

Optimizacija razvoja rudarskih radova na proširenom eksploatacijskom polju tehničko-građevnog kamena Pregrada II

Kovačević, Andrej

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:347073>

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

**OPTIMIZACIJA RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA NA PROŠIRENOM
EKSPLOATACIJSKOM POLJU TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA
PREGRADA II**

Diplomski rad

Andrej Kovačević

R302

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/52
URBROJ: 251-70-11-22-2
U Zagrebu, 11.07.2022.

Andrej Kovačević, student

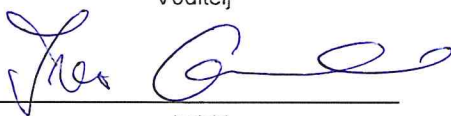
RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/52, URBROJ: 251-70-11-22-1 od 30.08.2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

**Optimizacija razvoja rudarskih radova na proširenom eksploatacijskom polju tehničko-
građevnog kamena Pregrada II**

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

Voditelj

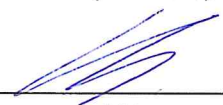


(potpis)

Prof.dr.sc. Ivo Galić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

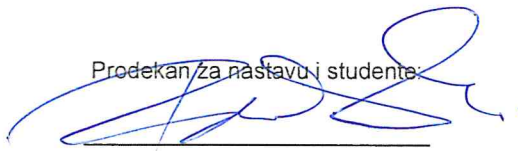


(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dubravko
Domitrović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

OPTIMIZACIJA RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA NA PROŠIRENOM EKSPLOATACIJSKOM
POLJU TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA PREGRADA II

ANDREJ KOVAČEVIĆ

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

Sažetak

U diplomskom radu prikazan je prijedlog proširenja eksploatacijskog polja tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“ i razvoj rudarskih radova. Obradene su značajke eksploatacijskog polja te je korištenjem Bentley-ovog računalnog programa „OpenRoads Designer“ izrađen trodimenzionalni model ležišta. Izradom 3D modela ležišta dobiveni su podaci za proračunavanje obujma preko metode paralelnih vertikalnih presjeka. Metodom računalnog modeliranja dobivene su vrijednosti obujma za proračun rezervi tehničko-građevnog kamena. Prikazan je razvoj rudarskih radova kroz četiri faze eksploatacije. Provedena je tehnokonomska analiza isplativosti ležišta proračunom statičke dobiti.

Ključne riječi: tehničko-građevni kamen, Pregrada II, eksploatacijsko polje, *OpenRoads Designer*

Završni rad sadrži: 57 stranice, 11 tablica, 29 slika, 3 priloga, i 9 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentori: Dr. sc. Ivo Galić, redoviti profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Ivo Galić, redoviti profesor RGNF
Dr. sc. Davor Pavelić, redoviti profesor RGNF
Dr. sc. Branimir Farkaš, docent RGNF

OPTIMIZATION OF THE DEVELOPMENT OF MINING WORKS IN THE EXPANDED
EXPLOITATION FIELD OF CRUSHED STONE „PREGRADA II“

ANDREJ KOVAČEVIĆ

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

Abstract

This master thesis presented a proposal for the expansion of the exploitation field of technical and construction stone "Pregrada II" and the development of mining works. The features of the exploitation field were processed and a three-dimensional model of the reservoir was created using Bentley's computer program "OpenRoads Designer." By creating a 3D model of the reservoir, data was obtained for calculating the volume using the method of parallel vertical sections. The volume values for the calculation of reserves of technical-building stone were obtained using the computer modeling method. The development of mining works is shown through four phases of exploitation. Techno-economic analysis of the deposit's profitability was carried out by calculating the static profit.

Keywords: crushed stone, Pregrada II, exploitation field, *OpenRoads Designer*

Thesis contains: 57 pages, 11 tables, 29 figures, 3 appendixes, i 9 references.

Original in: Croatian

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

Supervisors: Full Professor Ivo Galić, PhD.

Reviewers: Full Professor Ivo Galić, PhD
Full Professor Davor Pavelić, PhD
Assistant Professor Branimir Farkaš, PhD

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPĆI PODACI O PODRUČJU	2
2.1. Geografski položaj i podaci o eksploatacijskom polju	2
2.2. Geološke i tektonske značajke	5
2.3. Hidrografske i klimatske prilike.....	7
3. PODACI O VRSTI, KOLIČINI I KAKVOĆI MINERALNE SIROVINE	9
4. TEHNOLOŠKI PROCES EKSPLOATACIJE MINERALNE SIROVINE	12
5. IZRADA MODELA EKSPLOATACIJSKOG POLJA I ISTRAŽNIH RADOVA	16
5.1. Ulazni podaci – situacijska karta.....	16
5.2. Triangulacija i renderiranje	18
5.3. Istražni radovi	21
5.4. Završna kosina	22
6. IZRADA RJEŠENJA ZAVRŠNE KONTURE PROŠIRENJA	25
6.1. Prva faza otkopavanja	27
6.2. Druga faza otkopavanja	28
6.3. Treća faza otkopavanja	30
6.4. Četvrta faza otkopavanja	31
7. PRORAČUN OBUJMA REZERVI.....	33
7.1. Metoda vertikalnih paralelnih presjeka	33
7.2. Metoda računalnog modeliranja	39
7.3. Proračun obujma eksploatacijskih rezervi.....	40
8. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA VRIJEDNOSTI LEŽIŠTA.....	42
9. ZAKLJUČAK	44
10. LITERATURA.....	46

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Topografska karta eksploatacijskog polja „Pregrada II“, M 1:100 000.	2
Slika 2-2. Raspored vršnih točaka trenutnog i proširenog eksploatacijskog polja, M 1:6000.	5
Slika 2-3. Izvod iz OGK, list Rogatec (Aničić, i Juriša, 1984.), s označenim eksploatacijskim poljem tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“, M 1:50 000 (Galić i dr., 2021).	7
Slika 4-1. Segregacijska shema sitnjenja i klasiranja – stabilno postrojenje (Galić i dr., 2021).	13
Slika 5-1. Situacijska karta završnog stanja površinskog kopa "Pregrada II", M 1:1500... ..	16
Slika 5-2. Kreiranje 3D datoteke u programu "OpenRoads Designer".....	17
Slika 5-3. Naredba "Set Element Elevation".....	17
Slika 5-4. 3D prikaz elemenata.	18
Slika 5-5. Naredba "From Elements" - izrada triangulacijskog modela.	19
Slika 5-6. 3D model završnog stanja površinskog kopa "Pregrada II".	19
Slika 5-7. Naredba „Create Complex Terrain model“.	20
Slika 5-8. Blok model površinskog kopa "Pregrada II".....	21
Slika 5-9. Položaj istražnih bušotina na eksploatacijskom polju "Pregrada II", M 1:5000.....	22
Slika 5-10. Naredba "Create 3D Model By Slope To Target".....	23
Slika 5-11. Položaj završne kosine na proširenom površinskom kopu "Pregrada II", M 1:5000.	24
Slika 6-1. Znakoviti presjeci završnih kontura proširenog površinskog kopa "Pregrada II" s projektnim parametrima, M 1:3000.....	26
Slika 6-2. Prva faza otkopavanja proširenog površinskog kopa "Pregrada II", M 1:5000.	27
Slika 6-3. 3D model prve faze otkopavanja.	28
Slika 6-4. Druga faza otkopavanja proširenog površinskog kopa "Pregrada II", M 1:5000.	29
Slika 6-5. 3D model druge faze otkopavanja.	29
Slika 6-6. Treća faza otkopavanja proširenog površinskog kopa "Pregrada II", M 1:5000.	30
Slika 6-7. 3D model treće faze otkopavanja.	31
Slika 6-8. Četvrta (završna) faza eksploatacije proširenog površinskog kopa "Pregrada II", M 1:5000.	32
Slika 6-9. 3D model četvrte faze otkopavanja.	32

Slika 7-1. Položaj obračunskih i znakovitih presjeka, M 1:5000.....	34
Slika 7-2. Radno sučelje za izradu presjeka, program "OpenRoads Designer".....	34
Slika 7-3. Obračunski presjek 4-4', M 1:3000.	35
Slika 7-4. Naredba "Analyze Volume".	40

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Koordinate vršnih točaka eksploatacijskog polja "Pregrada II" (Galić i dr., 2021).....	3
Tablica 2-2. Koordinate vršnih točaka proširenog eksploatacijskog polja.....	4
Tablica 3-1. Potvrđene rezerve tehničko-građevnog kamena - 31.12.2019. godine (Galić i dr., 2021).	9
Tablica 3-2. Fizičko-mehanička svojstva kamena (Galić i dr., 2021).....	10
Tablica 4-1. Strojevi i oprema za eksploataciju mineralne sirovine (Galić i dr., 2021).....	12
Tablica 5-1. Najveće moguće udaljenosti između istražnih radova (Pravilnik o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina, NN 2018).	21
Tablica 7-1. Proračun ukupnih C1 bilančnih rezervi metodom paralelnih vertikalnih presjeka.....	37
Tablica 7-2. Proračun ukupnih izvanbilančnih C1 rezervi metodom paralelnih vertikalnih presjeka.....	38
Tablica 7-3. Proračun bilančnih i eksploatacijskih rezervi.....	41
Tablica 8-1. Tehno-ekonomska analiza isplativosti eksploatacije - statički proračun.	42
Tablica 8-2. Proračun povrata i stanja ulaganja kroz prvih 10 godina eksploatacije.	43

POPIS PRILOGA

PRILOG br. 1 Situacijske karta, M 1:2500	47
PRILOG br. 2. Obračunski presjeci, M 1:2000	48
PRILOG br. 3 Znakoviti presjeci, M 1:1500.....	49

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA

Simbol	Značenje	Jedinica
α_z	Kut završne kosine	°
h	Visina terena	m
l	Udaljenost između dva presjeka	m
O	Obujam	m ³
P _n	Površina n-tog presjeka	m ²
P _n	Površina n+1-tog presjeka	m ²
P _{sr}	Srednja površina presjeka	m ²
x	Horizontalna projekcija kosine	m

1. UVOD

Projektiranje u rudarstvu obuhvaća istraživanje mineralne sirovine u širem smislu, dok u užem smislu uključuje organizaciju rudarskih radova odnosno eksploatacije, nadzor nad izgradnjom rudarskih objekata i ispitivanje samog tržišta. Temeljni alat za projektiranje rudarskih radova i upravljanje procesima su računalni programi koji omogućuju modeliranje površinskih i podzemnih kopova.

U ovom diplomskom radu prikazan je prijedlog proširenja eksploatacijskog polja tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“ i razvoj rudarskih radova na proširenom dijelu ležišta. Pomoću računalnog programa „OpenRoads Designer“ izrađen je 3D model postojećeg stanja korištenjem situacijske karte. Izrada 3D modela omogućuje nam proračunavanje rezervi mineralne sirovine korištenjem metode paralelnih vertikalnih presjeka, koje korigirane za popravni koeficijent i eksploatacijski gubitak, daju ukupne eksploatacijske rezerve. Metodom računalnog modeliranja provjerena je točnost metode paralelnih vertikalnih presjeka i proračunate su rezerve projektirane za otkopavanje koje su manje od eksploatacijskih rezervi zbog ograničenja kopa. Prikazan je razvoj rudarskih radova na proširenom površinskom kop „Pregrada II“ kroz četiri faze, a količina otkopane mineralne sirovine tijekom svakog pojedinog razdoblja proračunata je korištenjem metode računalnog modeliranja.

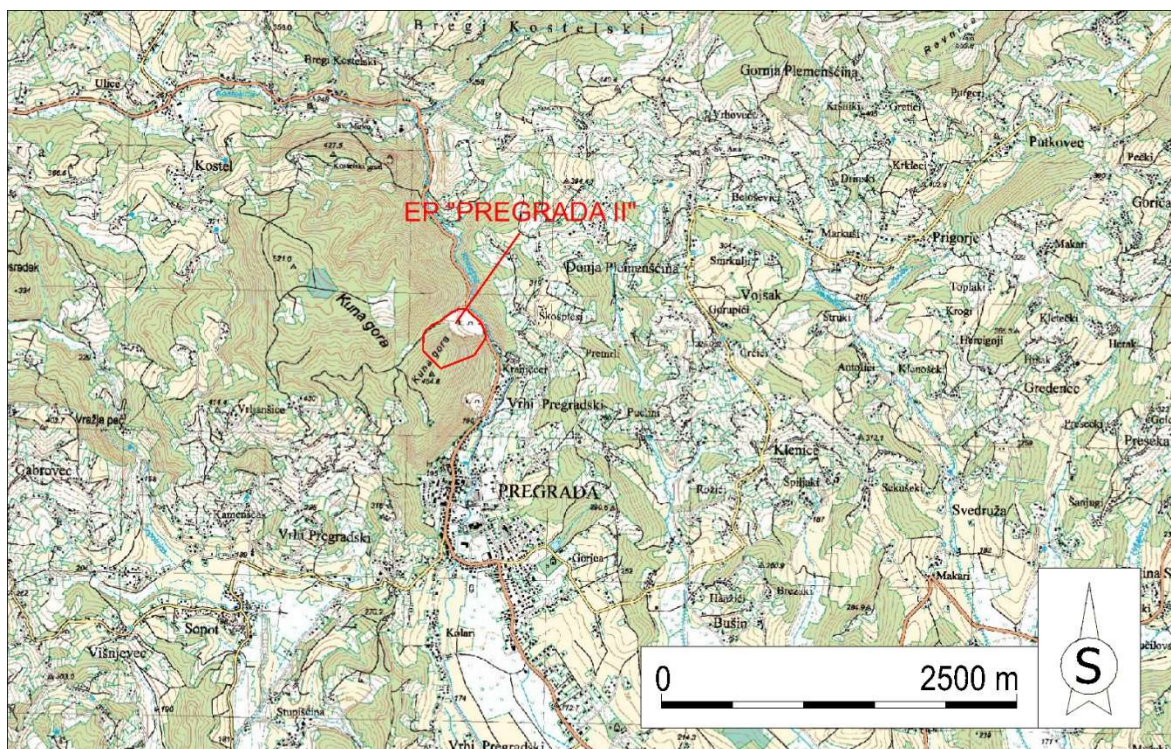
Konačno, provedena je tehno-ekonomska analiza vrijednosti ležišta kako bi se dobili podatci o vremenu trajanja eksploatacije i isplativosti eksploatacije mineralne sirovine. Model procjene vrijednosti ležišta izrađen je proračunom statičke dobiti.

2. OPĆI PODACI O PODRUČJU

2.1. Geografski položaj i podaci o eksploatacijskom polju

Eksploatacijsko polje tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“ nalazi se u Hrvatskom zagorju, u Krapinsko-zagorskoj županiji, neposredno uz grad Pregrada. Eksploatacijsko polje smješteno je na istočnim obroncima Kuna Gore uz državnu cestu Pregrada – Hum na Sutli. Rudarski radovi nisu vidljivi s južne strane, odnosno iz grada Pregrade, dok dominantno oblikuje pogled sa sjeverne strane iz smjera Hum na Sutli.

Eksploatacijsko polje „Pregrada II“ udaljeno je oko 1000 m od centra grada Pregrada. Na slici 2-1. nalazi se prikaz eksploatacijskog polja „Pregrada II“ na topografskoj karti.



Slika 2-1. Topografska karta eksploatacijskog polja „Pregrada II“

Trenutno eksploatacijsko polje omeđeno je vršnim točkama: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 i 21 (tablica 2-1.) te zauzima površinu od 12,46 ha.

Tablica 2-1. Koordinate vršnih točaka eksploatacijskog polja "Pregrada II" (Galić i dr., 2021).

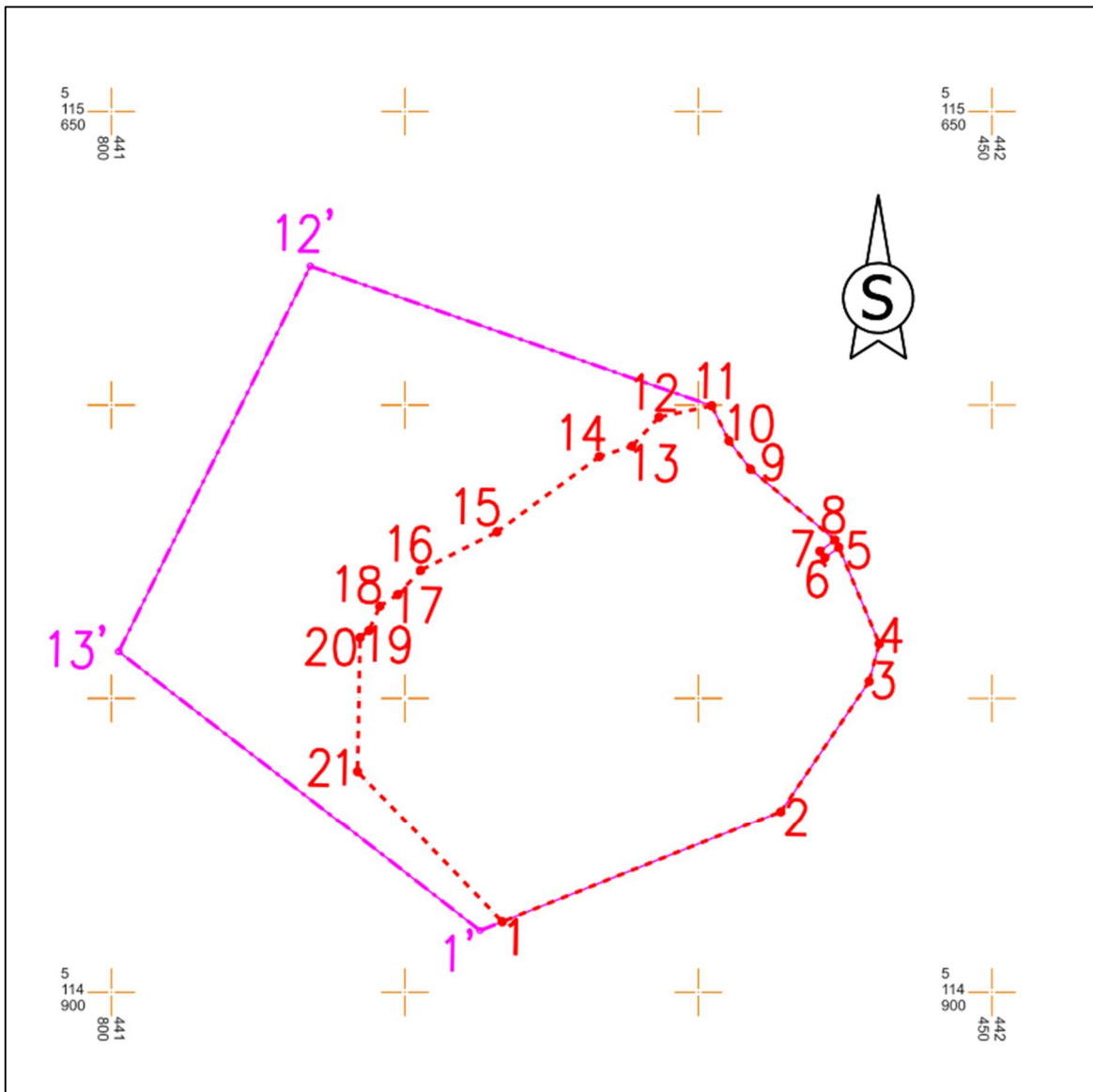
Vršna točka	Koordinate		Dužina stranica	
	Y	X	Točke	(m)
1	442 032,97	5 114 959,61	1-2	255,03
2	442 270,20	5 115 053,23	2-3	134,42
3	442 345,52	5 115 164,56	3-4	33,15
4	442 354,18	5 115 196,56	4-5	89,10
5	442 319,69	5 115 278,73	5-6	14,91
6	442 307,72	5 115 269,85	6-7	6,91
7	442 303,52	5 115 275,34	7-8	16,10
8	442 316,41	5 115 284,99	8-9	93,94
9	442 244,44	5 115 345,37	9-10	30,33
10	442 226,09	5 115 369,52	10-11	33,28
11	442 211,36	5 115 399,35	11-12	45,88
12	442 166,52	5 115 389,65	12-13	33,63
13	442 143,60	5 115 365,04	13-14	29,37
14	442 115,62	5 115 356,11	14-15	108,23
15	442 028,49	5 115 291,90	15-16	72,81
16	441 963,46	5 115 259,16	16-17	28,45
17	441 943,96	5 115 238,44	17-18	18,25
18	441 928,64	5 115 228,52	18-19	22,66
19	441 919,43	5 115 207,83	19-20	9,62
20	441 911,86	5 115 201,89	20-21	114,25
21	441 909,67	5 115 087,66	21-1	177,74
Površina eksploatacijskog polja			12,46 ha	

Prijedlog proširenja eksploatacijskog polja tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“ zauzima znatno veću površinu od trenutnog stanja. Prijedlog novih vršnih točaka 1', 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12', i 13' prikazan je u tablici 2-2.

Tablica 2-2. Koordinate vršnih točaka proširenog eksploatacijskog polja.

Vršna točka	Koordinate		Dužina stranica	
	Y	X	Točke	(m)
1'	442 014,02	5 114 952,12	1'-2	275,41
2	442 270,20	5 115 053,22	2-3	134,42
3	442 345,53	5 115 164,55	3-4	33,15
4	442 354,16	5 115 196,55	4-5	89,1
5	442 319,70	5 115 278,72	5-6	14,91
6	442 307,72	5 115 269,83	6-7	6,91
7	442 303,53	5 115 275,32	7-8	16,1
8	442 316,41	5 115 284,98	8-9	93,94
9	442 244,44	5 115 345,36	9-10	30,33
10	442 226,10	5 115 369,51	10-11	33,28
11	442 211,36	5 115 399,34	11-12	361,98
12'	441 869,48	5 115 518,29	12-13	366,68
13'	441 706,24	5 115 189,95	13-1'	388,96
Površina eksploatacijskog polja			22,62 ha	

Vršne točke koje su označene s apostroфом označavaju nove točke, a sve ostale su jednake točkama kao i u trenutnom stanju. Prošireno eksploatacijsko polje zauzimalo bi površinu od 22,62 ha. Na slici 2-2. nalazi se raspored vršnih točaka trenutnog eksploatacijskog polja i prijedlog za proširenje.



Slika 2-2. Raspored vršnih točaka trenutnog i proširenog eksploatacijskog polja, M 1:6000.

2.2. Geološke i tektonske značajke

Okruženje eksploatacijskog polja „Pregrada II“ izgrađuju stijene stratigrafskog raspona trijas – kvartar. Temeljni geološki odnosi na ovome području prikazani su na slici 2-3., tj. izradom Osnovne geološke karte SFRJ 1:100 000, list Rogatec, (Aničić i Juriša, 1984.).

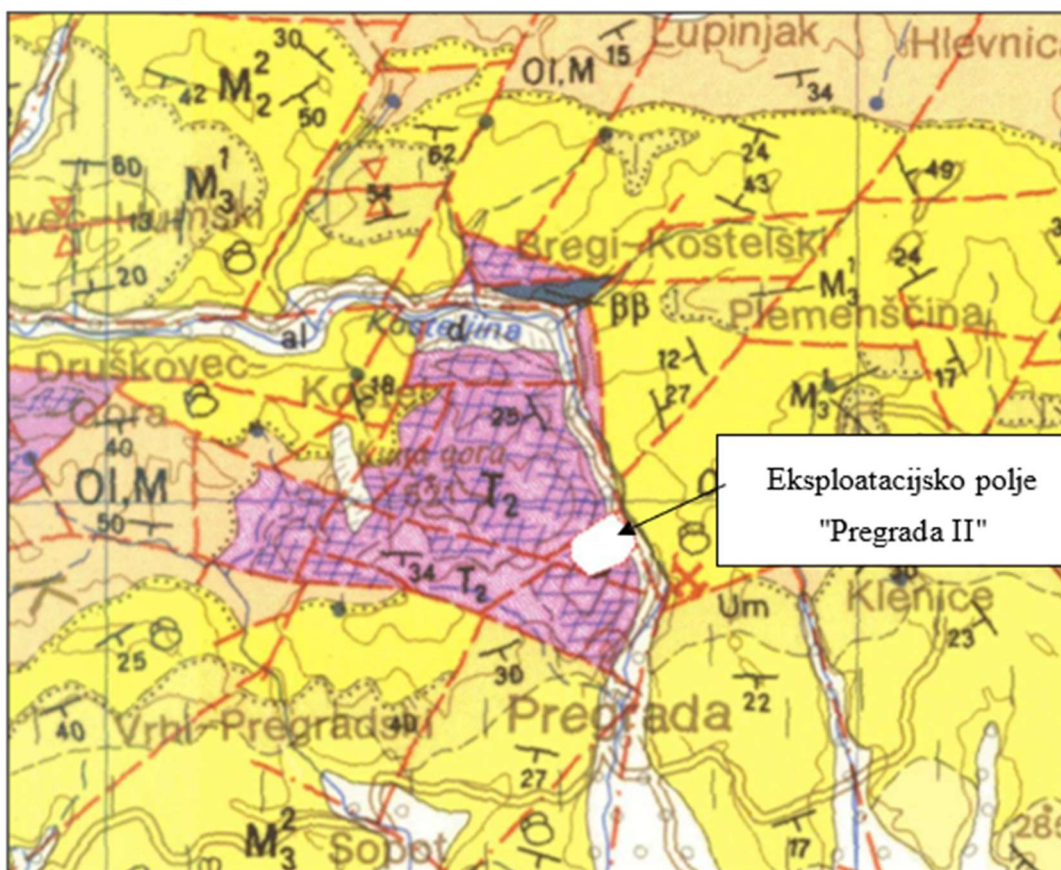
Kuna Gora je uglavnom izgrađena od dolomita, dolomitnih breča i dolomitiziranih vapnenaca gdje većinski dio dolomita pripada rano dijagenetskim dolomitima (Pavelić i Galić, 2020.). Najveći dio dolomita na ovome području je prekristaliziran tijekom dijageneze prilikom nastajanja brojnih prslina i pukotina. Dolomit na ovome području zadobio je brečasti habitus zbog intenzivnih tektonskih deformacija koji su prouzrokovali

kataklastičnu metamorfozu dok su naknadne tektonske deformacije, rasjedi i bore, dodatno usitnile dolomitnu stijenu te su zbog toga dolomiti podložni brzom trošenju u ovim zonama.

Na eksploatacijskom polju tehničko-građevnog kamena „Pregrada“ zapažaju se debeli slojevi dolomitiziranih vapenaca koji su manje kataklazirani od dolomita i dolomitnih breča. U ovim je dolomitima razvijena sekundarna poroznost zbog čega su značajan vodonosnik.

Područje koje je vidljivo na Osnovnoj geološkoj karti SFRJ 1:100 000, list Rogatec, odlikovano je rasjedima i borama. Smjer pružanja bora je istok – zapad, a strukture vidljive na karti predstavljaju krajnji istočni dio Rudeniško-Ivanjške antiklinale. Kod mjerenih položaja slojeva uočeni su intenzivno borane stijene i prisutni rasjedi. Strukturno i morfološki dominira Kuna Gora, gdje se vjerojatno radi o horst antiklinoriju, izgrađen pretežito od dolomita srednjeg trijasa rasjedom odijeljen od mlađih stijena. Rasjedi koji se nalaze u dolomitnom masivu su normalni rasjedi, pretpostavljeni zbog pokrivenosti terena. Orijentacija im je raznovrsna, a pružanje im je najčešće sjeverozapad-jugoistok, sjeveroistok-jugozapad i sjever-jug.

Osim ovih navedenih rasjeda koji čine granicu između trijaskih dolomita i neogoenskih sedimenata, prisutni su i drugi normalni rasjedi čiji dominantni sustav ima pružanje sjeveroistok-jugozapad. Ovi su rasjedi omogućili sekundarnu poroznost, najviše u trijaskim dolomitima koji su respektabilni vodonosnik i sadrže obnovljive količine kvalitetne podzemne vode.



Legenda kartiranih jedinica:

	Dolomiti, dolomitne breče i dolomitizirani vapnenac		Pijesak, pješčenjak, pjeskovita glina, pijekoviti lapor i škriljavac s ugljenom
	Lapor, laporoviti vapnenac, vapnenac i pjeskoviti lapor		Glinoviti i pjeskoviti lapor s uklopcima pijeska i pješčenjaka
	Litotamnijski vapnenac		Lapor, laporoviti vapnenac, glinasti lapor, pijesak i pješčenjak
	Spilitizirani diabaz i spilitizirani dijabazni tuf		

Slika 2-3. Izvod iz OGK SFRJ 1:100 000, list Rogatec (Aničić, i Juriša, 1984.), s označenim eksploatacijskim poljem tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“, M 1:50 000 (Galić i dr., 2021).

2.3. Hidrografske i klimatske prilike

Krapinčica s pritocima čini najrazvijeniju hidrografsku mrežu na području eksploatacijskog polja tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“, formirajući većinski dio desne strane sliva rijeke Krapine.

Na istočnim padinama Kuna Gore nalazi se eksploatacijsko polje tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“, na desnoj strani rječice Kosteline. Površina sliva Kosteline zahvaća površinu od 22,5 km² do mjerodavnog profila kod površinskog kopa „Pregrada II“. Njezine značajnije pritoke čine potoci Poljanovec, Vinski i Mlinski potok. Ponekad se javljaju bujični tokovi koji se slijevaju uskim jarugama niz padine Kuna Gore.

Prema Köppenovoj klasifikaciji klime, najveći dio Hrvatske ima umjereno toplu-kišnu klimu C, osim područja koja su izolirana iznad 1 550 m koja imaju snježno-šumsku klimu. Tako šire područje Pregrade ima umjereno toplu-kišnu klimu koja pripada klimatskoj zoni s oznakom C. Za ovu klimu vrijedi da su temperature najhladnijeg mjeseca između -3°C i 18°C , dok su ljeta svježija s temperaturom ispod 22°C tijekom najtoplijeg mjeseca. Oborine su jednolike tijekom cijele godine dok je hladno godišnje doba najsušniji dio godine. Maksimum količine oborina se pojavljuju u početku toplog dijela godine i u kasnoj jeseni.

3. PODACI O VRSTI, KOLIČINI I KAKVOĆI MINERALNE SIROVINE

Na eksploatacijskom polju „Pregrada II“, bušenjem i miniranjem, eksploatira se dolomit kao tehničko-građevni kamen.

Temeljem Elaborata o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Pregrada II“ – Peta obnova (Pavelić i Galić, 2020.), potvrđene su količine i kakvoća rezervi (tablica 3-1.) tehničko-građevnom kamena na dan 31. prosinca 2019. godine.

Tablica 3-1. Potvrđene rezerve tehničko-građevnog kamena - 31.12.2019. godine (Pavelić i Galić., 2020).

Kategorija	Ukupne rezerve (m ³), $k_p = 0,98$			Ekspl. gubici	Eksploatacijske rezerve
	Bilančne	Izvanbilančne	Ukupne	%	(m ³)
A	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-
C1	1 681 429	2 093 298	3 774 727	2,0	1 647 800
A+B+C1	1 681 429	2 093 298	3 774 727	2,0	1 647 800

Zbog geološke građe i stupnja istraženosti eksploatacijskog polja, proračunati obujam mineralne sirovine potrebno je korigirati popravim koeficijentom koji iznosi 0,98. Također, jalovina je iskazana kroz navedeni popravni koeficijent zbog njene male postojanosti u stijenskoj masi. Na eksploatacijskom polju „Pregrada II“ eksploatacijski gubitak, temeljem iskustva, iznosi 2%.

Kakvoća mineralne sirove na eksploatacijskom polju „Pregrada II“ obavljena je sukladno standardima od strane CEMTRA d.o.o. te su obavljena cjelovita ispitivanja za određivanje fizičko-mehaničkih svojstava (tablica 3-2.) i kemijska analiza.

Kemijskom analizom određeno je da kamen sadrži 21,08% MgO i 31,13% CaO, odnosno 96,04% dolomita i 3,96% kalcita gdje prema tom podatku kamen spada u čiste dolomite (J. Tišljar, 2001.).

Tablica 3-2. Fizičko-mehanička svojstva kamena (Pavelić i Galić, 2020).

Vrsta određivanja	Određivano prema	Rezultati određivanja
<p>Čvrstoća na tlak</p> <p>U suhom stanju</p> <p>U vodom zasićenom stanju</p> <p>Nakon smrzavanja</p>	<p>HRN</p> <p>B.B8.012</p>	<p>maks. = 222 MPa</p> <p>min. = 157 MPa</p> <p>a. sred. = 174,1 MPa</p> <p>maks. = 191,8 MPa</p> <p>min. = 153 MPa</p> <p>a. sred. = 172,4 MPa</p> <p>maks. = 174,9 MPa</p> <p>min. = 146,9 MPa</p> <p>a. sred. = 162,3 MPa</p>
<p>Upijanje vode pri atmosferskom tlaku</p>	<p>HRN</p> <p>B.B8.010</p>	<p>= 0,14 % (mas.)</p>
<p>Obujamska masa</p>	<p>HRN</p> <p>B.B8.032</p>	<p>= 2 780 kg/m³</p>
<p>Gustoća</p>	<p>HRN</p> <p>B.B8.032</p>	<p>= 2 805 kg/m³</p>
<p>Apsolutna poroznost</p>	<p>HRN</p> <p>B.B8.032</p>	<p>= 0,891% (vol.)</p>
<p>Otpornost na smrzavanje</p>	<p>HRN</p> <p>B.B8.001</p> <p>(25 ciklusa)</p>	<p>Gubitak mase: = 0,06 % (mas.)</p> <p>Postojan</p>
<p>Petrografska odredba</p>	<p>HRN</p> <p>B.B8.003</p>	<p>sitno do srednje kristalasti dolomit,</p> <p>prema Folk-u</p>
<p>Otpornost na drobljenje i habanje (Los angeles)</p>	<p>HRN</p> <p>B.B8.045</p>	<p>Koeficijent L_A =</p> <p>Gradacija B = 28,2 %</p> <p>Gradacija C = 25,5 %</p> <p>Gradacija D = 27,9 %</p>
<p>Otpornost na habanje (Bohme)</p>	<p>HRN</p> <p>B.B8.015</p>	<p>= 22,3 cm³/50 cm²</p>

Temeljem rezultata ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava, kemijske analize i ostalih ispitivanja, ispitani materijal tehničko-građevnog kamena može se uporabiti u dobivanju:

1. drobljenog kamenog agregata za izradu betona i armiranog betona (HRN B.B2.009 i HRN EN 12620),
2. drobljenog kamena za izradu donjih nosivih mehanički i kemijski stabiliziranih (tamponskih) slojeva (HRN U.E9.024 i U.E9.020),
3. kamenog agregata za izradu donjih (DBNS) i gornjih (BNS) nosivih slojeva od bituminoznog materijala za autoceste i ceste svih razreda prometnih opterećenja (HRN U.E9.028 i U.E9.021),
4. drobljenog i neklasiranog kamena za izgradnju i održavanje gospodarskih, šumskih i nerazvrstanih cesta,
5. miniranog i drobljenog kamenog materijala za izradu nasipa i posteljica na cestama (HRN U.E1.010 i HRN U.E8.010) i
6. drobljenog kamenog agregata za izradu asfaltnih mješavina tipa asfaltbetona na cestama teškog, srednjeg, lakog i vrlo lakog prometnog opterećenja (HRN U.E4.014).

4. TEHNOLOŠKI PROCES EKSPLOATACIJE MINERALNE SIROVINE

Trenutni tehnološki proces eksploatacije na eksploatacijskom polju „Pregrada II“ sastoji se od više segmenata (Galić i dr., 2021):

1. izrada pristupnih putova, uklanjanje otkrivke i izrada usjeka,
2. eksploatacija kamena bušenjem i miniranjem,
3. prebacivanje odminirane stijenske mase,
4. razbijanje velikih komada stijenske mase,
5. utovar i transport stijenske mase,
6. sitnjenje i klasiranje odminirane stijenske mase i
7. utovar klasiranog tehničko-građevnog kamena u kamione.

U tablici 4-1. nalazi se prikaz strojeva i opreme koja se koristi za eksploataciju na površinskom kopu „Pregrada II“.

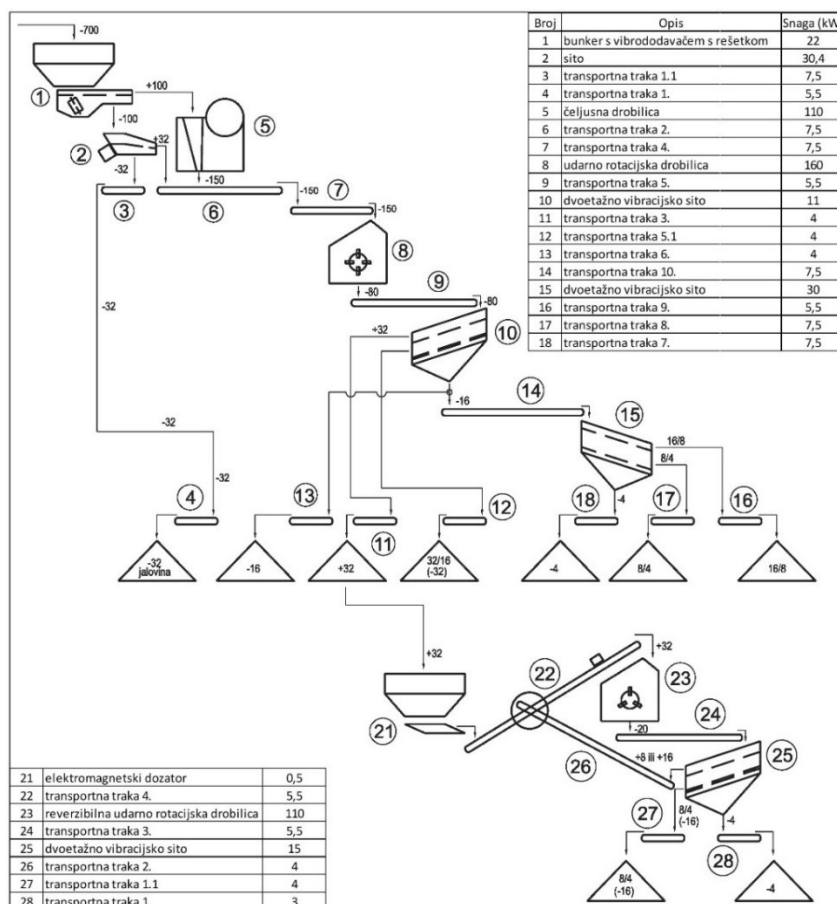
Tablica 4-1. Strojevi i oprema za eksploataciju mineralne sirovine (Galić i dr., 2021).

Vrsta stroja i opreme	Namjena-faza rada
Bušilica, $v > 10$ m/h	Bušenje minskih bušotina
Buldozer, N = 130 - 180 kW (manjih dimenzija)	Preguravanje odminirane stijene
Hidraulični bager s korpom do $1,5 \text{ m}^3$; do 180 kW	Prebacivanje odminirane stijene
Hidraulični bager s korpom do $1,5 \text{ m}^3$; i čekićem do 5 t masa čekića; do 45 t masa bagera, do 180 kW	Usitnjavanje krupnih (iznad-gabaritnih) komada i utovar mineralne sirovine
Utovarivač, do $3,2 \text{ m}^3$, do 180 kW	Punjenje pokretne drobilice Hartl
Utovarivač, do $2,3 \text{ m}^3$, do 180 kW	Utovar u kamione i drobilice (stabilna)
Stabilno oplemenjivačko postrojenje za sitnjenje i klasiranje, do $100 \text{ m}^3/\text{h}$, 594,5 kW	Sitnjenje i klasiranje odminirane mineralne sirovine, ulaz do 700 mm
Pokretna drobilica, do $15 \text{ m}^3/\text{h}$, 144 kW	Sitnjenje suficitarnih frakcija tgk, ulaz do 700 mm

Budući da se eksploatacijsko polje „Pregrada II“ nalazi uz cestu Pregrada – Hum na Sutli, nije potrebno izraditi pristupni put. Cesta omogućava ulaz plato +205. Na postojećem stanju nije potrebno izvoditi radove uklanjanja otkrivke i izradu usjeka jer su razvijene etaže.

Eksploatacija tehničko-građevnog kamena izvodi se bušenjem i miniranjem stijenske mase. Miniranje izvodi vanjska usluga. Nakon bušenja i miniranja dio odminirane stijenske mase zaostaje na radnim etažama. Zaostali materijal transportira se na plato +205 gravitacijskim transportom, tj. prebacivanjem stijenske mase preko radnih etaža bagerom.

Odminirani materijal s platoa +205 transportira se utovarivačima u primarno drobilno postrojenje gdje slijedi sitnjenje i klasiranje materijala. U slučaju postojanja vangabaritnih materijala, na ruku bagera se namontira hidraulični čekić te slijedi usitnjavanje materijala. Klasiranjem dobiti će se frakcije +31,5; 31,5/16; 16/8; 8/4 i -4 mm. Na slici 4-1. nalazi se prikaz segregacijske sheme sitnjenja i klasiranja na stabilnom postrojenju s oznakama i opisom dijelova.

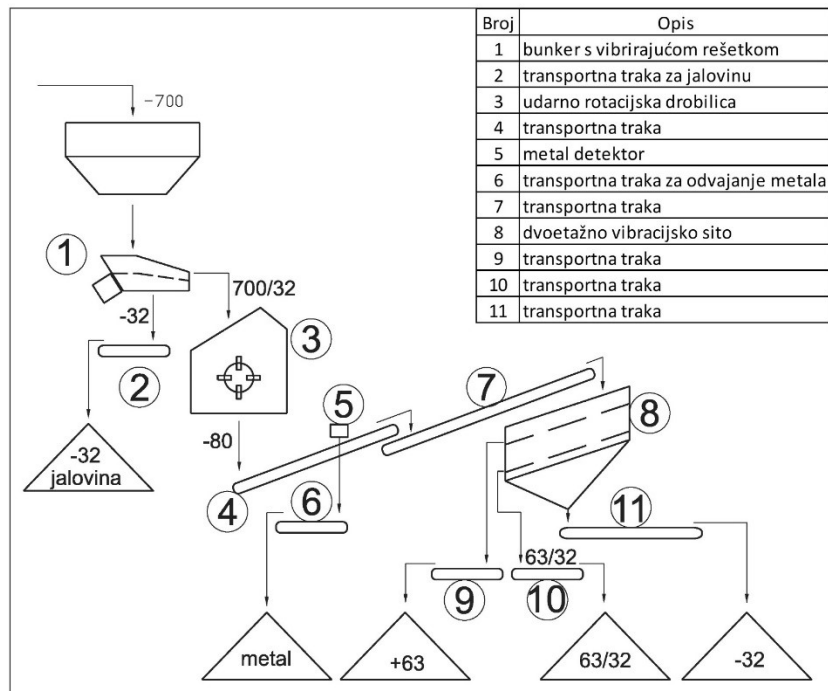


Slika 4-1. Segregacijska shema sitnjenja i klasiranja – stabilno postrojenje (Galić i dr., 2021).

Dio odminiranog materijala će se usitnjavati i klasirati u mobilnom postrojenju zbog duljine transporta i tehnoloških procesa, prikazano na slici 4-2. Na slici 4-3. nalazi se prikaz segregacijske sheme mobilnog drobilnog postrojenja zajedno s opisom dijelova.

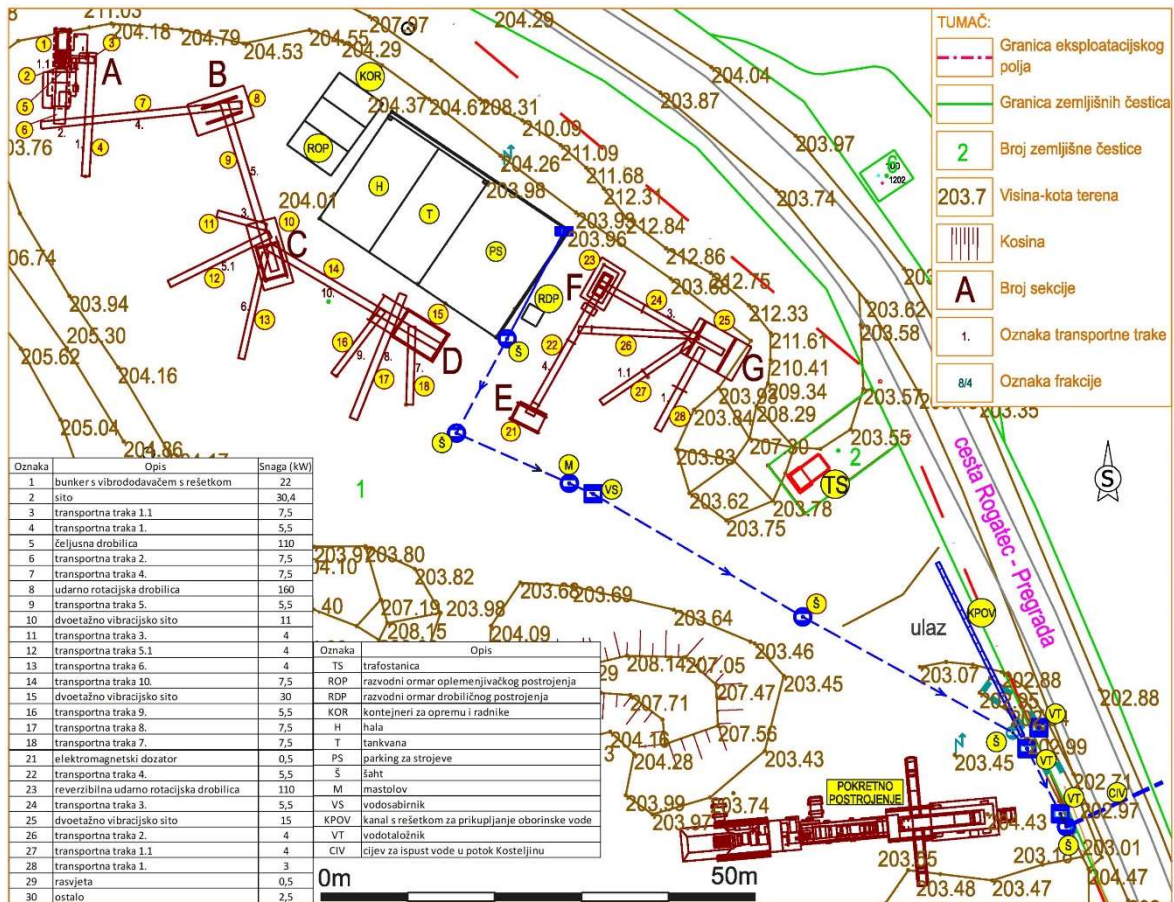


Slika 4-2. Samohodna drobilica.



Slika 4-3. Segregacijska shema sitnjenja i klasiranja - mobilno postrojenje (Galić i dr., 2021).

Na slici 4-4. nalazi se prikaz položaja primarnog i sekundarnog drobilnog postrojenja na osnovnom platou +205.



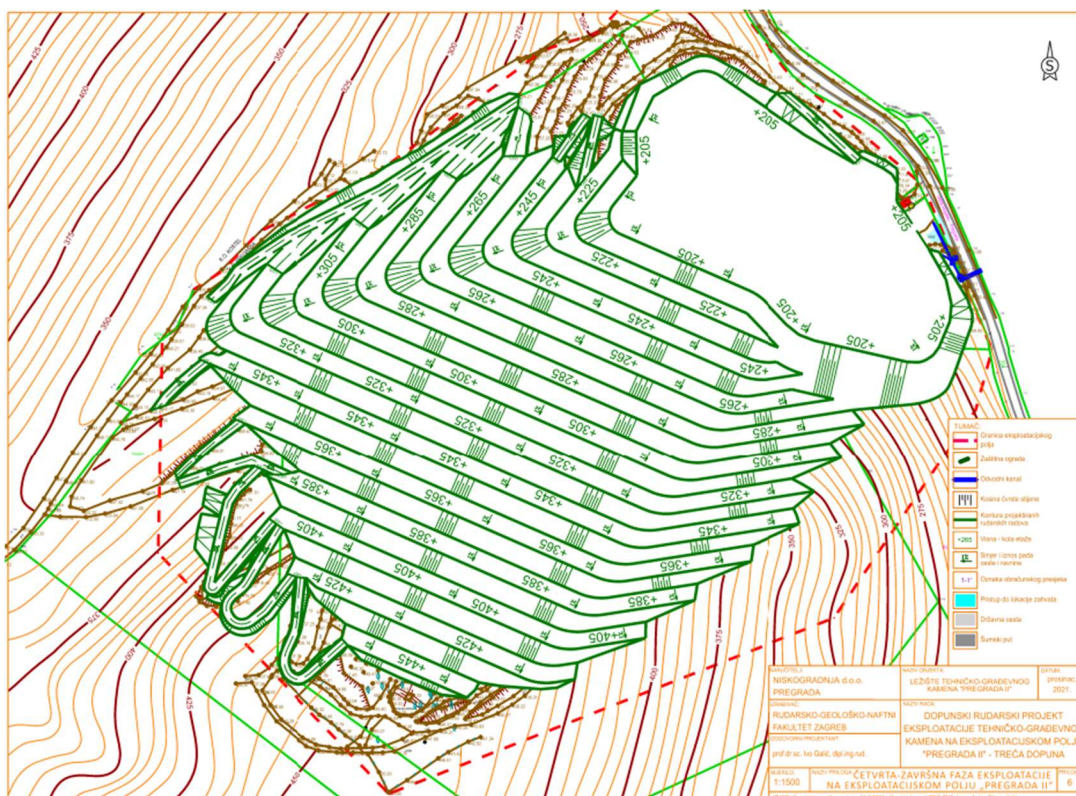
Slika 4-4. Položaj primarnog i sekundarnog drobiličnog postrojenja, M 1:1500 (Galić i dr., 2021).

5. IZRADA MODELA EKSPLOATACIJSKOG POLJA I ISTRAŽNIH RADOVA

5.1. Ulazni podaci – situacijska karta

Eksploatacija tehničko-građevnog kamena na površinskom kopu „Pregrada II“ odvija se od 1960. godine. Temeljem Elaborata o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Pregrada II“ – Peta obnova (Pavelić i Galić, 2020.), utvrđene su eksploatacijske rezerve u iznosu od 1 647 800 m³.

Trenutna površina eksploatacijskog polja iznosi 12,46 ha, a u prijedlogu proširenja iznosi 22,62 ha. Slikom 5-1. prikazana je situacijska karta završnog stanja površinskog kopa „Pregrada II“.



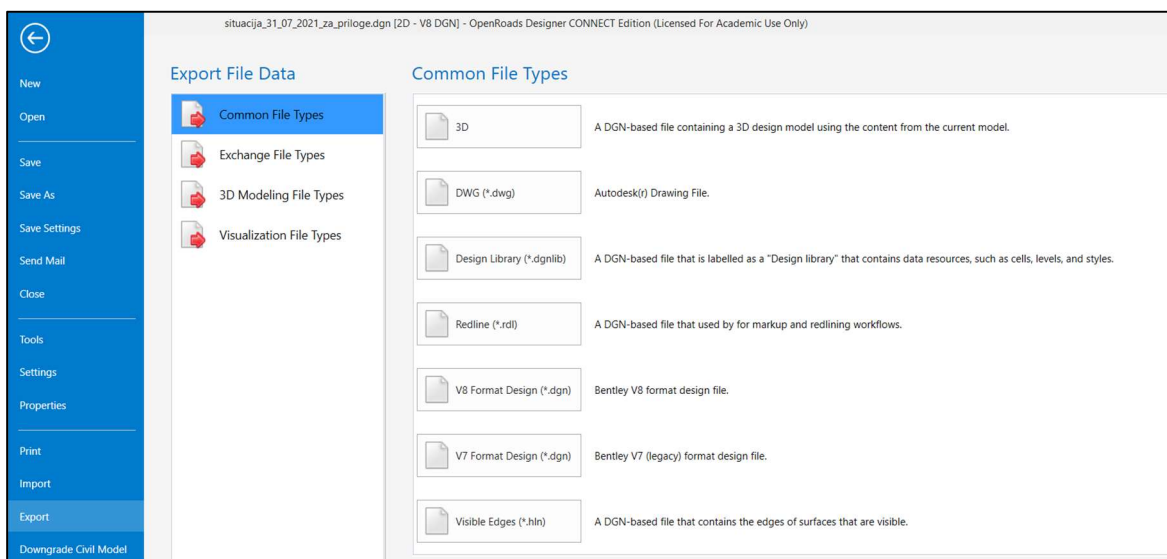
Slika 5-1. Situacijska karta završnog stanja površinskog kopa "Pregrada II", M 1:1500.

Izrada 3D modela površinskog kopa obavljena je u programu „OpenRoads Designer“. Budući da se u diplomskom radu pretpostavlja da će se proširenje nastaviti odmah nakon što su dostignute završne konture kopa, za izradu 3D modela terena potrebna je geodetska dvodimenzionalna digitalizirana situacijska karta završnog stanja. Korištena je situacijska

karta Dopunskog rudarskog projekta eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Pregrada II“ – Treća dopuna (Galić i dr., 2021).

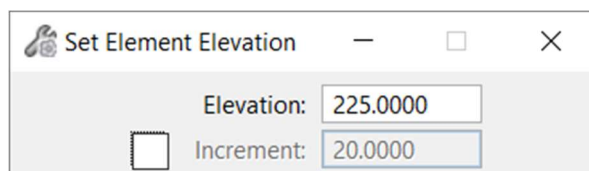
Otvaranjem situacijske karte u programu „OpenRoads Designer“ dobiva se 2D prikaz. Kako bi se omogućila manipulacija u sve tri dimenzije, potrebno je kreirati novu datoteku na slijedeći način (slika 5-2.):

File – Export – Common File Types – 3D



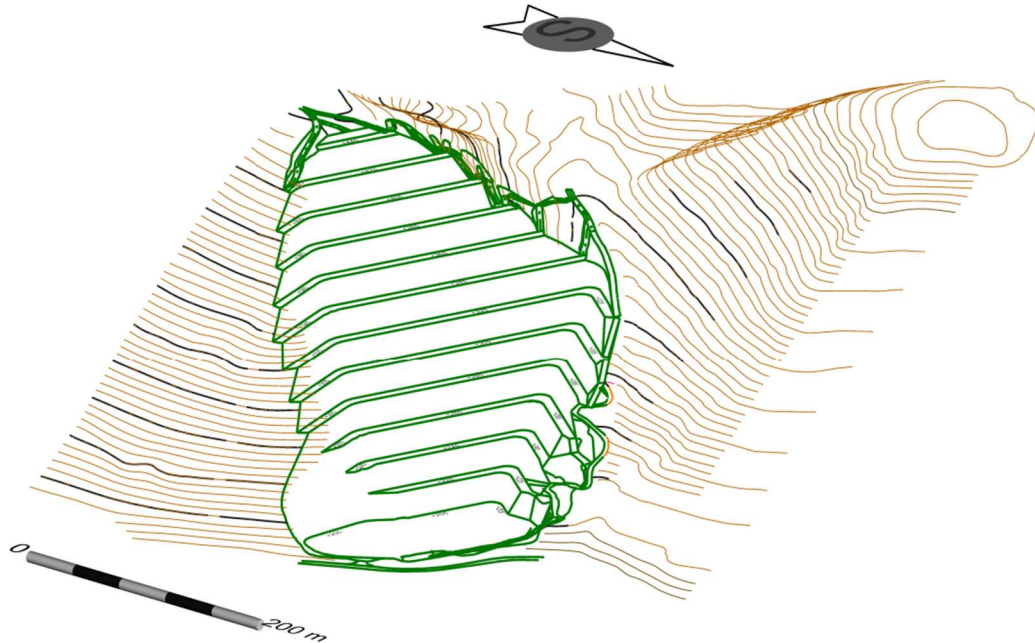
Slika 5-2. Kreiranje 3D datoteke u programu "OpenRoads Designer".

Nakon što je izrađena datoteka u kojoj je moguće manipulirati u sve tri dimenzije, potrebna je transformacija slojnica i rudarskih radova iz 2D u 3D. Transformacija se postiže uz pomoć naredbe „Set Element Elevation“ (slika 5-3.), gdje se slojnicama uz dvije postojeće dimenzije dodaje treća.



Slika 5-3. Naredba "Set Element Elevation".

Nakon što je uključena navedena naredba, potrebno je pod „Elevation“ unijeti visinu na kojoj se određeni element nalazi. Na slici 5-4. nalazi se 3D prikaz završnog stanja površinskog kopa „Pregrada II“.



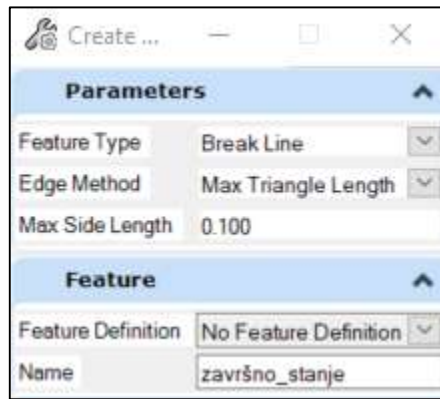
Slika 5-4. 3D prikaz elemenata.

5.2.Triangulacija i renderiranje

Triangulacija je proces u kojemu se ravninski poligon ili površina dijeli u mrežu trokutova pri čemu je svaka stranica mreže zajednička susjednim trokutovima (Galić i Farkaš, 2011). Osim što nam nastala površina omogućava realniji prikaz površinskog kopa „Pregrada II“, s površinom možemo dobiti obračunske i znakovite presjeke, kao i bilancirane i otkopane rezerve.

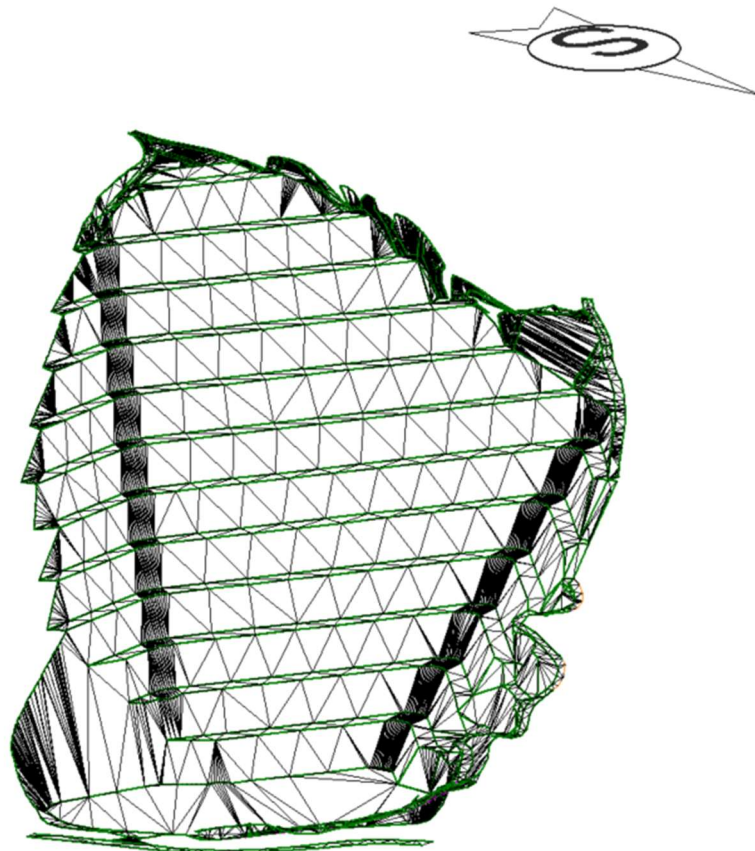
Postupak triangulacije (slika 5-5.) izveden je u programu „OpenRoads Designer“ na slijedeći način:

- ostaviti „WorkFlow“ u „OpenRoads Modelling“,
- označiti jednake geometrijske elemente (npr. završne konture kopa su različiti geometrijski elementi od slojnica) – označiti rudarske radove,
- postaviti tab „Terrain“ → naredba „From Elements“,
- pojavljuje se izbornik za „Feature Type“ → odabire se „Break Line“ s obzirom da se izrađuje triangulirana površina rudarskih radova → „Edge Method“ → odabire se „Max Triangle Length“ 0,1 kako bi se onemogućilo stvaranje trokuta van završnih kontura modela.



Slika 5-5. Naredba "From Elements" - izrada triangulacijskog modela.

Na slici 5-6. nalazi se 3D model završnih kontura površinskog kopa „Pregrada II“.

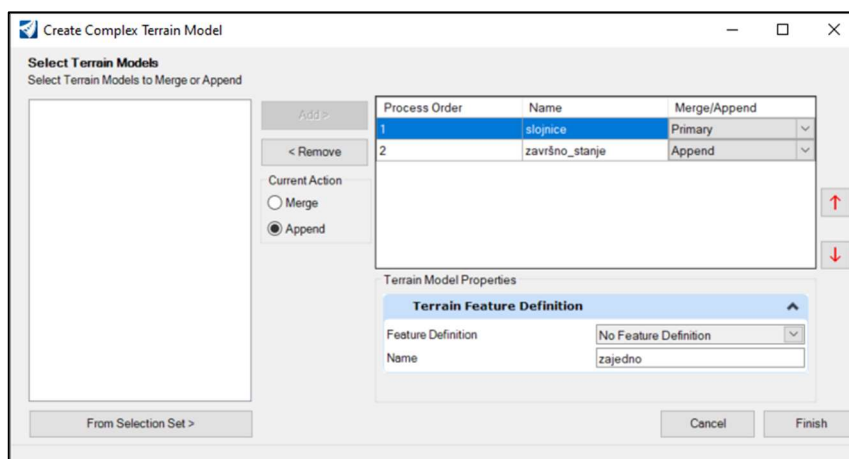


Slika 5-6. 3D model završnog stanja površinskog kopa "Pregrada II".

Triangulacija rudarskih radova i slojnica radi se odvojeno iz razloga što „linije“ koje ih predstavljaju nisu matematički (geometrijski) iste, te radi povećanja točnosti modela potrebno je odvojeno izraditi njihove modele i u konačnici ih spojiti.

Potrebno je ponoviti postupak iznad za izradu 3D modela slojnica, odnosno samog terena. Za razliku od završnih kontura, za slojnice je potrebno uzeti za „Feature Type – Contours“, a za „Edge Method – Remove Slivers“.

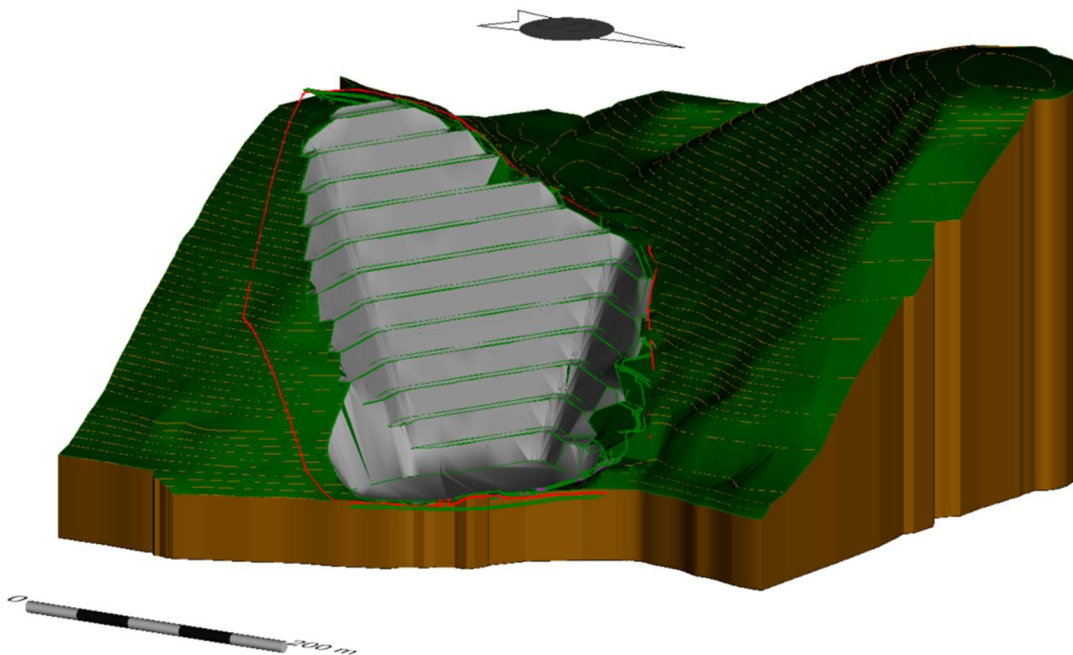
Spajanje 3D modela završnih kontura i slojnica odvija se pomoću naredbe „Create Complex Terrain model“, na način kako je prikazano na slici 5-7.



Slika 5-7. Naredba „Create Complex Terrain model“.

Za izradu blok-modela potrebno je koristiti naredbu „Boundary Options“ kako bi se modelu dodao „perimeter“, odnosno granicu modela. Za metodu se odabire „Extract Graphic“ te se postupak ponavlja kako bi se dobile dvije granice. Naredbom „Set Element Elevation“ treba spustiti jednu granicu na željenu visinu ispod modela. Pomoću naredbe „Construct Surface“ potrebno je kreirati površinu metodom „By Edges“ gdje treba označiti obje granice (Kronja, 2019).

U konačnici slijedi postupak renderiranja gdje se trokutima dodjeljuje boja radi boljeg izgleda modela terena, prikazano slikom 5-8.



Slika 5-8. Blok model površinskog kopa "Pregrada II".

5.3. Istražni radovi

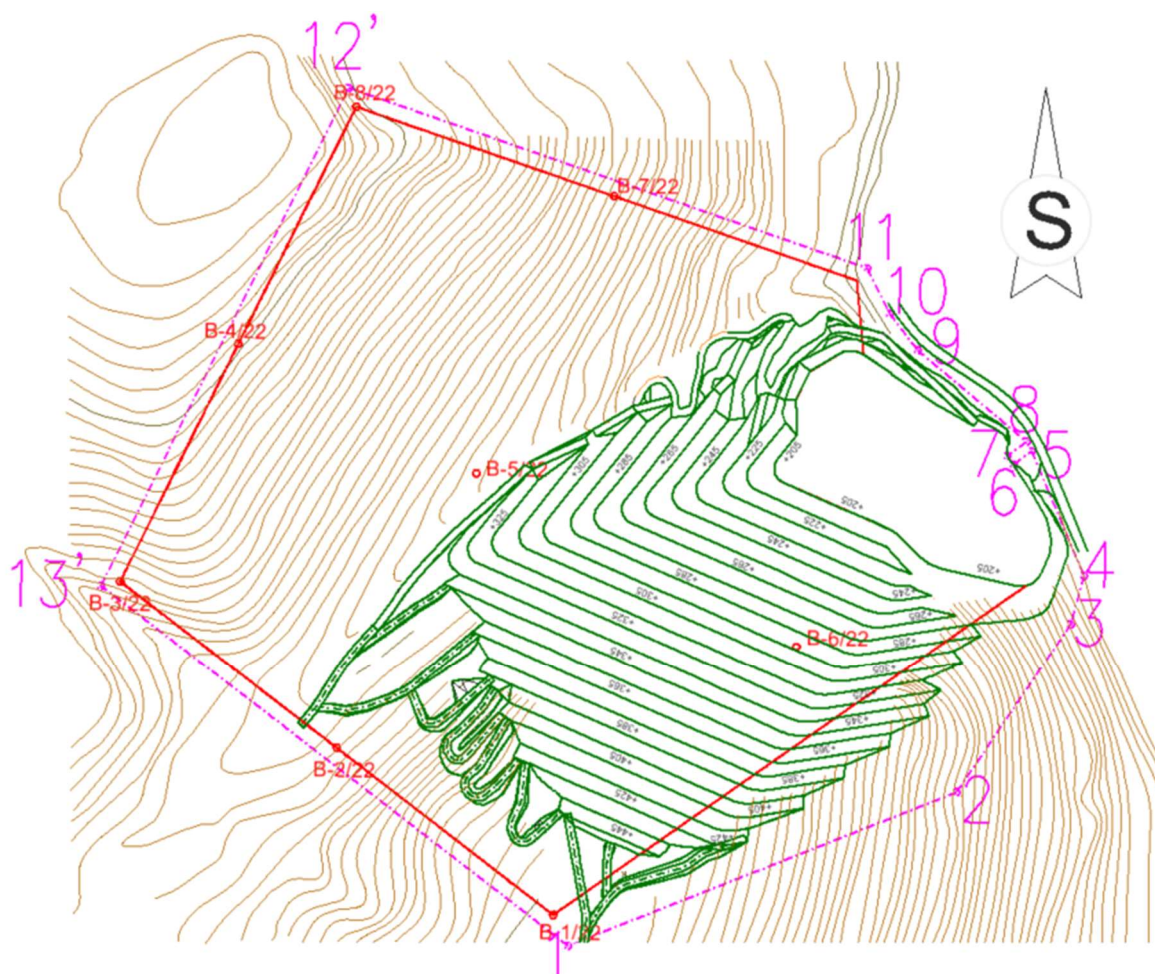
Prema složenosti, građe, debljini, značajkama i kakvoći ležišta tehničko-građevnog kamena razvrstavaju se u dvije skupine. Eksploatacijsko polje tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“ pripada drugoj skupini prema Članku 51. Pravilnika o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina 46/18 (NN, 2018.).

Sukladno Članku 52. Pravilnika o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina, maksimalne udaljenosti između istražni radova 46/18 (NN, 2018) prikazani su u tablici 5-1., a na slici 5-9. položaj istražnih bušotina na eksploatacijskom polju.

Tablica 5-1. Najveće moguće udaljenosti između istražnih radova (Pravilnik o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina, NN 2018).

Skupine i podskupine ležišta	Najveće udaljenosti između istražnih radova (m)		
	Kategorija A	Kategorija B	Kategorija C
Prva skupina	100	200	300
Druga skupina	60	120	240

Na eksploatacijskom polju tehničko-građevnog kamena “Pregrada II” najveća udaljenost između istražnih bušotina je 240 m.



Slika 5-9. Položaj istražnih bušotina na eksploatacijskom polju "Pregrada II", M 1:5000.

5.4. Završna kosina

Završna kosina predstavlja granicu bilančnih i izvanbilančnih rezervi. Kut nagiba završne kosine α_z je kut koji spaja donju i gornju završnu konturu površinskog kopa i predstavlja maksimalni nagib površinskog kopa u vidu stabilnosti.

Projektnim parametrima je definirano kako cijela SZ kosina ima kut završne kosine $\alpha_z = 48^\circ$, a za JZ kosinu α_z iznosi 43° .

Horizontalna vrijednost kosine može se odrediti na dva načina: proračunski i računalno. Proračun se izvodi preko formule:

$$\tan \alpha_z = \frac{h}{x} \rightarrow x = \frac{h}{\tan \alpha_z}$$

gdje je:

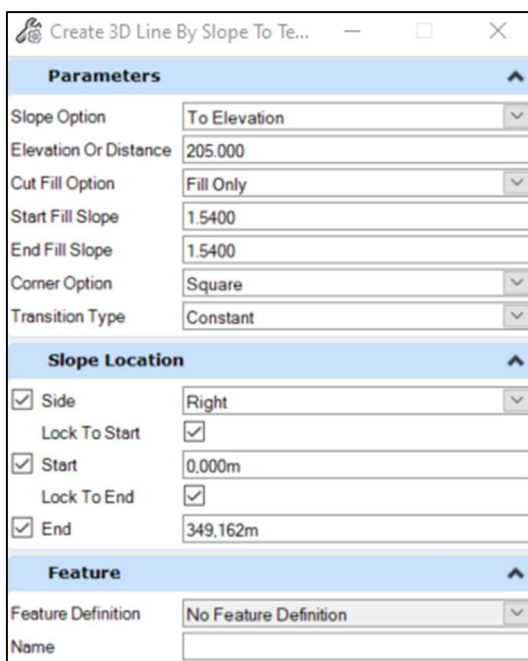
α_z – kut završne kosine ($^{\circ}$),

h – visina terena (m),

x – horizontalna projekcija kosine (m).

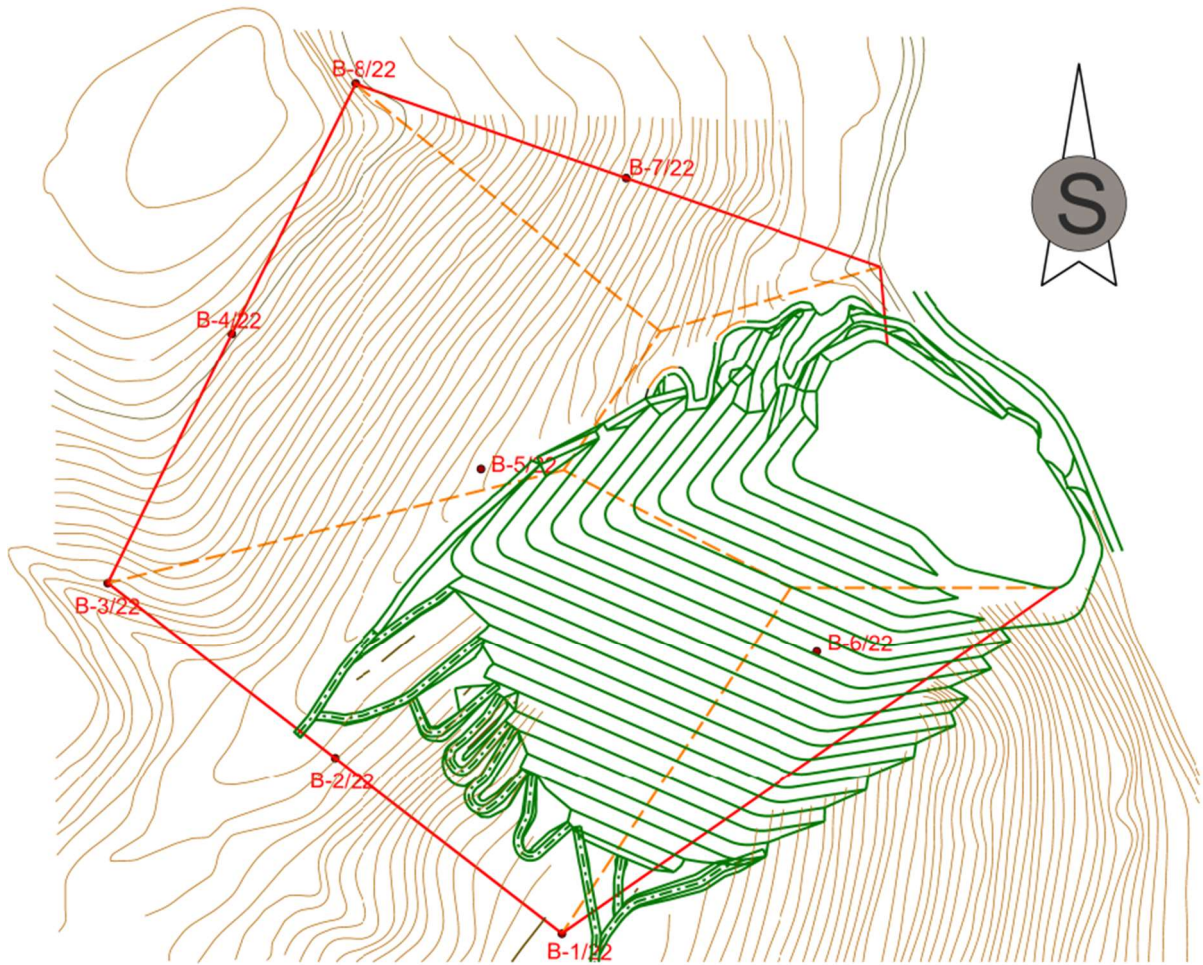
Zbog složene topografije, horizontalna projekcija završne kosine napravljena je računalno na slijedeći način:

- podići granice rezervi na 3D model terena pomoću naredbe „Drape Element“,
- postaviti „Workflow“ u „OpenRoads Modeling“, otvoriti tab „Model Detailing“, kliknuti na padajući izbornik „3D Elements“, odabrati naredbu „Create 3D model By Slope To Target“ (slika 5-10.),
- za „Slope Option“ treba postaviti „To Elevation“ s obzirom da se osnovni plato nalazi na +205,
- za „Start/End Fill Slope“ potrebno je unijeti $\text{tg}^{-1} \alpha_z$ za zadani kut završne kosine.



Slika 5-10. Naredba "Create 3D Model By Slope To Target".

Na slici 5-11 nalazi se prikaz završne kosine na proširenom površinskom kopu.



Slika 5-11. Položaj završne kosine na proširenom površinskom kopu "Pregrada II", M 1:5000.

6. IZRADA RJEŠENJA ZAVRŠNE KONTURE PROŠIRENJA

U ovom diplomskom radu, otvaranje i razvoj proširenog površinskog slijedi nakon što postojeće stanje dođe u završne konture. Otkopavanjem će se zahvatiti oko 350 000 m² površine na kojoj će se razviti 14 etaža visine 20 m na SZ (najniža etaža 205, najviša etaža 465) i 13 etaža visine 20 na JZ (najniža etaža 205, najviša etaža 445).

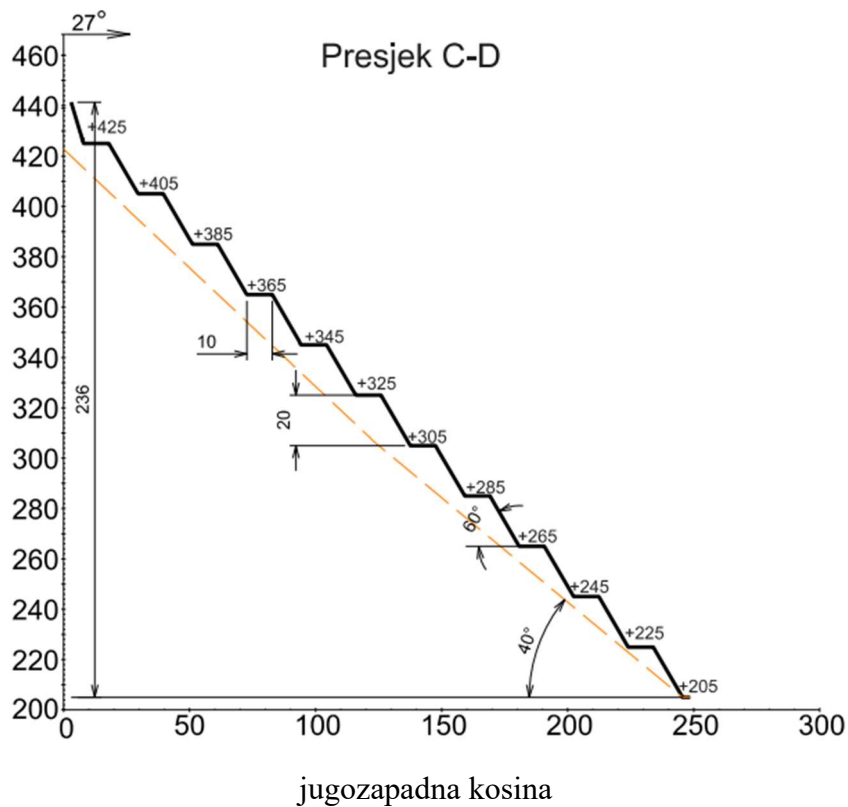
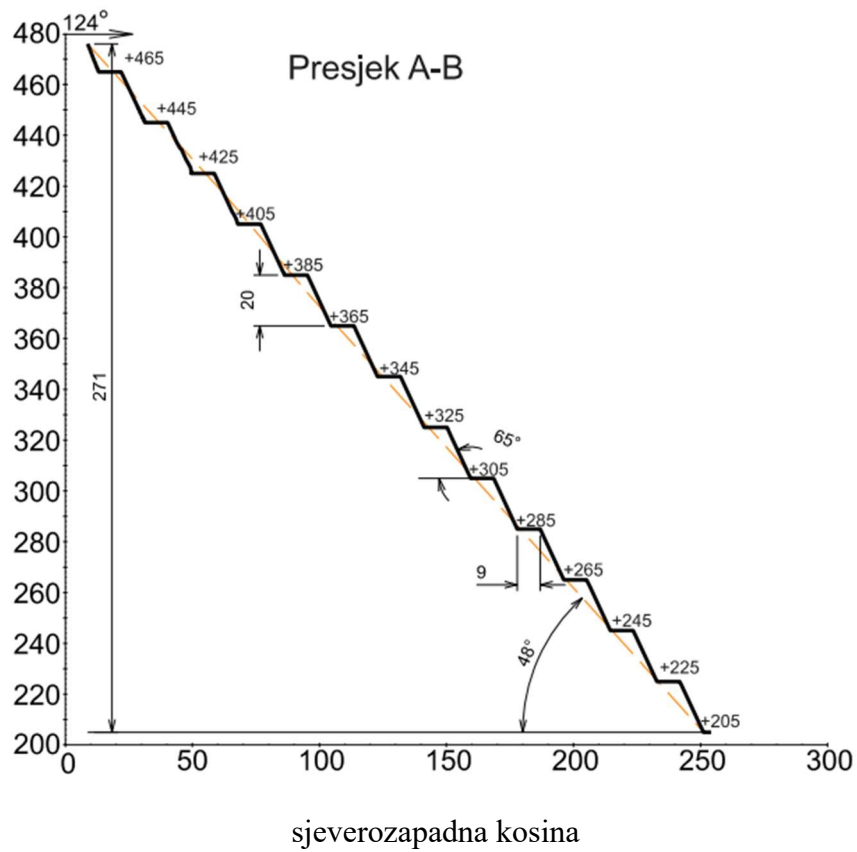
Najniža kota proširenja je +205 m n.v., a najviša +477 m n.v., s visinskom razlikom od 272 m. Projektni parametri (Galić i dr., 2021) tijekom eksploatacije na proširenom kopu su sljedeći:

- visina etaže do 20 m
- minimalna širina presipne etaže 23 m
- minimalna širina radne etaže 12 m
- minimalna širina završne SZ etaže 9 m
- minimalna širina završne JZ etaže 10 m
- minimalna širina završne JI etaže 8,5 m
- kut nagiba etažne SZ kosine 65°
- kut nagiba etažne JZ kosine 60°
- kut nagiba etažne JI kosine 70°
- kut nagiba završne SZ kosine ≤ 48° (prilog 3, presjek A-B)
- kut nagiba završne JZ kosine ≤ 43° (prilog 3, presjek C-D)
- kut nagiba završne JI kosine ≤ 51°

Odabrani su slični projektni parametri koji su postavljeni u Dopunskom rudarskom projektu eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Pregrada II“ – Treća dopuna (Galić i dr., 2021.). Zbog složenosti i problematike JI kosine, na navedenoj fronti neće se obavljati rudarski radovi, tako da su završne konture postojećeg površinskog kopa ujedno su i završne konture JI kosine na proširenju.

Prema završnim kontura proširenja, formirati će se tri fronte rudarskih radova:

- I. fronta s približnim položajem sjeveroistok – jugozapad i II. fronta s približnim položajem sjever-sjeveroistok – jug-jugozapad (slika 6-1.i prilog 3) i
- III. fronta s približnim položajem jugoistok – sjeverozapad.



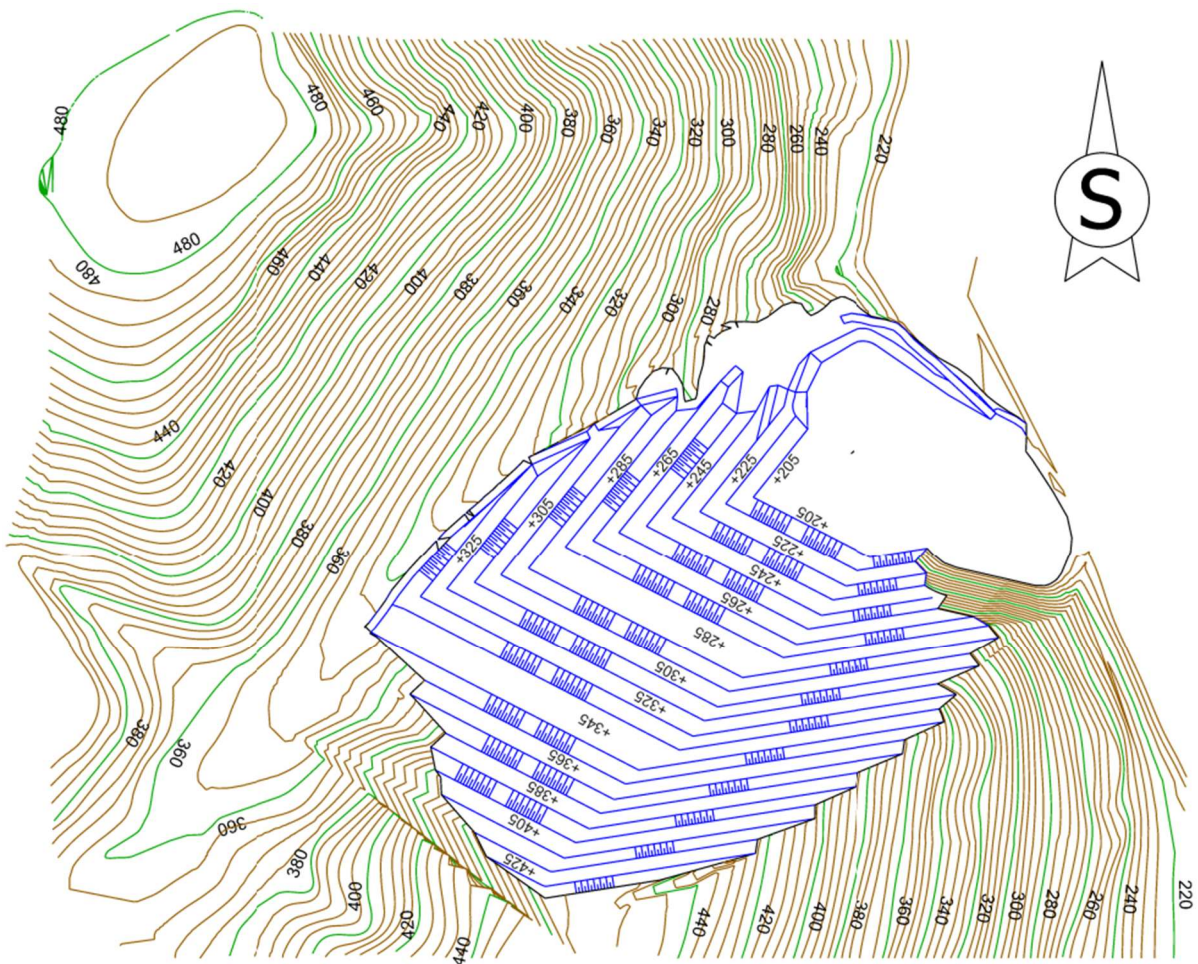
Slika 6-1. Znakoviti presjeci završnih kontura proširenog površinskog kopa "Pregrada II" s projektnim parametrima, M 1:3000.

6.1. Prva faza otkopavanja

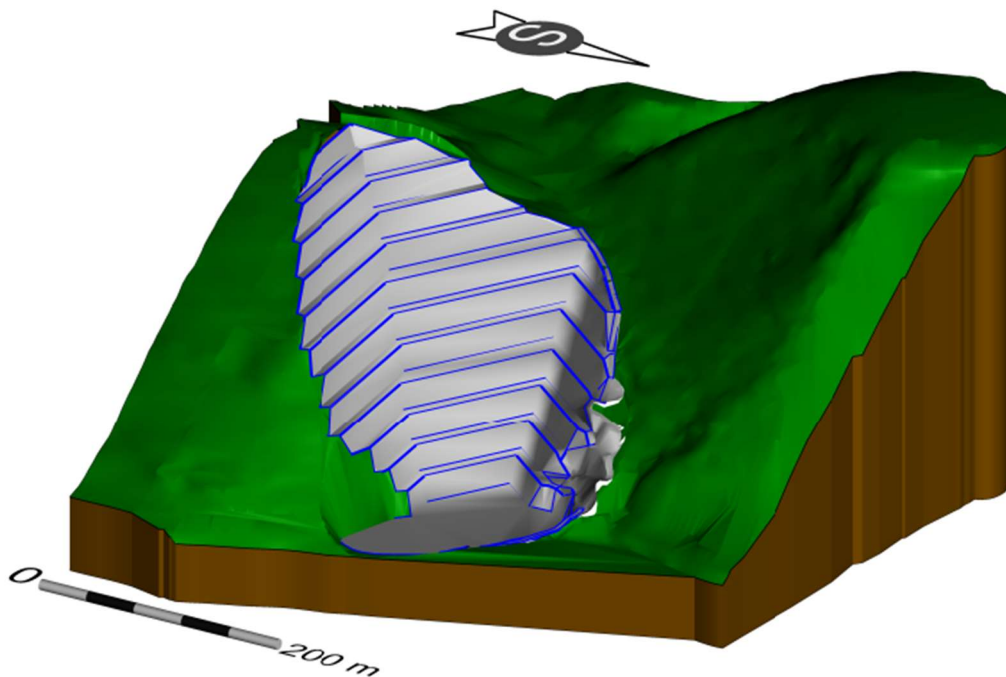
Proširenje površinskog kopa Pregrada II započinje formiranjem presipnih etaža +285 i +345 kako bi se omogućila sigurna eksploatacija i obaranje materijala na plato +205. Razvojem presipnih etaža razvijaju se usporedno sve ostale.

Napredak ide isključivo u smjeru jugozapad iz razloga da se maksimalno iskoriste postojeći pristupni putovi koji leže na sjeverozapadnoj fronti. Dolazi do potpune eksploatacije etaže +445 iz postojećeg stanja i dobivanje završne konture na +425.

Tijekom razdoblja prve faze iskopati će se oko 1 598 929 m³ stijenske mase u sraslom stanju tijekom 12,3 godine rada površinskog kopa.



Slika 6-2. Prva faza otkopavanja proširenog površinskog kopa "Pregrada II", M 1:5000.



Slika 6-3. 3D model prve faze otkopavanja.

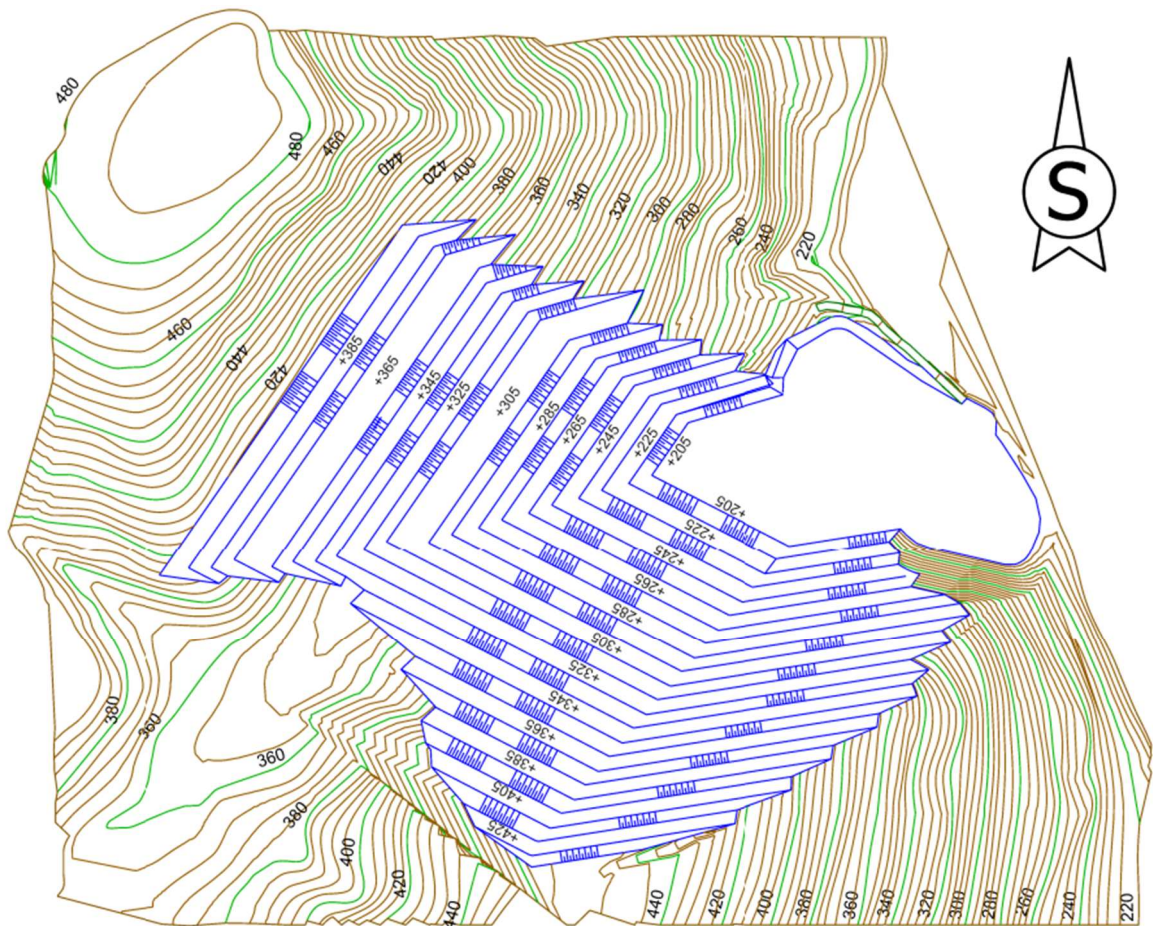
6.2. Druga faza otkopavanja

U drugom razdoblju eksploatacije, površinski kop započinje se širiti u smjeru jugozapad-sjeveroistok izradom presipne etaže na +305 kako bi se omogućilo sigurno obaranje materijala s viših etaža. Razvojem presipne etaže +305, razvijaju se etaže u donjem dijelu +205, +225, +245, +265, +285 i +325.

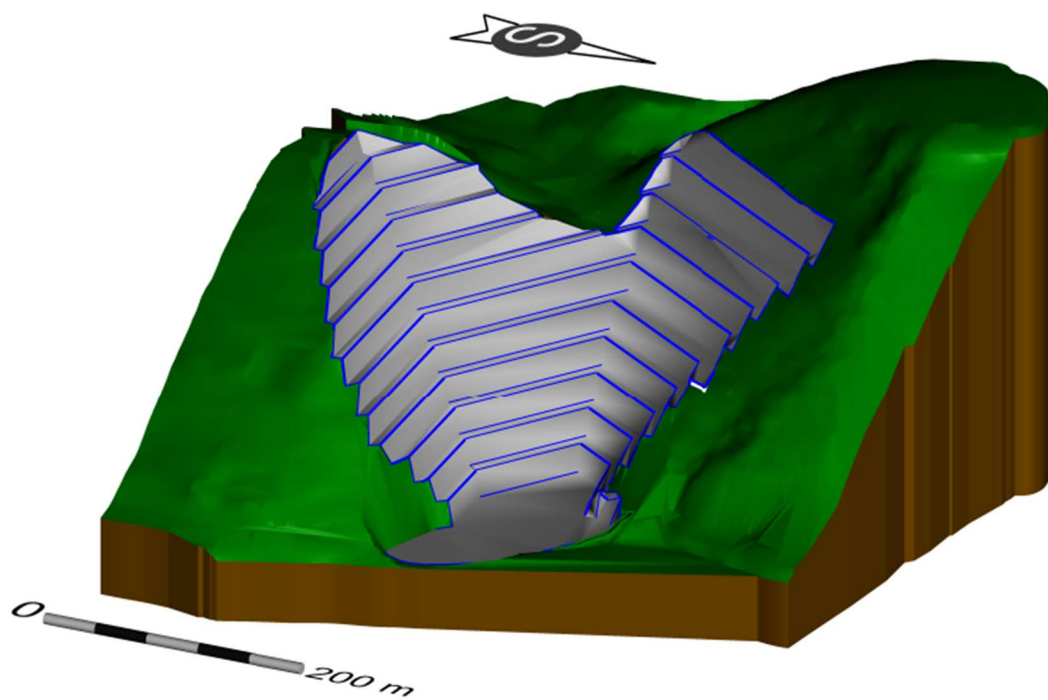
Nakon izrade presipne etaže +305, formirati će se presipna etaža +365 kako bi se omogućila sigurna eksploatacija prema višim etaža. Nakon izrade presipne etaže razvijaju se etaže +345, +385, +405.

Razvojem svih etaža razvija se otkopna fronta sjeverozapad-jugoistok. Tijekom druge faze otkopna frona jugozapad-sjeveroistok dovodi se u projektno stanje.

Tijekom drugog razdoblja eksploatacije iskopati će se 1 272 227 m³ stijenske mase u sraslom stanju tijekom 9,8 godina eksploatacije na površinskom kopu.



Slika 6-4. Druga faza otkopavanja proširenog površinskog kopa "Pregrada II", M 1:5000.



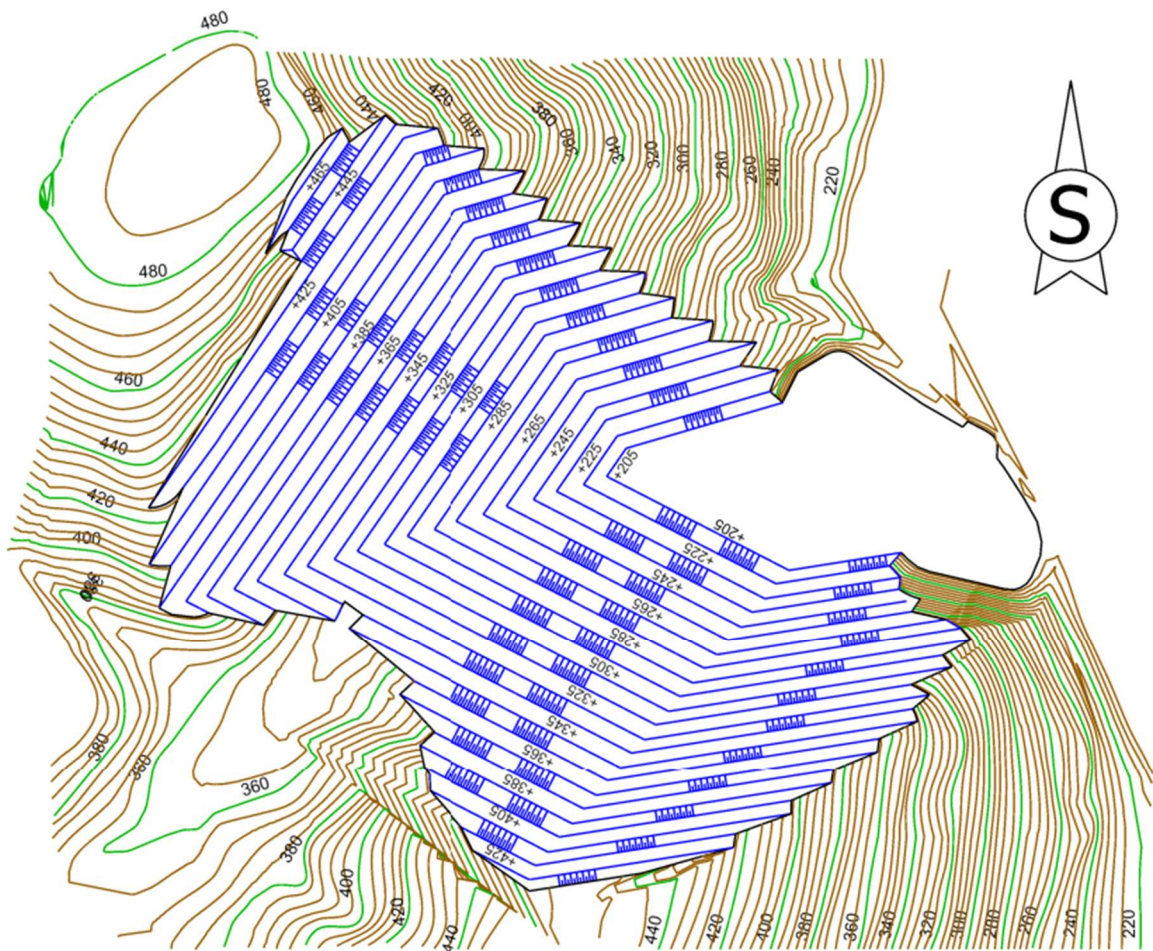
Slika 6-5. 3D model druge faze otkopavanja.

6.3. Treća faza otkopavanja

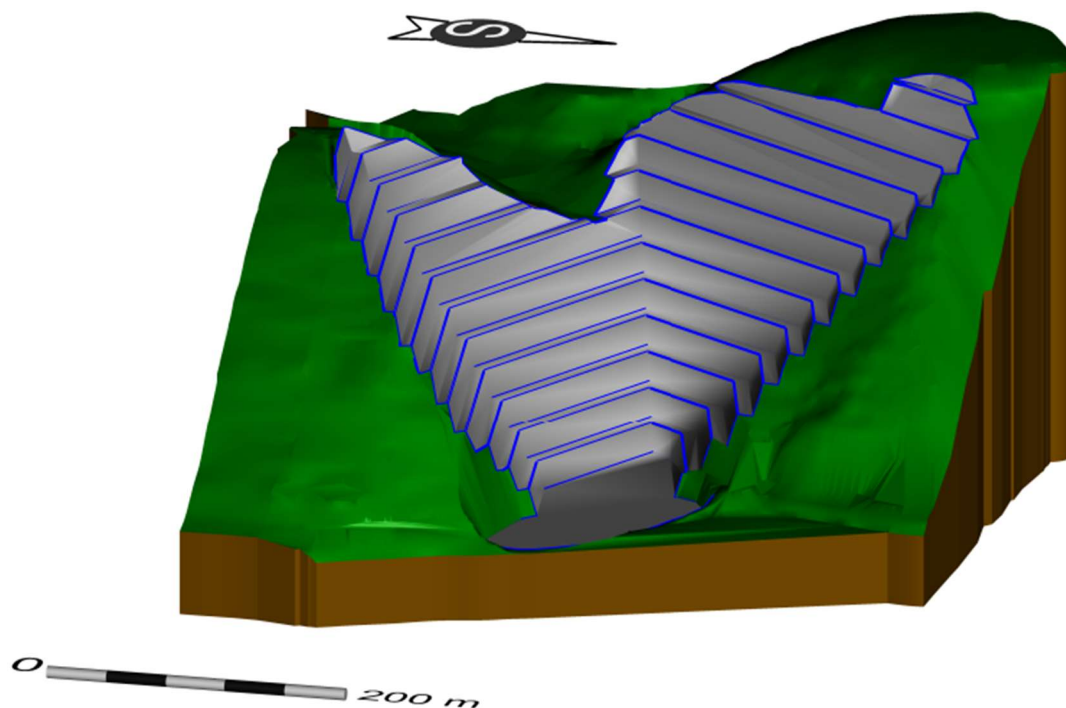
U trećoj fazi eksploatacije dolazi do razvoja etaža +425, +445 i +465. Etaže +445 i +465 dovode se do završnih kontura, a etaža +425 skoro, kako bi se omogućila eksploatacija na presipnoj etaži +365 i napredovanjem kopa prema sjeverozapadu.

Sve etaže iznad presipne etaže +305 dolaze u gotovo projektirano stanje. Nakon što se gornji dio sjeverozapadne strane površinskog kopa eksploatira, slijedi eksploatacija presipne etaže +305 i napredovanja svih etaža ispod.

Tijekom treće faze otkopati će se 1 231 311 m³ u sraslom stanju tijekom 9,5 godina eksploatacije na površinskom koku.



Slika 6-6. Treća faza otkopavanja proširenog površinskog kopa "Pregrada II", M 1:5000.



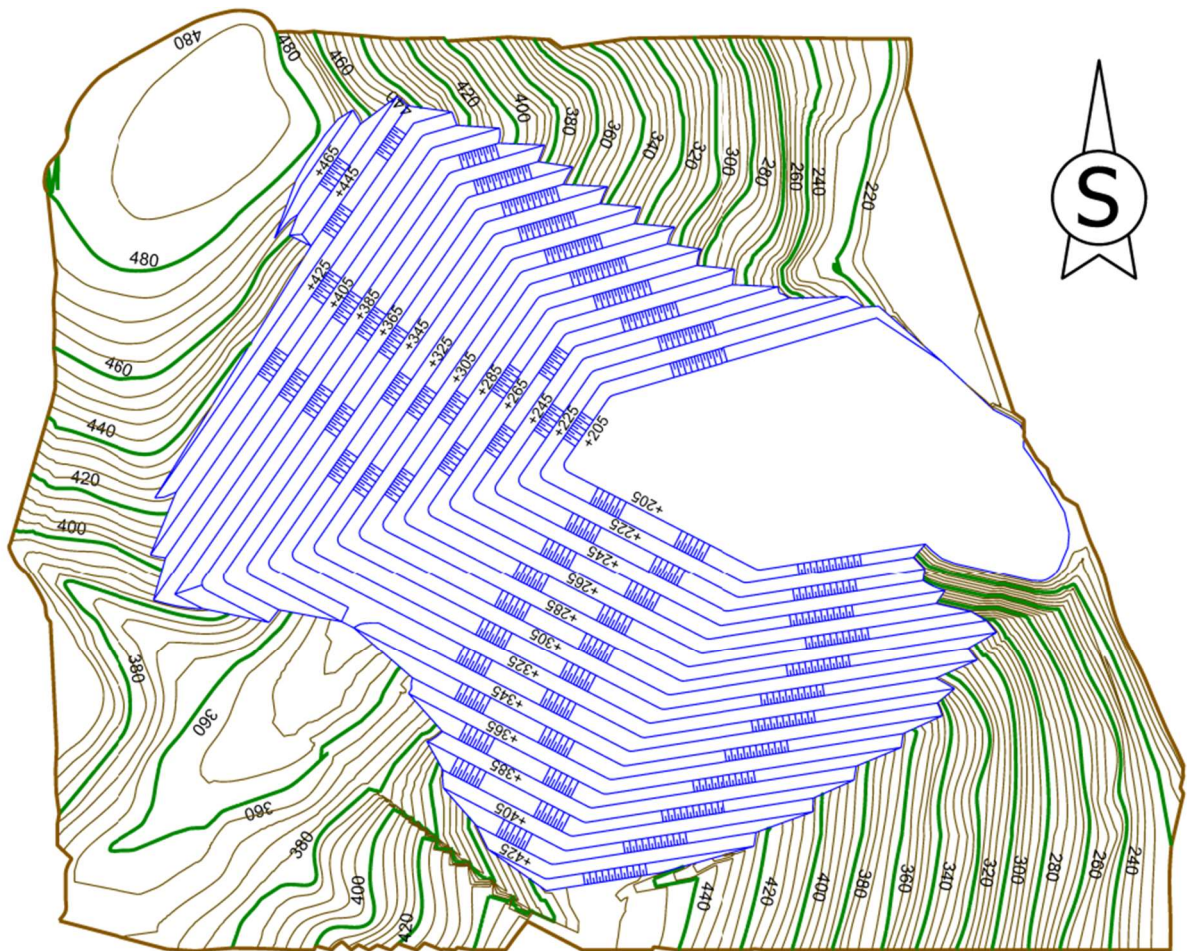
Slika 6-7. 3D model treće faze otkopavanja.

6.4. Četvrta faza otkopavanja

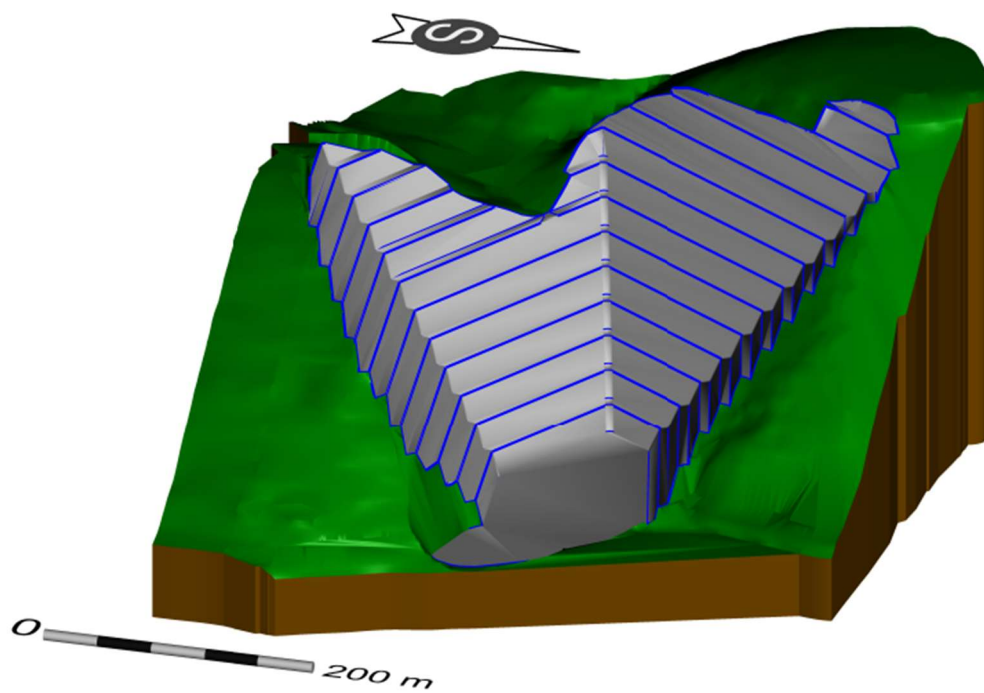
U četvrtoj, posljednjoj, fazi dolazi do eksploatacije etaža +205, +225, +245, +265, +285 i +305 na sjeverozapadno-jugozapadnoj fronti.

Kraj četvrte faze obilježava dovođenjem svih etaža u završne konture, osim etaže +425 na jugozapadnoj fronti (otkopana u I. fazi) i etaža +445 i +465 na sjeverozapadnoj fronti (otkopani u III. fazi).

Tijekom četvrte faze otkopati će se oko 1 189 900 m³ stijenske mase u sraslom stanju tijekom 9,2 godine eksploatacije.



Slika 6-8. Četvrta (završna) faza eksploatacije proširenog površinskog kopa "Pregrada II", M 1:5000.



Slika 6-9. 3D model četvrte faze otkopavanja.

7. PRORAČUN OBUJMA REZERVI

Proračun obujma rezervi tehničko-građevnog kamena na proširenom površinskom kopu „Pregrada II“ obavljen je pomoću dvije metode: metodom vertikalnih paralelnih presjeka i metodom računalnog modeliranja. U ovom diplomskom radu, metodom vertikalnih paralelnih presjeka proračunate su bilancirane rezerve. Provjera točnosti postavljenih presjeka i proračunatog obujma obavljeno je pomoću metode računalnog modeliranja. Također, metodom računalnog modeliranja proračunate su otkopane rezerve koje su potrebne za tehno-ekonomsku analizu i prikaz gubitaka rezervi zbog ograničenja površinskog kopa.

Na ograničenje eksploatacijskih rezervi prilikom otkopavanja utjecaj imaju:

- rezerve,
- konfiguracija terena i
- fizičko-mehanička svojstva stijena (Galić i dr., 2021).

Kako bi se obje metode mogle uspješno primijeniti i izvršiti, potrebno je izraditi 3D modele za C1 kategoriju, završnu kosinu i završnu fazu.

7.1. Metoda vertikalnih paralelnih presjeka

Za proračun bilančnih i izvanbilančnih rezervi potrebno je postaviti paralelne presjeke tako da obuhvate konture cijelog površinskog kopa. Presjeci se postavljaju na karakterističnim pozicijama gdje se uoči promjena konfiguracije terena, promjena sastava sirovine ili promjena kategorija rezervi.

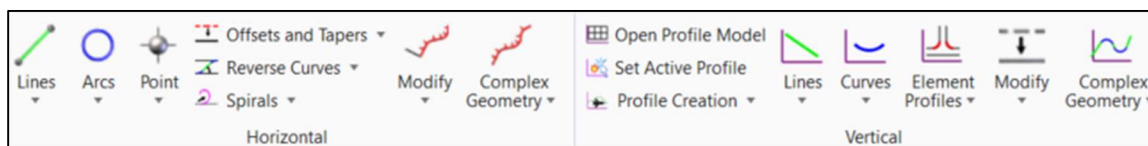
U ovom slučaju, presjeci su postavljeni na početku i kraju konture kopa, na točkama gdje dolazi do promjena orijentacije otkopne fronte i promjeni smjera završne kosine (slika 7-1). Obračunski presjeci označeni su brojevno 1-1', 2-2', dok su znakoviti presjeci označeni abecednim slovima A-B i C-D. Postavljeno je 12 obračunskih presjeka i 2 znakovita presjeka.



Slika 7-1. Položaj obračunskih i znakovitih presjeka, M 1:5000.

Izrada presjeka u programu „OpenRoads Designer“ obavljen je na slijedeći način:

- postaviti „Workflow“ u „OpenRoads Modeling“, otvoriti tab „Geometry“ (slika 7-2.) i odabrati naredbu „Lines“;

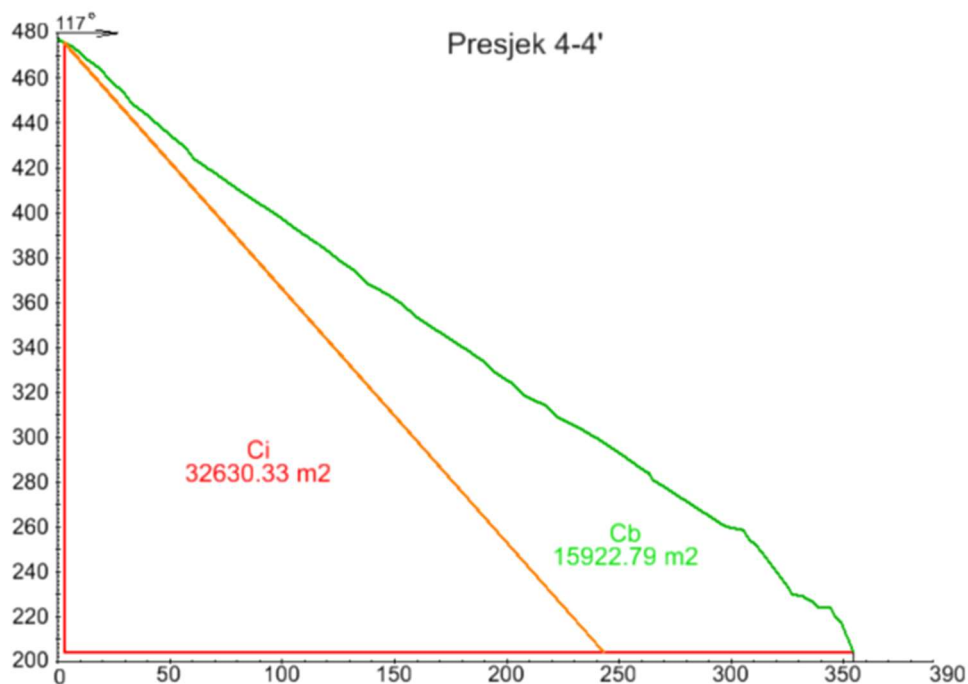


Slika 7-2. Radno sučelje za izradu presjeka, program "OpenRoads Designer".

- smjer u kojemu se crta linija označava i smjer u kojemu će se prikazivati presjek u konačnici,
- odabrati naredbu „Open Profile Model“, stisnuti na zadani presjek i otvoriti novi prozor u kojemu će se prikazati presjek,

- otvoriti padajući izbornik „Profile Creation“, odabrati naredbu „Quick Profile From Surface“
 - prvo označiti referentnu liniju (presjek),
 - označiti sve potrebne 3D modele (C1 kategorija, završna kosina, prethodno izrađeni kompleksni model završnih kontura postojećeg stanja i slojnica),
 - u slučaju da se dobije iskrivljen model, potrebno je postaviti „Exaggeration“ na vrijednost 1,
- nakon što je profil izrađen, potrebno je označiti sve, stisnuti desni klik miša i odabrati naredbu „Copy to Clipboard“ i konačno „Paste from Clipboard“ za zalijepiti presjek na radnu površinu programa,
- uključivanjem „Properties“ može se vidjeti na kojoj točno visini započinje presjek,
- postupak ponoviti za sve obračunske i znakovite presjeke.

Na slici 7-3 nalazi se prikaz presjeka 4-4'.



Slika 7-3. Obračunski presjek 4-4', M 1:3000.

Nakon izrade svih presjeka (prilog 2) potrebno je naredbom „Measure Area“ izračunati sve površine bilančnih i izvanbilančnih rezervi. Metoda paralelnih vertikalnih

presjeka teoretski se zasniva na proračun srednje površine svakog presjeka pojedinačno (Plećaš, 2016.). Kako se susjedne površine razlikuju za više od 40%, srednja površina se proračunava prema formuli:

$$P_{sr} = \frac{P_n + P_{n+1} + \sqrt{P_n \times P_{n+1}}}{3}$$

gdje je:

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

P_n – srednja površina n-tog presjeka (m^2),

P_{n+1} – srednja površina n+1-tog presjeka (m^2).

Obujam između dva susjedna presjeka proračunava se tako da se aritmetička sredina dvaju presjeka pomnoži s njihovom udaljenosti prema formuli:

$$O = P_{sr} \times l$$

gdje je:

O – obujam (m^3),

l – udaljenost između dva presjeka (m).

Navedeni postupak ponavlja se za sve susjedne presjeke te se dobiveni obujmovi zbrajaju. Na svakom presjeku proračunate su srednje površine bilančnih i izvanbilančnih C1 rezervi, odnosno srednje površine iznad i ispod završne kosine.

Nakon što su sve površine izračunate u „OpenRoads Designer-u“, izrađena je proračunska tablica u programu „Excel“ gdje su svi dobiveni podaci uneseni i izračunate su vrijednosti bilanciranih rezervi prema formulama iznad (tablica 7-1. i 7-2).

Tablica 7-1. Proračun obujma za ukupne C1 bilančne rezerve, metodom paralelnih vertikalnih presjeka.

Presjeci	MPVP			
	Površina, m ²		Udalj. presj.	Obujam O=P _{sr} * l
	P _{pres.}	P _{sr}	l, m	m ³
1-1'	0.0	1 284.7	27.4	35 251.3
2-2'	3 854.2			
2-2'	3 854.2	7 726.7	21.5	166 378.5
3-3'	12 410.0			
3-3'	12 410.0	14 129.9	50.3	710 552.3
4-4'	15 922.8			
4-4'	15 922.8	16 312.7	28.7	467 588.6
5-5'	16 705.8			
5-5'	16 705.8	17 194.9	13.1	225 441.7
6-6'	17 688.6			
6-6'	17 688.6	18 617.9	8.6	160 392.9
7-7'	19 562.9			
7-7'	19 562.9	21 706.7	55.1	1 195 259.3
8-8'	23 923.6			
8-8'	23 923.6	24 117.5	21.6	520 938.7
9-9'	24 312.0			
9-9'	24 312.0	22 348.2	129.6	2 896 394.3
10-10'	20 440.4			
10-10'	20 440.4	15 764.0	43.2	680 958.0
11-11'	11 511.9			
11-11'	11 511.9	5 431.7	49.6	269 536.0
12-12'	1 147.9			
Ukupno				7 328 691.6

Metodom računalnog modeliranja napravljena je dodatna kontrola točnosti postavljenih presjeka i izračunatog obujma ukupnih C1 rezervi. Navedenom metodom dobiven je obujam ukupnih rezervi u iznosu od 7 398 130,2 m³ te dobivena greška iznosi je svega 1% što znači da je dovoljan broj presjeka i da su adekvatno postavljeni.

Tablica 7-2. Proračun ukupnih izvanbilančnih C1 rezervi metodom paralelnih vertikalnih presjeka

Presjeci	MPVP			
	Površina, m ²		Udalj. presj.	Obujam O=P _{sr} * l
	P _{pres.}	P _{sr}	l, m	m ³
1-1'	0.0	4 299.8	27.4	117 981.3
2-2'	12 899.3			
2-2'	12 899.3	23 695.9	21.5	510 243.6
3-3'	36 492.2			
3-3'	36 492.2	34 543.3	50.3	1 737 077.5
4-4'	32 630.3			
4-4'	32 630.3	32 014.5	28.7	917 663.4
5-5'	31 402.6			
5-5'	31 402.6	31 203.4	13.1	409 108.3
6-6'	31 004.7			
6-6'	31 004.7	30 718.0	8.6	264 635.1
7-7'	30 432.1			
7-7'	30 432.1	31 975.3	55.1	1 760 688.7
8-8'	33 543.8			
8-8'	33 543.8	34 718.9	21.6	749 928.7
9-9'	35 907.5			
9-9'	35 907.5	45 024.9	129.6	5 835 359.5
10-10'	54 805.8			
10-10'	54 805.8	57 890.1	43.2	2 500 678.3
11-11'	61 030.2			
11-11'	61 030.2	38 299.4	49.6	1 900 531.6
12-12'	19 431.2			
Ukupno				16 703 896

Potrebno je zanemariti veliku količinu izvanbilančnih rezervi iz razloga što su u ovom diplomskom radu postavljene istražne bušotine tako da sve idu do osnovnog platoa +205

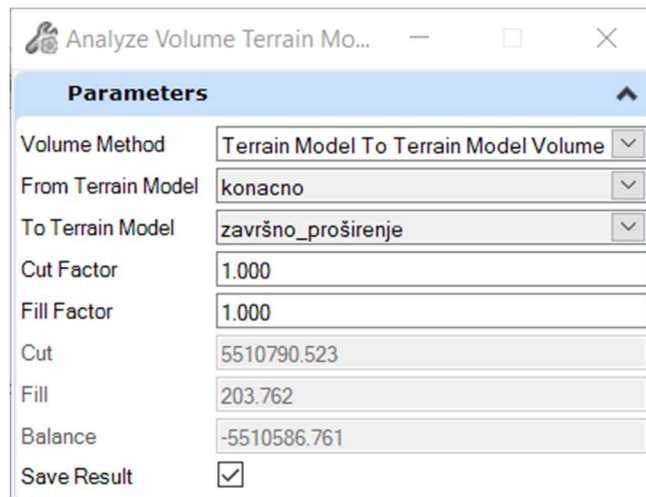
što u praksi nije slučaj jer nije isplativo i nema potrebe toliko bušiti istražne bušotine ispod završne kosine.

7.2. Metoda računalnog modeliranja

U pojedinim ležištima, zbog specifičnog oblika rudnog tijela, računanje srednje površine presjeka izrazito je otežano i dovodi u pitanje točnost dobivenih podataka o rezervama (Galić i Farkaš, 2011). U tom slučaju, metoda računalnog modeliranja služi za kontrolni proračun kao jedna od najsuvremenijih metoda. Za uspješnu izvedbu metode potrebno je izraditi triangulacijske modele. Navedena metoda računa trostruki integral između trokutova, tj volumen. Zbrajanjem i oduzimanjem pojedinih vrijednosti volumena dobiva se ukupan volumen između dviju trianguliranih ploha, kao što je u ovom slučaju početno stanje i projektirano prošireno stanje.

Metoda računalnog modeliranja korištena je za dodatnu kontrolu bilanciranih rezervi koje su izračunate metodom paralelnih vertikalnih presjeka i proračun otkopanih rezervi kako bi se mogle uočiti gubitci koji su prouzročeni zbog ograničenja površinskog kopa. Metoda se koristi na slijedeći način:

- potrebno je izraditi triangulirani model projektiranog stanja prema uputama razrađenih u poglavlju 5.2. Triangulacija i renderiranje,
- postaviti „Workflow“ u „OpenRoads Modeling“, otvoriti tab „Terrain“ → „Volumes“ → naredba „Analyze Volumes“
- na slici 7-4. nalazi se prikaz naredbe „Analyze Volumes“. Za metodu treba staviti „Terrain Model To Terrain Model Volume“, kao prvi model se postavlja početno stanje, a drugi model je projektirano stanje,
- otkopane rezerve prikazane su pod „Balance“ u iznosu od 5 510 586,76 m³.



Slika 7-4. Naredba "Analyze Volume".

7.3. Proračun obujma eksploatacijskih rezervi

Sukladno Članku 12. Pravilnika o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina NN 46/18, bilančne rezerve proračunavaju se iz utvrđenog obujma ležišta umanjenog za popravni koeficijent. Zbog geološke građe i stupnja istraženosti na površinskom kopu „Pregrada II“, obujam mineralne sirovine potrebno je korigirati s popravnim koeficijentom s vrijednošću 0,98 što je uvaženo i u Elaboratu o rezervama tehničko građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Pregrada II“ – Peta obnova (Pavelić i Galić, 2020). Također, količina jalovine je prikazana kroz popravni koeficijent.

Sukladno Članku 14. Pravilnika o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina NN 46/18, eksploatacijske rezerve mineralnih sirovina proračunavaju se tako da se bilančne rezerve umanje za eksploatacijski gubitak što predstavlja iskustveni podatak kojim se pokazuje gubitak mineralne sirovine zbog odabrane tehnologije otkopavanja. U Dopunskom rudarskom projektu eksploatacije tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Pregrada II“ – Treća dopuna (Galić i dr., 2021). treća dopuna (Galić i dr., 2021.), temeljem iskustva i eksploatacije na sličnim eksploatacijskim poljima, uvažen je eksploatacijski gubitak u iznosu od 2%.

Korištenjem navedenih podataka, u tablici 7-3. prikazan je proračun bilančnih i eksploatacijskih rezervi.

Tablica 7-3. Proračun bilančnih i eksploatacijskih rezervi

REZERVE (METODA)	Obujam, m ³	Bilančne rezerve		Eksp. gub. 2%	Otkop. eksplo. rez. m ³
		Popravni koef.	Količine, m ³		
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)x(3)	(5)=(4)x 2%	(6)=(4)-(5)
BILANCIRANE (MPVP)	7 328 692	0.98	7 182 118	143 642	7 038 475
OTKOPANE (MRM)	5 510 587	0.98	5 400 375	108 008	5 292 368

Iz prikazanog proračuna može se uočiti kako je razlika između bilanciranih i otkopanih rezervi 1 746 108 m³, odnosno 25% mogućih eksploatacijskih rezervi se 'gubi' zbog ograničenja tehnike otkopavanja i topografije terena.

8. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA VRIJEDNOSTI LEŽIŠTA

Tehno-ekonomska analiza provodi se sa svrhom određivanja vremena trajanja eksploatacije i isplativosti eksploatacije mineralne sirovine.

Budući da planirana ukupna godišnja proizvodnja na proširenom eksploatacijskom polju tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“ iznosi 130 000 m³, vrijeme trajanja eksploatacije jednostavno se izračuna omjerom ukupne eksploatacijske rezerve u iznosu od 5 292 368 m³ i godišnje količine pridobivanja mineralne sirovine te se dobije da je vrijeme trajanja eksploatacije 40,7 godina na proširenom površinskom kopu.

Tehno-ekonomska analiza, odnosno model procjene vrijednosti ležišta mineralne sirovine provodi se proračunom statičke dobiti. Ovaj proračun daje se na bazi sadašnje vrijednosti bez uračunavanja vremenskog faktora (Galić i dr., 2021.). Proračun statičke dobiti prikazan je u tablici 8-1, gdje su eksploatacijske rezerve prikazane u rastresitom stanju, odnosno pomnoženi su s koeficijentom 1,4. Cijena eksploatacije od 33,19 kn/m³, u rastresitom stanju, definirana je troškovima koji se javljaju zbog troškova rada (nadnica), utrska energentskih i ostalih materijala, trošenja amortizacije itd. U tablici 8-2 nalazi se prikaz povrata investicijskih ulaganja kroz prvih 10 godina rada proširenog površinskog kopa „Pregrada II“.

Tablica 8-1. Tehno-ekonomska analiza isplativosti eksploatacije - statički proračun.

Rezerve	Tržišna cijena	Ukupni prihod	Cijena eksploat.	Ukupni troškovi
m3 r.m.	m3 r.m.	kn	kn/m3 r.m.	kn
(2)	(3)	(4)=(2)x(3)	(5)	(6)=(2)x(5)
7 409 315	44.20	327 491 702	33.19	245 924 423
Ukupna Bruto Dobit	Ukupni Porez	Ukupna Neto Dobit	Godišnja Neto Dobit	
kn	kn	kn	kn/god	
(7)=(4)-(6)	(8)=(7)*0,12	(9)=(7)-(8)	(10)=(9) / Te	
81 567 279	9 788 073	71 779 205	1 898 789	

Tablica 8-2. Proračun povrata i stanja ulaganja kroz prvih 10 godina eksploatacije.

VRIJEME RADA	POVRAT ULAGANJA	STANJE ULAGANJA
godina	kn	kn
početak	0	-7 109 400
1	1 898 789	-5 210 611
2	3 797 578	-3 311 822
3	5 696 367	-1 413 033
4	7 595 156	485 756
5	9 493 945	2 384 545
6	11 392 733	4 283 333
7	13 291 522	6 182 122
8	15 190 311	8 080 911
9	17 089 100	9 979 700
10	18 987 889	11 878 489

Iz modela procjene isplativosti (tablica 8-1.) može se uočiti kako ukupna neto dobit iznosi 71 779 205 kn kroz 40 godina eksploatacije gdje godišnja neto dobit iznosi 1 898 789 kn. Također, iz tablice 8-2 može se uočiti kako će prošireni površinski kop „Pregrada II“ imati povrat investicije u manje od 4 godine rada. Za pravu procjenu potrebno je izraditi dinamički proračun koji je znatno realniji i uključuje smanjenje vrijednosti sirovine s povećanjem vremena eksploatacije, zbog troškova financiranja.

9. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu prikazana je primjena računalnog programa „OpenRoads Designera“ pri izradi 3D modela ležišta, pozicioniranja istražnih radova, razvoj rudarskih radova kroz faze i proračun ukupnih rezervi mineralne sirovine. Također, provedena je tehno-ekonomska analiza isplativosti ležišta.

Za izradu 3D modela korištena je digitalizirana situacijska karta završnog stanja površinskog kopa „Pregrada II“. Ova karta čini početak rudarskih radova na proširenom površinskom kopu. Nakon izrade 3D modela postavljene su istražne bušotine na udaljenostima od 240 m jer eksploatacijsko polje tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“ pripada drugoj skupini ležišta prema Članku 51. Pravilnika o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina 46/18 (NN, 2018).

Razvoj rudarskih radova na proširenom površinskom kopu „Pregrada II“ napravljen je kroz četiri faze. Za svaku fazu izrađen je 3D model kako bi se proračunale otkopane rezerve za svaku fazu pomoću metode računalnog modeliranja. Dobiveni su podatci o količinama sirovine i vrijeme trajanja eksploatacije za svaku fazu:

- prva faza – oko 1 598 929 m³ stijenske mase tijekom 12,3 godina rada,
- druga faza – oko 1 272 227 m³ stijenske mase tijekom 9,8 godina rada,
- treća faza – oko 1 231 311 m³ stijenske mase tijekom 9,5 godina rada i
- četvrta faza – oko 1 189 900 m³ stijenske mase tijekom 9,2 godina rada.

Metodom paralelnih vertikalnih presjeka dobivene su ukupne bilančne rezerve u iznosu od 7 328 691 m³. Metodom računalnog modeliranja provjerena je točnost količine i postavljenost presjeka te je dobiveno odstupanje od svega 1% od metode paralelnih vertikalnih presjeka. Također, metodom računalnog modeliranja dobivene su vrijednosti planiranih otkopanih rezervi na proširenom eksploatacijskom polju.

Sukladno člancima 12. i 14. Pravilnika o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina NN 46/18, obujam dobiven preko metode paralelnih vertikalnih presjeka potrebno je umanjiti za popravni koeficijent u iznosu od 0,98 što je uvaženo u Elaboratu o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Pregrada II“ - Peta obnova (Pavelić i Galić, 2020.), kako bi se dobile bilančne rezerve. Količina

jalovine prikazana je kroz popravni koeficijent. Na kraju potrebno je obujam bilančnih rezervi umanjiti za eksploatacijske gubitke u iznosu od 2%. Na kraju su dobivene eksploatacijske rezerve za bilancirane rezerve u iznosu od 7 038 475 m³ za bilancirane rezerve i 5 292 368 m³ za otkopane rezerve. Iz ovoga je vidljivo kako čak 25% rezervi se gubi zbog ograničenja tehnike otkopavanja i topografije terena.

Tehno-ekonomskom analiza isplativosti ležišta služi za određivanje vremena trajanja eksploatacije i isplativost eksploatacije mineralne sirovine. Ukupne eksploatacijske rezerve u rastresitom stanju iznosi 7 409 315 m³, ukupni godišnji kapacitet površinskog kopa „Pregrada II“ je 130 000 m³, omjer ovih dviju vrijednosti daje ukupni vijek trajanja od 40,7 godina. Proračunom statičke dobiti, ukupna neto dobit iznosi 71 779 205 kn što predstavlja godišnju neto dobit od 1 898 789 kn. Proračunom povrata i stanja ulaganja utvrđeno je kako će prošireni površinski kop „Pregrada II“ imati povrat investicije u manje od 4 godine rada. Za znatno realnije brojke potrebno je provesti dinamički proračun, no iz ovih podataka se može vidjeti kako je proširenje eksploatacijskog polja tehničko-građevnog kamena „Pregrada II“ isplativa i opravdana investicija.

10. LITERATURA

ANIČIĆ, B. I JURIŠA M. (1985) *Osnovna geološka karta SFRJ, list Rogatec, L 33-68, M 1:100 000*. Zagreb, Hrvatska: Institut za geološka istraživanja.

GALIĆ, I. I FARKAŠ, B. (2022) *Interaktivna predavanja Projektiranje u rudarstvu*. Zagreb, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

GALIĆ, I., FARKAŠ, B. (2011.) *Primijenjeni računalni programi: interna skripta*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

GALIĆ, I., FARKAŠ, B. I ZORIĆ, I. (2021.) *Dopunski rudarski projekt eksploatacije tehničkograđevnog kamena na eksploatacijskom polju „Pregrada II“ – Treća dopuna*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

KRONJA, J. (2020.) *Optimizacija kontura površinskog kopa na eksploatacijskom polju tehničko-građevnog kamena „Tetovica“ na Hvaru*. Diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

NARODNE NOVINE (2018.) *Pravilnik o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina*, Zagreb: Narodne novine, broj 46/18.

PAVELIĆ, D., GALIĆ, I. (2020.): *Elaborat o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju "PREGRADA II"- 5. obnova*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

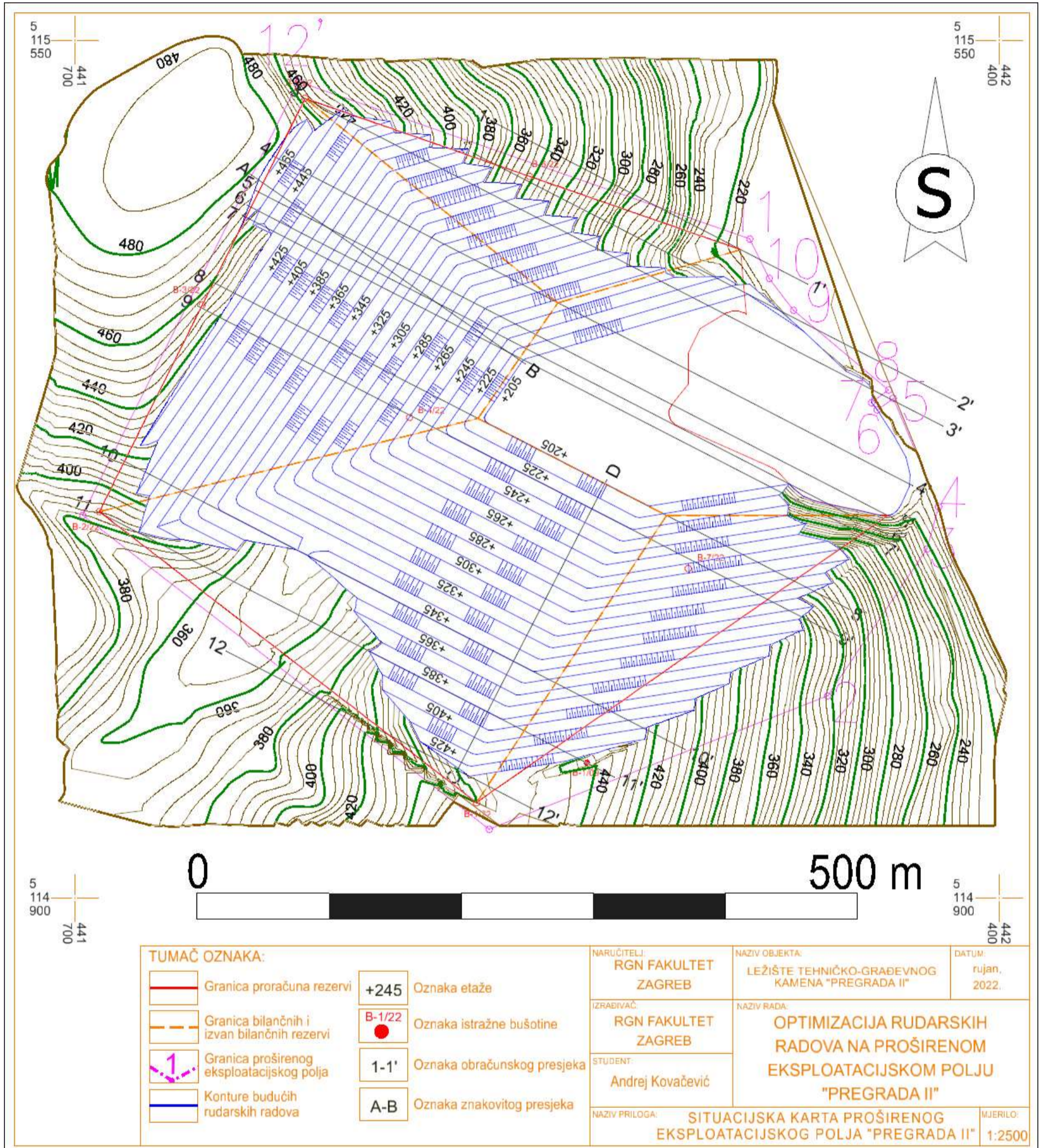
PLEĆAŠ, S. (2016.) *Modeliranje istražnih radova i površinskog kopa na ležištu arhitektonsko građevnog kamena „Veliki Pomet“*. Diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

SOLDO, I. I ŠETKA, I. (2016.) *Projektiranje u rudarstvu – Upute za izradu programa u „Bentley Power InRoads“*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

PRILOG br. 1 Situacijske karta, M 1:2500

PRILOG br. 2. Obračunski presjeci, M 1:2000

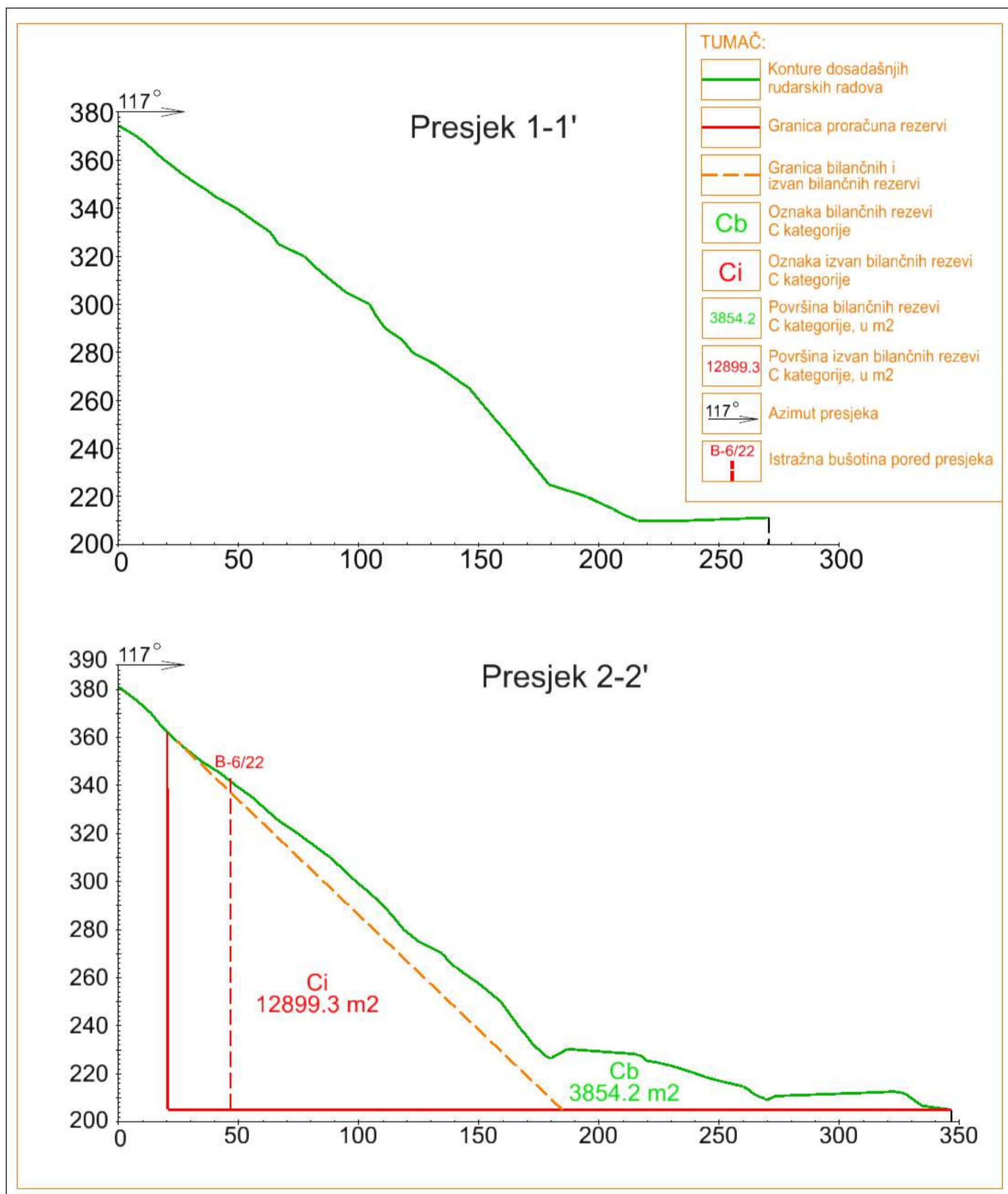
PRILOG br. 3 Znakoviti presjeci, M 1:1500

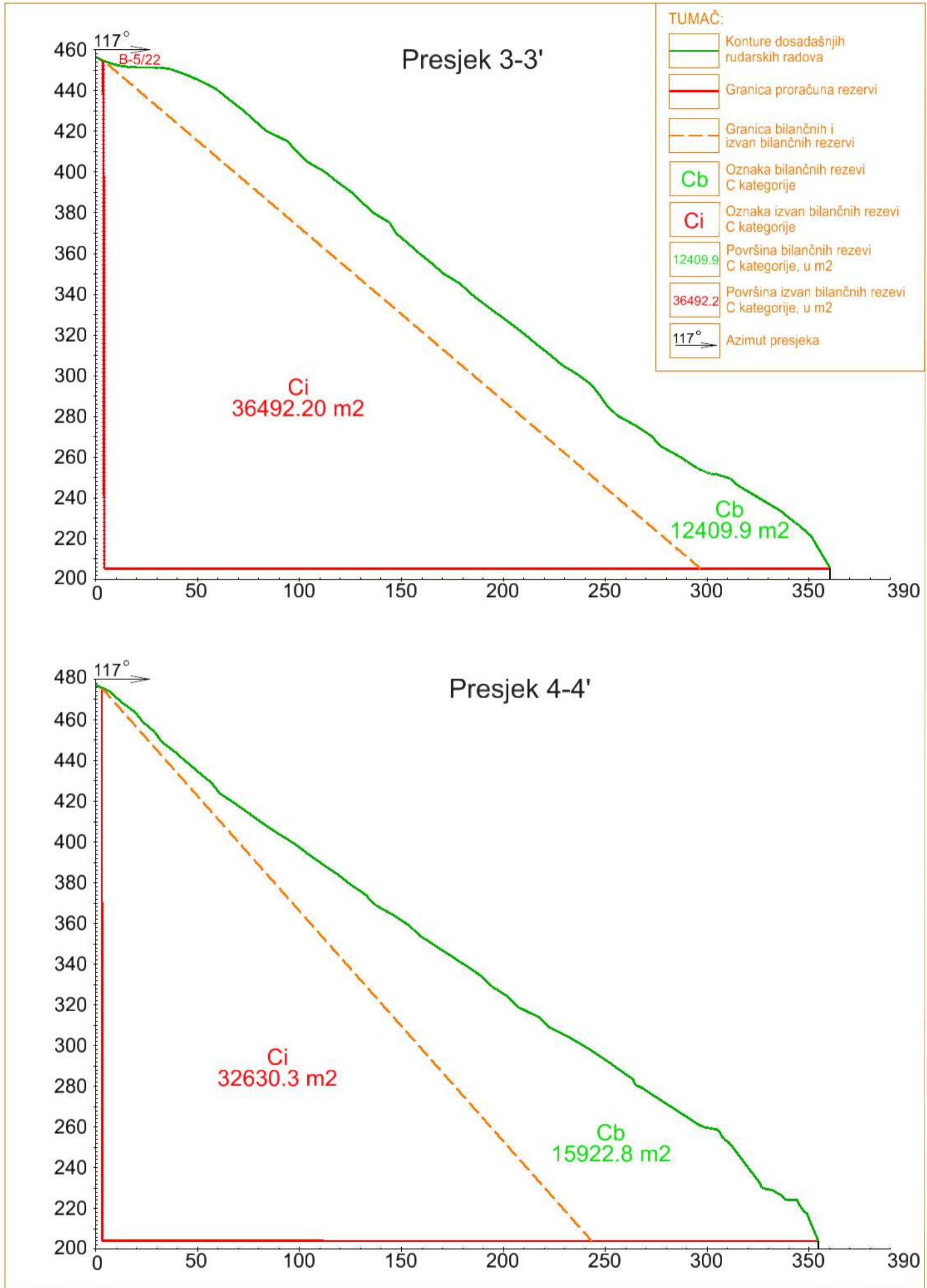


TUMAČ OZNAKA:

- Granica proračuna rezervi
- Granica bilančnih i izvan bilančnih rezervi
- Granica proširenog eksploatacijskog polja
- Konture budućih rudarskih radova
- +245 Oznaka etaže
- B-1/22 Oznaka istražne bušotine
- 1-1' Oznaka obračunskog presjeka
- A-B Oznaka znakovitog presjeka

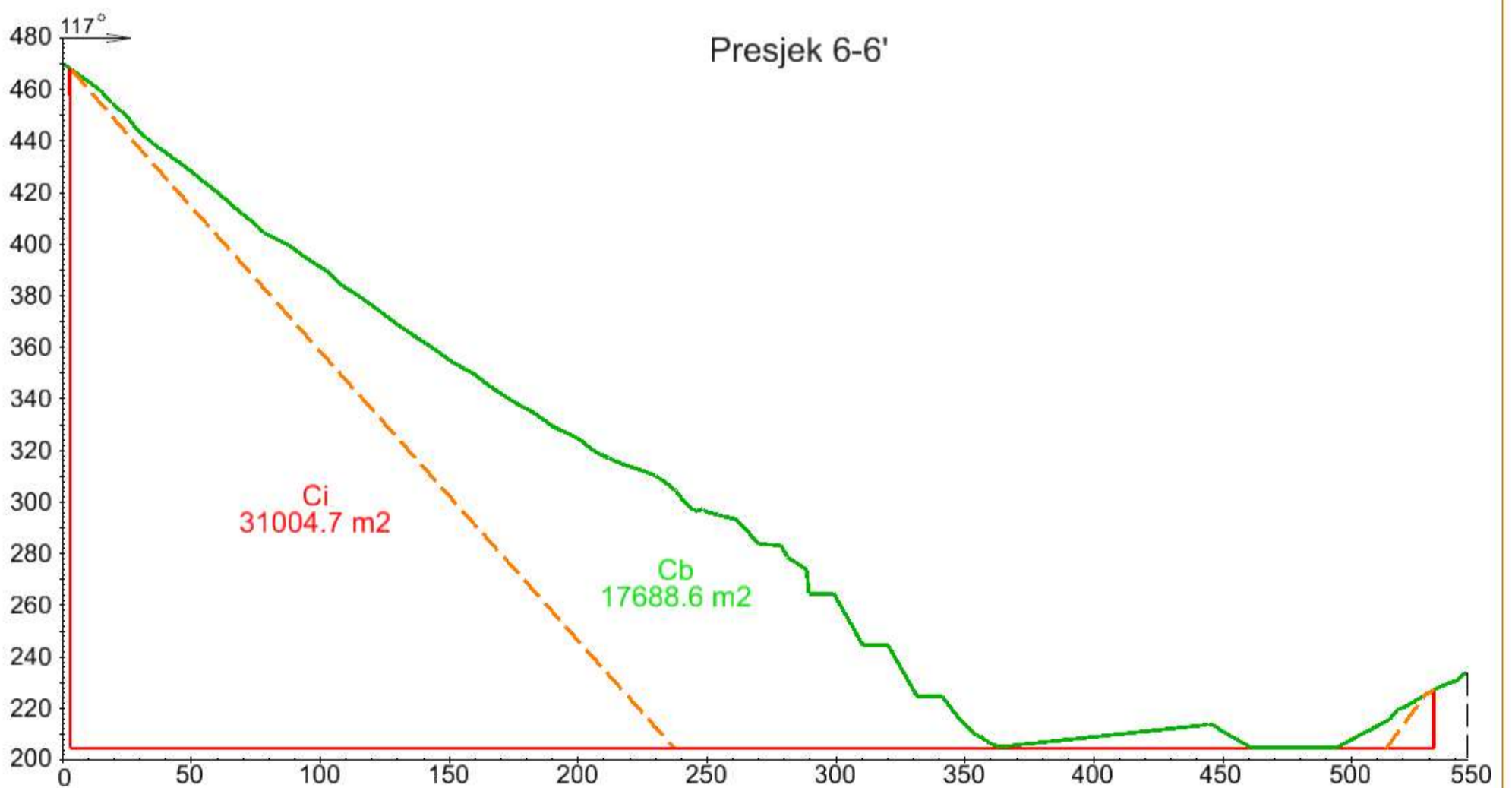
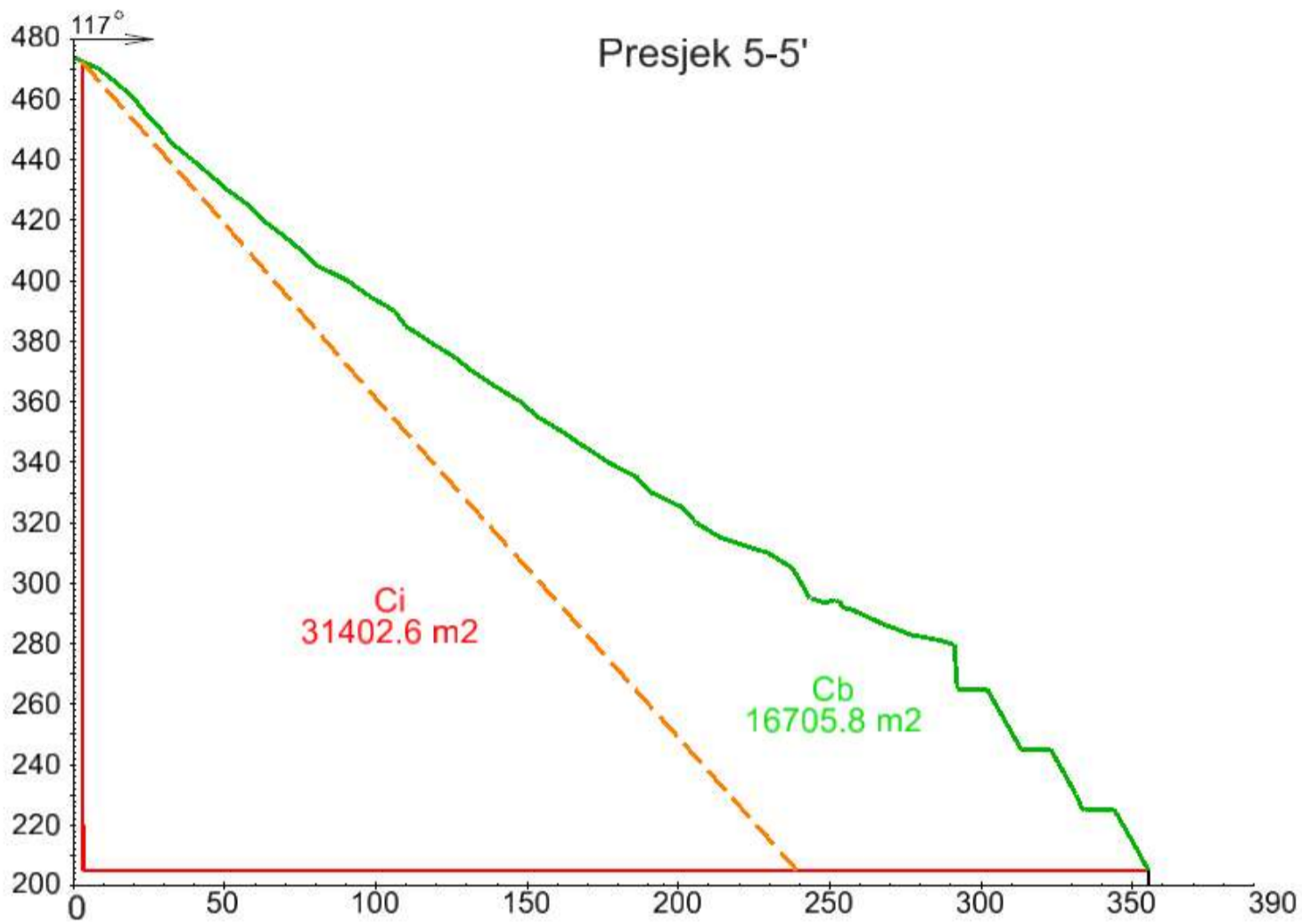
NARUČITELI: RGN FAKULTET ZAGREB	NAZIV OBJEKTA: LEŽIŠTE TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA "PREGRADA II"	DATUM: rujan. 2022.
IZRABIVAČ: RGN FAKULTET ZAGREB	NAZIV RADA: OPTIMIZACIJA RUDARSKIH RADOVA NA PROŠIRENOM EKSPLOATACIJSKOM POLJU "PREGRADA II"	
STUDENT: Andrej Kovačević	NAZIV PRILOGA: SITUACIJSKA KARTA PROŠIRENOM EKSPLOATACIJSKOM POLJA "PREGRADA II"	
		MJERILO: 1:2500

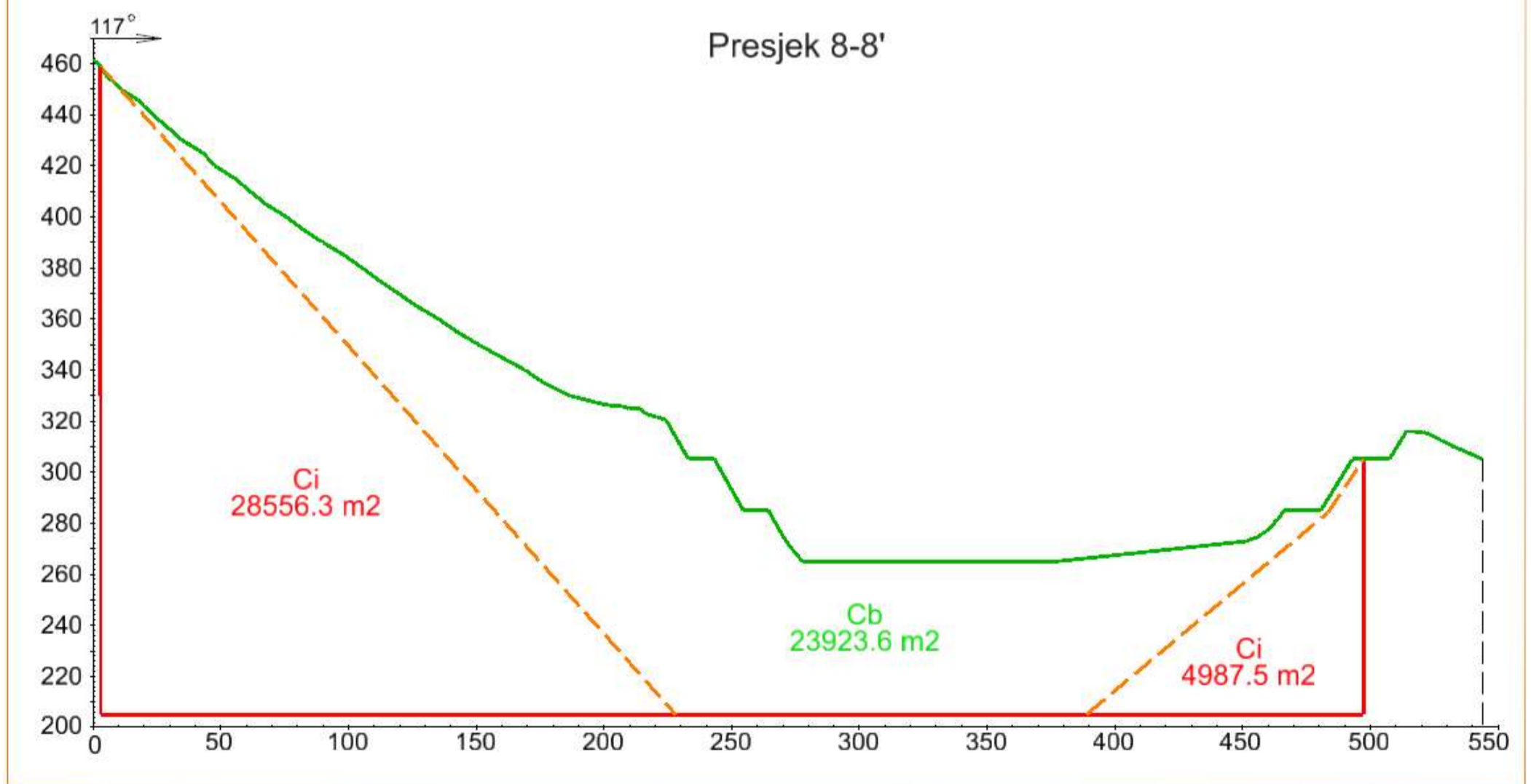
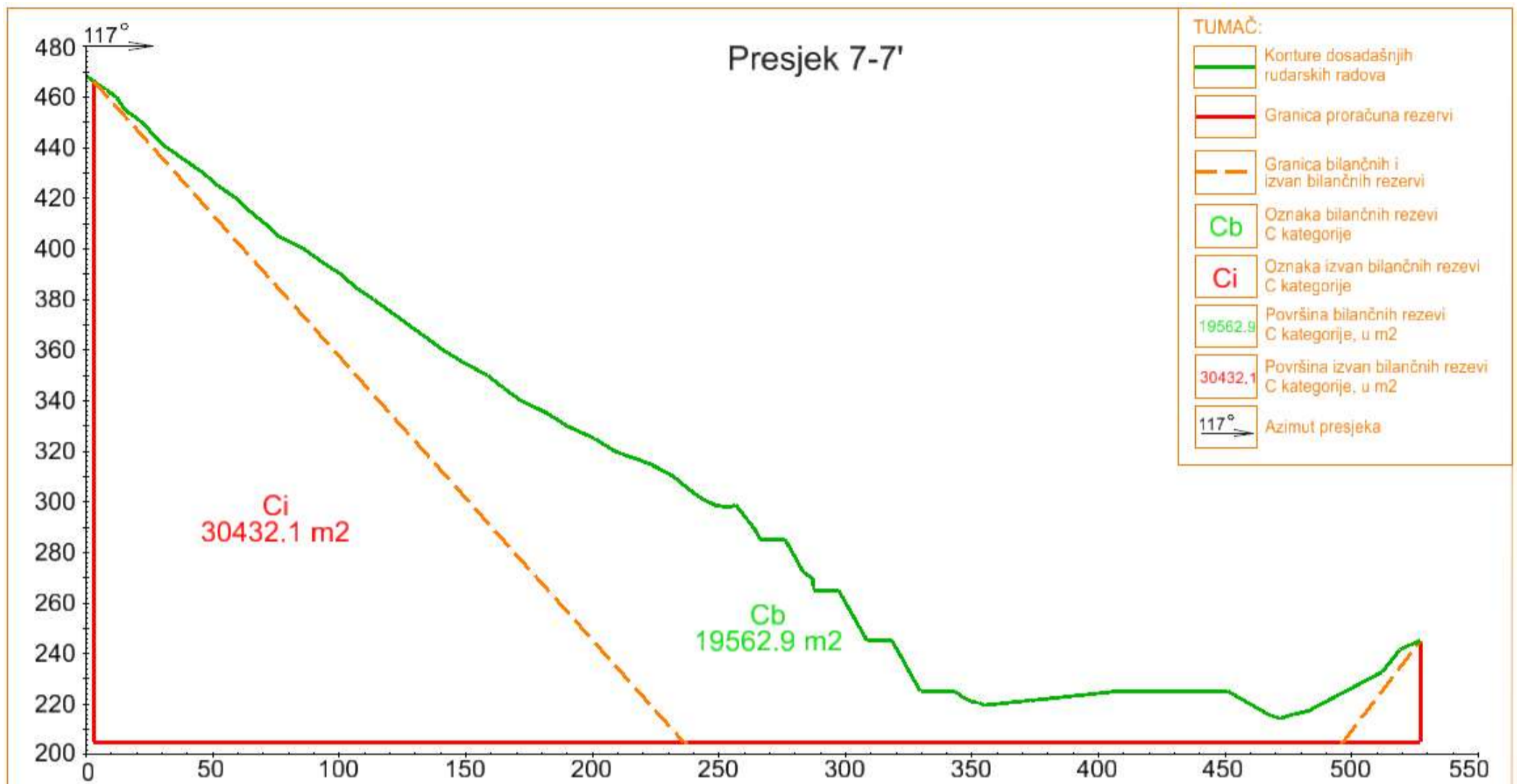


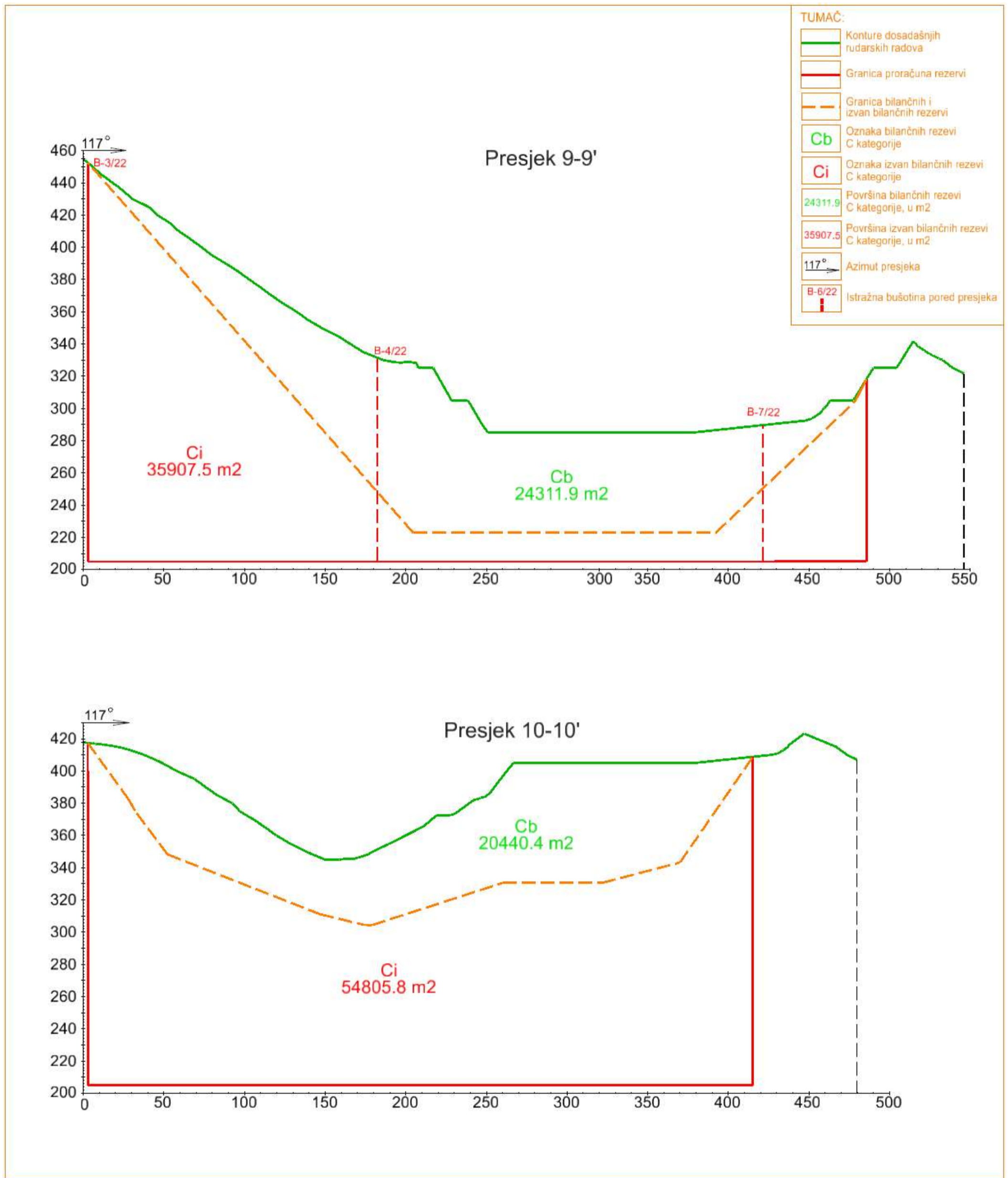


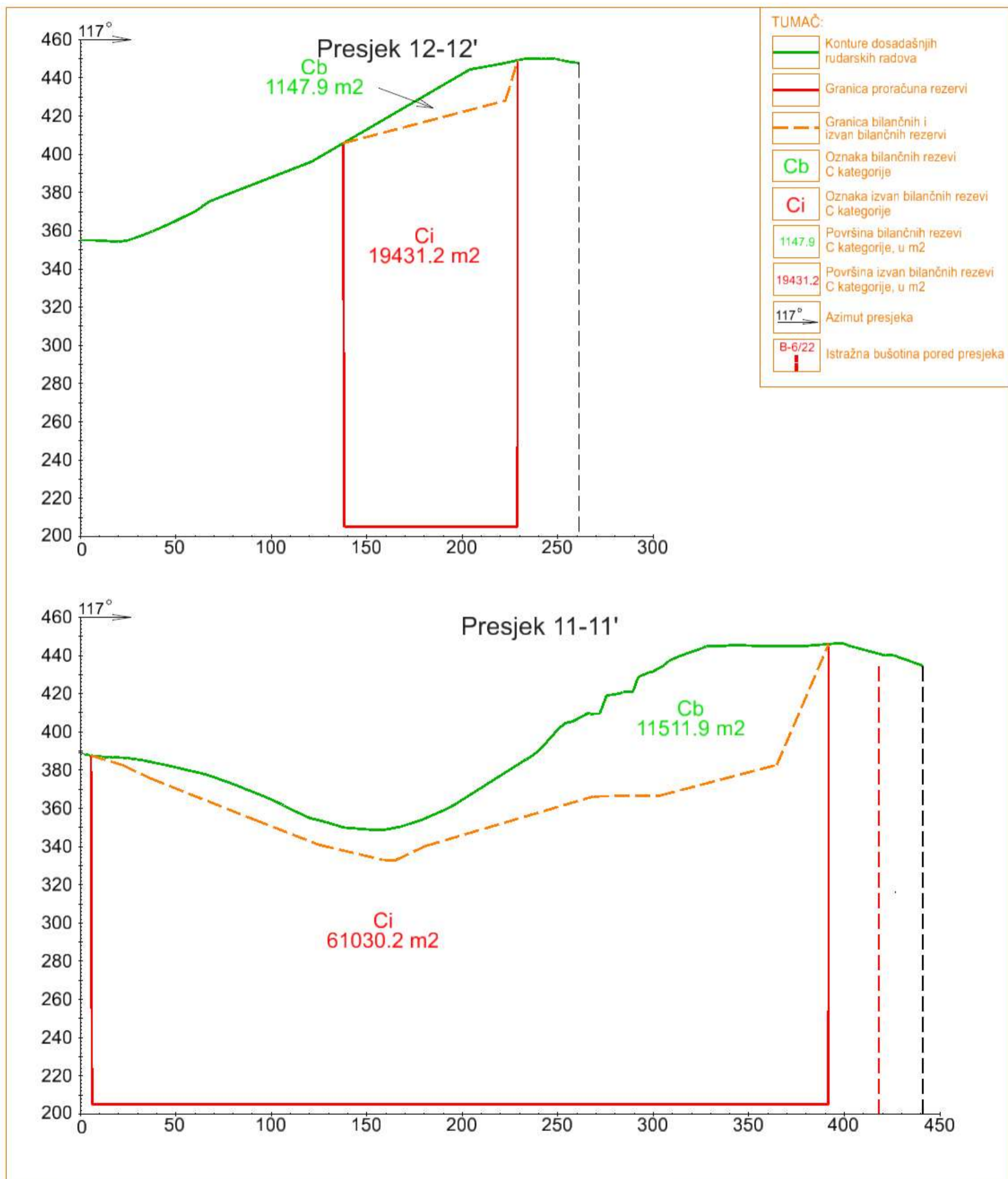
TUMAČ:

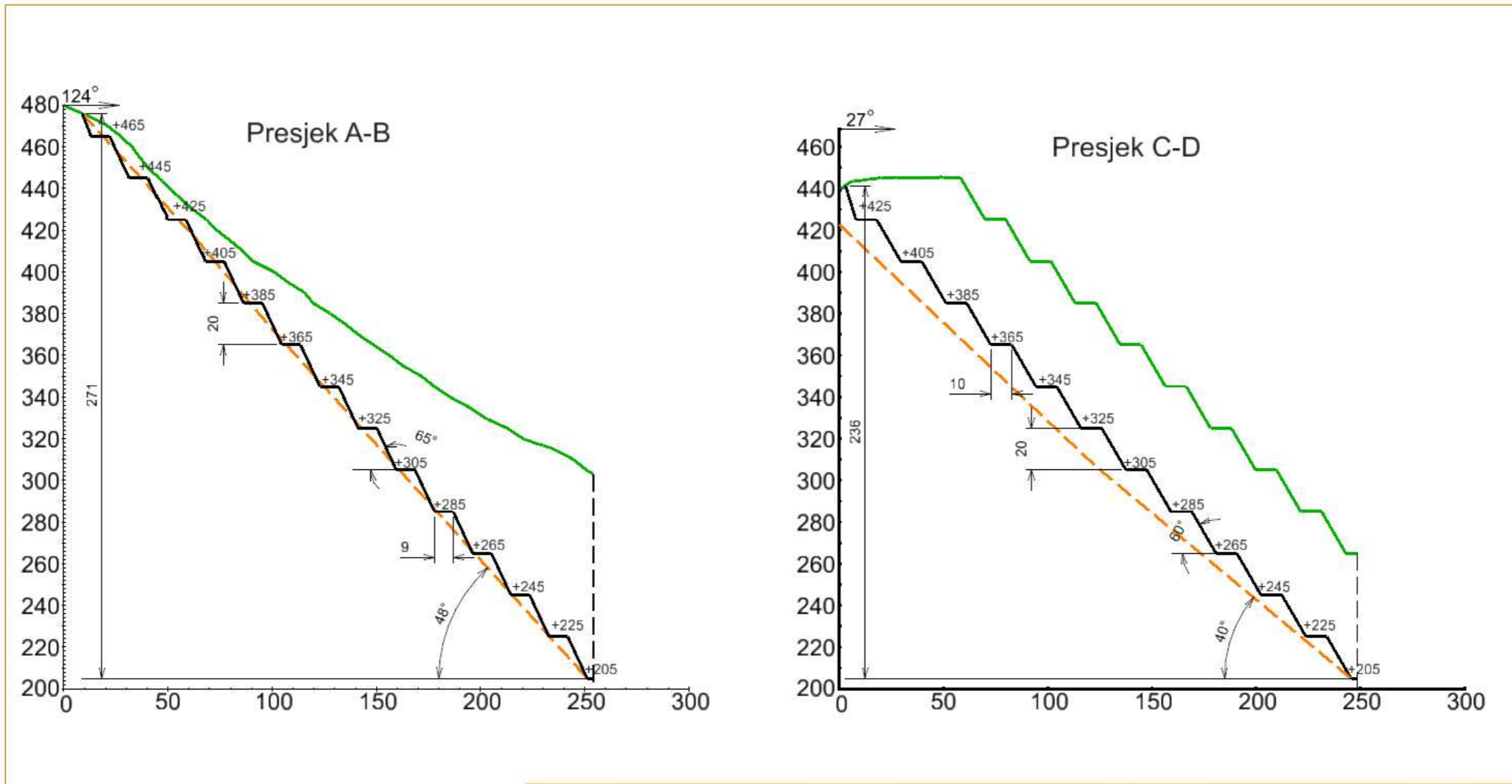
	Konture dosadašnjih rudarskih radova
	Granica proračuna rezervi
	Granica bilančnih i izvan bilančnih rezervi
Cb	Oznaka bilančnih rezervi C kategorije
Ci	Oznaka izvan bilančnih rezervi C kategorije
16705.8	Površina bilančnih rezervi C kategorije, u m ²
31402.6	Površina izvan bilančnih rezervi C kategorije, u m ²
117°	Azimut presjeka











TUMAČ: Postojeće stanje terena Projektirana kontura kopa nakon otkopavanja Završna kosina Visina-kota etaže Azimut presjeka	NARUČITELJ: RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET ZAGREB	NAZIV OBJEKTA: LEŽIŠTE TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA "PREGRADA II"	DATUM: rujan, 2022.
	IZRAĐIVAČ: RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET ZAGREB STUDENT: ANDREJ KOVAČEVIĆ	NAZIV RADA: OPTIMIZACIJA RUDARSKIH RADOVA NA PROŠIRENOM EKSPLOATACIJSKOM POLJU "PREGRADA II"	
	MJERILO: 1:2000	NAZIV PRILOGA: ZNAKOVITI PRESJECI	PRILOG: 3