

Model istraživanja tehničko-građevnog kamena u području "Veliki Lisac" kod Slunja

Kolobara, Dora

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:169:657966>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Prijediplomski studij rudarstva

**MODEL ISTRAŽIVANJA TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA U
PODRUČJU „VELIKI LISAC“ KOD SLUNJA**

Završni rad

Dora Kolobara

R4884

Zagreb, 2024.



KLASA: 602-01/24-01/52
URBROJ: 251-70-11-24-2
U Zagrebu, 13.09.2024.

Dora Kolobara, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/52, URBROJ: 251-70-11-24-1 od 11.04.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

MODEL ISTRAŽIVANJA TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA U PODRUČJU „VELIKI LISAC“ KOD SLUNJA

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 „VELIKI LISAC“ KOD
SLUNJA

Dora Kolobara

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

Sažetak

U završnom radu je opisan postupak izrade trodimenzionalnog modela terena i ležišta krednih vapnenaca kao tehničko-građevnog kamena područja „Veliki Lisac“. Uz modeliranje, proveden je i proračun rezervi ležišta, pri čemu je korišten računalni program „*OpenRoads Designer*“.

Ključne riječi: Veliki Lisac, OpenRoads Designer, vapnenac, tehničko-građevni kamen

Završni rad sadrži: 28 stranica, 4 tablica, 20 slike i 9 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentor: dr. sc. Ivo Galić, redoviti profesor RGNF

Ocjenjivači: dr. sc. Ivo Galić, redoviti profesor RGNF
dr. sc. Vječislav Bohanek, izvanredni profesor RGNF
dr. sc. Ivica Pavičić, docent RGNF

ZAHVALA

Zahvaljujem se od srca profesoru dr. sc Ivi Galiću, čiji su trud, posvećenost i briga za studente bili izvanredni. Njegova želja da nas nauči nečemu vrijednom i korisnom, kao i podrška i razumjevanje bile su mi velika motivacija.

Također, jako sam zahvalna svojoj baki Miri, baki Sofiji i djedu Anti, koji su mi pružili neizmjernu ljubav, podršku, utjehu i tako davali snagu da nastavim.

Na kraju, veliko hvala mojoj teti Ljerki, koja je uvijek bila moja podrška i oslonac. Njena prisutnost, toplina i nesebičnost dale su mi sigurnost da se mogu osloniti na nekoga kad god mi je to potrebno.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆI PODACI O PODRUČJU ISTRAŽIVANJA	2
2.1. Zemljopisni položaj	2
2.2. Klimatske značajke	3
2.3. Temeljni uvjeti oblikovanja reljefa i geološke značajke	4
2.4. Dosadašnji rudarski radovi u okruženju Slunja	7
2.5. Preduvjeti za istraživanje područja	7
3. POSTUPAK IZRADE MODELA LEŽIŠTA I ISTRAŽNIH RADOVA ZA TEHNIČKO-GRAĐEVNI KAMEN	10
3.1. Općenito	10
3.2. Pripreme aktivnosti	10
3.3. Istražni radovi	10
3.4. Izrada trodimenzionalnog modela ležišta	10
3.5. Analiza i validacija modela	11
3.6. Dokumentacija i prezentacija rezultata	11
4. IZRADA 3D MODELA PODRUČJA "VELIKI LISAC"	12
4.1. Triangulacija 3D modela terena	13
5. IZRADA MODELA LEŽIŠTA I ISTRAŽNIH RADOVA	17
5.1. Kategorizacija rezervi	17
5.2. Istraživanje ležišta	17
5.3. Završna kosina kopa	19
6. PRORAČUN REZERV I LEŽIŠTA	21
6.1. Metoda računalnog modeliranja	21
6.2. Metoda trokutova	24
6.3. Usporedba rezultata korištenih metoda	27

7. ZAKLJUČAK.....	28
8. LITERATURA	29

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Topografska karta s istražnim prostorom "Veliki Lisac", M 1:25 00	2
Slika 2-3. Karta Karlovačke županije, Geološka karta Republike Hrvatske 1 : 300 000.....	4
Slika 2-3a. Geološka karta i legenda Slunja, M 1 : 100 000.....	5
Slika 2-3b. Uvećan prikaz geološke karte i prikaz istražnog prostora	6
Slika 4-a. Padajući izbornik naredbe "Attach tools".....	12
Slika 4-b. Naredba "Place Point or Stream Curve".....	12
Slika 4-c. Slojnice područja "Veliki Lisac".....	13
Slika 4-1a. Žični izgled 3D modela terena "Veliki Lisac"	15
Slika 4-1b. Konačni izgled 3D modela terena "Veliki Lisac"	15
Slika 5-2a. Prikaz 3D modela istražnih radova i granica rezervi A, B, C.....	17
Slika 5-2b. Model terena prikazan s istražnim radovima i granicama rezervi.....	18
Slika 5-3 Prikaz granice rezervi i završne kosine područja "Veliki Lisac" u tlocrtu.....	20
Slika 6-1. Prikaz trianguliranih modela granica rezervi.....	21
Slika 6-1a. Naredba "Analyze".....	22
Slika 6-1b a). Obujam rezerve A	23
Slika 6-1c. b) Obujam rezervi B – 1.dio	23
Slika 6-1d. b) Obujam rezervi B – 2.dio.....	23
Slika 6-1e. c) Obujam rezervi C.....	23
Slika 6-2. Raspored trokuta unutar granica rezervi, prema MT-u.....	24
Slika 6-2a. Naredba "Analyze".....	25

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Koordinate predloženog istražnog prostora "Veliki Lisac.....	3
Tablica 5-2. Maksimalna udaljenost između istražnih radova	16
Tablica 6-1. Prikaz podataka pojedinih rezervi.....	24
Tablica 6-2. Prikaz rezultata proračuna obujma ležišta MT.....	26

POPIS SKRAĆENICA U TEKSTU

t-gk	Tehničko-građevni kamen
MRM	Metoda računalnog modeliranja
MT	Metoda trokutova
2D	Dvodimenzionalno
3D	Trodimenzionalno
NN	Narodne novine
EP	Eksploatacijsko polje

POPIS OZNAKA I JEDINICA U TEKSTU

Oznaka	Opis
α_z	Kut završne kosine
Δh	Visinska razlika između terena i osnovne ravnine utvrđivanja rezervi
x	Horizontalna projekcija kosine
m	Metar
m ²	Metar kvadratni
m ³	Metar kubni
m.n.v.	Metara nadmorske visine
P	Površina
O	Obujam
d _{uk}	Ukupna debljina
d _{sr}	Srednja debljina
%	postotak
°	stupanj

1. UVOD

U suvremenim metodama projektiranja koriste se računalni modeli za prikaz ležišta i ostalih rudarskih radova. U bazama podataka nalaze se ulazni podaci koji se unose u primijenjene računalne programe kao što su *CAD (Computer Aided Design)*, *Bentley MicroStation* i *Autodesk*.

Općenito, cilj projektiranja je prikaz vizualne forme 3D modela ležišta i dobivanje optimalnih parametara rudarskih radova (na površini i u podzemlju) kao izlaznih podataka te se iz takvog procesa koji je u određenoj mjeri automatiziran dobivaju pouzdani podaci koji stvaraju podlogu za daljnje radnje u svrhu izrade tehničke dokumentacije (Galić, I. i Farkaš, B. 2011.). Između ostalog služi i za proračun obujma bilančnih i izvanbilančnih rezervi mineralne sirovine raznim metodama, a najpreciznije su: metoda paralelnih presjeka i metoda računalnog modeliranja.

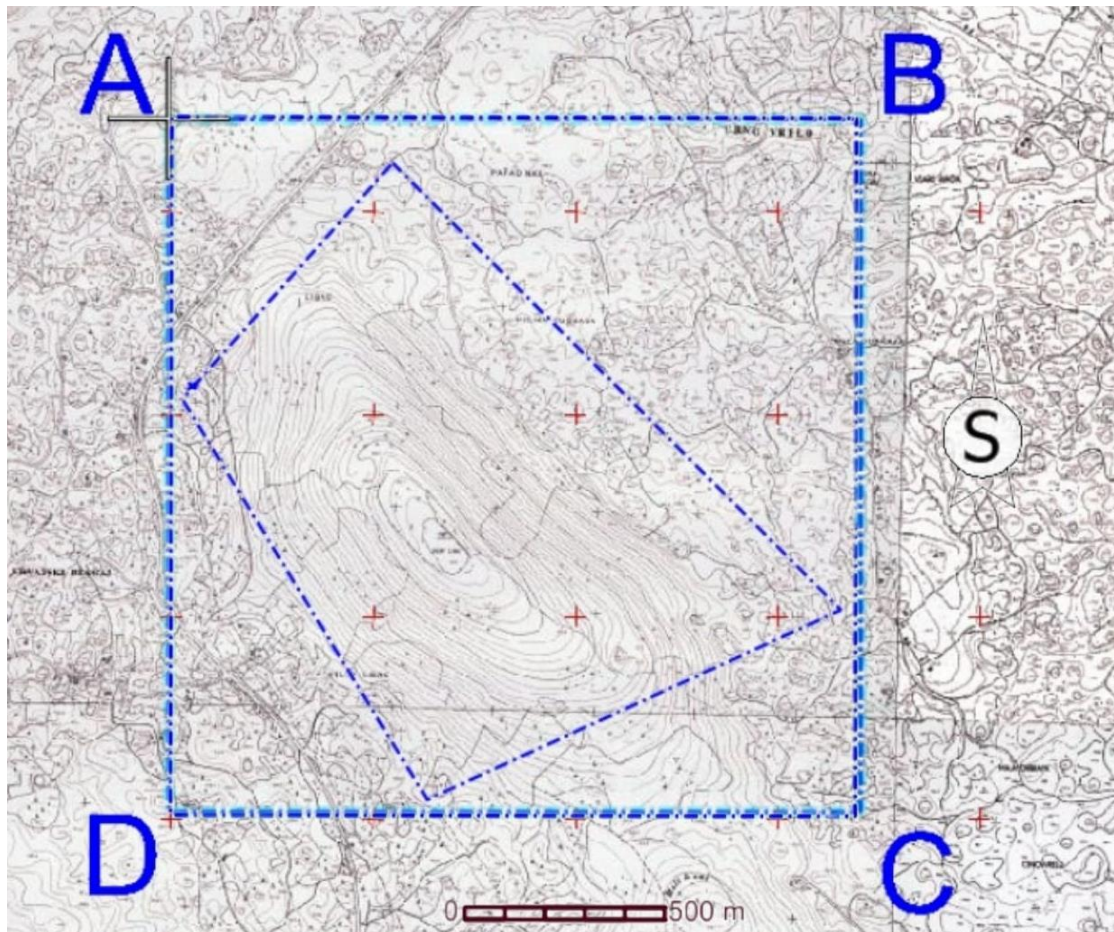
Postupak opisan u gore navedenom tekstu obradit će se na modelu istraživanja tehničko-građevnog kamena (dalje t-gk) u području „Veliki Lisac“ kod Slunja u cilju istraživanja, utvrđivanja rezervi, eksploatacije i izračunavanja isplativosti eksploatacije tehničko-građevnog kamena.

2. OPĆI PODACI O PODRUČJU ISTRAŽIVANJA

2.1. Zemljopisni položaj

Veliki Lisac smješten je unutar Karlovačke županije, nekoliko kilometara zračne crte od grada Slunja. Pristup do samog vrha Velikog lisca nije osiguran cestom; međutim, većina puta može se preći lokalnim cestama koje vode iz Slunja, dok se završni dio mora prijeći označenim planinarskim stazama.

U računalnom programu *"OpenRoads Designer"* obrađena je karta zemljopisnog položaja istražnog područja "Veliki Lisac" te je prikazana na slici 2-1.



Slika 2-1. Topografska karta s granicama predloženog istražnog prostora t-gk "Veliki Lisac", M 1:20 000

Na topografskoj karti prikazan je predloženi istražni prostor t-gk koji zauzima površinu od 2 930 940 m², a omeđen je točkama A, B, C i D. Tabličnim prikazom iskazane su koordinate vršnih točaka te njihove međusobne udaljenost.

Tablica 2-1. Koordinate predloženog istražnog prostora t-gk "Veliki Lisac"

Vršna točka	Koordinate		Udaljenost (m)	
	Y	X		
A	424 987	5 009 230	A-B	1710
B	426 697	5 009 230	B-C	1714
C	426 697	5 007 521	C-D	1710
D	424 987	5 007 521	D-A	1714
Površina istražnog prostora		293 ha		

2.2. Klimatske značajke

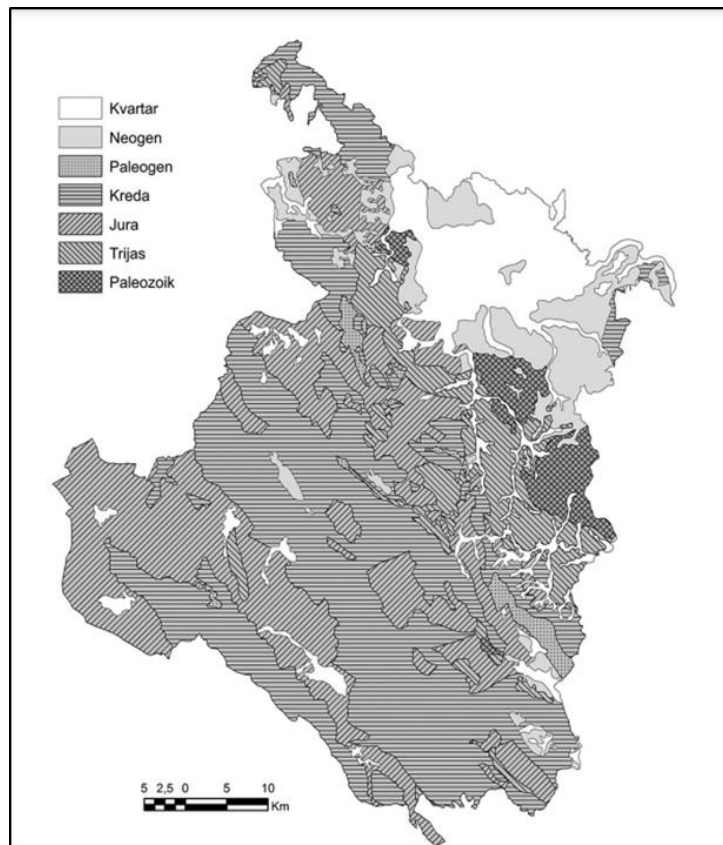
Okolica Slunja ima specifične klimatske značajke koje su oblikovane njegovom nadmorskom visinom. Prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda za razdoblje od 1981. do 2010., Slunj ima nešto nižu srednju godišnju temperaturu zraka u usporedbi s Karlovcem, ali višu od Ogulina. Godišnji hod temperature u Slunju pokazuje maksimum u srpnju i minimum u siječnju, s temperaturama koje su pod utjecajem reljefa.

Što se padalina tiče, Slunj prima više padalina u toplom dijelu godine, slično kao Karlovac, dok je Ogulin zimi obilniji padalinama. U Slunju najviše padalina je zabilježeno u rujnu, dok je sekundarni vrhunac u lipnju. Najmanje padalina je u veljači, s manjim padom također u srpnju. Broj dana s padalinama je 132, što je manje nego u Karlovcu i Ogulinu.

Prema Köppenovoj klasifikaciji, klima Slunja spada u umjereno toplu vlažnu klimu s toplim ljetima. (Galić I., 2024.)

2.3. Temeljni uvjeti oblikovanja reljefa i geološke značajke

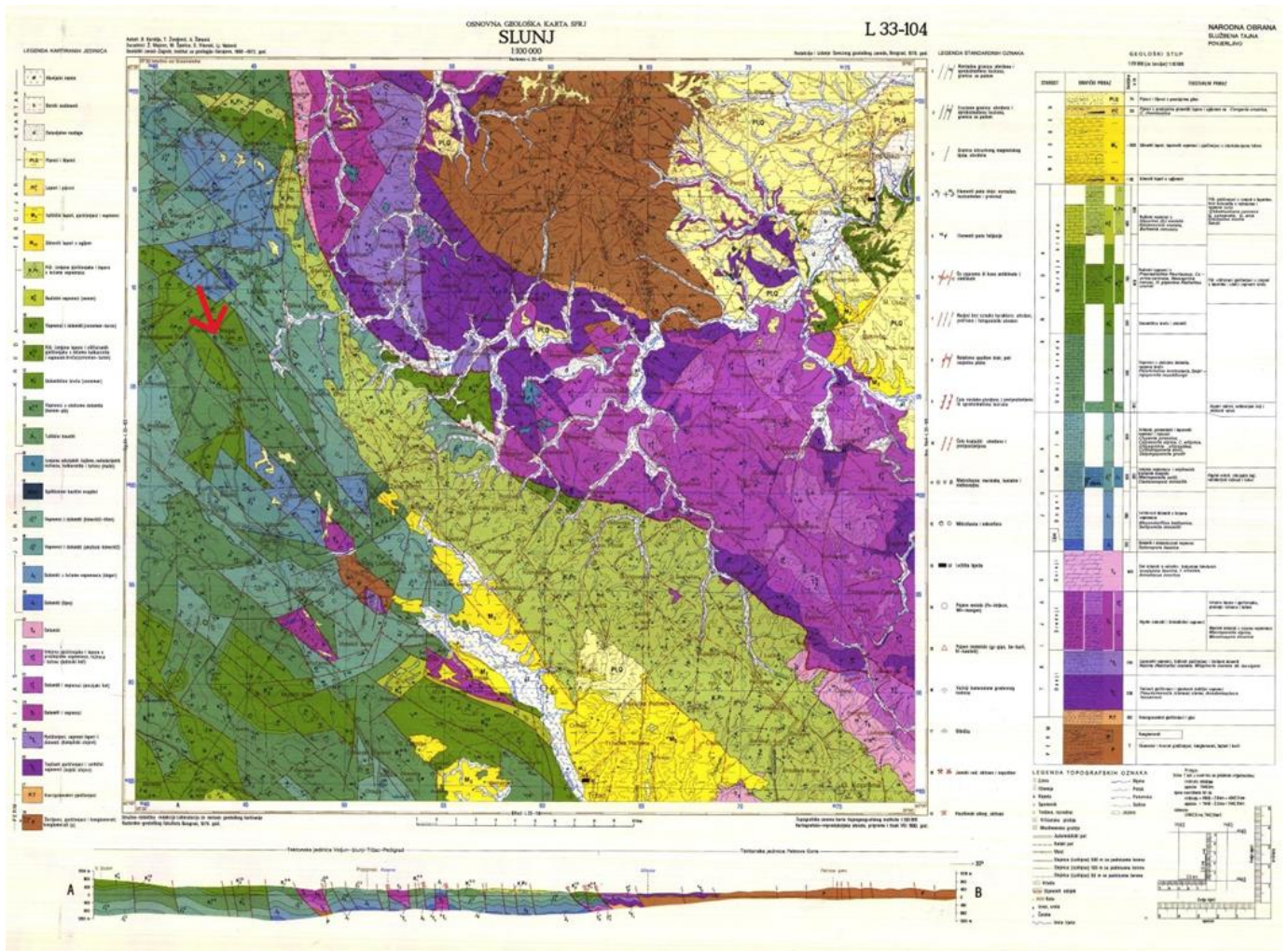
Najvažniji čimbenik u evoluciji reljefa je geološka građa nekog područja. Prema Geološkoj karti Republike Hrvatske u mjerilu 1 : 300 000 i pripadajućeg tumača izrađen je pregled geološke građe prema geološkim razdobljima iz kojeg možemo izvući slijedeće:



Slika 2-3. Karta Karlovačke županije, Geološka karta Republike Hrvatske 1 : 300 000 (Bočić N. , Pahernik M. i Maradinc M., 2016.)

U okolici Slunja nalaze se klastične stijene gornjopaleozijske starosti koje pokrivaju, svega 3,5% ukupne površine cijele Karlovačke županije. U tom području mogu se pronaći i stijene trijaskne starosti, od kojih se najčešće pojavljuje dolomit koji prekriva samo 8% ukupne površine Karlovačke županije. Jurske naslage koje dominiraju tim područjem sastoje se uglavnom od vapnenaca i dolomita, čineći oko 17% površine županije. One imaju veliku važnost jer izrazito utječu na sam reljef pa tako i na hidrogeološke značajke kraja, odnosno pogoduju stvaranju krškog reljefa. Najveći dio županije prekrivaju stijene kredne starosti

koje prekrivaju najveći dio od 37% površine. Sve gore navedene starosti nalaze se u okolici Slunja. Na slici 2-4 prikazana je osnovna geološkoj karta, list Slunj gdje je crvenom strelicom označeno istražno područje „Veliki Lisac“.



Slika 2-3a. Osnovna geološka karta, list Slunj, izvorno mjerilo M 1 : 100 000, umanjeno na M 1 : 300 000 (Korolija i dr.,1979)

Na slici 2-5 prikazan je dio osnovne geološke karte, list Slunj s granicama predloženog istražnog područja „Veliki Lisac“.



LEGENDA KARTIRANIH JEDINICA

<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ○ ○ ○ </div> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 5px;"> al </div>	Aluvijalni nanos
$K_2^{1,2}$	Vapnenci i dolomiti (cenoman–turon)
K_1^{3-5}	Vapnenci s ulošcima dolomita (barem–alb)
$J_3^{2,3}$	Vapnenci i dolomiti (kimeridž–titon)
J_2	Dolomiti s lećama vapnenaca (doger)

Slika 2-3b. Uvećan prikaz osnovne geološke karte, list Slunj s granicom predloženog istražnog prostora, M 1: 50 000 (Korolija i dr.,1979)

Što se tiče samog područja Veliki Lisac iz geološke karte i legende mogu se iščitati starosti: $K_2^{1,2}$ na karti označen trava zelenom bojom pokazuje vapnence i dolomite, dok K_1^{3-5} označen tamnije zelenom bojom predstavlja vapnence s ulošcima od dolomita. Zaključno: područje Veliki Lisac prekrivaju stijene kredne starosti.

U okolnom području nalaze se i neogenski, miocenski i pliocenski klastiti u obliku denudacijskih ostataka, što se očituje i samim brežuljkastim i planinskim reljefom koji je prisutan u cijeloj županiji.

Reljef Slunja je uglavnom krški i izrazito tektonski poremećen, što upućuje da je područje bogato krškim oblicima poput ponora, špilja i izvora. Ovaj tip reljefa ima važnu ulogu u podzemnim vodnim tokovima i stvaranju krških izvora. Također, krški teren je znakovit po vrlo propusnim stijenama koje omogućuju brzo upijanje padalina u podzemlje. Sve navedeno upućuje na nastanak i postojanje stijena koje su pogodne za dobivanje tehničko-građevnog kamena. Zbog navedenih značajki to područje privlači pozornost i daje razlog za utvrđivanje rezervi tehničko-građevnog kamena.

2.4. Dosadašnji rudarski radovi u okruženju Slunja

Područje u okolici Slunja, ima dugu povijest rudarskih aktivnosti, koje su značajno utjecale na lokalni ekonomski razvoj i oblikovanje krajolika. U nastavku je pregled dosadašnjih rudarskih radova na ovom području.

Blagaj je poznat po svojim rudarskim aktivnostima, posebno u kontekstu eksploatacije t-gk i drugih mineralnih sirovina. U tom području imamo i aktivna eksploatacijske polja: TGK-dolomita Johovo, EP „Batnoga“ i ležište Mali Vuković iz kojeg se eksploatiraju dolomiti srednjetrojaski starosti kao tehničko-građevni kamen.

U svim navedenim poljima primjenjuju se suvremene tehnike bušenja i miniranja kako bi se osigurala efikasna i sigurna eksploatacija sirovina.

2.5. Preduvjeti za istraživanje područja

Odabir lokacije za istraživanje, općenito, zahtijeva ispunjavanje određenih preduvjeta kako bi se dobile potrebne dozvole. Oni uključuju pregled prostorno-planske dokumentacije i prostornog ograničenja.

Prostorno-planska dokumentacija obuhvaća ključne elemente. Prostorni plan općine ili grada definira njegovu namjenu unutar općine ili grada. Između ostalog sadrži detalje o zaštićenim područjima, industrijskim zonama, poljoprivrednom zemljištu, rekreativnim površinama.

Međutim nije nam dovoljan samo prostorni plan općine, već i županijski prostorni plan koji pruža širi kontekst i sadrži smjernice koje lokalni prostorni planovi moraju slijediti, kao što su strateški projekti i regionalni razvojni prioriteti.

Također još detaljnije opisane prostorne planove na razini točno određenih, konkretnih dijelova naselja možemo naći u urbanističkom planu, dok detaljni plan uređenja precizno definira uvjete za pojedinačne objekte i infrastrukturu unutar urbanističkog plana.

Uz gore navedeno važnu ulogu pri odabiru same lokacije za istraživanje imaju ograničenja u prostoru. Zaštićena, strogo regulirana i zabranjena područja, poput nacionalnih parkova, parkova prirode i rezervata, mogu biti zabranjena za istraživanje zbog očuvanja prirode. Isto tako kulturna baština, zajedno sa arheološkim nalazištima, spomenicima kulture i ostalim zaštićenim objektima, zahtijevaju posebne dozvole. S druge strane ekološke mreže, zaštićene su zbog svoje biološke raznolikosti i zahtijevaju posebne mjere zaštite tijekom istraživačkih radnji.

Infrastrukturna ograničenja, poput vodovodne, kanalizacijske mreže i ostalo, utječu na dostupnost i izvedivost istraživačkih radova, također zbog već postojećih istih mogu zahtijevati dodatne mjere zaštite. Blizina cestovne i željezničke mreže može biti presudan faktor.

Stoga postupak dobivanja dozvola uključuje nekoliko koraka. Zahtjev za odobrenje lokacije za istraživanje podnosi se nadležnom tijelu, koje može biti ministarstvo, županijski ured ili lokalna samouprava, ovisno o vrsti i opsegu istraživanja. Nadležno tijelo će zatim zatražiti mišljenja i suglasnosti od relevantnih institucija. Nakon prikupljanja svih potrebnih suglasnosti, nadležno tijelo izdaje dozvolu za istraživanje pod određenim uvjetima.

Zaključno gore navedenom, odabir i odobrenje lokacije za istraživanje je složen proces koji zahtijeva pažljivo pregledavanje prostorno-planske dokumentacije i uzimanje u obzir

svih ograničenja u prostoru. Poštivanje ovih preduvjeta osigurava pravnu i operativnu osnovu za provođenje istraživačkih radnji uz minimalan utjecaj na okoliš i postojeće infrastrukture.

3. POSTUPAK IZRADE MODELA LEŽIŠTA I ISTRAŽNIH RADOVA ZA TEHNIČKO-GRAĐEVNI KAMEN

3.1. Općenito

Postupak izrade modela ležišta i istražnih radova je zahtjevan proces koji iziskuje pažljivo planiranje, prikupljanje podataka i analizu tih istih podataka. Nastavno navedene postupke izrade modela i istražnih radova imamo obrađene po segmentima prema kriterijima za tehničko-građevni kamen.

3.2. Pripremne aktivnosti

Prije početka izrade modela ležišta, potrebno je provesti nekoliko pripremnih aktivnosti koje se sastoje od prikupljanja svih dostupnih podataka i izrade geološke karte.

Prilikom prikupljanja dostupnih podataka analiziraju se svi dostupni geološki, topografski i hidrografske podaci o području istraživanja. Zatim slijedi izrada geološke karte na temelju tih podataka koja nam pokazuje raspored i značajke stijena zadanog područja. Nakon toga slijede istražni radovi.

3.3. Istražni radovi

Krucijalan dio su istražni radovi pomoću kojih prikupljamo podatke koji su nam važni za izradu modela. Istražni radovi se sastoje od: geofizičkih istraživanja i uzrokovanja, bušenja istražnih bušotina, te laboratorijske analize. Kod samog bušenja, čiju lokaciju pažljivo odaberemo pomoću geoloških karata, dobijemo uzorke stijena iz različitih dubina. Uz te podatke na samom terenu geofizičkim istraživanjima dobijemo i dodatne podatke o podzemnim strukturama. Najčešća geofizička istraživanja koja koristimo su: seizmička, elektromagnetska i gravimetrijska istraživanja. Uzorci stijena prikupljeni iz istražnih bušenja idu dalje na laboratorijsku analizu kako bi se ustanovile njihove fizičke i kemijske značajke. Analize najčešće uključuju ispitivanje samog kemijskog sastava, poroznosti, čvrstoće, tvrdoće i gustoće stijena.

3.4. Izrada trodimenzionalnog modela ležišta

U nastavku sve prikupljene podatke koristimo kao podloga za izradu trodimenzionalnog modela ležišta. Proces nastanka možemo podijeliti u tri faze: triangulacija površine,

integracija podataka i klasifikacija rezervi. Triangulacijom površine softverskim alatima prikazujemo geometriju terena i raspored istražnih bušotina. Dobivene podatke iz istražnih bušotina, geofizičkih istraživanja i laboratorijskih analiza integriramo u model koji daje detaljan prikaz rasporeda različitih vrsta stijena unutar samog ležišta. Kada dobijemo kompletnu sliku rasporeda vršimo klasifikaciju rezervi prema kriteriju kvalitete i količine. Daljnjom analizom dobijemo podatke o rezervama koje su nam ekonomski isplative za eksploataciju odnosno bilančne rezerve, ali isto tako dobijemo podatke o rezervama koje nam ekonomski nisu isplative za eksploataciju odnosno izvanbilančne rezerve.

3.5. Analiza i validacija modela

Nakon izrade modela ležišta, slijedeći korak je detaljna analiza i validacija samog ležišta. Taj proces također možemo podijeliti na: provjeru točnosti modela, izradu scenarija eksploatacije i optimizacije modela. Validacija se provodi usporedbom predviđenih i dobivenih rezultata, nakon čega se izrađuju različiti scenariji koji uzimaju u obzir ekonomsku isplativost, utjecaj na okoliš i tehničke aspekte eksploatacije. Kada dobijemo uvid na međusobne utjecaje navedenih varijabli radi se optimizacija modela kako bi dobili najbolje moguće rezultate iskorištavanja resursa, minimalizacije troškova i utjecaja na okoliš.

3.6. Dokumentacija i prezentacija rezultata

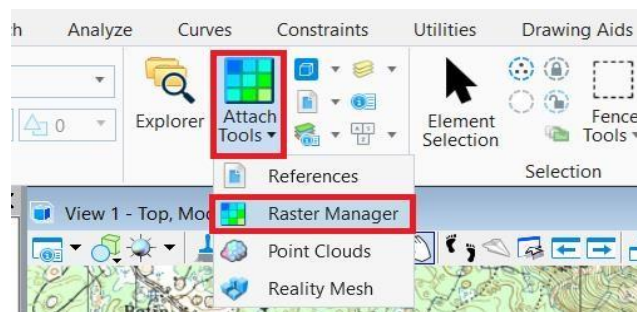
Zadnji korak u izradi modela je sveobuhvatno dokumentiranje i prezentiranje pripremljenih aktivnosti, istražnih radova, izrade trodimenzionalnog modela, analize i validacije modela kao detaljnog izvještaja (Elaborata) opisanog korak po korak kako bi imali uvid u podatke te kako bi mogli prezentirati isto budućim investitorima, nadležnim i regulatornim tijelima.

Izrada modela ležišta i istražnih radova za tehničko-građevni kamen zahtijeva integrirani pristup koji kombinira geološke, geofizičke i laboratorijske metode. Pravilno izvedeni istražni radovi i detaljno izrađen model ležišta ključni su za uspješnu eksploataciju tehničko-građevnog kamena, osiguravajući ekonomsku isplativost i minimalan utjecaj na okoliš.

4. IZRADA 3D MODELA PODRUČJA "VELIKI LISAC"

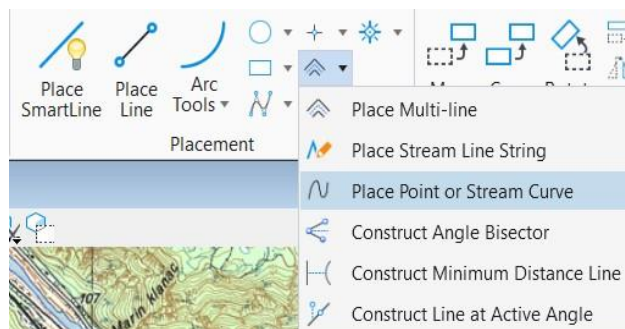
3D model terena formira se pomoću Bentley-ovog računalnog programa *OpenRoads Designer*. Prvi korak u modeliranju je skeniranje geološke i topografske karte koje se potom učitavaju u navedeni program. Tijekom izrade 3D modela istražnog prostora „Veliki Lisac“ korištena je osnovna geološka karta, list 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 4-a)..



Slika 4-a. Padajući izbornik naredbe "Attach tools"

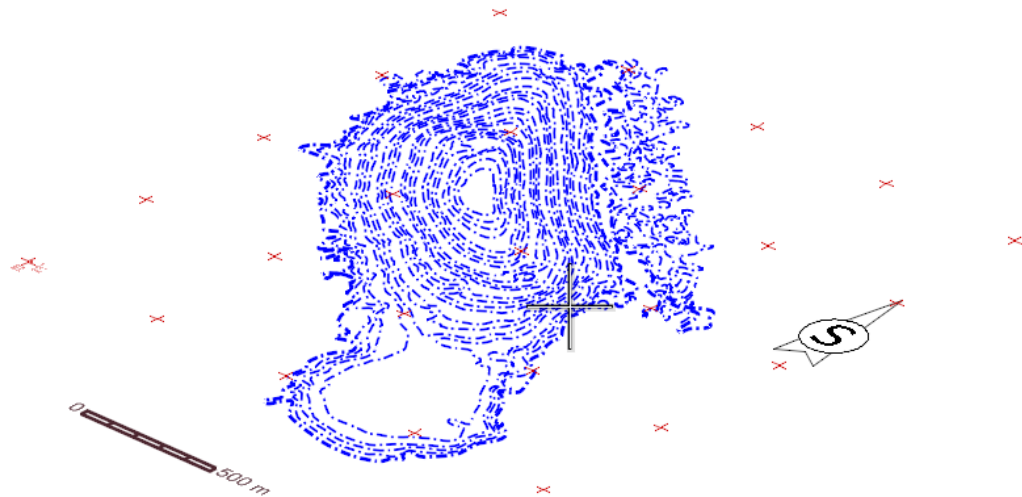
Nakon učitavanja topografske karte započinje se iscrtavanje slojnica. Slojnice su točke istih nadmorskih visina koje se povezuju u crte-krivulje kako bi dobili prikaz reljefa zadanog područja. Slojnice se crtaju pomoću naredbe "Place Point or Stream Curve" (slika 4-b). Nakon iscrtavanja svih slojnica dobiva se, ravninski, 2D prikaz područja.



Slika 4-b. Naredba "Place Point or Stream Curve"

Slijedeći korak je transformacija 2D u 3D model. Kako bi to napravili koristi se naredba *"Set Element Elevation"*, pomoću koje se zapravo postavljaju slojnice tj. elementi terena na određenu visinu u prostoru. Na taj način dobije se grafički 3D model terena.

Na slici 4-c nalazi se 2D prikaz slojnica područja "Veliki Lisac".



Slika 4-c. Slojnice područja "Veliki Lisac"

4.1. Triangulacija 3D modela terena

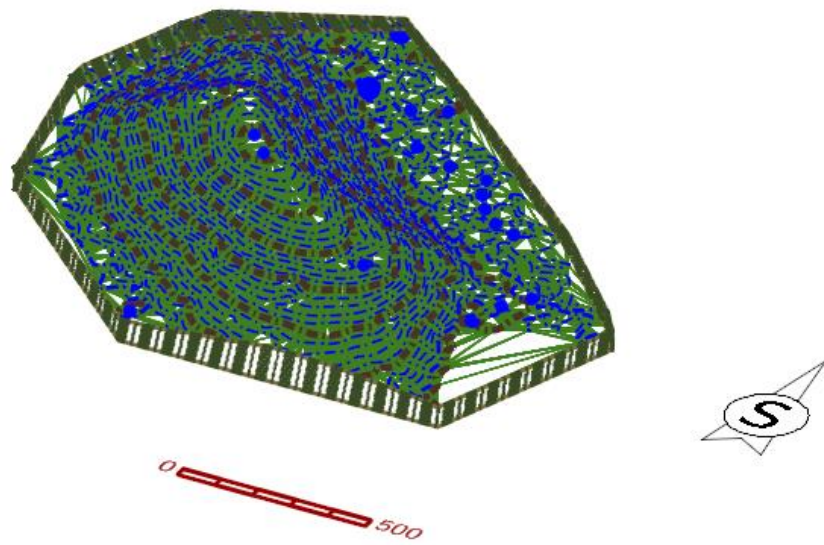
Triangulacija je dijeljenje površine ili ravninskog poligona u mrežu trokutova pri čemu je svaka stranica mreže zajednička dvjema susjednim trokutovima. Triangulacija je u stvari skup trokutova koji pomoću spomenutih crta i točaka formiraju površinu. Konačni broj trokuta definira konačnu površinu (Galić i Farkaš, 2011). Triangulacija se izvodi tako da se prvo odabere modul „*Workflow*“ odnosno odabere se radno okruženje (*Set Active Workflow*) modula „*Open Roads Modeling*“ u kojem se praktično generira računalni model.

U modulu "*OpenRoads Modeling*", na glavnom izborniku, odabire se sklop alata "Terrain". Nakon toga treba označiti sve elemente terena koji se trianguliraju, te se aktivira naredba "*From Elements*". Aktivacijom naredbe "*From Elements*" otvara se novi padajući izbornik u kojem se za "*Feature Type*" odabere "*Contour*", s obzirom da se radi o slojnicama (ili „*Break line*“ ako se radi o različitim elementima), a za "*Edge metod*" postavlja se opcija "*None*" ili "*Remove Slivers*". Ukoliko se odmah nakon završetka naredbe ne pojavi mreža trokutova (triangle) potrebno je provjeriti na kojem „*level-u*“ je program (automatizmom) smjestio

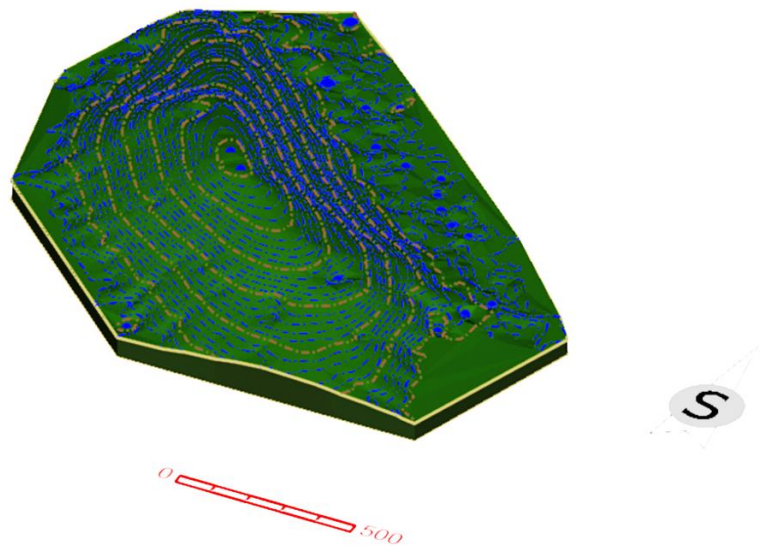
mrežu. Provjera se radi tako da se u *"Level manager-u"* prikažu vidljivim svi slojevi (leveli) odabirom opcije *"All on"*. Kada se pojavi triangulirana mreža, pokazivačem se označi na mrežu te se u *"Properties-ima"* i u tablici s atributima provjeri u kojem levelu je spremljena. Najčešće se dogodi da program automatski (po „*default-u*“) smjesti generirane elemente, u ovom slučaju triangulacijsku mrežu, u level *"Default"* ili *"0"*. Ukoliko se nakon uključivanja svih slojeva, odnosno opcije *"All on"* ne pojavi mreža to znači da je postupak krivo proveden te isti treba ponoviti. Pri tome se u opciji *"Feature Type"* umjesto *"Contour"* treba birati *"Break Line"*.

Nakon generiranja triangulacije terena postavlja se granica terena naredbom *"Boundary Options"* i *"Add Boundary"*. Ako je kreirano više grafičkih modela potrebno je odabrati model oko kojeg se želi postaviti granica. Kako bi dobili realniji prikaz i debljinu terena potrebno je kreirati bočne stranice (blok) modela. Stoga je potrebno granicu modela kopirati, pomoću naredbe *"Copy"* ili drugim prikladnom alatom, te ju postaviti (projicirati) na određenu visinu ispod površine modela, npr. 100 m, pomoću alata *"Set Element Elevation"*. Granicu terena i njezinu projekciju potrebno je spojiti vertikalnom mrežom (plohom) pomoću alata koji se nalaze u sklopu *"Create surface"*. Obzirom da je traženje određenih alata u programu vremenski zahtjevno koristi se skraćeni način pronalaska i aktivacije potrebnih alata. Svi alati se nalaze u „*Tool box-u*“ koji se može pozvati naredbom „*Ctrl +T*“. U popisu svih alata aktivira se sklop alata *"Create surface"* te se odabire naredba *"Surface By Edge Curves"* (druga na alatnoj traci). Postupak kreiranja neke plohe između dva poligona, u ovom slučaju između granice terena i njene projekcije, je takav da se prvo označi donja "projicirana" granica a zatim gornja topografska granica modela. Na taj način kreirana je vertikalna ploha koja predstavlja blok model.

Na slici 4-1. prikazan je konačni izgled 3D modela terena.



Slika 4-1 a). Prikaz žičnog 3D modela



Slika 4-1 b). Konačni izgled 3D modela terena "Veliki Lisac"

5. IZRADA MODELA LEŽIŠTA I ISTRAŽNIH RADOVA

Kako bi se izradio model ležišta i rudarskih istražnih radova potrebno je odrediti granice kategorija eksploatacijskih rezervi ležišta: A, B i C₁. Granice rezervi se određuju prema Pravilniku o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi čvrste mineralne sirovine i vođenju evidencije o njima (NN, broj 138/22).

5.1. Kategorizacija rezervi

Kategorizacija rezervi tehničko-građevnog kamena se određuje sukladno članku 54. Pravilnika o utvrđivanju rezervi i eksploataciji mineralnih sirovina, NN, broj 138/22.

Rezerve tehničko-građevnog kamena razvrstavaju se u kategorije A, B i C₁ sukladno odredbama ovoga Pravilnika, te prema sljedećim uvjetima:

- u kategoriju A uvrstavaju se rezerve tehničko-građevnog kamena utvrđene istražnim radovima u granicama najvećih udaljenosti predviđenih za kategoriju A i određenu skupinu,
- u kategoriju B uvrstavaju se rezerve tehničko-građevnog kamena utvrđene istražnim radovima u granicama najvećih udaljenosti predviđenih za kategoriju B i određenu skupinu
- u kategoriju C₁ uvrstavaju se rezerve tehničko-građevnog kamena utvrđene istražnim radovima u granicama najvećih udaljenosti predviđenih za kategoriju C₁ i određenu skupinu.

5.2. Istraživanje ležišta

Za utvrđivanje i razvrstavanje kategorija rezervi A, B i C₁, koja je propisana Pravilnikom, maksimalna udaljenost između istražnih radova za pojedine kategorije ležišta iznose:

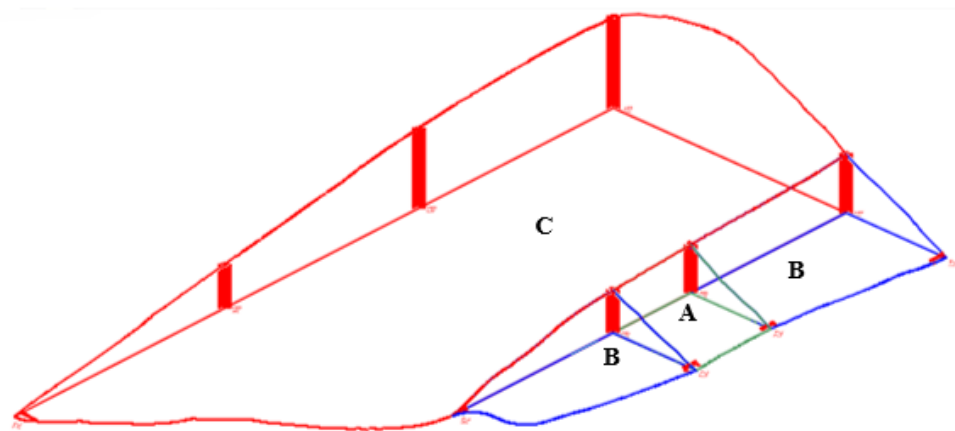
Skupina ležišta	Maksimalna udaljenost između istražnih radova, m		
	A Kategorija	B Kategorija	C Kategorija
Prva skupina	100	200	300
Druga skupina	60	120	240

Tablica 5-2. Maksimalna udaljenost između istražnih radova.

Iscrtavanje granice rezervi izvedeno je u 3D polju, te su granice postavljene na osnovnu razinu istraživanja pomoću *"Set Element Elevation"* u ovom slučaju to je 275 m n.v.

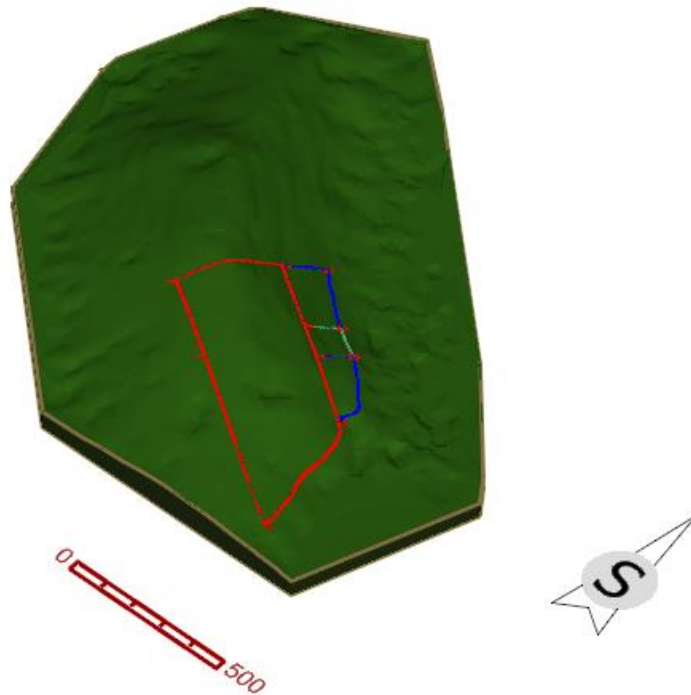
Pri kreiranju 3D modela ležišta potrebno je granice postaviti na površinu terena. To omogućava naredba *"Drape Element"* koja se nalazi u modulu *"Reality Modeling"*. Na glavnoj alatnoj traci odabire se *"Extract"* → *"Drape Element"*. Prema postupku, računalni program traži da se u prvom koraku definira određena triangulirana površina *"STM"* ili *"TM"* 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.

3D model istražnih radova i granica rezervi prikazan je na slici 5-2a.



Slika 5-2a. Prikaz 3D modela istražnih radova i granica rezervi A, B, C.

Na slici 5-2b. prikazan je spojeni model terena, istražnih radova i granica rezervi.



Slika 5-2b. Model terena prikazan s istražnim radovima i granicama rezervi

5.3. Završna kosina kopa

Prema mogućnosti eksploatacije kategorije rezervi A, B i C1 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 uglavnom se dobiva površinskim kopom, gdje završna kosina kopa predstavlja granicu između bilančnih i izvanbilančnih rezervi.

Stoga je potrebno kreirati završnu kosinu ležišta kako bi odredili granicu bilančnih i izvanbilančnih rezervi.

Prije iscrtavanja završne granice potrebni su još određeni podaci, a to su: kut završne kosine i visina terena. Iz tih podataka izračunava se projekcija kosine, označena sa x . Iznos kuta završne kosine dobiven na temelju iskustvenih podataka za tehničko-građevni kamen najčešće iznosi oko 55° , a u ovom slučaju iznosi $\alpha_z = 62^\circ$. Visinska razlika Δh je iznos razlike

visine najviše slojnice koja sječe C rezerve, u ovom slučaju 395 m.n.v. i osnovne slojnice, u ovom slučaju 275 m.n.v., što je 120 m. Pomoću tih podataka možemo proračunati horizontalnu vrijednost kosine odnosno projekciju kosine.

Proračun se izvodi preko sljedeće formule:

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

Gdje je:

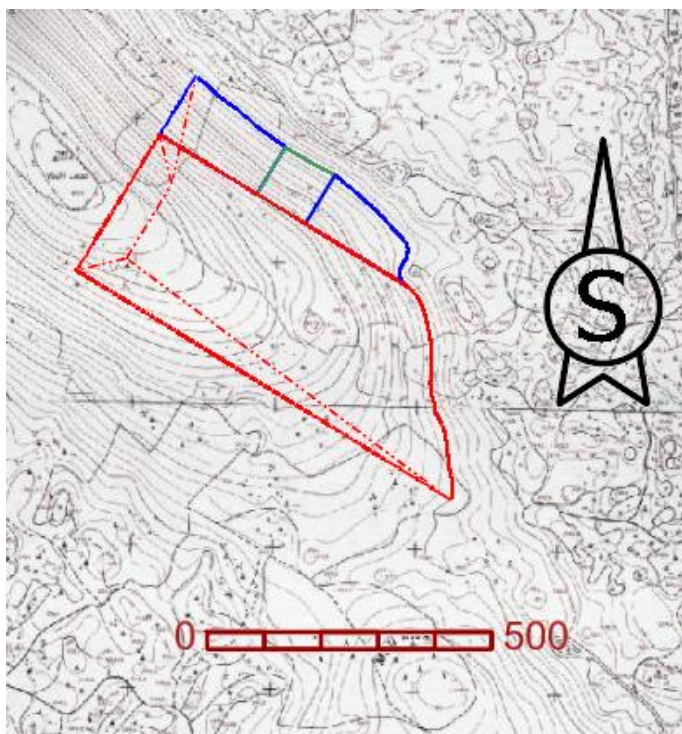
α_z – kut završne kosine,

Δh – visinska razlika između terena i osnovne ravnine utvrđivanja rezervi (155 m), m i

x – horizontalna projekcija kosine, m.

Nakon što se proračuna projekcija x za određenu visinu terena, iscrtava se donji rub završne kosine, naredbom *"Construct Line at Active Angle"*.

Na slici 5-3 nalazi se prikaz granica rezervi i završne kosine u tlocrtu.



Slika 5-3. Prikaz granica rezervi i završne kosine ležišta "Veliki Lisac"

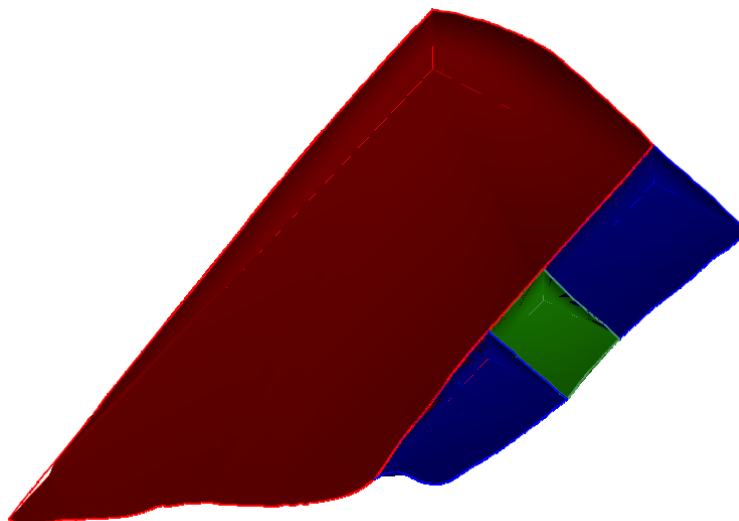
6. PRORAČUN REZERVI LEŽIŠTA

Proračun obujma rezervi ležišta tehničko-građevnog kamena odrađen pomoću dviju metoda: metode trokuta i metode računalnog modeliranja. Obe metode su izrađene pomoću programa "OpenRoads Designer".

6.1. 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 C₁. 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.).

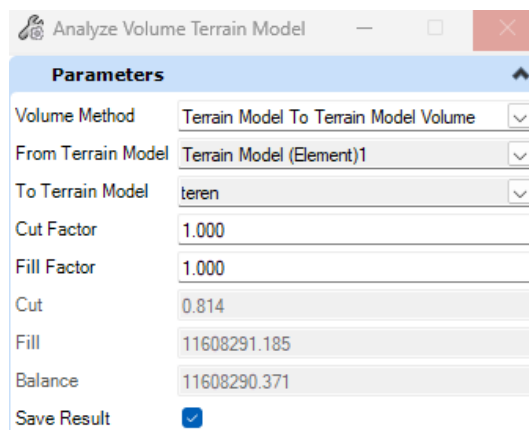
Triangulirani modeli granica rezervi prikazani su na slici 6-1.



Slika 6-1. Prikaz trianguliranih modela granica rezervi

Nakon triangulacije svake pojedine kategorije rezervi: A, B, C₁ stvoreni su preduvjeti za primjenu MRM-a odnosno proračun obujma.

Postupak proračuna obujam 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 6-1a., s postavljenim parametrima i dobivenim rezultatima.



Slika 6-1a. Naredba "Analyze"

Prvom naredbom označi se teren, a drugom se označi mreža pojedinih rezervi npr. triangulirana mreža A rezervi pa zatim ponovo na trianguliranu mrežu terena. Nakon toga se lijevim kursorom dva puta potvrde ostale postavke i desnim kursorom potvrdi „resetiranje“ (završetak) radne operacije (ispis rezultata). Postupak se ponavlja za svaku od kategorija rezervi.

Dobiveni pojedinačni podaci prikazani su na slici 6-1b.

Parameters	
Volume Method	Terrain Model To Terrain Model Volume
From Terrain Model	Terrain Model (Element)
To Terrain Model	teren
Cut Factor	1.000
Fill Factor	1.000
Cut	25.247
Fill	207946.745
Balance	207921.498
Save Result	<input checked="" type="checkbox"/>

a) Obujam rezerve A

Parameters	
Volume Method	Terrain Model To Terrain Model Volume
From Terrain Model	B mreža1
To Terrain Model	teren
Cut Factor	1.000
Fill Factor	1.000
Cut	0.566
Fill	562978.384
Balance	562977.818
Save Result	<input checked="" type="checkbox"/>

1. dio

Parameters	
Volume Method	Terrain Model To Terrain Model Volume
From Terrain Model	B mreža2
To Terrain Model	teren
Cut Factor	1.000
Fill Factor	1.000
Cut	866.480
Fill	219510.189
Balance	218643.709
Save Result	<input checked="" type="checkbox"/>

2. dio

b) Obujam rezervi B

Parameters	
Volume Method	Terrain Model To Terrain Model Volume
From Terrain Model	Terrain Model (Element)1
To Terrain Model	teren
Cut Factor	1.000
Fill Factor	1.000
Cut	0.814
Fill	11608291.185
Balance	11608290.371
Save Result	<input checked="" type="checkbox"/>

c) Obujam rezervi C1

Slika 6-1b. Obujam rezervi po kategorijama, dobiven u programu „Open Roads Designer“

Dobiveni rezultati su zbirno upisani i prikazani u tablici 6-1.

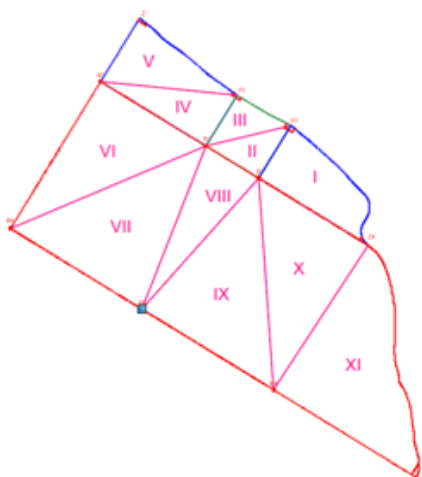
Tablica 6-1. Prikaz rezultata proračuna obujma ležišta MRM-om

Rezerve	Obujam, m ³
A kategorija	207 922
B kategorija – 1.dio	562 978
B kategorija – 2.dio	218 644
C kategorija	11 608 290
Ukupno	12 597 834

6.2. Metoda trokuta

Metoda trokuta (dalje: MT) je metoda proračuna obujma rezervi u kojoj se pomoću površine trokuta i njihove srednje debljine sloja dobiva obujam jednog dijela ležišta, odnosno obujam jedne nepravilne ili pravilne prizme.

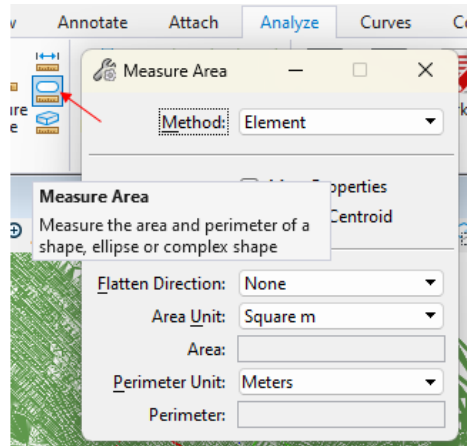
Prema MT-u ukupna površina ležišta podijeli se na površine koje zatvaraju tri susjedna istražna rada (bušotine i raskopi) kao što je prikazano na slici 6-3.



Slika 6-2. Raspored trokuta unutar granica rezervi, prema MT-u

Zbrajanjem obujmova svih prizmi dobiva se ukupni obujam ležišta, prema MT-u.

Površina svakog trokuta se planimetriira tako da se u listi modula, "Workflow-u", odabere modul "Drawing" te u sklopu alata "Analyze" odabere naredba "Measure Area" (slika 6-2a.). Na izborniku pod "Method" može se izabrati metoda planimetriranja "Element" ili "Flood", pomoću koje treba očitati traženu površinu.



Slika 6-2a. Naredba "Analyze"

Rezultati proračuna obujma rezervi A, B, C₁, TM-om, prikazani su u tablici 6-2a.

Tablica 6-2a. Prikaz rezultata proračuna obujma ležišta TM-om

Rezerve	Oznaka trokuta	Površina, m ² P	Ukupna debljina, m d _{uk}	Srednja debljina, m d _{sr} = d _{uk} /3	Obujam, m ³ O = P*d _{sr}
A	II	4908,4	91	30,3	148887,4
	III	4740,2	49,7	16,6	78530,1
Ukupno A					227 417
B	I	15008,2	44,3	14,8	221620,8
	IV	9479	107,2	35,7	338714,6
	V	11553	60,5	20,2	232985,7
Ukupno B					793 321
C ₁	VI	27999,7	197,8	65,9	1846114,9
	VII	34999,8	218,9	72,96	2553818,1
	VIII	14000	169,9	56,6	792866,7
	IX	34999,9	165,9	55,3	1935492,9
	X	31124,2	87	29	902601,3
	XI	27912,8	45,7	15,23	425205,4
Ukupno C1					8 456 099
UKUPNO					9 476 837

6.3. Usporedba rezultata korištenih metoda

Nakon što smo izračunali obujam koristeći obje metode, možemo usporediti rezultate i analizirati odstupanja. Računalnim modeliranjem dobili smo 32% veći obujam u usporedbi s metodom trokutova. Detaljnija analiza po kategorijama pokazuje sljedeće:

- Kod kategorije A, obujam dobiven MRM-om je 9,4% manji nego obujam izračunat metodom trokutova, što je unutar dopuštene granice od 10% za tu kategoriju.
- Kod kategorije B razlika je 1,5% što je unutar dopuštene granice od 20%.
- Kod kategorije C1, razlika iznosi 37,3%, što nije unutar dopuštene granice od 30%.

Odstupanja kod C kategorije mogu ukazivati na nepouzdanost metode trokuta. Ova metoda koristi jednostavne aproksimacije i ne uzima u obzir nepravilnosti površina, što često dovodi do nepouzdanih podataka zbog promjena u obliku i visini terena. S druge strane, metoda računalnog modeliranja, koja točnije analizira geometriju, smatra se preciznijom i pouzdanijom.

7. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu opisano je korištenje računalnog programa "*Bentley OpenRoads Designer*" na primjeru modela ležišta krednih vapnenaca, koji se koriste kao tehničko-građevni kamen. Kroz program "*OpenRoads Designer*" lako se provodi postupak triangulacije i drugi grafički procesi koji omogućuju detaljniji prikaz modela terena i proračun obujma.

Modeliranje područja "Veliki Lisac" provedeno je uz pomoć topografske karte, učitane u računalni program. Pomoću programa "*OpenRoads Designer*" elementi terena su prvo nacrtani u 2D polju a zatim, dodavanjem treće dimenzije, preneseni u 3D model. Istražni radovi i granice rezervi A, B i C₁ kategorije postavljeni su prema Pravilniku o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina (NN, broj 138/22).

Proračun rezervi proveden je na dva načina: računalnim modeliranjem i metodom trokutova. Usporedba rezultata ovih metoda pokazuje određena odstupanja. Iako rezultati ne predstavljaju stvarne rezerve ležišta jer nisu uzeti u obzir faktori poput popravnog koeficijenta i eksploatacijskih gubitaka, koji zbog nedostatka istraživanja nisu poznati, mogu se smatrati osnovom za buduća istraživanja tehničko-građevnog kamena na ovom području.

8. LITERATURA

BOČIĆ N., PAHERNIK M., MARADINC M., 2016. Temeljna geomorfološka obilježja Karlovačke županije. Znanstveni rad. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek.

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.

Propisi

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

Mrežne stranice

GOSPODARSTVO.HR, 2024. Jisms URL: <https://jisms.gospodarstvo.gov.hr/#/maps>

DGU, 2024. Geoportal URL: <https://geoportal.dgu.hr/>