

# Metode istraživanja tehničko-građevnog kamena u području Hrvatsko Žarište

---

Đelatić, Tea

Undergraduate thesis / Završni 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:169:326705>

*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  
Preddiplomski studij naftnog rudarstva

**MODEL ISTRAŽIVANJA TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA U PODRUČJU  
HRVATSKO ŽARIŠTE**

Završni rad

Tea Đelatić

R4483

Zagreb, 2024.



KLASA: 602-01/24-01/51  
URBROJ: 251-70-11-24-2  
U Zagrebu, 13.09.2024.

Tea Đelatić, studentica

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/51, URBROJ: 251-70-11-24-1 od 11.04.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### MODEL ISTRAŽIVANJA TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA U PODRUČJU HRVATSKO ŽARIŠTE

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog 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 diplomске ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

MODEL ISTRAŽIVANJA TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA U PODRUČJU HRVATSKO  
ŽARIŠTE

Tea Đelatić

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

Sažetak

U ovom završnom radu obuhvaćen je i opisan način izrade 3D modela terena na području Hrvatsko Žarište na kojem se nalazi potencijalno ležište tehničko-građevnog kamena. Opisane su, također, geografske, geološke i klimatske značajke odabranog područja. Napravljen je proračun obujma potencijalnog ležišta korištenjem dviju metoda. Za modeliranje se koristio računalni program „*Open Roads Designer*“.

Ključne riječi: modeliranje, Hrvatsko Žarište, ležište, tehničko-građevni kamen, proračun obujma

Završni rad sadrži: 25 stranice, 5 tablica, 25 slika, 7 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentori: prof.dr.sc. Ivo Galić

Ocjenjivači: prof.dr.sc. Ivo Galić  
izv.prof.dr.sc. Vječislav Bohanek  
doc.dr.sc. Ivica Pavičić

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	2
2.1. Geografski položaj .....	2
2.2. Geološke značajke.....	3
2.3. Klimatske i hidrografske značajke.....	4
2.4. Rudarski radovi šireg područja .....	5
3. 3D MODELIRANJE .....	7
3.1. Umetanje topografske karte .....	7
3.2. Vektorizacija topografske karte.....	9
3.3. Triangulacija 3D modela terena.....	11
4. IZRADA MODELA LEŽIŠTA I ISTRAŽNIH RADOVA .....	13
4.1. Kategorizacija rezervi .....	13
4.2. Istraživanje ležišta .....	14
4.3. Izrada završne kosine kopa.....	20
5. PRORAČUN REZERV I LEŽIŠTA.....	22
5.1. Metoda računalnog modeliranja .....	22
5.2. Metoda srednje aritmetičke vrijednosti.....	23
5.3. Usporedba rezultata korištenih metoda .....	23
6. ZAKLJUČAK.....	26
7. LITERATURA .....	27

## POPIS SLIKA

Slika 2-1 Zemljopisni položaj modeliranog područja „Hrvatsko žarište, M 1:25 000.....	2
Slika 2-2 OGK, list Slunj s ucrtanim granicama istražnog prostora, M 1:100 000, uvećano M 1:25 000 (Korolija i dr.,1979) .....	4
Slika 2-3 Prikaz aktivnih eksploatacijskih polja u širem području Hrvatskog Žarišta, (JISMS,2024).....	6
Slika 2-4 Prikaz neaktivnih i brisanih eksploatacijskih polja u širem području Hrvatskog Žarišta, (JISMS,2024) .....	6
Slika 3-1 Prikaz padajućeg izbornika „ <i>Attach tools</i> “ .....	7
Slika 3-2 Prikaz naredbe „ <i>Raster Manager</i> “ .....	8
Slika 3-3 Prikaz priloženih rastera u podprogramu „ <i>Raster Manager</i> “ .....	8
Slika 3-4 Prikaz naredbe „ <i>Place line or Stream Curve</i> “ .....	9
Slika 3-5 Topografska karta s iscrtanim slojnicama, M 1:25 000 .....	9
Slika 3-6 Prikaz naredbe „ <i>Set Element Elevation</i> “ .....	10
Slika 3-7 Prikaz slojnica istražnog prostora „Hrvatsko Žarište“ .....	10
Slika 3-8 Prikaz označenih slojnica za triangulaciju .....	11
Slika 3-9 Prikaz naredbe „ <i>Loft</i> “ i triangulirane površine, u žičnom obliku.....	12
Slika 3-10 Prikaz 3D modela terena, u renderiranom obliku .....	13
Slika 4-1 Granice rezervi u 2D polju (ravnini).....	15
Slika 4-2 Prikaz naredbe „ <i>Drape Element</i> “ i postavljenih granica rezervi .....	16
Slika 4-3 Prikaz granica rezervi i istražnih radova.....	17
Slika 4-4 Prikaz granica rezervi, istražnih radova i slojnica istražnog prostora „Hrvatsko Žarište“ .....	18
Slika 4-5 Triangulirani model kategorija rezervi, žični oblik („ <i>Wireframe</i> “) .....	18
Slika 4-6 Prikaz renderiranog modela kategorija rezervi .....	19
Slika 4-7 Prikaz naredbe „ <i>Construct Line at Active Angle</i> “ .....	21
Slika 4-8 Prikaz granica rezervi i završne kosine ležišta „Hrvatsko žarište“, M 1:15 000 .	21
Slika 5-1 Izbornik naredbe „ <i>Analyze Volumes</i> “ .....	22
Slika 5-2 Prikaz naredbe „ <i>Measure Area</i> “ .....	24

## POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Koordinate vršnih točaka istražnog prostora „Hrvatsko Žarište“ .....	3
Tablica 4-1 Maksimalne udaljenosti između istražnih radova .....	14
Tablica 5-1 Prikaz rezultata proračuna obujma ležišta MRM-om .....	23
Tablica 5-2 Prikaz izračuna srednjih debljina ležišta, $d_{sr}$ .....	24
Tablica 5-3 Prikaz očitanih površina i izračunanih obujmova .....	25

## **POPIS SKRAĆENICA U TEKSTU**

1. OGK – Osnovna geološka karta
2. NN – Narodne novine
3. m.n.v. – metara nadmorske visine
4. GIS – Geografski Informacijski Sustav
5. 3D – trodimenzionalno
6. 2D – dvodimenzionalno
7. MRM – metoda računalnim modeliranjem
8. MSAV – metoda srednje aritmetičke vrijednosti



## POPIS OZNAKA I JEDINICA U TEKSTU

$\alpha_z$	kut završne kosine	(°)
$\Delta h$	visinska razlika između terena i osnovne ravnine	(m)
x	horizontalna projekcija kosine	(m)
O	obujam	(m <sup>3</sup> )
P <sub>B</sub>	površina baze ležišta	(m <sup>2</sup> )
d <sub>SR</sub>	srednja dubina bušotina (ili debljina ležišta)	(m)
d <sub>i</sub>	dubina i-te bušotine	(m)
n	ukupan broj bušotina	

## 1. UVOD

Razvoj tehnologije je značajno unaprijedio metode istraživanja i eksploatacije mineralnih sirovina. 3D modeliranje postupno je zamijenilo ručne metode i dvodimenzionalne analize obrade podataka, i time omogućilo precizan prikaz geoloških podataka, te olakšalo identifikaciju ležišta i planiranje rudarskih radova. Prednost trodimenzionalnih modela je što uz dovoljnu količinu ulaznih podataka mogu vjerno prikazati kompleksne geološke odnose u podzemlju te predstavljati podlogu za daljnje rudarske radove te modele otvaranja ležišta, što je često nemoguće sa dvodimenzionalnim prikazima.

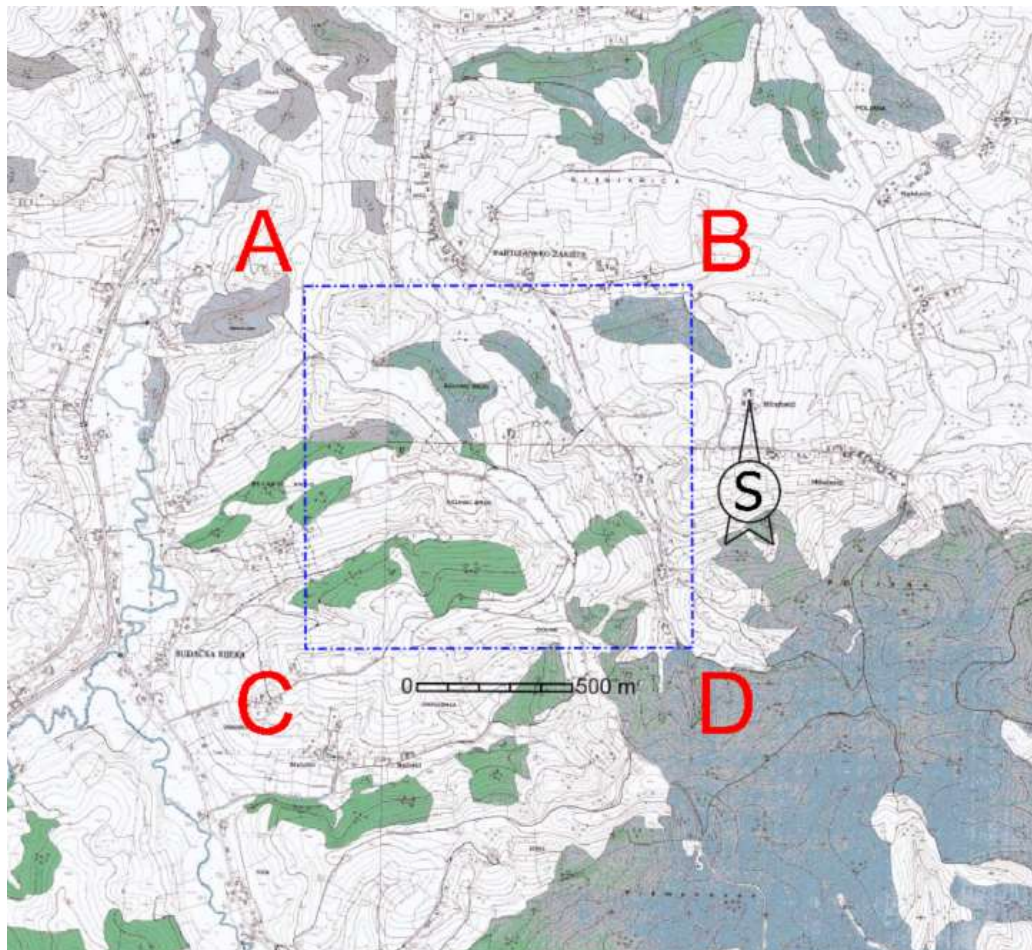
Tema ovog rada obuhvaća izradu trodimenzionalnog modela terena na području Hrvatsko Žarište i opis navedenog područja koje predstavlja potencijalno ležište tehničko-građevnog kamena. Predloženi su istražni radovi i granice rezervi te izračunan obujam ležišta korištenjem dviju metoda: metodom računalnog modeliranja i metodom srednje aritmetičke vrijednosti. Za izradu modela će se koristiti suvremeni Bentley-ev softver „*Open Roads Designer*“, koji omogućava implementaciju geoloških podataka, topografskih karata i potrebnih istražnih podataka u jedinstveni trodimenzionalni model.

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Zemljopisni položaj

Hrvatsko Žarište naselje je koje se nalazi u središnjem dijelu Hrvatske u Karlovačkoj županiji. Spada u sastav Općine Krnjak koja se nalazi južno od Karlovca na rijeci Korani. Područje je okruženo značajnim prirodnim obilježjima. Neki od njih su Petrova Gora, koja se proteže jugoistočno od Hrvatskog Žarišta, te obronak Mala Kapela, sjeverozapadno od područja istraživanja.

Na slici 2-1. prikazan je zemljopisni položaj potencijalnog istražnog prostora tehničko-građevnog kamena „Hrvatsko Žarište“. Prostor je omeđen točkama A, B, C i D. Za prikaz se koristio program „Open Roads Designer“.



Slika 2-1 Zemljopisni položaj modeliranog područja „Hrvatsko žarište, M 1:25 000

Istražni prostor „Hrvatsko žarište proteže se na površini od 1 461 602 m<sup>2</sup>. Koordinate vršnih točaka i udaljenosti između istih nalaze se u tablici 2-1.

**Tablica 2-1** Koordinate vršnih točaka istražnog prostora „Hrvatsko Žarište“

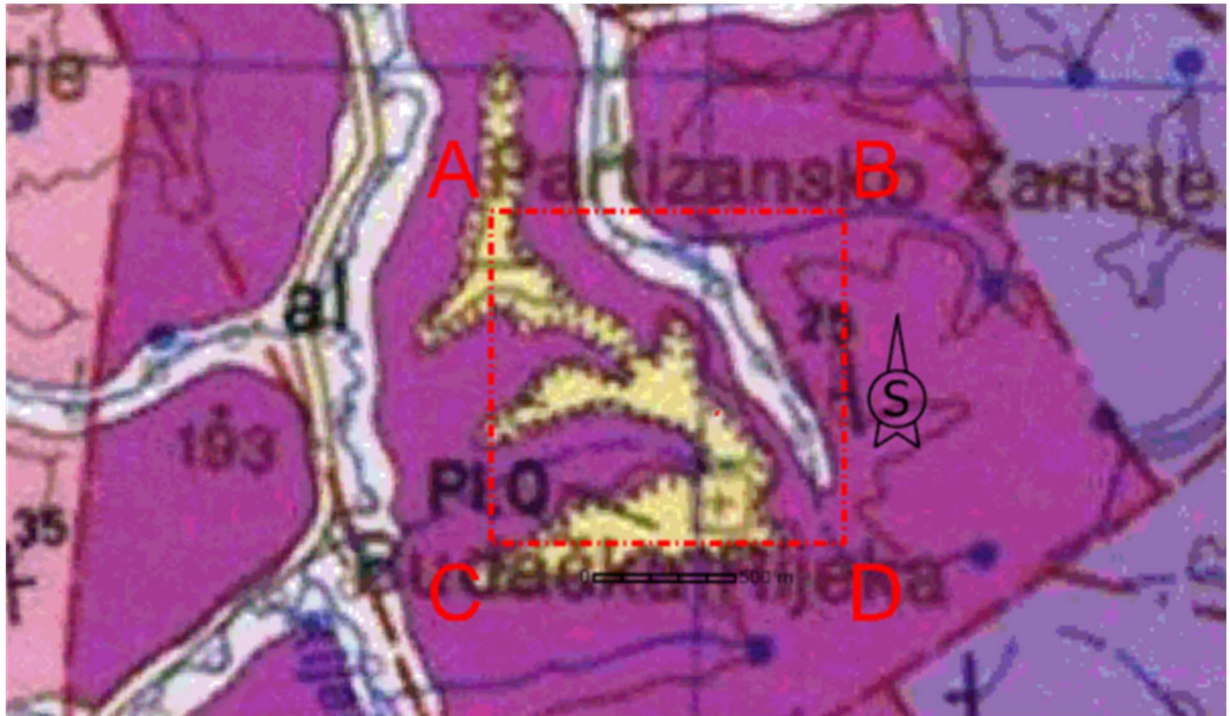
Vršna točka	Koordinate		Udaljenost (m)	
	E	N		
A	431 249	5 020 170	A-B	1248
B	432 497	5 020 174	B-C	1171
C	431 253	5 018 999	C-D	1248
D	432 500	5 019 003	D-A	1171
<b>Površina istražnog prostora</b>		146,16 ha		

## 2.2. Geološke značajke

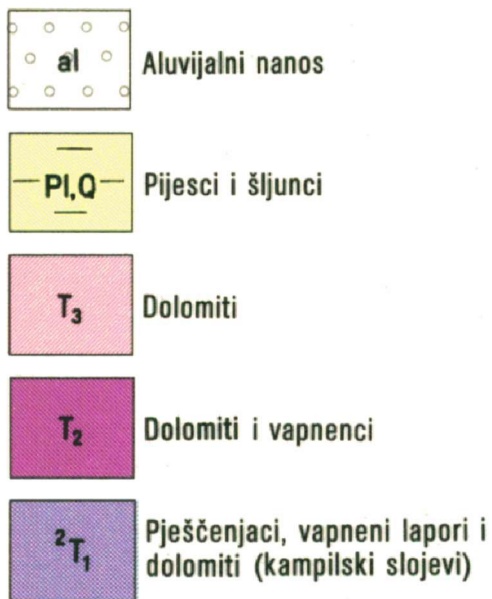
Hrvatsko Žarište administrativno pripada Općini Krnjak, no smješteno je listu Slunj, Osnovne geološke karte SFRJ (Galić, Bohanek, Farkaš, Pavičić, Duić, Borojević Šoštarić, Garašić, Brenko, Bilić, Kurevija, & Macenić, 2024). Ovo područje bogato je mineralnim sirovinama koje su značajne za lokalno gospodarstvo, te je karakterizirano složenim strukturnim sklopom s raznovrsnim geološkim strukturama, od kojih se ističu rasjedi i bore različitih orijentacija. Najstarije naslage na području Slunja potječu još iz paleozoika a predstavljene su pješčenjacima, škriljalcima, te konglomeratima.

Donji trijas obilježen je tinjastim pješčenjacima, oolitičnim vapnencima i dolomitima, srednji dolomitima i vapnencima, dok gornji trijas karakteriziraju karbonatne naslage, najčešće dolomita. Također, zastupljeni su sedimenti donje i gornje krede koji su predstavljeni različitim tipovima vapnenaca.

Hrvatsko Žarište je potencijalno ležište u kojem je zabilježena pojava tehničko-građevnog kamena. Ležište se nalazi u karbonatnim srednjetrijaskim T<sub>2</sub> naslagama koje su izgrađene najvećim dijelom od karbonatnih stijena. Od karbonatnih stijena prevladava dolomit koji time predstavlja najvažniju mineralnu sirovinu u području Hrvatskog Žarišta. Također prisutan je i vapnenac ali u manjoj mjeri, kao i neke druge mineralne sirovine poput gline, pijeska i šljunka. Naslage T<sub>2</sub> su u kontaktu s pliocen-kvartarnim pijescima i šljuncima na zapadu formiranih tijekom kasnijih geoloških razdoblja, te s aluvijalnim naslagama kvartara na istoku nastalih migracijom rijeka i potoka (Slika 2-2.).



LEGENDA KARTIRANIH JEDINICA



Slika 2-2 OGK, list Slunj s ucrtanim granicama istražnog prostora, M 1:100 000, uvećano M 1:25 000 (Korolija i dr.,1979)

### 2.3. Klimatske i hidrografske značajke

Područje Hrvatskog Žarišta i šire obilježeno je umjereno-kontinentalnom klimom za koju su karakteristična topla ljeta i hladne zime. Prosječna godišnja temperatura je između 10°C i 15°C. Količine oborina na području su značajne i prosječno iznose oko 1000 mm. Najveći

dio oborina pada tijekom proljeća i jeseni. Vjetrovi su zimi hladni, dok ljeti prevladavaju topli.

Osim što su klimatske značajke bitne zbog utjecaja na geološke procese, uključujući eroziju i sedimentaciju, uvelike utječu i na hidrografske značajke.

Hydrografija Hrvatskog Žarišta uključuje mrežu rijeka, potoka i podzemnih voda koji su ključni u oblikovanju terena. U blizini se nalazi nekoliko manjih potoka i izvora koji su dio većeg riječnog sustava. U širem području najznačajnije su rijeke Kupa, Korana, Mrežnica i Dobra koje protječu kroz Karlovačku županiju (Korolija, Živaljević i Simunić, 1981).

## **2.4. Rudarski radovi šireg područja**

Područje Karlovačke županije obilježeno je brojnim eksploatacijskim poljima mineralnih sirovina. U širem području Hrvatskog Žarišta ističe ih se nekoliko (Slika 2-3.).

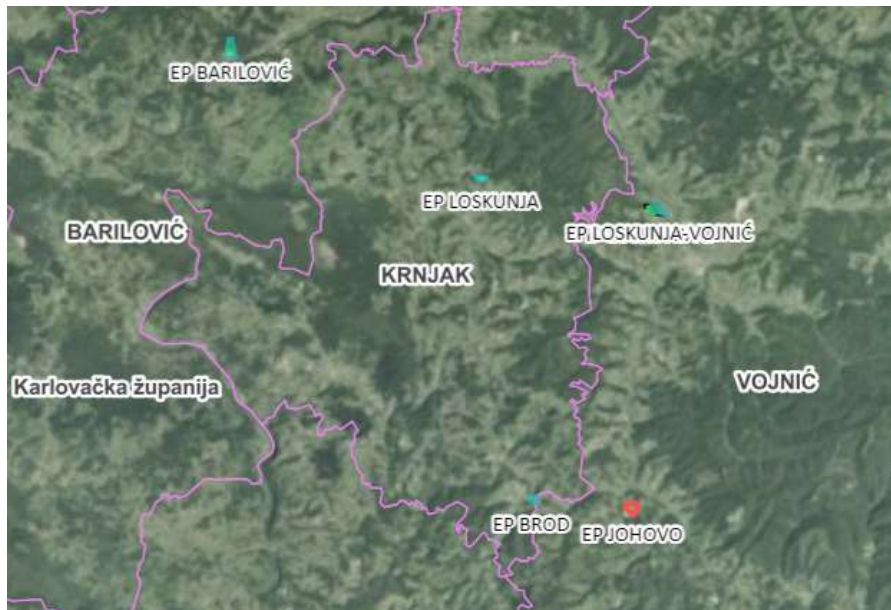
Istražni prostor Loskunja nalazi se dijelom u Općini Krnjak, a dijelom u Općini Vojnić. Na svom istočnom dijelu naslanja se na EP Loskunja-Vojnić.

Eksploatacijsko polje Loskunja-Vojnić aktivno je eksploatacijsko polje tehničko-građevnog kamena dolomita koje se nalazi u srednje do gornjotrijaskim T<sub>2,3</sub> naslagama.

Eksploatacijsko polje Loskunja nalazi se u Općini Krnjak. Eksploatiraju se karbonatne stijene koje su sastavljene od minerala dolomita i nastale kasnodijagenetskom dolomitizacijom marinskih vapnenaca.

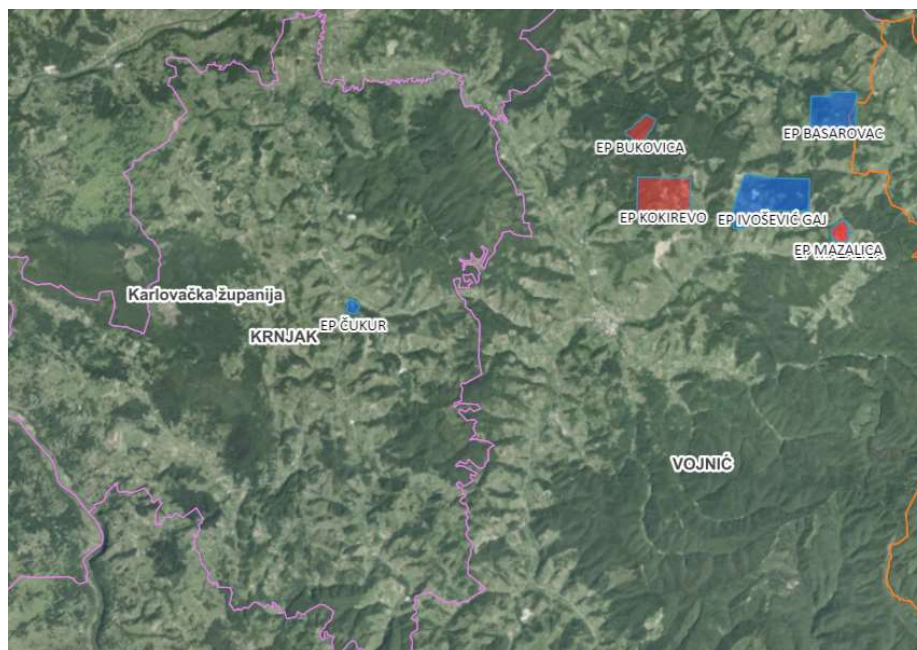
Eksploatacijsko polje Brod pripada Općini Krnjak u kojemu se eksploatira tehničko-građevni kamen.

Eksploatacijsko polje Johovo također je polje tehničko-građevnog kamena koje se nalazi u Općini Vojnić.



**Slika 2-3** Prikaz aktivnih eksploatacijskih polja u širem području Hrvatskog Žarišta, (JISMS,2024)

Također, u širem području postoji i nekolicina neaktivnih i brisanih eksploatacijskih polja (Slika 2-4.). Neaktivna eksploatacijska polja su: eksploatacijsko polje kremenog pijeska Basarovac, polje ciglarske gline Ivošević-Gaj i polje tehničko-građevnog kamena dolomita Čukur, dok su brisana: eksploatacijsko polje rude željeza Bukovica, polje ciglarske gline Kokirevo i polje kremenog pijeska i gline Mazalica.



**Slika 2-4** Prikaz neaktivnih i brisanih eksploatacijskih polja u širem području Hrvatskog Žarišta, (JISMS,2024)

### 3. 3D MODELIRANJE

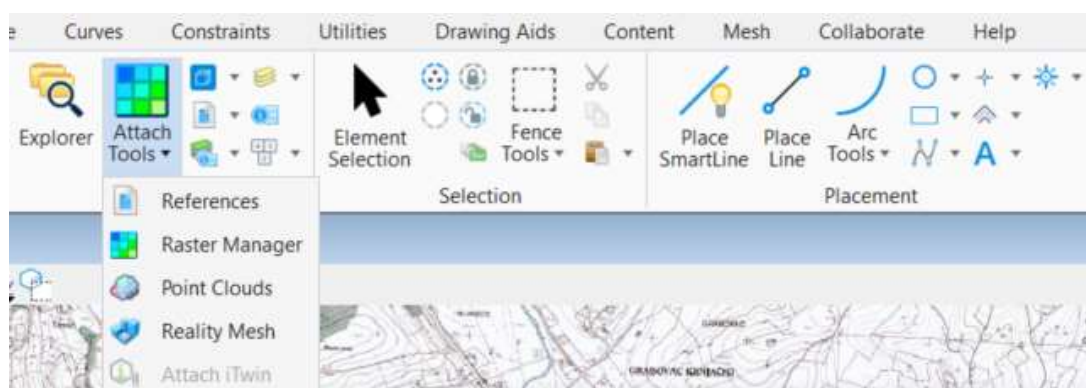
Kao što je već spomenuto razvoj tehnologije uvelike je unaprijedio metode geoloških istraživanja, te projektiranje izvođenja rudarskih radova na ležištima mineralnih sirovina. Osim stvaranja trodimenzionalnih modela potencijalnih ili već postojećih ležišta i time bolje vizualizacije istih, uz 3D modeliranje omogućena je analiza bušotinskih podataka, izračun obujma i opsega ležišta, procjena kvalitete i količine mineralnih sirovina, te simulacija rudarskih procesa. Time se povećava efikasnost eksploatacije, smanjuju troškovi, povećava sigurnost, te se minimizira utjecaj na okoliš.

Zbog preciznije obrade geografskih informacija prvo je potrebno vektorizirati topografsku kartu, odnosno pretvoriti raster u vektorski format. To se može obaviti na nekoliko načina: ručno, skeniranjem rastera ili automatizirano pomoću algoritama. Ovo je temeljni korak prije izrade trodimenzionalnog modela terena.

#### 3.1. Umetanje topografske karte

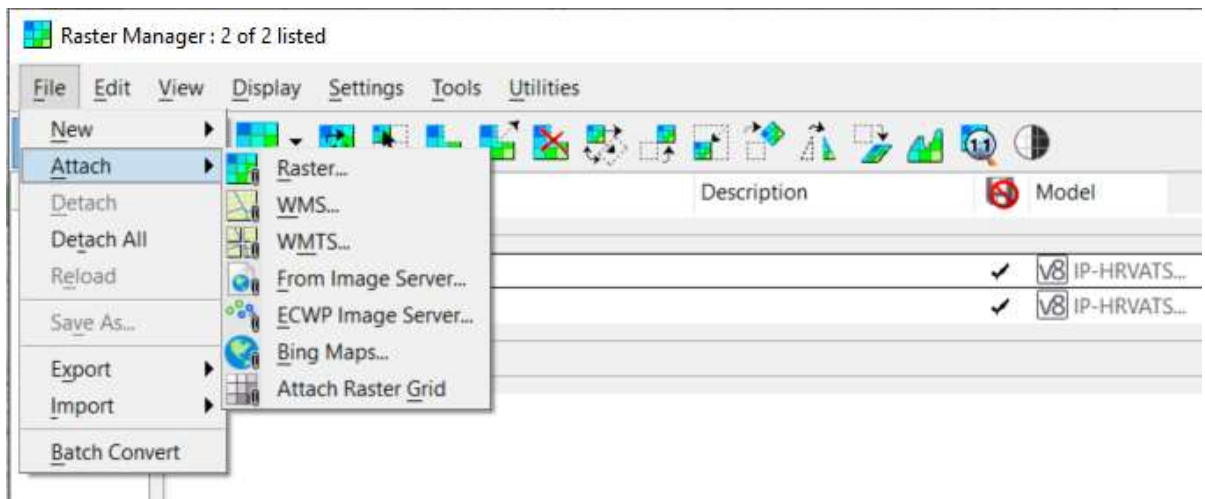
Tijekom izrade 3D modela istražnog prostora „Hrvatsko Žarište“ korištena je osnovna geološka karta, list Slunj, te topografska karta iz preglednika WebGIS Geoportal, Državne geodetske uprave.

U računalnom programu postavlja se topografska karta pomoću naredbe „*Attach Tools*“ → „*Raster Manager*“ (Slika 3-1.). Pokretanjem podprograma „*Raster Manager*“ otvara se prozor u kojemu se naredbom „*File – Attach – Raster*“ učitava topografska karta u inicijalnu datoteku (slika 3-2.).

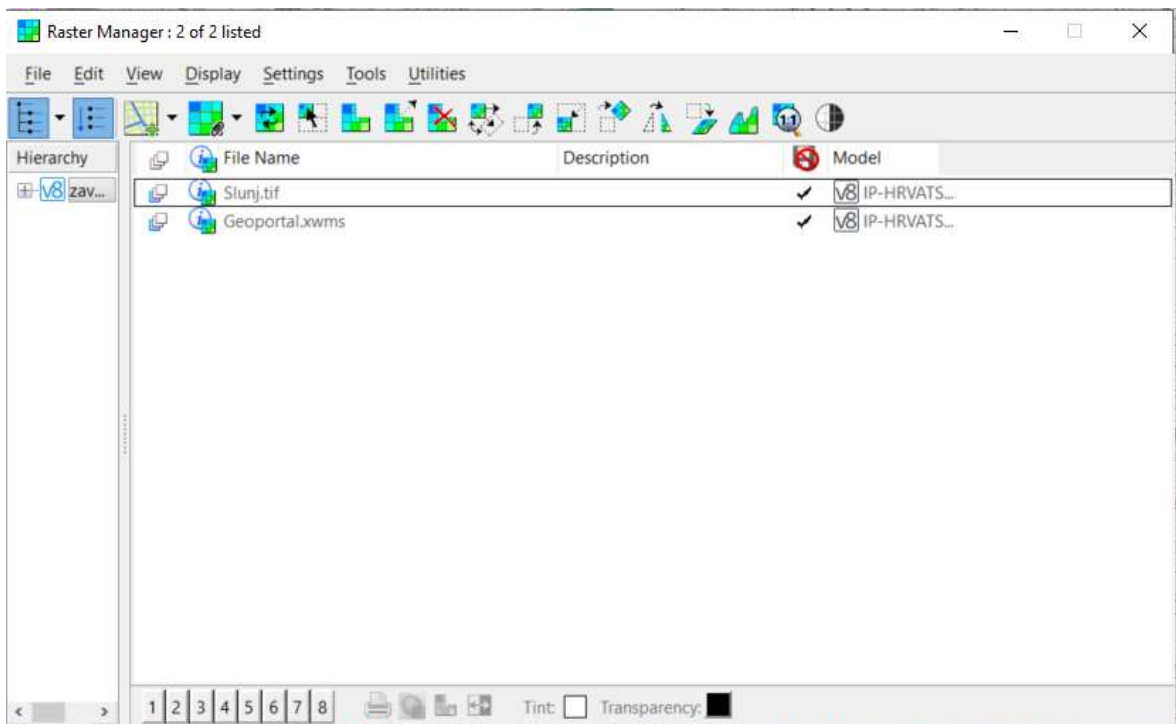


Slika 3-1 Prikaz padajućeg izbornika „*Attach tools*“





Slika 3-2 Prikaz naredbe „Raster Manager“



Slika 3-3 Prikaz priloženih rastera u podprogramu „Raster Manager“

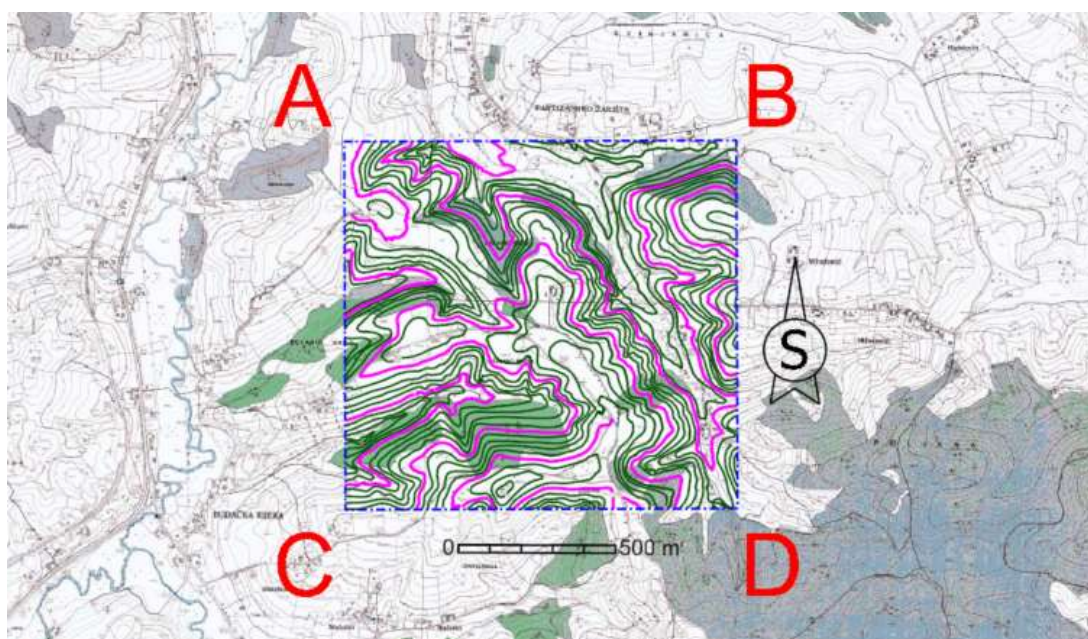
### 3.2. Vektorizacija topografske karte

Nakon učitavanja topografske karte potrebno je iscrtati slojnice, odnosno vektorizirati sve visinske elemente s karte. Vektorizacija topografske karte izvodi se iscrtavanjem crta po slojnicama karte naredbom „Place point or stream curve“. Naredba se nalazi na glavnoj izbornoj traci unutar skupine alata „Placement“. Pronalazak potrebne naredbe detaljno je prikazan na slici 3-4.



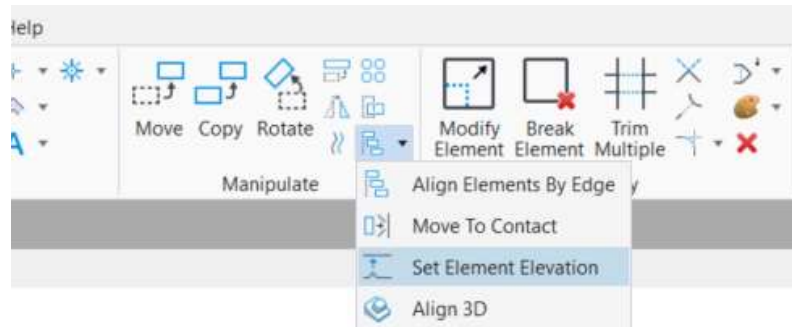
Slika 3-4 Prikaz naredbe „Place line or Stream Curve“

Unutar granica istražnog prostora „Hrvatsko Žarište“ iscrtane su glavne (ljubičasta) i sporedne (zelena) slojnice koje su prikazane na slici 3-5.



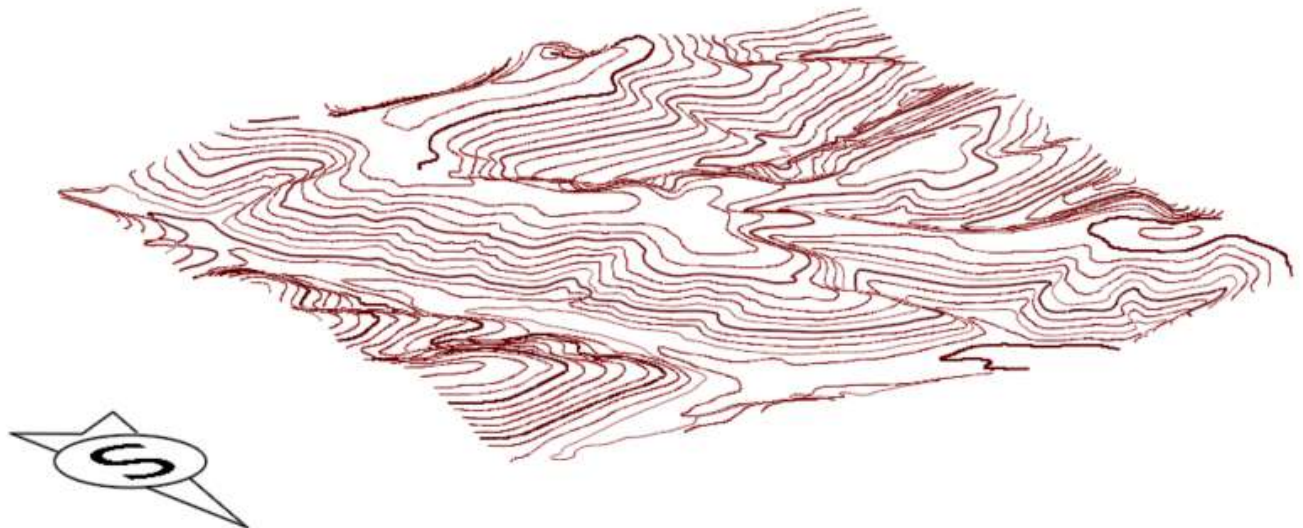
Slika 3-5 Topografska karta s iscrtanim slojnicama, M 1:25 000

Time je završena izrada 2D modela terena koju je nadalje potrebno transformirati u 3D model. Transformacija iz 2D u 3D model provodi se naredbom „*Set Element Elevation*“ (Slika 3-6.). Kao što sama naredba kaže, odabrani elementi, u ovom slučaju slojnice, postavljaju se na svoju stvarnu visinu u prostoru, odnosno dodaje se treća dimenzija.



**Slika 3-6** Prikaz naredbe „*Set Element Elevation*“

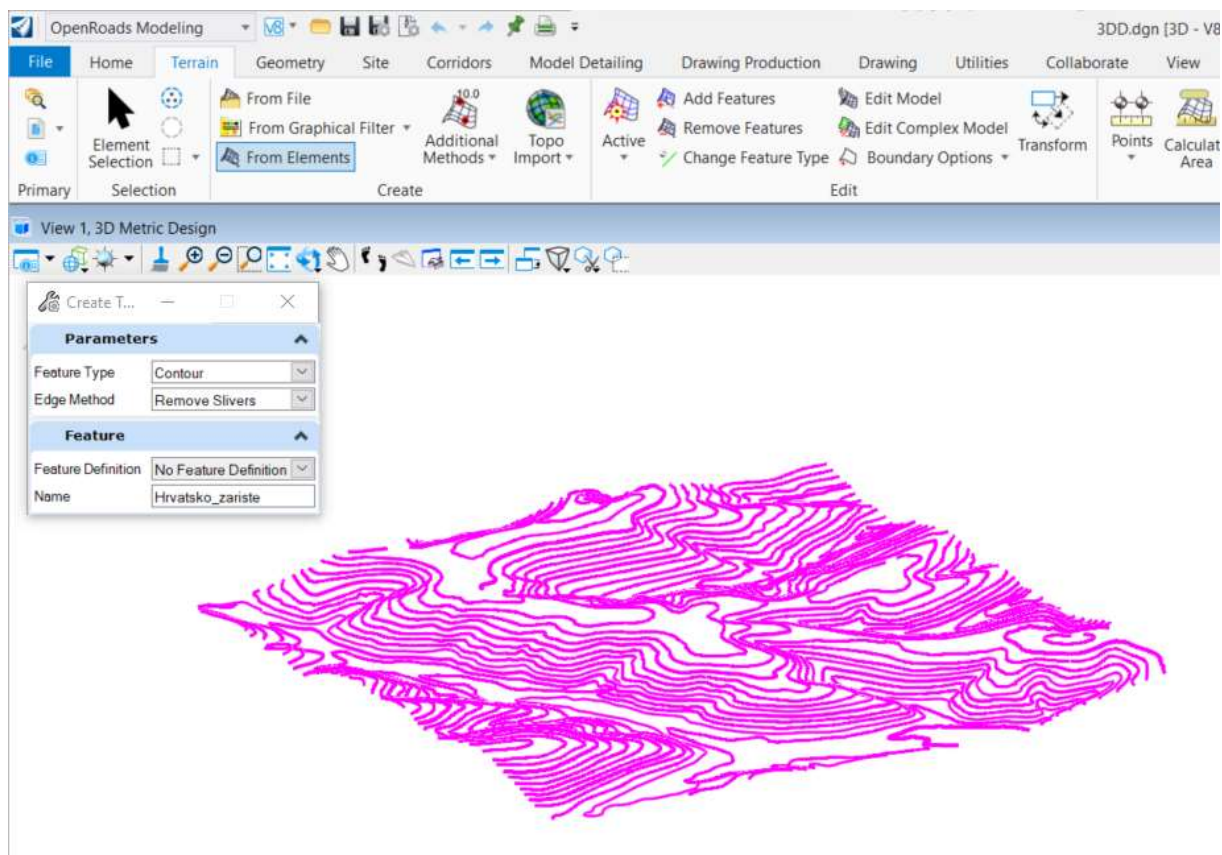
Nakon što se sve slojnice postave na njihove visine dobiva se 3D prikaz slojnica istražnog prostora „Hrvatsko Žarište“ (Slika 3-7.), odnosno grafički model terena.



**Slika 3-7** Prikaz slojnica istražnog prostora „Hrvatsko Žarište“

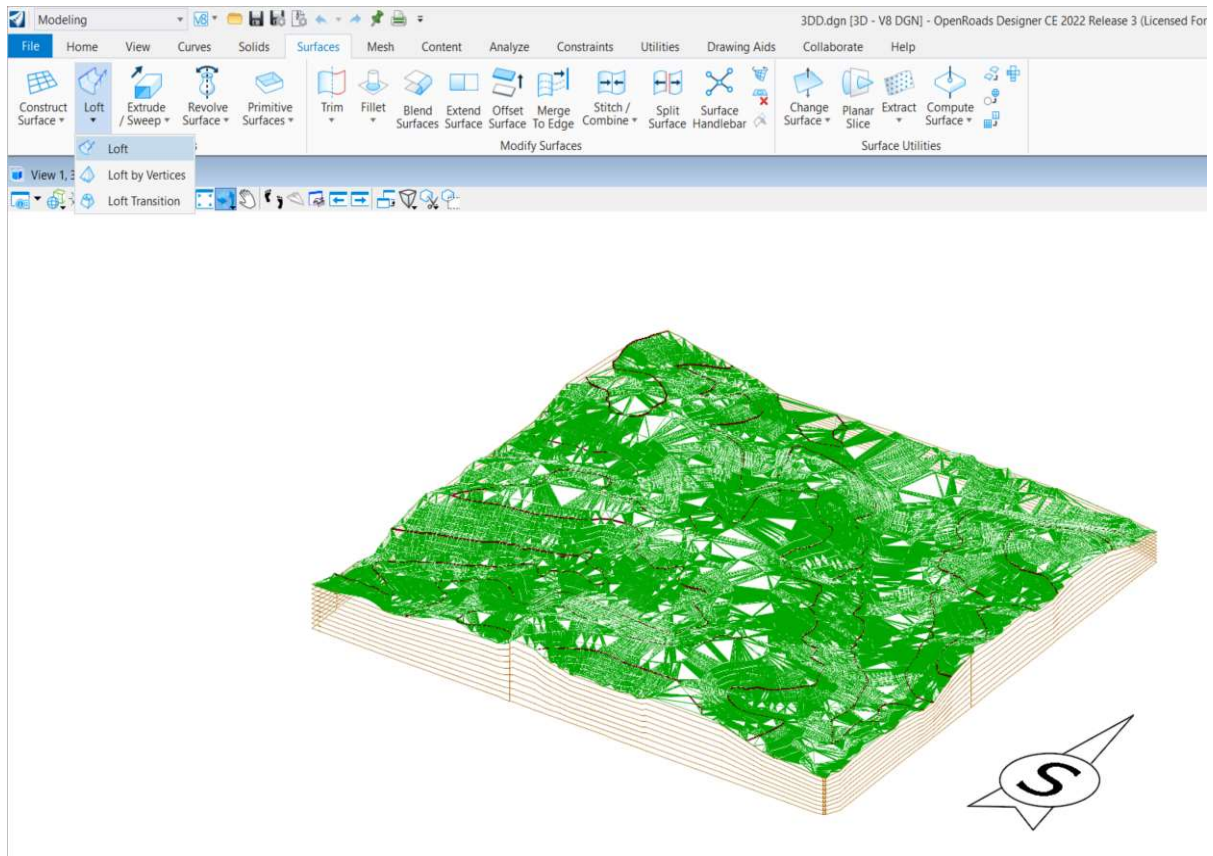
### 3.3. Triangulacija 3D modela terena

Triangulacija je dijeljenje površine ili ravninskog poligona u mrežu trokutova pri čemu je svaka stranica mreže zajednička dvjema susjednim trokutovima. Triangulacija je u stvari skup trokutova koji pomoću spomenutih crta i točaka formiraju površinu. Konačni broj trokutova definira konačnu površinu (Galić i Farkaš, 2011). Triangulacija se izvodi tako da prvo odabere modul „*Workflow*“ odnosno odabere se radno okruženje (*Set Active Workflow*) modula „*Open Roads Modeling*“ u kojem se praktično generira računalni model. Kako bi se izvela triangulacija grafičkog modela, potrebno je označiti sve slojnice terena koje su prethodno postavljene na njihove pripadajuće visine. Za triangulaciju elemenata koristi se naredba „*From Elements*“ čijim se odabirom otvara izbornik gdje se izabiru odgovarajući parametri. Za „*Feature Type*“ odabire se parametar *Contours* s obzirom da se radi o slojnicama (ili „*Break line*“ ako se radi o različitim elementima), a za „*Edge Method*“ odabire se „*Remove Slivers*“. U izborniku se također može navesti naziv trianguirane površine koja je nazvana „*Hrvatsko\_Žarište*“. Na slici 3-8. prikazan je postupak triangulacije.



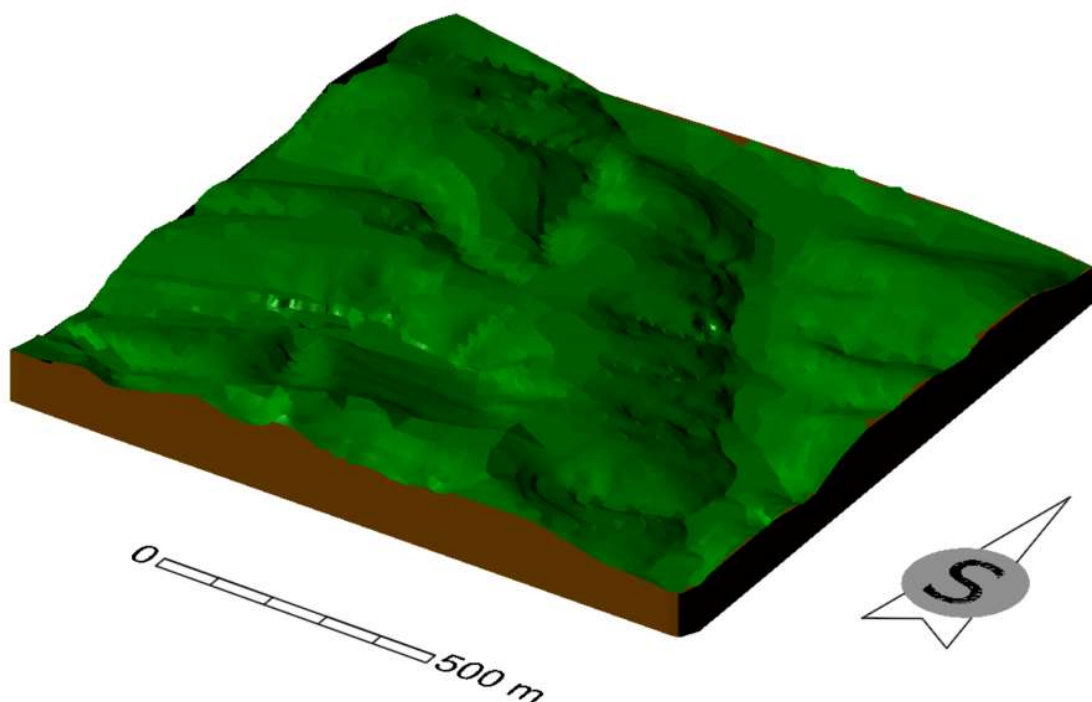
Slika 3-8 Prikaz označenih slojnica za triangulaciju

Nakon triangulacije površine potrebno je napraviti blok model. Najprije se u modulu „*Open Roads Modeling*“ odabere alatna traka „*Terrain*“ te se naredbom „*Boundary Options*“ → „*Add Boundary*“, postavlja rub modela (perimeter). Dobiveni okvir se kopira i postavlja na nižu kotu koristeći ponovno naredbu „*Set Element Elevation*“. Kopirani okvir modela je postavljen 100 m ispod originalnog, gornjeg okvira. Iz modula „*Open Roads Modeling*“ prelazi se u modul „*Modeling*“ i na glavnom izborniku odabire se alat „*Surfaces*“ → „*Loft*“. Naredbom „*Loft*“ izrađuje se površina između dvije krivulje ili poligona tako da se kursorom označi originalni, gornji a zatim donji (spušten) okvir. Na slici 3-9. prikazan je opisani postupak i triangulirana površina. Ovdje je bitno naglasiti da se kreiranje ploha između dvije krivulje ili poligona može izvoditi i drugim alatima, ovisno o željenom efektu.



Slika 3-9 Prikaz naredbe „*Loft*“ i triangulirane površine, u žičnom obliku

Kako bi računalni model izgledao preglednije, odnosno estetski dopadljivije potrebno je izvesti tzv. renderiranje (zapunjavanje) površine. To se izvodi odabirom na „*Display Styles*“ → „*Smooth*“. Završni izgled terena prikazan je na slici 3-10.



Slika 3-10 Prikaz 3D modela terena, u renderiranom obliku

## 4. IZRADA MODELA LEŽIŠTA I ISTRAŽNIH RADOVA

### 4.1. Kategorizacija rezervi

Prema Pravilniku o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina (NN, broj 138/22) utvrđene rezerve tehničko-građevnog kamena dijele se, prema stupnju istraženosti, u 3 kategorije: A, B i C<sub>1</sub>. Dijele se prema sljedećim uvjetima:

- 1) u kategoriju A uvrštavaju se rezerve tehničko-građevnog kamena utvrđene istražnim radovima u granicama najvećih udaljenosti predviđenih za kategoriju A i određenu skupinu
- 2) u kategoriju B uvrštavaju se rezerve tehničko-građevnog kamena utvrđene istražnim radovima u granicama najvećih udaljenosti predviđenih za kategoriju B i određenu skupinu i
- 3) u kategoriju C<sub>1</sub> uvrštavaju se rezerve tehničko-građevnog kamena utvrđene istražnim radovima u granicama najvećih udaljenosti predviđenih za kategoriju C<sub>1</sub> i određenu skupinu

Prema složenosti građe, debljini, značajkama i kakvoći ležišta tehničko-građevnog kamena, razvrstavaju se u dvije skupine:

- 1) u prvu skupinu uvrštavaju se ležišta tehničko-građevnog kamena jednostavne građe, postojane debljine i ujednačene kakvoće koja su neznatno poremećena i
- 2) u drugu skupinu uvrštavaju se ležišta tehničko-građevnog kamena složene građe, promjenljive debljine i neujednačene kakvoće koja su tektonski znatnije poremećena

Istražni prostor „Hrvatsko Žarište“ svrstava se u prvu skupinu ležišta tehničko-građevnog kamena.

#### 4.2. Istraživanje ležišta

U tablici 4-1. prikazane su najveće udaljenosti između istražnih radova za pojedinu kategoriju.

**Tablica 4-1** Maksimalne udaljenosti između istražnih radova

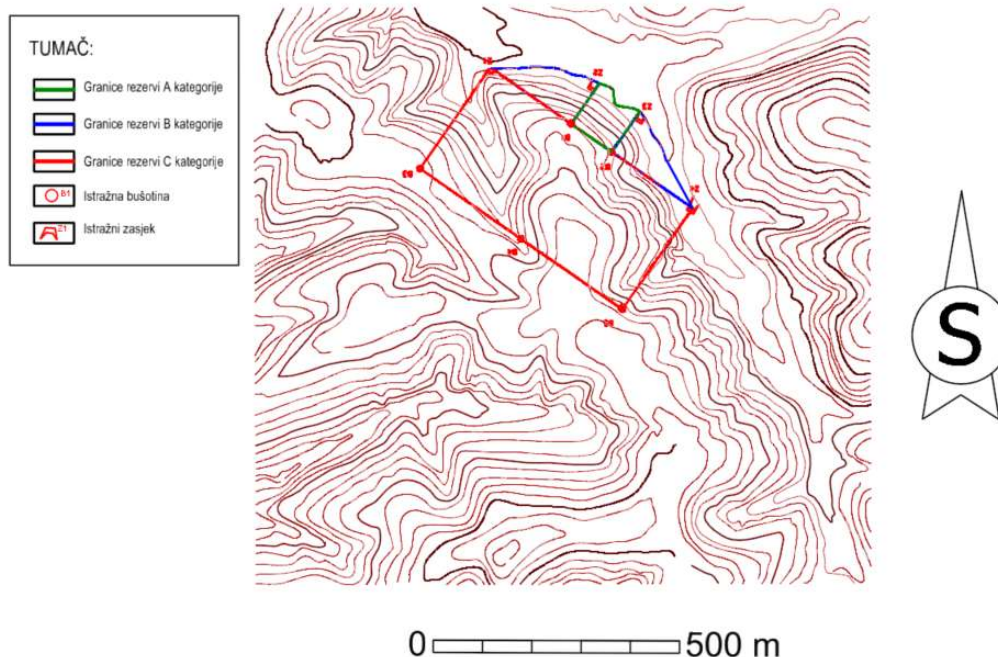
Skupine ležišta	Maksimalna udaljenosti između istražnih radova		
	Kategorija A	Kategorija B	Kategorija C
Prva skupina	100	200	300
Druga skupina	60	120	240

Istraživanje ležišta provest će se izradom:

- 4 istražna zasjeka na razini 155 m. n.v. i
- 5 istražnih bušotina do osnovne ravnine, na 155 m. n.v.

Provedbom istražnih radova steći će se uvjeti za utvrđivanje granica rezervi A, B, i C<sub>1</sub> kategorije.

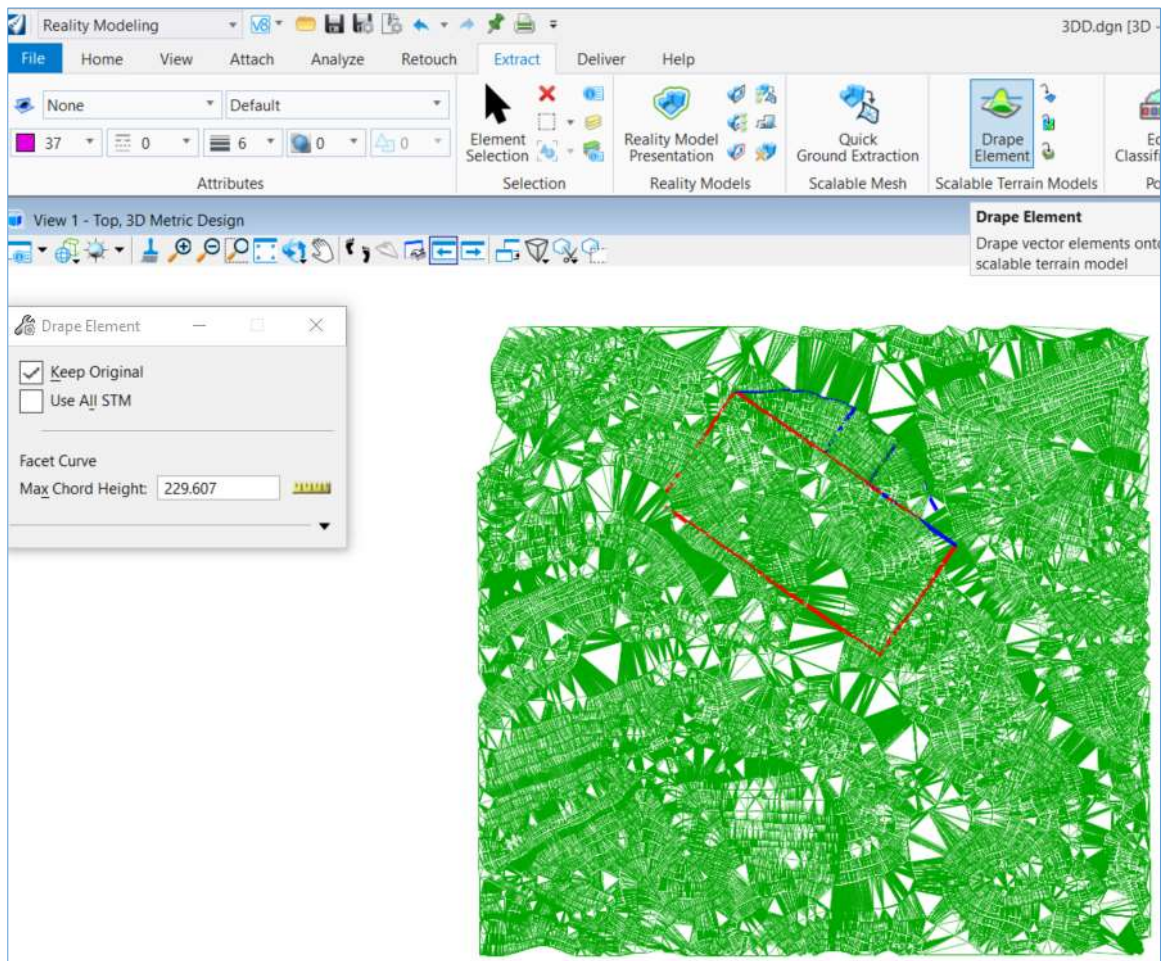
Na slici 4-1. prikazane su nacrtane granice rezervi koje je potrebno „zalijepiti na teren“.



**Slika 4-1** Granice rezervi u 2D ravnini, M 1:15 000

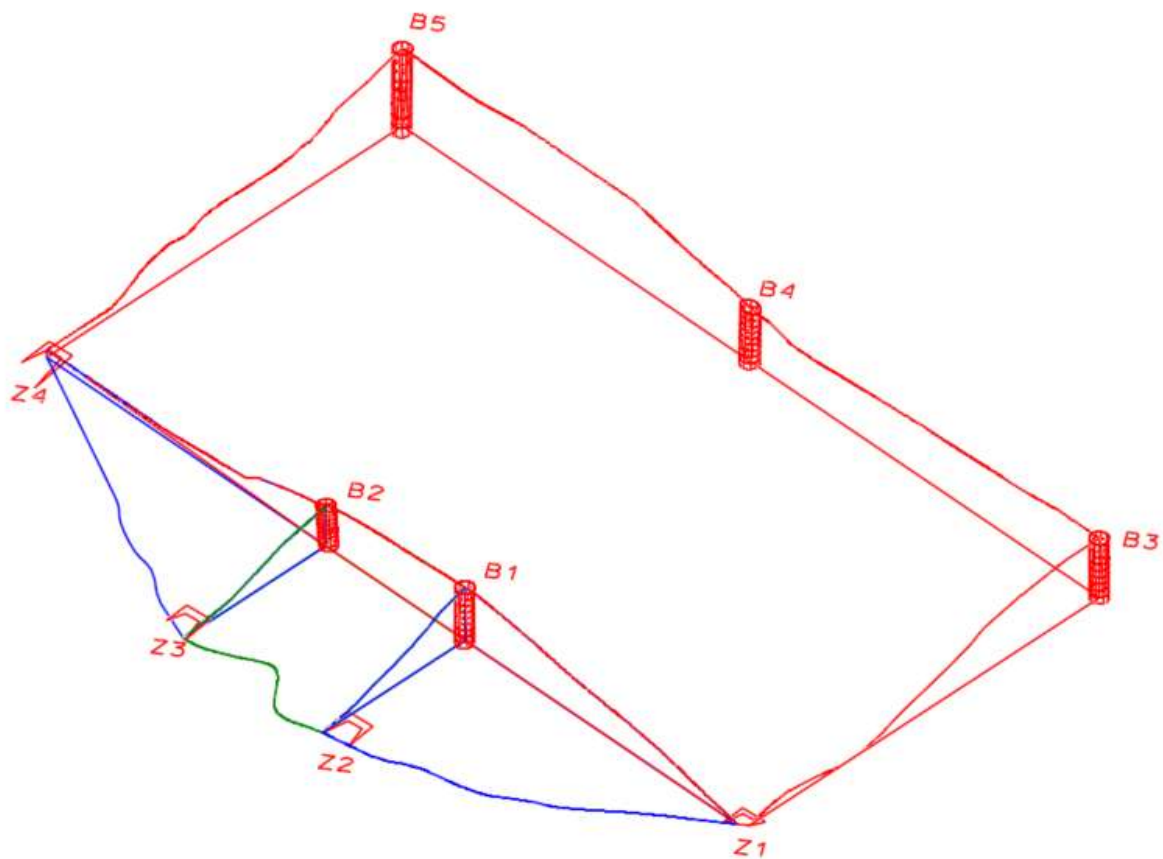
Osnovna slojnica na kojoj započinje istraživanje ležišta nalazi se na 155 m. Kako bi mogli izraditi 3D model ležišta potrebno je granice postaviti na površinu terena. To omogućava naredba „*Drape Element*“ koja se nalazi u modulu „*Reality Modeling*“. Na glavnoj alatnoj traci odabire se „*Extract*“ → „*Drape Element*“. Prema postupku, računalni program traži da se u prvom koraku definira određena triangulirana površina „*STM*“ a u drugom koraku označi (*selektira*) element koji se želi postaviti na površinu terena. U ovom slučaju odabire se triangulirana površina terena a zatim se odabire pojedinačni element određene granice rezervi. Postupak se ponavlja sve dok se svi elementi koji predstavljaju granice rezervi ne postave na površinu terena u računalnom modelu. Na slici 4-2. prikazan je postupak podizanja granica na trianguliranu površinu terena.





**Slika 4-2** Prikaz naredbe „*Drape Element*“ i postavljenih granica rezervi

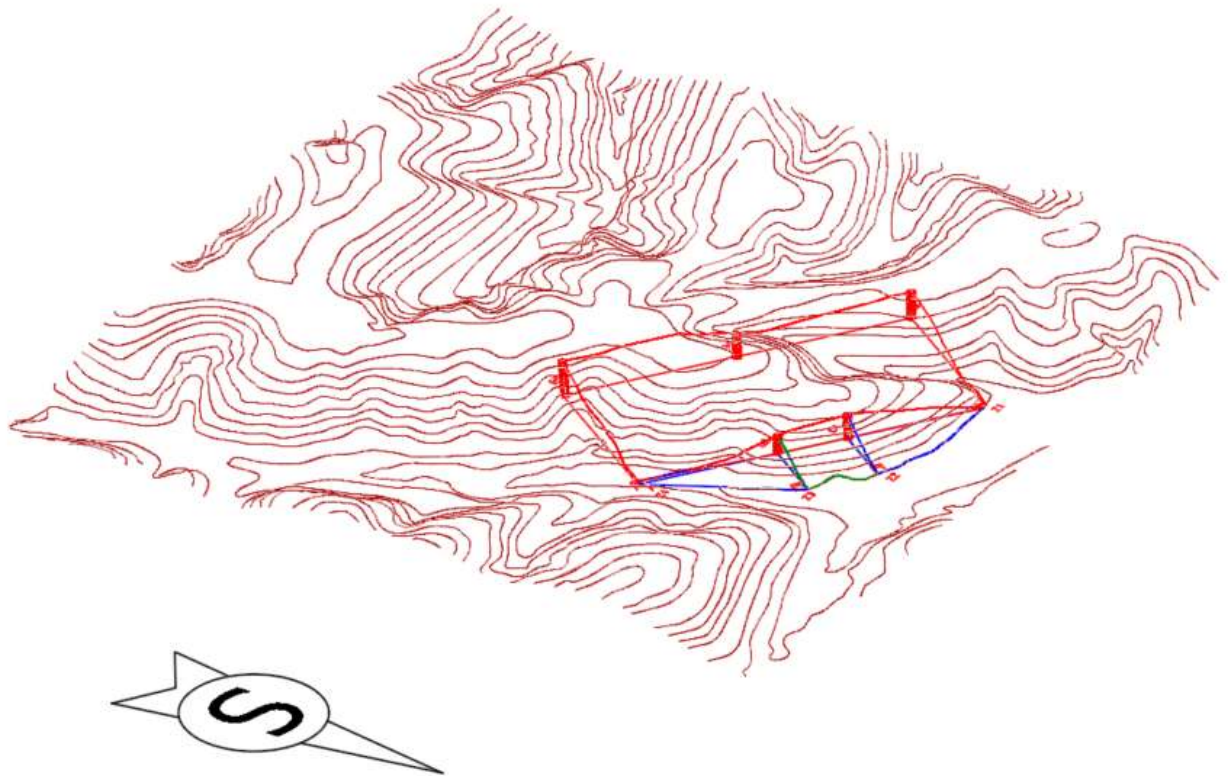
Granice rezervi nakon što su „podignute“ na površinu prikazane su na slici 4-3., a izgled istražnih radova i slojnice na slici 4-4.



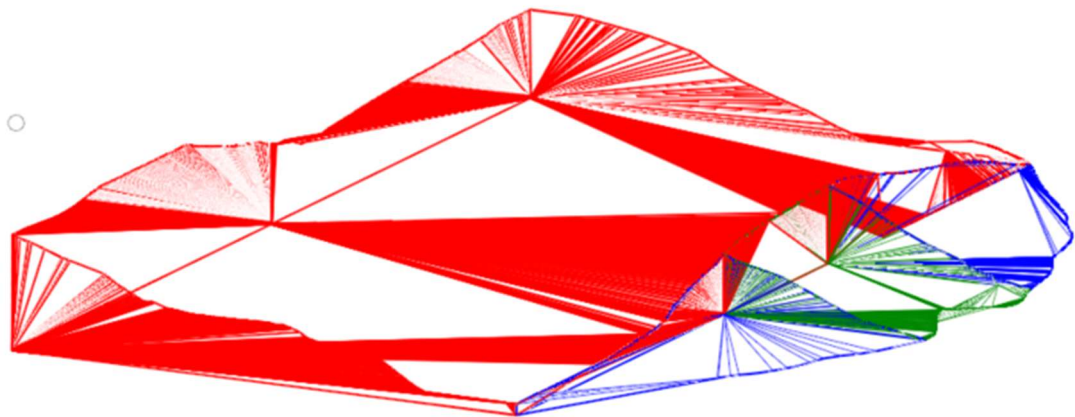
**TUMAČ:**

-  Granice rezervi A kategorije
-  Granice rezervi B kategorije
-  Granice rezervi C kategorije
-  Istražna bušotina
-  Istražni zasjek

**Slika 4-3** Prikaz granica rezervi i istražnih radova

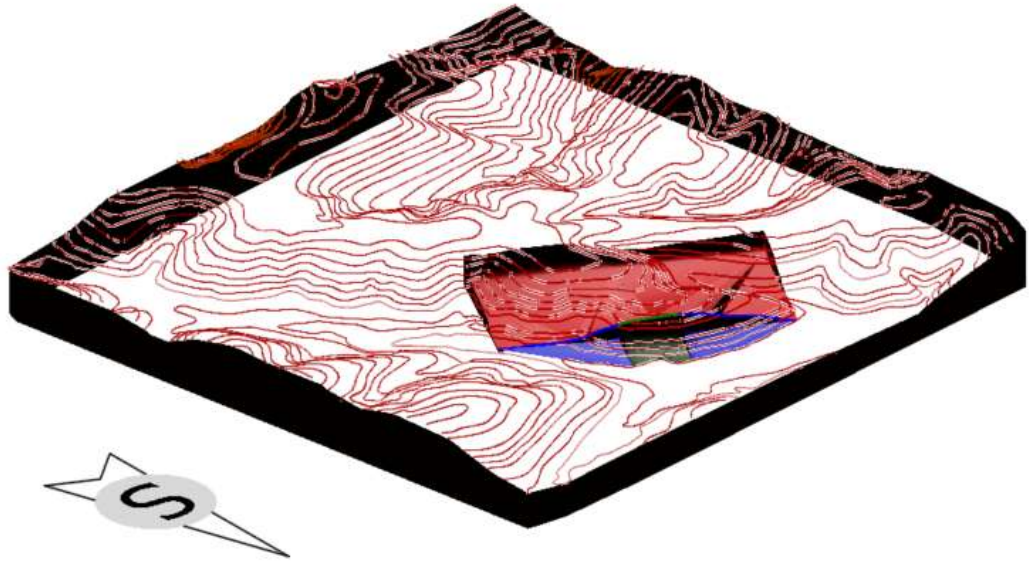


**Slika 4-4** Prikaz granica rezervi, istražnih radova i slojnica istražnog prostora „Hrvatsko Žarište“  
 Kao i površina terena, model rezervi trianguliran je naredbom „From elements“.  
 Triangulirani model rezervi prikazan je u žičnom obliku na slici 4-5.



**Slika 4-5** Triangulirani model kategorija rezervi, žični oblik („Wireframe“)

Radi boljeg pregleda, model granica rezervi može se renderirati i prikazati u „Display Style-u“, promjenom oblika iz „Wireframe“ u „Smooth“. Renderirani prikaz modela rezervi nalazi se na slici 4-6.



Slika 4-6 Prikaz renderiranog modela kategorija rezervi

### 4.3. Izrada završne kosine kopa

Prema mogućnosti eksploatacije kategorije rezervi razvrstavaju se na bilančne i izvanbilančne.

Bilančne rezerve su rezerve koje se mogu ekonomski opravdano eksploatirati a izvanbilančne rezerve su rezerve koje se iz određenih razloga (ekonomskih, sigurnosnih, okolišnih i dr.) ne mogu eksploatirati.

Tehničko-građevni kamen se skoro u 100% slučajeva eksploatira površinskim kopom, gdje granicu između bilančnih i izvanbilančnih rezervi predstavlja završna kosina kopa.

Stoga se za razlikovanje (diferenciranje) bilančanih od izvanbilančanih rezervi izrađuje završna kosina ležišta.

Kako bi izradili završnu kosinu potrebno je odrediti kut nagiba završne kosine  $\alpha_z$  koji u ovom slučaju iznosi  $60^\circ$ . Iz poznate vrijednosti  $\alpha_z$  izračunava se projekcija završne kosine (x) na horizontalnoj ravnini za određenu visinu terena. Izračun se izvodi preko sljedeće formule:

$$\tan \alpha_z = \frac{\Delta h}{x} \rightarrow x = \frac{\Delta h}{\tan \alpha_z} \quad (1)$$

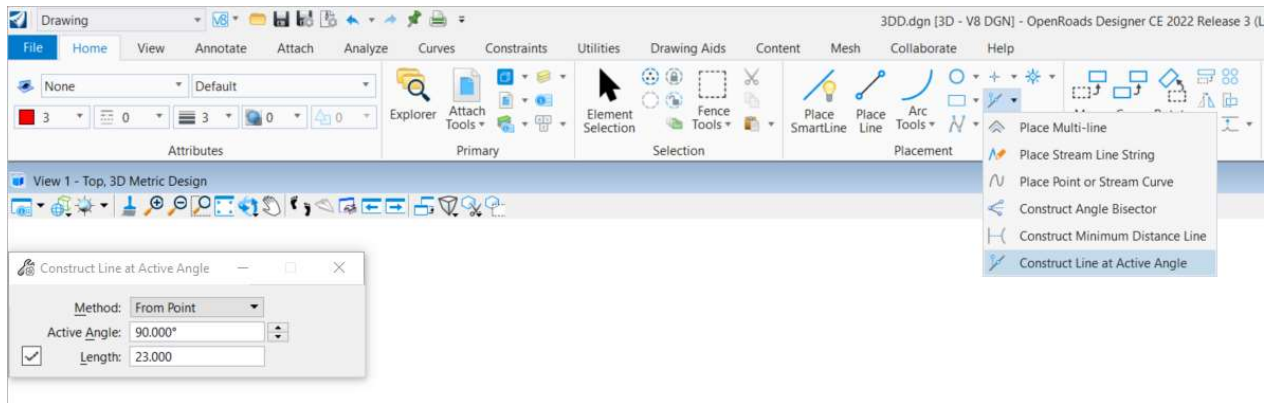
Gdje je:

$\alpha_z$  – kut završne kosine,

$\Delta h$  – visinska razlika između terena i osnovne ravnine utvrđivanja rezervi (155 m), m

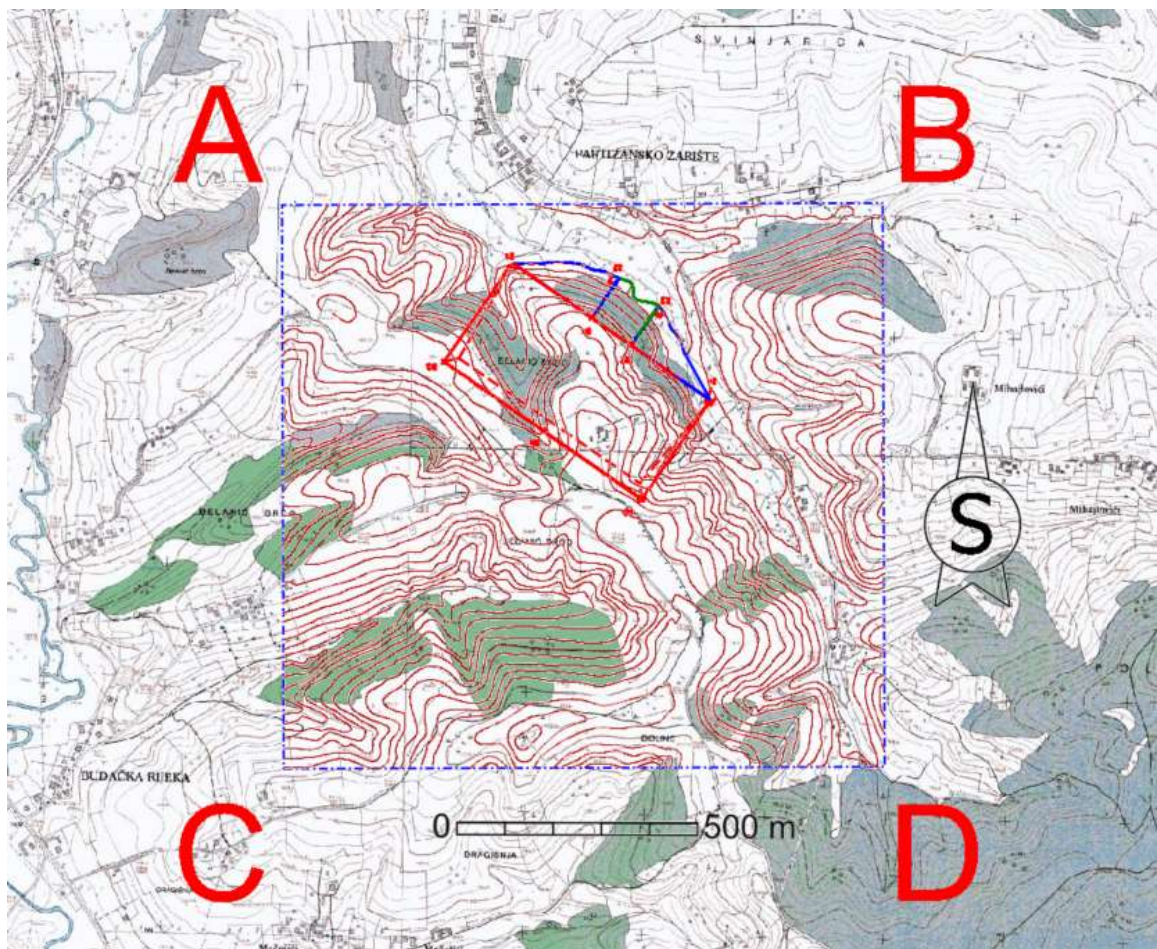
x – horizontalna projekcija kosine, m

Kad se izračuna vrijednost horizontalne projekcije kosine (x) može se iscrtati donji rub završne kosine. U ovom slučaju za iscrtavanje donjeg ruba kosine potrebna je samo granica C<sub>1</sub> rezervi. Naredbom „*Construct Line at Active Angle*“ ucrtavaju se pomoćne crte okomito na odabranu stranicu C<sub>1</sub> rezervi. Duljina pomoćnih crta je promjenjiva ovisno o visinskoj razlici te iznosi maksimalno 23,09 m, na poziciji najveće visinske razlike, a minimalno je 0 m na osnovnoj razini 155 m n.v. Postupak iscrtavanja pomoćnih linija prikazan je na slici 4-7.



Slika 4-7 Prikaz naredbe „Construct Line at Active Angle“

Postupak iscrtavanja pomoćnih crta ponavlja se za svaku stranicu  $C_1$  kategorije. Paralelne crte nadalje spajamo naredbom „Place Line“. Spojene crte predstavljaju donji rub završne kosine. Pomoćne crte se brišu i dobiva se konačni izgled završne kosine (Slika 4-8.).



Slika 4-8 Prikaz granica rezervi i završne kosine ležišta „Hrvatsko žarište“, M 1:15 000

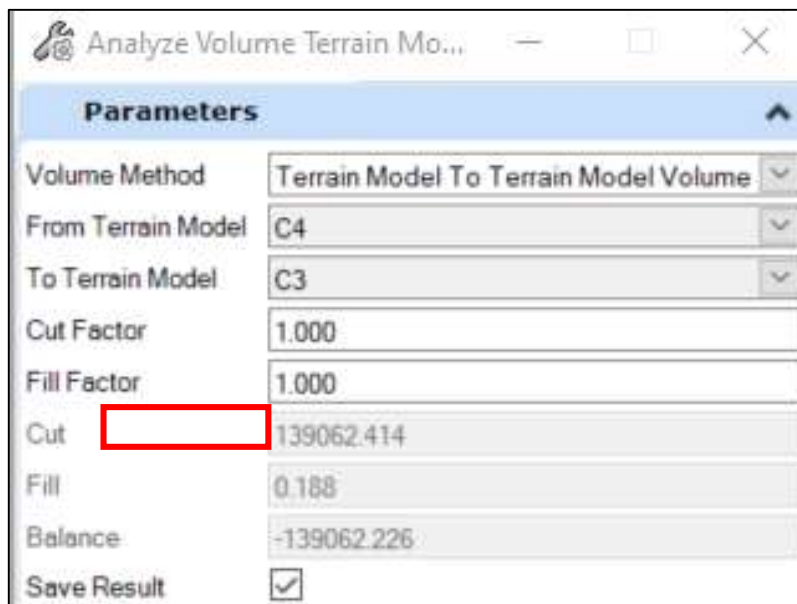
## 5. PRORAČUN REZERVI LEŽIŠTA

Proračun obujma ležišta tehničko-građevnog kamena obavljen je dvjema metodama: metodom računalnog modeliranja i metodom srednje aritmetičke vrijednosti.

### 5.1. Metoda računalnog modeliranja

Metoda računalnog modeliranja (MRM) suvremena je metoda izračuna obujma. Za metodu računalnog modeliranja potrebni su triangulirani modeli terena te kategorija rezervi A, B i C<sub>1</sub>. Ovom metodom računalo zapravo izračunava integral između trianguliranih trokuta. Odnosno, računa se obujam koji zatvaraju nasuprotni trokuti. Zbrajanjem ili oduzimanjem vrijednosti pojedinih vrijednosti obujma dobije se ukupni obujam između pojedinih ploha (Galić, Farkaš. 2011.).

Postupak kreće tako da se „*Workflow*“ postavlja u „*Open Roads Modeling*“. Naredbom „*Terrain*“ → „*Volumes*“ → „*Analyze Volume*“ otvara se izbornik za proračun obujma između dvije triangulirane površine (Terrain model). Izbornik je prikazan na slici 5-1.



Slika 5-1 Izbornik naredbe „*Analyze Volumes*“

Postupak proračuna provodi se između terena i svakog pojedinačnog modela rezervi. Dobiveni rezultati su upisani i prikazani u tablici 5-1.

**Tablica 5-1** Prikaz rezultata proračuna obujma ležišta MRM-om

Kategorija	Obujam, m <sup>3</sup>
A	145 628
B	201 709
C <sub>1</sub>	3 220 955
<b>Ukupno</b>	<b>3 568 292</b>

## 5.2. Metoda srednje aritmetičke vrijednosti

Metodom srednje aritmetičke vrijednosti (MSAV) računa se obujam kategorija rezervi prema formuli:

$$O = P_B \cdot d_{SR} \quad (2)$$

Gdje je:

$P_B$  – površina baze ležišta

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

$$d_{SR} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (3)$$

Gdje je:

$d_i$  – dubina i-te bušotine

$n$  – ukupan broj bušotina

Dubinu i-te bušotine očitamo iz programa, odnosno gledamo razliku donje i gornje slojnice.

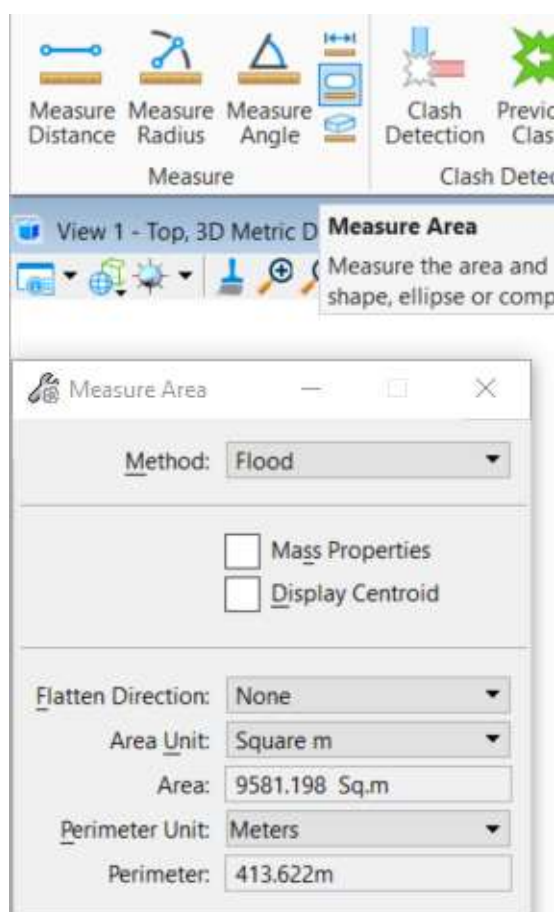
U tablici 5-2 prikazane su izračunate srednje debljine ležišta.



**Tablica 5-2** Prikaz izračuna srednjih debljina ležišta,  $d_{sr}$

<b>A</b>	$d_{srA} = \frac{B_1 + B_2 + Z_2 + Z_3}{n} = \frac{35 + 27 + 1 + 1}{4} = 16 \text{ m}$
<b>B</b>	$d_{srB} = \frac{B_1 + Z_1 + Z_2 + B_2 + Z_3 + Z_4}{n} = \frac{35 + 1 + 1 + 27 + 1 + 1}{6} = 11 \text{ m}$
<b>C</b>	$d_{srC} = \frac{B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + Z_1 + Z_4}{n} = \frac{35 + 27 + 40 + 36 + 52 + 1 + 1}{7} = 27,4 \text{ m}$

Površina baze ležišta očitava se pomoću naredbe „*Measure Area*“. Odabirom naredbe otvara se prozor u kojemu se pod „*Method*“ odabire „Flood“ te se označi površina koja se želi očitati. Površina se očitava zasebno za A, B i C<sub>1</sub> kategoriju. Na slici 5-2. prikazana je naredba „*Measure Area*“, dok se u tablici 5-3. nalaze očitane površine i izračunan obujam za određenu kategoriju.



**Slika 5-2** Prikaz naredbe „*Measure Area*“

**Tablica 5-3** Prikaz očitanih površina i izračunanih obujmova

Kategorija	$P_B, m^2$	$O, m^3$
A	9 581,2	153 299,2
B	21 375,1	235 126,1
C	124 790,2	3 421 747,3
Ukupni obujam ležišta:		3 810 172,6

### 5.3. Usporedba rezultata korištenih metoda

Nakon izračuna obujma preko obje metode možemo usporediti rezultate i analizirati odstupanja. Metodom računalnog modeliranja dobili smo 6,32 % manju vrijednost obujma nego metodom srednje aritmetičke vrijednosti. Ako usporedimo svaku kategoriju zasebno možemo uočiti da je kod A kategorije obujam izračunat MRM 5,3% manji od obujma izračunatog MSAV što je unutar dopuštene granice od 10% propisane za A kategoriju. Kod B kategorije razlika je 14,21% što je unutar dopuštene tolerancije za B kategoriju koja iznosi 20%. Te, kod C1 kategorije razlika je oko 6,2 % što je također unutar dopuštene granice od 30% propisane za C<sub>1</sub> kategoriju. Na temelju dobivenih rezultata možemo zaključiti da su sve razlike unutar dopuštenih granica, čime su rezultati obje metode prihvatljivi. No, važno je spomenuti da MRM metoda pruža preciznije rezultate i bolju procjenu obujma zbog uzimanja u obzir nepravilnosti terena i detaljne analize geometrije. MSAV iako jednostavna, sklonija je podcjenjivanju i precjenjivanju obujma zbog svojih aproksimacija.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu opisana je primjena suvremenih računalnih programa tijekom istraživanja i modeliranja tehničko-građevnog kamena na istražnom prostoru „Hrvatsko Žarište“. Program „*Open Roads Designer*“ omogućava preciznu izradu 3D modela terena vektorizacijom i triangulacijom elemenata čime se dobiva jasniji i bolji prikaz geoloških značajki terena.

Modeliranje istražnog prostora „Hrvatsko Žarište“ izvedeno je pomoću topografske karte preuzete na mrežnoj stranici Državne geodetske uprave ([www.geoportal.dgu.hr](http://www.geoportal.dgu.hr)), te osnovne geološke karte, list Slunj. U programu „*Open Roads Designer*“ iscrtane su slojnice u 2D polju, te su postavljene na određenu visinu i dobiven je grafički 3D model. Triangulacijom slojnica i renderiranjem površine terena dobiven je računalni (generirani) 3D model istražnog prostora „Hrvatsko Žarište“. Prema Pravilniku o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina (NN, broj 138/22) predloženi su istražni radovi i granice rezervi A, B i C<sub>1</sub> kategorije. Pomoću metode računalnog modeliranja i metode srednje aritmetičke vrijednosti napravljen je proračun obujma rezervi. Usporednom rezultata dobivenih metodom računalnog modeliranja i metodom srednje aritmetičke vrijednosti uočena su određena odstupanja koja su unutar propisanih dopuštenih granica. Time se naglašava važnost odabira odgovarajućih tehnika modeliranja i proračuna. Podaci dobiveni ovim završnim radom mogu se nadalje koristiti kao okvir za istraživanje tehničko-građevnog kamena na istražnom prostoru „Hrvatsko Žarište“.

## 7. LITERATURA

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

GALIĆ, I., BOHANEK, V., FARKAŠ, B., PAVIČIĆ, I., DUIĆ, Ž., BOROJEVIĆ ŠOŠTARIĆ, S., GARAŠIĆ, V., BRENKO, T., BILIĆ, Š., KUREVIJA, T., MACENIĆ, M. 2024. *Rudarsko-geološka studija Karlovačke županije*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

KOROLIJA, B., ŽIVALJEVIĆ, T. I ŠIMUNIĆ, A. 1979. *Osnovna geološka karta SFRJ, mjerilo 1:100.000, list Slunj*. Institut za geološka istraživanja Zagreb Savezni geološki zavod Beograd.

KOROLIJA, B., ŽIVALJEVIĆ, T I ŠIMUNIĆ, A. 1981. *Tumač za Osnovnu geološku kartu SFRJ, mjerila 1:100.000, list Slunj*. Institut za geološka istraživanja Zagreb i Geološki zavod Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.

KOVAČEVIĆ, A. 2020. *Modeliranje područja „Jedrinje“ u cilju istraživanja i eksploatacije ležišta arhitektonsko-građevnog kamena*. Završni rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

MAJHEN, M. 2013. *Izrada računalnog modela područja između izvorišta Rijeka Bune i Bunice kod Mostara*. Završni rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

SOLDO, I., ŠETKA, I. 2016. *Projektiranje u rudarstvu, Upute za iradu programa u Bently Power Inroadsu*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

NARODNE NOVINE br. 138/22. *Pravilnik o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina*. Zagreb: Narodne novine d.d.

JISMS 2024. *Karta eksploatacijskih polja*. URL: <https://jisms.gospodarstvo.gov.hr/#/maps>

GEOPORTAL DRŽAVNE GEODETSKE SAMOUPRAVE 2024. *Topografska karta*. URL: <https://geoportal.dgu.hr/>