

# Modeliranje ležišta boksita i podzemnih prostorija na boksitonosnom području Studena Vrila s prijedlogom razvoja rudarskih radova

---

Radovac, David

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:169:701319>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-28**



Repository / Repozitorij:

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



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

**MODELIRANJE LEŽIŠTA BOKSITA I PODZEMNIH PROSTORIJA NA  
BOKSITONOSNOM PODRUČJU STUDENA VRILA S PRIJEDLOGOM  
RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA**

Diplomski rad

David Radovac

R4383

Zagreb, 2024



KLASA: 602-01/24-01/113  
URBROJ: 251-70-11-24-2  
U Zagrebu, 21.11.2024

David Radovac, student

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/113, URBROJ: 251-70-11-24-1 od 26.06.2024. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### MODELIRANJE LEŽIŠTA BOKSITA I PODZEMNIH PROSTORIJA NA BOKSITONOSNOM PODRUČJU STUDENA VRILA S PRIJEDLOGOM RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA

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)

Predsjednica povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc.dr.sc. Helena Vučenović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

MODELIRANJE LEŽIŠTA BOKSITA I PODZEMNIH PROSTORIJA U EKSPLOATACIJSKOM POLJU  
STUDENA VRILA S PRIJEDLOGOM RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA

DAVID RADOVAC

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

Sažetak

U ovom diplomskom radu analizirana su ležišta boksita koja se nalaze u eksploatacijskom polju Studena Vriila, na granici općina Posušje i Tomislavgrada. Izrađeni su prostorni modeli (3D) terena, ležišta boksita i postojećih podzemnih prostorija u računalnom programu Open Roads Desinger (ORD). Prostorni modeli poslužili su za proračun rezervi boksita, pomoću metode računalnog modeliranja (MRM), te izradu prijedloga razvoja novih rudarskih radova.

Ključne riječi: 3D modeliranje, ORD, ležište boksita, podzemne prostorije, razvoj rudarskih radova

Završni rad sadrži: 54 stranice, 5 tablica, 75 slika, 11 referenci

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. Ivica Pavičić, docent RGNF

Dr. sc. Vječislav Bohanek, izvanredni profesor RGNF

MODELING OF THE BAUXITE DEPOSIT AND UNDERGROUND ROOMS IN THE STUDENA  
VRILA EXPLOITATION FIELD WITH A PROPOSAL FOR THE DEVELOPMENT OF MINING  
WORKS

DAVID RADOVAC

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

Abstract

In this master thesis, the bauxite deposits located in the exploitation field of Studen Vrila, on the border of the municipalities of Posušje and Tomislavgrad, were analyzed. Spatial models (3D) of the terrain, bauxite deposits and existing underground rooms were created in the computer program Open Roads Desinger (ORD). Spatial models were used for the calculation of bauxite reserves, using the computer modeling method (MRM), and the creation of proposals for the development of new mining works.

Keywords: 3D modeling, ORD, bauxite deposit, underground rooms, development of mining works

Thesis contains: 54 pages, 5 tables, 75 figures, 11 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.  
Assistant Professor Ivica Pavičić, PhD  
Associate professor Vječislav Bohanek, PhD

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OSNOVNE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA STUDENIH VRILA .....	2
2.1. Zemljopisni položaj .....	2
2.2. Hidrološke i klimatske promjene .....	3
2.3. Geološke karakteristike šireg područja .....	3
3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE LEŽIŠTA .....	6
3.1. Geološka građa ležišta .....	6
3.2. Opis ležišta .....	7
3.3. Geneza ležišta .....	10
3.4. Tektonika ležišta .....	10
3.5. Hidrogeološke karakteristike ležišta .....	12
3.6. Inženjersko geološke karakteristike .....	12
4. ISTRAŽNI RADOVI .....	14
4.1. Metode istraživanja .....	14
4.2. Istražni radovi .....	14
5. POSTOJEĆE STANJE RUDARSKIH RADOVA .....	16
6. IZRADA TRODIMENZIONALNIH MODELA .....	18
6.1. Modeliranje stupova bušotina .....	18
6.2. Modeliranje plohe terena, kontaktne plohe, plohe krovine i podine ležišta boksita .....	28
6.3. Modeliranje rudnog tijela boksita .....	35
6.4. Proračun obujma utvrđenih ležišta boksita .....	39
6.5. Modeliranje podzemnih prostorija .....	40
6.6. Modeliranje dijela niskopa koji se predlaže za izradu s proračunom troškova .....	50
7. ZAKLJUČAK .....	53
8. LITERATURA .....	54

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Zemljopisni položaj eksploatacijskog polja boksita „Studena Vrila“.....	2
Slika 2-2. Geološka karta šireg područja Studena Vrila (Rajić i dr., 1976.) .....	5
Slika 3-1. Prikaz ležišta u eksploatacijskom polju. ....	9
Slika 3-2. Geološki profil A-B (Čatović, 1980.) .....	11
Slika 3-3. Geološki profil C-D (Čatović, 1980.) .....	11
Slika 6-1. Prikaz alata „ <i>Set Element Elevation</i> “ .....	18
Slika 6-2. Podizanje razdvojenih glavnih izohipsi. ....	19
Slika 6-3. Izohipse „dignute“ na odgovarajuće visine.....	19
Slika 6-4. Naredba „ <i>Export Coordinates</i> “ .....	20
Slika 6-5. Txt datoteka negativnih bušotina dobivena naredbom „ <i>Export Cordinates</i> “ ....	20
Slika 6-6. Naredba „ <i>Import Coordinates</i> “ za unos koordinata negativnih bušotina.....	21
Slika 6-7. Naredba „ <i>Import Coordinates</i> “ za unos koordinata pozitivnih bušotina. ....	21
Slika 6-8. Kružnica bušotine i točkasti podatak. ....	21
Slika 6-9. Primjer bušotinskog profila.....	22
Slika 6-10. Prikaz izračunavanja Z koordinate.....	22
Slika 6-11. Prikaz formatiranih txt datoteka za unos podataka u 3D model. ....	23
Slika 6-12. Kružnica s kotom ulaza bušotine u boksit. ....	23
Slika 6-13. Kružnica sa zadanom kotom izlaza iz boksita. ....	23
Slika 6-14. Prikaz odabira opcije „ <i>Modeling</i> “ iz padajućeg izbornika.....	24
Slika 6-15. Prikaz odabira naredbe „ <i>Construct Surface By Edges</i> “ .....	24
Slika 6-16. Prikaz konstruirane bušotine u kojoj se nalazi boksit. ....	24
Slika 6-17. Prikaz svih stupova bušotina u kojima se nalazi boksit u odnosu na izohipse terena. ....	25
Slika 6-18. Prikaz kružnice sa zadanom kotom krovine. ....	25
Slika 6-19. Prikaz stupa bušotine u kojem se nalazi krovina i boksit. ....	26
Slika 6-20. Prikaz kružnice sa zadanom kotom dna bušotine. ....	26
Slika 6-21. Prikaz stupa bušotine sa zadanim kotama krovine, podine i dna.....	27
Slika 6-22. Prikaz pozitivnih bušotina u odnosu na izohipse terena. ....	27
Slika 6-23. Prikaz negativne bušotine sa zadanim kotama krovine i podine. ....	28
Slika 6-24. Prikaz negativnih bušotina u odnosu na izohipse terena. ....	28
Slika 6-25. Parametri korišteni za izradu plohe terena. ....	29

Slika 6-26. Prikaz parametara triangulacije za kontaktne plohe te plohu krovine i podine ležišta.....	29
Slika 6-27. Prikaz plohe terena u obliku žičnog, triangulacijskog modela. ....	30
Slika 6-28. Prikaz plohe terena u obliku renderiranog, „smooth“ modela. ....	30
Slika 6-29. Prikaz kontaktne plohe boksitonosnog područja Studena Vrla u obliku žičnog, triangulacijskog modela.....	31
Slika 6-30. Prikaz kontaktne plohe boksitonosnog područja Studena Vrla u obliku renderiranog, „smooth“ modela. ....	31
Slika 6-31. Prikaz parametara okonturenja ležišta boksita na kontaktnoj plohi.....	32
Slika 6-32. Prikaz kontura ležišta boksita na kontaktnoj plohi u obliku žičnog, triangulacijskog modela.....	32
Slika 6-33. Prikaz kontura ležišta boksita na kontaktnoj plohi u obliku renderiranog, „smooth“ modela. ....	33
Slika 6-34. Prikaz plohe podine ležišta boksita u obliku žičnog, triangulacijskog modela. ....	33
Slika 6-35. Prikaz plohe podine ležišta boksita u obliku renderiranog, „smooth“ modela. ....	34
Slika 6-36. Prikaz alata „Create Closed Mesh“.....	35
Slika 6-37. Prikaz parametara za kreiranje rudnog tijela (solid elementa) boksita. ....	35
Slika 6-38. Prikaz rudnog tijela boksita u obliku žičnog, triangulacijskog modela. ....	36
Slika 6-39. Prikaz rudnog tijela boksita u obliku renderiranog, „smooth“ modela. ....	36
Slika 6-40. Prikaz izrezanog dijela kontaktne plohe. ....	37
Slika 6-41. Prikaz krovinskog tijela. ....	37
Slika 6-42. Prikaz spojenog modela krovinog tijela i rudnog tijela boksita.....	38
Slika 6-43. Prikaz blok modela boksitonosnog područja Studena Vrla. ....	38
Slika 6-44. Prikaz profila s pomoćnom plavom crtom. ....	40
Slika 6-45. Postavljeni profili duž potkopa. ....	41
Slika 6-46. Modelirani potkop.....	41
Slika 6-47. Modelirani potkop u odnosu na ležište. ....	41
Slika 6-48. Model prve etaže.....	42
Slika 6-49. Položaj prve etaže u odnosu na potkop. ....	42
Slika 6-50. Položaj prve etaže u odnosu na ležište.....	42
Slika 6-51. Model druge etaže.....	43
Slika 6-52. Položaj druge etaže u odnosu na potkop.....	43
Slika 6-53. Položaj druge etaže u odnosu na ležište.....	43
Slika 6-54. Model treće etaže. ....	44



Slika 6-55. Položaj treće etaže u odnosu na potkop. ....	44
Slika 6-56. Položaj treće etaže u odnosu na ležište. ....	44
Slika 6-57. Model četvrte etaža. ....	45
Slika 6-58. Položaj četvrte etaže u odnosu na potkop. ....	45
Slika 6-59. Položaj četvrte etaže u odnosu na ležište. ....	46
Slika 6-60. Model pete etaža. ....	46
Slika 6-61. Položaj pete etaže u odnosu na potkop. ....	47
Slika 6-62. Položaj pete etaže u odnosu na ležište. ....	47
Slika 6-63. Prikaz svih etaža u odnosu na potkop. ....	48
Slika 6-64. Prikaz svih etaža u odnosu na potkop i ležište. ....	48
Slika 6-65. Prikaz blok modela boksitonosnog područja s uklopljenim rudarskim radovima, u obliku transparentnog modela bez ispune ležišta. ....	49
Slika 6-66. Prikaz blok modela boksitonosnog područja s uklopljenim rudarskim radovima, u obliku transparentnog modela s ispunom ležišta. ....	49
Slika 6-67. Prikaz nastavka trase niskopa u tlocrtu. ....	50
Slika 6-68. Položaj planirane trase u odnosu na postojeći niskop. ....	50
Slika 6-69. Prikaz položaja planirane trase u odnosu na niskop i ležište. ....	51
Slika 6-70. Pogled odozdo („žablja perspektiva“) na položaj planirane trase u odnosu na niskop i ležište. ....	51

## POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Fizičko mehanička svojstva krovine boksita (Rudnici boksita Jajce, 2016.)..	13
Tablica 4-1. Analiza istraživanja. ....	15
<b>Tablica 6-1. Rezultati proračuna rezervi metodom računalnog modeliranja .....</b>	<b>40</b>
Tablica 6-2. Troškovi materijala za izradu novog dijela niskopa.....	52
Tablica 6-3. Troškovi radne snage. ....	52

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
$\Delta p$	Pa	diferencijalni tlak
$f$	-	koeficijent otpora
$L$	m	duljina
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća
$O$	m	opseg
$A$	m <sup>2</sup>	površina
$v$	m/s	brzina

## 1. UVOD

Područje Studena Vrla vrlo je poznato zahvaljujući brojim ležištima, dugotrajnom istraživanju i bušenju u svrhu pronalaženja ležišta boksita. Prvo ime koje je vezano za ovaj teren pripada Katzeru (1918, 1921) koji u svojim radovima piše o konglomeratima Studenih vrla, Masihovine, Vira i Rakitna. U radovima T. Jakšića (1933) postoje podaci u vidu pojedinih kemijskih analiza s ovog područja. Poslije dužeg vremena 1955. godine T. Živaljević prvi put prilaže uz izvještaj i geološku kartu mjerila 1:50 000. Na njoj su ucrtani rudistni vapnenci i "konglomeratna serija". U razdoblju od 1953. do 1958. godine izvedeno je geološko kartiranje za osnovnu geološku kartu. V. Raić i J. Papeš (1958) na novim topografskim osnovama izvide radove na kartiranju uz korištenje aerofotosnimaka. Na tim kartama preciznije su izdvojene kredne od prominskih naslaga.

Detaljno geološko kartiranje ovog područja u mjerilu 1: 2 500 izvedeno je djelomično (samo uz ležište) sve do 1969. godine. Predstavnici Geološkog zavoda Sarajevo (Papeš J. sa suradnicima) izvršili su 1969. godine detaljno geološko kartiranje cijelog područja u mjerilu 1: 5000.

O konglomeratima Studenih Vrla piše Raić i Papeš (1978), a o prominskim naslagama ovog prostora piše još i Čičić (1977), Živaljević (1977) te Kulenović i Čičić (1985). Dragičević Et Al. (1985) u novim stratigrafskim podacima o paleogenskim klastitima Studenih Vrla utvrđuju starost ovih sedimenata te ih svrstava u gornji paleocen i eocen.

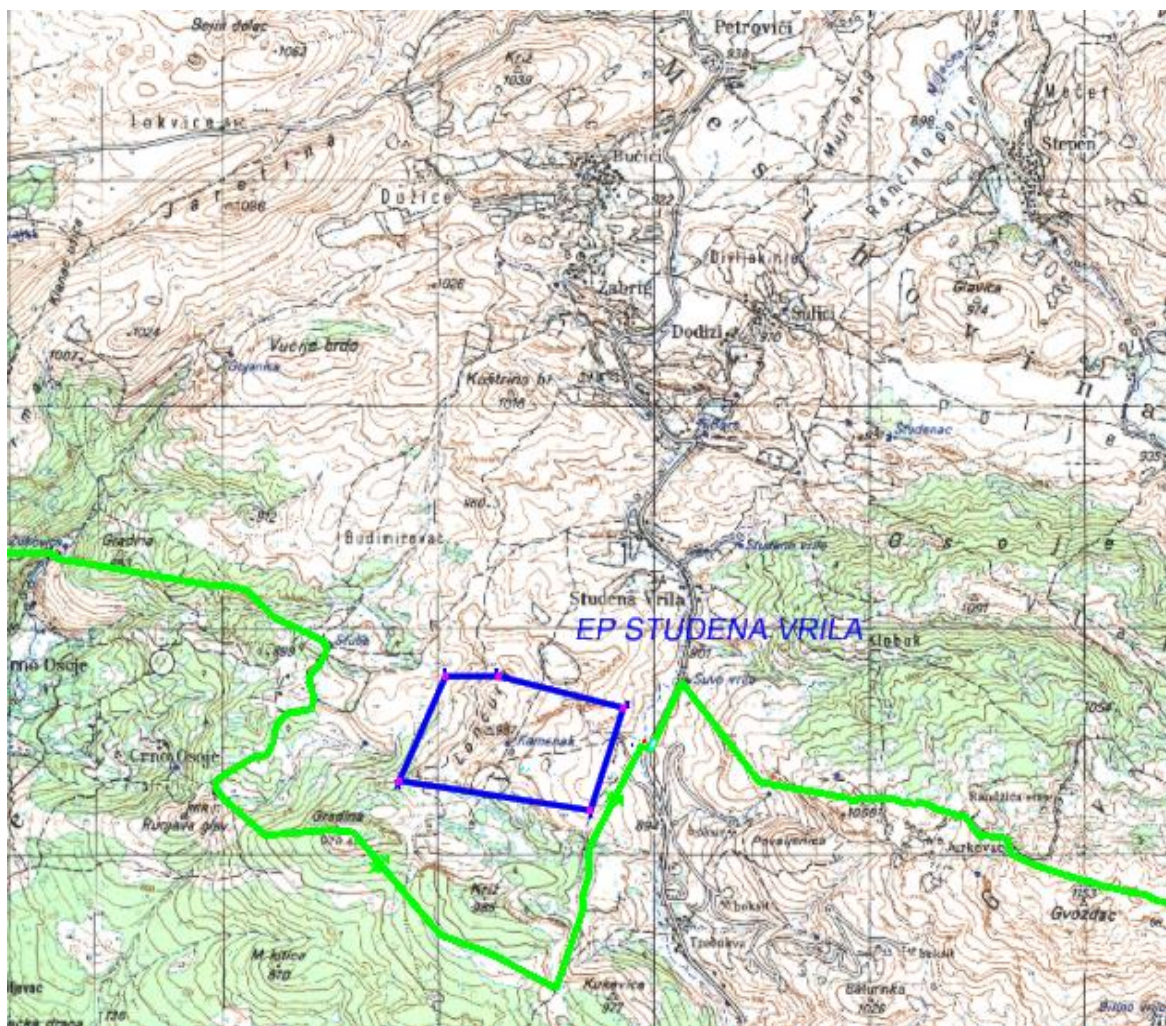
Jamske izvozno-transportne prostorije izgrađene su 1988. godine te one nisu bile korištene od vremena njihove izrade do 5. mjeseca 2021. godine. Društvo Rudnik Mesihovina u kolaboraciji sa Društvom Rudnici Boksita Jajce pokreće postupak sanacije i čišćenja jame, obnavljanje upravnih pogonskih zgrada, izgradnju kompresorskih stanica, sanaciju deponija za rudu, razvođenje elektro instalacija, instalacija za komprimirani zrak i instalacija za vodu. Do kraja 2021. godine jama je bila kompletno sanirana i spremna za početak eksploatacijskih radova na prvoj etaži ležišta L-9a.

U ovom radu analizirane su istražne bušotine u eksploatacijskom polju „Studena Vrla“ te su izrađeni prostorni modeli (3D) terena, ležišta boksita i postojećih podzemnih prostorija. Prostornim modeliranjem ležišta omogućen je proračun rezervi boksita primjenom metode računalnog modeliranja (MRM). U glavnom dijelu rada kreirani su prostorni modeli podzemnih prostorija te je predložen razvoj novih rudarskih radova.

## 2. OSNOVNE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA STUDENIH VRILA

### 2.1. Zemljopisni položaj

Studena Vrila obuhvaćaju prostor istočno i zapadno od prometne ceste Posušje-Tomislavgrad s produžetkom prema istoku i zaravni Vučipolje, a prema zapadu graniči s područjem Zagorja. Administrativno pripada općinama Posušje i Tomislavgrad (Slika 2-1.). Ovo područje u geomorfološkom pogledu pripada srednje visokom planinskom području s nadmorskim visinama između 900 i 1150 metara. Reljef je blag, ovisno o karakteru sposobnosti trošenja pojedinih litoloških članova koji su različitog petrografskog sastava. Zapažaju se uzvisine koje nose nazive Gvozd, Povaljenica, Okrugli brijeg, Bricin brijeg itd. Bujični tokovi povremenog pojavljivanja i trajanja izdubili su i odvojili ova uzvišenja. Komunikacijske veze vrlo su povoljne, tim više jer već spomenuta prometnica Posušje-Tomislavgrad ima regionalni značaj, a od nje se odvajaju rudarski putevi koji vode do svakog ležišta. Udaljenost Studenih Vrila od Posušja iznosi oko 14 km. „



Slika 2-1. Zemljopisni položaj eksploatacijskog polja boksita „Studena Vrila“.

## **2.2. Hidrološke i klimatske promjene**

Boksitonosno područje Studenih Vrila pripada krškom pojasu koji se odlikuje minimalnim tekućim vodama na površini i vrlo bogatim podzemnim vodama. Geološki sastav terena onemogućuje stvaranje većih tokova na površini, već svojim mnogobrojnim pukotinama dozvoljavaju podzemno otjecanje voda. U ovom području nema ni jedan stalan tok dok je povremeni jači tok Studeni potok.

Veći dio godine teren je bezvodan. Za potrebe rudnika Trobukva prikupljeni su hidrometeorološki podatci s kišomjernih stanica u Raškom polju. Prema ovim podacima može se zaključiti da su maksimalne padaline registrirane u 11 i 12 mjesecu, a minimalne sredinom ljeta. Uočeno je da su dnevne padaline preko 40 mm rijetke i maksimalno se pojavljuju 15 dana u godini.

Čatović (1980) navodi da za klimu ovog područja može se reći da je kontinentalno planinska. Zime su oštre, hladne s dosta snijega, a ljeta duga, topla i bez padavina. U ovom području je čest snijeg i u studenom. Sredinom zime snježne padavine mogu biti tako velike da u potpunosti blokiraju promet, te dolazi do prekida u proizvodnji i istraživanju boksita.

## **2.3. Geološke karakteristike šireg područja**

Boksitosno područje Studenih Vrila izgrađeno je od gornjokrednih vapnenaca i klastičnih naslaga paleogena. U strukturno tektonskom pogledu ovo područje pripada tektonskoj jedinici Zavelima. Gornjokredni vapnenci izgrađuju južni i jugozapadni dio terena. U središnjem i sjeveroistočnom dijelu gornjokredni vapnenci otkriveni su erozijom ispod klastičnih naslaga.

Najstariji sedimenti na širem području Studenih Vrila su vapnenci cenoman-turonske starosti. Rasprostranjeni su u krajnjem jugozapadnom dijelu terena, izvan područja istraživanja. To su rumenkastosivi vapnenci s proslojcima dolomita u kojima su utvrđeni slabo očuvani ostatci hodrodonta.

Gornjokredni vapnenci turonsko-senonske starosti ( $K_2^{2,3}$ ) izgrađuju središnji dio Studenih Vrila (Okrugli brijeg i Povaljenica). Na južnom dijelu ovi vapnenci su reversnim rasjedom navučeni na klastične naslage. Gornjokredni vapnenci su bijele, svijetlosive i rumenkaste boje, sa slabo izraženom slojevitošću. U širem području Studenih Vrila nađeni su ostatci rudista. U mnogobrojnim krškim udubljenima ovih vapnenaca smještena su mnogobrojna ležišta boksita različite veličine i oblika.

Paleogenske klastične naslage (E) pokrivaju najveći dio terena Studenih Vriila. Pružaju se kroz čitav teren od sjeverozapada do jugoistoka. Ove naslage su predstavljene konglomeratima, laporima, pješčenjacima i pjeskovitim laporima.

Konglomerat je izgrađen od dobro zaobljenih valutica, u tankim do vrlo debelim slojevima. Na površini je konglomerat ispucao i degradiran s mnogobrojnim pukotinama. Ostatci većih blokova konglomerata čine posebne morfološke oblike na terenu. Za ovaj član klastita karakteristično je bočno isklinjene. Valutice konglomerata su od različitih tipova i starosti vapnenaca i rjeđe dolomita.

Pješčenjaci su različite granulacije, s prelazima od fino zrnatih do krupnozrnatih. Dobro su uslojeni i slojevi se zapažaju na osnovu gradacije zrna u stijeni. Pretežno je izgrađen od vapnenih zrna i česti su prelazi prema pjeskovitim laporima.

U kompleksu klastičnih naslaga, lapor se najčešće pojavljuje u bazalanom dijelu iznad samog boksita ili krednih vapnenaca. U širem području Studenih Vriila poznato je da ima i lapora debljinom od 40 m, gdje čini neposrednu krovinu boksita. Na tim mjestima često se izmjenjuje s ugljevitim laporima.

Stratigrafska pripadnost klastičnih naslaga određena je analizom nanoplanktona u laporima iz neposredne krovine boksita (Dragičević Et. Al., 1985). Ovim analizama utvrđeno je da bazalni dijelovi ovih naslaga pripadaju donjem eocenu, mada se očekuje da su razvijene i mlađe naslage.



Slika 2-2. Geološka karta šireg područja Studena Vrila (Rajić i dr., 1976.).



### 3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE LEŽIŠTA

#### 3.1. Geološka građa ležišta

Grupna ležišta koja su obrađena u Elaboratu o klasifikaciji i kategorizaciji i proračunu rezervi crvenog boksita u grupi ležišta „Okrugli brijeg“ Studena Vрила kod Posušja (Čatović, 1980.) nalazi se pod krovinskim naslagama paleogenskih klastita koji se prostiru u sjeverozapadnom dijelu Studenih Vрила. Podinski dio ležišta je u karbonatnoj podlozi s razvijenim krškim oblicima.

Karbonatne stijene predstavljene su turonsko-senonskim vapnencima (Slika 2.). Na površini se pojavljuju zapadno cca 100 m od ležišta L-8/9, dok je na istočnom dijelu dio ležišta na kontaktu ovih vapnenaca i klastita. Kredni vapnenci su najčešće sivobijele, bijele ili rumenkaste boje s mnogobrojnim pukotinama i krškim oblicima. Zbog okršenosti i strukturnih promjena slojevitost se teško zapaža.

Ovi vapnenci su u dugom vremenskom razdoblju od gornje krede do donjeg eocena bili pod utjecajem jake erozije. U to vrijeme stvorena su brojna krška udubljenja, a u ta udubljenja nataložio se materijal od čega je nastao boksit.

Transgresijom mora u ocean istaložen je kompleks krovinskih klastičnih sedimenata. Najčešće se prvo taložio čisti lapor s debljinom od 2 do 10 metara. Dalje su naizmjenično taloženi pjeskoviti lapori, pješčenjaci i konglomerati koje karakterizira brza bočna i vertikalna izmjena. Ove česte izmjene facijesa govore o živoj tektonskoj aktivnosti bazena.

Najnovijim istraživanjima krovinskih sedimenata dokazano je na osnovu nanoplanktona da donji dijelovi serije pripadaju donjem eocenu, a gornji bi trebali svoje razvijanje do oligocena (Dragičević et al., 1985).

Boksiti Studenih Vрила pripadaju crvenim boksitima i pretežno su oolitne strukture. Većina oolita u boksitu je pretaložena, iz čega se može zaključiti da je pretaloženje boksitičnog materijala bio čest proces u vrijeme boksitogeneze. Po pitanju kvalitete, ovaj boksit je jedan od najkvalitetnijih u Hercegovini, a po mineraloškom sastavu su bemitskog sastava.

### 3.2. Opis ležišta

Ležišta boksita L-8/9 i L-19 mogu se promatrati kao jedno ležište (slika 3.), jer su jedno do drugog i postoji velika vjerojatnoća da su međusobno povezani. Prije zadnjeg doistraživanja ležišta L-8 i L-9 su bila zasebna, a danas predstavljaju jedno ležište. Ležište L-20 je ustvari ostatak povadenog ležišta s malim rezervama od 3760 t i za sada nije interesantno kao prethodna dva. Ako promatramo teren na kome su smještena ova dva velika ležišta, vidi se po kotama (930 – 980 mnm) da je jedan od viših brjegovu u Studenim Vrelima. Zajednički oblik im je potpuno nepravilan, a sastoji se od četiri isturena kraka, u čijim sredinama je jalovi dio bez rude. Boksit leži na vapnenačkom terenu preko koga leži kompleks klastičnih sedimenata. Klastične naslage grade dvije antiklinale i jednu sinklinalu s blagim padovima. Sjevernija antiklinala ima blaže elemente padova slojeva (oko 25°) dok je na drugoj, posebno južnoj krilo dosta strmije (oko 50°) grade dvije antiklinale i jednu sinklinalu s blagim padovima (Čatović, 1980).

Ležište presijeca samo jedan rasjed, isti ima skok od 10 do 15 metara. Sjeverno krilo je spuštено u odnosu na južno, što je dokazano na mnogim bušotinama čije dubine prelaze 150 metara.

(Federalno ministarstvo energije, rudarstva i industrije, 2012) donosi pravilnik o klasifikaciji kategorizaciji i proračunu čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima prema kojem se crveni boksiti dijele na 5 grupa:

a. u prvu grupu uvrštavaju se ležišta crvenih boksita koja imaju određen stratigrafski nivo, površinu preko 60.000 m<sup>2</sup> (dužina pružanja pomnožena sa dužinom zalijeganja), nepravilnu slojevitost i prosječnu debljinu preko 1,8 m, kao i ležišta erozijom otkrivena, čija je površina veća od 60.000 m<sup>2</sup>;

b. u drugu grupu uvrštavaju se ležišta crvenih boksita koja imaju određen stratigrafski nivo, površinu od 30.000 do 60.000 m<sup>2</sup>, nepravilnu slojevitost i prosječnu debljinu preko 1,8 m, kao i ležišta erozijom otkrivena, ako ispunjavaju navedene uslove za uvrštavanje u drugu grupu ležišta;

c. u treću grupu uvrštavaju se ležišta crvenih boksita koja imaju određen stratigrafski nivo, površinu od 10.000 do 30.000 m<sup>2</sup>, gnijezdasto-sočivast oblik i prosječnu debljinu preko 1,8 m, kao i ležišta erozijom otkrivena, ako ispunjavaju navedene uslove za uvrštavanje u treću grupu ležišta;

d. u četvrtu grupu uvrštavaju se ležišta crvenih boksita koja imaju određen stratigrafski nivo, površinu od 2.000 do 10.000 m<sup>2</sup>, nepravilan oblik (gnijezda ili sočiva) i prosječnu

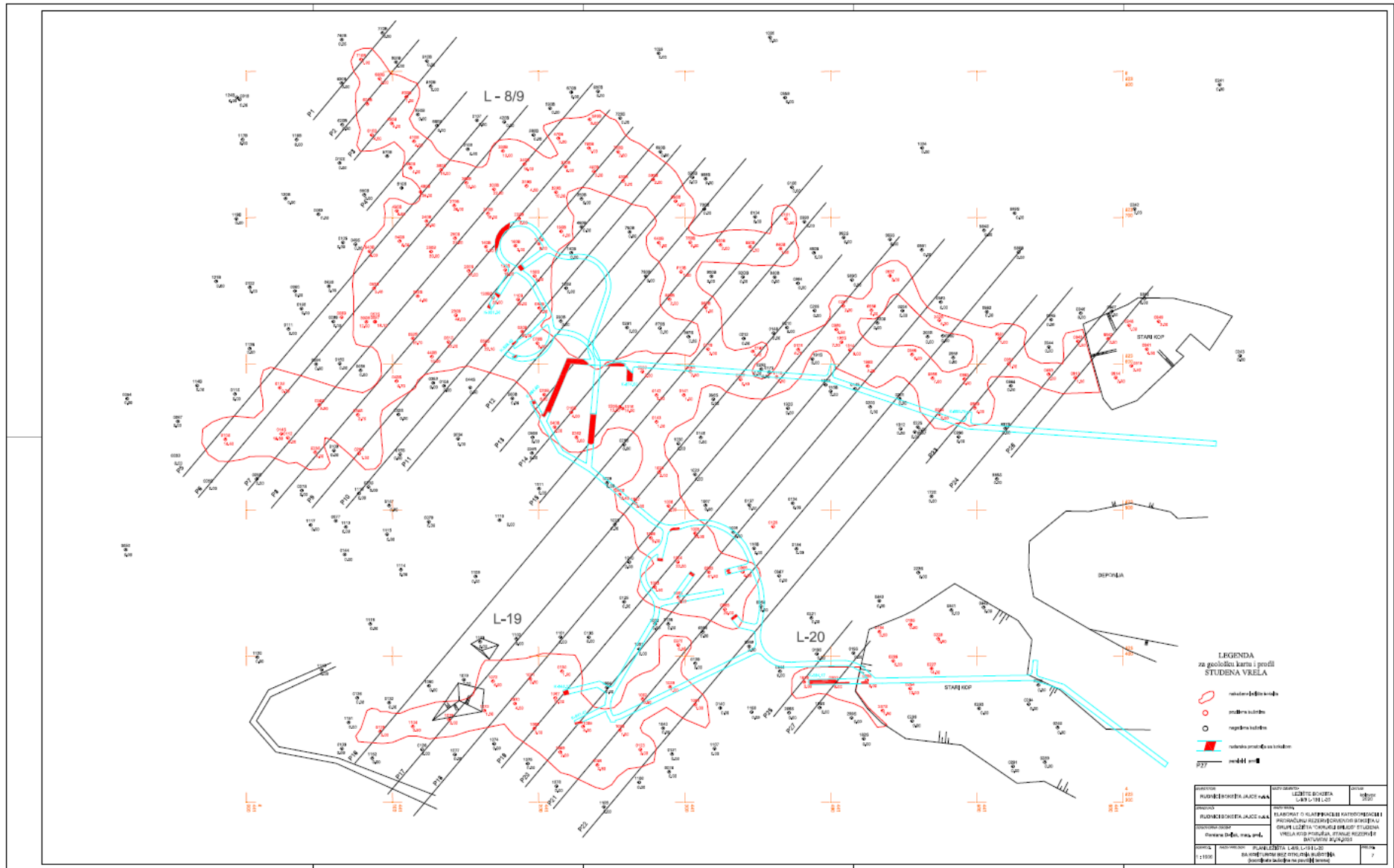
debljinu preko 0,5 m, kao i ležišta erozijom otkrivena, ako ispunjavaju navedene uslove za uvrštavanje u četvrtu grupu ležišta;

e. u petu grupu uvrštavaju se ležišta crvenih boksita koja imaju određen stratigrafski nivo, površinu ispod 2.000 m<sup>2</sup>, nepravilan oblik i prosječnu debljinu preko 0,5 m, kao i ležišta erozijom otkrivena, ako ispunjavaju navedene uslove za uvrštavanje u petu grupu ležišta i sva detritična ležišta crvenih boksita.

Ležište L-8/9 ima površinu od 59 964 m<sup>2</sup>. Dugačko je 610 metara dok mu širina varira od 400 do 570 metara. Debljina krovine kreće se od 15 do 141 metar. Najdeblje utvrđen boksit iznosi 48 metara, a najtanji je od 0,5 m. Spada u II. grupu ležišta boksita.

Drugo ležište L-19 dugačko je 145 metara, a široko 80 metara. Površina mu iznosi 9 985 metara, Minimalna debljina krovinskih naslaga je 70 metara, a maksimalna je 145 m. Debljina boksita se kreće od 0,5 m do 17 metara. Prema pravilniku spada u IV. grupu ležišta boksita (Sl. Novine FBiH br.36/12).

Ležište L-20 je ostatak povađenog ležišta koje se površinski eksploatiralo. Ima malu površinu od 834 m<sup>2</sup> i isto tako male dimenzije za dužinu i širinu (45 i 22 m). Na dvije pozitivne bušotine boksit se nalazi na dubini od 52 do 57 metara. Debljina boksita je od 3 do 6 metara.



Slika 3-1. Prikaz ležišta u eksploatacijskom polju.

### **3.3. Geneza ležišta**

Problematikom postanka boksita bavio se veći broj znanstvenika koji su u svojim radovima iznijeli različita gledišta po ovom pitanju. Do danas nema jedinstvenog mišljenja o genezi boksita u kršu, a za grupu ležišta „Okrugli Brijeg“ bit će prikazana na osnovu istraživanja na području Hercegovine, prema Sakač K. Et al. (1992).

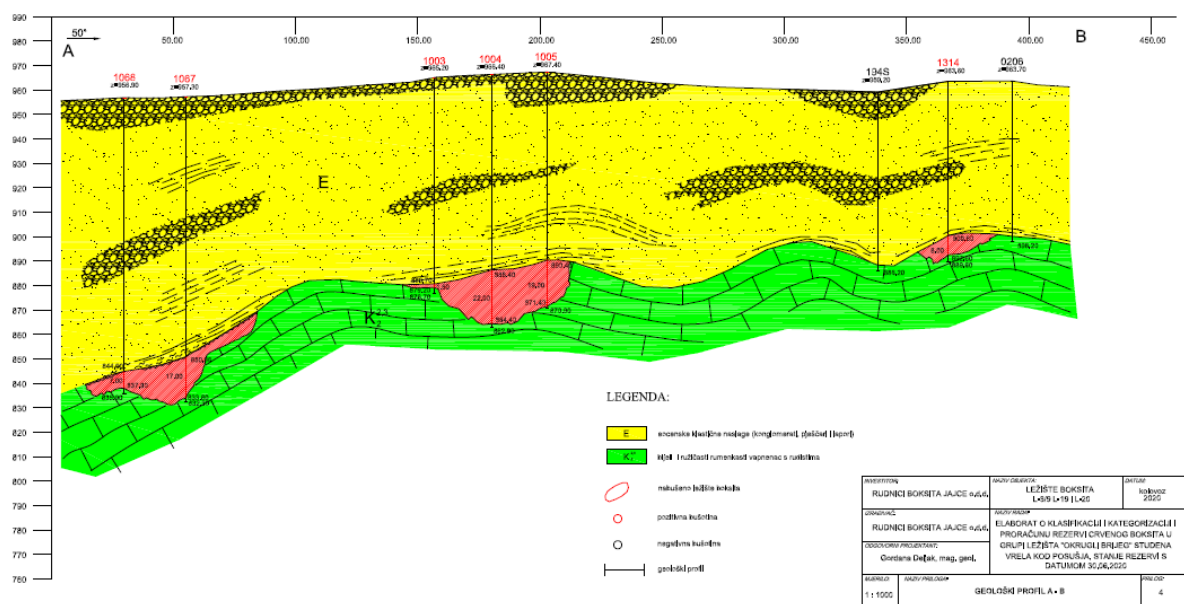
Ležišta boksita „Studena Vrla“ pripadaju mlađim paleogenskim ležištima formiranim u paleoreljefu koji je stvoren u gornjokrednim vapnencima. Područja na kojima je stvaran boksit bili su duže vremena izolirani prostori koji su strogo definirani. Ta područja izgrađuje obavezno karbonatna podloga koja je pretrpjela prerudnu tektoniku, nakon koje je nastupila intenzivna sedimentacija. Ovim procesima stvorene su mnogobrojne negativne forme različitih geomorfoloških oblika, pogodnih za taloženje boksita. Eocensko more preplavljuje ove prostore i započinje taloženje krovinskih sedimenata na karbonatnu podlogu s negativnim formama reljefa u kojima se nataložio boksit.

Litološki sastav krovine ležišta su različiti članovi klastičnih paleogenskih sedimenata s jednostavnim tektonskim strukturama. Proces boksitizacije započet još u kori raspadanja, traje za vrijeme transporta i kasnije nakon deponiranja boksitičnog materijala u krškim udubljenima (Čatović, 1980).

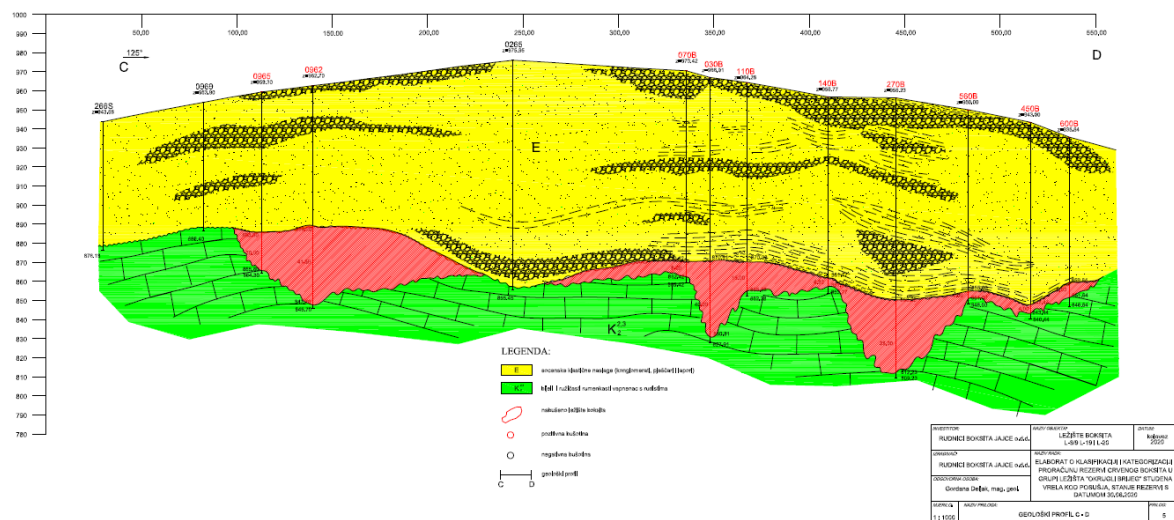
### **3.4. Tektonika ležišta**

Tektonska aktivnost koja se odvijala prije stvaranja ležišta boksita imala je značajnu ulogu u formiranju paleoreljefa. Duž tektonskih linija voda je svojim erozijskim radom iste proširivala i stvarala raznolika udubljena u reljefu. U nastalim paleoudubljenima nataložen je materijal za boksit. Postrudnom tektonskom aktivnošću u tercijaru deformirani su sedimenti na širem prostoru. Izvršeno je njihovo strukturno oblikovanje i formiranje tektonskih jedinica dinarskog pravca pružanja. Ova tektonska faza koja je započela početkom taloženja krovinskih sedimenata, a traje do danas, stvorila je današnji strukturni sklop terena.

Glavni strukturni elementi na grupi ležišta rekonstruirani su na osnovu površinskog kartiranja i podataka iz bušotina. Na geološkim profilima A-B i C-D (slika 3-2. i slika 3-3.) koji poprečno sijeku ležišta, može se vidjeti kako je teren strukturno oblikovan. Osnovni strukturni oblik su dvije antiklinale i sinklinala pružanja istok-zapad. Na krilima južne antiklinale padovi slojeva su strmiji i kreću se od 40° do 60°, a na sjevernoj padovi su blaži i iznose od 25° do 45°. U sjevernom dijelu terena registriran je jedan veći rasjed, kome je sjeverno krilo spuštено, što je poremetilo klastične naslage u antiklinali. Ležišta boksita „Studena Vrila“ prekriveni su u najvećem dijelu kvartarnim naslagama humusa. Istražnim bušenjem je dokazano da su ležišta sastavljena od sustava manjih rudnih džepova u okviru jednog velikog i jednog manjeg paleoudubljena (Čatović, 1980.).



Slika 3-2. Geološki profil A-B (Čatović, 1980.).



Slika 3-3. Geološki profil C-D (Čatović, 1980.)

### **3.5. Hidrogeološke karakteristike ležišta**

U hidrogeološkom pogledu ove stijene imaju svoje jasno definirane hidrogeološke karakteristike, koje se u znatnoj mjeri međusobno razlikuju. Kredni vapnenci su stijene veoma ispucale, razlomljene, a u kasnijoj fazi zahvaćene procesom okršavanja duž predisponiranih pravaca. U njima je formiran pukotinski sustav sa sekundarnom poroznosti. U ovim stijenama površinsko dreniranje vode svedeno je na minimum, a većih stalnih izvora nema. U cjelini gledano, ove karbonatne stijene predstavljaju kolektore podzemnih voda. Budući da izvora nema, formirani su mnogobrojni ponori koji ukazuju na vertikalnu komponentu okršavanja. U slučaju presijecanja vodonosnih pukotina i rudarskih radova može doći za kratko vrijeme do plavljenja podzemnih prostorija. Nakon prestanka oborina, razina podzemne vode se spušta te nastavlja cirkulaciju duž rasjeda i većih pukotina.

Ovaj kompleks karbonatnih naslaga prima u sebe sve oborinske vode koje na njih padaju, kao i one koje se slijevaju. Vode vrlo brzo poniru kroz pukotine te ih svojim mehaničkim radom proširuju stvarajući posebne krške oblike reljefa. U ovim stijenama moći će se u pogodnim strukturama povremeno formirati razina podzemnih voda na visokim kotama, bliže površini i to samo u vrijeme velikih padavina i topljenja snijega. Podzemna voda se akumulira u međusobno povezanim pukotinama, kanalima.

Klastične naslage paleogena koje prekrivaju ležišta boksita imaju karakteristike koje se sasvim drukčije manifestiraju od krednih vapnenaca. Ove naslage su izrađene najvećim dijelom od konglomerata i lapora. Akumulirana voda u konglomeratima se ponegdje izljuje na kontaktu s laporovitim serijama i manje propusnim pješčenjacima iste serije. U zavisnosti od strukturnih elemenata terena, dio vode cirkulira duž većih pukotina i rasjeda prema nižim horizontima u zonu krednih vapnenaca.

### **3.6. Inženjersko geološke karakteristike**

Karbonatne naslage predstavljene su krednim vapnencima koji spadaju u grupu čvrstih stijena s jako izraženom degradacijom u površinskoj zoni. Degradacija površinskog dijela je posljedica okršavanja, odnosno paleoerozijom kada su ove stijene bile izložene procesima razaranja kroz dugo geološko razdoblje. Do kojih dubina ide poremećenost stijenske mase teško je reći bez odgovarajućih ispitivanja. Isto tako, ne može se donijeti ocjena o ispucalosti i slojevitosti kao osnovnim oblicima diskontinuiteta, jer proučavani prostor je u najvećem dijelu prekriven krovinskim naslagama. Rudarski radovi koji će se izvoditi u vapnencima obično su na nižim kotama, u podini rudnih tijela gdje je stijena kompaktna i nema veće

opasnosti od zarušavanja. Jedino u tektonskim jako zdrobljenim zonama potrebno je podgrađivanje. Na osnovu dosadašnjeg iskustva može se zaključiti da su ove stijene pogodne za izvođenje svih podzemnih prostorija.

Klastični sedimenti su litološki heterogen kompleks, dobro uslojen, tektonski poremećen i izboran. Osnovna karakteristika im je česta vertikalna izmjena litoloških članova. Na površini su podložni razaranju, pa se na njima stvorio humusni pokrivač. Ako se generalno promatraju tereni izgrađeni od ovakvih klastita može se zaključiti da su uvjetno stabilni, dok im se prirodna ravnoteža ne poremeti kada dolazi do nestabilnosti terena.

Neposrednu krovinu grupe ležišta boksita čine lapori i pješčenjaci. Ove stijene su dobro uslojene i kompaktne. Njihove inženjersko geološke karakteristike su značajne radi definiranja neposredne krovine u fazi otkopavanja. Za potrebe rudarskog projektiranja grupe ležišta izvršena su ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava neposredne krovine boksita. Ispitivanje fizičko mehaničkih svojstava uradio je Rudarsko-geološko-naftni fakultet u Zagrebu, i ista je dana u tablici 1.

**Tablica 3-1.** Fizičko mehanička svojstva krovine boksita (Rudnici boksita Jajce, 2016.).

	Pješčenjak	Lapor	Boksit
Čvrstoća na pritisak (Mpa)	20,93	30,94	14,23
Modul elastičnosti (Mpa)	3,916	1,601	1,582
Obujamska masa (t/m <sup>3</sup> )	2,537	2,294	2,273

Rezultati ispitivanja su rađeni na malom uzorku. Analogijom s okolnim rudnim tijelima formiranim u sličnim geološkim uvjetima i u kojima postoji određeno iskustvo može se zaključiti da se geomehanički parametri kreću u gore navedenim granicama.



## **4. ISTRAŽNI RADOVI**

### **4.1. Metode istraživanja**

Metodologija istraživanja koja je bila primjenjivana kod istraživanja ove grupe ležišta, obuhvaća sve naučne discipline i metode koje se primjenjuju za ovakvu vrstu radova. Budući da se radi o grupi ležišta, istraživanja su se radila u više navrata duže vremensko razdoblje. Ranijim istraživanjem utvrđen je boksit i obračunate rezerve na četiri ležišta. Bušenje izvan ranije utvrđenih ležišta izvedeno je u mreži 20x20 m (bušotine s oznakom „OB“). Na svakoj od ovih bušotina s dubinom preko 100 m mjerena je devijacija. Tek nakon izmjereneg otklona izvedene bušotine radila bi se slijedeća bušotina. Na svim bušotinama rađeno je jezgrovanje po cijeloj dužini. Kroz rudno tijelo jezgrovanje je rađeno svakih 1 ili 2 metra, osim nekih starijih bušotina gdje je bilo tehničkih problema kod uzimanja jezgre. Snimanje jezgra iz bušotina rađeno je od strane inženjera geologije. Sve bušotine su lociranje i snimljene od strane inženjera geodezije (Čatović, 1980.).

### **4.2. Istražni radovi**

U razdoblju od 27 godina ovim terenom je tijekom izvođenja radova prošao veliki broj stručnjaka koji su dali svoj udio na istraživanju. Prvi istražni radovi bušenjem počeli su još 1960. godine. Ovim radom obuhvaćeno je istraživanje krovinskih naslaga s 26 bušotina koje su izvedene u nepravilnoj mreži. Boksit je utvrđen na 12 bušotina sa srednjom debljinom od 4,6 m. Tada su rezerve bile obračunane na 85 754 t. Nakon toga, pristupilo se novom istraživanju na ovom lokalitetu. Urađeno je ukupno 11 bušotina u krovini, od čega je bilo 5 pozitivnih koje su imale srednju debljinu boksita 6,4 m. Ležište je obračunano na 221 646 t boksita „B“ kategorije (Čatović, 1980.).

Nakon dužeg prekida, istraživanja su nastavljena i radove izvodi terenska operativa Boksitnih rudnika Mostar 1971. i 1972. godine. Izvedeni su radovi manjeg opsega. Od 20 izvedenih bušotina na njih 10 je utvrđen boksit sa srednjom debljinom od 3,7 m. Obračunane rezerve na ležištu L-20 iznosile su 18 040 t. Terenska operativa „Boksitnih rudnika“ Mostar nastavlja istraživanja i u 1974. i 1975. godini. Pronađena su još dva ležišta na lokalitetu „Okrugli brijeg“. U elaboratu je prvo ležište L-9b obračunano s 11 pozitivnih bušotina i 13 negativnih. Ležište je pod krovinom i količine mu iznose 175 560 tona, s prosječnom debljinom boksita od 12,1 m. Drugo ležište L-19 je istraženo sa 17 pozitivnih i 13 negativnih bušotina u krovinskim naslagama. Izračunane rezerve iznose 73 364 t s prosječnom

debljinom boksita od 3,2 m. Istraživanjima 1974. i 1975. godine izvedeno još 12 negativnih bušotina na užoj i široj okolini „ Okruglog Brijega“. Ove bušotine do sada nisu nigdje obrađene, i sad se prvi put pojavljuju u Elaboratu (Čatović, 1980). Na lokalitetu Okruglog brijega poslije toga nije se istraživalo 11 godina. Godine 1986. radovi su ponovo počeli i nastavljeni u većem opsegu sve do kraja 1987.

Radove izvodi „Geotehnika“ iz Zagreba. Poslije prvih pozitivnih rezultata istraživanje se masovno izvodi, te je pronađeno još jedno veliko ležište. Na 27 bušotina izbušeno je ukupno 3026 m, kroz krovinske sedimente, boksit i podinu. Od ukupnog broja bušotina 13 ih je bilo pozitivno s dosta visokom prosječnom debljinom boksita. Do kraja 1987. godine izbušeno je 11 485 metara, od čega je 50 bušotina bilo pozitivno s 288 metara boksita. Posljedica ovog doistraživanja bila je ta, što je došlo do spajanja ležišta L-8, L-9 i L-9b u jedno ležište pod nazivom L-8/9.

**Tablica 4-1.** Analiza istraživanja.

Boj bušotina	Izbušeno (m)	U boksitu (m)	Rezerve (t)	Utrošeno sredstava (KM)	t/m
361	14 698	1 142	1 147 656	1 469 800	31,23

## 5. POSTOJEĆE STANJE RUDARSKIH RADOVA

Kao što je ranije navedeno jama „Okrugli Brijeg“ sastoji se od 5 ležišta (L-9a, L-8, L-9b, L-19 i L-20) koja su međusobno povezana istom izvozno-ventilacijskom prostorijom. U glavnom rudarskom projektu se navodi da se ležišta L-9a, L-8 i L-9b mogu promatrati kao jedno ležište L-8/9, prvenstveno zbog male udaljenosti između tih ležišta. Površina terena jame je brdovita što potvrđuje variranje kota terena te su njihove vrijednosti u rasponu od 930 do 980 metara. Ležište L-20 predstavlja ostatak velikog ležišta koje je prije 30 godina eksploatirano površinskim kopom. Zbog dubljeg zalijeganja ležišta ekonomski je isplativa samo podzemna eksploatacija. Minimalna debljina krovinskih naslaga je 70 metara a najveća debljina ide i do 145 metara, dok se debljina naslaga boksita kreće od 0,5 metara do 17 metara.

Trenutno se radovi u jami izvode na ležištima L-9a i L-8. Za otkopavanje boksita se primjenjuje podetažno-poprečna metoda s neposrednim zarušavanjem rude i krovine. Na ležištu L-9a razvijena je i aktivna samo jedna etaža, na koti K-890,4 m gdje se izvodi proces povlačenja izrađenog smjernog hodnika (odstupno otkopavanje). U protekle 2 godine, na ovoj etaži je izrađeno 175 metara podzemnih prostorija (smjernih i poprečnih hodnika). Sam proces povlačenja (odstupnog otkopavanja) se odvija bušenjem i miniranjem lepezastih bušotina dužine oko 4 metra. Sva eksploatirana ruda s ovog ležišta izvozi se transportnim trakama do vanjskog deponija. Na ovoj etaži je još ostalo za eksploataciju oko 4 000 tona rude.

Na ležištu L-8, aktivne etaže su etaža E-1 (K-865,2 m), etaža E-2 (K-853,8 m) i etaža E-3 (K-846,3 m). Etaža E-1 (K-865,2 m) je u potpunosti razrađena. Smjerni hodnik je na ovoj etaži izrađen u dužini od 290 metara i trenutno se vrši odstupno otkopavanje. Etaža E-2 (K-853,8 m) je također u potpunosti kompletno razrađena. Ukupno je na ovoj etaži izrađeno oko 210 metara smjernih i poprečnih hodnika i trenutno se izvodi proces odstupnog otkopavanja. Usporedno s otkopavanjem prve i druge etaže, izvodi se proces izrade etažnog i smjernog hodnika na etaži E-3 (K-846,3 m). Prema Glavnom rudarskom (Čatović 1980) projektu i prema geološkim istraživanjima, projektirani broj etaža na ovom ležištu je 11 i predstavlja ležište sa najvećim količinama rudnih rezervi. Ukupna količina eksploatirane rude koja se dobije s ovog ležišta utovara se i odvozi dizel jamskom opremom (dizel utovarivač + dizel damper). Na ovoj etaži, za eksploataciju je ostalo još oko 300 000 tona rude.

Na ležištima L-9b, L-19 i L-20 trenutno se ne izvode nikakvi rudarski radovi, iako su osigurani svi potrebni uvjeti i za izvođenje istih. Osposobljene su u potpunosti instalacije za dovođenje vode i komprimiranog zraka za bušenje, sanirani pristupni i etažni hodnici i uspostavljena je veza s ulazima u jamu.

Za potrebe miniranja, u upotrebi je poluplastični eksploziv španjolskog proizvođača „Maxam“, promjera punjenja od  $\phi 28$  i električni polusekundni detonatori (rudarska kapica br. 8).

Za potrebe utovara rude s čela radilišta koriste se slijedeći tipovi utovarivača:

- Dizel jamski utovarivač njemačke proizvodnje, oznake „GHH LF 4.5“,
- Dizel jamski utovarivač kineske proizvodnje, oznake „KLCD-2“,
- Dizel jamski utovarivač kineske proizvodnje, oznake XYWJY – 1KA KCG080002,
- Elektro utovarivač, oznake „KLHED-1“ i
- Utovarivač na komprimirani zrak, oznake CAVO-310.

Za potrebe izvoza rude iz jame „Okrugli Brijeg“ koriste se:

- Transportne trake u dužini od 300 metara u sprezi s utovarnim košem i vibromotorom,
- Dizel jamski damper, oznake „GHH TRD MK-A15“ (2 komada) i
- Dizel jamski damper, oznake „KAMAH UK-12“.

Trenutno se u jami „Okrugli Brijeg“ za otkopavanje boksita koristi „Podetažna metoda sa zarušavanjem rude i krovine“. U usporedbi s drugim metodama, podetažna metoda ima slijedeće prednosti:

- Zastupljena je dobra sigurnost pri radu jer se sve tehnološke operacije obavljaju iz podgrađenog ili u podgrađenom prostoru;
- Metoda omogućava da se rudno tijelo otkopava bez zaštitnih stupova;
- Uz korištenje podetažne metode moguće je primijeniti veoma visoki stupanj mehaniziranosti, bilo da je riječ o opremi na dizel, pneumatski ili elektro pogon u skoro svim fazama rada;
- Metoda omogućava istovremeni rad na više etaža, čime je broj radilišta neograničen;
- Metoda omogućava postizanje visokih učinaka, uz niske normative potrošnje materijala.

Ipak, metoda ima i brojne nedostatke, kao što su:

- Veliki otkopni gubici,
- Pri otkopavanju neminovno dolazi do razblaženja i osiromašenja rude,
- Veliki opseg pripremnih radova.

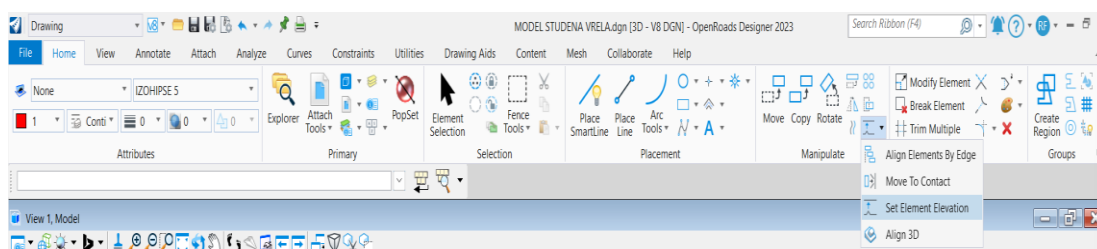
## 6. IZRADA TRODIMENZIONALNIH MODELA

U tehničkim strukama kao što je rudarstvo koristimo razne specijalizirane računalne programe za 3D modeliranje kako bi radni prostor prikazali što realnije. Primjena informacijskih tehnologija u rudarstvu je zastupljena u obradi i upravljanju podacima, korištenjem programskih paketa za projektiranje, modeliranje i integraciju prostornih podataka s primjenom dobivenih rezultata. U ovom diplomskom radu korišten je program *Open Roads Designer* koji je razvila kompanija *Bentley Systems*.

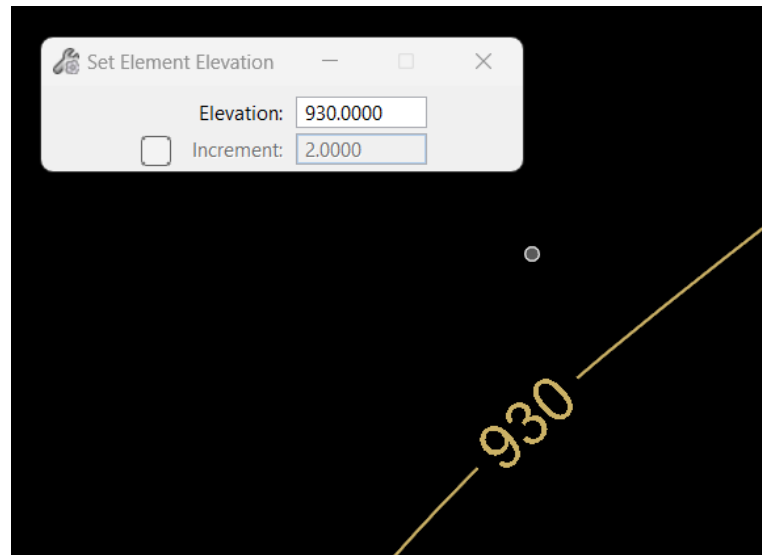
Prvi korak u modeliranju terena je postavljanje („podizanje“) slojnica (izohipsi) u prostor (3D) koje su prethodno ucrtane na situacijskoj karti u 2D polju. Stoga je prije svega nužno kao radni predložak kreirati 3D prikaz odnosno pretvoriti (konvertirati) ravninski (2D) u prostorni (3D) prikaz terena. To se radi naredbom „*Export*“ koja se nalazi na glavnom izborniku „*File*“. U daljnjem izborniku odabire se „3D“ te se spremljeni projekt učitava i nastavlja postupak „podizanja slojnica“.

### 6.1. Modeliranje stupova bušotina

Postavljanje ucrtanih slojnica u 3D-u izvodi se pomoću alata „*Set Element Elevation*“ koji se nalazi na padajućem izborniku pod „*Drawing*“ te na alatnoj traci pod „*Manipulate*“ (slika 6-1). Prvo se „podiznu“ glavne izohipse bez zadane opcije „*incrementa*“ što se radi zbog razdvojenih elemenata glavnih izohipsi (slika 6-2). Na slici 6-3. prikazane su glavne i pomoćne izohipse „podignute“ na odgovarajuću visinu.



Slika 6-1. Prikaz alata „*Set Element Elevation*“.



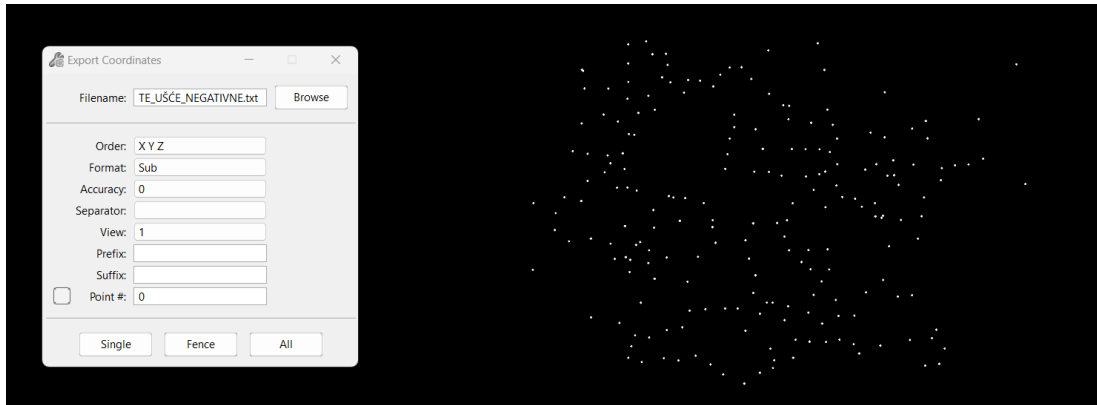
**Slika 6-2.** Podizanje razdvojenih glavnih izohipsi.



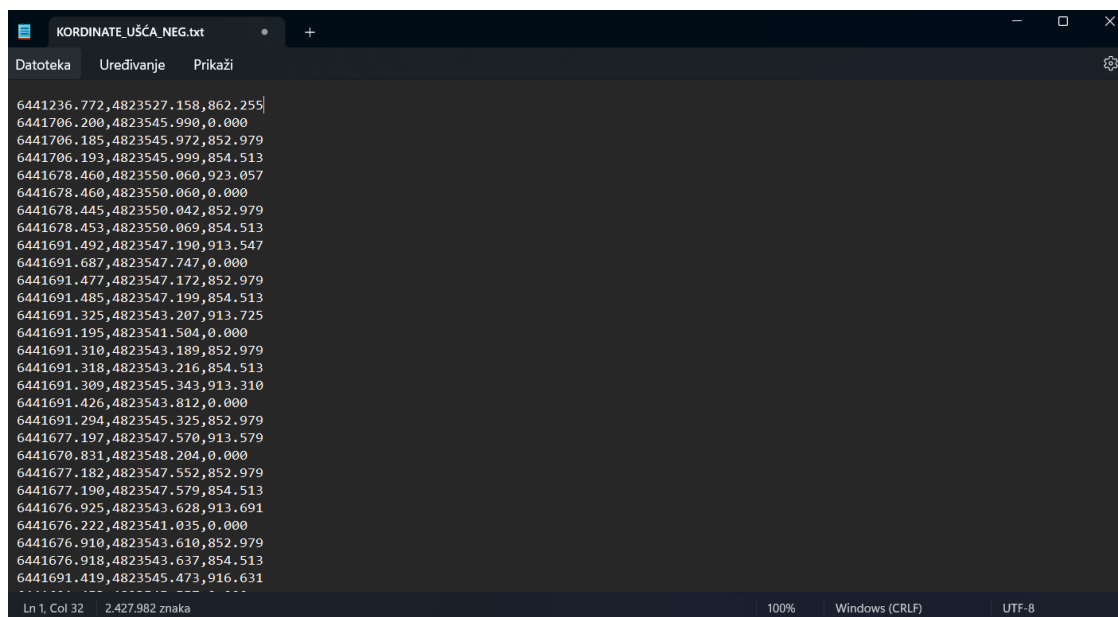
**Slika 6-3.** Izohipse „dignute“ na odgovarajuće visine.

U slijedećem koraku unose se koordinate ušća bušotina odnosno iz pozicija kružnica bušotina na postojećem modelu pomoću naredbe „*Export Coordinates*“ (slika 6-4). U tu svrhu koristi se txt datoteka s pripremljenim podacima (x, y, z) o željenim podacima (bušotinama) koji se pozicioniraju u prostoru (slika 6-5). Naknadno se tekstualni podaci (txt) unose u prostor *Open Road Designer-a* pomoću naredbe „*Import Coordinates*“ (slika 6-6). Na taj način dobiju se točke u zasebnom levelu koji će poslužiti za stvaranje plohe terena. Radi lakšeg upravljanja podacima odvajaju se negativne i pozitivne bušotine u zasebne levele te se također odvajaju njihove kružnice u zasebne levele. Nadalje, prilikom

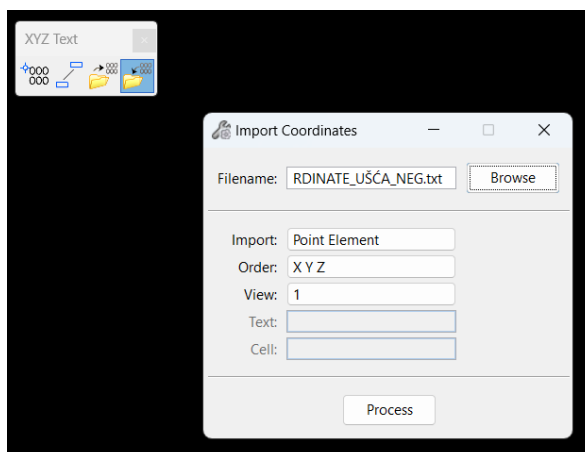
korištenja naredbe „*Export Coordinates*“ mora biti aktivan samo „*level*“ iz kojeg se žele dobiti koordinate. Slijedom toga, postupak unosa podataka, odnosno „*import*“ koordinata je zaseban za pozitivne i negativne bušotine.



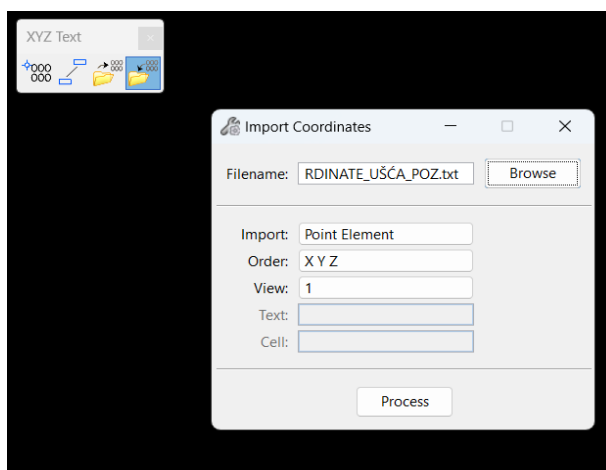
Slika 6-4. Naredba „*Export Coordinates*“.



Slika 6-5. Txt datoteka negativnih bušotina dobivena naredbom „*Export Coordinates*“.

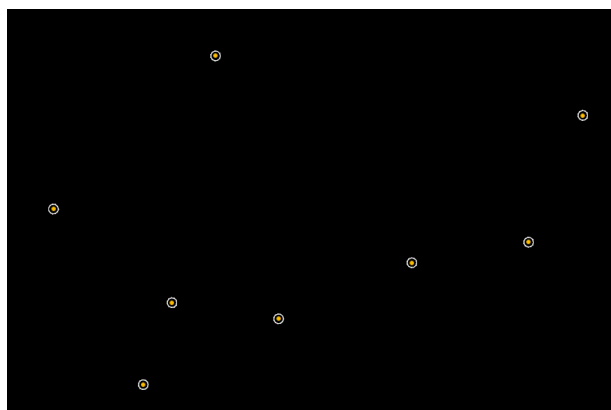


**Slika 6-6.** Naredba „Import Coordinates“ za unos koordinata negativnih bušotina.



**Slika 6-7.** Naredba „Import Coordinates“ za unos koordinata pozitivnih bušotina.

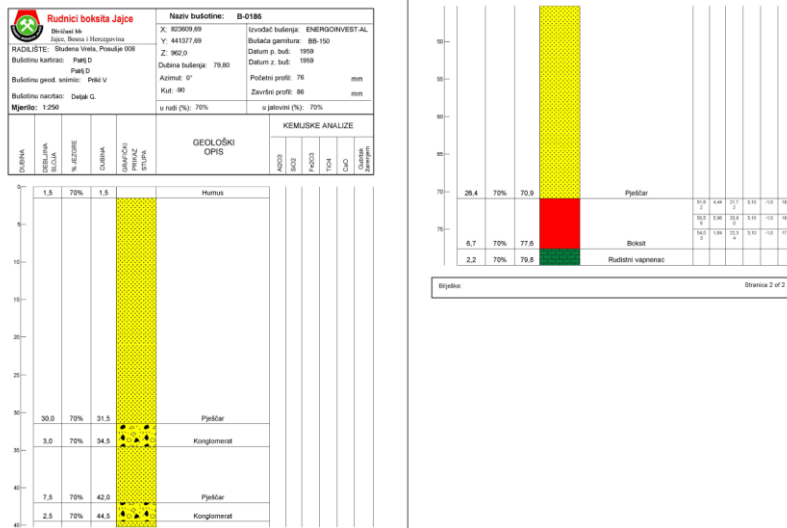
Na slici 6-8. prikazane su kružnice bušotine s unesenim točkastim podatkom koji će poslužiti u daljnjem postupku za konstruiranje stupova bušotina te za kreiranje plohe krovine i podine.



**Slika 6-8.** Kružnica bušotine i točkasti podatak.



Da bi dobili plohu krovine i podine boksita iz profila bušotina (slika 6-9.) potrebno je kreirati txt datoteku koja mora biti u zadanom formatu X,Y,Z. Z koordinata određuje se na način da se od koordinata ušća bušotina oduzima visina na kojoj se nalazi podina ili krovina. U jami Okrugli Brijeg u krovini boksita se nalazi pješčenjak, a u nekim dijelovima i konglomerat dok se u podini nalazi rudistni vapnenac.

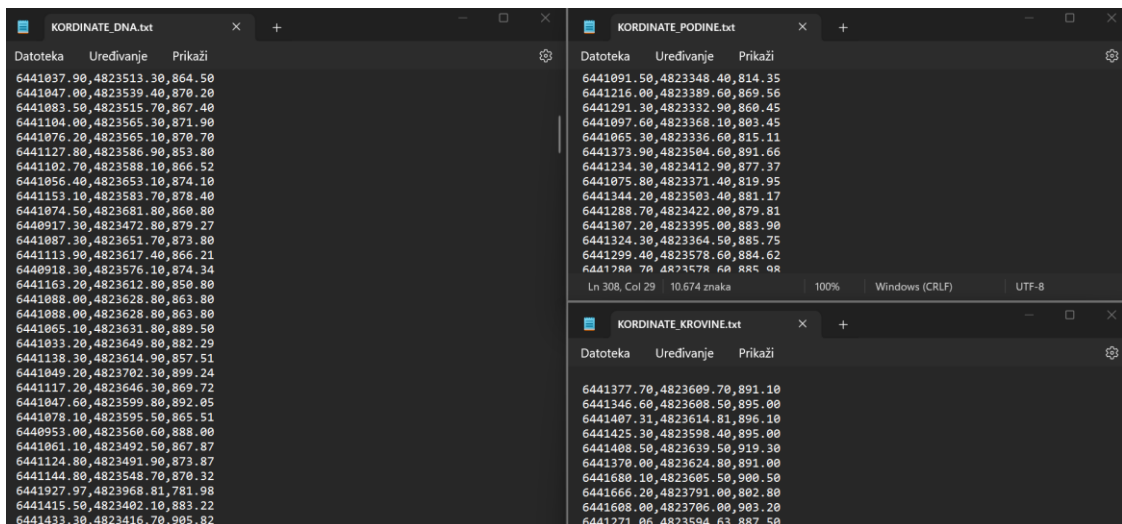


Slika 6-9. Primjer bušotinskog profila.

Kako bi ubrzali postupak kreiranja txt datoteke koristi se program „Excel“ za izračunavanje Z koordinate. Iz postojećeg popisa bušotina s koordinatama dodatno se upisuje kota krovine i podine boksita te se dobiva Z koordinata što je prikazano na slici 6-10. Prikaz formatiranih txt datoteka nalazi se na slici 6-11. gdje su kreirane datoteke „KORDINATE\_KROVINE.txt, KORDINATE\_PODINE.txt i KORDINATE DNA.txt“.

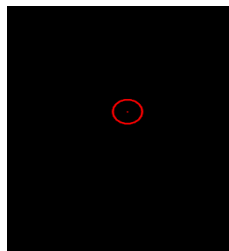
1959							KOTE			Z KORDINATA		
	Br. bušotine	Y	X	Z	Ukupno bušeno (m)	Ruda (m)	KROVIN A	PODINA	DNO	ZKROVIN A	ZPODINA	ZDNO
1	B-0186	6441377.70	4823609.70	962.00	79.80	6.70	70.90	77.60	79.80	891.10	884.40	882.20
2	B-0187	6441346.60	4823608.50	968.00	78.00	4.00	73.00	77.00	78.00	895.00	891.00	890.00
3	B-195S	6441407.31	4823614.81	958.00	71.40	7.20	61.90	69.10	71.40	896.10	888.90	886.60
4	B-196S	6441425.30	4823598.40	956.80	72.90	8.20	61.80	72.20	72.90	895.00	884.60	883.90
5	B-0207	6441408.60	4823639.50	980.20	64.20	2.30	60.90	63.20	64.20	919.30	917.00	916.00
6	B-0210	6441370.00	4823624.80	963.60	73.50	0.00	72.60	72.60	73.50	891.00	891.00	890.10
7	B-0243	6441680.10	4823605.50	918.00	18.50	0.00	17.50	17.50	18.50	900.50	900.50	899.50
1960												
1	B-0241	6441666.20	4823791.00	954.30	153.00	0.00	151.50	151.50	153.00	802.80	802.80	801.30
2	B-0242	6441608.00	4823706.00	951.20	49.00	0.00	48.00	48.00	49.00	903.20	903.20	902.20
3	B-0250	6441271.06	4823594.63	978.00	93.70	2.20	90.50	92.70	93.70	887.50	885.30	884.30
4	B-0256	6441807.88	4823814.44	936.00	160.50	0.00	159.50	159.50	160.50	776.50	776.50	775.50
5	B-0265	6441258.53	4823544.69	975.95	120.50	0.00	118.00	118.00	120.50	857.95	857.95	855.45

Slika 6-10. Prikaz izračunavanja Z koordinate.

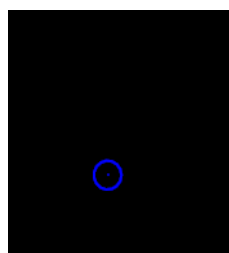


Slika 6-11. Prikaz formatiranih txt datoteka za unos podataka u 3D model.

Nakon unesenih kota ulaza i izlaza bušotina iz boksita svakoj točki dodaje se kružnica promjera 0,1 m, što će kasnije poslužiti za izradu stupova bušotina koje su prošle kroz boksit (slika 6-12. i 6-13).

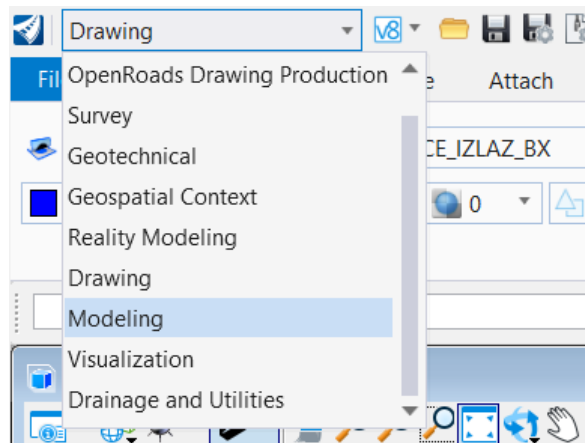


Slika 6-12. Kružnica s kotom ulaza bušotine u boksit.

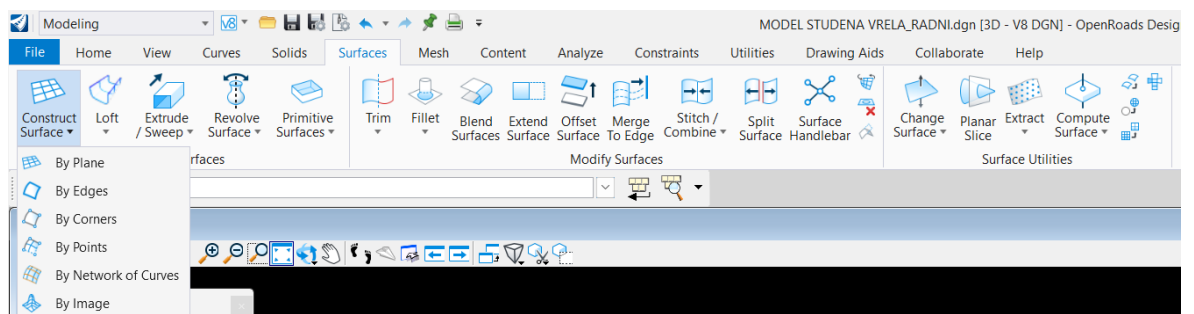


Slika 6-13. Kružnica sa zadanom kotom izlaza iz boksita.

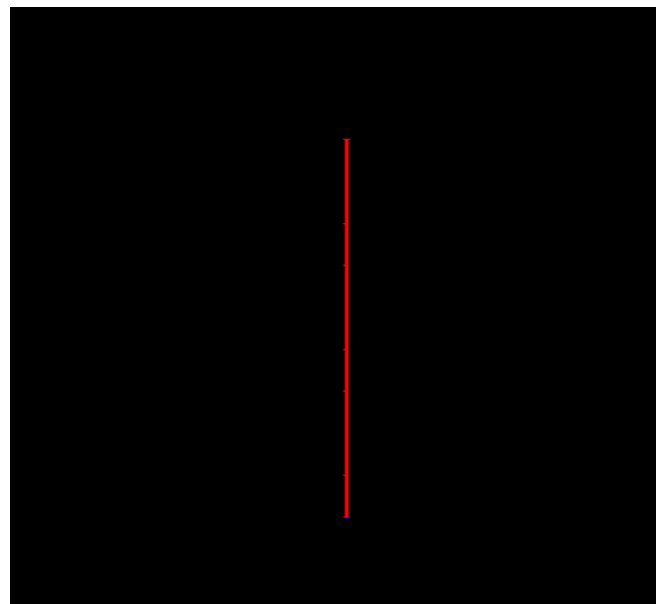
Slijedeći korak je kreiranje stupova bušotina u kojima je nabušen boksit. To se radi na način da se u padajućem izborniku odabire „*Modeling*“ (slika 6-14.) te se pomoću naredbe „*Construct Surfaces By Edges*“ spaja kružnica s kotama ulaza u boksit i kružnica sa kotama izlaza iz boksita te se dobije cilindričan oblik bušotine (slika 6-15.). Konstruiran stup bušotine u kojoj se nalazi boksit prikazan je na slici 6-16. Prikaz svih konstruiranih stupova bušotina u kojima se nalazi boksit prikazan je na slici 6-17.



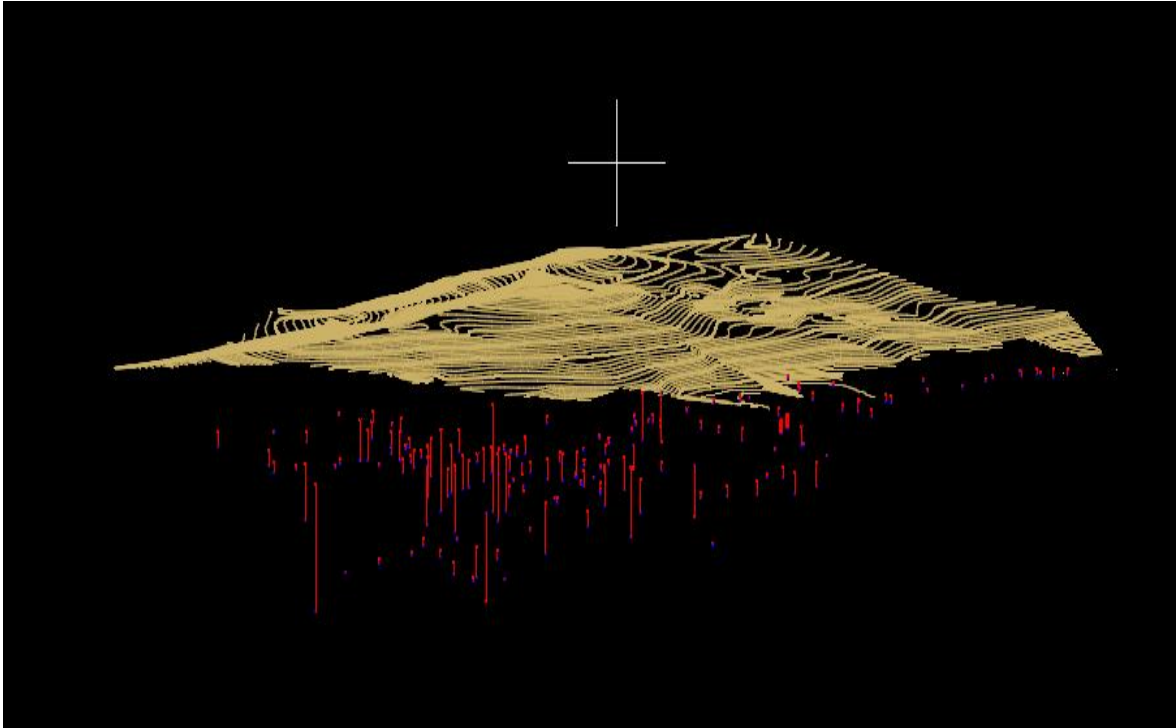
Slika 6-14. Prikaz odabira opcije „Modeling“ iz padajućeg izbornika.



Slika 6-15. Prikaz odabira naredbe „Construct Surface By Edges“.

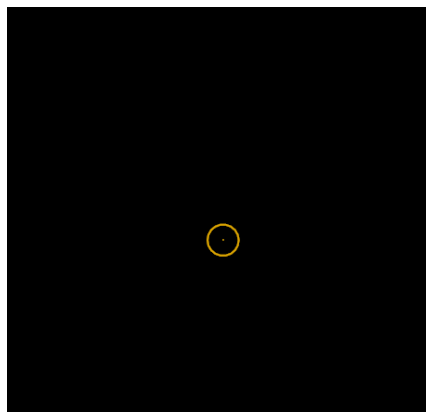


Slika 6-16. Prikaz konstruirane bušotine u kojoj se nalazi boksit.

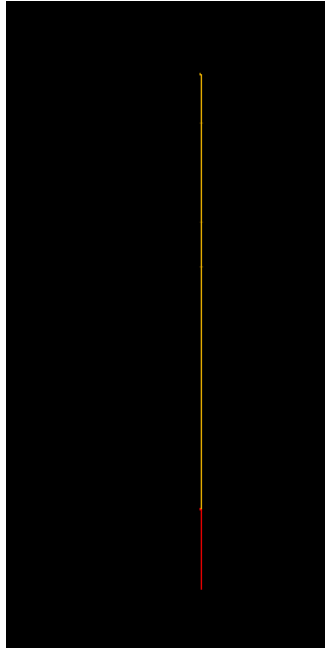


**Slika 6-17.** Prikaz svih stupova bušotina u kojima se nalazi boksit u odnosu na izohipse terena.

Nakon što su povezani stupovi bušotina u kojima se nalazi boksit nastavlja se iscrtavanje kružnice sa zadanim kotama terena (slika 6-18.) i povezivanje s kružnicama ulaza u boksit te se dobije stup bušotine u kojem se nalazi krovina (slika 6-19). Na slici 6-21. prikazan je stup bušotine s unesenim kotama krovine i dna boksita.

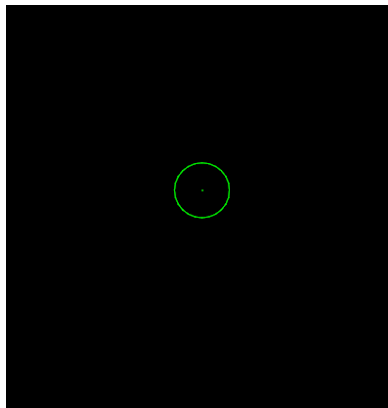


**Slika 6-18.** Prikaz kružnice sa zadanom kotom krovine.



**Slika 6-19.** Prikaz stupa bušotine u kojem se nalazi krovina i boksit.

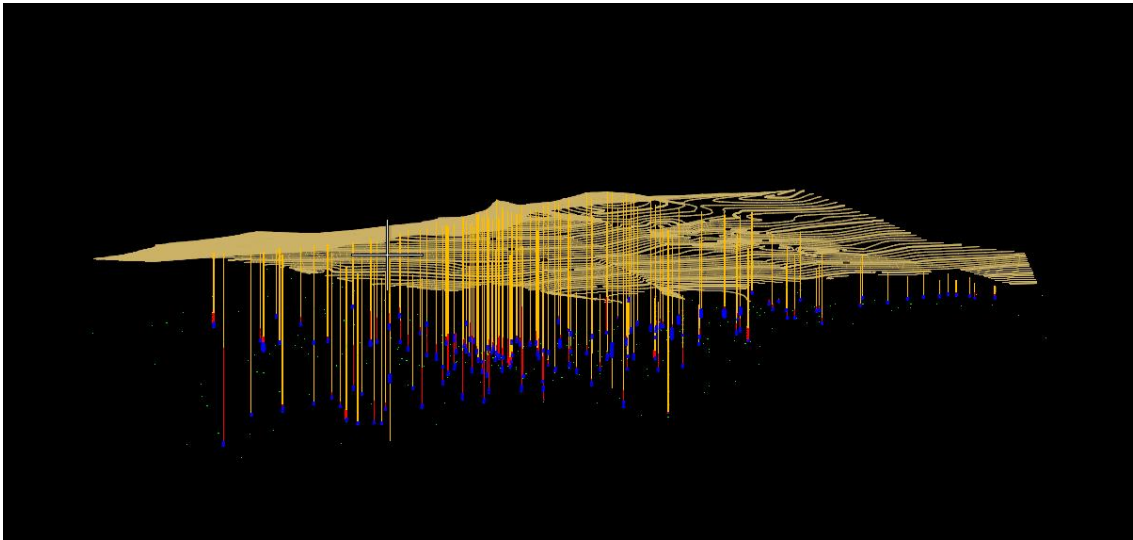
Nakon unesenih kota dna kanala tim kotama dodaju se kružnice (slika 6-20.) te se spajaju pomoću naredbe „*Create Surface By Edge*“ i dobije se stup bušotine u kojem se sada nalazi i dno (slika 6-21.).



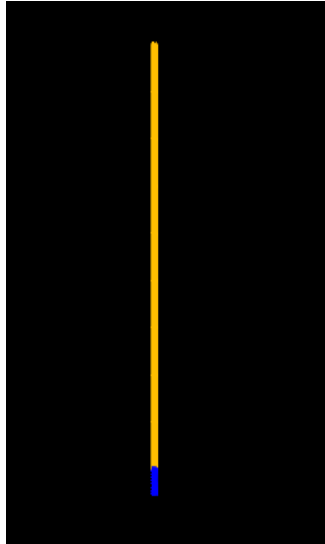
**Slika 6-20.** Prikaz kružnice sa zadanom kotom dna bušotine.



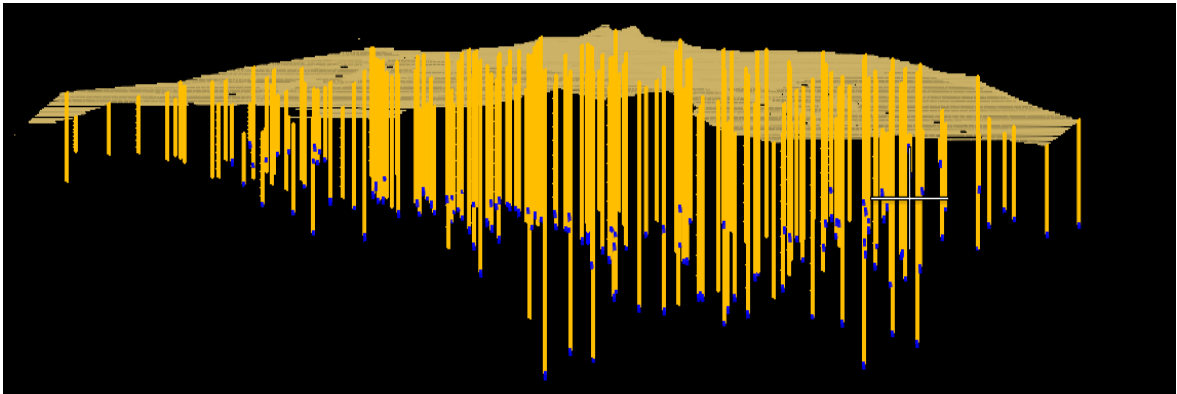
**Slika 6-21.** Prikaz stupa bušotine sa zadanim kotama krovine, podine i dna.



**Slika 6-22.** Prikaz pozitivnih bušotina u odnosu na izohipse terena.



Slika 6-23. Prikaz negativne bušotine sa zadanim kotama krovine i podine.

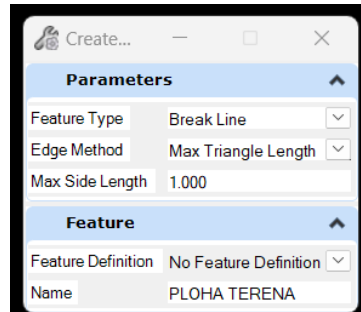


Slika 6-24. Prikaz negativnih bušotina u odnosu na izohipse terena.

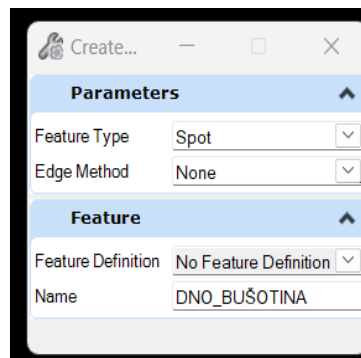
## 6.2. Modeliranje plohe terena, kontaktne plohe, plohe krovine i podine ležišta boksita

Prilikom modeliranja morfoloških oblika kao što je površina terena te ploha krovine i podine ležišta boksita koristi se alat „*Create Terrain Model From Elements*“. Najprije se izrađuje ploha površine terena. To se radi na način da se označe svi poznati elementi koji definiraju površinu terena a to su izohipse, pojedinačne kote terena i kote ušća bušotina. Zatim se aktivira prethodno navedena naredba te se postavljaju parametri kao što su na primjer prikazani na slikama 6-25 i 6-26. Nakon odabira parametara i elemenata za izradu plohe površine terena, obradom prostornih podataka u programu dobiva se površina terena koja je prikazana na slici 6-27., u obliku žičnog, trigonometrijskog modela, te na slici 6-28., u obliku renderiranog, „*smooth*“ modela. Ovdje treba

napomenuti da je triangulacijski model inicijalni što znači da se on prikazuje kao osnovni model a naknadno se mogu generirati (prikazivati) i drugi modeli prema iskazanoj potrebi na primjer vizualizacije modela i/ili proračuna obujma rudnog tijela.

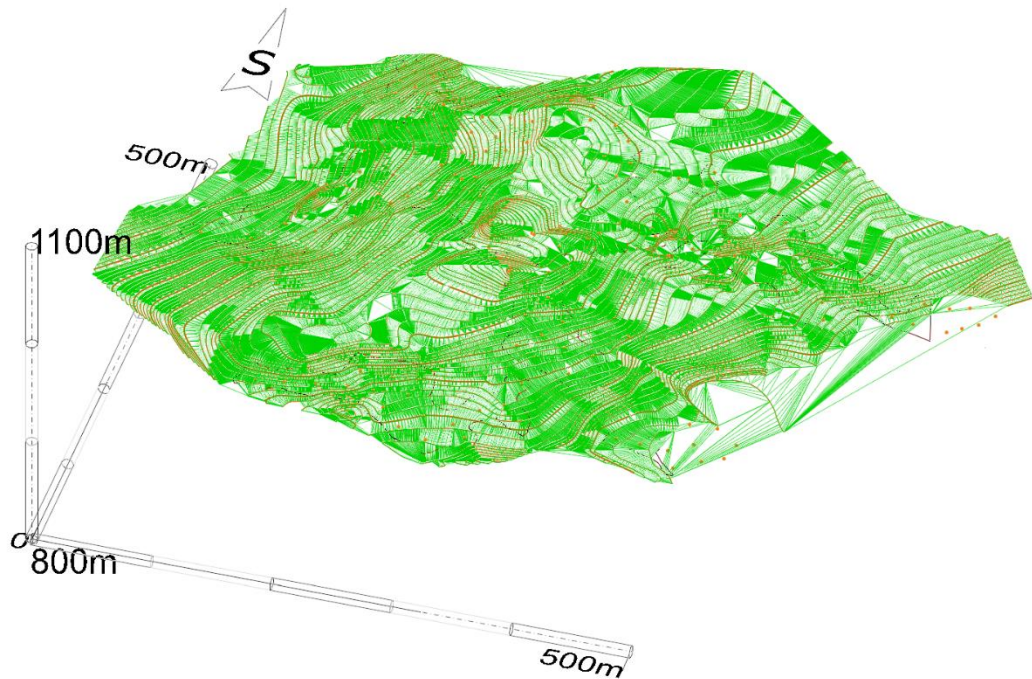


**Slika 6-25.** Parametri korišteni za izradu plohe terena.

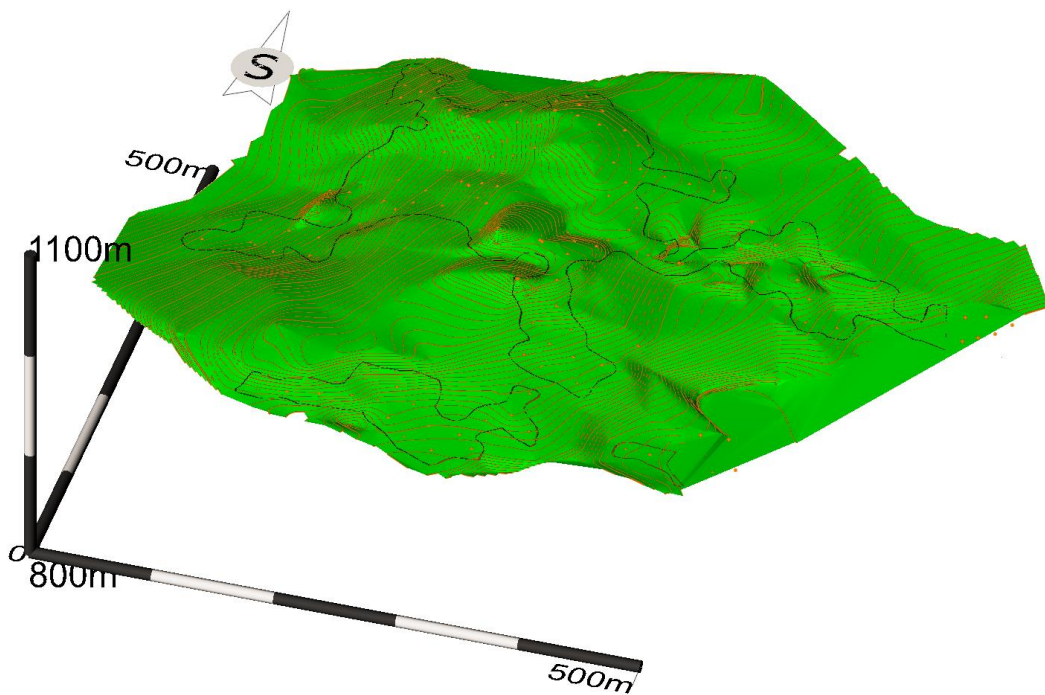


**Slika 6-26.** Prikaz parametara triangulacije za kontaktnu plohe te plohu krovine i podine ležišta.





Slika 6-27. Prikaz plohe terena u obliku žičnog, triangulacijskog modela.

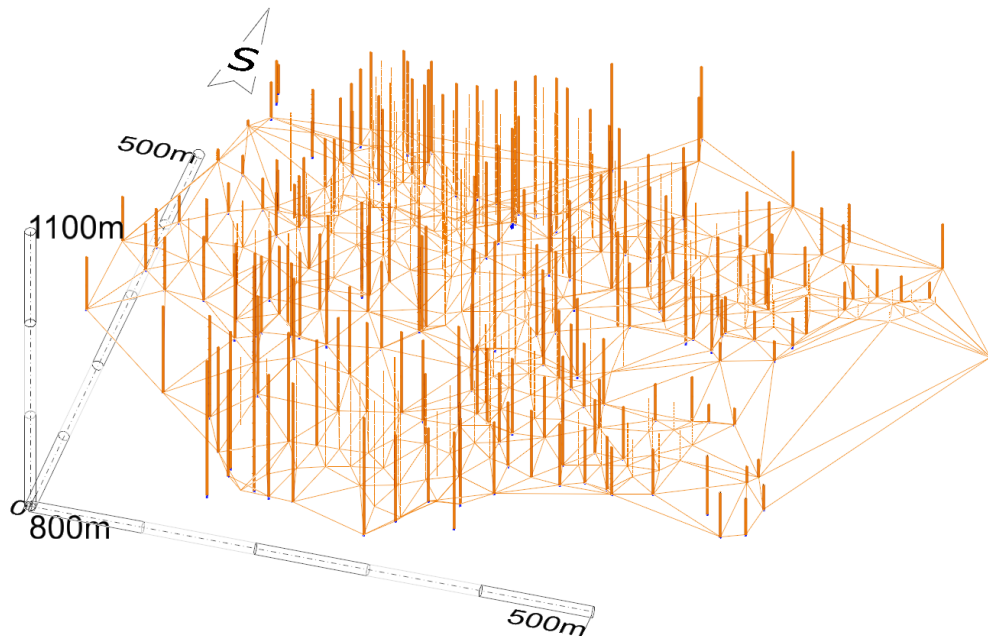


Slika 6-28. Prikaz plohe terena u obliku renderiranog, „smooth“ modela.

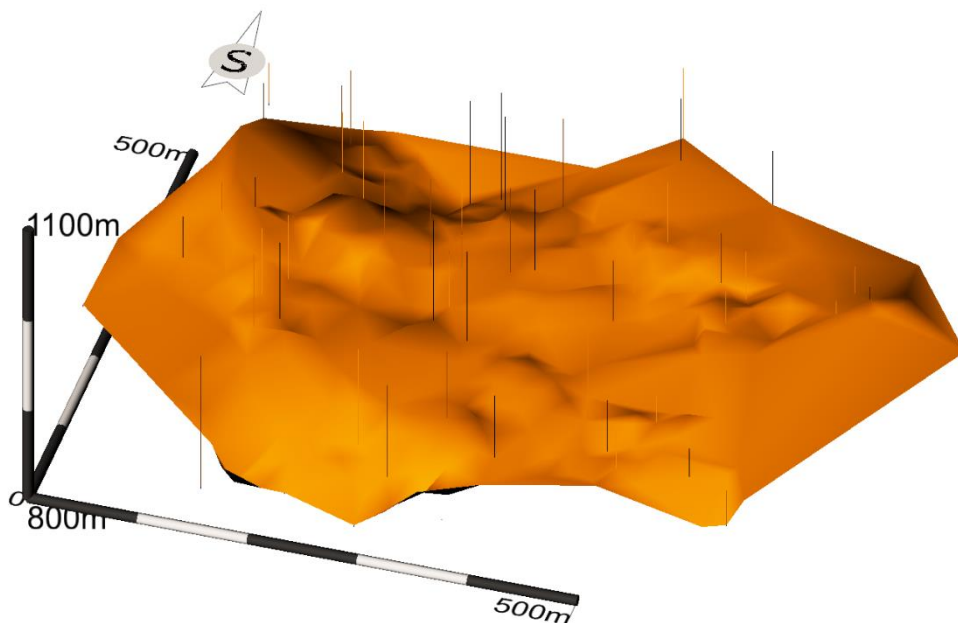
Prilikom izrade kontaktne plohe te plohe krovine i podine ležišta boksita postavljaju se parametri triangulacije na isti način kao na slici 6-25. te se dobivaju plohe prikazane na slikama od 6-29. do 6-30.

Kontaktna ploha ustvari predstavlja granicu koja se u geološkom izražaju naziva erozijsko-transgresivna granica (ET granica) i nalazi se stratigrafski iznad podinskih stijena

i iznad ležišta boksita. Stoga se ET granica podudara s kontaktom krovinskih stijena te se analogno tome i naziva u rudarskom izričaju kao kontaktna ploha. No, treba istaknuti da se na površini terena mogu pojaviti ležišta boksita bez vidljive ET granice koja je vjerojatno nestala zbog erozije tla.

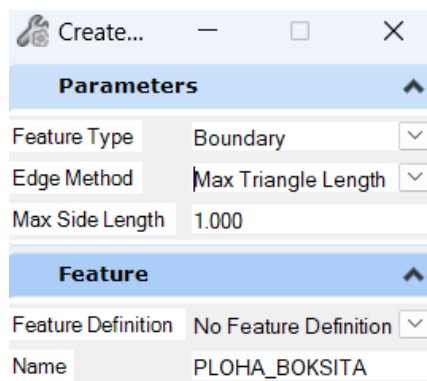


**Slika 6-29.** Prikaz kontaktne plohe boksitonosnog područja Studena Vrila u obliku žičnog, triangulacijskog modela.

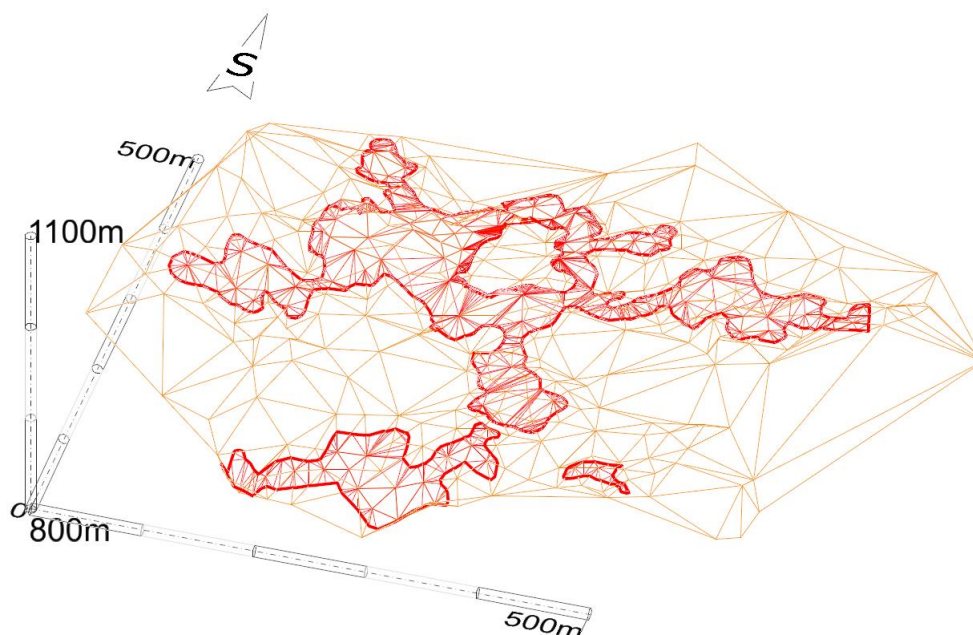


**Slika 6-30.** Prikaz kontaktne plohe boksitonosnog područja Studena Vrila u obliku renderiranog, „smooth“ modela.

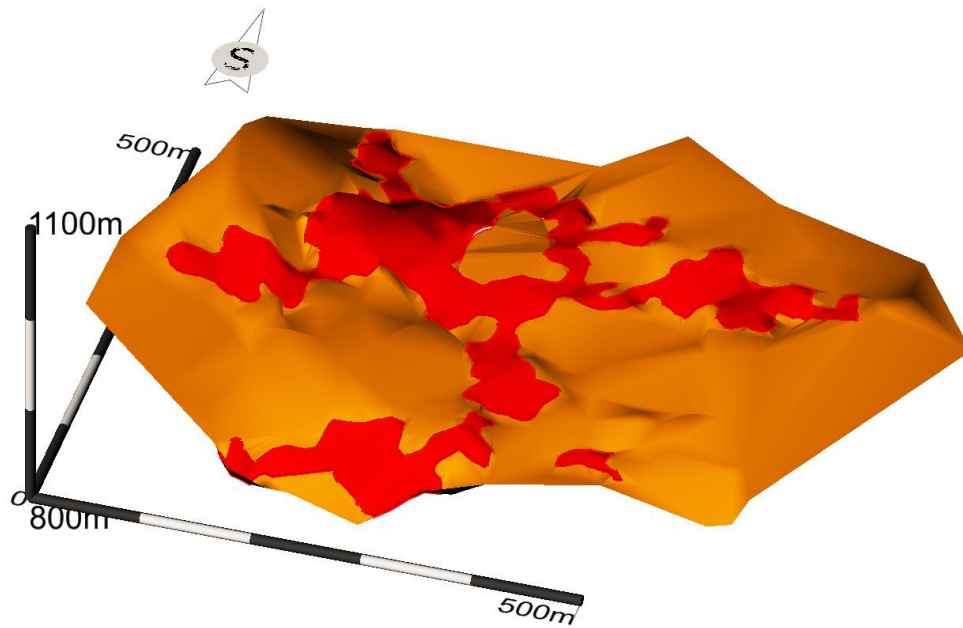
Nakon završetka izrade kontaktne plohe potrebno je „zalijepiti“ konture ležišta što se radi alatom „*Drape element*“ koji se nalazi u padajućem izborniku „*Reality Modeling*“ pod segmentom „*Extract*“. Nakon lijepljenja kontura ležišta radi se triangulacija tih kontura, koje uključuju i položaje krovine ležišta iz pozitivnih bušotina, s parametrima prikazanim na slici 6-31. Dobivena kontura ležišta boksita koja se nalazi uz samu kontaktnu plohu može se prikazati kao triangulacijski (slika 6-32) ili kao renderirani model (slika 6-33).



Slika 6-31. Prikaz parametara okonturenja ležišta boksita na kontaktnoj plohi.

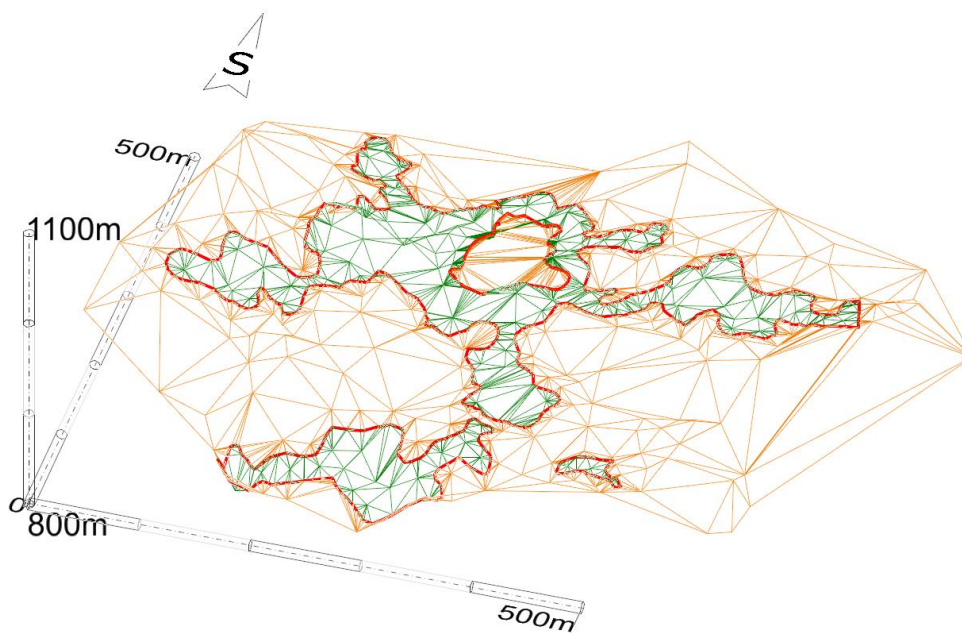


Slika 6-32. Prikaz kontura ležišta boksita na kontaktnoj plohi u obliku žičnog, triangulacijskog modela.

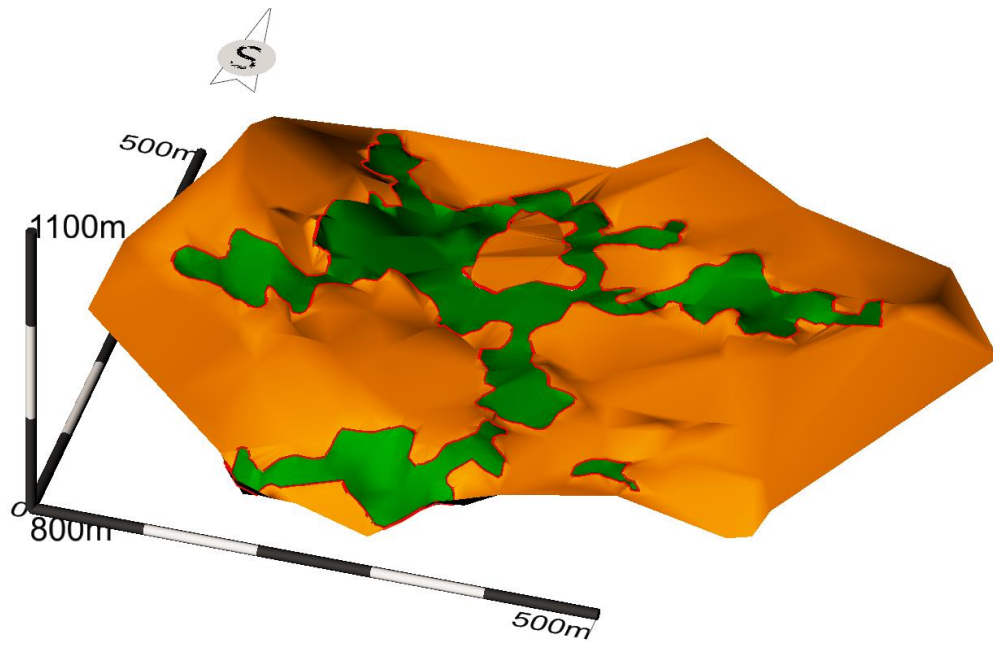


**Slika 6-33.** Prikaz kontura ležišta boksita na kontaktnoj plohi u obliku renderiranog, „smooth“ modela.

Istovjetni postupak pri dobivanju plohe krovine izvodi se i za plohu podine boksita (slike 6-34 i 6-35) sa sličnim parametrima ograničenja kao na slici 6-35.



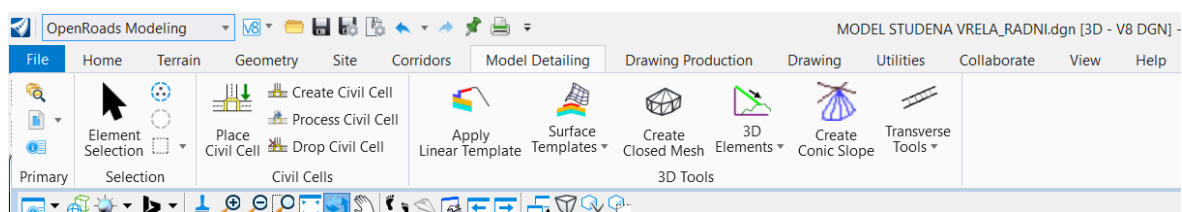
**Slika 6-34.** Prikaz plohe podine ležišta boksita u obliku žičnog, triangulacijskog modela.



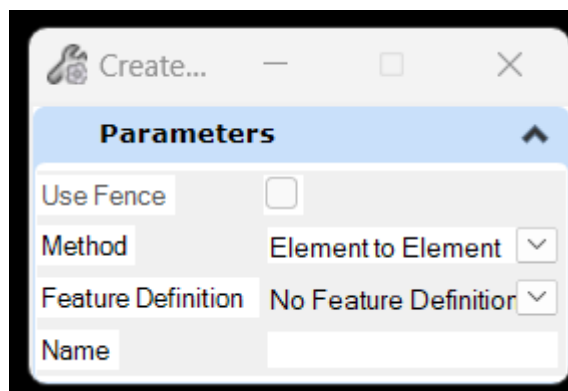
Slika 6-35. Prikaz plohe podine ležišta boksita u obliku renderiranog, „smooth“ modela.

### 6.3. Modeliranje rudnog tijela boksita

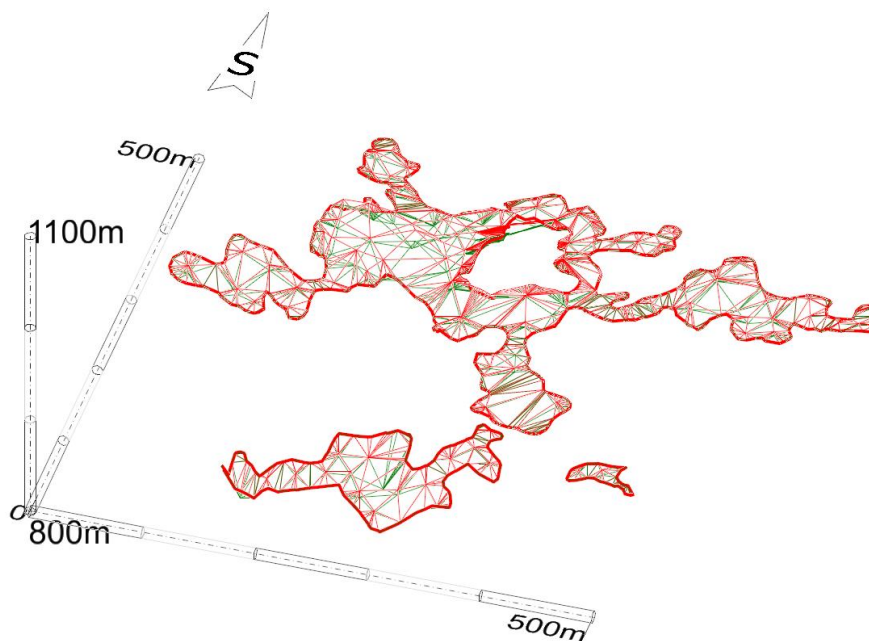
Izradom ploha krovine i podine ležišta boksita dobiveno je oplošje koje je potrebno pretvoriti u „*solid element*“ odnosno rudno tijelo. To se izvodi alatom „*Create Closed Mesh*“ koji se nalazi u padajućem izborniku „*Open Roads Modeling*“ pod „*Model Detailing*“ (slika 6-36). Prilikom korištenja ovog alata prvo se označi gornja ploha odnosno ploha krovine ležišta boksita a nakon toga se označi ploha podine boksita, uz prethodno postavljene parametre prikazane na slici 6-37. Opisanim postupkom dobiva se rudno tijelo boksita prikazano na slikama 6-38. i 6-39.



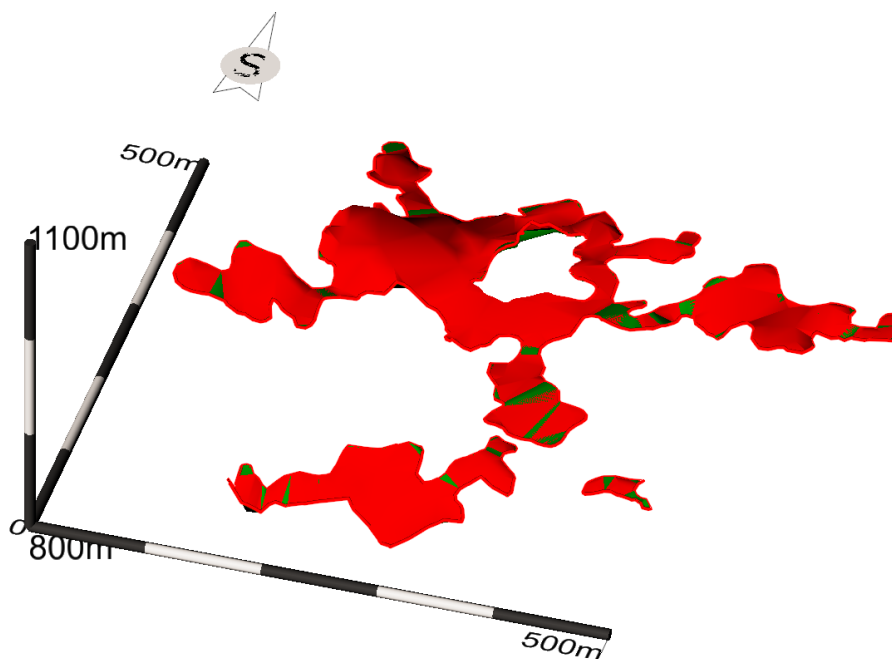
Slika 6-36. Prikaz alata „*Create Closed Mesh*“.



Slika 6-37. Prikaz parametara za kreiranje rudnog tijela (solid elementa) boksita.

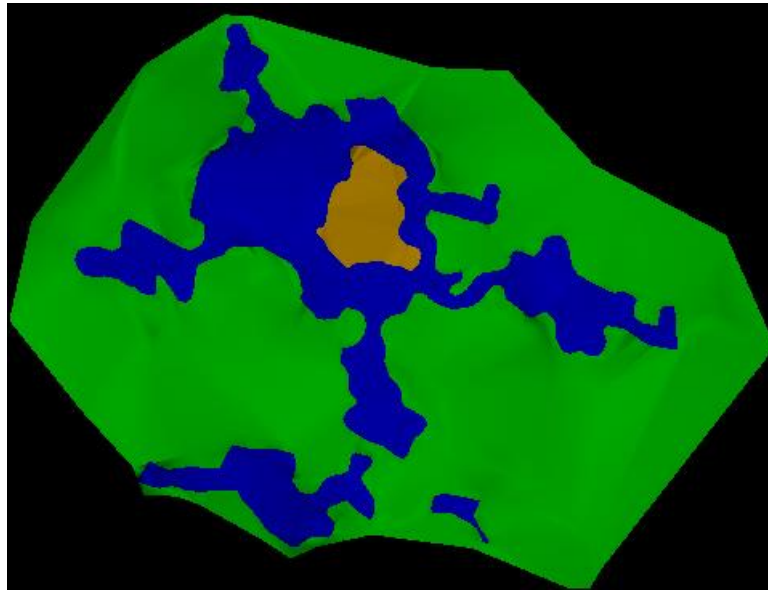


Slika 6-38. Prikaz rudnog tijela boksita u obliku žičnog, triangulacijskog modela.



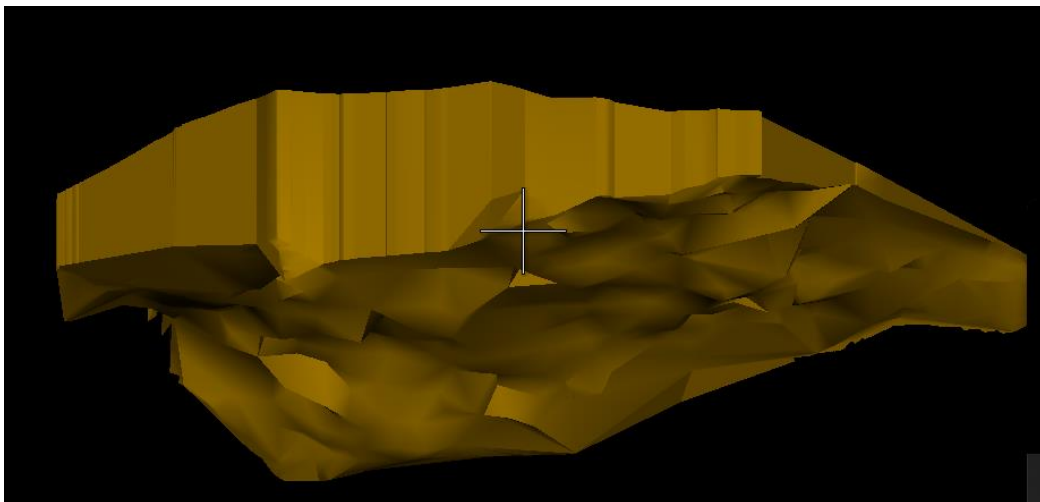
Slika 6-39. Prikaz rudnog tijela boksita u obliku renderiranog, „smooth“ modela.

Pri kreiranju nepravilnih ploha u kojima se nalaze praznine („rupe“) potrebno je dio plohe izrezati odnosno obrisati iz modela što se izvodi alatom „*Create Clipped Terrain model*“ što je kao primjer prikazano na slici 6-40., gdje zeleni dio predstavlja kontaktnu plohu, narandžasti dio predstavlja prazninu u ležištu a plavi dio predstavlja plohu krovine ležišta boksita.



**Slika 6-40.** Prikaz izrezanog dijela kontaktne plohe.

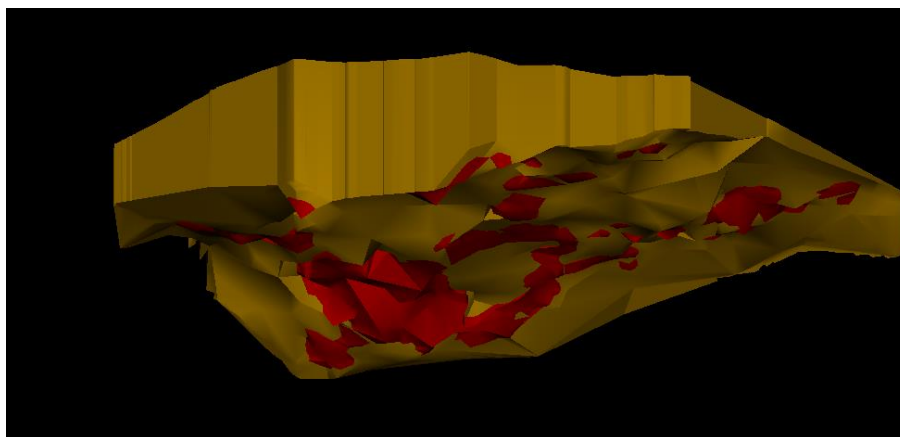
Nakon kreiranja rudnog tijela (solid elementa ležišta) izrađuje se krovinsko tijelo između plohe terena i plohe krovine boksita (slika 46) alatom prikazanim na slici 6-37., gdje svi parametri kreiranja plohe ostaju kao na istoj slici.



**Slika 6-41.** Prikaz krovinskog tijela.

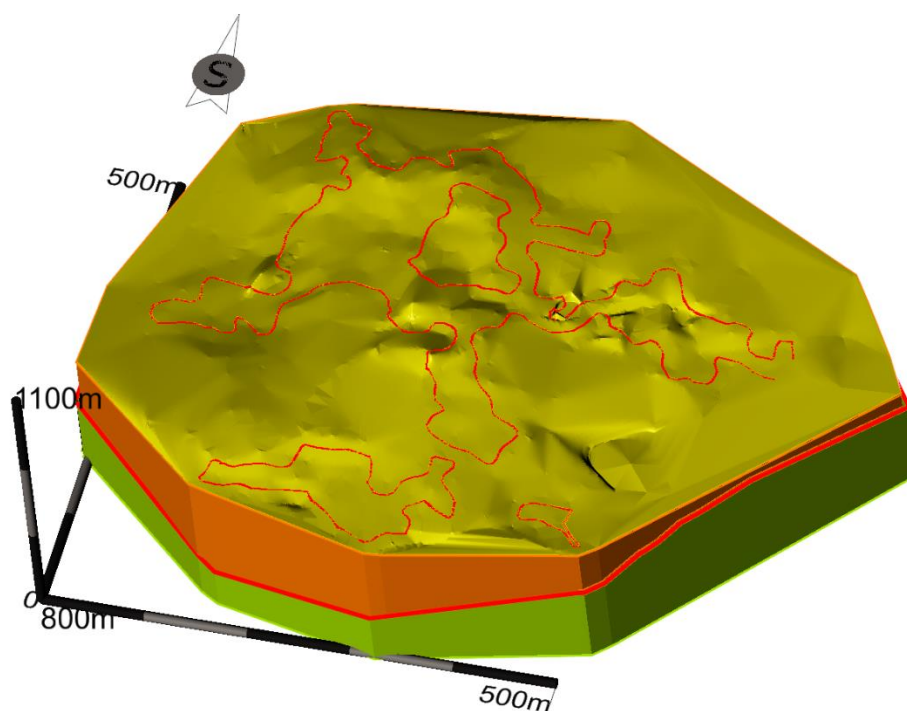
Spajanjem kreiranih modela, rudnih tijela i drugih tijela kao što je krovinsko može se upotpuniti odnosno predočiti cjelokupni prostor. Na slici 6-42 prikazan je spojeni model rudnog tijela boksita i krovinskog tijela.





**Slika 6-42.** Prikaz spojenog modela krovinog tijela i rudnog tijela boskita

Analogno kreiranju krovinskog tijela može se izraditi i podinsko tijelo do plohe dna bušotina ili do određene (željene) dubine. Time se upotpunjuje slika cjelokupnog prostora istraživanja. Na slici 6-43 prikazan je blok model boksitonosnog područja Studena vrila, gdje je kao donja razina modela određena ravnina +800. Plohe su simbolički usklađene s geološkim formacijama tako da površina terena odgovara mlađem eocenu (svijetlosmeđa boja), krovina odgovara srednjem eocenu (narandžastosmeđa boja) a donji, podinski dio odgovara krednim naslagama (zeleni). Kontakt krovine i podine predstavljen je crvenom crtom.



**Slika 6-43.** Prikaz blok modela boksitonosnog područja Studena Vrila.

#### 6.4. Proračun obujma utvrđenih ležišta boksita

Jedna od prednosti modeliranja, osim vizualizacije prostora, je dobivanje podataka o obujmu ležišta i jednostavnom postupku te pouzdanom proračunu rezervi, za razliku od klasičnih metoda. Stoga su u nastavku prikazani opis metode i rezultati proračuna rezervi boksita metodom računalnog modeliranja.

##### Opis metode računalnog modeliranja (MRM)

Jedna od najsuvremenijih metoda proračuna obujma u rudarskoj struci je metoda računalnog modeliranja koja je korištena i u ovom radu (Galić, 2024.). Temelji se na računanju integrala između trianguliranih površina, što znači da je za primjenu ove metode potrebno izvršiti triangulaciju u jednom od računalnih programa za modeliranje. Za primjenu MRM-a korišten je isti program kao i za modeliranje a to je *Open Road Designer (ORD)*. Rješenje integrala između dva nasuprotna trokuta predstavlja obujam te se iz pojedinačnih obujmova dobiva ukupni obujam između modeliranih ploha. U radnom načinu „*OpenRoads Modeling*“, segmentu „*Terrain*“ pod „*Volumes*“ odabire se naredba „*Analyze Volume*“ te se klikom označe površine između kojih se želi izračunati obujam. Postupak se ponavlja na svakom ležištu i iz toga se dobije ukupni obujam.

##### Rezultati proračuna rezervi

Opisanim postupkom određen je obujam svakog ležišta za proračun rezervi u eksploatacijskom polju „*Studena Vrila*“, a izlazni rezultati u ORD-u prikazani su na slijedeći način:

<u>Za ležišta 8/9/9a</u>	<u>Za ležište L-19</u>	<u>Za ležište L-20</u>
Terrain to Terrain Volume	Terrain to Terrain Volume	Terrain to Terrain Volume
-----	-----	-----
Terrain To Terrain Clipped	Terrain PLOHA_BOKSITA8	Terrain To Terrain
Terrain Model (Element)4	To Terrain PLOHA_BOKSITA7	PLOHA_BOKSITA11
Cut Factor = 1.000	Cut Factor = 1.000	Cut Factor = 1.000
Fill Factor = 1.000	Fill Factor = 1.000	Fill Factor = 1.000
Cut = 261055.920 m3	Cut = 28680.288 m3	Cut = 1235.534 m3
Fill = 3.961 m3	Fill = 0.000 m3	Fill = 0.000 m3
Balance = -261051.959 m3	Balance = -28680.288 m3	Balance = -1235.534 m3

**Napomena:** ležišta 8, 9 i 9a spojena su u proračunu u jedno ležište

Vrijednosti „*Balance*“ predstavljaju mjerodavne iznose obujma koje su unesene u tablicu kao polazna osnova za proračun rezervi.

Množenjem dobivenog obujma s obujamskom masom (2,7 t/m<sup>3</sup>) dobivena je masa boksita, odnosno bilančne rezerve u ležištima. Oduzimanjem eksploatacijskog gubitka od bilančnih rezervi koji iznosi 20% (uobičajeno za podzemnu eksploataciju) dobivene su eksploatacijske rezerve od 727 429 t. Rezultati proračuna prikazani su u tablici 3.

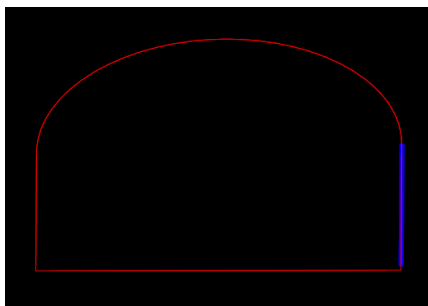
**Tablica 6-1.** Rezultati proračuna rezervi metodom računalnog modeliranja

Ležište	Obujam m <sup>3</sup>	Obujamska masa t/m <sup>3</sup>	Masa t	Eksploatacijski gubici, 20% t	Eksploatacijske rezerve t
L - 8/9/9a	261 055,92	2,7	704 851	52 211	652 640
L-19	28 680,29	2,7	77 437	5 736	71 701
L-20	1 235,53	2,7	3 336	247	3 089
<b>UKUPNO</b>	<b>290 971,74</b>		<b>785 624</b>	<b>58 194</b>	<b>727 429</b>

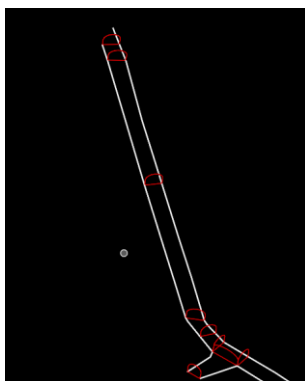
**Napomena:** Rezultat proračuna rezervi MRM-om odstupa u odnosu na rezultat prikazan u uvodu ovog rada (tablica 2) a razlog tomu je isključivanje određenih bušotina u modeliranju koje su značajno odstupale prema prostornom rasporedu.

## 6.5. Modeliranje podzemnih prostorija

Prilikom modeliranja podzemnih prostorija koriste se već postavljene trase prostorija koje imaju realne koordinate. Ovisno o širini podzemne prostorije postavlja se profil duž trase. Primjer profila prikazan je na slici 6-44. Plava crta služi kao pomoć pri postavljanju profila kako bi obje strane profila bile iste visine i u istom pravcu. Nakon postavljanja prvog profila sve ostale potrebno je kopirati duž trase i prilagoditi ih širini prostorije na tom dijelu trase. U prvom dijelu profili se postavljaju duž cijelog potkopa te se naredbom „*Create Surfaces By Edges*“ spajaju kako bi kreirali plohe. Postavljanje profila duž potkopa prikazano je na slici 6-45.



**Slika 6-44.** Prikaz profila s pomoćnom plavom crtom.



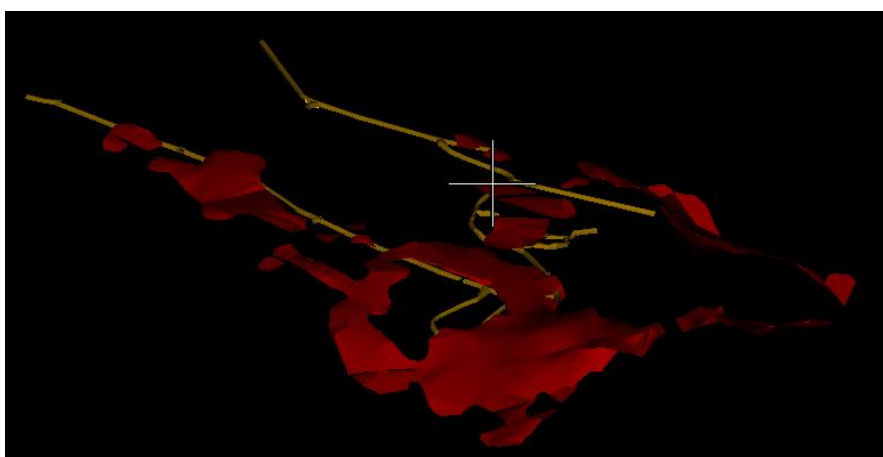
**Slika 6-45.** Postavljeni profili duž potkopa.

Prvo se spaja cijeli potkop naredbom „*Create Surface By Edges*“ kako bi mogli kreirati križišta. Modelirani potkop prikazan je na slici 6-46.



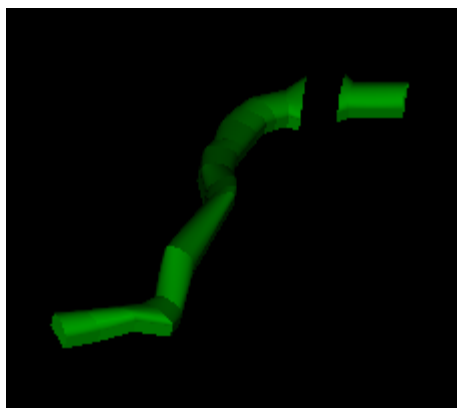
**Slika 6-46.** Modelirani potkop.

Na slici 6-47 može se vidjeti odnos potkopa u odnosu na ležište.

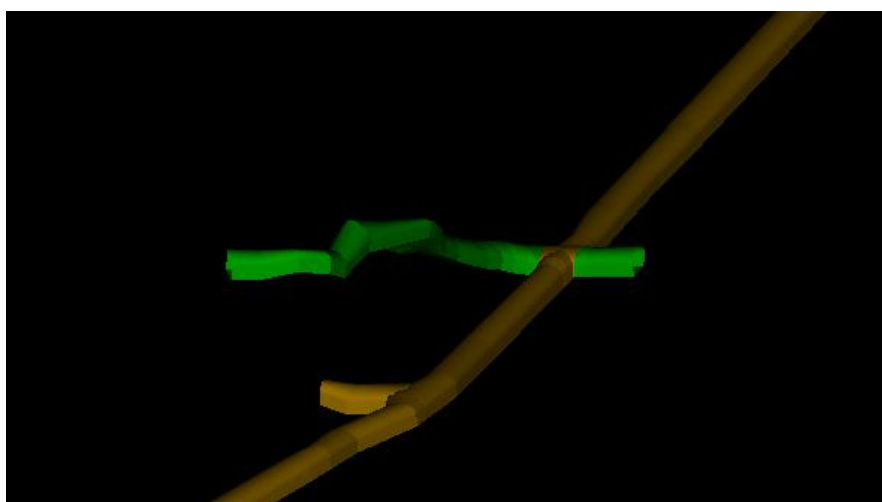


**Slika 6-47.** Modelirani potkop u odnosu na ležište.

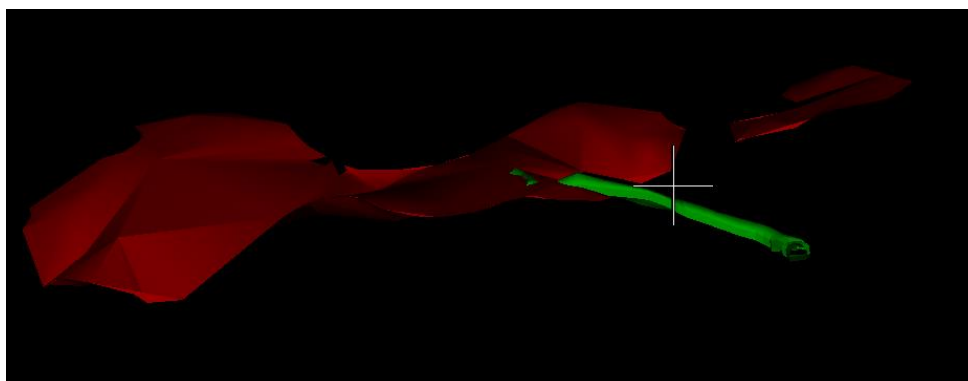
Nakon modeliranja potkopa modeliraju se podzemne prostorije etaža gdje postoje četiri etaže na pet visinskih razina. Prva etaža prikazana je na slici 6-48. te njen položaj u odnosu na ležište i potkop na slikama 6-49 i 6-50.



Slika 6-48. Model prve etaže.

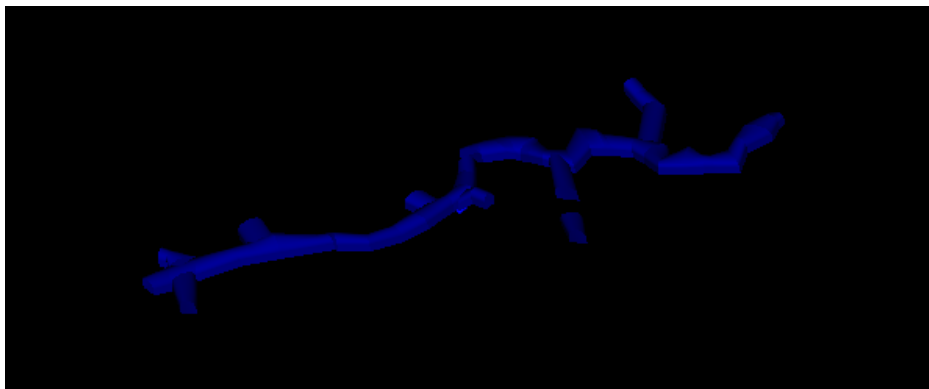


Slika 6-49. Položaj prve etaže u odnosu na potkop.

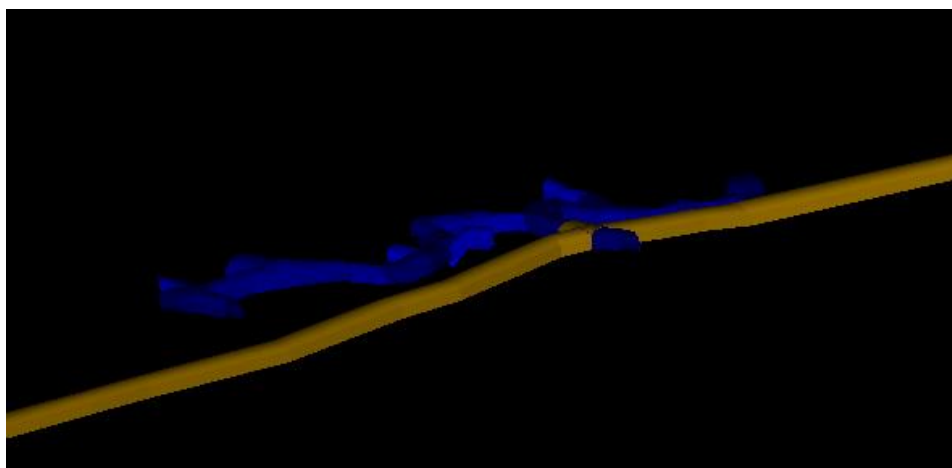


Slika 6-50. Položaj prve etaže u odnosu na ležište.

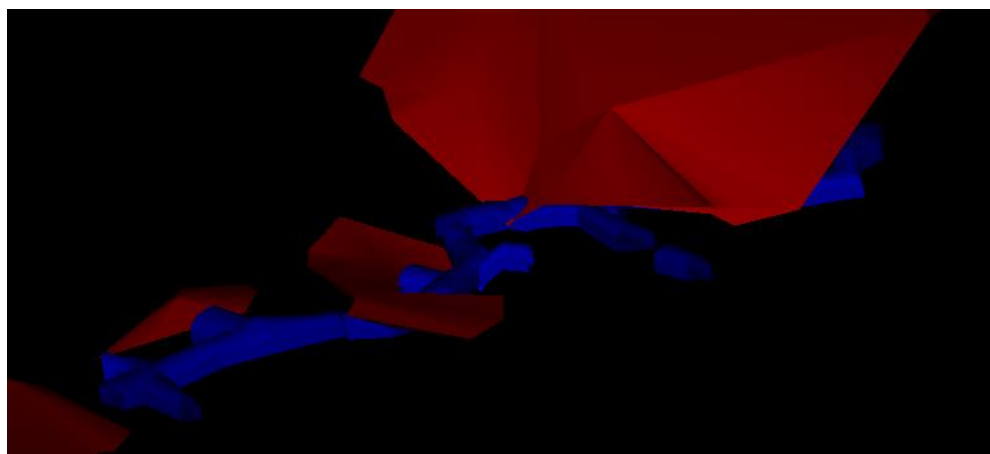
Na slikama 6-51, 6-52, i 6-53 prikazana je druga etaža te njen položaj u odnosu na potkop i ležište.



**Slika 6-51.** Model druge etaža.

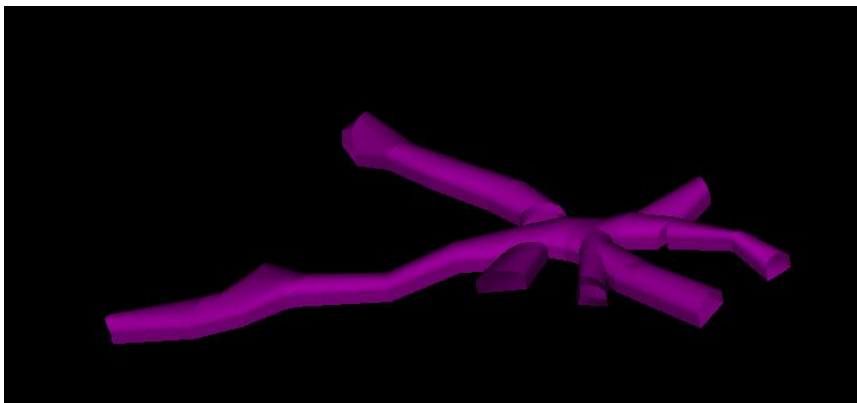


**Slika 6-52.** Položaj druge etaže u odnosu na potkop.

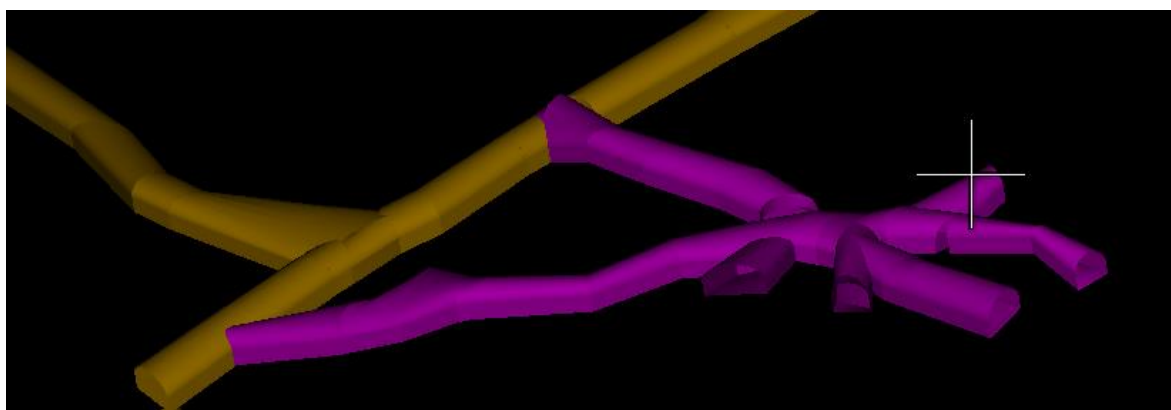


**Slika 6-53.** Položaj druge etaže u odnosu na ležište.

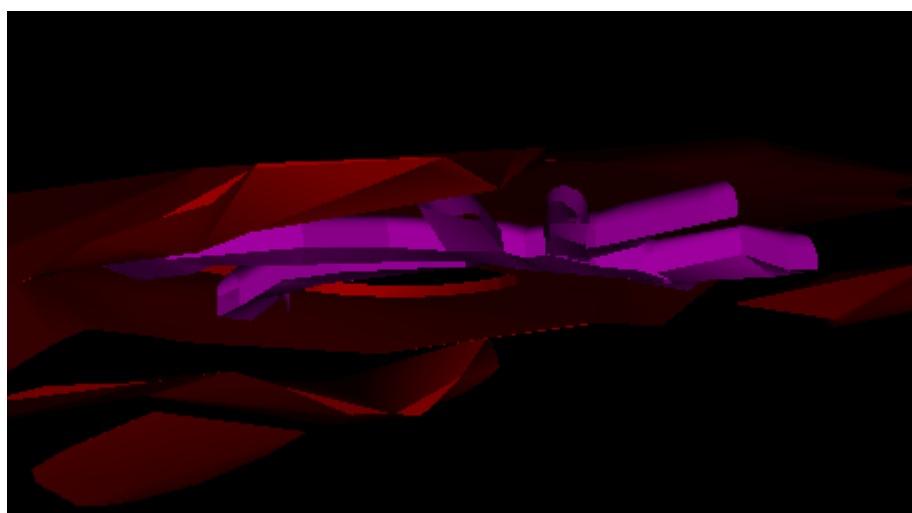
Na slikama 6-54, 6-55 i 6-66 prikazana je treća etaža te njen položaj u odnosu na potkop i ležište.



**Slika 6-54.** Model treće etaže.

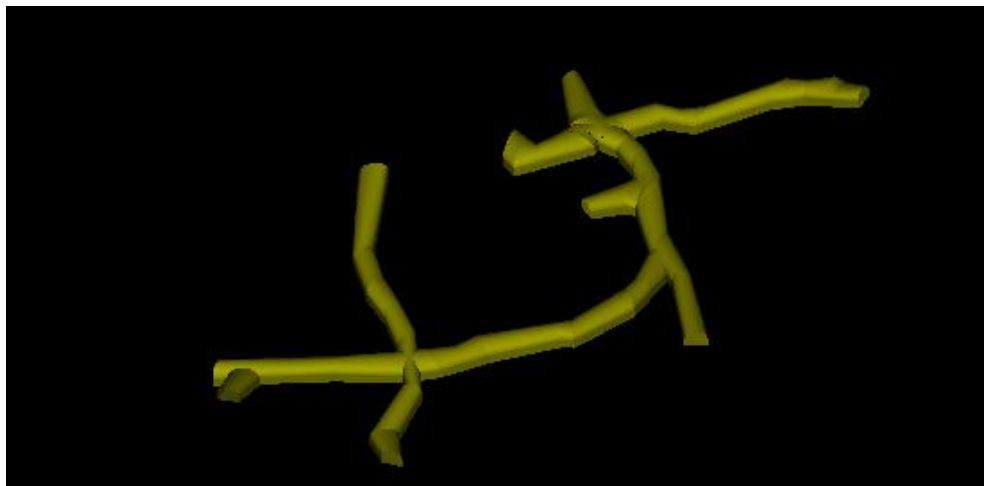


**Slika 6-55.** Položaj treće etaže u odnosu na potkop.

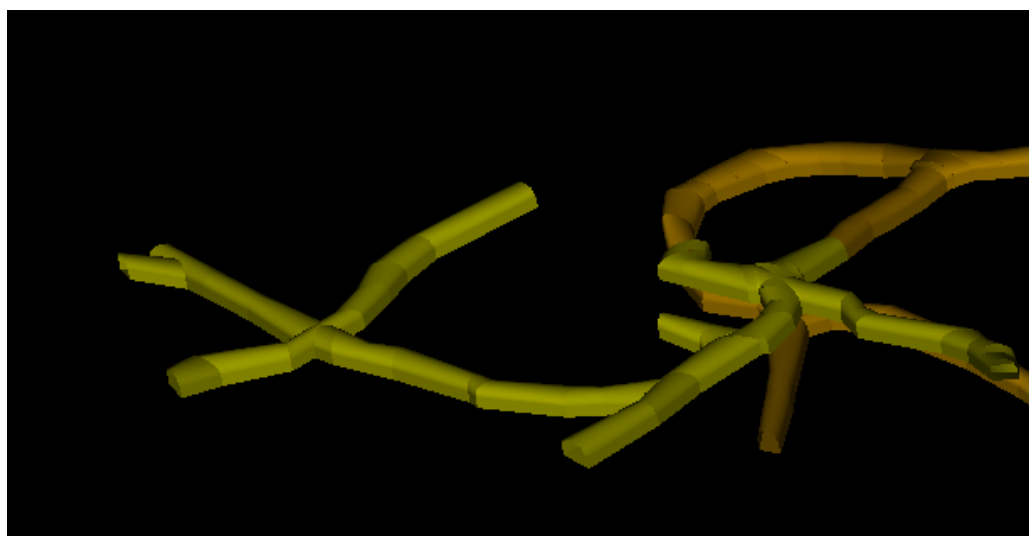


**Slika 6-56.** Položaj treće etaže u odnosu na ležište.

Na slikama 6-57, 6-58 i 6-59 prikazana je četvrta etaža te njen položaj u odnosu na potkop i ležište.

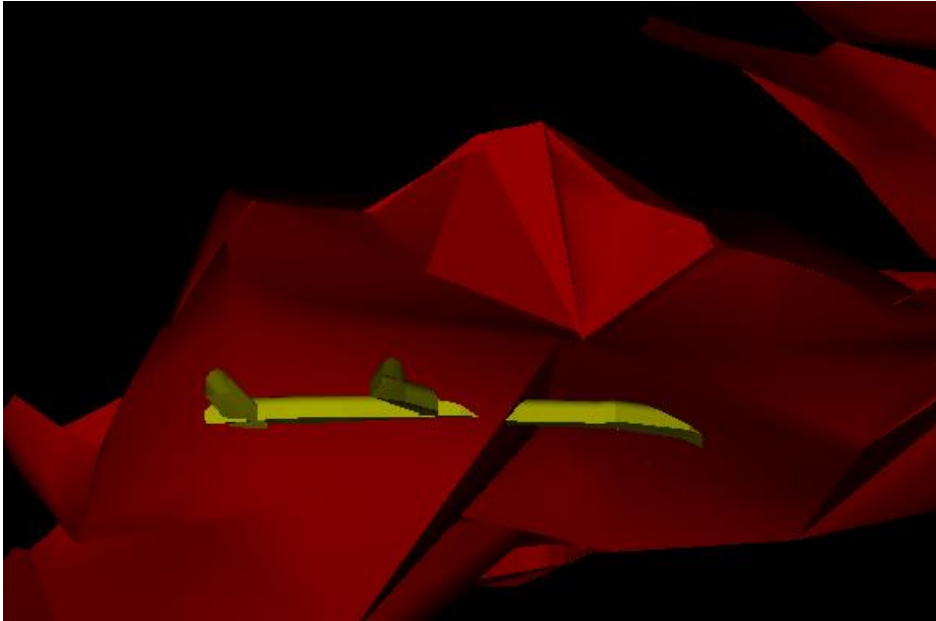


**Slika 6-57.** Model četvrte etaža.



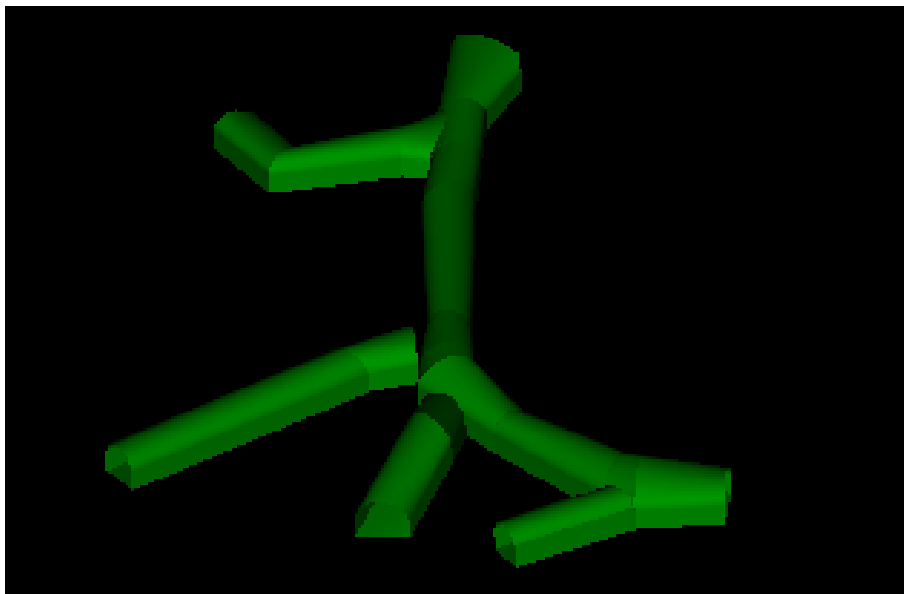
**Slika 6-58.** Položaj četvrte etaže u odnosu na potkop.



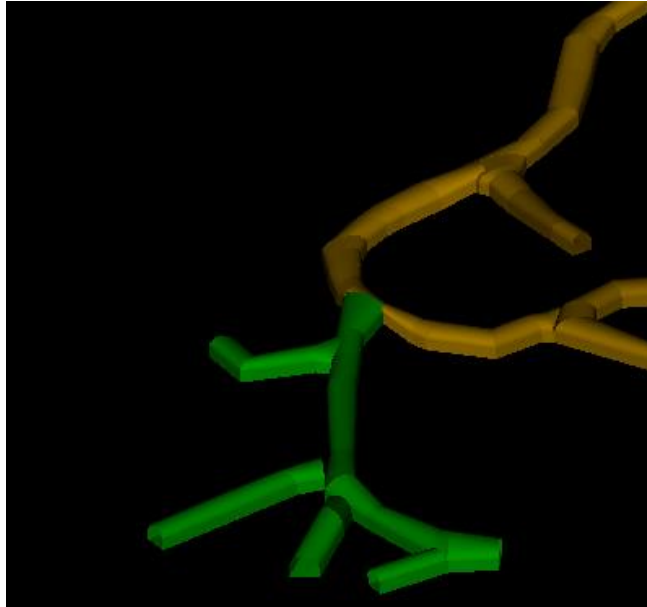


**Slika 6-59.** Položaj četvrte etaže u odnosu na ležište.

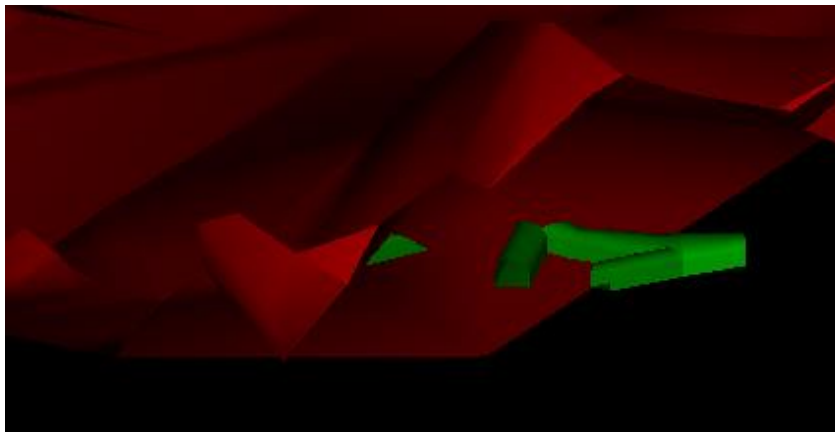
Na slikama 6-60, 6-61 i 6-62 prikazana je peta etaža te njen položaj u odnosu na potkop i ležište.



**Slika 6-60.** Model pete etaža.

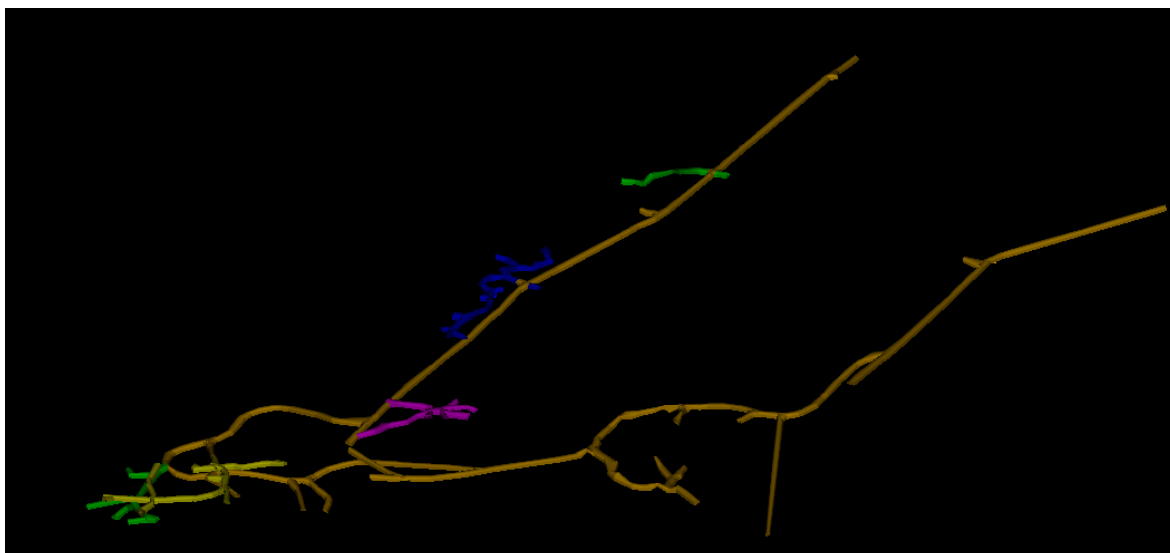


**Slika 6-61.** Položaj pete etaže u odnosu na potkop.

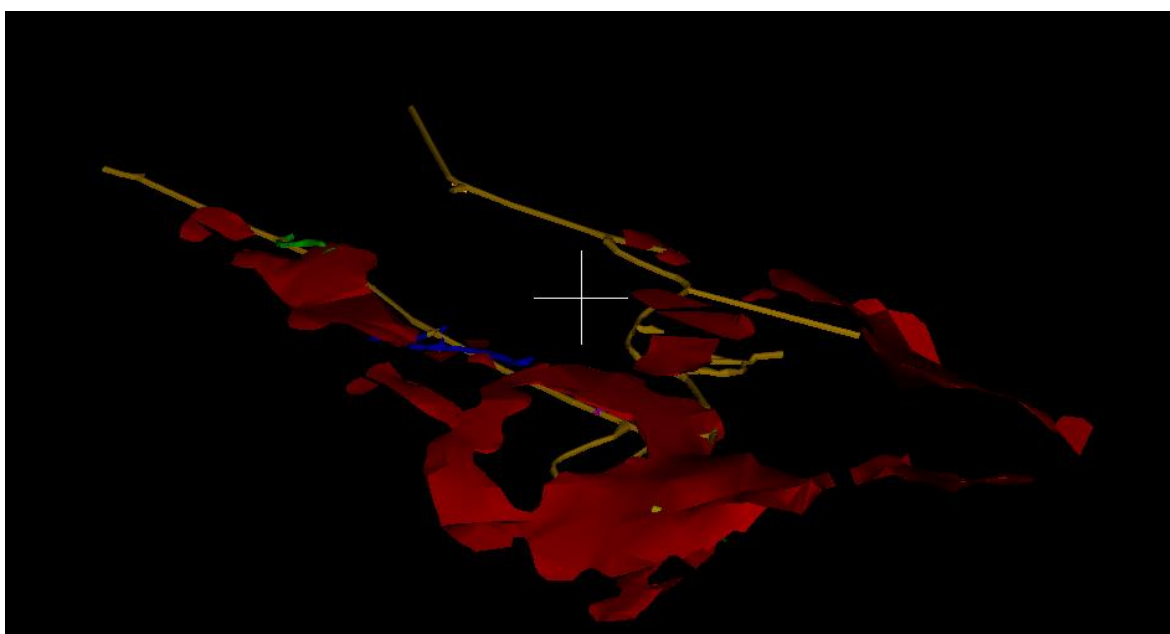


**Slika 6-62.** Položaj pete etaže u odnosu na ležište.

Na slikama 6-63. i 6-64. prikazane su sve etaže u odnosu na potkop i cjelokupno ležište.

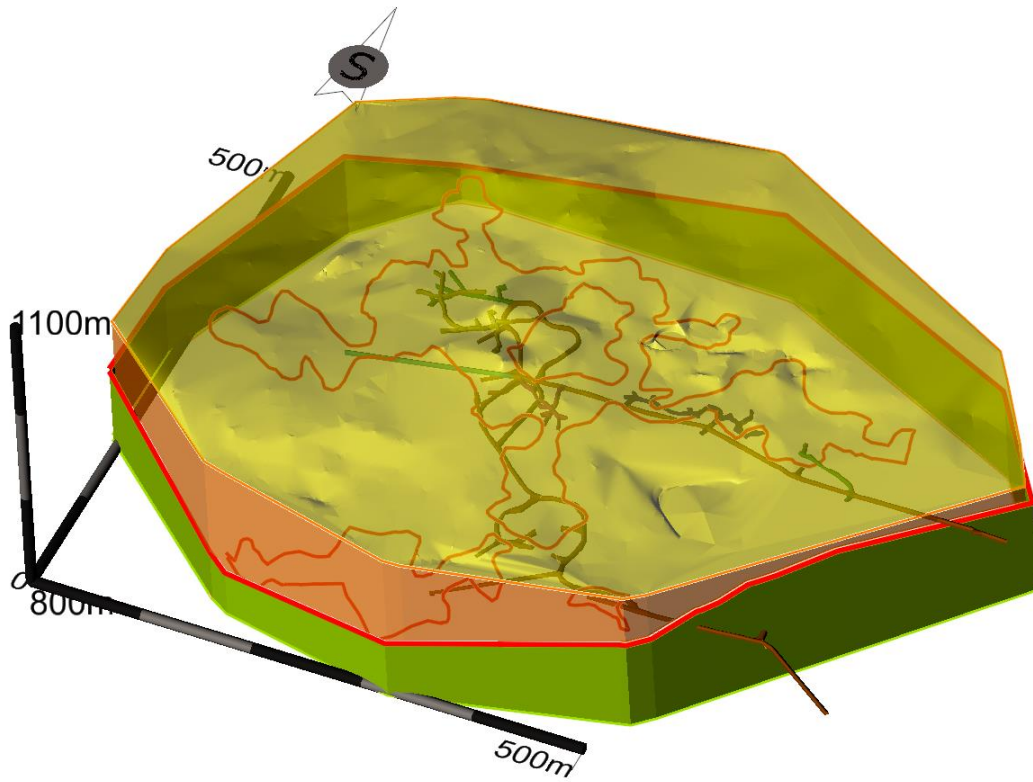


**Slika 6-63.** Prikaz svih etaža u odnosu na potkop.

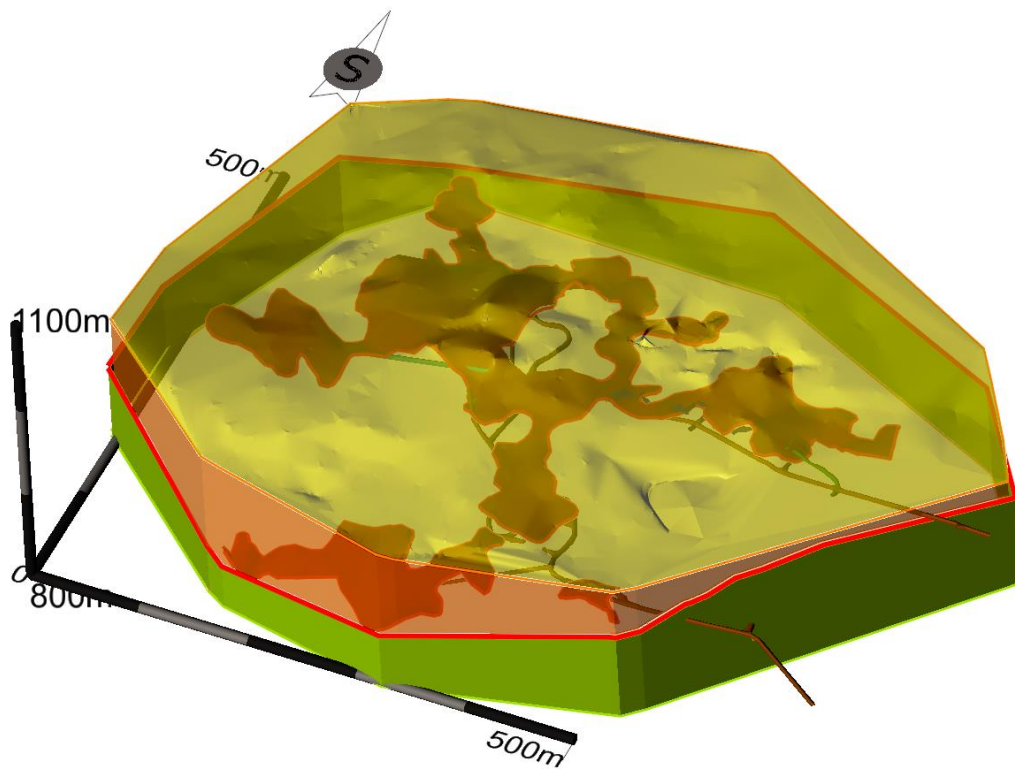


**Slika 6-64.** Prikaz svih etaža u odnosu na potkop i ležište.

Kako bi upotpunili cjelokupnu sliku modela terena, ležišta i rudarskih radova kreiran je prikaz blok modela sa svim navedenim elementima, što je prikazano na slikama 6-65 i 6-66.



**Slika 6-65.** Prikaz blok modela boksitonosnog područja s uklopljenim rudarskim radovima, u obliku transparentnog modela bez ispune ležišta.

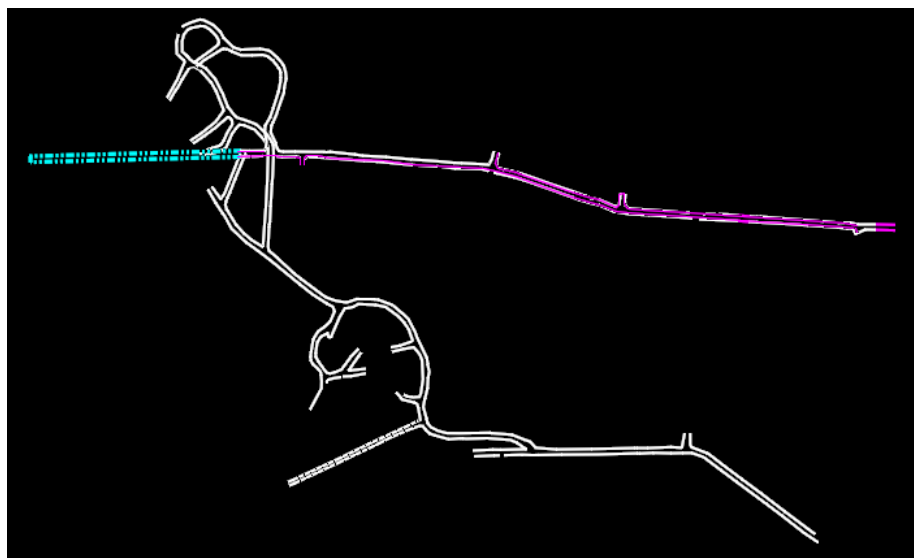


**Slika 6-66.** Prikaz blok modela boksitonosnog područja s uklopljenim rudarskim radovima, u obliku transparentnog modela s ispunom ležišta.

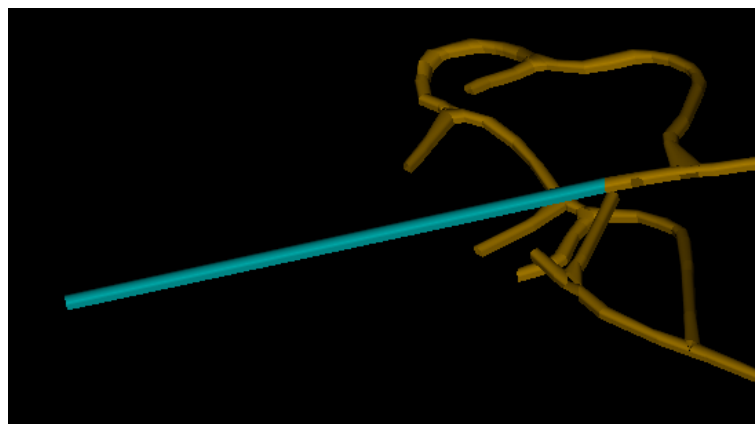
## 6.6. Modeliranje dijela niskopa koji se predlaže za izradu s proračunom troškova

### Izrada modela novog dijela niskopa

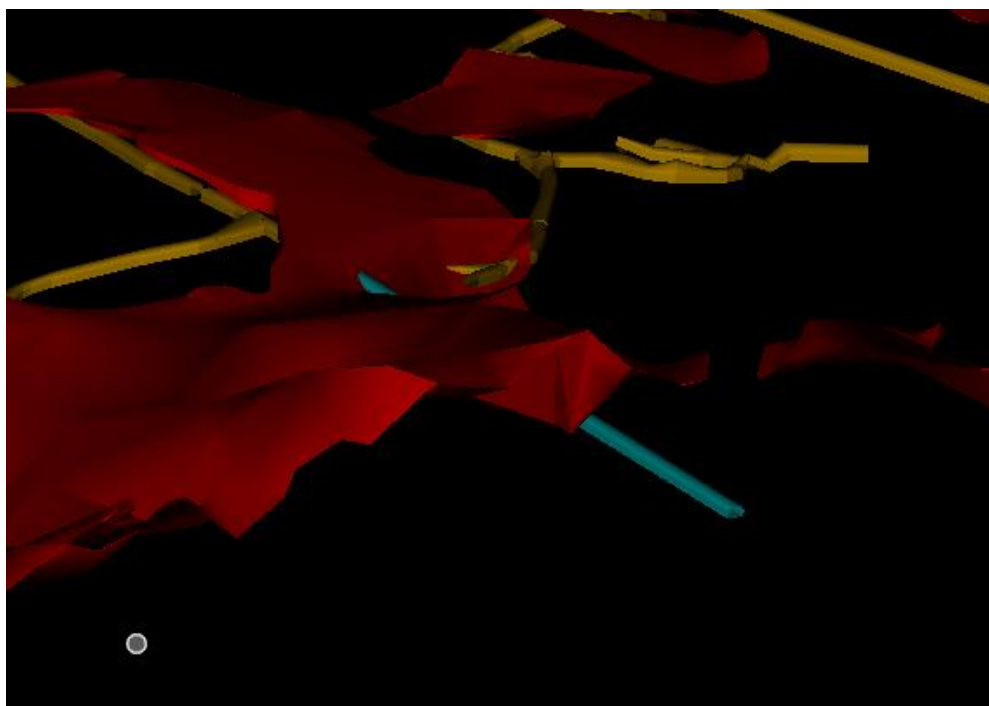
Dio niskopa koji nije izrađen predlaže se za nastavak razvoja rudarskih radova tako da se veže na postojeći niskop na način da mu se postavi trasa prostorije istih dimenzija (širine i visine) kao što su na završnom dijelu postojećeg niskopa. To se radi kako bi u budućim radovima mogli izraditi Centralnu sipku za odvoz materijala transportnom trakom. Trasa novog dijela niskopa u odnosu na postojeću trasu prikazana je na slici 6-67 (svjetlo plava crta predstavlja prijedlog nastavka trase). Trasa novog dijela niskopa ima dužinu od 153 metra i nagib do  $10,5^\circ$  (19%). Nakon postavljanja trase radi se isti postupak modeliranja pdozemne prostorije kao u poglavlju 6.5. Položaj modela izrade nove podzemne prostorije, u odnosu na ležište i potkop, prikazan na slikama 6-68. i 6-69.



Slika 6-67. Prikaz nastavka trase niskopa u tlocrtu.

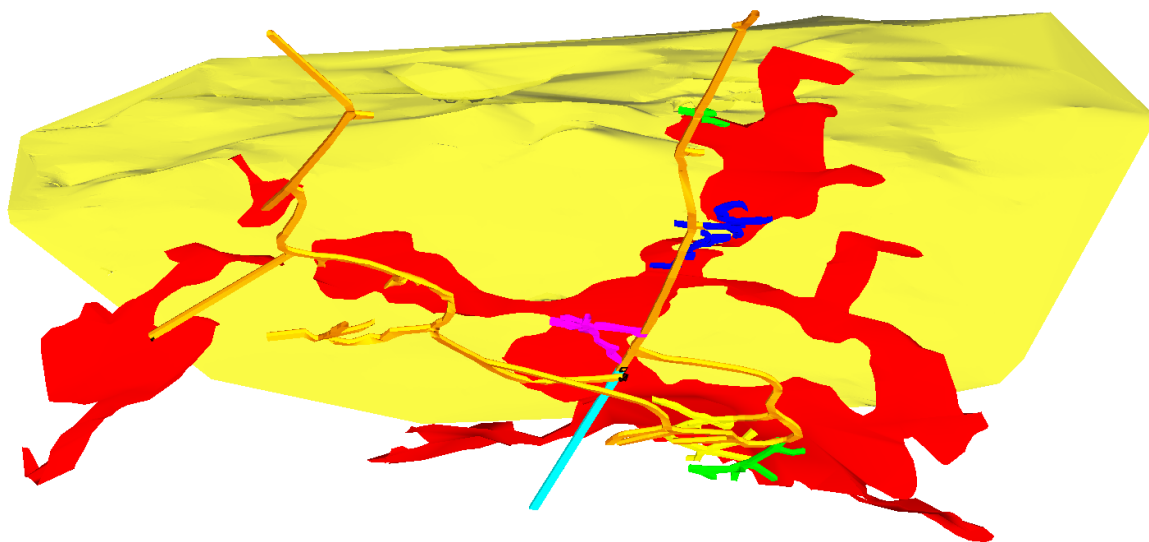


Slika 6-68. Položaj planirane trase u odnosu na postojeći niskop.



**Slika 6-69.** Prikaz položaja planirane trase u odnosu na niskop i ležište.

Na kraju, položaj postojećih podzemnih rudarskih radova i predloženog novog dijela trase, u odnosu na položaj ležišta i površine terena, može se predočiti prikazom iz „žablje“ perspektive odnosno pogledom odozdo (slika 6-70).



**Slika 6-70.** Pogled odozdo („žablja perspektiva“) na položaj planirane trase u odnosu na niskop i ležište.

## Proračun troškova izrade novog dijela niskopa

Prilikom proračuna troškova izrade nastavka niskopa najbolje se pokazao proračun troškova na temelju iskustvenih podataka trgovačkog društva RB Jajce, gdje se uzimaju u obzir materijali potrebni za izradu prostorije, radna snaga i vrsta materijala u kojem se prostorije izrađuju. Stoga su u tablicama 4. i 5. prikazani troškovi po metru dužnom prostorije. Kada se ukupni troškovi materijala i radne snage pomnože s dužinom podzemne prostorije koja iznosi 153 metra dobije se da cijena izrade te prostorije iznosi 142 678 KM odnosno 72 770 EUR.

**Tablica 6-2. Troškovi materijala za izradu novog dijela niskopa.**

MATERIJAL	JEDINIČNE MJERE	NORMATIV MATERIJALA PO 1m	JEDINIČNA CIJENA KM/jed.mjere	UKUPNO KM	UKUPNO EUR
EKSPLOZIV	kg	21,00	7,65	160,65	81,93
DETONATORI	kom	21,00	1,87	39,27	20,03
ENERGIJA	kWh	172,00	0,37	63,98	32,63
GORIVO	lit.	1,97	2,31	4,55	2,32
MAZIVO	kg	0,50	5,00	2,50	1,28
PODGRADA	m <sup>3</sup>	1,00	117,00	117,00	59,67
ZRAČNE CIJEVI	m	1,00	24,75	24,75	12,62
CIJEV ZA KOMPRIMIRANI ZRAK	m	1,00	16,35	16,35	8,34
GUMENO CRIJEVO F 50mm	m	1,00	22,26	22,26	11,35
GUMENO CRIJEVO F 25 mm	m	1,00	9,00	9,00	4,59
OSTALO 5%				23,02	11,74
<b>UKUPNO MATERIJALA</b>				<b>483,33</b>	<b>246,50</b>

**Tablica 6-3. Troškovi radne snage.**

RADNA SNAGA	JEDINICA MJERE	NORMATIV PO 1m	KM PO 1 n/s	UKUPNO KM PO 1M	UKUPNO EUR PO 1m
PRVI KOPAČ	sat	6,50	10,80	70,20	35,80
DRUGI KOPAČ	sat	6,50	9,91	64,42	32,85
POMOĆNI KOPAČ	sat	13,00	9,25	120,25	61,33
POGONSKA REŽIJA	sat	18,00	10,80	194,40	99,14
<b>UKUPNO</b>				<b>449,27</b>	<b>229,13</b>
<b>UKUPNO PO METRU DUŽNOM</b>				<b>932,60</b>	<b>475,62</b>

## 7. ZAKLJUČAK

U diplomskom radu prikazano je eksploatacijsko polje „Studena Vrila“ koje se nalazi na granici Posušja i Tomislavgrada, gdje se na temelju ranijih istraživanja eksploatira boksit.

Na temelju bušotinskih profila iz ranijih istraživanja obrađeni su stupovi bušotina s unesenim podacima o debljini krovine, boksita i podine. Na temelju tih podataka određen je položaj i nagib kontaktne plohe.

Korištenjem računalnog programa *Open Roads Designer* uspješno su kreirani modeli stupova bušotina koji su točno postavljeni u prostor te se vizualizirao njihov položaj u podzemlju. Nastavno, izmodelirana je kontaktna ploha te ploha krovine i podine ležišta boksita pomoću kojih su kreirani modeli rudnog tijela boksita te pojedinačni i skupni blok modeli istraženog područja. Na kraju su kreirani modeli postojećih podzemnih prostorija te temeljem toga predložen nastavak rudarskih radova u obliku novog dijela niskopa.

Izradom novog dijela niskopa, odnosno nastavkom postojećeg, omogućit će se izrada centralne sipke za izvoz materijala iz podzemnih prostorija, u doglednoj budućnosti.

Na eksploatacijskom polju „Studena Vrila“, prema proračunu koji je izveden metodom računalnog modeliranja temeljem prostornih modela ležišta, eksploatacijske rezerve boksita iznose 727 429 tona što predstavlja razliku u odnosu na glavni rudarski projekt u kojem se navodi da su eksploatacijske rezerve 1 147 656 tona. Razlika se događa zbog parametara triangulacije i isključivanja određenog broja podataka iz istražnih bušotina (velika odstupanja). Točnost proračuna može se ocijeniti tek nakon završetka eksploatacije ili doistraživanjem ležišta na pozicijama istražnih bušotina koje su imale velika odstupanja podataka.



## 8. LITERATURA

- ČATOVIĆ, M., 1980. Elaborat o klasifikaciji i kategorizaciji i proračunu rezervi crvenog boksita u grupi ležišta „Okrugli brijeg“ Studena Vrila kod Posušja. Tuzla. OOUR Tuzla.
- ČATOVIĆ, M., 1980. Glavni rudarski projekt eksploatacije boksita u regiji Studentska Vrila. Tuzla. OOUR Tuzla.
- DRAGIČEVIĆ, I., ANDRIĆ, M., BLAŠKOVIĆ, I., 1991. Geološka-geofizička istraživanja ležišta boksita primjena plitke seizmičke refleksije. Zagreb. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- GALIĆ, I., FARKAŠ, B., 2011. Primjenjeni računalni programi: interna skripta. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- GALIĆ, I., FARKAŠ, B., 2024. Interaktivna predavanja Projektiranje u rudarstvu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- MIHALJEVIĆ, M., 2014. Izrada modela kontaktne plohe i podzemnih prostorija na boksitonsonom području Crvene stijene. Završni rad. Zagreb: Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- RAJIĆ, V., AHAC, A., PAPEŠ, J., 1976. Osnovna geološka karta SFRJ, mjerilo 1:100.000, list Imotski. Institut za geološka istraživanja Sarajevo, Savezni geološki zavod Beograd.
- RAJIĆ, V., AHAC, A., PAPEŠ, J., 1968. Tumač za Osnovnu geološku kartu SFRJ, mjerila 1:100.000, list Imotski, Institut za geološka istraživanja Sarajevo, Savezni geološki zavod Beograd.
- RUDNICI BOKSITA JAJCE, 2016. Arhiva podataka Rudnika boksita Jajce 1971-2024. Arhivirani podatci. Jajce: Rudnici boksita Jajce
- SAKAČ, K., ŠUŠNJARA, A., JELEN, B. & GABRIĆ, A. (1992). Upper Permian Evaporites and Associated Rocks of Dalmatia and Borderline Area of Lika and Bosnia. *Geologia Croatica*, 45 (1), 95-114.
- SLUŽBENE NOVINE FEDERACIJE BOSNE I HERCEGOVINE br. 36/12. Pravilnik o klasifikaciji kategorizaciji i proračunu čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima. Službene novine Federacije Bosne i Hercegovine d.d.