.000	20.000
18	Cistema za gorivo	4.000 l, metalna		1	5.000	5.000
19	Crpka za vodu	5-stupanjske	El. energija	3	1.000	3.000
20	Hidraulički odvaljivači+hidrocrpka	3 kW	Hidraulična energija	6	5.000	30.000
21	Ručni bušači čekić (2 x RK28 i RK-19)		Komprimirani zrak	5	2.000	10.000
22	Kontejner stambeni	6 x2 m		3	4.000	12.000
<b>UKUPNO</b>						<b>1.700.000</b>

**Tablica 7-2.** Vrijednost ulaganja za podzemnu eksploataciju (Galić i dr., 2020.)

Red. br.	Vrsta strojeva i opreme	Značajke	Pogonska energija	Broj jedinica	Jedin. Vrijednost EUR	Ukupno EUR
1	Lančana sjekačica-STUPNA, 4 m	50 kW	El. energija	1	300.000	300.000
2	Lančana sjekačica-eterna, 2 m	30 kW	El. energija	1	140.000	140.000
3	Ventilacijsko postrojenje, 60 kW	50 m <sup>3</sup> /min	El. energija	1	40.000	40.000
4	Utovarnač	300 kW	Diesel	1	300.000	300.000
5	Hidraulički odvaljivači+hidrocrpka	3 kW	Hidraulična energija	4	5.000	20.000
<b>UKUPNO</b>						<b>800.000</b>

Prema tablicama 7-1 i 7-2, ukupni troškovi ulaganja u pripreme radove i podzemnu eksploataciju iznose 2 500 000 €. Kako bi se razvio model dobiti i gubitaka potrebno je definirati godišnje troškove eksploatacije za pripreme radove (investicijsko razdoblje od 3 godine), te će se isto tako definirati troškovi za probnu podzemnu eksploataciju na temelju potpuno razvijene podzemne eksploatacije za razdoblje od 32 godine. Godišnji troškovi podrazumijevaju: energente, materijale potrebne za izvođenje rudarskih radova, održavanje i obnavljanje, investicijske troškove i troškove završnih radova, te godišnje naknade. U

tablici 7-3 prikazani su godišnji troškovi za pripremne radove u investicijskom razdoblju od 3 godine, dok su u tablici 7-4 prikazani godišnji troškovi za podzemnu eksploataciju u razdoblju od 32 godine.

**Tablica 7-3.** Troškovi godišnje eksploatacije za pripremne radove (Galić i dr., 2020.)

Vrsta troškova		Jedinica mjere	Normativ utroška Jedin. mjera/m <sup>3</sup>	Vrijednost jedin. mj. €/Jed.mj.	Cijena eksploat. €/m <sup>3</sup>	GODIŠNJI UTROŠAK €/god
OSOBNI DOHODAK (12 djelatnika)		sat	8,83	6,00	52,96	155.520
Energenti	Nafta	kg	39,46133	1,2	47,35	139.046
	Motor. Ulje	kg	0,98653	4,8	4,74	13.905
	Diferen. Ulje	kg	0,19731	4,8	0,95	2.781
	Ostala maziva	kg	0,07892	4,8	0,38	1.112
	Voda	m <sup>3</sup>	1,96162	2	3,92	11.520
	Električna energija	kWh	0,00000	0,08	0,00	0
Ostali materijal	Hidraul. crijeva	m'	0,01703	50	0,85	2.500
	Gume za kamion	1set/3500h	0,00034	2000	0,68	2.000
	Gume za utovarač	1set/1600h	0,00034	3000	1,02	3.000
	Pločice tvrd. Metala	kom	1,22601	3	3,68	10.800
	Bušaća kruna	kom	0,00341	1000	3,41	10.000
	Dijamantna žica	m'	0,25542	40	10,22	30.000
	Gumena obloga	kom	0,01703	100	1,70	5.000
	Pomoćno kolo	kom	0,00170	200	0,34	1.000
	Vodeni jastuci	kom	0,02043	50	1,02	3.000
UKUPNO					80,26	235.664
Održavanje i obnavljanje	Amortizacija, 10%	€	44,27	1,00	44,27	130.000
	Rezervni dijelovi, 6%	€	2,66	1,00	2,66	7.800
	Investicijsko i tekuće održavanje, 3%	€	1,33	1,00	1,33	3.900
UKUPNO					48,26	141.700
Invest. i završni rad.	Istražni radovi	€	0,97	1,00	0,97	2.857
	Izrada tehničke dokumentacije	€	0,97	1,00	0,97	2.857
	Ishođenje dozvola i rješenja	€	0,29	1,00	0,29	857
	Pripremni radovi za eksploat.	€	2,92	1,00	2,92	8.571
	Sanacija terena	€	1,19	1,00	1,19	3.500
UKUPNO					6,35	18.643
Naknade	Naknada za eksploataciju	€	10,00	1,00	10,00	29.363
	Šumarija	€	2,04	1,00	2,04	6.000
	Vode	€	2,04	1,00	2,04	6.000
	Uprava za zaštitu okoliša	€	2,04	1,00	2,04	6.000
UKUPNO					16,13	47.363
<b>SVEUKUPNO</b>					<b>204</b>	<b>598.891</b>

Tablica 7-4. Troškovi podzemne eksploatacije (Galić i dr., 2020.)

Vrsta troškova		Jedinica mjere	Normativ utroška Jedin. mjera/m <sup>3</sup>	Vrijednost jedin. mj. €/Jed.mj.	Cijena eksploat. €/m <sup>3</sup>	GODIŠNJI UTROŠAK €/god
OSOBNI DOHODAK (12 djelatnika)		sat	9,81	7,98	78,31	206.842
Energenti	Nafta	kg	29.78558	1,67	49,68	131.225
	Motor. Ulje	kg	0,74464	6,67	4,97	13.122
	Diferen. Ulje	kg	0,14893	6,67	0,99	2.624
	Ostala maziva	kg	0,05957	6,67	0,40	1.050
	Voda	m <sup>3</sup>	2,18078	2,78	6,06	16.013
	Električna energija	kW	84,05021	0,11	9,35	24.688
Ostali materijal	Hidraul. crijeva	m'	0,01893	69,50	1,32	3.475
	Gume za kamion	1set/3500h	0,00038	2780,00	1,05	2.780
	Gume za utovarač	1set/1600h	0,00038	4170,00	1,58	4.170
	Pločice tvrd. Metala	kom	1,36298	4,17	5,68	15.012
	Bušaća kruna	kom	0,00379	1390,00	5,28	13.900
	Dijamantna žica	m'	0,28395	55,60	15,79	41.700
	Gumena obloga	kom	0,01893	139,00	2,63	6.950
	Pomoćno kolo	kom	0,00189	278,00	0,53	1.390
	Vodeni jastuci	kom	0,02272	69,50	1,58	4.170
	SIDRO, L=8 m	kom	0,03304	240,00	7,93	20.947
	SIDRO, L=9 m	kom	0,01502	360,00	5,41	14.284
	SIDRO, L=12 m	kom	0,01652	480,00	7,93	20.947
	SIDRO, L=15 m	kom	0,00751	600,00	4,51	11.903
	GREDA, U ili O profil	kom	0,00367	224,00	0,82	2.172
	ČELIČNA MREŽA, cca 10x15 cm	m <sup>2</sup>	0,06760	6,40	0,43	1.143
	MLAZNI BETON ili EPOKSID. S.	m <sup>3</sup>	0,00430	200,00	0,86	2.273
UKUPNO					134,76	355.937
Održavanje i obnova vijan	Amortizacija, 10%	€	45,43	1,00	45,43	120.000
	Rezervni dijelovi, 6%	€	2,73	1,00	2,73	7.200
	Investicijsko i tekuće održavanje, 3%	€	1,36	1,00	1,36	3.600
UKUPNO					49,52	130.800
Invest. i završni rad.	Istražni radovi	€	1,08	1,00	1,08	2.857
	Izrada tehničke dokumentacije	€	1,08	1,00	1,08	2.857
	Ishođenje dozvola i rješenja	€	0,32	1,00	0,32	857
	Pripremni radovi za eksploat.	€	3,25	1,00	3,25	8.571
	Sanacija terena	€	1,33	1,00	1,33	3.500
UKUPNO					7,06	18.643
Naknade	Naknada za eksploataciju	€	10,00	1,00	10,00	26.413
	Šumanija	€	2,27	1,00	2,27	6.000
	Vode	€	2,27	1,00	2,27	6.000
	Uprava za zaštitu okoliša	€	2,27	1,00	2,27	6.000
UKUPNO					16,81	44.413
<b>SVEUKUPNO</b>					<b>286</b>	<b>756.634</b>

Kada su definirani troškovi eksploatacije može se pristupiti modelu dobiti i gubitaka. Proračun dobiti i gubitaka dan je tablicama 7-4 i 7-5.

Tablica 7-5. Proračun dobiti iz pripremnih radova na platou +16 m

MINERALNA SIROVINA	KOLIČINE		Tržišna cijena €/J.M.	Ukupni prihod €	Eksploat. cijena €/J.M.	Ukupni troškovi €	Bruto dobit €	Porez €	Neto dobit €
	jedin. mjera	iznos							
(1)	(2)	(3)	(4) = (2) x (3)	(5)	(6) = (2) x (5)	(7) = (4) - (6)	(8) = (7) * 0,12	(9) = (7) - (8)	
BLOKOVI AGK (HV)	m <sup>3</sup>	23.443	317	7.431.431	204	4.782.372	2.649.059	317.887	2.331.172
KAMENI OSTATAK (TGK)	m <sup>3</sup>	136.018	10	1.360.180	5	680.090	680.090	81.611	598.479

**Tablica 7-6.** Proračun dobiti iz probne podzemne eksploatacije u galeriji G6

MINERALNA SIROVINA	KOLIČINE		Tržišna cijena €/J.M.	Ukupni prihod €	Eksploat. cijena €/J.M.	Ukupni troškovi €	Bruto dobit €	Porez €	Neto dobit €
	jedin. mjera	iznos							
(1)	(2)	(3)	(4) = (2) x (3)	(5)	(6) = (2) x (5)	(7) = (4) - (6)	(8) = (7) * 0,12	(9) = (7) - (8)	
BLOKOVI AGK (HV)	m <sup>3</sup>	204	388	79.152	286	58.344	20.808	2.497	18.311
KAMENI OSTATAK (TGK)	m <sup>3</sup>	786	10	7.860	5	3.930	3.930	472	3.458

Prema proračunu iz tablica 7-5 i 7-6 može se vidjeti da ukupna neto dobit iz pripremnih radova i probne podzemne eksploatacije iznosi 2 951 421 €. Međutim, ako pritom odbijemo troškove ulaganja za pripreme radove i podzemnu eksploataciju u iznosu od 2 500 000 €, tada će ukupna neto dobit u investicijskom razdoblju od tri godine iznositi 451 421 €.

## 8. ZAKLJUČAK

Primjena tehnika i metoda računalnog modeliranja danas predstavlja jednu ustaljenu praksu pri projektiranju u rudarskom inženjerstvu. Primjenom računalnih programa možemo modelirati već postojeća ili nova ležišta, planirati istražne radove, te sukladno njima dimenzionirati istražne prostore, kao i planirati same proizvodne procese u rudarstvu. U ovom radu detaljno su opisane općenite i geološke značajke ležišta, kao i provedeni istražni radovi. Sukladno tome slijedi opis stanja i mogućnosti eksploatacije mineralne sirovine na temelju čega je odabrana najbolja varijanta podzemne eksploatacije. Nadalje, za odabranu varijantu podzemne eksploatacije dan je detaljan opis tehnoloških rješenja za pripreme radove, kao i za otvaranje probne galerije G6. Prema rješenjima za odabranu varijantu podzemne eksploatacije u programu *OpenRoads Designer* dimenzioniran je model pripreme i digitalni model terena, te uz to je napravljeno 26 znakovitih presjeka pripremnih radova azimuta 123/303°. Nakon navedenog uslijedio je proračun obujma pripremnih radova korištenjem metode paralelnih presjeka (MPP) i metode računalnog modeliranja (MRM). Dobiveni rezultat obujma ukupnih rezervi metodom paralelnih presjeka iznosio je 162 999,92 m<sup>3</sup>, dok je rezultat obujma ukupnih rezervi metodom računalnog modeliranja iznosio 173 652,71 m<sup>3</sup>. U daljnje razmatranje uzeta je vrijednost dobivena metodom računalnog modeliranja, koja je popravljana za odgovarajući popravni koeficijent i koeficijent eksploatacijskih gubitaka. Na temelju tih popravaka dobivene su vrijednosti rezervi za a–gk koje iznose 23 647 m<sup>3</sup> i t–gk koje iznose 136 804 m<sup>3</sup>. Dobiveni rezultati služili su kao glavni parametri za stvaranje modela dobiti i gubitaka. Na temelju vrijednosti tržišne cijene i ukupnih troškova eksploatacije povučenih iz idejnog projekta, zaključak je da analizirani model pripreme investitoru donosi neto dobit od 451 421 € u investicijskom razdoblju od tri godine.

## 9. LITERATURA

Cvetko, K. (2019): Primjene kotirane projekcije. Diplomski rad. Prirodoslovno–matematički fakultet u Zagrebu.

Dunda, S., Kujundžić, T., Globan, M., Matošin, V. (2003): Eksploatacija arhitektonsko–građevnog kamena. Udžbenik u elektroničkom obliku. Rudarsko–geološko–naftni fakultet Zagreb.

Džida, D. (2021): Tehničko–ekonomska analiza mogućnosti iskorištenja kamenog ostatka na ležištu Ljut. Diplomski rad. Rudarsko–geološko–naftni fakultet u Zagrebu.

Galić, I., Dragičević I., Pavelić, D., Pavičić, I., Hajsek, D., Farkaš, B., Kujundžić, T., Korman, T., Klanfar, M., Herceg, V. (2020): Idejni rudarski projekt eksploatacije arhitektonsko–građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Ljut“. Rudarsko–geološko–naftni fakultet Zagreb.

Korolija, B., Borović, I., Grimani, I., Marinčić, S. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Korčula. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

Matasić, M. (2015): Oblikovanje granica i proračun rezervi tehničko–građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Pregrada II“. Završni rad. Rudarsko–geološko–naftni fakultet u Zagrebu.

Pavelić, D., Galić, I., Pavičić, I. (2020.): Elaborat o rezervama arhitektonsko–građevnog i tehničko–građevnog kamena u istražnom prostoru "Ljut". Rudarsko–geološko–naftni fakultet u Zagrebu.

Polić, K. (2019): Modeliranje ležišta arhitektonsko–građevnog kamena u istražnom prostoru „Ljut“. Završni rad. Rudarsko–geološko–naftni fakultet u Zagrebu.



KLASA: 602-04/21-01/198  
URBROJ: 251-70-11-21-2  
U Zagrebu, 13.09.2021.

**Kristian Polić, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/198, URBROJ: 251-70-11-21-1 od 12.05.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### ANALIZA MODELA PRIPREME ZA PROBNU EKSPLOATACIJU LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA „Ljut“

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv.prof.dr.sc. Ivo Galić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Ivo Galić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc.dr.sc. Dubravko  
Domitrović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)