

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Vuk, I., 2016. Izdelava digitalnega modela reliefa kamnoloma s tehnologijo terestričnega laserskega skeniranja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Savšek, S., somentor Kogoj, D.): 42 str.

Datum arhiviranja: 01-09-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Vuk, I., 2016. Izdelava digitalnega modela reliefa kamnoloma s tehnologijo terestričnega laserskega skeniranja. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Savšek, S., co-supervisor Kogoj, D.): 42 pp.

Archiving Date: 01-09-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GEODEZIJA
SMER GEODEZIJA V
INŽENIRSTVU**

Kandidat:

ILIJA VUK

**IZDELAVA DIGITALNEGA MODELA RELIEFA
KAMNOLOMA S TEHNOLOGIJO TERESTRIČNEGA
LASERSKEGA SKENIRANJA**

Diplomska naloga št.: 435/GI

**THE PRODUCTION OF DIGITAL RELIEF MODEL OF
A QUARRY BY USING TERRESTRIAL LASER
SCANNING TECHNOLOGY**

Graduation thesis No.: 435/GI

Mentorica:

doc. dr. Simona Savšek

Somentor:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Ljubljana, 30. 08. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Ta stran je namenoma prazna.

IZJAVE

Spodaj podpisani študent **Ilija Vuk**,

vpisna številka **26203175**, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom:

»IZDELAVA DIGITALNEGA MODELA RELIEFA KAMNOLOMA S TEHNOLOGIJO TERESTRIČNEGA LASERSKEGA SKENIRANJA«

IZJAVLJAM

1. da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

Ljubljana, 24. avgust 2016

Podpis študenta:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.48:622.35(043.2)
Avtor:	Ilija Vuk
Mentorica:	doc. dr. Simona Savšek
Somentor:	izr. prof. dr. Dušan Kogoj
Naslov:	Izdelava digitalnega modela reliefa kamnoloma s tehnologijo terestričnega laserskega skeniranja
Tip dokumenta:	diplomska naloga – visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema:	42 str., 8 pregl., 40 sl., 4 en., 3 pril.
Ključne besede:	terestrično lasersko skeniranje, digitalni model reliefa, kamnolom, oblak točk, prostornina

Izveček:

V diplomskem delu je teoretično predstavljena izdelava digitalnega modela reliefa. Praktični del smo izvedli v kamnolomu Suhor pri Vinici. Terenski zajem podatkov je obsegal izmero izhodiščne mreže in skeniranje južnega dela kamnoloma. Izmero smo izvedli z univerzalnim tahimetrom Leica Nova MS50, ki omogoča klasične terestrične meritve in terestrično lasersko skeniranje. Rezultati izravnane izhodiščne mreže so uporabljeni za umestitev oblaka točk v državni koordinatni sistem D48/GK. Iz obdelanega oblaka točk je izdelan digitalni model reliefa, s katerim se je izračunala prostornina kamnoloma.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.48:622.35(043.2)
Author: Ilija Vuk
Supervisor: Asist. Prof. Simona Savšek, Ph.D.
Cosupervisor: Assoc. Prof. Dušan Kogoj, Ph.D.
Title: The Production of Digital Relief Model of a Quarry by Using Terrestrial Laser Scanning Technology
Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes: 42 p., 8 tab., 40 fig., 4 eq., 3 ann.
Keywords: terrestrial laser scanning, digital relief model, quarry, point cloud, volume

Abstract:

This thesis presents the theoretical production of digital relief model. The practical part was carried out in the Suhor pri Vinici quarry. The field data collection consists of network performed baseline measurement and scanning of the southern part of the quarry. The measurement was taken with Leica Nova MS50 multistation, which allows classical terrestrial measurements as well as terrestrial laser scanning. The results of the adjusted baseline network are used for the placement of the point cloud in the national coordinate system D48/GK. The processed point cloud was used for creating a digital terrain model to calculate the quarry volume.

ZAHVALA

Za pomoč in podporo pri nastajanju diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Simoni Savšek, somentorju izr. prof. dr. Dušanu Kogoju in asistentu Gašperju Štebetu.

Med študijem so mi ves čas ob strani stali najbližji, ženi Barbari hvala za vzpodbudo in potrpljenje, staršem hvala za pomoč pri varstvu najinega Lovra.

Najlepša hvala podjetju GEOS inženiring d. o. o. na čelu z direktorjem Daliborjem Drobničem, ki mi je omogočilo izredni študij.

Podjetju TGH d. o. o. se zahvaljujem, da mi je dovolilo izvedbo opazovanj v kamnolomu Suhor. Samostojnemu podjetniku Martinu Panjanu hvala za pomoč z gradbeno mehanizacijo pri stabilizaciji točk.

Gregorju Bilbanu iz podjetja Geoservis d. o. o. se zahvaljujem za uporabo preizkusne različice programa Leica Infinity in nasvete pri uporabi programa.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
IZJAVE	III
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	IV
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
ZAHVALA	VI
1 UVOD	1
2 DIGITALNI MODEL RELIEFA	2
2.1 Opredelitev pojma digitalni model reliefa	2
2.2 Digitalni model reliefa v Autodesk CAD okolju	3
2.2.1 Trikotna mreža – TIN	4
2.2.2 Štirikotna mreža – GRID	5
2.2.3 Plastnice	5
2.2.4 Projiciranje na DMR	6
2.2.5 Izračun prostornine	7
2.3 Digitalni model reliefa v programu 3DReshaper	8
2.3.1 Površina predstavljena z mrežo (mesh)	8
2.3.2 Izračun prostornine	9
2.3.2.1 Izračun prostornine z nivojem vode	9
2.3.2.2 Izračun prostornine z dvema površinama	10
3 KAMNOLOM SUHOR PRI VINICI	12
3.1 Splošno o kamnolomu Suhor	12
3.2 Območje skeniranja	15
4 TERENSKA IZMERA KAMNOLOMA	16
4.1 Priprave na izmero	16
4.2 Uporabljene metode izmere	18
4.2.1 Kombinirana triangulacijsko-trilateracijska metoda izmere	18
4.2.2 Trigonometrično višinomerstvo	18
4.3 Instrumentarij in merska oprema	19
4.3.1 Instrumentarij	19
4.3.2 Merska oprema	21
4.4 Meritve	22

5	IZHODIŠČNA MREŽA	23
5.1	Meritve izhodiščne mreže	23
5.2	Predhodna obdelava meritev	23
5.2.1	Horizontalne smeri	23
5.2.2	Zenitne razdalje	24
5.2.3	Dolžine	24
5.2.3.1	Redukcija dolžin	24
5.3	Določitev najverjetnejših koordinat izhodiščne mreže – izravnava	26
5.3.1	Izravnava horizontalne mreže	26
5.3.2	Izravnava višinske mreže	28
6	SKENIRANJE KAMNOLOMA	29
6.1	Skeniranje	29
6.2	Obdelava oblakov točk	31
7	IZDELAVA DMR IN IZRAČUN PROSTORNINE	34
7.1	Izdelava digitalnega modela reliefa	34
7.2	Izračun prostornine	36
8	ZAKLJUČEK	39
VIRI		41

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnične lastnosti Leica Nova MS50 (Geoservis, 2013)	19
Preglednica 2: Izmerjeni meteorološki parametri ob izmeri izhodiščne mreže	24
Preglednica 3: Vhodni podatki za položajno in višinsko izravnavo	25
Preglednica 4: Koordinate danih točk	26
Preglednica 5: Rezultati izravnane horizontalne mreže	28
Preglednica 6: Rezultati izravnane višinske mreže	28
Preglednica 7: Podrobnosti zajetih oblakov točk	30
Preglednica 8: Rezultati izračunane prostornine do meje izkoriščanja	38

KAZALO SLIK

Slika 1: Elementi v 3R (levo), v 2R (desno) (CGS, 2001: 85)	3
Slika 2: Terasast teren predstavljen z robovi (CGS, 2001: 88)	4
Slika 3: Trikotna mreža (CGS, 2001: 92)	5
Slika 4: Štirikotna mreža (levo), trikotno-štirikotna mreža (desno) (CGS, 2001: 93,94)	5
Slika 5: Izračunane plastnice (CGS, 2001: 95)	6
Slika 6: Projiciranje osi na teren in shematičen izris profila (CGS, 2001: 100)	6
Slika 7: Površina pred izkopom gradbene jame (lastni vir)	7
Slika 8: Površina po izkopu gradbene jame (lastni vir)	7
Slika 9: Vzdolžni in prečni profili projicirani na DMR pred (levo) in po izkopu (desno) (lastni vir)	8
Slika 10: Prečni profil (lastni vir)	8
Slika 11: Površina s slike 8, predstavljena s poliedrom	9
Slika 12: Izračun prostornine z nivojem vode	10
Slika 13: Izračun prostornine med dvema površinama	10
Slika 14: Lokacija kamnoloma Suhor (Vir: PISO Crnomelj, 2. 5. 2016)	12
Slika 15: Območje OPPN kamnoloma Suhor (Vir: PISO Crnomelj, 2. 5. 2016)	13
Slika 16: Separaciji za apnenec in dolomit (Vir: spletna stran TGH d. o. o., 2. 5. 2016)	13
Slika 17: Prikaz etaž z višinskimi kotami	14
Slika 18: Območje skeniranja kamnoloma Suhor	15
Slika 19: Oblika izhodiščne mreže na ortofoto posnetku	16
Slika 20: Rekognoscirani obstoječi točki 6002 (levo) in 6003 (desno)	17
Slika 21: Stabilizacija novih točk izmeritvene mreže	17
Slika 22: Elektronski tahimeter Leica Nova MS 50	20
Slika 23: Precizni reflektor <i>GPH-1P</i> , nosilec reflektorja z optičnim grezilom, trinožni podstavek (Leica Geosystems, 2016)	20
Slika 24: Signalizacija točk	21
Slika 25: Precizni aspiracijski psihrometer (levo) in digitalni barometer <i>Paroscientific</i> (desno) (Žibert, 2009: 50)	22
Slika 26: Prikaz izhodiščne mreže in standardnih elips pogreškov vklopljene mreže	27

Slika 27: Območje skeniranja na panoramski fotografiji s stojišča S2	29
Slika 28: Območje skeniranja na panoramski fotografiji na stojišču S4	30
Slika 29: Neposredna okolica stojišča S4	30
Slika 30: Uvoženi surovi podatki v Leica Infinity	31
Slika 31: Georeferenciran oblak točk	32
Slika 32: Panoramska fotografija skenograma S6	32
Slika 33: Bager (levo) in vegetacija (desno)	33
Slika 34: Oblak točk, obarvan glede na intenziteto odboja	33
Slika 35: DMR izdelan iz oblaka točk	34
Slika 36: DMR izdelan iz podatkov geodetskega načrta	35
Slika 37: Združen DMR	35
Slika 38: Tlorisni pogled na DMR in mejo izkoriščevalnega prostora	36
Slika 39: Razdeljen DMR po meji izkoriščanja	37
Slika 40: Izračun prostornine za višino 190 m	37

KRATICE

3R	Trirazsežno
CAD	Computer aided design
DMR	Digitalni model reliefa
GNSS	Globalni navigacijski satelitski sistemi
GRID	Mreža
ha	Hektar
OPPN	Občinski podrobni prostorski načrt
TIN	Triangular irregular network

1 UVOD

Podatke o prostoru in objektih v prostoru pridobivamo z različnimi geodetskimi metodami. Ena novejših metod izmere je terestrično lasersko skeniranje. Navdušujoče je, da lahko s to tehniko izmere v zelo kratkem času pridobimo veliko število prostorskih koordinat točk, ki predstavljajo površino skeniranega objekta. Terestrično lasersko skeniranje smo teoretično spoznali med študijem, diplomsko delo je priložnost za uporabo te metode izmere na konkretni nalogi, izdelavi digitalnega modela kamnoloma.

Kamnolom je delovišče, v katerem se izvaja odprti kop, zato se delo oziroma izkop materiala konča šele ob zaprtju kamnoloma. Pri izmeri kamnoloma velikokrat srečamo pojave ali stanja terena, ki so težavni za interpretiranje, saj gre, ali za minirane stene ali razsute kupe materiala, ki so začasno deponirani.

Pred pojavom tehnologij, ki omogočajo zajem velikega števila točk, se je izmera izvedla s klasično terestrično izmero, GNSS izmero, ali pa kot kombinacija obeh. Ne glede na izbiro metode izmere se srečamo z nekaterimi praktičnimi omejitvami. Pri izdelavi geodetskega načrta smo omejeni z dvodimenzionalnim prikazom. Na ravnini je v višinskem smislu težko nedvoumno prikazati previsno steno ali pa razsuti material ob vznožju stene. Pri izračunu prostornin pa smo omejeni s številom diskretnih točk, saj je potrebno nenehno paziti na ekonomičnost izmere. Poleg naštetega je pomembna tudi izkušnost opazovalca oziroma vodje izmere, vendar je navkljub izkušnosti vedno do neke mere prisotna subjektivna interpretacija pojavov in stanj terena.

Ena izmed možnih rešitev za našete dileme in omejitve je tehnologija terestričnega laserskega skeniranja. Tehnologija terestričnega laserskega skeniranja omogoča višjo stopnjo geometrijske popolnosti izmerjenega objekta. Poleg tega je kamnolom delovišče, v katerem ni veliko pojavov oziroma objektov, ki bi predstavljali šum in bi jih bilo potrebno odstraniti. Vsi navedeni razlogi so motiv za izdelavo digitalnega modela reliefa s tehnologijo terestričnega laserskega skeniranja.

V teoretičnem delu diplomskega dela je opisan digitalni model reliefa. V drugem, praktičnem delu naloge, je predstavljen kamnolom Suhor pri Vinici, izhodiščna mreža, skeniranje kamnoloma, izdelava digitalnega modela reliefa in izračun prostornin. V zaključku so predstavljene praktične ugotovitve o uporabi terestričnega laserskega skeniranja za izdelavo DMR-ja.

2 DIGITALNI MODEL RELIEFA

2.1 Opredelitev pojma digitalni model reliefa

Glede na Podobnikarjevo (2002) analizo definicije lahko pojem digitalni modela reliefa (DMR) na kratko opišemo kot 'digitalni opis oblikovanosti zemeljskega površja'. »Definicija ne vsebuje le prikaz površja samega, ampak tudi njegov opis z nakloni, ekspozicijo ter plastnicami, padnicami, točkami vrhov ter drugimi značilnimi črtami in točkami« (Podobnikar, 2002: 348). Te informacije so lahko neposredno dostopne (eksplicitne) ali prikrite, dostopne z analizo (implicitne) (Podobnikar, 2002).

Če razčlenimo pojem digitalni model reliefa (DMR), predpono digitalni razumemo kot »digitaliziran« oziroma pretvorjen v digitalno (numerično) obliko (Radovan, 2002). Tehnično gledano gre za zapis, primeren za obdelavo in prikaz z računalniki (Podobnikar, 2002). V Slovarju slovenskega knjižnega jezika (SSKJ) je pojem model opredeljen kot predmet, izdelan za ponazoritev, prikaz načrtovanega ali obstoječega predmeta, pojem relief pa kot navpična oblikovanost zemeljskega površja.

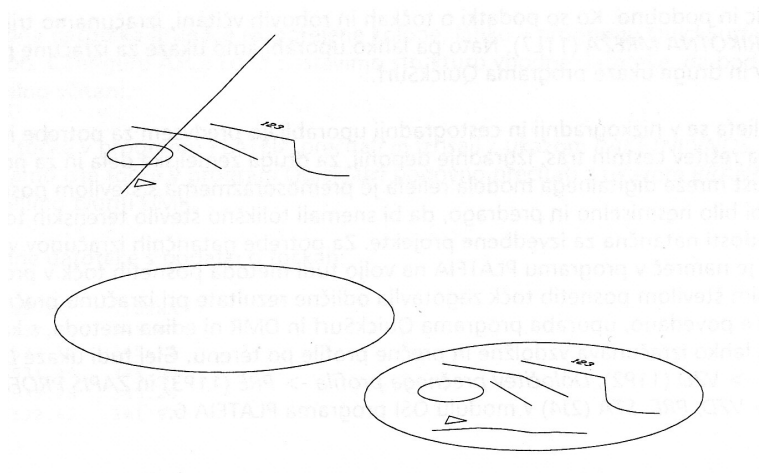
»Poenostavljen in hierarhičen opis osnovnih digitalnih zapisov zemeljskega površja po Podobnikarju:

- digitalni model višin /DMV/ ali rastrski sloj višin – vsebuje samo višinske točke, ki so najpogosteje zapisane v obliki pravih kvadratastih celic in pogojno tvorijo ploskev zemeljskega površja (angl. digital elevation model /DEM/, nem. Digitales Höhenmodell /DHM/);
- digitalni model reliefa /DMR/ – poleg višinskih točk vsebuje tudi druge objekte, ki opisujejo ploskev reliefa (vsebinsko se ujema z angl. pojmom digital terrain model /DTM/ in nem. Digitales Gelände modell /DGM/, v nekaterih primerih uporabe pa tudi z angl. pojmom digital relief model /DRM/ in nem. Digitales Relief modell /DRM/);
- digitalni model terena /DMT/ – poleg ploskve reliefa vsebuje tudi podatke o značilnostih naravne pokrajine;
- digitalni model pokrajine – poleg ploskve reliefa vsebuje tudi podatke o naravnih in družbenih značilnostih pokrajine (angl. digital landscape model, nem. Digitales Landschaftmodell)« (2002: 352–353).

Digitalni model reliefa je z vidika geometrijske zahtevnosti primitivno telo oziroma, če smo bolj natančni, površina. DMR je prisoten povsod, kjer želimo modelirati zemeljsko površje. Prisoten je na vsakem geodetskem načrtu, kjer je teren prikazan s plastnicami. Pri manipulacijah z zemeljskimi masami pa predstavlja matematično osnovo za izračun prostornin.

2.2 Digitalni model reliefa v Autodesk CAD okolju

V CAD okolju so 3R (trirazsežne) koordinate točk in lomne črte oziroma 3R robovi osnova za izračun DMR-ja. Pomembno je, da so vsi uporabljeni elementi izrisani na »pravi« nadmorski višini, kar je smiselno optično preveriti v enem od aksonometričnih pogledov.



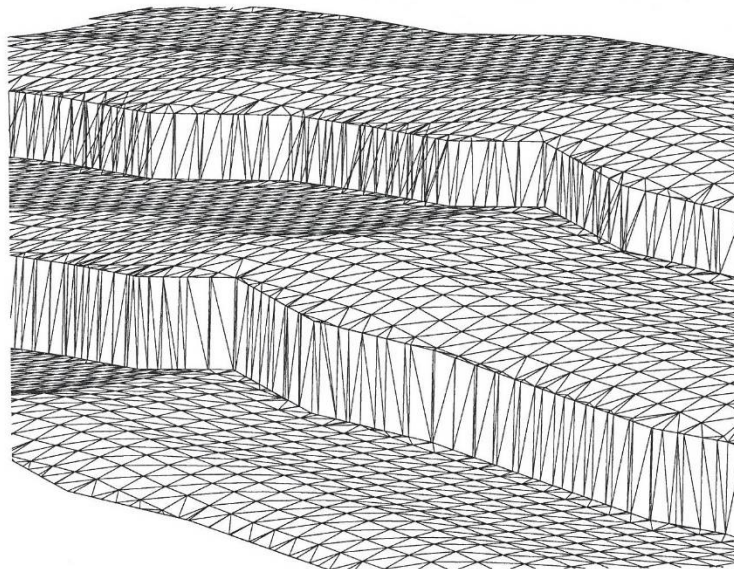
Slika 1: Elementi v 3R (levo), v 2R (desno) (CGS, 2001: 85)

Običajni postopek priprave DMR-ja poteka na naslednji način: najprej preberemo podatke o točkah iz risbe ali zapisane datoteke, točkam dodamo robove, ki »prisilijo«, da izračun mreže sledi terenskim robovom. Robovi so elementi terena, ki predstavljajo značilne ostre prehode. Značilni robovi so: rob ceste, jarka, vkopa, nasipa, terase, zida itd. Te tridimenzionalne poligonske črte imajo ravno nasprotno lastnost kot plastnice, saj se vzdolž robov višina spreminja. Splošno znano je, da plastnice prikazujejo konstantno višino. Nazadnje pokažemo še zaključeno območje, znotraj katerega naj se izračuna DMR (CGS, 2001).

Izračunan DMR sestavljajo:

- DMR točke,
- trikotna mreža – TIN,
- štirikotna mreža – GRID,
- plastnice.

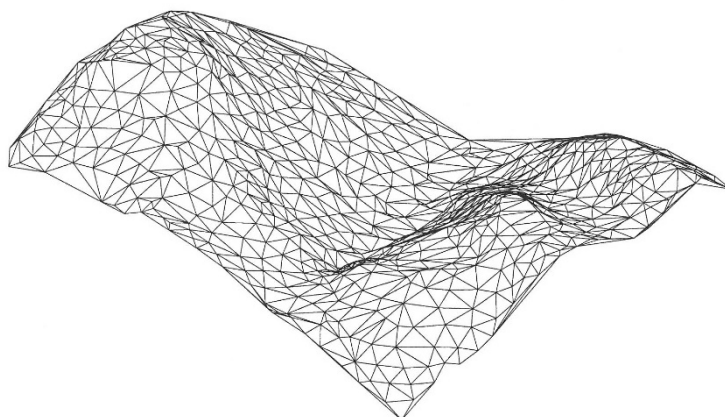
Pri modeliranju terena je potrebno upoštevati predpostavko, da je za en par položajnih koordinat X , Y vedno le ena rešitev za koordinato Z . Praktično to pomeni, da smo omejeni pri prikazovanju navpičnih, še bolj pa previsnih elementov. Navpične elemente kot so stene, zidovi in terase lahko simuliramo tako, da položajne koordinate spremenimo za neko majhno vrednost, ki je skladna z natančnostjo, s katero izdelujemo DMR (CGS, 2001).



Slika 2: Terasast teren predstavljen z robovi (CGS, 2001: 88)

2.2.1 Trikotna mreža – TIN

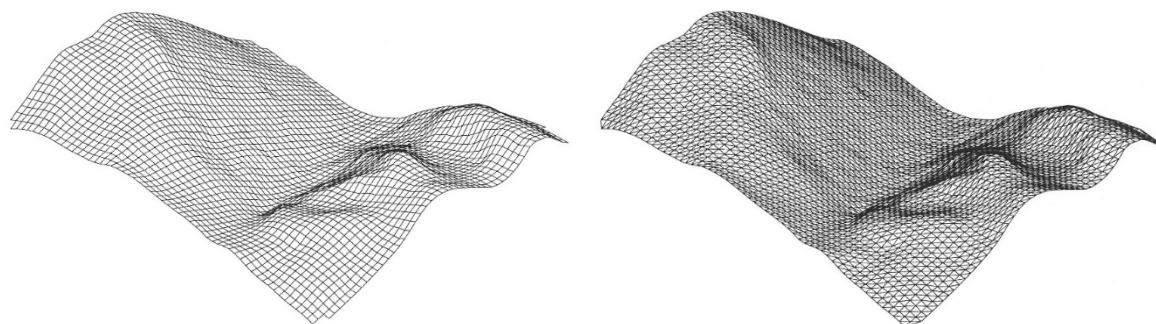
Trikotna mreža je sinonim za DMR, saj predstavlja natančno matematično ponazoritev terena, ki se v največji meri prilagaja terenskim točkam. Kako natančna in verodostojna je ta matematična ponazoritev, je odvisno od gostote in razporeditve izmerjenih točk. V območju lomnih črt se trikotna mreža zgosti, kar poveča natančnost DMR-ja. Trikotna mreža se izračuna s postopkom Delaunayeve triangulacije, ki je matematična osnova za izračun plastnic, prereзов in prostornin. Če poenostavimo je Delaunayeva triangulacija postopek, v katerem se poiščejo čim bolj enakostranični trikotniki med podanimi terenskimi točkami (CGS, 2001).



Slika 3: Trikotna mreža (CGS, 2001: 92)

2.2.2 Štirikotna mreža – GRID

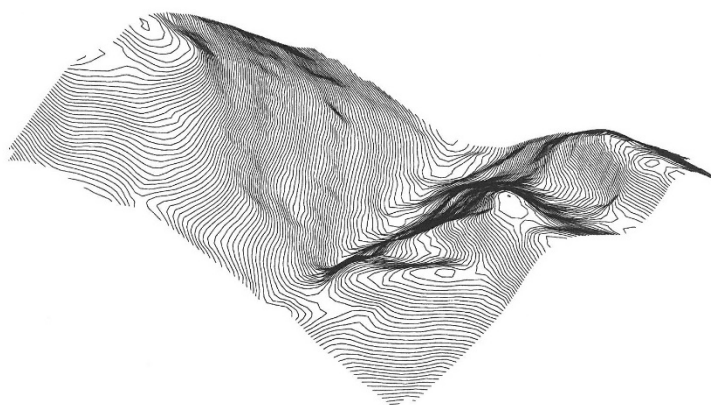
DMR se lahko izračuna iz štirikotne mreže, vendar ta ni tako natančna kot trikotna, ker se točke štirikotnikov interpolirajo. Pri štirikotnih mrežah poseben problem predstavljajo terenske lomne črte, ki se rešijo s trikotno-štirikotno mrežo. Za vizualizacijo ne potrebujemo visoke natančnosti modela, zato se uporabljajo štirikotne ali trikotno-štirikotne mreže, pri katerih so manjše potrebe po računalniški pomnilniški kapaciteti (CGS, 2001).



Slika 4: Štirikotna mreža (levo), trikotno-štirikotna mreža (desno) (CGS, 2001: 93,94)

2.2.3 Plastnice

Plastnice oziroma izohipse so določene na osnovi izračuna vozlišč, ki so povezana s poligonsko črto, ki predstavlja konstantno višino. Vozlišča se izračunajo kot presečišča DMR-ja z ravnino, ki je na nadmorski višini plastnice (CGS, 2001).

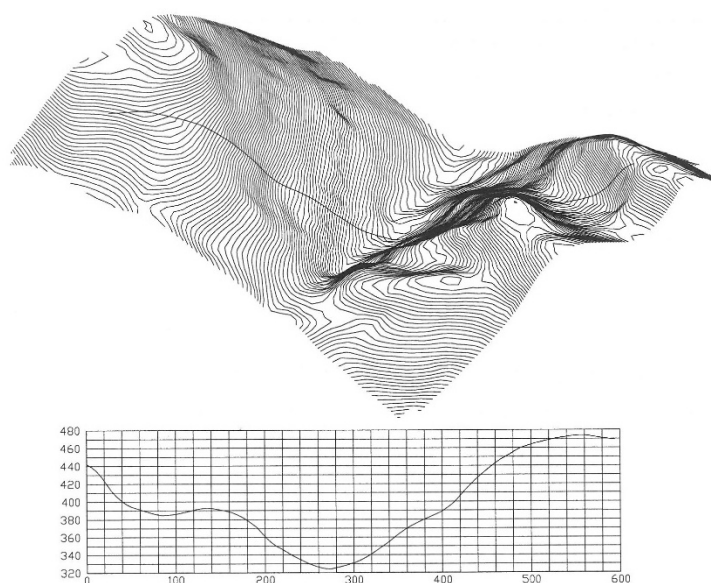


Slika 5: Izračunane plastnice (CGS, 2001: 95)

DMR se lahko izračuna tudi v nasprotni smeri, na osnovi plastnic. Takšen način se je uporabljal pri digitaliziranih plastnicah. Da bi pridobili trikotno mrežo sestavljeno iz čim bolj enakostraničnih trikotnikov, morajo biti razdalje med vozlišči približno enake razdaljam med plastnicami. Optimalno število vozlišč je ključno za natančno trikotno mrežo. Če je število vozlišč premajhno, trikotna mreža ni natančna, preveliko število vozlišč pa ne povečuje natančnosti mreže, ampak nepotrebno obremenjuje računalnikov delovni spomin.

2.2.4 Projiciranje na DMR

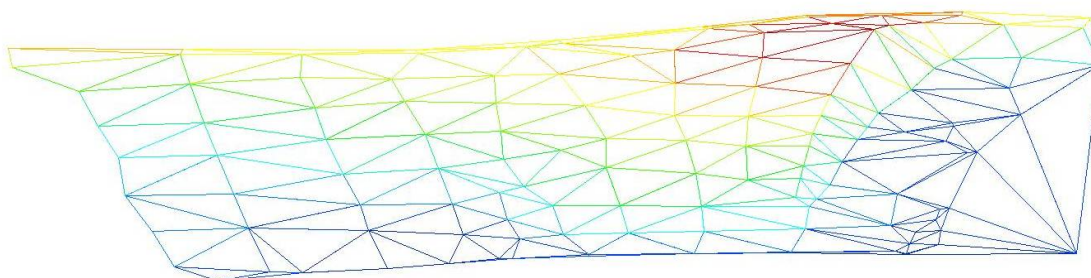
DMR lahko uporabimo za projiciranje poligonskih črt, ki predstavljajo različne vzdolžne, prečne ali zgolj shematične profile. Projiciranje osi na DMR je uporabno za izdelavo različnih variant pri umestitvah objektov v prostor.



Slika 6: Projiciranje osi na teren in shematičen izris profila (CGS, 2001: 100)

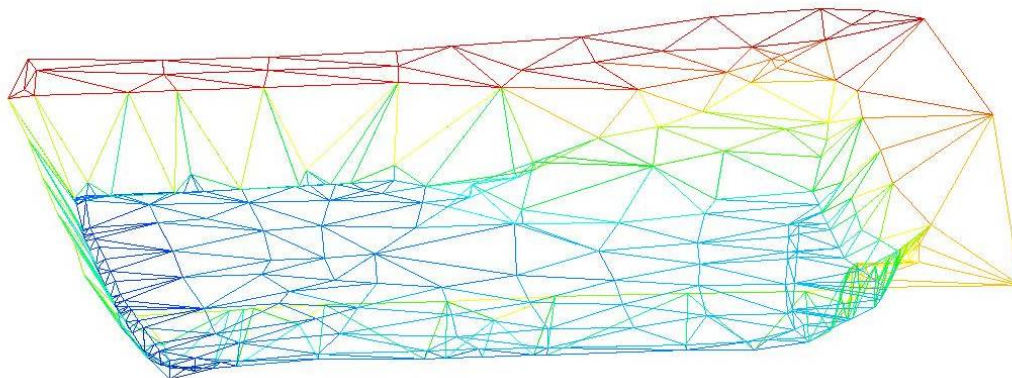
2.2.5 Izračun prostornine

Volumne je mogoče izračunati kot presek dveh različnih površin oziroma presek dveh DMR-jev. Pri tem gre lahko za izračun volumna izkopanega ali nasutega materiala na osnovi dveh ali več terminskih izmer. Največkrat pa gre za razliko med posnetim in projektiranim stanjem. Rezultat izračuna volumna s presekom dveh površin je sama količina nasipa ali izkopa. Slabost takšnega izračuna je vrednotenje in preverjanje rezultata, saj je rezultat le podatek o prostornini.



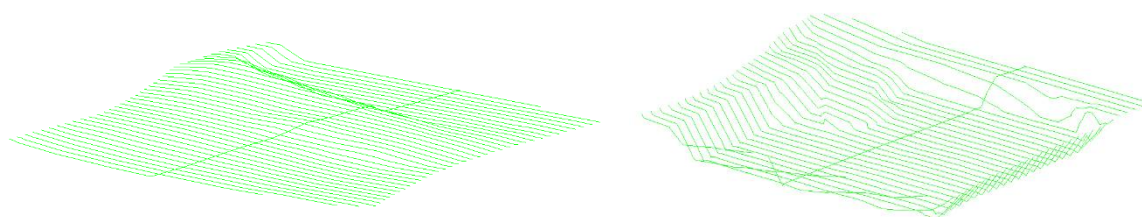
Slika 7: Površina pred izkopom gradbene jame (lastni vir)

Na slikah 7 in 8 sta dve površini pred in po izkopu, ki sami po sebi ne povesta veliko, če jih ne vrtimo v 3R pogledu.



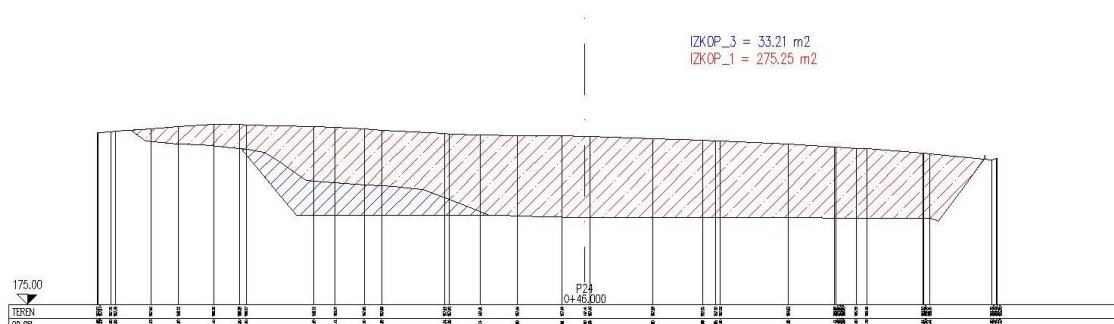
Slika 8: Površina po izkopu gradbene jame (lastni vir)

Izračun prostornine z vzdolžno osjo in prečnimi profili je zamudnejši, vendar je rezultat pregleden in lažje preverljiv. Praviloma se tak način izračuna prostornin uporablja pri nizkih gradnjah. Poljubno poligonsko črto spremenimo v vzdolžno os, na kateri ustvarimo prečne profile na izbrani enakomerni razdalji ali pa v poljubnih točkah stacionaže. Vzdolžno os in prečne profile projiciramo na DMR-ja dveh različnih terminskih izmer. Kot recimo primer na slikah 7 in 8. Rezultat projiciranja (slika 9) so prostorske poligonske črte terena, ki jih vnesemo v prečne profile.



Slika 9: Vzdolžni in prečni profili projicirani na DMR pred (levo) in po izkopu (desno) (lastni vir)

V prečnih profilih nam presek dveh poligonov predstavlja izkop, nasip oziroma katerikoli drugo količino. Po planimetriranju količin v prečnih profilih izvednotimo rezultate planimetriranja in izračunamo prostornine.



Slika 10: Prečni profil (lastni vir)

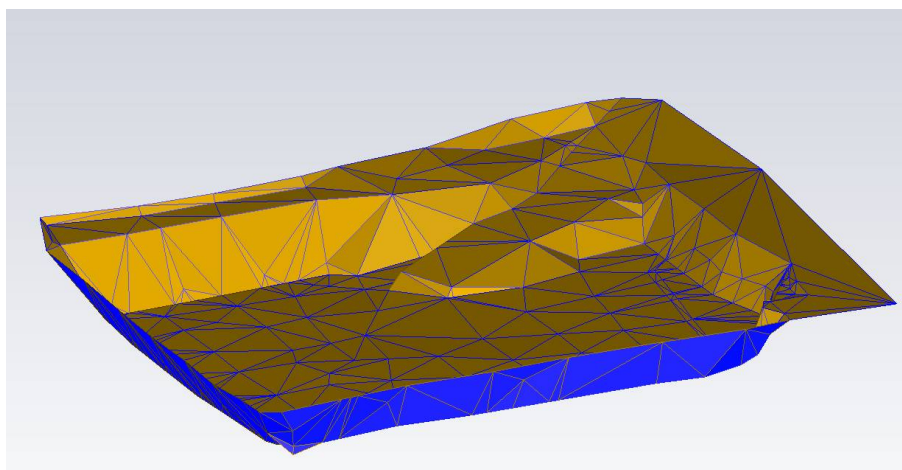
2.3 Digitalni model reliefa v programu 3DReshaper

Program 3DReshaper je predstavljen kot alternativa izdelavi DMR-ja v različnih CAD programskih paketih. 3DReshaper je program proizvajalca Tehnodigit, namenjen obdelavi oblakov točk, ki so nastali na različne načine, bodisi kot rezultat meritev s 3R skenerji, laserskim skeniranjem, zajemanjem z brezpilotnimi letalniki ali merjenjem s koordinatnimi merskimi napravami.

2.3.1 Površina predstavljena z mrežo (mesh)

V 3DReshaperju površino skeniranega objekta predstavlja polieder, sestavljen iz mreže trikotnikov.

Polieder je trirazsežno oglato telo, ki je lahko sestavljeno iz različnih vrst mnogokotnikov. Če smo bolj natančni, je polieder telo, omejeno s končnim številom ravnih ploskev, ki se stikajo v ravnih robovih in ti se stikajo v ogliščih. Trirazsežni polieder je analogen dvorazsežnemu poligonu. Najbolj znani poliedri so kocka, prizma in piramida. Pet pravilnih konveksnih poliedrov je znanih že iz antičnih časov. To so tako imenovana Platonova telesa: tetraeder, kocka, oktaeder, dodekaeder in ikozaeder (Polieder, 2016).



Slika 11: Površina s slike 8, predstavljena s poliedrom

Primarno je program namenjen obdelavi oblaka točk, vendar lahko mrežo izdelamo iz različnih vhodnih podatkov. Kot primer je DMR na sliki 11 samodejno nastal ob uvozu TIN mreže iz *.dwg datoteke, ki je bila izdelana v programu Civil 3D.

Če primerjamo sliki 8 in 11, na katerih je predstavljena ista površina, lahko hitro ugotovimo, da ima površina na sliki 11 večjo vizualno vrednost in prostorsko bolje predstavlja izkopano gradbeno jamo.

2.3.2 Izračun prostornine

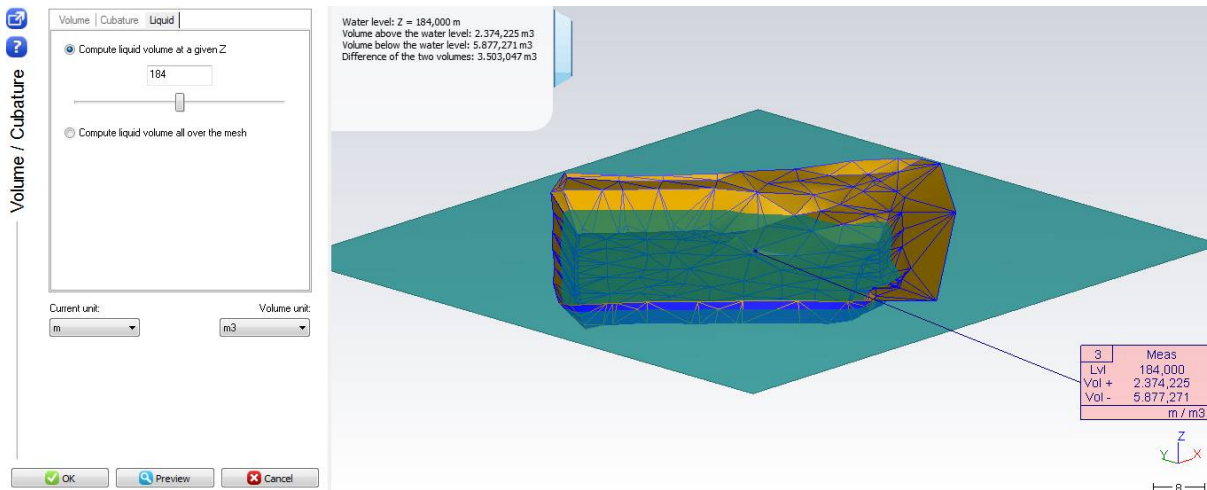
Prostornine lahko v programu 3DReshaper izračunamo na tri načine:

- kot prostornino zaprtega objekta,
- prostornino nad ali pod določenim nivojem vode,
- ter prostornino med dvema površinama.

Pri izračunu prostornin DMR-ja nam prvi način ne pride prav, ker imamo opravka s površinami in ne z zaprtimi telesi. Ne glede na vrsto izračuna telo ali površina ne sme vsebovati lukenj. Če so te prisotne, izračun ni možen ali pa je približen.

2.3.2.1 Izračun prostornine z nivojem vode

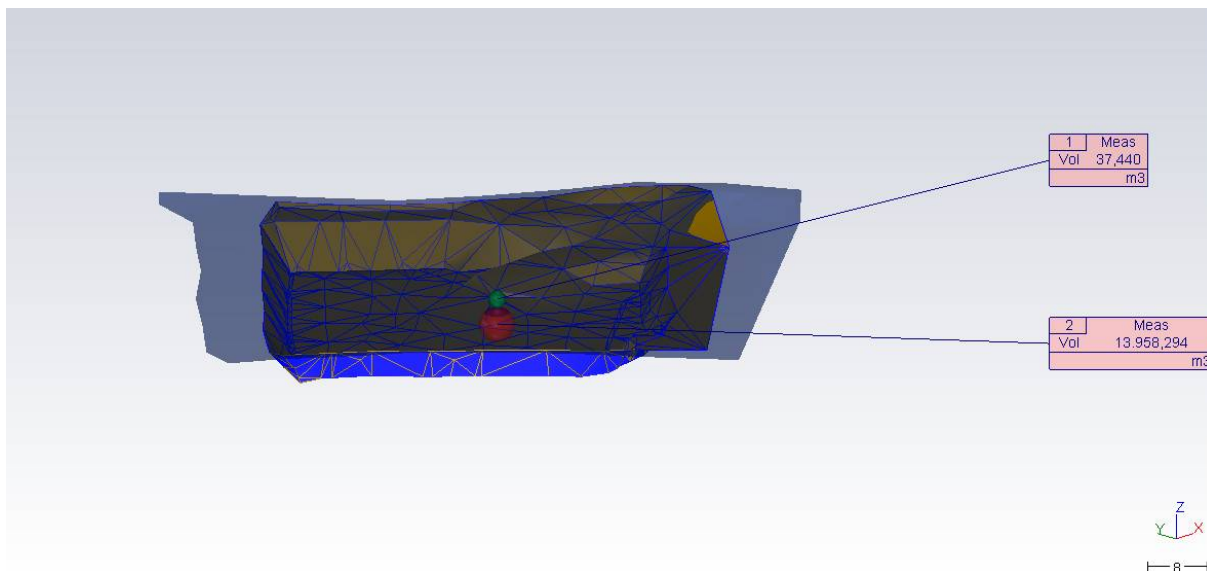
Pri tem načinu izračuna prostornine nivo vode predstavlja horizontalno ravnino. Prostornina se izračuna pod in nad nivojem vode glede na najnižjo in najvišjo točko površine. Pri tem lahko izbiramo višino nivoja vode ali pa podamo začetno višino in korak, za koliko naj se nivo vode dvigne. Ko zaženemo ukaz, se nivo vode dvigne na prej določene višine in simultano izračuna obe prostornini. Rezultat izračuna, ki ga lahko zapišemo v datoteko, je prostornina pod in nad horizontalno ravnino.



Slika 12: Izračun prostornine z nivojem vode

2.3.2.2 Izračun prostornine z dvema površinama

Takšen način izračuna med dvema odprtima površinama je možen tudi v CAD okolju. Posebnost tega programa je, da lahko poljubno izbiramo smer izračuna glede na koordinatne osi, prednastavljena je koordinatna os Z. Po zagonu funkcije najprej podamo referenčno površino, nato pa površino, ki je nad referenčno oziroma zapira prostornino. Rezultat izračuna je presek obeh površin, ki je predstavljen kot prostornina izkopa in nasipa ter razlika med njima.



Slika 13: Izračun prostornine med dvema površinama

Na zgornji sliki je izračun prostornine gradbene jame z dvema površinama. Ta primer je uporabljen za testiranje izračuna, ker imamo rezultat izračuna s prečnimi profili. Program opozori, da je rezultat izračuna približen, ker se robovi površin ne stikajo. Kljub temu je razlika med izračunoma majhna, znaša +99 m³ glede na izračun s prečnimi profili. Pri izkopu s prostornino 13 859 m³ predstavlja razlika +0,7 % celotnega izkopa.

Natančnost mreže DMR je premo sorazmerna s številom diskretnih terenskih točk, zato se je v preteklosti DMR večinoma uporabljal za razne študije in idejne zasnove. Za izvedbene projekte je bilo nesmiselno in neekonomično zajemati tako veliko število terenskih točk. Z razvojem merskih tehnologij, ki omogočajo obsežnejši zajem prostorskih podatkov v relativno kratkem času, se širi tudi področje uporabe DMR-ja. Terestrično lasersko skeniranje velja za eno sodobnejših tehnologij, ki omogoča večjo geometrijsko popolnost in s tem natančnejši DMR.

3 KAMNOLOM SUHOR PRI VINICI

Terestrično lasersko skeniranje smo izvedli na območju kamnoloma Suhor pri Vinici z namenom določitve prostornine raščenege terena. Za skeniranje je bilo izbrano območje južnega dela kamnoloma, ker se kamnolom trenutno širi v tej smeri.

3.1 Splošno o kamnolomu Suhor

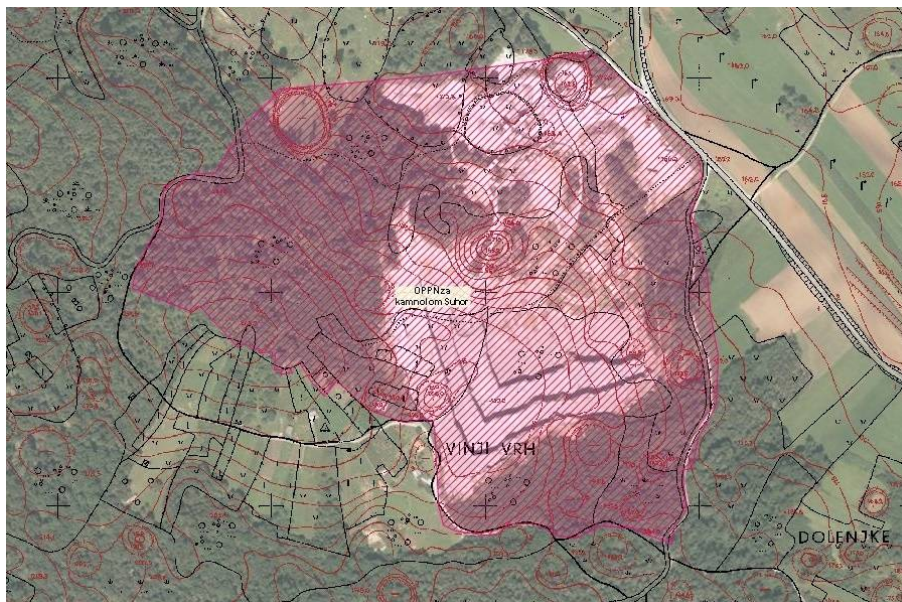
Kamnolom Suhor pri Vinici leži 320 m jugovzhodno od vasi Gornji Suhor pri Vinici in 830 m severozahodno od vasi Lipa, ob regionalni cesti R1 218/1214 odsek Kanižarica–Vinica. Kamnolom se nahaja na pobočju Vinjega vrha, blage vzpetine na vznožju Poljanske gore. Pobočje kamnoloma pada proti severovzhodu. Morfološko se širše območje z blagimi pobočji, griči in vrtačami uvršča v tipično podobo visokega krasa (Uradni list RS, št. 98/2007).



Slika 14: Lokacija kamnoloma Suhor (Vir: PISO Crnomelj, 2. 5. 2016)

V letu 2007 je bil sprejet občinski podrobni prostorski načrt kamnoloma Suhor pri Vinici (v nadaljevanju OPPN). »OPPn obravnava obstoječi kamnolom v bližini vasi Gornji Suhor v občini Črnomelj ter pogoje njegovega nadaljnega obratovanja in urejanja. Poleg širitve kamnoloma se predvideva tudi sanacija že izkoriščenega pridobivalnega območja, sprotna sanacija na novo odprtih in izrabljenih območjih, kakor tudi predelava pridobljenega materiala in gradbenih odpadkov pripeljanih od drugod« (Uradni list RS, št. 98/2007:13321).

Kamnolom trenutno obsega 15,2 ha. S predvidenimi razširitvami v treh fazah naj bi se razširil za dodatnih 8,6 ha, torej na 23,8 ha. V prvi fazi bo razširitev proti jugu, v drugi in tretji fazi proti zahodu. (Uradni list RS, št. 98/2007). Širitve kamnoloma omogočajo pridobivanje koncesije za dodatnih 4 000 000 m³ materiala (spletna stran TGH d. o. o., 2. 5. 2016).



Slika 15: Območje OPPN kamnoloma Suhor (Vir: PISO Crnomelj, 2. 5. 2016)

V kamnolomu se pridobiva sivo-rjavi apnenec, ki se predela v kamene agregate. Pridobljeni agregati se uporabljajo za izdelavo različnih vrst betonov, bitumiziranih nosilnih plasti in za spodnje nosilno-tamponske plasti. Eksploatacija agregata, ki je v plasteh od 0,2 do 1,0 m, se izvaja v obliki teras, ki naj bi potekale od zgoraj navzdol. Nadalje se agregat predela s premičnimi drobilci in separacijo na samih terasah ali pa se odvaža s tovornjaki po notranjih cestah do obstoječe drobilne in sejalne naprave (separaciji za apnenec in dolomit) na osnovnem platoju kamnoloma (Uradni list RS, št. 98/2007).



Slika 16: Separaciji za apnenec in dolomit (Vir: spletna stran TGH d. o. o., 2. 5. 2016)

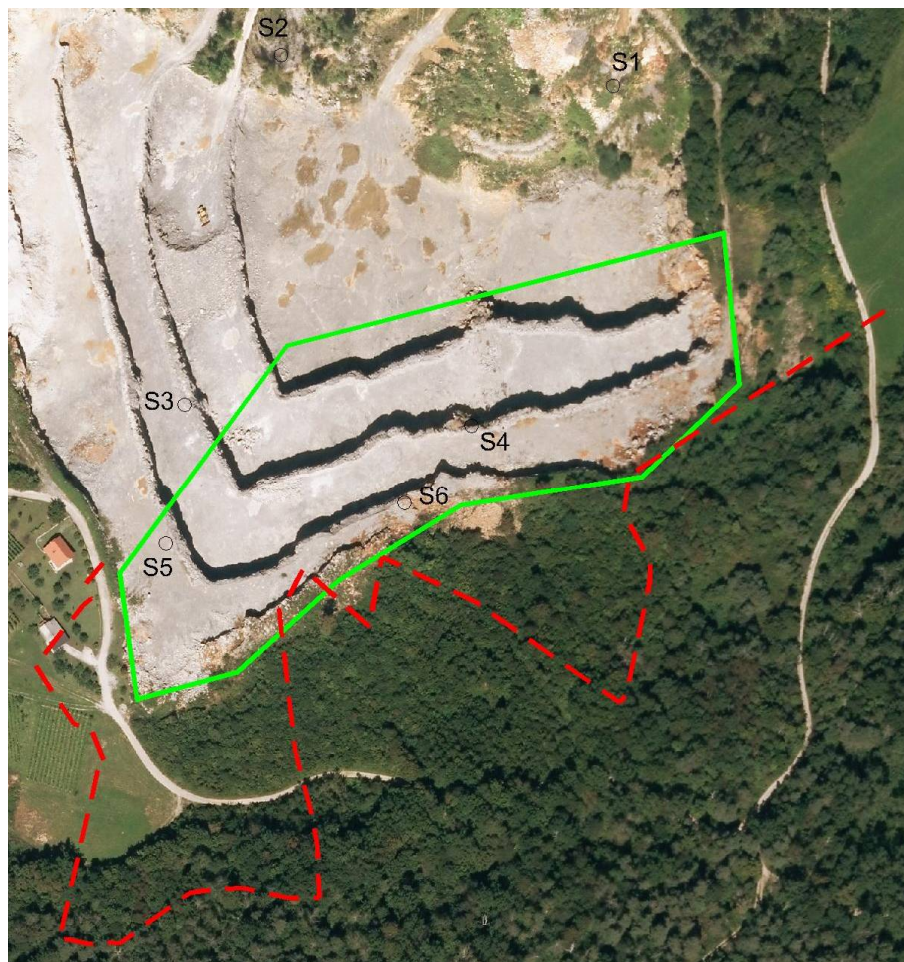
Kamnolom je razvit v petih etažah, etažne brežine so visoke od 12–17 m z naklonom 65° – 70° . Najvišji del obratujočega kamnoloma je na zahodni strani na višinski koti 229 m. Ob vhodu v kamnolom je osnovni plato na višinski koti 170 m, od upravne stavbe do predelave materiala se osnovni plato dviguje do višinske kote 174 m (Uradni list RS, št. 98/2007).



Slika 17: Prikaz etaž z višinskimi kotami

3.2 Območje skeniranja

Območje skeniranja velikosti 2,3 ha, ki je (na spodnji sliki) zelene barve, smo določili glede na mejo prostora za izkoriščanje (na sliki rdeče barve).



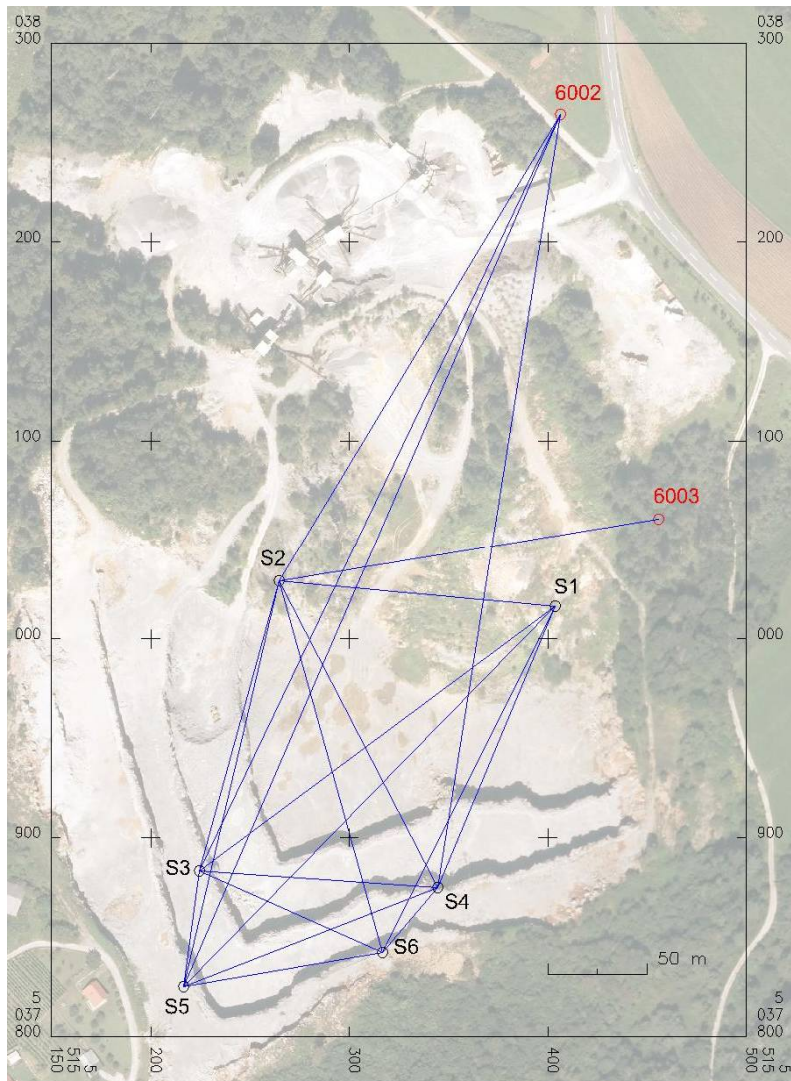
Slika 18: Območje skeniranja kamnoloma Suhor

Iz zgornje slike je razvidno, da območje prostora za izkoriščanje sega na zaraščen teren in celo preko makadamske poti. Za to zaledno območje, ki smo ga omejili do makadamske poti, so uporabljeni podatki geodetskega načrta, izdelanega za OPPN. Za potrebe skeniranja smo stabilizirali šest izhodiščnih točk, tri točke (S1, S2, S3) izven območja in štiri točke (S4, S5, S6) znotraj območja skeniranja. Izhodiščna mreža je vzpostavljena glede na naravne danosti območja z namenom, da s skeniranjem pokrijemo celotno območje. S stojišč S1 in S2 je mogoče videti večji del območja, predvidenega za skeniranje, ostala stojišča so postavljena tako, da dopolnjujejo manjkajoče dele.

4 TERENSKA IZMERA KAMNOLOMA

4.1 Priprave na izmero

Priprave na terensko izmero so obsegale rekognosciranje obstoječih točk, določitev položaja in stabilizacijo novih točk ter čiščenje vizur. Z odstranitvijo grmovja in manjših dreves smo »sprostili« vizure oziroma omogočili vidnost med točkami.



Slika 19: Oblika izhodiščne mreže na ortofoto posnetku

Glede na obseg izhodiščne mreže gre za lokalno terestrično mikromrežo, saj je razvita le na delu kamnoloma Suhor. Izhodiščno mrežo sestavljajo dve obstoječi točki 6002 in 6003 ter šest novo postavljenih točk S1–S6. Obstoječi točki definirata geodetski datum, koordinate imata določene v državnem koordinatnem sistemu D48/GK. Točke S1–S6 so locirane tako, da sestavljajo dva povezana geodetska štirikotnika, kar zagotavlja zanesljive rezultate meritev.

Obe obstoječi točki 6002 in 6003 je bilo potrebno rekognoscirati, saj sta bili zasuti oziroma zarasli.



Slika 20: Rekognoscirani obstoječi točki 6002 (levo) in 6003 (desno)

Nove točke izhodiščne mreže S1–S6 so stabilizirane z betonskimi kvadri dimenzij 12/12/40 cm. Kvadri so zabetonirani v luknje globine 50 cm. Za točnejše centriranje so v betonske kvadre fiksirani jekleni klini dimenzije 8/75 mm z napisom geodetska točka.



Slika 21: Stabilizacija novih točk izmeritvene mreže

4.2 Uporabljene metode izmere

V veliki meri je metode izmere narekovala sama izbira instrumenta za skeniranje, saj univerzalni tahimeter Leica Nova MS 50 omogoča skeniranje in klasično terestrično izmero. Lasersko skeniranje je opisano v samostojnem poglavju 6. Tu sta opisani klasični terestrični metodi izmere, uporabljeni za merjenje izhodiščne mreže.

4.2.1 Kombinirana triangulacijsko-trilateracijska metoda izmere

Za določitev izhodiščne mreže smo uporabili klasično terestrično kombinirano metodo izmere. Gre za triangulacijsko-trilateracijsko metodo, ki temelji na kombinaciji kotnih in dolžinskih meritev. S kombinirano metodo dobimo večje število nadštevilnih opazovanj, kar zagotavlja višjo natančnost in zanesljivost rezultatov koordinat novih točk. Omogoča ločeno določitev horizontalnega položaja (triangulacij-trilateracija) in določitev višin (trigonometrično višinomerstvo) novih točk v mreži.

4.2.2 Trigonometrično višinomerstvo

Višine točk v izhodiščni mreži so določene z uporabo metode trigonometričnega višinomerstva, saj je glede na zahtevnost terena in dimenzije mreže to najprimernejša metoda izmere višinskih razlik. Višinsko razliko med točkama se določi na osnovi merjene zenitne razdalje in reducirane dolžine med točkama. Za izračun višinskih razlik potrebujemo še podatek o višini instrumenta oziroma podatek o višini signalizirane točke. Višinska razlika je izračunana po spodnji enačbi, pri tem sta upoštevani ukrivljenost Zemlje in refrakcija:

$$\Delta h = S_r \cdot \cos z + \frac{S_r^2}{2R}(1-k)\sin z + i - l.$$

Kjer je:

i – višina inštrumenta,

l – višina signala,

z – zenitna razdalja,

S_r – merjena poševna dolžina,

Δh – višinska razlika.

4.3 Instrumentarij in merska oprema

4.3.1 Instrumentarij

- *Leica Nova MS 50*

Meritve so bile izvedene z univerzalnim tahimetrom Leica Nova MS 50. V tem vsestranskem tahimetru so združene vse sodobne merske tehnologije, laserski skener hitrosti 1000 točk/s, vrhunski tahimeter z merjenjem razdalje do 2000 m brez reflektorja, slikovna podpora in združljivost z GNSS tehnologijo.

Preglednica 1: Tehnične lastnosti Leica Nova MS50 (Geoservis, 2013)

MERJENJE KOTOV		
Natančnost Hz in V kotov (ISO 17123-3)	1" (0,3 mgon)	
Način merjenja in način kompenzacije	Absolutni, neprekinjen / Štirikratna	
MERJENJE RAZDALJ		
Doseg	Z reflektorjem GPR1 ali GPH1P S 360° reflektorjem GRZ4 ali GRZ122 Brez reflektorja	1,5 m do > 10000 m 1,5 m do 3000 m 1,5 m do 2000 m
Natančnost (ISO 17123-4) / trajanje meritve	Z reflektorjem Brez reflektorja	1 mm + 1,5 ppm / 1,5 s 2 mm + 2 ppm / 1,5 s
Tehnologija merjenja razdalj	Wave Form Digitising, WFD	Koaksialna svetlobna dioda Vidni laserski žarek
SKENIRANJE		
Hitrost	Doseg	Raztros dosega (1 sigma)
1000 Hz	300 m	1,0 mm na razdalji 50 m
250 Hz	400 m	0,8 mm na razdalji 50 m
62 Hz	500 m	0,6 mm na razdalji 50 m
1 Hz	1000 m	1,0 mm na razdalji 50 m
Prikaz oblakov točk	Vgrajen 3D pregledovalnik, obarvanje glede na jakost odboja žarka ali RGB	
SLIKOVNA PODPORA		
Širokokotna in koaksialna kamera	Senzor Kot pogleda: širokokotna / koaksialna Hitrost osveževanja pogleda	CMOS, 5 Mpix 19,4° / 1,5° Do 20 sličic na sekundo
SAMODEJNO VIZIRANJE REFLEKTORJA (ATR)		
Doseg ATR	Reflektor GPR1 ali GPH1P S 360° reflektorjem GRZ4 ali GRZ122	1000 m 800 m
Doseg sledenja reflektorja	Reflektor GPR1 ali GPH1P S 360° reflektorjem GRZ4 ali GRZ122	800 m 600 m
SAMODEJNO ISKANJE REFLEKTORJA (PowerSearch)		
Doseg / trajanje iskanja na 360° reflektor	300 m / običajno 5 s	
USMERJEVALNA LUC (EGL)		
Doseg / natančnost	5–150 m / 5 cm na 100 m	
SPLOŠNO		
Daljnogled s samodejnim ostrenjem	Povečava / območje ostrenja	30 × / 1,7 m do neskon.
Avtonomija delovanja	7–9 ur	
Pomnilnik	Vgrajen / pomnilniška kartica	1 GB / SD kartica do 8 GB



Slika 22: Elektronski tahimeter Leica Nova MS 50

- Precizni reflektor *Leica GPH-1P*

S preciznimi reflektorji so bile signalizirane vse točke izhodiščne mreže. Precizni reflektorji imajo glede na klasične večjo natančnost označevanja. Adicijska konstanta preciznega reflektorja *GPH-1P* je $k_a=0$ mm.

Slika 23: Precizni reflektor *GPH-1P*, nosilec reflektorja z optičnim grezilom, trinožni podstavek (Leica Geosystems, 2016)

Centriranje instrumenta in reflektorjev na stativih se je izvedlo s trinožnimi podstavki, v katere se fiksirajo nosilci reflektorjev z optičnim grezilom, ki omogočajo horizontiranje s cevno libelo.



Slika 24: Signalizacija točk

4.3.2 Merska oprema

Poleg navedenega instrumentarija so bili uporabljeni žepni merski trak, precizni aspiracijski psihrometer in digitalni barometer za določitev atmosferskih pogojev ob izvajanju opazovanj.

- Žepni merski trak

Žepni trak je bil uporabljen za merjenje višin instrumenta in signalizirane točke 6003.

- Precizni aspiracijski psihrometer

Psihrometer zagotavlja natančne meritve mokre in suhe temperature. Ločljivost termometra je 0,1 °C. Psihrometer je potrebno postaviti tako, da ni direktno osončen. Pred odčitavanjem je potrebno mokri termometer navlažiti z destilirano vodo.

- Digitalni barometer *Paroscientific*, model št. 760-16B, št. 70472

Zračni tlak je bil merjen ob začetku opazovanj na vsakem stojišču. Ločljivost barometra je 0,01 mbar, natančnost pa 0,01 %.



Slika 25: Precizni aspiracijski psihrometer (levo) in digitalni barometer *Paroscientific* (desno)
(Žibert, 2009: 50)

4.4 Meritve

Meritve so bile izvedene 25. 5. 2016 med deveto in sedemnajsto uro. Vreme je bilo jasno, temperatura zraka od 21 do 28 °C. Kljub temu, da temperatura zraka ni dosegla 30 °C, je bil to prvi vroč dan tega poletja.

Meritve smo izvedli tako, da smo na vsakem stojišču najprej opazovali izhodiščno mrežo, za tem pa skenirali kamnolom, z izjemo stojišča 6002, kjer je bila opazovana le izhodiščna mreža. Opazovanja na stojiščih smo izvedli v sledečem vrstnem redu: 6002, S1, S2, S3, S4, S6, S5. Na vsakem stojišču je bila izmerjena višina instrumenta. Pred opazovanji smo odčitali moko in suho temperaturo na aspiracijskem psihrometru in izmerili zračni tlak z digitalnim barometrom. Vse našteje izmerjene vrednosti smo vnesli v instrument.

5 IZHODIŠČNA MREŽA

5.1 Meritve izhodiščne mreže

V mreži so bili sočasno merjeni horizontalni koti, poševne dolžine in zenitne razdalje, in sicer:

- horizontalni koti po girusni metodi (7 girusov);
- poševne dolžine:
 - obojestransko med stojiščnimi točkami za skeniranje S1-S6 in dano točko 6002 (7 ponovitev);
 - enostransko proti dani točki 6003 (7 ponovitev);
- zenitne razdalje:
 - obojestransko med stojiščnimi točkami za skeniranje S1-S6 in dano točko 6002 (7 ponovitev);
 - enostransko proti dani točki 6003 (7 ponovitev).

Glede na priporočila za izvedbo preciznih meritev z instrumentom višjih stopenj avtomatizacije se sedem girusov oziroma sedem ponovitev enači s tremi girusi oziroma tremi ponovitvami, ki jih opravi operater.

5.2 Predhodna obdelava meritev

Pred izravnavo je potrebno terenske meritve pripraviti oziroma primerno obdelati. Nujno je, da se iz opazovanj izločijo vsa grobo pogrešena opazovanja in upoštevajo sistematični pogreški.

Za prenos podatkov iz instrumenta smo uporabili program Leica Infinity. Datoteka *.gsi, ki vsebuje podatke terenskih meritev, je bila s pomočjo programa LisCad pretvorjena v datoteko *.fld za vsako stojišče posebej. V istem programu so izračunane sredine merskih količin (horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in poševnih dolžin) iz sedmih girusov oziroma ponovitev. S pomočjo izračunanih standardnih deviacij in odstopanj se odkrijejo grobo pogrešena opazovanja, ki v tem primeru niso bila prisotna.

5.2.1 Horizontalne smeri

Merske vrednosti moramo pripraviti v obliko, primerno za izravnavo, horizontalne smeri smo na vsakem stojišču reducirali na začetno smer. Reducirane sredine girusov opazovanih smeri so vhodni podatek za izravnavo horizontalne mreže.

5.2.2 Zenitne razdalje

Podobno kot za horizontalne smeri je potrebno zenitne razdalje pripraviti v obliko, ki je primerna za izravnavo. Končne merjene vrednosti so aritmetične sredine sedmih ponovitev na posameznem stojišču. Zenitne razdalje smo uporabili za redukcijo dolžin na ničelno nivojsko ploskev in izračun višinskih razlik z metodo trigonometričnega višinomerstva.

5.2.3 Dolžine

Merjene dolžine so poševne dolžine, ki se jih ne da neposredno uporabiti v izravnavi. Horizontalne koordinate točk mreže bodo preračunane v koordinatni sistem D48/GK, zato moramo dolžine reducirati na ničelno nivojsko ploskev v izbrani projekciji. Za redukcijo smo uporabili dolžine, ki so izračunane sredine izmerjenih vrednosti v sedmih ponovitvah.

5.2.3.1 Redukcija dolžin

Merjene dolžine se reducirajo za meteorološke, geometrične in projekcijske popravke.

Dolžine računsko dodatno nismo reducirali za meteorološke popravke, ker je prvi popravek hitrosti pri merjeni dolžini že upoštevan. Meteorološke parametre (v preglednici 2), suho in mokro temperaturo zraka ter zračni tlak smo na vsakem stojišču vnesli v instrument.

Preglednica 2: Izmerjeni meteorološki parametri ob izmeri izhodiščne mreže

Stojišče	Suha temperatura [°C]	Mokra temperatura [°C]	Zračni tlak [mbar]
6002	21,1	15,1	991,3
S1	20,6	16,2	991,0
S2	25,1	16,1	989,9
S3	27,5	23,0	989,1
S4	24,8	16,2	988,9
S5	26,6	20,8	986,5
S6	21,4	17,2	986,9

Izračunali in upoštevali smo geometrični popravek, vertikalne ekscentricitete med stojiščem in signalizirano točko. Tako smo izvedli redukcijo na nivo točk (kamen-kamen).

Projekcijski popravek, ki predstavlja prehod prostorske poševne dolžine z nivoja točk na sferni lok, smo izvedli z uporabo spodnje enačbe za direktno redukcijo (Kogoj, 2005: 141):

$$S = R \arctan \frac{S_K \sin z}{(R + H_A) + S_K \cos z}.$$

Koordinate danih točk so v koordinatnem sistemu D48, zato smo izvedli redukcijo in modulacijo dolžin na Gauss-Kruegerjevo projekcijsko ravnino (Kogoj, 2005: 146):

$$S_{GKM} = S \cdot \left(1 + \frac{\bar{y}_m^2}{2R^2} - 0,0001\right),$$

kjer je srednja oddaljenost od dotikalnega meridiana izračunan kot $\bar{y}_m = \frac{y_A + y_B}{2}$.

Preglednica 3: Vhodni podatki za položajno in višinsko izravnavo

Stojišče	Točka	Merjena Hz smer [gon]	Zenitna razdalja [gon]	Merjena poševna dolžina [m]	Reducirana dolžina [m]	Izračunana višinska razlika [m]
6002	S4	0,00000	97,35122	394,9109	394,5190	16,5339
6002	S5	15,95767	95,58547	479,6048	478,3902	33,2913
6002	S3	18,35827	97,51380	422,4833	422,1075	16,5822
6002	S2	24,50885	97,30367	274,6082	274,3273	11,6703
S1	S4	0,00000	93,74112	154,3523	153,5874	15,1232
S1	S6	4,31051	89,90544	197,4421	194,9399	31,1740
S1	S5	24,13199	92,43420	269,5232	267,5874	31,8796
S1	S3	34,19747	95,66831	223,8105	223,2642	15,1691
S1	S2	80,72297	95,29351	139,9977	139,5976	10,2538
S2	6002	0,00000	102,70378	274,6089	274,3271	-11,6922
S2	6003	55,37925	104,12612	193,8521	193,4209	-12,4817
S2	S1	71,39888	104,71217	139,9983	139,5975	-10,2636
S2	S4	135,16315	98,24371	174,1281	174,0397	4,8642
S2	S6	148,29207	93,20433	195,5136	194,3756	20,9163
S2	S5	180,24268	93,46451	210,9130	209,7754	21,6241
S2	S3	182,66460	97,95093	151,4880	151,3902	4,9136
S3	6002	0,00000	102,49474	422,4848	422,1078	-16,6146
S3	S1	31,02365	104,33761	223,8117	223,2645	-15,1832
S3	S4	76,26782	100,04006	120,4890	120,4737	-0,0528
S3	S6	98,51007	90,03705	102,3564	101,0925	15,9999
S3	S5	180,14702	82,33997	61,12235	58,7780	16,7091
S3	S2	388,81522	102,05454	151,4884	151,3903	-4,9235
S4	6002	0,00000	102,65694	394,9114	394,5182	-16,5632
S4	S1	15,18424	106,26412	154,3525	153,5867	-15,1326
S4	S6	235,04139	77,28117	45,8759	42,9799	16,0504
S4	S5	266,50241	92,24264	138,2695	137,2265	16,7561
S4	S3	294,62533	99,96536	120,4887	120,4734	0,0445
S4	S2	359,67162	101,76138	174,1281	174,0394	-4,8740
S5	S2	0,00000	106,54106	210,9121	209,7732	-21,6364
S5	6002	11,20649	104,42361	479,6030	478,3858	-33,3281
S5	S1	34,56509	107,57226	269,5223	267,5845	-31,8968
S5	S4	61,75117	107,76267	138,2692	137,2250	-16,7649
S5	S6	74,63061	100,49501	101,4742	101,4580	-0,7123
S5	S3	393,75383	117,66583	61,1218	58,7761	-16,7138

se nadaljuje ...

...nadaljevanje Preglednice 3

S6	S2	0,00000	106,80069	195,5132	194,3741	-20,9264
S6	S1	46,69389	110,09981	197,4417	194,9378	-31,1847
S6	S4	62,24053	122,72292	45,8757	42,9789	-16,0528
S6	S5	306,58138	99,51034	101,4741	101,4580	0,7051
S6	S3	344,06740	109,96767	102,3558	101,0908	-16,0059

5.3 Določitev najverjetnejših koordinat izhodiščne mreže – izravnava

Izračun najverjetnejših koordinat stojiščnih in orientacijskih točk smo izvedli s posredno izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Položajno in višinsko mrežo izravnavamo ločeno. Vhodni podatki izravnave so koordinate danih točk, približne koordinate novih točk in predhodno obdelana opazovanja. Horizontalne koordinate danih točk, ki definirajo geodetski datum, so v državnem koordinatnem sistemu D48/GK, višine so normalne ortometrične v državnem višinskem sistemu.

Preglednica 4: Koordinate danih točk

Točka	Y [m]	X [m]	H [m]
6002	515406,13	38264,28	174,14
6003	515455,65	38059,85	173,35

5.3.1 Izravnava horizontalne mreže

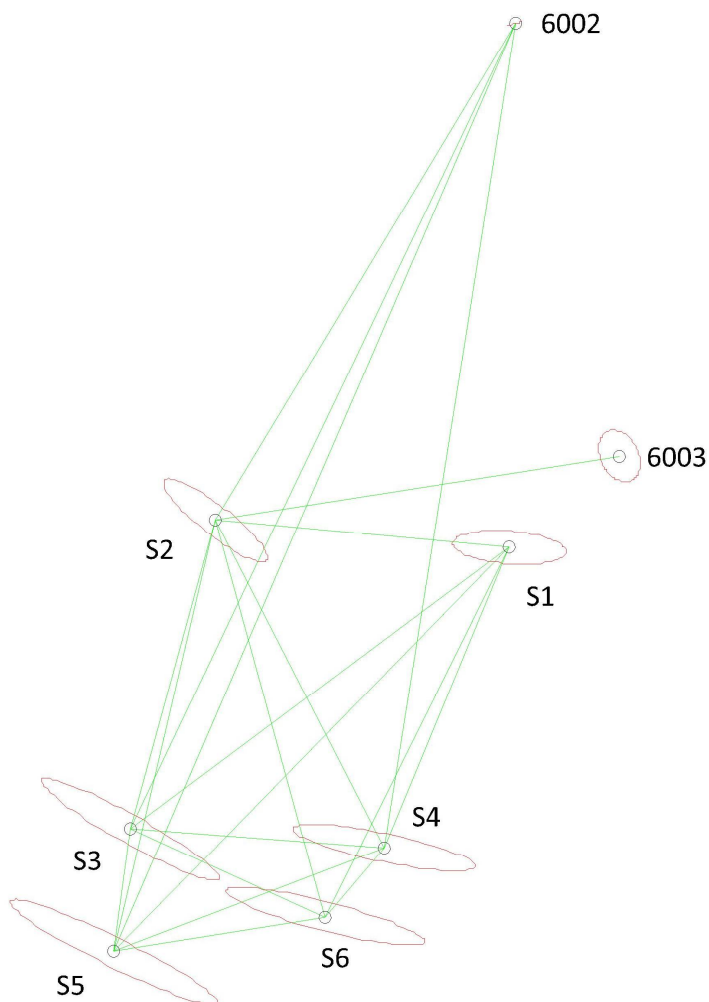
Za izravnavo horizontalne mreže je uporabljen program DemoGem. Vhodna datoteka s končnico *.pod vsebuje položajne koordinate danih točk in približne koordinate novih točk. Opazovanja predstavljajo horizontalne smeri in reducirane dolžine. Na koncu so še podatki o natančnosti opazovanih smeri in dolžin, razdelbi kroga in natančnosti izpisa rezultatov.

Najverjetnejše koordinate horizontalne mreže so izračunane s posredno izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Pri horizontalni geodetski mreži imamo štiri datumske parametre, torej je defekt mreže 4. Če pa poleg smeri opazujemo tudi dolžine, ki določajo merilo mreže, gre za kombinirano mrežo, kjer je defekt mreže 3. Torej je geodetski datum predoločen, kar je lahko problematično z vidika vpliva zunanjih opazovanj na notranja opazovanja.

Če je geodetski datum definiran samo z notranjimi vezmi, govorimo o prosti mreži. Ta je dober pokazatelj, kako natančno smo opravili meritve in kakšen je vpliv danih količin. V našem primeru so rezultati proste mreže izvrstni, kar kaže na dobro opravljene meritve. Pri analizi rezultatov vklopljene mreže na obe dani točki smo ugotovili, da so zunanja opazovanja slabše natančnosti kot notranja opazovanja. Zato smo se odločili, da zmanjšamo problematični vpliv

danih količin. Ker imamo kombinirano mrežo, je defekt mreže 3, zato smo fiksirali naslednje tri količnine: dve koordinati točke 6002 (Y, X) in smer proti točki 6003.

Elipse pogreškov mreže : SUHOR



Merilo elips pogreškov in premikov

— 1 mm

Merilo mreže

— 25 m

Slika 26: Prikaz izhodiščne mreže in standardnih elips pogreškov vklopljene mreže

Rezultati izravnave izpisani v datoteki s končnico *.gem (priloga A) so izravnane vrednosti koordinat in analiza natančnosti, kot je prikazano v preglednici spodaj.

Preglednica 5: Rezultati izravnane horizontalne mreže

Točka	Y [m]	X [m]	My [m]	Mx [m]	Mp [m]	a [m]	b [m]	Θ [°]
6002	515406,1300	38264,2800	0,0002	0,0000	0,0002	0,0002	0,0000	74
6003	515455,6415	38059,8851	0,0005	0,0006	0,0008	0,0006	0,0005	154
S1	515403,6628	38016,3426	0,0013	0,0004	0,0014	0,0013	0,0004	95
S2	515264,6631	38029,2427	0,0012	0,0010	0,0016	0,0015	0,0003	128
S3	515224,3554	37883,3178	0,0021	0,0012	0,0024	0,0024	0,0003	119
S4	515344,5130	37874,6024	0,0022	0,0006	0,0022	0,0022	0,0003	102
S5	515216,5411	37825,0627	0,0024	0,0013	0,0027	0,0027	0,0003	116
S6	515316,5870	37841,9315	0,0023	0,0007	0,0024	0,0024	0,0003	105

5.3.2 Izravnava višinske mreže

Za izravnavo višinske mreže je uporabljen program VimWin. Vhodna datoteka s končnico *.pod vsebuje podatek o izpisu števila decimalnih mest, podatek o enotah za dolžine, višine danih reperjev, približne višine novih reperjev, opazovanja, ki predstavljajo višinske razlike, in poševne dolžine, ki služijo kot uteži.

Pri višinski mreži smo za vrednotenje opravljenih meritev in analizo vpliva danih količin prav tako uporabili prosto mrežo. V višinski mreži je defekt datuma 1. Da smo zadostili temu pogoju, smo izbrali točko 6002 kot dano. Višinsko mrežo smo glede na velikost obravnavali kot nivelmansko, čeprav so bile višinske razlike določene z metodo trigonometričnega višinomerstva, zato se uteži izračunajo po enačbi $p = \frac{1}{d}$.

Rezultati izravnave, zapisani v datoteki s končnico *.rez (priloga B), so popravki višinskih razlik, najverjetnejše višine novih točk in srednji pogrešek višine, kot je prikazano v spodnji preglednici.

Preglednica 6: Rezultati izravnane višinske mreže

Reper	Približna višina [m]	Popravek višine [m]	Definitivna višina [m]	Srednji pogrešek višine [m]
6003	173,3505	-0,0119	173,3386	0,0084
S1	175,5686	-0,0067	175,5619	0,0043
S2	185,8322	-0,0119	185,8203	0,0039
S3	190,7459	-0,0074	190,7385	0,0039
S4	190,6965	-0,0068	190,6897	0,0039
S5	207,4564	-0,0063	207,4501	0,0040
S6	206,7486	-0,0072	206,7414	0,0040

6 SKENIRANJE KAMNOLOMA

6.1 Skeniranje

Terestrično lasersko skeniranje velja za eno novejših metod geodetske izmere. Pri tej metodi v zelo kratkem času pridobimo veliko število prostorskih koordinat točk, ki predstavljajo površino skeniranega objekta. Ta lastnost terestričnih laserskih skenerjev omogoča široko področje uporabe.

3R lasersko skeniranje deluje na principu laserskega žarka, ki se odbija od površine objekta in tvori oblak točk. Izpolnjen mora biti osnovni pogoj za 3R lasersko skeniranje, skenirana površina mora odbijati lasersko svetlobo. Kjer se laserska svetloba ne odbije od skenirane površine, nastane območje brez točk. Pri 3R laserskem skeniranju skener zajame vse objekte v vidnem polju, tudi tiste, ki jih ne potrebujemo in so lahko moteči. Te točke predstavljajo šum, zato jih v poznejši obdelavi odstranimo.

Skeniranje smo izvedli z instrumentom Leica Nova MS50, ki omogoča direktno georeferenciranje oblakov točk. Meteorološke parametre in višino instrumenta smo vnesli ob izmeri izhodiščne mreže. Na vsakem stojišču smo določili območje skeniranja, kot je razvidno iz spodnje slike.



Slika 27: Območje skeniranja na panoramski fotografiji s stojišča S2

Gostoto skeniranih točk smo na vsakem stojišču nastavljali različno, izbrali smo najbolj oddaljeni del kamnoloma, izmerili dolžino in na tej razdalji določili raster skeniranja. Na stojiščih S1, S2 in S3 je bil raster $0,70 \times 0,70$ m, na stojiščih S4, S5 in S6 pa je bil $1,0 \times 1,0$ m. Pred skeniranjem je bilo območje skeniranja fotografirano in združeno v panoramsko fotografijo za vsak skenogram posebej. Fotografiranje območja skeniranja traja približno toliko kot skeniranje samo.

Preglednica 7: Podrobnosti zajetih oblakov točk

Stojišče	Oblak točk	Raster skeniranja [gon]	Število točk	Čas zajema
S1	S1	0,1649 × 0,1649	119 810	~16 minut
S2	S2	0,1886 × 0,1886	27 755	~9 minut
S3	S3	0,1998 × 0,1998	217 049	~18 minut
S4	S4	0,4796 × 0,4796	88 195	~20 minut
S5	S5	0,2361 × 0,2361	36 987	~6 minut
	S5_A	0,6843 × 0,6843	2 486	~3 minut
S6	6	0,3386 × 0,3386	16 962	~4 minut
	6_1	0,3386 × 0,3386	1 511	~1 minut
	6_2	0,3386 × 0,3386	18 918	~5 minut
	6_3	1,8875 × 1,8875	797	~2 minut

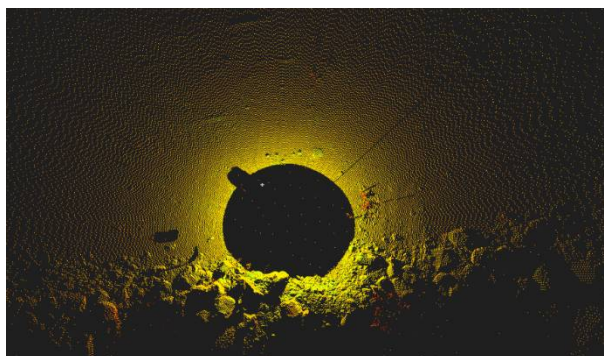
Iz zgornje preglednice je razvidno, da smo na stojišču S5 zajeli dva oblaka točk, na stojišču S6 pa celo štiri oblake. Na stojiščih S4 in S6 je bil instrument znotraj območja skeniranja, kar je povzročilo težave pri fotografiranju skeniranega območja. V neposredni bližini instrumenta je ozek kot zajemanja fotografij, zato je potrebno za izdelavo panoramskega posnetka veliko število fotografij.

Na panoramski fotografiji, zajeti na stojišču S4, je območje skeniranja označeno ravno nasprotno, kot smo ga določili.



Slika 28: Območje skeniranja na panoramski fotografiji na stojišču S4

Z namenom skrajševanja časa zajemanja smo na stojišču S4 izločili skeniranje neposredne bližine instrumenta. To izločeno območje (prikazano na naslednji sliki) znotraj območja skeniranja je najverjetneje povzročilo pojav na zgornji panoramski fotografiji.

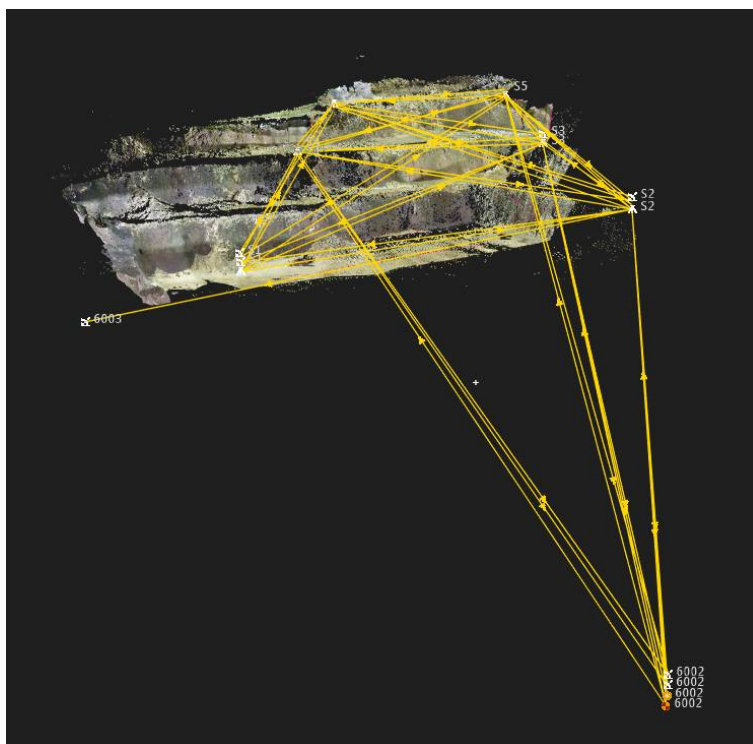


Slika 29: Neposredna okolica stojišča S4

Na stojiščih S5 in S6 smo to nevšečnost, ki bi časovno podaljšala zajemanje, rešili s skeniranjem po delih, zato je več oblakov točk. Tako smo izločili skeniranje neposredno ob instrumentu, kar ni vplivalo na rezultat. Skupno število vseh zajetih točk v desetih skenogramih je 530 470.

6.2 Obdelava oblakov točk

Obdelava točk je obsegala georeferenciranje in odstranjevanje šumov. Za obdelavo oblaka točk je uporabljen program Leica Infinity, v katerega smo uvozili datoteko *.dbx, ki vsebuje vsa zajeta opazovanja: meritve izhodiščne mreže, skenirane oblake točk in fotografije. Uvoz tako obsežnih podatkov, zbranih v podatkovni bazi, je trajal 5 minut. Z namenom georeferenciranja oblaka točk je uvožena tudi datoteka *.koo definitivnih koordinat izhodiščne mreže.



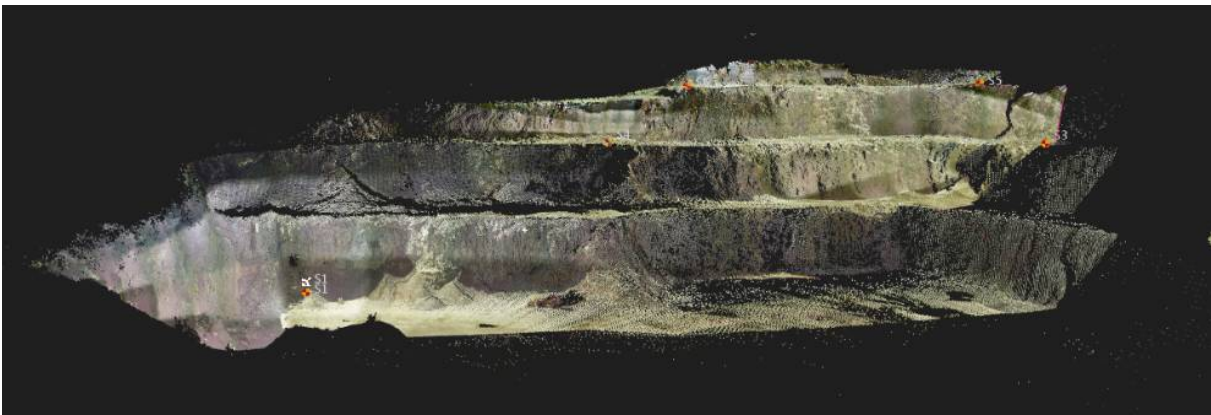
Slika 30: Uvoženi surovi podatki v Leica Infinity

Na zgornji sliki je skupni oblak točk sestavljen iz desetih oblakov, ki so skenirani s posameznih stojišč. Ti oblaki točk so v lokalnem koordinatnem sistemu, ker smo na prvem stojišču 6002 vnesli lokalne koordinate.

Obdelava oblakov točk poteka po posameznih stojiščih. Glede na terenski zapisnik je potrebno preveriti višine stojišč in orientacij. Pri vseh merjenih dolžinah je atmosferski popravek že upoštevan, v programu pa je potrebno izračunati še tako imenovani geometrični popravek, ki obsega geometrične in projekcijske popravke. Georeferenciranje posameznega stojišča je

izvedeno tako, da se stojščni točki in orientacijskim točkam zamenjajo merjene koordinate z definitivnimi in tako dobijo status kontrolnih točk (angl. control points). Pri tem program izračuna spremembo smeri, standardni odklon dolžine in višine. Ob potrditvi ukaza se izračunajo razlike koordinat glede na lokalni koordinatni sistem.

Oblak točk je lahko obarvan na več načinov: RGB (naravne barve), glede na intenziteto odboja, SNR (Signal-to-Noise-Ratio) in enobarvno.



Slika 31: Georeferenciran oblak točk

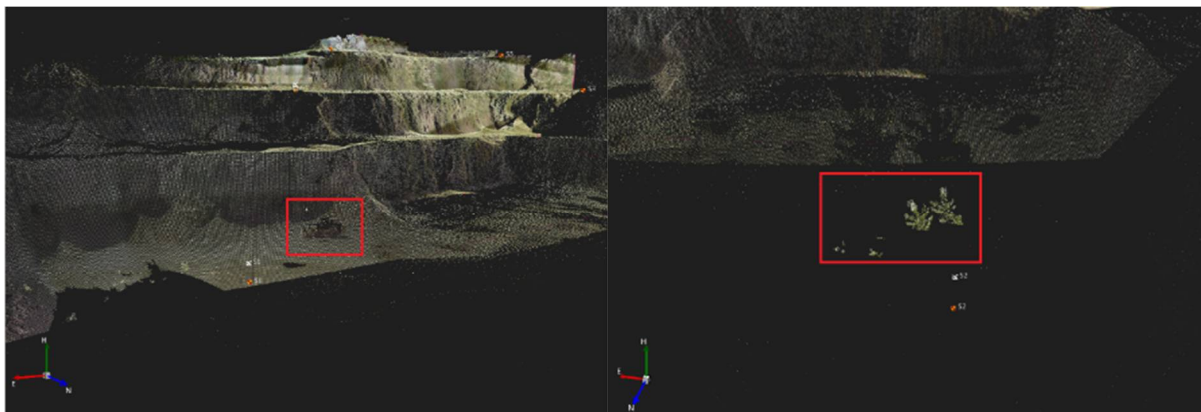
Georeferenciran oblak točk je potrebno očistiti vseh šumov, katerih v kamnolomu praviloma ni veliko. V našem primeru šum predstavljajo vozila (bager in avtomobil), objekt za skrivanje med miniranjem, zaboje instrumenta in vegetacija.



Slika 32: Panoramska fotografija skenograma S6

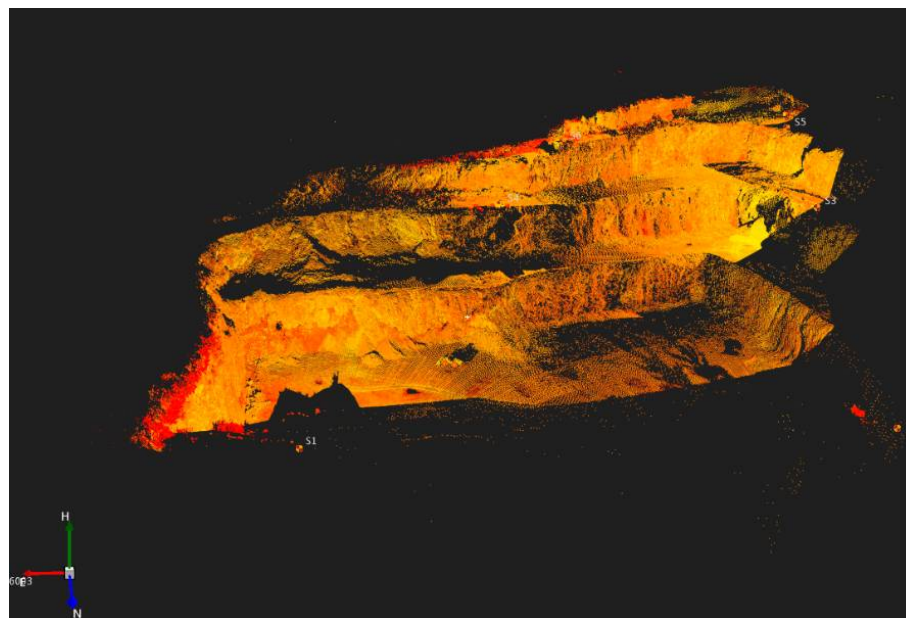
Vseh šumov ni enostavno razbrati iz oblaka točk, kljub temu da je oblak obarvan. Zato so v veliko pomoč panoramske fotografije posameznih skenogramov, iz katerih je razvidno kaj vse je bilo s skeniranjem zajeto in kaj predstavlja šum.

Na spodnji sliki levo je viden bager, ki ga je potrebno izbrisati. Na desni sliki pa je moteča vegetacija v neposredni bližini stojišča, kar je videti kot odtis na oblaku točk.



Slika 33: Bager (levo) in vegetacija (desno)

Pri brisanju vegetacije si lahko pomagamo z oblakom točk, obarvanim glede na intenziteto odboja. Na spodnji sliki je razvidno, da je vegetacija obarvana rdeče barve.



Slika 34: Oblak točk, obarvan glede na intenziteto odboja

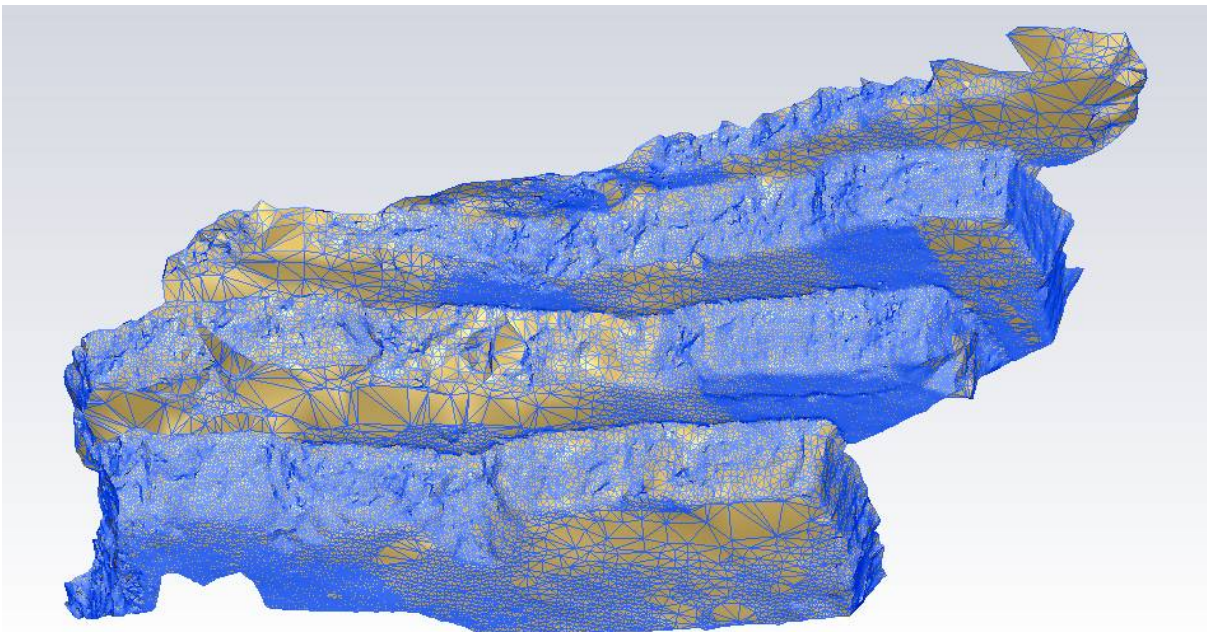
Brisanje odvečnih točk je enostavno, ker program omogoča navigacijo in vrtenje celotnega oblaka točk. Z brisanjem se je število točk v oblaku zmanjšalo na 494 809 točk. Po končani obdelavi je bil oblak točk zapisan v datoteko s končnico *.pts, ki temelji na ASCII formatu.

7 IZDELAVA DMR IN IZRAČUN PROSTORNINE

Izdelavo digitalnega modela reliefa in izračun prostornine smo opravili v programu 3DReshaper.

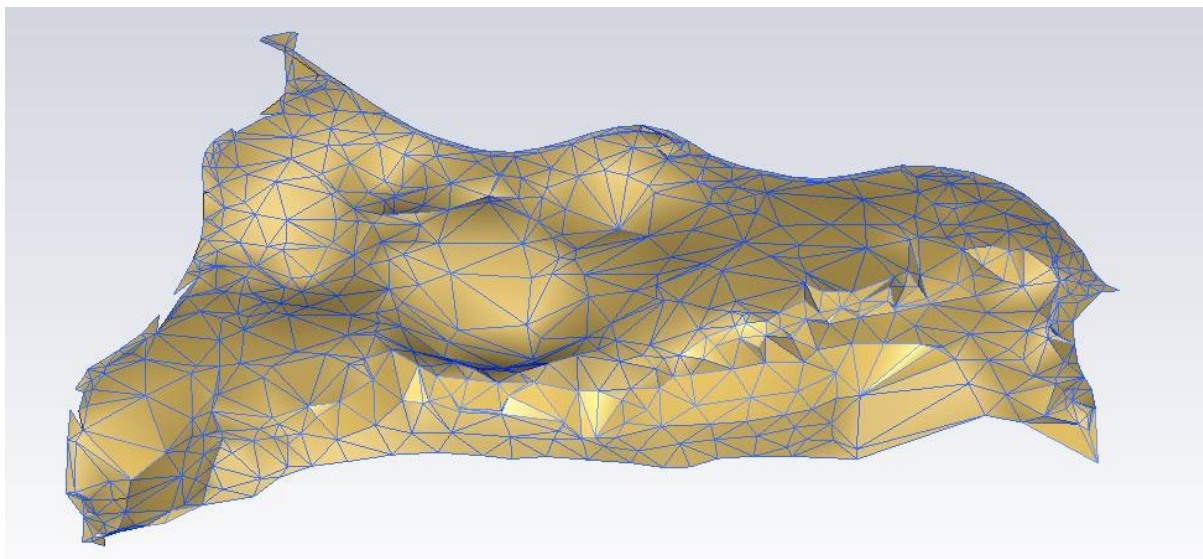
7.1 Izdelava digitalnega modela reliefa

Vhodni podatek pri izdelavi DMR je georeferenciran in očiščen oblak točk zapisan v datoteko *.pts. Uvožene oblake točk je moč združiti v enoten oblak točk ali pa uporabiti posamezne oblake. V našem primeru smo izbrali vseh deset oblakov in zagnali ukaz 3D mesh (3R mreža). Glede na morfološke značilnosti našega terena smo uporabili izdelavo mreže v dveh korakih. S tem načinom izdelave mreže program v prvem koraku izdela grobo mrežo za pridobitev oblike mreže brez lukenj in napak. V drugem koraku se mreža napne na oblak točk, s tem se dodajo vsi detajli. Na spodnji sliki je predstavljena izdelana mreža, sestavljena iz 54 959 trikotnikov. Celotna površina mreže, ki vključuje tudi vertikalne stene, meri 3,851 ha.



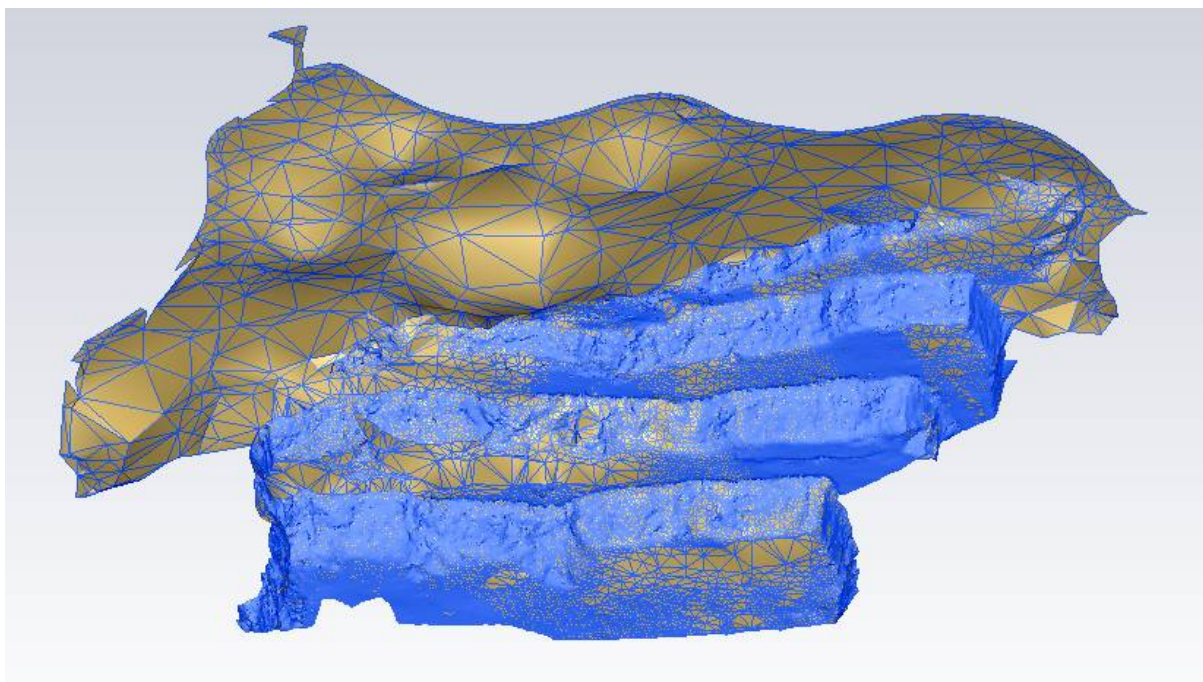
Slika 35: DMR izdelan iz oblaka točk

S pomočjo izdelanega DMR želimo izračunati zaloge v južnem delu kamnoloma, zato potrebujemo teren v zaledju odprtega kopa. DMR zalednega terena smo izdelali s podatki geodetskega načrta, ki je bil osnova za izdelavo OPPN. Vhodna datoteka *.dwg vsebuje 3R elemente: 1318 točk, lomne črte in mejo območja. Mreža je izdelana na enak način kot pri oblaku točk, le da je število trikotnikov, ki sestavljajo mrežo, manjše. Površina izdelanega DMR meri 5,362 ha, sestavljen je iz 1235 trikotnikov.



Slika 36: DMR izdelan iz podatkov geodetskega načrta

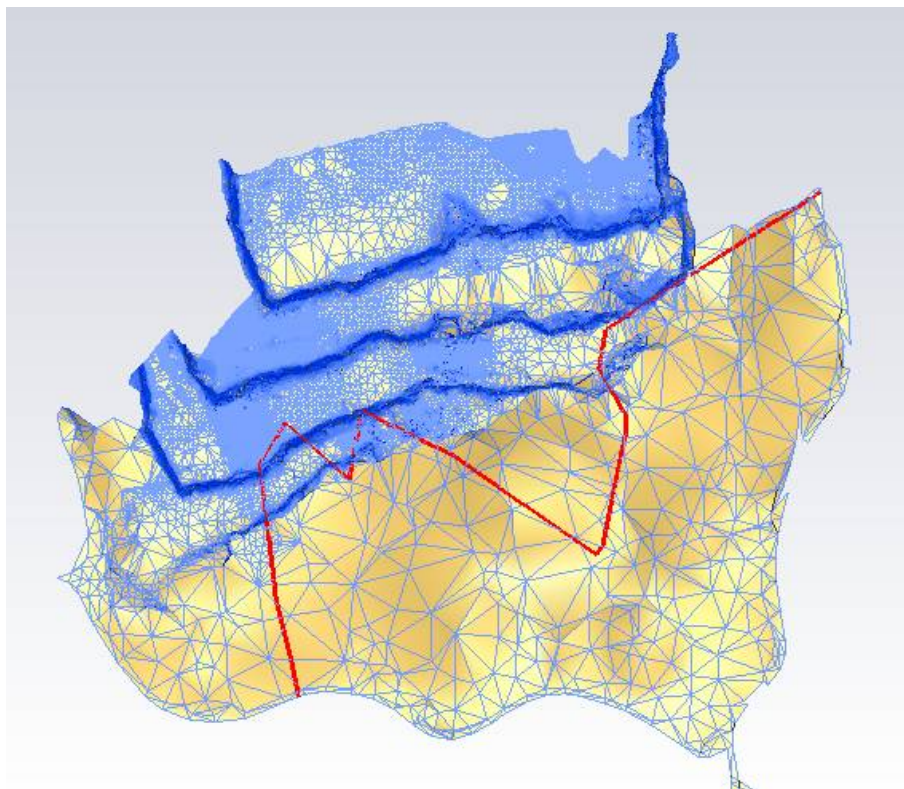
Površino odprtega kopa in zaledno površino je potrebno združiti v enoten DMR. Zadnji geodetski načrt je bil izdelan leta 2013, zato pri združitvi površin pride do prekrivanja. Trikotnike zaledne površine, ki sežejo čez površino, izdelano iz oblaka točk, smo pobrisali. Po brisanju trikotnikov je med obema površinama nastal prazen prostor, ki se je zapolnil ob združitvi površin, saj se med obema robovoma izračunajo novi trikotniki. Rezultat združenih površin je prikazan na spodnji sliki.



Slika 37: Združen DMR

7.2 Izračun prostornine

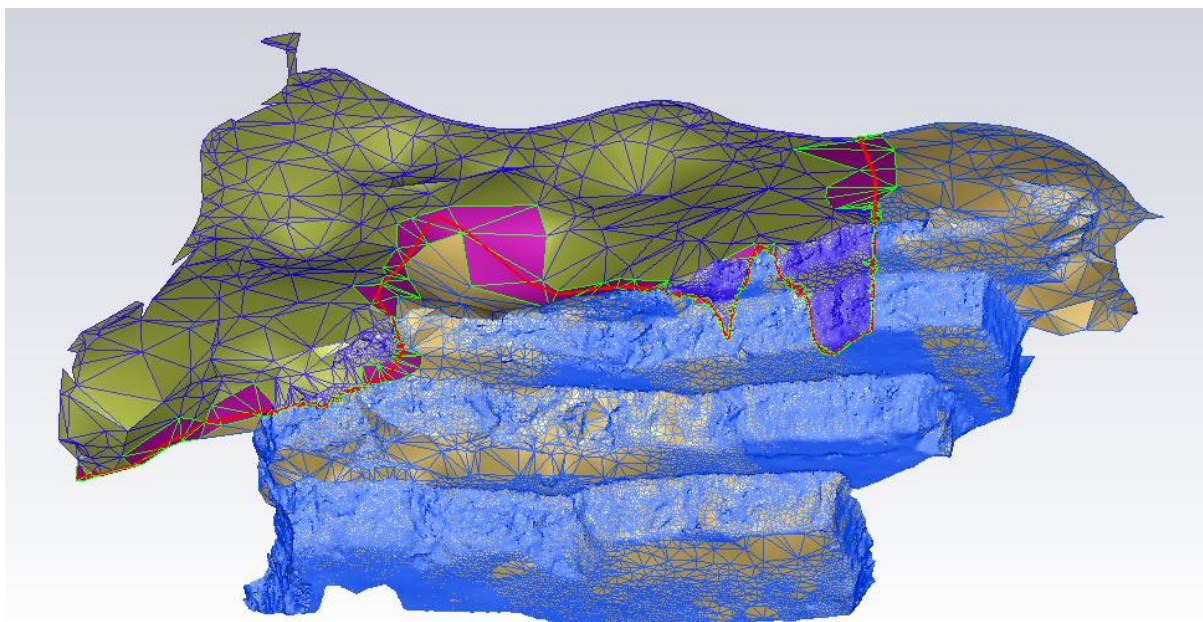
Na spodnji sliki je DMR, na katerem je z rdečo barvo prikazano območje s trenutno veljavnim dovoljenjem za izkoriščanje. Izkop se izvaja iz smeri severa proti jugu, zato je potrebno izračunati prostornino do meje izkoriščanja v tej smeri.



Slika 38: Tlorisni pogled na DMR in mejo izkoriščevalnega prostora

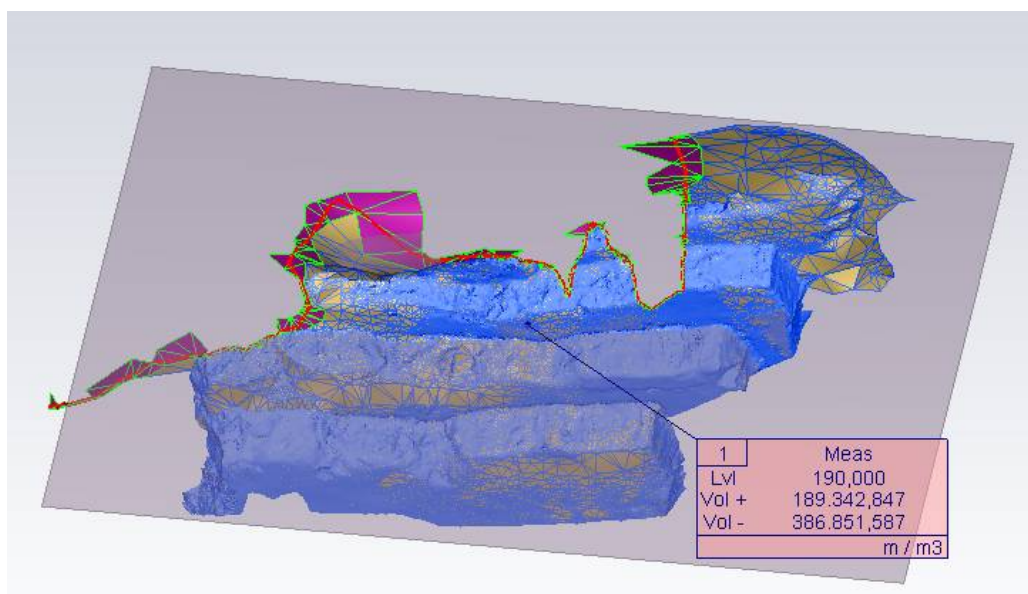
Meja izkoriščanja ni ravna, ima veliko oglišč, ker poteka po mejah zemljiškega katastra. Prav posebnosti, kot so geometrija meje izkoriščanja in izračun prostornine na različnih nadmorskih višinah, predstavljajo dilemo, na kakšen način izračunati volumne. Izračun prostornine moramo omejiti v smeri izkopa in v vertikalni smeri. Za omejitev v vertikalni smeri uporabimo izračun prostornine na različnih višinah s tako imenovano metodo »nivo vode«, ki je bila predstavljena v poglavju 2.3.2.1. Omejitev izračuna v smeri izkopa smo rešili tako, da smo na DMR projicirali poligonsko črto meje izkoriščanja. Tako je nastala prostorska poligonska črta. To prostorsko črto smo uporabili za razdelitev mreže DMR na dva dela, kot je prikazano na sliki 39. Prvi DMR je do meje izkoriščanja, drugi pa za mejo. Če želimo izračunati prostornino do meje izkoriščanja, uporabimo prvi DMR, če bi želeli izračunati prostornino tudi z zalednim terenom, pa uporabimo oba DMR-ja.

Za izračun prostornine do meje izkoriščanja sta pomembni dve nadmorski višini, to sta višini tretje in četrte etaže.



Slika 39: Razdeljen DMR po meji izkoriščanja

Glede na zgornjo sliko je smiselno prostornino levega dela kamnoloma računati na višino tretje etaže, to je višina 190 m. Za desni del kamnoloma pa višino četrte etaže, ki je na višini 206 m.



Slika 40: Izračun prostornine za višino 190 m

Rezultati izračuna prostornin do meje izkoriščanja so prikazani v spodnji preglednici. Prostornine izračunane za celoten DMR, vse do makadamske poti, so v prilogi C. Izračunan je prostornina pod in nad nivojem vode. V našem primeru nas zanima prostornina nad nivojem vode.

Preglednica 8: Rezultati izračunane prostornine do meje izkoriščanja

Z [m]	Prostornina pod [m³]	Prostornina nad [m³]
190	386.851,59	189.342,85
191	407.373,73	175.808,70
192	429.891,31	164.269,99
193	452.978,77	153.301,16
194	476.364,62	142.630,72
195	499.963,63	132.173,43
196	523.712,10	121.865,61
197	547.592,10	111.689,32
198	571.607,55	101.648,49
199	595.800,77	91.785,41
200	620.223,41	82.151,76
201	644.906,69	72.778,75
202	669.811,81	63.627,58
203	695.106,30	54.865,78
204	720.749,23	46.452,41
205	746.589,20	38.236,09
206	772.674,92	30.265,52
207	799.243,98	22.778,29
208	827.214,24	16.692,26
209	856.405,53	11.827,26
210	886.433,81	7.799,25
211	917.226,17	4.535,32
212	949.014,14	2.267,00
213	981.711,89	908,46
214	1.015.199,86	340,14
215	1.049.086,70	170,68
216	1.083.032,33	60,02
217	1.117.035,42	6,82
218	1.151.084,90	0,02

Rezultati izračuna prostornin kamnoloma kažejo, da širitev kamnoloma do meje izkoriščanja na tretji etaži, ki je na višinski koti 190 m omogoča eksploatacijo 189 342 m³ materiala. Razširitev kamnoloma na četrti etaži, ki je na višinski koti 206 m pa omogoča eksploatacijo 30 265 m³. Glede na površino s katere je potrebno odstraniti humus in površinsko jalovino, je ekonomičnost razširitve na četrti etaži vprašljiva. Razširitev tretje etaže do meje izkoriščanja je smiselna. V zadnji letih je letni odjem okoli 30 000 m³, za takšno količino je potrebno odkopati 45 000 m³ materiala. Če upoštevamo takšen trend, bi eksploatacija na tretji etaži trajala dobra štiri leta.

8 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu je izdelan digitalni model reliefa s tehnologijo terestričnega skeniranja za izračun prostornine kamnoloma. Terestrično lasersko skeniranje smo izvedli z univerzalnim tahimetrom Leica Nova MS50. Za izmero izhodiščne mreže in skeniranje območja velikosti skoraj 3 ha smo potrebovali osem ur. V tem času smo zajeli 530 500 točk, v približno enakem času bi izvedli reambulacijo geodetskega načrta kamnoloma s klasično terestrično metodo izmere, zajeli pa bi 600 do 700 terenskih točk.

Uporabljeni instrument lahko skenira s hitrostjo do 1 000 točk na sekundo. Če to hitrost primerjamo s podobnimi instrumenti drugih proizvajalcev, je to velika hitrost zajemanja. V primerjavi z instrumenti, ki so zgolj terestrični skenerji in lahko zajemajo do 1 000 000 točk na sekundo, pa je to nizka hitrost. Za uspešno izvedbo naloge je tako pri laserskem skeniranju kot pri vseh ostalih geodetskih nalogah ključna izbira primerne metode izmere in posledično instrumentarija ter opreme. Ocenjujem, da smo glede na velikost območja skeniranja in na dejstvo, da ni bilo izhodiščne mreže, uporabili primeren instrument in metodo izmere. V primeru večjega območja izmere bi bil tehten razmislek o izbiri skenerja, verjetno tudi o metodi izmere. Po praktični izkušnji skeniranja z univerzalnim tahimetrom gledam na skeniranje kot na idealno dopolnitev vsem ostalim merskim tehnikam, ki jih instrument omogoča. V bodoče je pričakovati, da se bodo zmogljivosti univerzalnih tahimetrov še izboljševale.

Glede izbire lokacij točk izhodiščne mreže bi postopal nekoliko drugače. Stremel bi k temu, da so stojišča izven območja skeniranja. Na stojiščih, ki so znotraj območja skeniranja, je časovno zamudno fotografiranje območja, pri samem skeniranju pa ni bilo težav. Na terasah, ravnih delih kamnoloma, so območja brez točk. Do tega je prišlo predvsem zaradi perspektive zajemanja, ker je bilo stojišče skoraj na enaki višini. Če naravne danosti to omogočajo, se je moč temu izogniti s postavitvijo stojišča na višjo lego.

Nova vrsta podatkov običajno zahteva obdelavo v novem programskem okolju, tako je tudi z oblakom točk. Uporabljeni sta bila dva programa, katerih delovanje je bilo potrebno preučiti. Za obdelavo oblaka točk potrebujemo zmogljiv osebni računalnik, oziroma glede na obsežnost podatkov kar delovno postajo. Obdelavo sem izvajal s povprečnim osebnim računalnikom, ki je bil komaj kos zahtevanim opravilom. Delovanje računalnika je bilo ves čas na robu zmogljivosti, zato je delo potekalo počasi.

Na koncu bi omenil še dobrino, ki nam je vsem primanjkuje, to je čas. Moram priznati, da sem za izdelavo te naloge porabil veliko časa, saj sem se že z izbiro naloge podal na pot v neznano. Upam, da bom v prihodnje imel priložnost pridobljeno znanje uporabiti in ga celo nadgraditi.

VIRI

3DReshaper. 2016. Beginer's Guide.

<http://www.3dreshaper.com/en/software-en/> (Pridobljeno 20. 6. 2016.)

CGS. 2001. Situacija. Uporabniški priročnik Plateia: 157 str.

Geoservis. 2013. Leica Nova Tehnične lastnosti.

www.geoservis.si/images/stories/Produkti/leica_nova_ms50/nova_flyer_techdata_1.pdf

(Pridobljeno 9. 4. 2016.)

Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdeljemerji. 1. izdaja. 2. natis. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 159 str.

Leica Geosystems., 2016. Leica Geosystems Original Accessories.

http://accessories.leica-geosystems.com/en/Original-Accessories_105361.htm

(Pridobljeno 18. 5. 2016.)

Odlok o občinskem podrobnem prostorskemu načrtu kamnolom Suhor. Uradni list RS, št. 98-4878/2007:13320.

<https://www.uradni-list.si/1/content?id=82872> (Pridobljeno 2. 5. 2016.)

PISO Črnomelj. 2016.

<http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=CRNOMELJ> (Pridobljeno 2. 5. 2016.)

Podobnikar, T. 2002. Model zemeljskega površja – DMR ali DMV? Geodetski vestnik 46, 4: 347–353.

<http://www.geodetski-vestnik.com/sl/arhiv> (Pridobljeno 12. 5. 2016.)

Polieder. 2016.

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Polieder> (Pridobljeno 30. 7. 2016.)

Radovan, D. 2002. Geoinformacijska terminologija: digitalni model reliefa digitalni model višin grid. Geodetski vestnik 46, 4: 353-356.

<http://www.geodetski-vestnik.com/sl/arhiv> (Pridobljeno 12. 5. 2016.)

SSKJ. 2016.

<http://bos.zrc-sazu.si/sskj.html> (Pridobljeno 12. 5. 2016.)

Štebe, G. 2011. Ponovna obdelava meritev v položajni mreži HE Moste od 1950 do 2010. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba G. Štebe): 116 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/1799/> (Pridobljeno 9. 7. 2016.)

TGH d. o. o. 2016.

<http://www.tgh.si/html/kamnolom.html> (Pridobljeno 2. 5. 2016).

Turčič, M. 2015. Terestrično lasersko skeniranje prelivne stene MHE Melje za izračun deformacij. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Turčič): 35 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5332/> (Pridobljeno 14. 3. 2016.)

Žibert, K. 2009. Ničelna izmera geodetske mreže jalovišča Jazbec rudnika Žirovski vrh. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Žibert): 74 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/427/> (Pridobljeno 8. 2. 2012.)

SEZNAM PRILOG

Priloga A:	Poročilo položajne izravnave	A1
Priloga B:	Poročilo višinske izravnave	B1
Priloga C:	Preglednica izračunanih prostornin za celoten DMR	C1

Ta stran je namenoma prazna.

PRILOGE**Priloga A: Poročilo položajne izravnave**

Izravnava ravninske GEodetske Mreže

Program: GEM4, ver.4.0, oktober 2005

Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk & Zvonimir Jamšek

Datum : 16.7.2016

Čas : 16:22

Ime datoteke s podatki:	SUHOR-6002_6003.POD
Ime datoteke za rezultate:	SUHOR-6002_6003.gem
Ime datoteke z obvestili programa:	SUHOR-6002_6003.obv
Ime datoteke za risanje slike mreže:	SUHOR-6002_6003.ris
Ime datoteke za izračun premikov:	SUHOR-6002_6003.koo
Ime datoteke z utežmi:	SUHOR-6002_6003.ute
Ime datoteke za S-transformacijo:	SUHOR-6002_6003.str
Ime datoteke za ProTra:	SUHOR-6002_6003.ptr
Ime datoteke za izpis kovariančne matrike:	SUHOR-6002_6003.S11
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Hannover):	SUHOR-6002_6003.dah
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Ašanin):	SUHOR-6002_6003.daa
Ime datoteke za lastne vrednosti :	SUHOR-6002_6003.svd
Ime datoteke za kvadrate popravkov opazovanj:	SUHOR-6002_6003.pvv

Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk

=====

Točka	Y (m)	X (m)
6002	515406.1300	38264.2800
6003	515455.6500	38059.8500
S1	515403.6650	38016.3450
S2	515264.6650	38029.2450
S3	515224.3570	37883.3200
S4	515344.5150	37874.6050
S5	515216.5430	37825.0650
S6	515316.5890	37841.9340

Vseh novih točk je : 8

Pregled opazovanih smeri

=====

Štev.	Stojišče	Vizura	Opazov. smer (gradi)	W (")	Utež	Gr
1	6002	S4	0 0 0.0	0.000	1.00	1
2	6002	S5	15 95 76.7	0.000	1.00	1
3	6002	S3	18 35 82.7	0.000	1.00	1
4	6002	S2	24 50 88.5	0.000	1.00	1
5	S1	S4	0 0 0.0	0.000	1.00	1
6	S1	S6	4 31 5.1	0.000	1.00	1

7	S1	S5	24 13 19.9	0.000	1.00	1
8	S1	S3	34 19 74.7	0.000	1.00	1
9	S1	S2	80 72 29.7	0.000	1.00	1
10	S2	6002	0 0 0.0	0.000	1.00	1
11	S2	6003	55 37 92.5	0.000	1.00	1
12	S2	S1	71 39 88.8	0.000	1.00	1
13	S2	S4	135 16 31.5	0.000	1.00	1
14	S2	S6	148 29 20.7	0.000	1.00	1
15	S2	S5	180 24 26.8	0.000	1.00	1
16	S2	S3	182 66 46.0	0.000	1.00	1
17	S3	6002	0 0 0.0	0.000	1.00	1
18	S3	S1	31 2 36.5	0.000	1.00	1
19	S3	S4	76 26 78.2	0.000	1.00	1
20	S3	S6	98 51 0.7	0.000	1.00	1
21	S3	S5	180 14 70.2	0.000	1.00	1
22	S3	S2	388 81 52.2	0.000	1.00	1
23	S4	6002	0 0 0.0	0.000	1.00	1
24	S4	S1	15 18 42.4	0.000	1.00	1
25	S4	S6	235 4 13.9	0.000	1.00	1
26	S4	S5	266 50 24.1	0.000	1.00	1
27	S4	S3	294 62 53.3	0.000	1.00	1
28	S4	S2	359 67 16.2	0.000	1.00	1
29	S6	S2	0 0 0.0	0.000	1.00	1
30	S6	S1	46 69 38.9	0.000	1.00	1
31	S6	S4	62 24 5.3	0.000	1.00	1
32	S6	S5	306 58 13.8	0.000	1.00	1
33	S6	S3	344 6 74.0	0.000	1.00	1
34	S5	S2	0 0 0.0	0.000	1.00	1
35	S5	6002	11 20 64.9	0.000	1.00	1
36	S5	S1	34 56 50.9	0.000	1.00	1
37	S5	S4	61 75 11.7	0.000	1.00	1
38	S5	S6	74 63 6.1	0.000	1.00	1
39	S5	S3	393 75 38.3	0.000	1.00	1

Pregled opazovanih dolžin

=====

Štev.	Stojišče	Vizura	Dolžina	Du	Utež
40	6002	S4	394.5190	0.0000	1.00
41	6002	S5	478.3902	0.0000	1.00
42	6002	S3	422.1076	0.0000	1.00
43	6002	S2	274.3273	0.0000	1.00
44	S1	S4	153.5875	0.0000	1.00
45	S1	S6	194.9400	0.0000	1.00
46	S1	S5	267.5875	0.0000	1.00

47	S1	S3	223.2643	0.0000	1.00
48	S1	S2	139.5977	0.0000	1.00
49	S2	6002	274.3272	0.0000	1.00
50	S2	6003	193.4210	0.0000	1.00
51	S2	S1	139.5976	0.0000	1.00
52	S2	S4	174.0398	0.0000	1.00
53	S2	S6	194.3757	0.0000	1.00
54	S2	S5	209.7755	0.0000	1.00
55	S2	S3	151.3903	0.0000	1.00
56	S3	6002	422.1078	0.0000	1.00
57	S3	S1	223.2645	0.0000	1.00
58	S3	S4	120.4737	0.0000	1.00
59	S3	S6	101.0925	0.0000	1.00
60	S3	S5	58.7780	0.0000	1.00
61	S3	S2	151.3904	0.0000	1.00
62	S4	6002	394.5183	0.0000	1.00
63	S4	S1	153.5867	0.0000	1.00
64	S4	S6	42.9800	0.0000	1.00
65	S4	S5	137.2265	0.0000	1.00
66	S4	S3	120.4734	0.0000	1.00
67	S4	S2	174.0395	0.0000	1.00
68	S6	S2	194.3741	0.0000	1.00
69	S6	S1	194.9378	0.0000	1.00
70	S6	S4	42.9789	0.0000	1.00
71	S6	S5	101.4580	0.0000	1.00
72	S6	S3	101.0909	0.0000	1.00
73	S5	S2	209.7733	0.0000	1.00
74	S5	6002	478.3859	0.0000	1.00
75	S5	S1	267.5845	0.0000	1.00
76	S5	S4	137.2251	0.0000	1.00
77	S5	S6	101.4580	0.0000	1.00
78	S5	S3	58.7762	0.0000	1.00

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 0.50 sekund.

Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 1.000 mm.

Število enačb popravkov je 78
 - Število enačb popravkov za smeri je 39
 - Število enačb popravkov za dolžine je 39
 Število neznank je 23
 - Število koordinatnih neznank je 16
 - Število orientacijskih neznank je 7
 Defekt mreže je 3
 Število nadštevilnih opazovanj je 58

A-POSTERIORI ocena uteži merjenih količin

=====

Izbran delni kriterij prekinitve iteracijskega procesa $_X_{dop} = 0.10\text{mm}$

Izbran končni kriterij prekinitve iteracijskega procesa $1 - m_0^{**2} = 0.0010$

Izbrano največje število iteracijskih korakov = 20

* ... izpolnjen je delni kriterij prekinitve iteracijskega procesa

	(sekunde)	(mm)		
0	0.5000	1.0000		
1	0.5144	0.9814	1.0145	0.00136
2*	0.5205	0.9785	1.0120	0.00136
3*	0.5230	0.9779	1.0058	0.00136
4*	0.5241	0.9778	1.0025	0.00136
5*	0.5245	0.9777	1.0011	0.00136
6*	0.5247	0.9777	1.0004	0.00136

POPRAVKI približnih vrednosti

=====

Izravnava je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

Translacijo onemogoča točka 6002

Rotacijo onemogoča točka 6003

Točka	Dy	Dx	Do
	(m)	(m)	(")
6002	0.0000	0.0000	0.4
6003	-0.0085	0.0351	
S1	-0.0022	-0.0024	-0.1
S2	-0.0019	-0.0023	-5.7
S3	-0.0016	-0.0022	0.4
S4	-0.0020	-0.0026	0.4
S5	-0.0019	-0.0023	0.3
S6	-0.0020	-0.0025	0.3

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

=====

Točka	Y	X	My	Mx	Mp	a	b	Theta
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(st.)
6002	515406.1300	38264.2800	0.0002	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000	74
6003	515455.6415	38059.8851	0.0005	0.0006	0.0008	0.0006	0.0005	154
S1	515403.6628	38016.3426	0.0013	0.0004	0.0014	0.0013	0.0004	95
S2	515264.6631	38029.2427	0.0012	0.0010	0.0016	0.0015	0.0003	128
S3	515224.3554	37883.3178	0.0021	0.0012	0.0024	0.0024	0.0003	119
S4	515344.5130	37874.6024	0.0022	0.0006	0.0022	0.0022	0.0003	102
S5	515216.5411	37825.0627	0.0024	0.0013	0.0027	0.0027	0.0003	116
S6	515316.5870	37841.9315	0.0023	0.0007	0.0024	0.0024	0.0003	105

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1.00022.

[pvv] = 58.0257170576

[xx] vseh neznank = 32.7877389704

[xx] samo koordinatnih neznank = 0.0013608675

Srednji pogrešek aritmetične sredine /m_arit/ je 0.00016.

Srednji pogrešek smeri / $m_0 \cdot m_{\theta_smeri}$ / je 0.5248 sekund.

Srednji pogrešek dolžin / $m_0 \cdot m_{\theta_dolžin}$ / je 0.9779 milimetrov.

Največji položajni pogrešek / Mp_max / je 0.0027 metrov.

Najmanjši položajni pogrešek / Mp_min / je 0.0002 metrov.

Srednji položajni pogrešek / Mp_sred / je 0.0019 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

=====

Smerni koti in dolžine so izračunani iz nezaokroženih koordinat.

Smeri in smerni koti so izpisani v gradih.

Nova točka: 6002 Y = 515406.1300 X = 38264.2800
Orientacijski kot = 209 98 38.7

Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
S4	1	1.00	0 0 0.0	209 98 38.7	209 98 37.7	-1.0	394.519
S5	1	1.00	15 95 76.7	225 94 15.4	225 94 17.0	1.6	478.389
S3	1	1.00	18 35 82.7	228 34 21.4	228 34 21.7	0.3	422.107
S2	1	1.00	24 50 88.5	234 49 27.2	234 49 26.3	-0.9	274.327

Nova točka: S1 Y = 515403.6628 X = 38016.3426
Orientacijski kot = 225 16 82.9

Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
S4	1	1.00	0 0 0.0	225 16 82.9	225 16 81.7	-1.2	153.587
S6	1	1.00	4 31 5.1	229 47 88.0	229 47 88.3	0.4	194.940
S5	1	1.00	24 13 19.9	249 30 2.8	249 30 4.6	1.8	267.587
S3	1	1.00	34 19 74.7	259 36 57.6	259 36 55.2	-2.3	223.264
S2	1	1.00	80 72 29.7	305 89 12.6	305 89 13.9	1.3	139.597

Nova točka: S2 Y = 515264.6631 X = 38029.2427
Orientacijski kot = 34 49 25.5

Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
6002	1	1.00	0 0 0.0	34 49 25.5	34 49 26.3	0.8	274.327
6003	1	1.00	55 37 92.5	89 87 18.0	89 87 18.0	0.0	193.421
S1	1	1.00	71 39 88.8	105 89 14.3	105 89 13.9	-0.4	139.597
S4	1	1.00	135 16 31.5	169 65 57.0	169 65 56.2	-0.8	174.039
S6	1	1.00	148 29 20.7	182 78 46.2	182 78 47.6	1.4	194.375
S5	1	1.00	180 24 26.8	214 73 52.3	214 73 52.3	0.0	209.774
S3	1	1.00	182 66 46.0	217 15 71.5	217 15 70.5	-1.0	151.390

Nova točka: S3 Y = 515224.3554 X = 37883.3178
Orientacijski kot = 28 34 19.1

Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
6002	1	1.00	0 0 0.0	28 34 19.1	28 34 21.7	2.7	422.107
S1	1	1.00	31 2 36.5	59 36 55.6	59 36 55.2	-0.3	223.264
S4	1	1.00	76 26 78.2	104 60 97.3	104 60 95.3	-1.9	120.473
S6	1	1.00	98 51 0.7	126 85 19.8	126 85 19.9	0.1	101.092
S5	1	1.00	180 14 70.2	208 48 89.3	208 48 89.5	0.2	58.777
S2	1	1.00	388 81 52.2	17 15 71.3	17 15 70.5	-0.8	151.390

S2	S4	1.000	174.0398	174.0398	174.0392	-0.0006	174.0392
S2	S6	1.000	194.3757	194.3757	194.3749	-0.0008	194.3749
S2	S5	1.000	209.7755	209.7755	209.7743	-0.0012	209.7743
S2	S3	1.000	151.3903	151.3903	151.3896	-0.0008	151.3896
S3	6002	1.000	422.1078	422.1078	422.1069	-0.0010	422.1069
S3	S1	1.000	223.2645	223.2645	223.2639	-0.0006	223.2639
S3	S4	1.000	120.4737	120.4737	120.4732	-0.0005	120.4732
S3	S6	1.000	101.0925	101.0925	101.0915	-0.0010	101.0915
S3	S5	1.000	58.7780	58.7780	58.7769	-0.0011	58.7769
S3	S2	1.000	151.3904	151.3904	151.3896	-0.0008	151.3896
S4	6002	1.000	394.5183	394.5183	394.5191	0.0008	394.5191
S4	S1	1.000	153.5867	153.5867	153.5871	0.0004	153.5871
S4	S6	1.000	42.9800	42.9800	42.9796	-0.0004	42.9796
S4	S5	1.000	137.2265	137.2265	137.2261	-0.0005	137.2261
S4	S3	1.000	120.4734	120.4734	120.4732	-0.0002	120.4732
S4	S2	1.000	174.0395	174.0395	174.0392	-0.0003	174.0392
S6	S2	1.000	194.3741	194.3741	194.3749	0.0007	194.3749
S6	S1	1.000	194.9378	194.9378	194.9396	0.0017	194.9396
S6	S4	1.000	42.9789	42.9789	42.9796	0.0007	42.9796
S6	S5	1.000	101.4580	101.4580	101.4581	0.0001	101.4581
S6	S3	1.000	101.0909	101.0909	101.0915	0.0006	101.0915
S5	S2	1.000	209.7733	209.7733	209.7743	0.0010	209.7743
S5	6002	1.000	478.3859	478.3859	478.3888	0.0029	478.3888
S5	S1	1.000	267.5845	267.5845	267.5866	0.0021	267.5866
S5	S4	1.000	137.2251	137.2251	137.2261	0.0010	137.2261
S5	S6	1.000	101.4580	101.4580	101.4581	0.0001	101.4581
S5	S3	1.000	58.7762	58.7762	58.7769	0.0007	58.7769

Ta stran je namenoma prazna.

Priloga B: Poročilo višinske izravnave

Izravnava Višinske geodetske Mreže

Program: VIM, ver.5.0, mar. 07

Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: SUHOR_VIS-2.POD

Ime datoteke za rezultate: SUHOR_VIS-2.rez

Ime datoteke za deformacijsko analizo: SUHOR_VIS-2.def

Ime datoteke za S-transformacijo: SUHOR_VIS-2.str

Ime datoteke za izračun ocene natančnosti premika: SUHOR_VIS-2.koo

Datum: 16.7.2016

Čas: 14:59:41

NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

=====

Reper	Nadm.viš.	Opomba
6002	174.1400	Dani reper
6003	173.3505	Novi reper
S1	175.5686	Novi reper
S2	185.8322	Novi reper
S3	190.7459	Novi reper
S4	190.6965	Novi reper
S5	207.4564	Novi reper
S6	206.7486	Novi reper

Število vseh reperjev = 8

Število danih reperjev = 1

Število novih reperjev = 7

MERITVE VIŠINSKIH RAZLIK IN DOLŽIN

=====

Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Merjena dolžina
6002	S4	16.5339	394.9110
6002	S5	33.2914	479.6048
6002	S3	16.5823	422.4833
6002	S2	11.6704	274.6083
S1	S4	15.1232	154.3523
S1	S6	31.1740	197.4422
S1	S5	31.8796	269.5232
S1	S3	15.1692	223.8105
S1	S2	10.2538	139.9977
S2	6002	-11.6922	274.6090
S2	6003	-12.4818	193.8521
S2	S1	-10.2637	139.9983
S2	S4	4.8643	174.1282
S2	S6	20.9163	195.5137

S2	S5	21.6242	210.9130
S2	S3	4.9136	151.4880
S3	6002	-16.6146	422.4849
S3	S1	-15.1832	223.8117
S3	S4	-0.0528	120.4891
S3	S6	16.0000	102.3565
S3	S5	16.7092	61.1223
S3	S2	-4.9235	151.4884
S4	6002	-16.5633	394.9114
S4	S1	-15.1326	154.3525
S4	S6	16.0504	45.8759
S4	S5	16.7561	138.2696
S4	S3	0.0445	120.4888
S4	S2	-4.8740	174.1281
S6	S2	-20.9264	195.5133
S6	S1	-31.1848	197.4417
S6	S4	-16.0529	45.8758
S6	S5	0.7052	101.4742
S6	S3	-16.0059	102.3558
S5	S2	-21.6364	210.9121
S5	6002	-33.3282	479.6030
S5	S1	-31.8968	269.5224
S5	S4	-16.7649	138.2692
S5	S6	-0.7123	101.4743
S5	S3	-16.7139	61.1219

Število opazovanj = 39

Vektor normalnih enačb je zaseden 0.00 %.

ENAČBE POPRAVKOV VIŠINSKIH RAZLIK

Št. Reper op. zadaj	Reper spredaj	Koeficienti			Utež
		a1	a2	f	
1 6002	S4	0.	1.	0.0226	2.5322
2 6002	S5	0.	1.	0.0250	2.0850
3 6002	S3	0.	1.	0.0236	2.3670
4 6002	S2	0.	1.	0.0218	3.6416
5 S1	S4	-1.	1.	0.0047	6.4787
6 S1	S6	-1.	1.	0.0060	5.0648
7 S1	S5	-1.	1.	0.0082	3.7103
8 S1	S3	-1.	1.	0.0081	4.4681
9 S1	S2	-1.	1.	0.0097	7.1430
10 S2	6002	1.	0.	0.0000	3.6415
11 S2	6003	1.	-1.	-0.0001	5.1586
12 S2	S1	1.	-1.	-0.0001	7.1429
13 S2	S4	-1.	1.	0.0000	5.7429
14 S2	S6	-1.	1.	0.0001	5.1147
15 S2	S5	-1.	1.	0.0000	4.7413

16	S2	S3	-1.	1.	0.0001	6.6012
17	S3	6002	1.	0.	-0.0087	2.3669
18	S3	S1	1.	-1.	-0.0059	4.4680
19	S3	S4	1.	-1.	-0.0034	8.2995
20	S3	S6	-1.	1.	0.0028	9.7698
21	S3	S5	-1.	1.	0.0013	16.3606
22	S3	S2	1.	-1.	-0.0098	6.6012
23	S4	6002	1.	0.	-0.0068	2.5322
24	S4	S1	1.	-1.	-0.0048	6.4787
25	S4	S6	-1.	1.	0.0017	21.7979
26	S4	S5	-1.	1.	0.0038	7.2322
27	S4	S3	-1.	1.	0.0049	8.2995
28	S4	S2	1.	-1.	-0.0097	5.7429
29	S6	S2	1.	-1.	-0.0100	5.1147
30	S6	S1	1.	-1.	-0.0048	5.0648
31	S6	S4	1.	-1.	-0.0008	21.7980
32	S6	S5	-1.	1.	0.0026	9.8547
33	S6	S3	1.	-1.	-0.0032	9.7698
34	S5	S2	1.	-1.	-0.0122	4.7413
35	S5	6002	1.	0.	-0.0118	2.0851
36	S5	S1	1.	-1.	-0.0090	3.7103
37	S5	S4	1.	-1.	-0.0050	7.2323
38	S5	S6	1.	-1.	-0.0045	9.8547
39	S5	S3	1.	-1.	-0.0034	16.3608

IZRAČUNANI POPRAVKI VIŠINSKIH RAZLIK

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Popravek viš.razlike	Definitivna viš.razlika
1	6002	S4	16.5339	0.0157	16.5497
2	6002	S5	33.2914	0.0188	33.3101
3	6002	S3	16.5823	0.0162	16.5985
4	6002	S2	11.6704	0.0100	11.6803
5	S1	S4	15.1232	0.0046	15.1278
6	S1	S6	31.1740	0.0055	31.1795
7	S1	S5	31.8796	0.0087	31.8883
8	S1	S3	15.1692	0.0075	15.1767
9	S1	S2	10.2538	0.0046	10.2585
10	S2	6002	-11.6922	0.0119	-11.6803
11	S2	6003	-12.4818	0.0000	-12.4818
12	S2	S1	-10.2637	0.0052	-10.2585
13	S2	S4	4.8643	0.0051	4.8693
14	S2	S6	20.9163	0.0047	20.9210
15	S2	S5	21.6242	0.0056	21.6298
16	S2	S3	4.9136	0.0046	4.9182
17	S3	6002	-16.6146	0.0161	-16.5985
18	S3	S1	-15.1832	0.0066	-15.1767
19	S3	S4	-0.0528	0.0040	-0.0489
20	S3	S6	16.0000	0.0029	16.0029
21	S3	S5	16.7092	0.0025	16.7116

22	S3	S2	-4.9235	0.0053	-4.9182
23	S4	6002	-16.5633	0.0136	-16.5497
24	S4	S1	-15.1326	0.0048	-15.1278
25	S4	S6	16.0504	0.0013	16.0517
26	S4	S5	16.7561	0.0044	16.7605
27	S4	S3	0.0445	0.0043	0.0489
28	S4	S2	-4.8740	0.0047	-4.8693
29	S6	S2	-20.9264	0.0054	-20.9210
30	S6	S1	-31.1848	0.0052	-31.1795
31	S6	S4	-16.0529	0.0011	-16.0517
32	S6	S5	0.7052	0.0036	0.7088
33	S6	S3	-16.0059	0.0031	-16.0029
34	S5	S2	-21.6364	0.0066	-21.6298
35	S5	6002	-33.3282	0.0181	-33.3101
36	S5	S1	-31.8968	0.0085	-31.8883
37	S5	S4	-16.7649	0.0044	-16.7605
38	S5	S6	-0.7123	0.0036	-0.7088
39	S5	S3	-16.7139	0.0023	-16.7116

Srednji pogrešek utežne enote, $m_0 = 0.01677$

IZRAVNANE NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

Reper	Približna višina	Popravek višine	Definitivna višina	Sred.pog. višine
6003	173.3505	-0.0119	173.3386	0.0084
S1	175.5686	-0.0067	175.5619	0.0043
S2	185.8322	-0.0119	185.8203	0.0039
S3	190.7459	-0.0074	190.7385	0.0039
S4	190.6965	-0.0068	190.6897	0.0039
S5	207.4564	-0.0063	207.4501	0.0040
S6	206.7486	-0.0072	206.7414	0.0040

IZRAČUN OBČUTLJIVOSTI VIŠINSKE MREŽE

Št. op. zadaj	Reper spremaj	Q11	Sred.pog. viš.razl.	Qvv	r	
1	6002	S4	0.0547	0.0039	0.3402	0.8615
2	6002	S5	0.0557	0.0040	0.4239	0.8839
3	6002	S3	0.0545	0.0039	0.3680	0.8710
4	6002	S2	0.0545	0.0039	0.2201	0.8015
5	S1	S4	0.0249	0.0026	0.1295	0.8387
6	S1	S6	0.0256	0.0027	0.1718	0.8702
7	S1	S5	0.0278	0.0028	0.2417	0.8967
8	S1	S3	0.0266	0.0027	0.1972	0.8812
9	S1	S2	0.0277	0.0028	0.1123	0.8022
10	S2	6002	0.0545	0.0039	0.2201	0.8015
11	S2	6003	0.1939	0.0074	0.0000	0.0000
12	S2	S1	0.0277	0.0028	0.1123	0.8022

13	S2	S4	0.0226	0.0025	0.1516	0.8704
14	S2	S6	0.0232	0.0026	0.1723	0.8814
15	S2	S5	0.0242	0.0026	0.1867	0.8851
16	S2	S3	0.0227	0.0025	0.1288	0.8505
17	S3	6002	0.0545	0.0039	0.3680	0.8710
18	S3	S1	0.0266	0.0027	0.1972	0.8812
19	S3	S4	0.0178	0.0022	0.1027	0.8523
20	S3	S6	0.0175	0.0022	0.0849	0.8293
21	S3	S5	0.0161	0.0021	0.0450	0.7366
22	S3	S2	0.0227	0.0025	0.1288	0.8505
23	S4	6002	0.0547	0.0039	0.3402	0.8615
24	S4	S1	0.0249	0.0026	0.1295	0.8387
25	S4	S6	0.0137	0.0020	0.0322	0.7022
26	S4	S5	0.0188	0.0023	0.1195	0.8641
27	S4	S3	0.0178	0.0022	0.1027	0.8523
28	S4	S2	0.0226	0.0025	0.1516	0.8704
29	S6	S2	0.0232	0.0026	0.1723	0.8814
30	S6	S1	0.0256	0.0027	0.1718	0.8702
31	S6	S4	0.0137	0.0020	0.0322	0.7022
32	S6	S5	0.0181	0.0023	0.0833	0.8212
33	S6	S3	0.0175	0.0022	0.0849	0.8293
34	S5	S2	0.0242	0.0026	0.1867	0.8851
35	S5	6002	0.0557	0.0040	0.4239	0.8839
36	S5	S1	0.0278	0.0028	0.2417	0.8967
37	S5	S4	0.0188	0.0023	0.1195	0.8641
38	S5	S6	0.0181	0.0023	0.0833	0.8212
39	S5	S3	0.0161	0.0021	0.0450	0.7366

Skupno število nadštevilnosti je 32.00000000.

Povprečno število nadštevilnosti je 0.82051282.

Ta stran je namenoma prazna.

Priloga C: Preglednica izračunanih prostornin za celoten DMR

Z [m]	Prostornina pod [m³]	Prostornina nad [m³]
156	0,00	2.234.086,54
157	126,67	2.167.463,19
158	1.760,19	2.102.346,69
159	7.725,97	2.041.562,45
160	15.404,54	1.982.490,99
161	23.327,07	1.923.663,51
162	31.405,12	1.864.991,53
163	39.613,92	1.806.450,31
164	47.935,05	1.748.021,42
165	56.347,89	1.689.684,24
166	64.844,11	1.631.430,44
167	73.418,86	1.573.255,17
168	82.068,71	1.515.155,00
169	90.794,09	1.457.130,36
170	99.600,29	1.399.186,54
171	108.489,40	1.341.325,63
172	117.475,39	1.283.561,60
173	126.584,46	1.225.920,65
174	136.032,50	1.168.618,66
175	147.093,75	1.112.929,90
176	160.574,67	1.059.660,79
177	175.482,36	1.007.818,47
178	191.318,94	956.905,02
179	207.758,50	906.594,56
180	224.761,25	856.847,29
181	242.148,73	807.484,75
182	259.988,73	758.574,73
183	278.336,64	710.172,62
184	297.241,51	662.327,46
185	316.671,16	615.007,10
186	336.739,52	568.325,44
187	357.656,30	522.492,20
188	379.860,15	477.946,03
189	403.829,33	435.165,18
190	429.975,96	394.561,80
191	460.563,82	358.399,64
192	494.823,69	325.909,49
193	531.344,72	295.680,50
194	569.789,14	267.374,89
195	610.871,80	241.707,53

se nadaljuje...

... nadaljevanje preglednice

196	654.413,29	218.499,00
197	700.150,02	197.485,71
198	747.247,71	177.833,38
199	795.378,69	159.214,34
200	844.336,76	141.422,39
201	894.089,69	124.425,29
202	944.525,35	108.110,94
203	995.785,31	92.620,87
204	1.047.946,57	78.032,12
205	1.100.828,36	64.163,88
206	1.154.476,05	51.061,55
207	1.209.190,86	39.026,35
208	1.266.157,49	29.242,95
209	1.324.851,76	21.187,20
210	1.384.849,13	14.434,55
211	1.446.081,71	8.917,11
212	1.508.771,49	4.856,87
213	1.572.862,07	2.197,43
214	1.638.194,21	779,55
215	1.704.402,69	238,01
216	1.770.974,88	60,18
217	1.837.671,55	6,82