

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:

Žnidaršič, T., 2016. Obdelava skeniranega objekta MHE Melje s programskim paketom Pointsense. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Savšek, S., somentor Marjetič, A.): 35 str.

Datum arhiviranja: 14-09-2016

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:

Žnidaršič, T., 2016. Obdelava skeniranega objekta MHE Melje s programskim paketom Pointsense. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Savšek, S., co-supervisor Marjetič, A.): 35 pp.

Archiving Date: 14-09-2016

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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA

Kandidatka:

TAMARA ŽNIDARŠIČ

**OBDELAVA SKENIRANEGA OBJEKTA MHE MELJE S
PROGRAMSKIM PAKETOM POINTSENSE**

Diplomska naloga št.: 113/GIG

**THE PROCESSING OF THE SCANNED OBJECT SHP
MELJE WITH SOFTWARE PACKAGE POINTSENSE**

Graduation thesis No.: 113/GIG

Mentorica:

doc. dr. Simona Savšek

Somentor:

doc. dr. Aleš Marjetič

Ljubljana, 08. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani/-a študent/-ka Tamara Žnidaršič, vpisna številka 26203530, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: »Obdelava skeniranega objekta MHE Melje s programskim paketom Pointsense«.

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a 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.

V/Na: _____

Datum: _____

Podpis študenta/-ke:

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 528.48:621.311.21(497.4Melje)(043.2)
- Avtor:** Tamara Žnidaršič
- Mentorica:** doc. dr. Simona Savšek
- Somentor:** doc. dr. Aleš Marjetič
- Naslov:** Obdelava skeniranega objekta MHE Melje s programskim paketom Pointsense
- Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – UNI
- Obseg in oprema:** 35 str., 12 pregl., 38 sl., 22 en., 5 pril.
- Ključne besede:** mala hidroelektrarna, prelivna stena, terestrično lasersko skeniranje, oblak točk, žični model, natančnost detajlnih točk

Izvleček

Tema diplomskega dela je uporaba terestričnega laserskega skeniranja in obdelava skeniranih podatkov za ugotavljanje premikov prelivne stene. V diplomskem delu je najprej opisan teoretičen del zajemanja in obdelave podatkov laserskega skeniranja. Praktični del diplomskega dela je obsegal skeniranje prelivne stene male hidroelektrarne Melje (MHE Melje) s terestričnim laserskim skenerjem Leica Nova MultiStation MS50. Skenirane podatke smo obdelali s programskim paketom Pointsense, ki je vgrajen v programu AutoCad. Rezultat obdelave je žični ali 3D model prelivne stene. Računali smo še horizontalno in višinsko natančnost detajlnih točk ravnin, ki služijo kot pomoč za izdelavo žičnega modela.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.48:621.311.21(497.4Melje)(043.2)
Author: Tamara Žnidaršič
Supervisor: Assist. Prof. Simona Savšek, Ph.D.
Co-advisor: Assist. Prof. Aleš Marjetič, Ph.D.
Title: The Processing of the scanned object SHP Melje with software package Pointsense
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 35 p., 12 tab., 38 fig., 22 eq., 5 ann.
Key Word: small hydroelectric power plant, the overflow wall, terrestrial laser scanning, point cloud, wireframe, accuracy of the detailed points

Abstract:

The theme of the thesis is the use of terrestrial laser scanning and processing scanned data to determine the movement of the overflow wall. The thesis first describe the theoretical part of the collecting and processing data from laser scanning. Practical part of the thesis consisted of scanning the overflow wall Melje small hydroelectric power plant (SHP Melje) with terrestrial laser scanner Leica Nova MS 50 MultiStation. The scanned data was processed with the software package Pointsense, which is built into AutoCad. The result of the processing is wireframe or 3D model of the overflow wall. We continue to count horizontal and vertical accuracy of detailed points of the planes that serve as an aid for making wireframe.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Najprej bi se zahvalila mentorici doc. dr. Simoni Savšek in somentorju doc. dr. Alešu Marjetiču za pomoč, strokovne nasvete in usmerjanje pri nastajanju diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi profesorjem in asistentom na fakulteti, ki so pripomogli k mojemu napredku v izobraževanju, predvsem pa izr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču in asist. Gašperju Štebetu za pomoč in podporo pri izvedbi praktičnega dela diplomskega dela.

Posebna zahvala gre moji družini, ki mi je omogočila študij, me vsa leta šolanja podpirala, spodbujala in ni nikoli izgubila upanja vame.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU	III
BIBLOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VII
ZAHVALA.....	IX
1 UVOD	1
2 MALA HIDROELEKTRARNA MELJE	2
3 OBLIKA REFERENČNE MREŽE TER SIGNALIZACIJA IN STABILIZACIJA TOČK	4
4 INSTRUMENTARIJ IN MERSKA OPREMA	7
5 METODE IZMERE.....	11
5.1 Kombinirana triangulacijsko - trilateracijska metoda izmere	11
5.2 Trigonometrično višinomerstvo	11
5.3 Terestrično lasersko skeniranje (angl. Terrestrial laser scanning).....	12
5.3.1 Delitev laserskih skenerjev	12
5.3.2 Zgradba laserskih skenerjev	15
5.3.3 Osnovni princip delovanja laserskih skenerjev	16
6 OBDELAVA SKENIRANIH PODATKOV	17
6.1 Registracija (angl. Registration)	17
6.2 Georeferenciranje (angl. Georeferencing)	17
6.3 Predobdelava (angl. Pre-processing).....	18
6.4 Izgradnja mreže (angl. Mesh generation).....	18
6.5 Vizualizacija (angl. Visualization)	19
7 PRAKTIČEN PRIMER OBDELAVE SKENIRANIH PODATKOV	20
7.1 Registracija.....	20
7.2 Georeferenciranje	22
7.3 Predobdelava	23
7.4 Izgradnja mreže	23
7.4.1 Določitev natančnosti horizontalnega položaja detajlnih točk.....	26
7.4.2 Določitev natančnosti višine detajlnih točk.....	29
7.4.3 Primer izračuna natančnosti horizontalnega položaja in višine.....	32
7.5 Vizualizacija	34
8 ZAKLJUČEK	35
VIRI.....	36

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnični podatki instrumenta Leica Nova MultiStation MS50 (http://www.geoservis.si/).....	8
Preglednica 2: Srednji orientacijski kot na vsakem stojišču.....	20
Preglednica 3: Vrednosti meteoroloških parametrov in višine instrumenta oziroma reflektorja	20
Preglednica 4: Sredine horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in dolžin	20
Preglednica 5: Natančnost posamezne smeri ter skupna natančnost horizontalnih smeri, zenitnih razdalj ter dolžin za posamezno stojišče	21
Preglednica 6: Število zajetih točk in čas skeniranja iz posameznega stojišča in skupno.....	22
Preglednica 7: Dane koordinate točk O3 in O4 v lokalnem koordinatnem sistemu [15]	22
Preglednica 8: Najverjetnejše koordinate in natančnosti točk O1 in O2 [15]	22
Preglednica 9: Povprečne natančnosti ravnin in y in x koordinate iz stojišča O1 in O2 ter razlike v natančnosti horizontalnega položaja detajlnih točk za opazovanja iz stojišča O1 in O2	29
Preglednica 10: Povprečne natančnosti ravnin iz stojišča O1 in O2 ter razlike v natančnostih višin detajlnih točk za opazovanja iz stojišča O1 in O2	31
Preglednica 11: Primer izračuna natančnosti horizontalnega položaja ter natančnosti višine za detajlno točko Ravnine 1 opazovano iz stojišča O1.....	32
Preglednica 12: Primer izračuna natančnosti horizontalnega položaja ter natančnosti višine za detajlno točko Ravnine 1 opazovano iz stojišča O2.....	33

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO SLIK

Slika 1: Lokacija MHE Melje prikazana na topografski karti	2
Slika 2: Jez Melje pred izgradnjo prelivne stene (http://maribor24.si/lokalno).....	3
Slika 3: MHE Melje po izgradnji (http://www.dem.si)	3
Slika 4: Prelivna stena MHE Melje in spodnji del jezua Melje [2]	3
Slika 5: Oblika referenčne mreže MHE Melje in povezave med točkami	4
Slika 6: Primer stabilizacije z betonskim stebrom [3].....	5
Slika 7: Stabilizacija točke O2.....	6
Slika 8: Stabilizacija talnih točk [1].....	6
Slika 9: Signalizacija točke O3.....	6
Slika 10: Elektronski tahimeter Leica Nova MultiStation MS50 (http://www.geoservis.si/)	7
Slika 11: Reflektor Leica GPH1P (http://www.geoservis.si/)	9
Slika 12: Trinožni podstavek (http://www.geoservis.si).....	9
Slika 13: Aspiracijski psihrometrer (levo) in digitalni barometer Paroscientific (desno).....	9
Slika 14: Klešče za odvitje čepa [15].....	10
Slika 15: Žepni merski trak Leica (http://www.geoservis.si).....	10
Slika 16: Osnovni princip trigonometričnega višinomerstva [4]	11
Slika 17: Osnovni princip impulznega načina merjenja razdalj [8].....	13
Slika 18: Osnovni princip faznega načina merjenja razdalj [8]	14
Slika 19: Princip triangulacijskega skenerja z eno CCD kamero.....	14
Slika 20: Princip triangulacijskega skenerja z dvema CCD kamerama	14
Slika 21: Osnovna struktura skenerja [9]	15
Slika 22: Osnovni princip laserskega skeniranja	16
Slika 23: Začetni skenogram [13].....	18
Slika 24: Rezultat avtomatskega odstranjevanja šuma [13]	18
Slika 25: Žični oziroma 3D model [14]	19
Slika 26: Žični model (levo), senčenje površine (sredina) in foto – realistični model (desno) [14].....	19
Slika 27: Območje skeniranja iz stojišča O1	21
Slika 28: Območje skeniranja iz stojišča O2	21
Slika 29: Združena skenograma iz stojišč O1 in O2	22
Slika 30: Skenogram prelivne stene MHE Melje brez odvečnih točk.....	23
Slika 31: Ravnine, prikazane na oblaku točk s pomočjo katerih smo ustvarili žični model prelivne stene	23
Slika 32: Ukaz »Define slice (UCS)«	24
Slika 33: Na levi sliki sta označeni ravnini, na osnovi katerih je na desni sliki nastala linija preseka (modra barva)	24
Slika 34: Na levi sliki so označene tri ravnine na osnovi katerih je na desni sliki nastala točka preseka (modra barva)	25
Slika 35: Prikaz detajlov, ki jim zaradi premajhne gostote skeniranja nismo mogli izrisati žičnega modela (levo zgoraj ograja, levo spodaj nosilci prehoda in desno geotehnično sidro S2)	25
Slika 36: Žični model z ravninami prelivne stene MHE Melje	25
Slika 37: Prikaz ravnin katerim smo določali horizontalno in višinsko natančnost.....	26
Slika 38: Žični model prelivne stene MHE Melje.....	34

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Lasersko skeniranje je tehnologija, ki se je začela razvijati v devetdesetih letih prejšnjega stoletja. Omogoča zajem velike količine prostorskih podatkov na zemeljskem površju. Danes se to tehnologijo uporablja na različnih področjih in sicer v arhitekturi in urbanizmu, gradbeništvu, geodeziji, arheologiji, pri topografskih izmerah in na številnih drugih področjih.

Namen diplomske naloge je bil na konkretnem primeru prelivne stene male hidroelektrarne Melje (v nadaljevanju MHE Melje) uporabiti tehniko laserskega skeniranja. Prelivna stena je bila skenirana 15. 04. 2016 z laserskim skenerjem Leica Nova MultiStation MS50, ki je hkrati tudi elektronski tahimeter. Poleg skeniranja smo skenirane podatke obdelali, izdelali žični model same prelivne stene ter določali horizontalno in višinsko natančnost detajlnim točkam ravnin, ki so bile uporabljene pri izgradnji žičnega modela. Ta model smo izdelali s programskim paketom Pointsense.

V nalogi smo si zastavili dva cilja. Prvi cilj je bil dokaz, da je tehnologija laserskega skeniranja primerna za ugotavljanje premikov prelivne stene. Ker je prelivna stena in celotna MHE Melje strateško pomemben objekt, naročnik pričakuje standardno deviacijo določitve položaja posamezne točke, ki je manjša od enega milimetra. Drugi cilj diplomske naloge pa je bil, da z izračunom horizontalne in višinske natančnosti detajlnih točk posamezne ravnine dokažemo, da dosežemo naročnikovo zahtevo in posledično lahko ta način uporabljamo za spremljanje premikov tako prelivne stene MHE Melje, kot ostalih objektov.

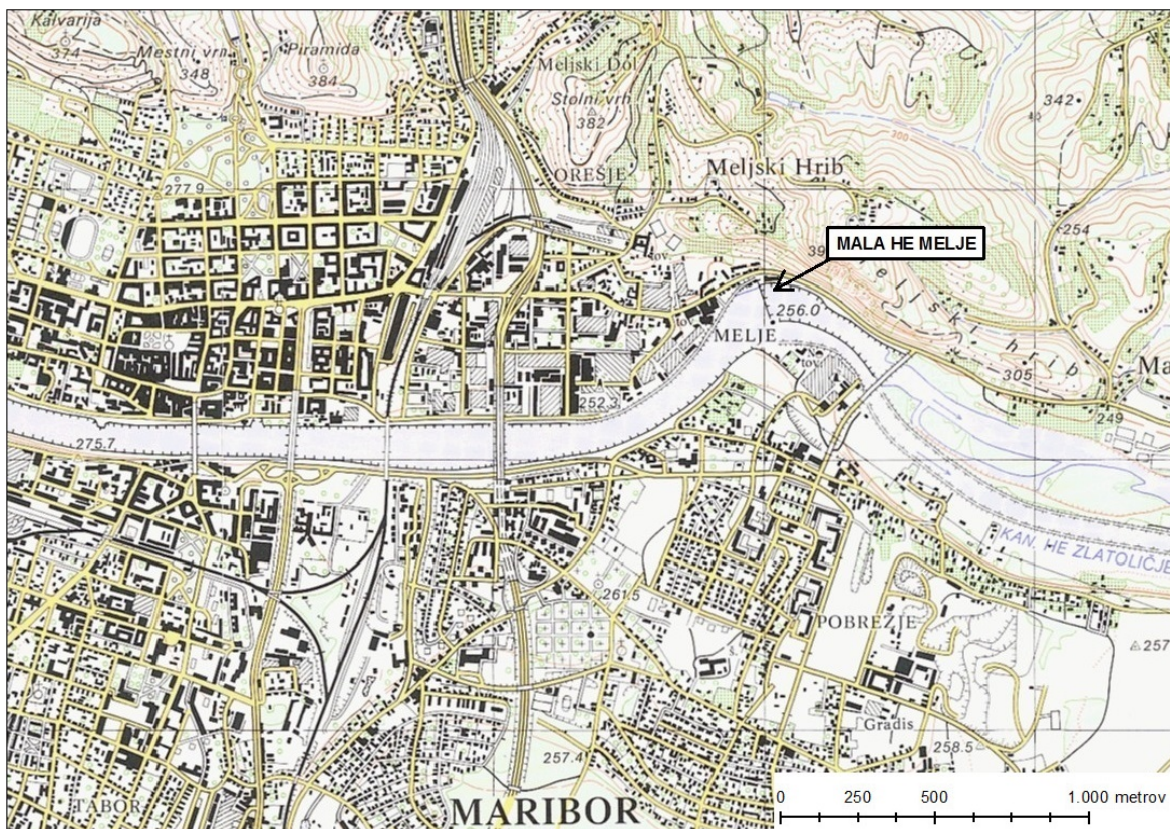
Diplomska naloga je sestavljena iz dveh delov in sicer teoretičnega in praktičnega dela.

Teoretični del je sestavljen iz petih poglavij. V prvem poglavju je predstavljena lokacija prelivne stene MHE Melje ter nekaj osnovnih podatkov o njej. V drugem poglavju je na kartografski podlagi državnega ortofota predstavljena oblika referenčne mreže MHE Melje, ki se uporablja za spremljanje premikov prelivne stene s klasičnimi terestričnimi metodami izmere. Poleg tega so opisani tudi načini stabilizacije in signalizacije referenčnih točk. V četrtem poglavju je predstavljen podroben opis laserskega skenerja Leica Nova MultiStation MS50 in ostale opreme, ki je bila uporabljena za skeniranje. V četrtem poglavju so opisane vse tri metode, ki so bile uporabljene za izmero mreže referenčnih točk ter skeniranje prelivne stene, in sicer kombinirana triangulacijsko – trilateracijska metoda izmere, trigonometrično višinomerstvo in terestrično lasersko skeniranje. V petem poglavju je opisan potek laserskega skeniranja na terenu ter obdelava podatkov na računalniku.

Praktični del obravnavamo v zadnjem poglavju, kjer je podrobno opisano delo na terenu in na računalniku za obravnavani primer prelivne stene MHE Melje. Opisan je postopek registracije in georeferenciranja, ki je potekal na terenu. Ostala obdelava podatkov je potekala na računalniku in sicer postopek predobdelave, izgradnje mreže s pomočjo ravnin, izračun horizontalne in višinske natančnosti detajlnih točk ravnin ter vizualizacija končnega izdelka.

2 MALA HIDROELEKTRARNA MELJE

Mala hidroelektrarna Melje se nahaja v Mariboru ob vznožju Meljskega hriba ob reki Dravi in sicer ob jezu Melje med prelivno steno dovodnega kanala in strugo reke Drave (Slika 1). Je najmanjša hidroelektrarna na slovenskem delu Drave. Poleg te obratuje še osem drugih hidroelektrarn. MHE Melje in ostale hidroelektrarne vodi podjetje Dravske elektrarne Maribor d.o.o. (DEM d.o.o.).



Slika 1: Lokacija MHE Melje prikazana na topografski karti

Projekt, ki je obsegal prenovo hidroelektrarne Zlatoličje je obsegal tudi prenovo jezu Melje, povišanje dovodnega kanala in izgradnjo MHE Melje. Dela na jezu Melje so se začela leta 2006 (Sliki 2 in 3). Zamenjana je bila celotna hidromehanska oprema jezu s povišanjem zapornic vsem šestim pretočnim poljem. Poleg tega je bila zamenjana tudi elektro oprema, na novo je bilo zgrajeno srednjenapetostno in nizkonapetostno stikališče ter nova MHE Melje. Projekt je bil zaključen leta 2009 (<http://www.energetika-portal.si/>).



Slika 2: Jez Melje pred izgradnjo prelivne stene (<http://maribor24.si/lokalno>)



Slika 3: MHE Melje po izgradnji (<http://www.dem.si>)

MHE Melje izkorišča ekološko sprejemljiv pretok v strugo Drave, ki znaša $10 \text{ m}^3/\text{s}$ v zimskih mesecih in $20 \text{ m}^3/\text{s}$ v poletnih mesecih. Vgrajena sta dva agregata in sicer agregat 1 ter agregat 2 oziroma agregat MHE Melje. Prvi je bil vgrajen v času prenove hidroelektrarne Zlatoličje in jezcu Melje v novo strojnično zgradbo ob prelivnem zidu. Njegova pretočna sposobnost je $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Drugi agregat je bil obnovljen v času prenove hidroelektrarne Zlatoličje in služi kot rezerva. Njegova pretočna sposobnost je $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Letna proizvodnja MHE Melje je 8,69 GWh, kar predstavlja le 0,3 % letne električne proizvodnje vseh hidroelektrarn, ki so del podjetja Dravske elektrarne Maribor (<http://www.dem.si>).

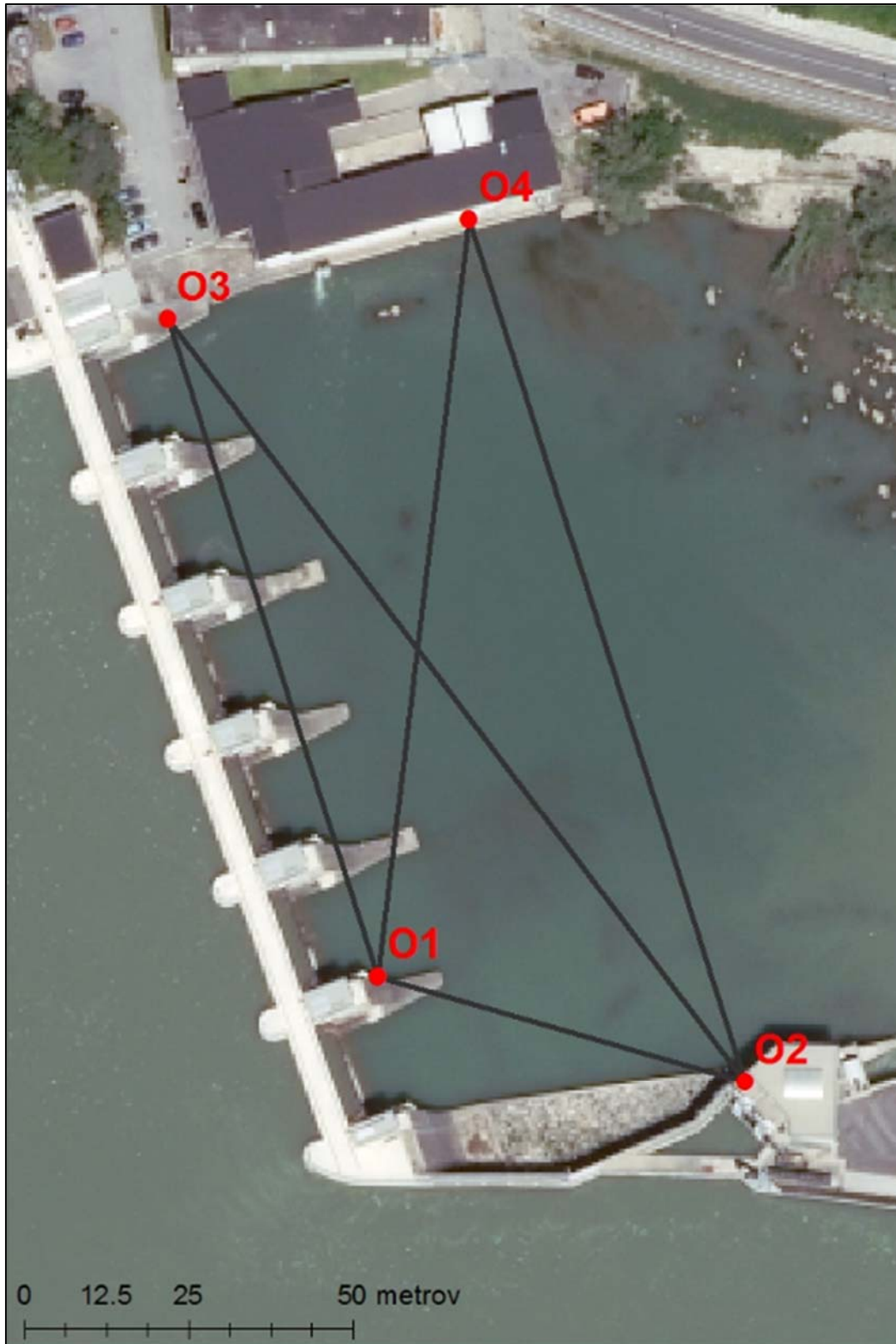
Betonska pregrada MHE Melje presega višino 17 m (Slika 4), zato spada v kategorijo visokih pregrad. Kot je zapisano v Zakonu o varstvu okolja (ZVO-1-UPB1), Ur. l. RS, št. 39/2006 in Pravilniku o tehničnem opazovanju visokih jezov, Ur. l. SFRJ, št. 7/66 je potrebno kontinuirano spremljanje premikov takšnih objektov v prostoru. Za te namene je na območju MHE Melje vzpostavljena terestrična triangulacijsko-trilateracijska mikro-mreža. Na osnovi meritev se določa horizontalne koordinate točkam referenčne mreže ter značilnih kontrolnih točk na prelivni steni. Višine točk so zaradi težke dostopnosti določene z metodo trigonometričnega višinomerstva. S primerjavo rezultatov dveh terminskih izmer se določa stabilnost referenčnih točk in premike kontrolnih točk na prelivni steni. Ugotavljanje premikov je pomembno pri zagotavljanju varnosti za širšo okolico [1].



Slika 4: Prelivna stena MHE Melje in spodnji del jezcu Melje [2]

3 OBLIKA REFERENČNE MREŽE TER SIGNALIZACIJA IN STABILIZACIJA TOČK

Na Sliki 5 je prikazana oblika referenčne mreže MHE Melje. Prikazani so položaji točk na kartografski podlagi državnega ortofoto posnetka.

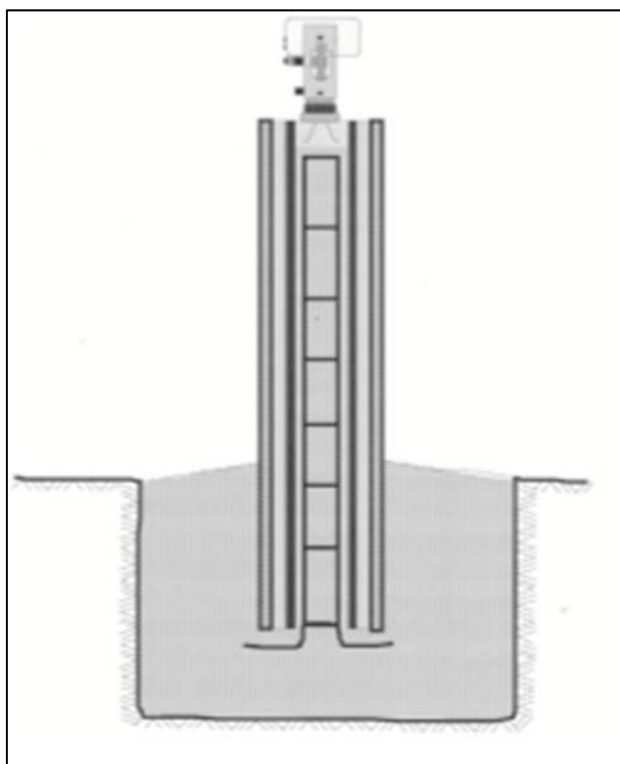


Slika 5: Oblika referenčne mreže MHE Melje in povezave med točkami

Oblika mreže na območju MHE Melje je vzpostavljena na osnovi zahtev investitorja ter rezultatov simulacije. Položaji točk so locirani in stabilizirani tako, da je zagotovljena ustrezna vidnost med točkami. Število in način povezav med točkami je predvideno tako, da nam zagotavlja dovolj čvrsto mrežo ter odkrivanje in izločanje grobih pogrškov [1].

Opisana mreža je terestrična triangulacijsko-trilateracijska mikro-mreža, ki je vzpostavljena za spremljanje horizontalnih in vertikalnih premikov prelivne stene MHE Melje [1].

Mreža, ki je vzpostavljena na območju MHE Melje je sestavljena iz štirih referenčnih točk (O1, O2, O3 in O4). Točke so locirane tako, da povezave med njimi tvorijo geodetski štirikotnik. Dve referenčni točki (O3 in O4) sta stabilizirani s talno stabilizacijo na obali ob črpališču Melje. Obe sta domnevno stabilni in definirata geodetski datum horizontalne in višinske mreže. Ostali dve referenčni točki (O1 in O2) sta stabilizirani z betonskim stebrom s sistemom za prisilno centriranje (Slika 6). Točka O1 se nahaja na stebru 5 med pretočnimi polji jezua, točka O2 pa se nahaja na robu male hidroelektrarne. Mrežo sestavljata še dve pomožni točki (S1 in S2) ter dvanajst kontrolnih točk (H1 – H9, H13 – H15) na prelivni steni, ki pa jih za potrebe laserskega skeniranja nismo uporabili.



Slika 6: Primer stabilizacije z betonskim stebrom [3]

Steber je okrogel steber iz armiranega betona, s premerom 40 cm in višino 140 cm. Običajno je zaščiten z betonsko cevjo z vmesnim praznim prostorom, kjer se nahaja toplotni izolator. Ta stebru daje večjo temperaturno odpornost in posledično zaščito pred zunanjimi vplivi. [3] V primeru stabilizacije na MHE Melje sta stebra obdana s plastično črno rebrasto cevjo, v sredini pa je armiran beton. Zaradi plastične zaščite sta stebra bolj izpostavljena zunanjim vplivom. Na zgornji ploskvi stebra je nameščen sistem za prisilno centriranje. Sestavljen je iz kovinske plošče in srčnega vijaka, kamor navijemo trinožni podstavek instrumenta (Slika 7).

Prednosti takšnega načina stabilizacije je zagotovljeno natančno prisilno centriranje in velika stabilnost točke ob pravilno izvedeni stabilizaciji. Slabosti pa so možnost nagiba, kar pomeni premik točke, možnost lokalnega premika zaradi velike mase stebra ter stalna višina, ki je ni mogoče spreminjati [3].



Slika 7: Stabilizacija točke O2

Točki O3 in O4 sta stabilizirani s talno stabilizacijo, tako da sta vgrajeni v betonsko podlago. Stabilizirani sta z valjastim rebrastim drogom iz nerjavečega jekla dolžine 30 cm. Na vrhu se nahaja čep ter navoj za privitje reflektorja Leica (Slika 8).



Slika 8: Stabilizacija talnih točk [1]

Vse štiri točke referenčne mreže so signalizirane s preciznim reflektorjem Leica GPH1P na način prisilnega centriranja reflektorja. Točki O1 in O2, ki se nahajata na betonskih stebrih, smo signalizirali s postavitvijo reflektorja na trinožni podstavek. Signalizacijo točk O3 in O4, ki sta talno stabilizirani, pa smo izvedli s privitjem reflektorja direktno na jekleni drog (Slika 9).



Slika 9: Signalizacija točke O3

4 INSTRUMENTARIJ IN MERSKA OPREMA

Meritve so bile izvede s preciznim elektronskim tahimetrom Leica Nova MultiStation MS50, ki združuje več učinkovitih merskih tehnologij (Slika 10).



Slika 10: Elektronski tahimeter Leica Nova MultiStation MS50 (<http://www.geoservis.si/>)

Instrument omogoča 3D skeniranje, združuje funkcije najbolj natančnih tahimetrov, mogoče je merjenje brez reflektorja do 2 km, omogoča slikovno podporo ter povezavo s tehnologijo GNSS. Tehnični podatki instrumenta so navedeni v Preglednici 1.

Preglednica 1: Tehnični podatki instrumenta Leica Nova MultiStation MS50 (<http://www.geoservis.si/>)

Merjenje kotov, samodejno viziranje reflektorja (ATR)	
Natančnost Hz, V ($\sigma_{\text{ISO-THEO-HZ,V}}$)	1"
Doseg ATR, okrogla prizma (GPH1P)	1000 m / 800 m
Doseg sledenja reflektorja, okrogla prizma (GPH1P)	800 m
Merjenje razdalj	
Merjenje z reflektorjem (natančnost / doseg)	1 mm ; 1,5 ppm / 10000 m
Merjenje brez reflektorja (natančnost $\sigma_{\text{ISO-EDM}}$ / doseg)	2 mm ; 2 ppm / 2000 m
Velikost pike laserskega žarka	8 mm x 20 mm na razdalji 50 m
Skeniranje	
Hitrost vrtenja	180°/s
Hitrost / doseg / šum	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 / 0,6 mm na razdalji 50 m
Prikaz oblaka točk	Vgrajen 3D pregledovalnik, obarvanje glede na jakost odboja žarka ali RGB
Slikovna podpora	
Vgrajeni kameri (ločljivost / frekvenca osveževanja)	5 MP CMOS slikovni senzor / 20 Hz
Lastnosti	Samodejno fokusiranje, viziranje preko zaslona, digitalna skica na fotografiji
Splošno	
Operacijski sistem / programska oprema	Windows CE 6,0 / Leica SmartWorx Viva
Zaslon	VGA, barvni, občutljiv na dotik, osvetljen, v obeh krožnih legah
Tipkovnica	36 tipk, osvetljena, v obeh krožnih legah
Neskončni vijaki	2 vijaka za Hz pomik, 1 vijak za V pomik, vijak za ročno fokusiranje
Baterija / avtonomija delovanja	Li - Ion 5,8 Ah / 7 – 9 ur
Vgrajen pomnilnik / pomnilniška kartica	1 GB / SD kartica do 8 GB
Komunikacijski vmesniki	RS232, USB, Bluetooth, WLAN
Teža z baterijo	7,6 kg
Temperaturno območje delovanja	- 20°C do + 50°C

Poleg zgoraj opisanega instrumenta smo pri meritvah uporabili še precizne reflektorje GPH1P proizvajalca Leica Geosystems (Slika 11). Uporabili smo jih za signalizacijo točk, kot je opisano v poglavju 3. Reflektor ima poleg precizne prizme še nosilec prizme, libelo in optično grezilo. Adicijska konstanta teh reflektorjev je nič ($k_a = 0$), zato je ni potrebno upoštevati pri obdelavi meritev. Za postavitve reflektorjev in instrumenta na točke, stabilizirane z betonskimi stebri, smo uporabili trinožni podstavek (Slika 12).



Slika 11: Reflektor Leica GPH1P
(<http://www.geoservis.si>)



Slika 12: Trinožni podstavek (<http://www.geoservis.si>)

Za bolj kakovostne meritve smo merili tudi meteorološke parametre. Zračni tlak smo merili z digitalnim barometrom Paroscientific, vlažnost zraka pa s preciznim aspiracijskim psihrometrom (Slika 13). Parametre smo merili pred začetkom meritev na posameznem stojšču ter jih vpisali v instrument., ki jih je upošteval med meritvami, pri redukciji dolžin in sicer za izračun prvega popravka hitrosti.



Slika 13: Aspiracijski psihrometrer (levo) in digitalni barometer Paroscientific (desno)

Poleg zgoraj navedene merske opreme smo uporabljali tudi kleščice za odvitje čepa na talno stabiliziranih točkah (Slika 14) ter žepni trak Leica za merjenje višine instrumenta (Slika 15).



Slika 14: Kleščice za odvitje čepa [15]



Slika 15: Žepni merski trak Leica (<http://www.geoservis.si>)

5 METODE IZMERE

Za izmero referenčne mreže MHE Melje smo uporabili kombinirano metodo triangulacije in trilateracije ter metodo trigonometričnega višinerstva. S terestričnim laserskim skeniranjem smo skenirali prelivno steno MHE Melje.

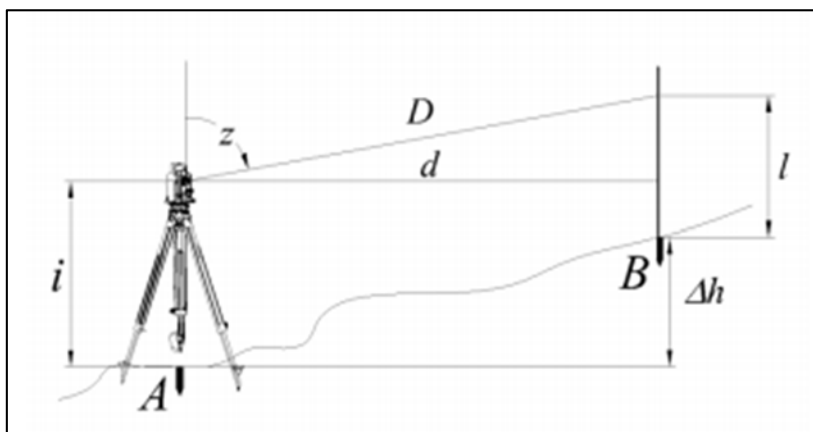
5.1 Kombinirana triangulacijsko - trilateracijska metoda izmere

Triangulacija je metoda določanja horizontalnih koordinat na osnovi merjenih horizontalnih smeri med točkami. Horizontalne smeri smo merili z girusno metodo. Trilateracija je metoda določanja horizontalnih koordinat na osnovi merjenih dolžin. Poleg smo merili tudi zenitne razdalje.

Horizontalne smeri smo merili v šestih girusih, poševne dolžine in zenitne razdalje pa istočasno z merjenjem horizontalnih smeri v šestih ponovitvah v dveh krožnih legah. Iz točk O1 in O2, ki se nahajata na betonskih stebrih, smo izvajali obojestranske meritve, na točki O3 in O4, ki sta talno stabilizirani, pa smo izvajali enostranske meritve.

5.2 Trigonometrično višinerstvo

Trigonometrično višinerstvo je poleg geometričnega nivelmana ena izmed dveh geodetskih metod določanja višinskih razlik. Je metoda določanja višinskih razlik med točkama na osnovi zenitne razdalje (z) ter horizontalne dolžine (d) ali merjene poševne dolžine (D) med točkama A in B (Slika 16). Zenitne razdalje in poševne dolžine dobimo iz meritev, horizontalne dolžine pa dobimo z izračunom iz koordinat obeh točk.



Slika 16: Osnovni princip trigonometričnega višinerstva [4]

Višinsko razliko med stojiščno in opazovano točko z uporabo trigonometričnega višinerstva izračunamo po enačbi:

$$\Delta h = D \cdot \cos z + i - l = d \cdot \cot z + i - l \quad (1)$$

kjer so:

z ...zenitna razdalja [° ' '']

d ...horizontalna dolžina [m]

D ...poševna dolžina [m]

i ...višina instrumenta [m]

l ...višina signala [m]

Δh ...višinska razlika med točkama [m]

Pri izračunu upoštevamo tudi višino instrumenta in signala. Na točkah O1 in O2 smo višino instrumenta oziroma reflektorja izmerili z žepnim merskim trakom (Poglavje 7/Preglednica 3), na točkah O3 in O4 pa smo privzeli višino 0. Metodo trigonometričnega višinomerstva smo uporabili zaradi nedostopnosti nekaterih točk.

5.3 Terestrično lasersko skeniranje (angl. Terrestrial laser scanning)

Lasersko skeniranje je tehnologija zajemanja velike količine prostorskih podatkov s stojišč na zemeljskem površju ali njeni neposredni okolici. Prvi instrumenti za lasersko skeniranje so se pojavili v začetku devetdesetih let z razvojem visoko zmogljivih optično-mehanskih senzorjev in programske opreme, ki omogoča obdelavo velike količine podatkov. Princip delovanja laserskih skenerjev je podoben delovanju elektronskih tahimetrov, predvsem polarni metodi izmere, kjer na osnovi merjene dolžine in kota lahko izračunamo koordinato točke. Ta način izmere je poznan že dlje časa, zato je metodologija zajemanja prostorskih podatkov sorodna s področjem klasične geodetske izmere.

Prednosti 3D laserskega skeniranja [5]:

- hiter zajem velike količine podatkov,
- cenejši zajem podatkov glede na ostale metode,
- zajem podatkov brez kontakta,
- koordinate skeniranega objekta pridobimo skoraj v realnem času,
- oblake točk lahko uporabimo večkrat, za različne namene,
- možnost upravljanja skenerja preko enega samega operaterja in
- kvaliteto zajema je možno preveriti že na terenu.

Slabosti 3D laserskega skeniranja [5]:

- potrebne so izkušnje za obdelavo oblakov točk,
- potrebna je kakovostna programska oprema,
- skenirana površine ne zagotavlja vedno zadostnega odboja laserske svetlobe in
- skenogram vključuje šume, zaradi odbojev od drugih predmetov.

5.3.1 Delitev laserskih skenerjev

Poznamo različne skenerje in različne delitve. V nadaljevanju sta opredeljeni delitvi glede na obseg zajemanja podatkov in glede na način merjenja razdalj.

Glede na obseg zajemanja podatkov delimo lasersko skeniranje na [6]:

- zračno lasersko skeniranje (angl. Airborne laser scanning – ALS),
- terestrično lasersko skeniranje (angl. Terrestrial laser scanning – TLS) in
- lasersko skeniranje iz kratkih razdalj (angl. Short range laser scanning).

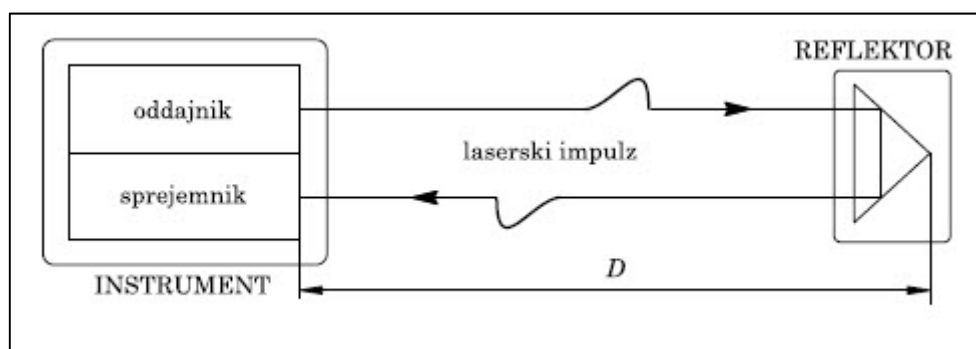
Zračno lasersko skeniranje se izvaja iz različnih zračnih plovil (npr. letal, helikopterjev,...) in se uporablja na področjih zajemanja podatkov o reliefu in površju, zajema grajenih objektov ter naprav in drugih.

Terestrično lasersko skeniranje je primerno za skeniranje večjih objektov v arhitekturi, gradbeništvu, premikanju zemeljskih mas ter na drugih področjih. Instrumenti, ki se uporabljajo za terestrično lasersko skeniranje so po principu delovanja podobni elektronskim tahimetrom.

Lasersko skeniranje iz kratkih razdalj, za razliko od ostalih načinov ne uporablja laserja za izmero dolžine do točke, ampak se uporablja za ustvarjanje profila na površju objekta, ki je posnet z digitalnim fotoaparatom [7].

Glede na način merjenja dolžin lahko laserske skenerje razdelimo v dve skupini in sicer na skenerje z neposrednim merjenjem razdalje (angl. Ranging scanners) in triangulacijske skenerje (angl. Triangulation scanners). Med skenerje z neposrednim merjenjem razdalje spadajo skenerji, ki uporabljajo impulzni (angl. Time of flight method) in fazni način merjenja dolžin (angl. Phase comparison scanners).

Impulzni skenerji delujejo na principu izračuna razdalje z merjenjem časa potovanja laserskega signala od izvora do reflektorja in nazaj (Slika 17).

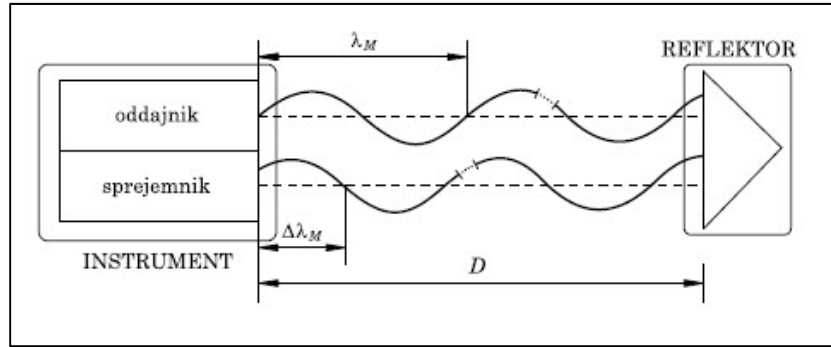


Slika 17: Osnovni princip impulznega načina merjenja razdalj [8]

Za izračun razdalje (D) med instrumentom in reflektorjem potrebujemo hitrost svetlobe v vakuumu (c), čas potovanja laserskega impulza od izvora do reflektorja in nazaj (t) ter lomni količnik atmosfere (n), ki je odvisen od temperature zraka, tlaka in vlažnosti (Enačba 2) [9].

$$D = \frac{c \cdot t}{n \cdot 2} \quad (2)$$

Fazni skenerji uporabljajo modulirano elektromagnetno valovanje, kjer se združita dve vrsti elektromagnetnega valovanja in sicer nosilno in mersko valovanje. Rezultat modulacije je modulirano nosilno valovanje oziroma mersko valovanje. To je odvisno od valovne dolžine, na katero ima največji vpliv modulacijska frekvenca ter sredstvo, v katerem se valovanje širi. Modulirano valovanje je predstavljeno s sinusoido (Slika 18) [8].



Slika 18: Osnovni princip faznega načina merjenja razdalj [8]

Razdaljo (D) med izvorom in reflektorjem izračunamo kot:

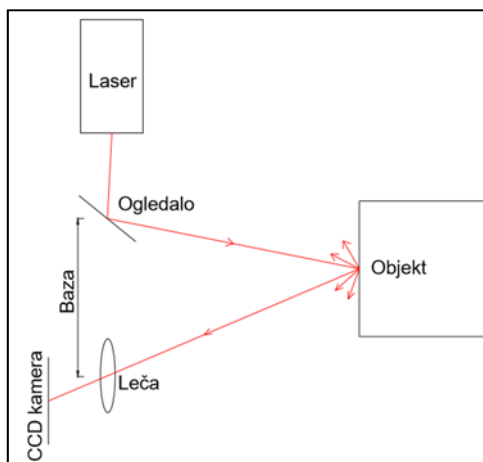
$$D = N \cdot \frac{\lambda_M}{2} + \frac{\Delta\lambda_M}{2} \quad (3)$$

V Enačbi 3 je N število polovičnih valovnih dolžin na merjeni poti, λ_M modulacijska valovna dolžina in $\Delta\lambda_M$ modulacijska valovna dolžina določena na osnovi merjenja fazne razlike med merskim in referenčnim žarkom. Modulacijsko valovno dolžino se izračuna:

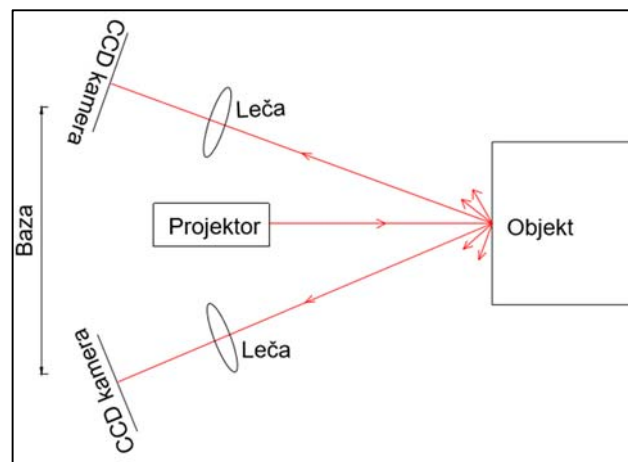
$$\Delta\lambda_M = \frac{\Delta\varphi}{2 \cdot \pi} \cdot \lambda_M \quad (4)$$

V Enačbi 4 je $\Delta\varphi$ fazna razlika med merskim in referenčnim žarkom [8].

Triangulacijske skenerje delimo na skenerje z eno CCD kamero in skenerje z dvema CCD kamerama. Pri triangulacijskih skenerjih z eno CCD kamero se 3D položaj skenirane točke izračuna na podlagi trikotnika, ki nastane med laserjem, ki oddaja laserski žarek, objektom in CCD kamero (Slika 19). Pri triangulacijskih skenerjih z dvema CCD kamerama je med njima projektor, ki ustvari laserski žarek (Slika 20). Geometrijska rešitev je enaka kot pri skenerjih z eno CCD kamero [10].



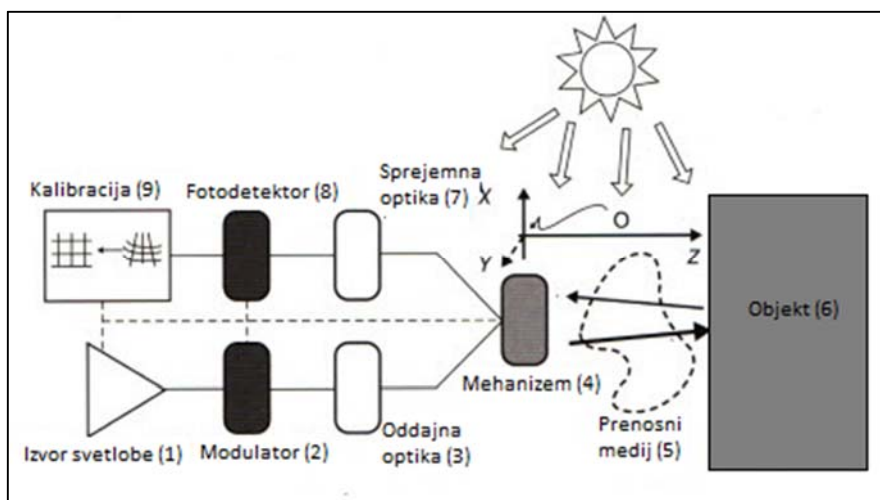
Slika 19: Princip triangulacijskega skenerja z eno CCD kamero



Slika 20: Princip triangulacijskega skenerja z dvema CCD kamerama

5.3.2 Zgradba laserskih skenerjev

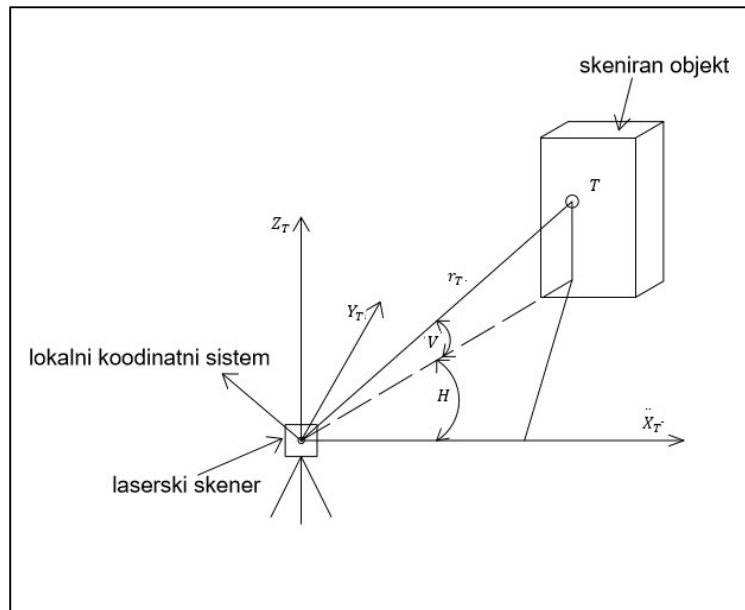
Poznamo različne izvedbe laserskih skenerjev, ampak vsi sistemi imajo podobno strukturo (Slika 21). Vsak instrument za lasersko skeniranje mora imeti izvor svetlobe (1). Uporabljena sta dva tipa izvora svetlobe in sicer inkoherenten izvor (npr. žarnica, sonce) ter laser, ki je bolj direkten in svetel. Ta svetloba potuje skozi modulator (2). Sestavljen je iz snovi s posebnimi optičnimi lastnostmi, ki s spreminjanjem električnega polja spreminjajo optične lastnosti. Naprej potuje skozi oddajno optiko (3) do mehanizma (4), ki usmerja žarek po površju skeniranega objekta. Pri terestričnem laserskem skeniranju se najpogosteje uporablja nihajoča in vrteča zrcala ter druge mehanizme. Žarek potuje skozi prenosni medij (5) (voda, zrak, vakuum,...) in se nato odbije od objekta (6) nazaj proti instrumentu. Korekcije, kot so refrakcija in druge, ki se pojavljajo pri potovanju žarka skozi medij se upoštevajo pri kalibraciji. Odbiti žarek potuje skozi sprejemno optiko (7) do fotodetektorja (8). To so posebni senzori, ki zbirajo odbito svetlobo. Nato sledi kalibracija (9), s katero instrument ocenjuje parametre modelov, ki se uporabljajo za odpravo sistematičnih napak.



Slika 21: Osnovna struktura skenerja [9]

5.3.3 Osnovni princip delovanja laserskih skenerjev

Terestrični laserski skener za vsako skenirano točko izmeri razdaljo od točke do instrumenta ter horizontalni (H) in vertikalni (V) kot. Na osnovi teh podatkov izračuna prostorske koordinate (X_T, Y_T, Z_T) točk (Slika 22, Enačbe 5, 6, 7).



Slika 22: Osnovni princip laserskega skeniranja

$$X_T = r_T \cdot \cos V \cdot \cos H \quad (5)$$

$$Y_T = r_T \cdot \cos V \cdot \sin H \quad (6)$$

$$Z_T = r_T \cdot \sin V \quad (7)$$

kjer so:

X_T, Y_T, Z_T ...prostorske koordinate točke T [m]

r_T ...razdalja med skenerjem in skenirano točko T [m]

V ...vertikalni kot [° ' "]

H ...horizontalni kot [° ' "]

6 OBDELAVA SKENIRANIH PODATKOV

Rezultat skeniranja objekta je oblak točk, vsaka točka pa je opisana s tremi prostorskimi koordinatami (X, Y, Z) in intenziteto odboja. Preden lahko te podatke uporabimo jih moramo obdelati. Postopek obdelave se začne z registracijo, s katero združimo skenograme skenirane iz različnih stojišč v en skenogram. Registraciji sledi georeferenciranje, umeščanje skenograma iz lokalnega v globalni koordinatni sistem. Pomemben korak pri izdelavi žičnega modela je izgradnja mreže, vendar pred tem s predobdelavo eliminiramo napačne podatke in točke. Ko imamo izdelano mrežo izvedemo še zaključno obdelavo, zato da odpravimo morebitne napake. S teksturnim prekrivanjem skeniranemu objektu dodeljujemo različne teksture, zato da ga lažje vizualiziramo za različne namene.

6.1 Registracija (angl. Registration)

V večini primerov so skenirani objekti preveliki, da bi bili skenirani iz enega samega stojišča, zato se jih skenira iz več stojišč. Posledica tega je, da dobimo več oblakov točk skeniranih iz različnih stojišč, kar pa pomeni, da ima vsak oblak točk svoj koordinatni sistem. S procesom registracije združimo skenirane oblake točk v enotni koordinatni sistem. Pri laserskem skeniranju se izvede ortogonalna transformacija, kar pomeni, da se spremeni le položaj, oblika in velikost pa se ohranita [11].

Vosselman in Mass (2010) obravnavata metode registracije kot registracijo z uporabo tarč (angl. Target-based registration), registracijo po metodi iterativnega ujemanja najbližjih točk (angl. Iterative closest point methods) ter registracijo z uporabo atributov (Feature registration).

Registracija z instrumentom Leica Nova Multistation MS50 je poseben primer. Ker v osnovi deluje kot elektronski tahimeter je registracija enostavnejša. Instrument je bil na vsakem stojišču predhodno orientiran, zato sta bila skenograna v enotnem koordinatnem sistemu. Kasneje smo ju enostavno združili v isto bazo točk.

6.2 Georeferenciranje (angl. Georeferencing)

Georeferenciranje je transformacija lokalnega koordinatnega sistema oblaka točk v globalni koordinatni sistem. Razumemo jo lahko tudi kot registracijo v globalni koordinatni sistem, ker vključuje transformacijo koordinat tako kot pri registraciji. Razlika med tema dvema procesoma pa je da za registracijo potrebujemo vsaj dva oblaka točk, medtem ko pri georeferenciranju uporabimo samo en oblak točk [11].

Poznamo dva načina georeferenciranja in sicer indirektno (angl. indirect georeferencing) in direktno (angl. direct georeferencing) georeferenciranje. Za georeferenciranje oblakov točk prelivne stene MHE Melje smo uporabili slednji način.

Z direktnim načinom georeferenciranja lokalni koordinatni sistem s transformacijo direktno transformiramo v globalni koordinatni sistem. Pri tem načinu najprej postavimo instrument na že znano točko ter ga orientiramo proti točki z znanimi koordinatami. Koordinate stojišča lahko pridobimo tudi s sprejemnikom GNSS, ki je vgrajen v instrument ali pa z uporabo totalne postaje. V našem primeru, je bilo georeferenciranje izvedeno s postavitvijo instrumenta na znane točke in orientacijo na ostale dane točke geodetske mreže.

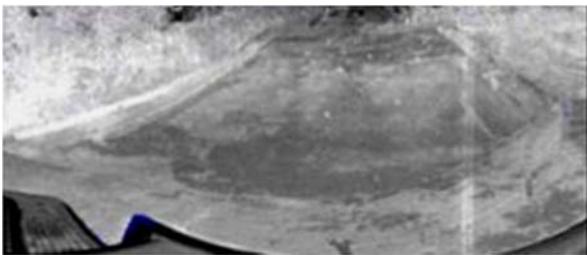
6.3 Predobdelava (angl. Pre-processing)

S postopkom predobdelave eliminiramo napačne podatke in točke. Večino napačnih točk lahko odpravimo že pred registracijo. Ker meritve posameznih točk niso individualno nadzorovane, Boehler (2002) navaja več razlogov za skeniranje odvečnih točk in sicer:

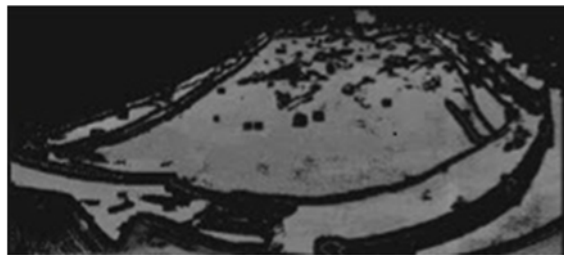
- odboji od predmetov v ozadju,
- odboji, ki nastanejo zaradi predmetov med skenerjem in skeniranim objektom (drevesa, ljudje, promet, atmosferski vplivi, kot so dež ali prah),
- delni odboji na robovih,
- odstopanja, ki nastajajo zaradi sistematičnih napak pri merjenju dolžin in
- napačne točke, ki so skenirane zaradi zelo svetlih objektov.

Fabio (2003) je zapisal nekaj najosnovnejših operacij, s katerimi odpravimo napake in sicer odstranjevanje šuma (angl. Noise Reduction), vzorčenje podatkov (angl. Data Sampling) in zapolnjevanje lukenj (angl. Holes Filling).

Odstranjevanje šuma poteka z uporabo statističnih metod, ki upoštevajo ukrivljenost površine ter skušajo ohraniti izmerjene funkcije. V primeru slikovnega ujemanja je napačna skladnost odstranjena avtomatsko (Sliki 23 in 24) ali ročno [13].



Slika 23: Začetni skenogram [13]



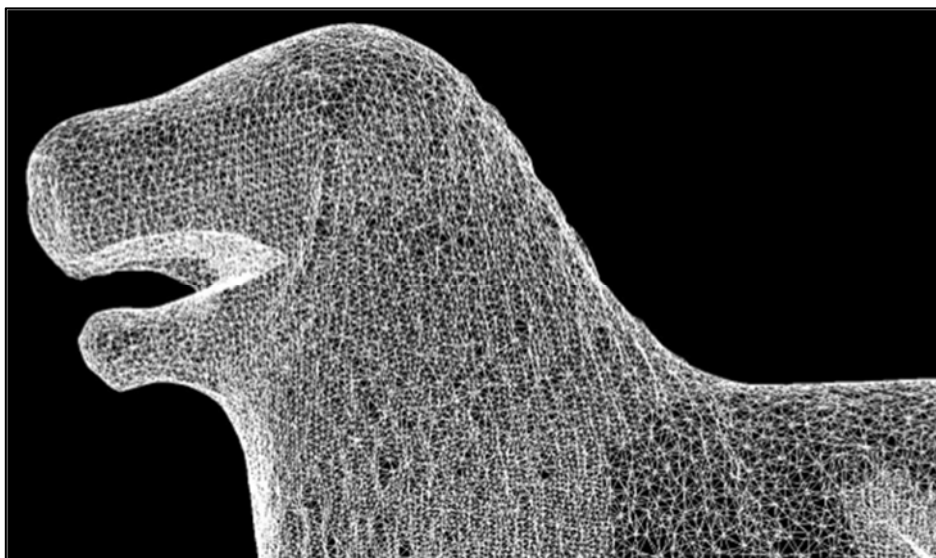
Slika 24: Rezultat avtomatskega odstranjevanja šuma [13]

6.4 Izgradnja mreže (angl. Mesh generation)

Triangulacija ali izgradnja mreže je eden pomembnejših procesov v postopku rekonstrukcije površja in ključen del vsakega programa za rekonstrukcijo. Fabio (2003) deli triangulacijo glede na geometrijo vhodnih podatkov in sicer na 2D triangulacijo, 2,5D triangulacijo in 3D triangulacijo.

Vhodni podatek za 2D triangulacijo ustvarimo s povezovanjem sosednjih točk tako, da dobimo ravnino. Ta je lahko trikotnik ali poligon, ki se sekata le v skupnih robovih in vozliščih [12]. Najbolj uporabljena metoda je Delaunayeva triangulacija, ki mora zagotavljati Delaunayev kriterij. Ta pravi, da ne sme biti katerikoli vozle vstavljene v okolico kateregakoli

trikotnika v mreži, ki je definirana kot sfera, ki poteka skozi vsa oglišča trikotnika [14]. Rezultat triangulacije je žični oziroma 3D model (Slika 25).



Slika 25: Žični oziroma 3D model [14]

6.5 Vizualizacija (angl. Visualization)

Vizualizacija je predstavitev in ravnanje s 3D modeli na računalniškem zaslonu. Ker je vizualizacija 3D modela običajno edini zanimiv produkt za zunanji svet, jo lahko izvedemo na več načinov.

Najlažji način vizualizacije je predstavitev z geometrijo objekta. Objekt lahko vizualiziramo še s senčenjem ali pa s teksturnim prekrivanjem. (Slika 26).

Vizualizacija objekta z geometrijo objekta je opisana v poglavju 6.4. Vizualizacija objekta s senčenjem temelji na Lambertovem zakonu. Tretji način vizualizacije objekta je s teksturnim prekrivanjem. Osnovni princip je dodajanje teksture iz slike istega objekta na geometrijsko površje objekta [14]. Kersten (2012) razdeli tehnike teksturnega prekrivanja na ročno teksturno prekrivanje (angl. Manual texture mapping) in avtomatsko teksturno prekrivanje (angl. Automatic texture mapping).



Slika 26: Žični model (levo), senčenje površine (sredina) in foto – realistični model (desno) [14]

7 PRAKTIČEN PRIMER OBDELAVE SKENIRANIH PODATKOV

7.1 Registracija

Prelivno steno MHE Melje smo skenirali z instrumentom Leica Nova MultiStation MS50. Ker bi bil skeniran oblak točk merjen iz enega stojišča pomanjkljiv in neuporaben, smo skenirali iz dveh stojišč (O1 in O2) ter ju združili.

Delo pred začetkom skeniranja lahko razdelimo na več faz in sicer:

- določitev in izmera točk orientacije,
- določitev gostote in hitrosti skeniranja območja in
- določitev območja skeniranja.

Ker smo skenirali iz dveh stojišč (O1 in O2) smo dvakrat določili orientacijo. Iz stojišča O1 smo vizirali na točke O2, O3 in O4, iz stojišča O2 pa na točke O1, O3 in O4. Srednji orientacijski kot za posamezno stojišča in njegova natančnost so zapisani v Preglednici 2.

Preglednica 2: Srednji orientacijski kot na vsakem stojišču

	Srednji orientacijski kot-φ [° ' '']
O1	350 02 07,6
O2	287 29 32,9

Pred začetkom meritev smo na vsakem stojišču izmerili meteorološke parametre in sicer suho in mokro temperaturo, zračni tlak ter višino instrumenta oziroma reflektorja (Preglednica 3). Te podatke smo vnesli v instrument.

Preglednica 3: Vrednosti meteoroloških parametrov in višine instrumenta oziroma reflektorja

	t_s [°C]	t_m [°C]	p [hPa]	i/l [m]
O1	12,5	10,1	982,7	0,242
O2	14,5	10,0	982,7	0,238

Zgoraj navedene orientacije smo merili v šestih girusih. V Preglednici 4 so zapisane sredine horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in dolžin iz stojišč do opazovanih točk in so pridobljene iz programa Leica Geo Office (Priloga A):

Preglednica 4: Sredine horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in dolžin

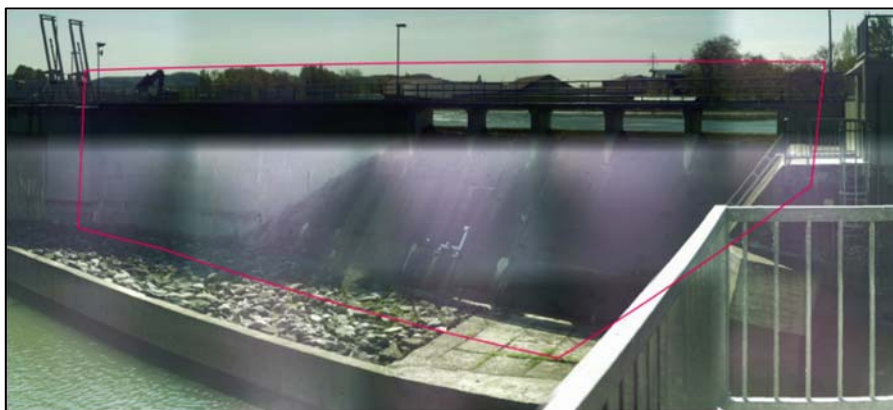
Iz točke	Do točke	Horizontalne smeri [° ' '']	Zenitne razdalje [° ' '']	Dolžine [m]
O1	O3	0 00 00,0	93 53 55,0	108,947
O1	O4	20 55 23,9	93 36 49,0	118,084
O1	O2	117 27 24,3	88 35 39,6	60,902
O2	O1	0 00 00,0	91 24 36,8	60,902
O2	O3	40 59 16,7	93 27 57,3	147,320
O2	O4	57 36 12,4	93 41 20,1	138,953

V Preglednici 5 so navedene natančnosti posamezne smeri ter skupna natančnost horizontalnih smeri, zenitnih razdalj ter dolžin za posamezno stojišče, pridobljene iz programa Leica Geo Office (Priloga A).

Preglednica 5: Natančnost posamezne smeri ter skupna natančnost horizontalnih smeri, zenitnih razdalj ter dolžin za posamezno stojišče

Stojišče O1		
	Skupna natančnost	Natančnost posamezne smeri
σ_{Hz}	0,1"	0,2"
σ_z	0,2"	0,5"
σ_D	0,0 mm	0,1 mm
Stojišče O2		
	Skupna natančnost	Natančnost posamezne smeri
σ_{Hz}	0,2"	0,4"
σ_z	0,2"	0,4"
σ_D	0,0 mm	0,0 mm

Po končanih meritvah smo določili nastavitve skeniranja. Gostoto točk smo nastavili na 3 x 3 centimetre ter hitrost skeniranja na 1000 točka na sekundo. Območje skeniranja smo določili nekaj metrov večje kot je samo območje obdelave, da bi zajeli vse točke, ki se nahajajo na prelivni steni. Območje skeniranja iz stojišča O1 je prikazano na Sliki 27, območje skeniranja iz stojišča O2 pa je prikazano na Sliki 28. Obe sliki, ki prikazujeta območje skeniranja sta zajeti z laserskim skenerjem Leica Nova Multistation MS50.



Slika 27: Območje skeniranja iz stojišča O1



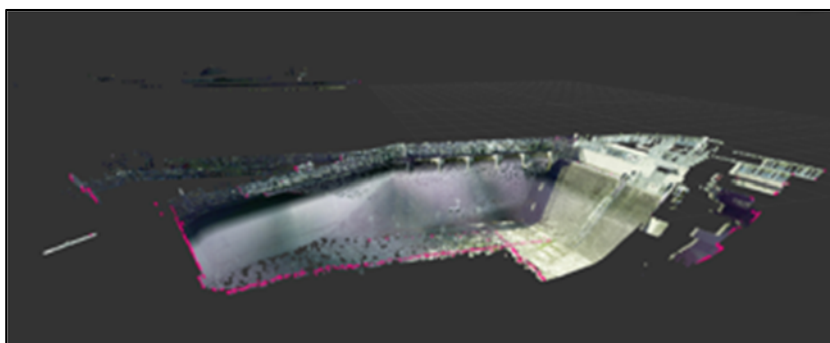
Slika 28: Območje skeniranja iz stojišča O2

Glede na nastavitve instrumenta pred izmero smo pridobili podatke o številu skeniranih točk in času skeniranja (Preglednica 6).

Preglednica 6: Število zajetih točk in čas skeniranja iz posameznega stojišča in skupno

	Število zajetih točk	Čas zajemanja
Stojišče O1	547.148	~20 minut
Stojišče O2	455.078	~15 minut
Skupaj	$\Sigma = 1.002.226$	$\Sigma = \sim 35$ minut

Posamezen oblak točk iz stojišč O1 in O2 smo uvozili v program ReCap, kjer smo jih združili v enega. Ta skenogram je prikazan na Sliki 29.



Slika 29: Združena skenograma iz stojišč O1 in O2

7.2 Georeferenciranje

Instrument, s katerim smo skenirali prelivno steno, omogoča direktno georeferenciranje, ki je podrobneje opisano v poglavju 6.2. Kot je zapisano v poglavju 7.1 smo pred začetkom skeniranja določili orientacijo iz obeh stojišč (O1 in O2) proti točkam O3 in O4. Točki O3 in O4, ki sta stabilizirani na obali MHE Melje sta domnevno stabilni, koordinate so zapisane v Preglednici 7.

Preglednica 7: Dane koordinate točk O3 in O4 v lokalnem koordinatnem sistemu [15]

	y [m]	x [m]	h [m]
O3	70,0081	238,1196	10,0000
O4	111,2209	246,7633	9,9650

Najverjetnejše koordinate točk O1 in O2 so pridobljene z izravnavo na podlagi meritev, ki so bile izvedene 10. 07. 2015 in jih privzamemo (Preglednica 8) [15].

Preglednica 8: Najverjetnejše koordinate in natančnosti točk O1 in O2 [15]

	y [m]	x [m]	h [m]	σ_y [m]	σ_x [m]	σ_h [m]
O1	88,8162	131,0617	17,16195	0,0006	0,0004	0,00037
O2	146,8843	112,7626	18,66055	0,0006	0,0004	0,00040

Ker so dane in najverjetnejše koordinate referenčnih točk MHE Melje v lokalnem koordinatnem sistemu je tudi skenogram georeferenciran v lokalni koordinatni sistem.

7.3 Predobdelava

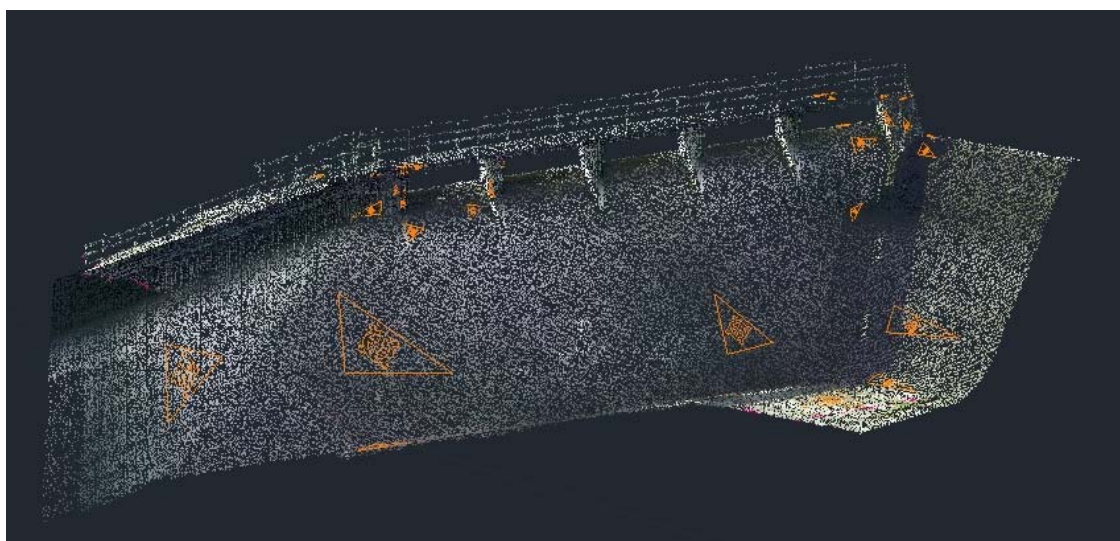
Kot je bilo že prej omenjeno, smo območje skeniranja določili nekoliko večje kot je sama prelivna stena (Sliki 27 in 28). Zato je instrument skeniral tudi nekatere dele, ki niso predmet obdelave. Iz stojišča O1 je skeniral nekatere objekte na nasprotni obali Drave, iz stojišča O2 pa je skeniral tudi del pretočnega polja. Ker smo v nadaljevanju gradili mrežo same prelivne stene, so prej omenjeni deli oblaka točk odveč. Le te smo s programom ReCap ročno odstranili. Tako je oblak točk pripravljen za izgradnjo mreže z vmesnikom PointSense v programu AutoCad (Slika 30).



Slika 30: Skenogram prelivne stene MHE Melje brez odvečnih točk

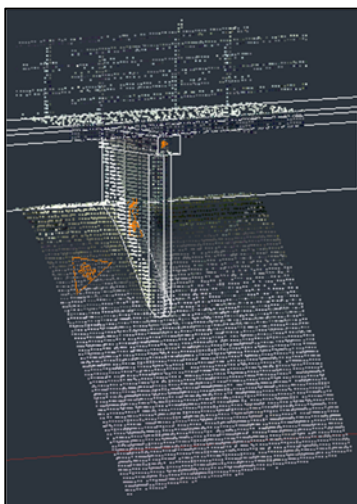
7.4 Izgradnja mreže

Obdelan oblak točk smo uvozili v program AutoCad, kjer smo z vmesnikom PointSense izdelali žični model oziroma mrežo objekta. Kot je navedeno v poglavju 6.4 je vhodni podatek za izgradnjo mreže ravnina. Te smo risali z ukazom »Draw plane« in sicer tako, da smo v oblaku točk izbrali tri detajlne točke, ki ležijo na isti ploskvi ter jih povezali. Tako smo na celotni prelivni steni narisali ravnine (Slika 31), ki smo jih v nadaljevanju uporabili za izgradnjo žičnega modela.



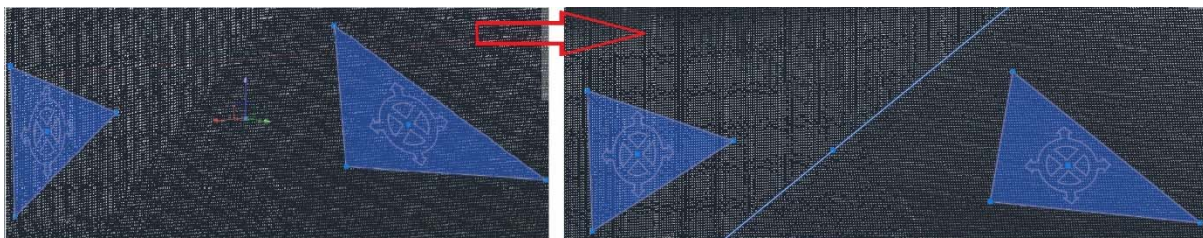
Slika 31: Ravnine, prikazane na oblaku točk s pomočjo katerih smo ustvarili žični model prelivne stene

Na določenih delih objekta je bil položaj točk, ki smo jih uporabili za izris ravnine nepregleden, kar bi pomenilo, da bi lahko ravnino narisali na napačno površino in posledično dobili nepravi žični model. V takšnih primerih smo si pomagali z funkcijo »Define slice (UCS)«. Ukaz nam je omogočil izbiro določenega dela oblaka točk, kot pomoč pri lažjem risanju ravnin (Slika 32). V primeru na spodnji sliki je prikazan del, ki je definiran v ravnini YZ in XZ.



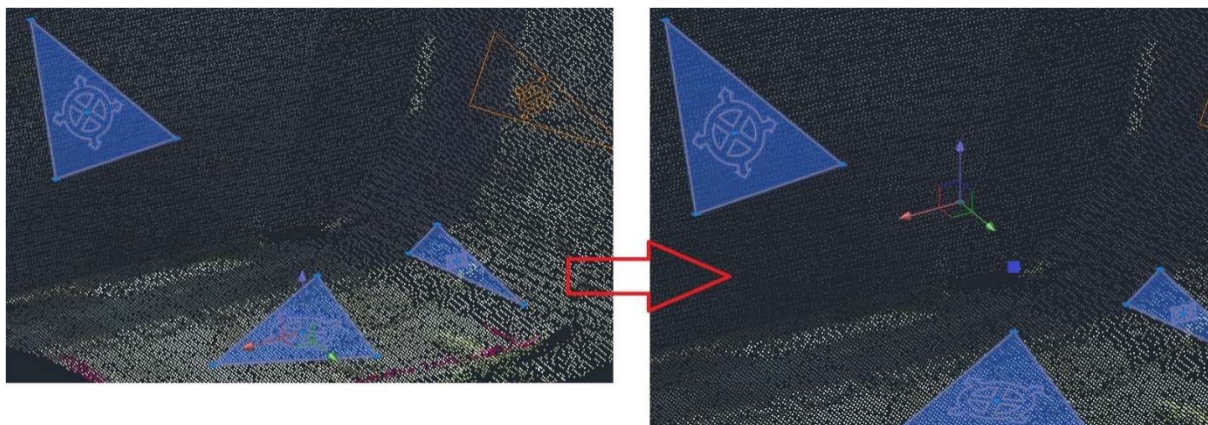
Slika 32: Ukaz »Define slice (UCS)«

S preseki prej definiranih ravnin smo zgradili mrežo objekta. Za preseke ravnin smo uporabljali dva ukaza. Prvi ukaz je »Intersection line (2 Planes)«, ki ustvari linijo preseka med dvema ravninama, ki nista vzporedni (Slika 33). To orodje smo uporabljali na tistih delih, kjer sta bili na voljo le dve ravnini, ki smiselno tvorita presek.



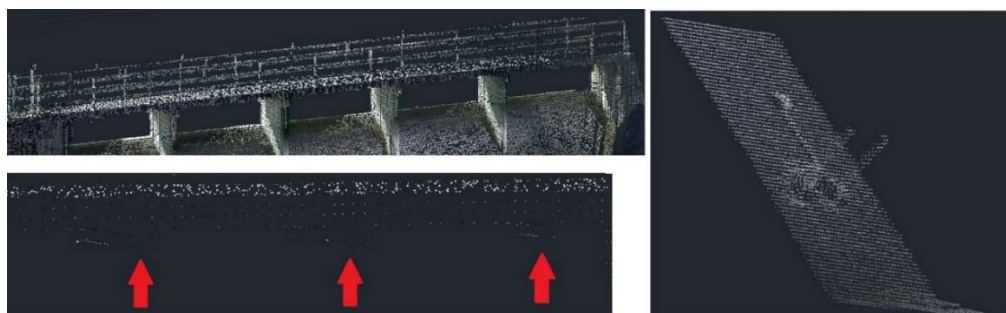
Slika 33: Na levi sliki sta označeni ravnini, na osnovi katerih je na desni sliki nastala linija preseka (modra barva)

Poleg tega smo uporabili še ukaz »Intersection point (3+ Planes)«. Ta ustvari točko, kjer se sekajo tri ali več ravnin (Slika 34). Ravnine v parih ne smejo biti vzporedne. To orodje smo uporabili na delih objekta, kjer smo imeli na razpolago vsaj tri ravnine, ki definirajo presek, ki smo ga lahko smiselno uporabili v nadaljevanju.



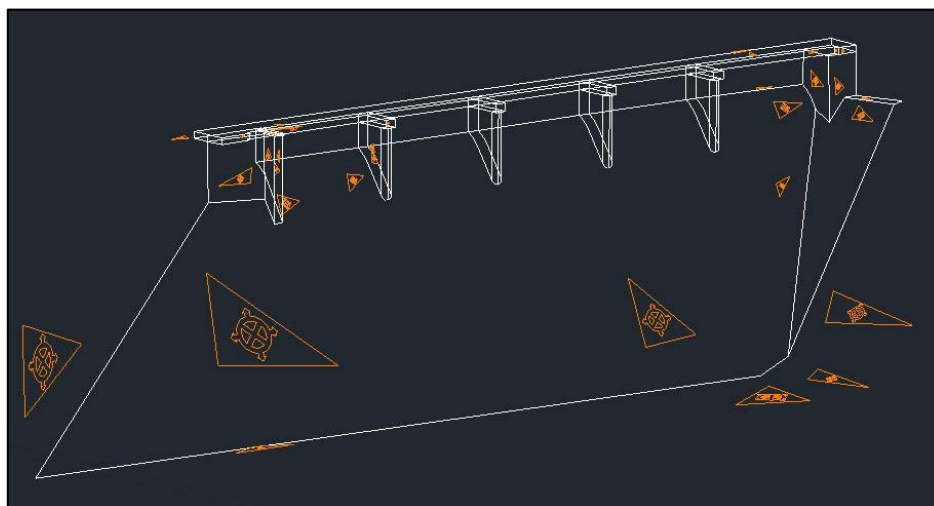
Slika 34: Na levi sliki so označene tri ravnine na osnovi katerih je na desni sliki nastala točka preseka (modra barva)

Na določenih delih prelivne stene je bila gostota skeniranja (3 x 3 centimetre) premajhna. Tako so bili nekateri detajli definirani s premalo točkami, zato nismo mogli definirati ravnine ter izrisati žičnega modela. Takšen primer so nosilci prehoda, ograja na prehodu čez prelivno steno ter geotehnično sidro S2 na sami prelivni steni (Slika 35). Za te dele nismo izdelali žičnega modela, ker bi bile ravnine po vsej verjetnosti napačno definirane, posledično bi bila tudi mreža tega dela napačno postavljena.



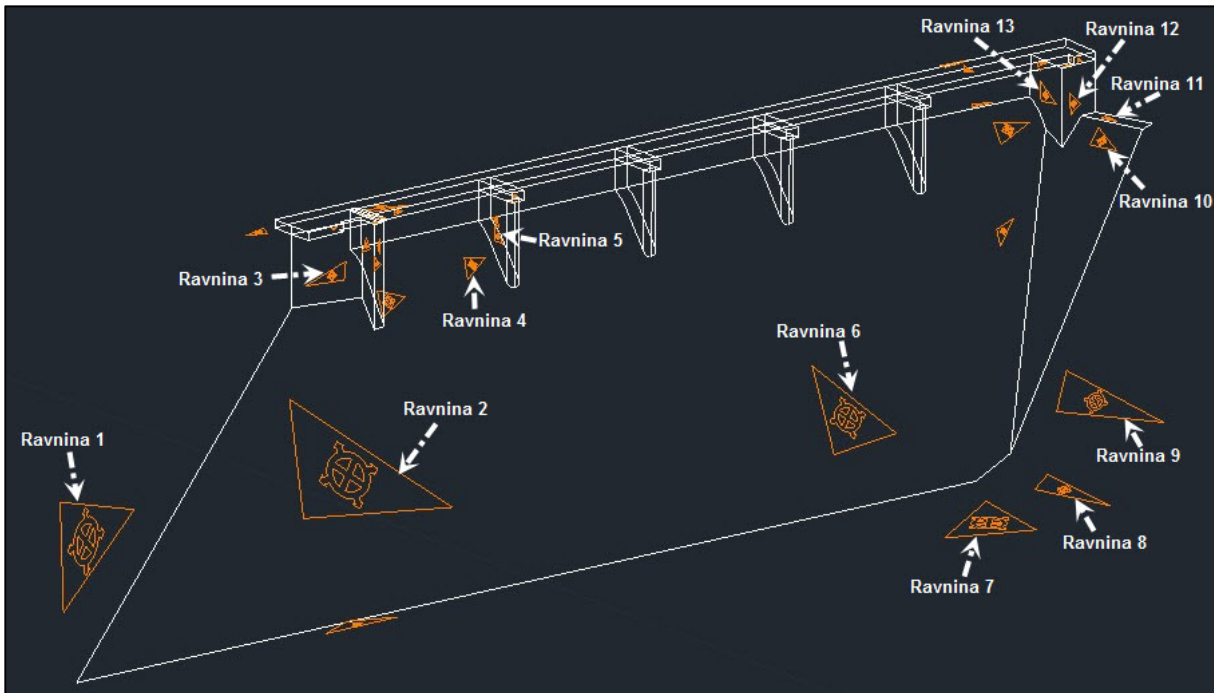
Slika 35: Prikaz detajlov, ki jim zaradi premajhne gostote skeniranja nismo mogli izrisati žičnega modela (levo zgoraj ograja, levo spodaj nosilci prehoda in desno geotehnično sidro S2)

Z uporabo zgoraj navedenih ukazov smo izdelali žični model prelivne stene MHE Melje (Slika 36).



Slika 36: Žični model z ravninami prelivne stene MHE Melje

V nadaljevanju smo določevali tudi natančnost položaja detajlnih točk na izbranih trinajstih ravninah (Slika 37) v horizontalnem in višinskem smislu.



Slika 37: Prikaz ravnin katerim smo določali horizontalno in višinsko natančnost

7.4.1 Določitev natančnosti horizontalnega položaja detajlnih točk

Za določitev natančnosti horizontalnega položaja točk, ki definirajo posamezno ravnino smo najprej izvedli simulacijo v programu SomWin.exe (avtorja: Tomaž Ambrožič, Goran Turk), ki je namenjen simulaciji opazovanj v horizontalnih geodetskih mrežah. Vhodni podatek za simulacijo opazovanj je datoteka *.opa, ki je sestavljena iz:

- a priori kotne natančnosti (privzeta iz tehničnih navodil instrumenta),
- a priori dolžinske natančnosti (Enačba 8),
- vrednosti slučajnih spremenljivk (vrednost je 0,2),
- koordinat točk (koordinate točk, iz katerih smo skenirali ter koordinate točk, ki definirajo ravnine, Preglednica 7 in Priloga B) in
- poteka opazovanj (simulirali smo opazovanja iz obeh danih točk (O1 in O2) do vseh točk ravnine).

Dolžinsko natančnost smo izračunali po enačbi:

$$\sigma_{d[mm]} = \sqrt{k_{[mm]}^2 + k_{[ppm]}^2 \cdot \bar{s}_{[km]}^2} = 1,027mm \quad (8)$$

kjer so:

$k_{[mm]}$ = 1...adicijska konstanta (privzeta iz tehničnih navodil instrumenta)

$k_{[ppm]}$ = 1,5...multiplikacijska konstanta (privzeta iz tehničnih navodil instrumenta)

$\bar{s}_{[km]}$...povprečje vseh dolžin med točkami v mreži

Rezultat simulacije opazovanj je datoteka *.som (Priloga C), v kateri so podane koordinate točk ter horizontalne smeri, horizontalne dolžine med točkami in uteži med stojšičnimi in opazovanimi točkami, ki so tudi osnova za določitev natančnosti detajlnih točk preko prenosa varianc in kovarianc.

Za izračun natančnosti detajlnih točk potrebujemo opazovanja, ki smo jih pridobili s simulacijo opazovanj. Poleg tega potrebujemo še natančnost teh opazovanj oziroma kotno in dolžinsko natančnost, ki smo ju določili že v datoteki *.pod, na osnovi katerih lahko sestavimo variančno kovariančno matriko opazovanj - $\Sigma_{y_D x_D dzv}$ (Enačba 9). Natančnosti y in x koordinate obeh danih točk sta enaki, zato smo za izračun natančnosti iz obeh stojšič uporabili enako variančno kovariančno matriko opazovanj.

$$\Sigma_{y_D x_D dzv} = \begin{bmatrix} \sigma_{y_D}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{x_D}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_d^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_z^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_v^2 \end{bmatrix} = \quad (9)$$

$$= \begin{bmatrix} 0,36mm & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,16mm & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,056mm & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,35 \cdot 10^{-11}rad & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2,35 \cdot 10^{-11}rad \end{bmatrix}$$

Nato smo določili funkcijsko povezavo (Enačbi 10 in 11) med opazovanji in neznankami. V našem primeru so opazovanja horizontalne smeri in dolžine med točkami, neznanke pa položaj detajlnih točk.

$$y_{DT} = y_D + \Delta y = y_D + d_D^{DTp} \cdot \sin z_D^{DT} \cdot \sin v_D^{DT} \quad (10)$$

$$x_{DT} = x_D + \Delta x = x_D + d_D^{DTp} \cdot \sin z_D^{DT} \cdot \cos v_D^{DT} \quad (11)$$

kjer so:

x_{DT}, y_{DT} ...položaj detajlne točke ravnine [m]

x_D, y_D ...položaj dane točke [m]

$\Delta x, \Delta y$...koordinatna razlika [m]

d_D^{DTp} ...poševna dolžina med dano in detajlno točko [m]

z_D^{DT} ...zenitna razdalja med dano in detajlno točko [° ' '']

v_D^{DT} ...smerni kot (orientirana smer) med dano in detajlno točko [° ' '']

Za sestavo Jacobijeve matrike - J (Enačba 12) parcialno odvajamo obe funkcijski povezavi po opazovanjih.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial y_{DT}}{\partial y_D} & \frac{\partial y_{DT}}{\partial x_D} & \frac{\partial y_{DT}}{\partial d_D^{DTp}} & \frac{\partial y_{DT}}{\partial z_D^{DT}} & \frac{\partial y_{DT}}{\partial v_D^{DT}} \\ \frac{\partial x_{DT}}{\partial y_D} & \frac{\partial x_{DT}}{\partial x_D} & \frac{\partial x_{DT}}{\partial d_D^{DTp}} & \frac{\partial x_{DT}}{\partial z_D^{DT}} & \frac{\partial x_{DT}}{\partial v_D^{DT}} \end{bmatrix} = \quad (12)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & \sin z_D^{DT} \cdot \sin v_D^{DT} & d_D^{DTp} \cdot \cos z_D^{DT} \cdot \sin v_D^{DT} & d_D^{DTp} \cdot \sin z_D^{DT} \cdot \cos v_D^{DT} \\ 0 & 1 & \sin z_D^{DT} \cdot \cos v_D^{DT} & d_D^{DTp} \cdot \cos z_D^{DT} \cdot \cos v_D^{DT} & -d_D^{DTp} \cdot \sin z_D^{DT} \cdot \sin v_D^{DT} \end{bmatrix}$$

Določimo še kovariančno matriko neznank $-\Sigma_{y_{DT}x_{DT}}$ (Enačba 13).

$$\Sigma_{y_{DT}x_{DT}} = J \cdot \Sigma_{y_D x_D dzv} \cdot J^T = \begin{bmatrix} 1. & 2. \\ 3. & 4. \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$1. = \sigma_{y_D}^2 + \sin^2 z_D^{DT} \cdot \sin^2 v_D^{DT} \cdot \sigma_d^2 + \cos^2 z_D^{DT} \cdot \sin^2 v_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_z^2 + \sin^2 z_D^{DT} \cdot \cos^2 v_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_v^2$$

$$2. = \sin^2 z_D^{DT} \cdot \sin v_D^{DT} \cdot \cos v_D^{DT} \cdot \sigma_d^2 + \cos^2 z_D^{DT} \cdot \cos v_D^{DT} \cdot \sin v_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_z^2 - \sin v_D^{DT} \cdot \cos v_D^{DT} \cdot \sin^2 z_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_v^2$$

$$3. = \sin^2 z_D^{DT} \cdot \sin v_D^{DT} \cdot \cos v_D^{DT} \cdot \sigma_d^2 + \cos^2 z_D^{DT} \cdot \cos v_D^{DT} \cdot \sin v_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_z^2 - \sin v_D^{DT} \cdot \cos v_D^{DT} \cdot \sin^2 z_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_v^2$$

$$4. = \sigma_{x_D}^2 + \sin^2 z_D^{DT} \cdot \cos^2 v_D^{DT} \cdot \sigma_d^2 + \cos^2 z_D^{DT} \cdot \cos^2 v_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_z^2 + \sin^2 z_D^{DT} \cdot \sin^2 v_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_v^2$$

S korenjenjem diagonalnih členov kovariančne matrike (Enačba 14 in 15) dobimo natančnost koordinat detajlne točke.

$$\sigma_{y_{DT}} = \sqrt{\sigma_{y_D}^2 + \sin^2 z_D^{DT} \cdot \sin^2 v_D^{DT} \cdot \sigma_d^2 + \cos^2 z_D^{DT} \cdot \sin^2 v_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_z^2 + \sin^2 z_D^{DT} \cdot \cos^2 v_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_v^2} \quad (14)$$

$$\sigma_{x_{DT}} = \sqrt{\sigma_{x_D}^2 + \sin^2 z_D^{DT} \cdot \cos^2 v_D^{DT} \cdot \sigma_d^2 + \cos^2 z_D^{DT} \cdot \cos^2 v_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_z^2 + \sin^2 z_D^{DT} \cdot \sin^2 v_D^{DT} \cdot d_D^{DTp^2} \cdot \sigma_v^2} \quad (15)$$

Natančnost horizontalnega položaja smo izračunali, kot vsoto kvadratov natančnosti posamezne koordinate detajlne točke (Enačba 16).

$$\sigma_{PHz} = \sqrt{\sigma_{y_{DT}}^2 + \sigma_{x_{DT}}^2} \quad (16)$$

Natančnosti y in x koordinat detajlnih točk in natančnost horizontalnega položaja so zapisane v Prilogi D. V Preglednici 9 so zapisane povprečne natančnosti ravnin ter povprečne natančnosti y in x koordinate iz stojšča O1 in O2. Poleg tega so zapisane še razlike v

natančnostih horizontalnega položaja detajlnih točk posameznih ravnin pri opazovanjih iz stojišča O1 in O2. Z znaki T_1, T_2, T_3 so označene detajlne točke posamezne ravnine.

Preglednica 9: Povprečne natančnosti ravnin in y in x koordinate iz stojišča O1 in O2 ter razlike v natančnosti horizontalnega položaja detajlnih točk za opazovanja iz stojišča O1 in O2

	O1	O2	O1		O2		$\Delta\sigma_{PHz}$ [mm]		
	$\bar{\sigma}_{PHz}$ [mm]	$\bar{\sigma}_{PHz}$ [mm]	$\bar{\sigma}_y$ [mm]	$\bar{\sigma}_x$ [mm]	$\bar{\sigma}_y$ [mm]	$\bar{\sigma}_x$ [mm]	T_1	T_2	T_3
Ravnina 1	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 2	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 3	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 4	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 5	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 6	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 7	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 8	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 9	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 10	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 11	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 12	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Ravnina 13	1,4	1,5	1,0	1,0	1,1	1,0	0,1	0,1	0,1

Povprečne natančnosti ravnin pri opazovanju iz stojišča O1 so 1,4 mm za vse ravnine, povprečne natančnosti ravnin pri opazovanju iz stojišča O2 pa so 1,5 mm. Povprečne natančnosti y in x koordinate pri opazovanjih iz stojišča O1 so 1,0 mm. Povprečne natančnosti y koordinate pri opazovanjih iz stojišča O2 so 1,1 mm, povprečne natančnosti x koordinate pri opazovanjih iz stojišča O2 pa so 1,0 mm. Glede na povprečne natančnosti ravnin in posameznih koordinat, ki so zapisane v Preglednici 9 in Prilogi D lahko zaključimo, da nismo dosegli zahtevane natančnosti, ki je manj kot milimeter.

Natančnosti horizontalnega položaja vseh detajlnih točk ravnin se razlikujejo za 0,1 mm. Do razlik v natančnosti detajlnih točk v primeru opazovanja iz stojišča O1 in stojišča O2 prihaja zaradi večje oddaljenosti stojišča O2 od detajlnih točk ter večjega smernega kota.

7.4.2 Določitev natančnosti višine detajlnih točk

Določevali smo tudi natančnost detajlnih točk ravnine v višinskem smislu. Tako kot pri določitvi natančnosti horizontalnega položaja najprej določimo variančno kovariančno matriko opazovanj – Σ_{hpzdil} . Za natančnost merjenja dolžin in zenitnih razdalj smo prevzeli kar dolžinsko in kotno natančnost, ki smo jo uporabili že pri simulaciji opazovanj. Predpostavili smo, da smo višino instrumenta in signala merili z natančnostjo 1 mm. V enačbi 17 so zapisane natančnosti, ki smo jih uporabili pri izračunu za opazovanja iz točke O1, v enačbi 18 pa so zapisane natančnosti, ki smo jih uporabili pri izračunu za opazovanja iz točke O2.

$$\Sigma_{h_D z_{dil}} = \begin{bmatrix} \sigma_{h_D O1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_z^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_d^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_i^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_l^2 \end{bmatrix} = \quad (17)$$

$$= \begin{bmatrix} 0,1369mm & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,35 \cdot 10^{-11}rad & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,056mm & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1mm & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1mm \end{bmatrix}$$

$$\Sigma_{h_D z_{dil}} = \begin{bmatrix} \sigma_{h_D O2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_z^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_d^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_i^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_l^2 \end{bmatrix} = \quad (18)$$

$$= \begin{bmatrix} 0,16mm & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,35 \cdot 10^{-11}rad & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,056mm & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1mm & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1mm \end{bmatrix}$$

Določimo še funkcijsko povezavo med opazovanji in neznankami (Enačba 19). V tem primeru so opazovanja poševne dolžine, zenitne razdalje, višina instrumenta in signala, neznanka pa je višinska razlika med detajlno in dano točko.

$$h_{DT} = h_D + \Delta h_D^{DT} = h_D + d_D^{DTp} \cdot \cos z_D^{DT} + i - l \quad (19)$$

kjer so:

h_{DT} ...višina detajlne točka [m]

h_D ...višina dane točke [m]

Δh_D^{DT} ...višinska razlika med dano in detajlno točko [m]

d_D^{DTp} ...poševna dolžina med dano in detajlno točko [m]

z_D^{DT} ...zenitna razdalja med dano in detajlno točko [° ' "]

i ...višina instrumenta [m]

l ...višina reflektorja [m]

Za sestavo Jacobijeve matrike - J parcialno odvajamo funkcijsko povezavo po vseh opazovanjih (Enačba 20).

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_{DT}}{\partial h_D} & \frac{\partial h_{DT}}{\partial z_D^{DT}} & \frac{\partial h_{DT}}{\partial d_D^{DTp}} & \frac{\partial h_{DT}}{\partial i} & \frac{\partial h_{DT}}{\partial l} \end{bmatrix} = \quad (20)$$

$$= [1 \quad -d_D^{DTp} \cdot \sin z_D^{DT} \quad \cos z_D^{DT} \quad 1 \quad -1]$$

Določimo še kovariančno matriko neznank - $\Sigma_{h_{DT}}$ (Enačba 21).

$$\Sigma_{h_{DT}} = J \cdot \Sigma_{h_D} \cdot J^T = \quad (21)$$

$$= \left[\sigma_{h_D}^2 + d_D^{DTp^2} \cdot \sin^2 z_D^{DT} \cdot \sigma_z^2 + \cos^2 z_D^{DT} \cdot \sigma_d^2 + \sigma_i^2 + \sigma_l^2 \right]$$

Z korenjenjem člena kovariančne matrike (Enačba 22) dobimo natančnost višinske razlike.

$$\sigma_{h_{DT}} = \sqrt{\sigma_{h_D}^2 + d_D^{DTp^2} \cdot \sin^2 z_D^{DT} \cdot \sigma_z^2 + \cos^2 z_D^{DT} \cdot \sigma_d^2 + \sigma_i^2 + \sigma_l^2} \quad (22)$$

Natančnosti višine detajlnih točk so zapisane v Prilogi D. V Preglednici 10 so zapisane povprečne natančnosti ravnin iz stojišča O1 in O2. Poleg tega so zapisane še razlike v natančnostih višin detajlnih točk posameznih ravnin pri opazovanjih iz stojišča O1 in O2. Z znaki T_1, T_2, T_3 so označene detajlne točke posamezne ravnine.

Preglednica 10: Povprečne natančnosti ravnin iz stojišča O1 in O2 ter razlike v natančnostih višin detajlnih točk za opazovanja iz stojišča O1 in O2

	O1	O2	$\Delta\sigma_{h_{DT}}$ [mm]		
	$\bar{\sigma}_{h_{DT}}$ [mm]	$\bar{\sigma}_{h_{DT}}$ [mm]	T_1	T_2	T_3
Ravnina 1	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 2	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 3	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 4	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 5	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 6	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 7	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 8	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 9	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 10	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 11	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 12	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Ravnina 13	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1

Povprečne natančnosti ravnin pri opazovanju iz stojišča O1 so 1,6 mm za vse ravnine, povprečne natančnosti ravnin pri opazovanju iz stojišča O2 pa so 1,7 mm. Tako iz Preglednice 10 kot iz Priloge D lahko zaključimo, da nismo dosegli zahtevne natančnosti, ki je manj kot milimeter.

Natančnosti višin vseh detajlnih točk ravnin se razlikujejo za 0,1 mm. Na to razliko vpliva predvsem večja oddaljenost stojišča O2 od detajlnih točk. Poleg tega na razliko vpliva tudi zenitna razdalja ter natančnost višine danih točk oziroma stojišč. Višina stojišča O1 je določeno z večjo natančnostjo kot višina stojišča O2 (Preglednica 8 / Poglavje 7.2).

7.4.3 Primer izračuna natančnosti horizontalnega položaja in višine

V Preglednici 11 je prikazan primer izračuna natančnosti horizontalnega položaja ter višine, v primeru, da eno izmed detajlnih točk Ravnine 1 opazujemo iz stojišča O1.

Preglednica 11: Primer izračuna natančnosti horizontalnega položaja ter natančnosti višine za detajlno točko Ravnine 1 opazovano iz stojišča O1

Izračun natančnosti horizontalnega položaja-Stojišče O1					
$\Sigma_{y_{O1}x_{O1}dzv}$	$\begin{bmatrix} 0,36mm & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,16mm & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,056mm & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,35 \cdot 10^{-11}rad & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2,35 \cdot 10^{-11}rad \end{bmatrix}$				
J	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -0,528 & -8540,102 & -120772,832 \\ 0 & 1 & -0,842 & -13622,421 & 75714,318 \end{bmatrix}$				
$\Sigma_{y_{DT}x_{DT}}$	$\begin{bmatrix} 0,999 & 0,257 \\ 0,257 & 1,047 \end{bmatrix}$				
$\sigma_{y_{DT}}$	0,999mm				
$\sigma_{x_{DT}}$	1,023mm				
σ_{PHz}	1,430mm				
Izračun natančnosti višine – Stojišče O1					
$\Sigma_{h_{O1}z_{dil}}$	$\begin{bmatrix} 0,1369mm & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,35 \cdot 10^{-11}rad & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,056mm & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1mm \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1mm \end{bmatrix}$				
J	$[1 \quad -142543,800 \quad 0,112 \quad 1 \quad -1]$				
$\Sigma_{h_{DT}}$	$[2,628]$				
$\sigma_{h_{DT}}$	1,621mm				

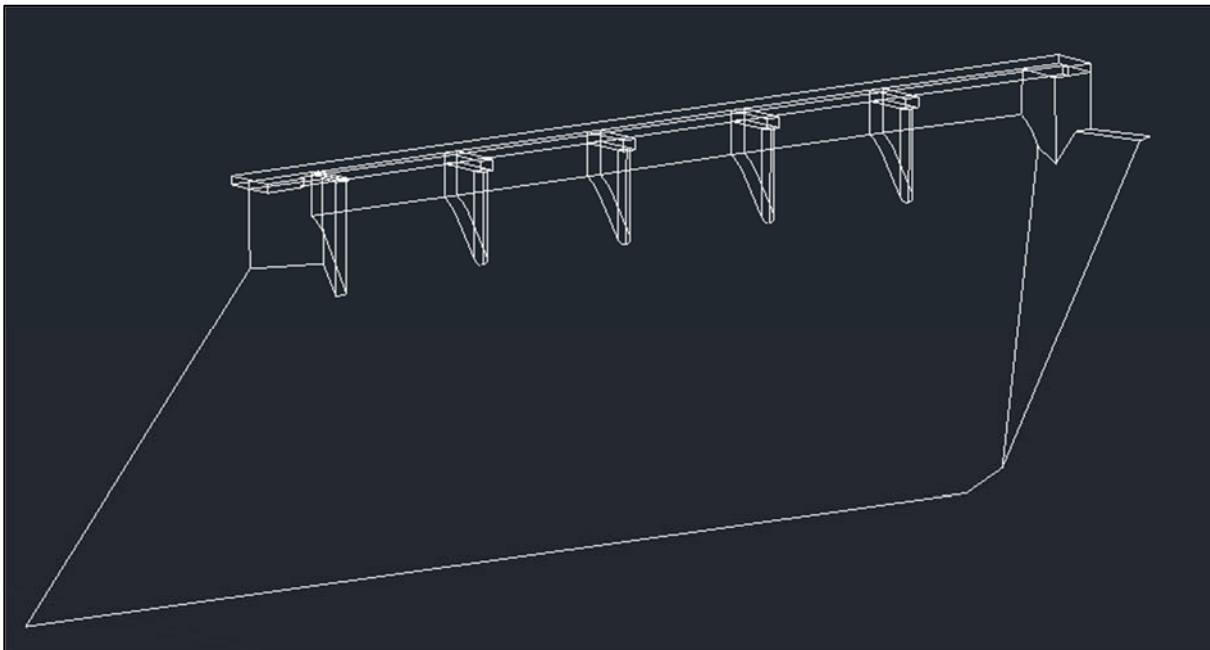
V Preglednici 12 pa je prikazan primer izračuna natančnosti horizontalnega položaja ter višine, v primeru, da eno izmed detajlnih točk Ravnine 1 opazujemo iz stojišča O2.

Preglednica 12: Primer izračuna natančnosti horizontalnega položaja ter natančnosti višine za detajlno točko Ravnine 1 opazovano iz stojišča O2

Izračun natančnosti horizontalnega položaja-Stojišče O2	
$\Sigma_{y_{O2}x_{O2}dzv}$	$\begin{bmatrix} 0,36mm & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,16mm & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,056mm & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,35 \cdot 10^{-11}rad & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2,35 \cdot 10^{-11}rad \end{bmatrix}$
J	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -0,790 & -13953,728 & -102474,275 \\ 0 & 1 & -0,605 & -10687,942 & 133786,103 \end{bmatrix}$
$\Sigma_{y_{DT}x_{DT}}$	$\begin{bmatrix} 1,269 & 0,185 \\ 0,185 & 0,969 \end{bmatrix}$
$\sigma_{y_{DT}}$	1,127mm
$\sigma_{x_{DT}}$	0,985mm
σ_{PHz}	1,496mm
Izračun natančnosti višine – Stojišče O2	
$\Sigma_{h_{O2}zdil}$	$= \begin{bmatrix} 0,16mm & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,35 \cdot 10^{-11}rad & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,056mm & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1mm & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1mm \end{bmatrix}$
J	$[1 \quad -168522,100 \quad 0,104 \quad 1 \quad -1]$
$\Sigma_{h_{DT}}$	$[2,839]$
$\sigma_{h_{DT}}$	1,685mm

7.5 Vizualizacija

Kot je opisano v poglavju 6.5 je eden izmed načinov vizualizacije prikaz objekta z geometrijo objekta. Način ocenjujemo kot primeren za predstavitev prelivne stene MHE Melje. Na sliki 38 je predstavljen končen rezultat izgradnje mreže prelivne stene MHE Melje (Priloga E).



Slika 38: Žični model prelivne stene MHE Melje

Sam postopek zajemanja podatkov in predobdelave je potekal zelo hitro in brez težav. Te so se pojavile šele pri izdelavi samega žičnega modela MHE Melje. Obdelava je bila precej zamudna in zahtevna. Največ težav se je pojavilo pri postavitvi ravnin, ker velikokrat nismo ravnine določili na prave točke skenograma. Posledica tega je bila, da so preseki teh ravnin kazali drugačno linijo kot je dejansko bila. Poleg tega je bila gostota skeniranja premajhna, zato nekaterih detajlov kot so nosilci prehoda, ograja na prehodu in geotehnično sidro S2 niso vključeni v žični model. Na voljo smo imeli premalo skeniranih točk, da bi lahko oblikovali pravilen model prej navedenih delov prelivne stene. Zato predlagamo, da se določene detajle ali pa celotno steno skenira z večjo gostoto ter manjšo hitrostjo kot je bila skenirana v tej diplomski nalogi.

Takšen žični model je uporaben za izdelavo modela samega objekta ter za preizkušanje obnašanja objekta pri določenih obremenitvah v primeru, da bi zagotovili primerljive skenograme istega objekta. Kar pomeni, da bi morali imeti enak geodetski datum, gostoto točk, natančnosti skeniranja in hitrost skeniranja.

8 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi je teoretično ter praktično predstavljena uporaba terestričnega laserskega skeniranja od terenske izmere do obdelave oblaka točk za prikaz 3D žičnega modela. V diplomski nalogi smo s terestričnim laserskim skenerjem skenirali prelivno steno MHE Melje, izdelali žični model prelivne stene in določali horizontalno in višinsko natančnost detajlnih točk ravnin, ki so služile za izdelavo žičnega modela.

Terestrično lasersko skeniranje ima tako prednosti, kot slabosti, s katerimi smo se v diplomski nalogi tudi srečali. Prednosti so, da lahko v kratkem času zajamemo veliko količino podatkov, opravimo zajem podatkov brez kontakta ter da kvaliteto zajetih podatkov lahko preverimo že na terenu. Slabosti pa se pojavljajo predvsem v pisarniškem delu. Za obdelavo podatkov je potrebna kvalitetna programska oprema, ki sploh omogoča obdelavo takšnih podatkov, izkušnje ter čas. Pri skeniranih podatkih se lahko pojavljajo tudi različni šumi, ki otežujejo obdelavo podatkov. Pri diplomski nalogi smo se srečali z zgoraj navedenimi tako prednostnimi kot slabostim laserskega skeniranja.

Namen diplomske naloge je bil spoznati tehnologijo laserskega skeniranja od samega zajema podatkov do končnega izdelka. Tako smo analizirali faze laserskega skeniranja za izdelavo 3D žičnega modela. Fazi kot sta registracija in georeferenciranje se izvajata na terenu, faze predobdelave, izgradnje mreže in vizualizacije pa se izvajajo na računalniku. Poleg tega je bil namen diplomske naloge določiti tudi horizontalno in višinsko natančnost detajlnih točk ravnin, ki so bile definirane pri izgradnji žičnega modela, za preverjanje prej zastavljenih hipotez. Sam zajem podatkov na terenu je potekal hitro in brez težav. Precej zamudna je bila sama izgradnja mreže, predvsem zaradi pomanjkanja izkušenj.

Testirali smo dve hipotezi in sicer ali je tehnologija laserskega skeniranja primerna za ugotavljanje premikov prelivne stene ter ali lahko dosežemo naročnikovo zahtevo natančnosti, ki je manj kot milimeter. Ugotovili smo naslednje:

- pri opazovanjih detajlnih točk iz stojišča O1 smo izračunali, da je horizontalna natančnost vseh detajlnih točk 1,4 mm ter višinska natančnost 1,6 mm,
- pri opazovanjih detajlnih točk iz stojišča O2 smo izračunali, da je horizontalna natančnost vseh detajlnih točk 1,5 mm ter višinska natančnost 1,7 mm.

Z izračunom natančnosti horizontalnega položaja in višine detajlnih točk lahko zaključimo, da tehnologija laserskega skeniranja ni primerna za spremljanje premikov prelivne stene. Poleg tega ne dosežemo standardne deviacije manj kot milimeter, ki jo naročnik zahteva.

V prihodnje bi bilo priporočljivo, da se skenira iz več stojišč, ter poveča gostota točk in zmanjša hitrost skeniranja, ker bi tako dobili gostejši in bolj podroben oblak točk. Na osnovi tega pa bi lahko izdelali žični model celotne stene, tudi z detajli, ki jih v tej diplomski nalogi zaradi pomanjkanja podatkov ne moremo prikazati.

VIRI

- [1] Savšek, S., Kogoj, D., Ambrožič, T., idr. 2015. Poročilo o specialnih geodetskih meritvah na območju sidra S2 na jezu Melje, 9. geodetska izmera horizontalnih in vertikalnih premikov geodetskih točk. Ljubljana: str. 3-9.
- [2] Klemenc, M. 2012. Vpliv male hidroelektrarne Melje na izkoriščanje biološkega minimuma reke Drave. Diplomaska naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Oddelek za elektrotehniko (samozaložba M. Klemenc): str. 30
- [3] Vodopivec F., Kogoj, D. 2005. Nov način precizne stabilizacije geodetskih točk za opazovanje premikov. Geodetski vestnik 49: str. 9-17.
- [4] Berdajs, A., Ulbl, M. 2010. Inženirska geodezija. Ljubljana, Zavod IRC: str. 45.
- [5] Kogoj, D., Kosmatin Fras, M., Grigillo, D., Ribičič, M., Ambrožič, T., Marjetič, A., Gvozdanović, T., Smole, D., Ranfl, U., Krivec, M., Vezočnik, R., Balon, M. 2007. Mobilna enota za hitri zajem prostorskih podatkov v primeru zemeljskih plazov. Raziskovalno razvojni projekt CRP »Znanje za varnost in mir 2006-2010«. Zaključni elaborat. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: str. 38.
- [6] Kosmatin Fras, M. 2009. Zračno lasersko skeniranje. Gradivo za strokovne izpite IZS. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 1.
- [7] Kraus, K. 2004. Photogrammetry, Geometry from Images and Laser Scans. Vienna. University of Technology Vienna: str 428.
- [8] Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: str. 16, 24-29.
- [9] Vosselman, G., Maas, H.G. 2010. Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Dunbeath, Whittles Publishing: str. 3, 11, 111 - 113, 118.
- [10] Boehler, W., Marbs, A. 2002. 3D scanning instruments. CIPA, Heritage Documentation–International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording-Corfu. Greece.
https://i3mainz.hs-mainz.de/sites/default/files/public/data/p05_Boehler.pdf (Pridobljeno: 1. 2. 2016)
- [11] Abdelmajid, Y. 2012. Investigation and Comparison of 3D Laser Scanning Software Packages. Magistrska naloga. Stockholm, Royal Institute of Technology, School of Architecture and the Built Environment (samozaložba Y. Abdelmajid): str.. 5-6, 8-9, 32.
- [12] Fabio, R. 2003. From Point Cloud to Surface: The Modeling Problem and Visualization Problem. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W10. Tarasp, Switzerland, 24.2.-28.2.2003.
<http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/5-W10/papers/remondin.pdf> (Pridobljeno: 20. 2. 2016)

[13] Morita, J., Yokoyama, H., Chikatsu, H. 2003. Efficient Noise Reduction of Laser Scanning Data for Archaeological Survey. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W12. Portonovo-Ancona, Italy, 1.7.-3.7.2003.

[14] Abdelhafiz, A. 2009. Integration Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning. Doktorska disertacija. München, Technischen Universität Braunschweig (samozaložba: A. Abdelhafiz): str. 26-27.

[15] Turčič, M., 2015. Terestrično lasersko skeniranje prelivne stene MHE Melje za izračun deformacij. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo (samozaložba M. Turčič): str. 24, 27.

Ostali viri

Previtali, M., Barazzetti, L., Brumana, R., Scaioni, M. 2014. Laser Scan Registration using Planar Features. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-5. Riva del Garda, Italy, 23.6.-25.6.2014.

<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5/501/2014/isprsarchives-XL-5-501-2014.pdf> (Pridobljeno: 11. 2. 2016)

Bornaz, L., Rinaudo, F. 2004. Terrestrial laser scanner data processing. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXV-B5. Istanbul, Turkey, 12.7.-23.7.2004.

<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm5/papers/608.pdf> (Pridobljeno: 21. 2. 2016)

Boehler, W. Heinz, G., Marbs, A., Siebold, M. 2002. 3D Scanning Software: An Introduction. CIPA, Heritage Documentation–International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording-Corfu. Greece.

https://i3mainz.hs-mainz.de/sites/default/files/public/data/p11_Boehler.pdf (Pridobljeno: 15. 2. 2016)

Kersten, T.P., Stallmann, D. 2012. Automatic Texture Mapping of Architectural and Archaeological 3D Models. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIX-B5. Melbourne, Australia, 25.8.-1.9.2012.

<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B5/273/2012/isprsarchives-XXXIX-B5-273-2012.pdf> (Pridobljeno: 28. 2. 2016)

Uporabljene internetne strani

Projekt prenove male hidroelektrarne Melje. 2014.

<http://www.energetika-portal.si/novica/n/projekt-prenove-hidroelektrarne-zlatolicje-jezu-melje-in-izgradnje-male-hidroelektrarne-melje-je-z/> (Pridobljeno: 5. 3. 2016)

Zaključek projekta prenove male hidroelektrarne Melje. 2014.

<http://maribor24.si/lokalno/zakljucena-prenova-he-zlatolicje-jezu-melje-in-izgradnje-mhe-melje/17008> (Pridobljeno: 5. 3. 2016)

Mala hidroelektrarna Melje. 2014.

<http://www.dem.si/sl-si/Elektrarne-in-proizvodnja/Elektrarne/Mala-HE-Melje> (Pridobljeno: 5. 3. 2016)

Tehnični podatki o Leica Nova MS50 Multistation. 2015.

<http://www.geoservis.si/produkti/article/244-leica-nova-ms50-multistation> (Pridobljeno: 8. 3. 2016)

Pribor za geodezijo. 2015.

<http://www.geoservis.si/produkti/72-pribor-za-geodezijo/103-originalni-prbor-leica-geosystems> (Pridobljeno: 8. 3. 2016)

SEZNAM PRILOG

Priloga A: Leica Geo Office poročilo o sredinah girusov in natančnosti meritev (O1.pdf, O2.pdf).....	A.1
Priloga B: Koordinate detajlnih točk posamezne ravnine.....	B.1
Priloga C: Izhodna datoteka simulacije opazovanj (melje.som).....	C.1
Priloga D: Natančnosti y in x koordinate, natančnost horizontalnega položaja ter natančnost višine detajlnih točk ravnine.....	D.1
Priloga E: Žični model prelivne stene MHE Melje.....	E.1

»Ta stran je namenoma prazna.«

PRILOGA A: Leica Geo Office poročilo o sredinah giruson in natančnosti meritev (O1.pdf, O2.pdf)



Sets of Angles Report

Processed: 05/16/2016 19:15:44

Project Information

Project name: meje
Date created: 05/16/2016 19:15:13
Coordinate system name: WGS 1984
Application software: LEICA Geo Office 7.0

Station: O1

Instrument Information

Instrument Type: MS50 1" R2000
Instrument Serial Number: 369332
Instrument Height: 0.2420 m
Setup Time: 04/15/2016 07:26:26

Sets of Angles

Time: 04/15/2016 07:26:27
Number of Points: 3 / 3
Number of Sets: 6 / 6
Mean Error of avg direction (Hz): 0° 00' 00.1"
Mean Error of avg vertical angle (V): 0° 00' 00.2"
Mean Error of avg distance: 0.0000 m
Mean Error of single direction (Hz): 0° 00' 00.2"
Mean Error of single vertical angle (V): 0° 00' 00.5"
Mean Error of single distance: 0.0001 m

Tolerances	Hz	V	Distance
Residuals	0° 00' 16.2"	0° 00' 16.2"	0.0100 m
Face Diff.	0° 00' 16.2"	0° 00' 16.2"	0.0100 m

Point O3

Mean of all sets (Hz): 0° 00' 00.0"
Mean of all sets (V): 93° 53' 55.0"
Mean of all sets (Dist): 108.9473 m

Set	Use	Hz	V	Distance	Target height	Ref.Type
1		0° 00' 00.0"	93° 53' 55.9"	108.9472 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
2		0° 00' 00.0"	93° 53' 55.4"	108.9473 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
3		0° 00' 00.0"	93° 53' 54.5"	108.9473 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
4		0° 00' 00.0"	93° 53' 54.5"	108.9472 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
5		0° 00' 00.0"	93° 53' 54.8"	108.9473 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
6		0° 00' 00.0"	93° 53' 55.2"	108.9473 m	0.0000 m	Leica Circ Prism

Set	Use	Res. Hz	Res. V	Res. Dist.	Face Diff Hz	Face Diff V	Face Diff Dist
1		0° 00' 00.0"	-0° 00' 00.0"	0.0000 m	0° 00' 03.2"	0° 00' 05.9"	0.0002 m
2		0° 00' 00.0"	-0° 00' 00.3"	0.0000 m	0° 00' 04.1"	0° 00' 00.4"	0.0003 m
3		0° 00' 00.0"	0° 00' 00.5"	0.0000 m	0° 00' 01.7"	0° 00' 03.4"	0.0003 m
4		0° 00' 00.0"	0° 00' 00.6"	0.0000 m	0° 00' 04.7"	0° 00' 00.7"	0.0002 m
5		0° 00' 00.0"	0° 00' 00.2"	0.0000 m	0° 00' 02.5"	0° 00' 01.6"	0.0003 m
6		0° 00' 00.0"	-0° 00' 00.1"	-0.0001 m	0° 00' 01.7"	0° 00' 02.8"	0.0002 m

Point O4

Mean of all sets (Hz): 20° 55' 23.5"
 Mean of all sets (V): 93° 36' 49.0"
 Mean of all sets (Dist): 118.0843 m

Set	Use	Hz	V	Distance	Target height	Ref. Type
1		20° 55' 23.3"	93° 36' 48.8"	118.0843 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
2		20° 55' 23.7"	93° 36' 48.2"	118.0844 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
3		20° 55' 23.8"	93° 36' 49.9"	118.0843 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
4		20° 55' 24.0"	93° 36' 48.9"	118.0843 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
5		20° 55' 24.1"	93° 36' 49.2"	118.0843 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
6		20° 55' 24.3"	93° 36' 48.9"	118.0843 m	0.0000 m	Leica Circ Prism

Set	Use	Res. Hz	Res. V	Res. Dist.	Face Diff Hz	Face Diff V	Face Diff Dist
1		0° 00' 00.5"	0° 00' 00.2"	0.0000 m	0° 00' 01.8"	0° 00' 05.2"	0.0002 m
2		0° 00' 00.1"	0° 00' 00.8"	-0.0001 m	0° 00' 03.5"	0° 00' 01.9"	0.0002 m
3		0° 00' 00.1"	-0° 00' 00.9"	0.0001 m	0° 00' 01.5"	0° 00' 04.0"	0.0002 m
4		-0° 00' 00.1"	0° 00' 00.0"	0.0000 m	0° 00' 01.8"	0° 00' 04.7"	0.0003 m
5		-0° 00' 00.2"	-0° 00' 00.2"	0.0000 m	0° 00' 01.1"	0° 00' 03.2"	0.0003 m
6		-0° 00' 00.5"	0° 00' 00.1"	0.0000 m	0° 00' 01.3"	0° 00' 03.8"	0.0003 m

Point 02

Mean of all sets (Hz): 117° 27' 24.3"
 Mean of all sets (V): 88° 35' 39.8"
 Mean of all sets (Dist): 60.9023 m

Set	Use	Hz	V	Distance	Target height	Ref. Type
1		117° 27' 23.8"	88° 35' 39.1"	60.9023 m	0.2380 m	Leica Circ Prism
2		117° 27' 24.1"	88° 35' 39.1"	60.9023 m	0.2380 m	Leica Circ Prism
3		117° 27' 24.6"	88° 35' 39.5"	60.9023 m	0.2380 m	Leica Circ Prism
4		117° 27' 24.2"	88° 35' 40.1"	60.9024 m	0.2380 m	Leica Circ Prism
5		117° 27' 24.3"	88° 35' 40.1"	60.9025 m	0.2380 m	Leica Circ Prism
6		117° 27' 24.6"	88° 35' 39.5"	60.9024 m	0.2380 m	Leica Circ Prism

Set	Use	Res. Hz	Res. V	Res. Dist.	Face Diff Hz	Face Diff V	Face Diff Dist
1		0° 00' 00.5"	0° 00' 00.5"	0.0001 m	0° 00' 01.5"	0° 00' 01.9"	0.0003 m
2		0° 00' 00.2"	0° 00' 00.5"	0.0001 m	0° 00' 01.5"	0° 00' 01.4"	0.0002 m
3		-0° 00' 00.5"	0° 00' 00.1"	0.0001 m	0° 00' 01.5"	0° 00' 01.6"	0.0002 m
4		0° 00' 00.1"	-0° 00' 00.6"	0.0000 m	0° 00' 00.9"	0° 00' 02.5"	0.0002 m
5		-0° 00' 00.0"	-0° 00' 00.5"	-0.0001 m	0° 00' 00.5"	0° 00' 00.0"	0.0002 m
6		-0° 00' 00.3"	0° 00' 00.1"	0.0000 m	0° 00' 01.8"	0° 00' 01.2"	0.0002 m



Sets of Angles Report

Processed: 05/16/2016 19:16:21

Project Information

Project name: meje
Date created: 05/16/2016 19:16:13
Coordinate system name: WGS 1984
Application software: LEICA Geo Office 7.0

Station: O2

Instrument Information

Instrument Type: M550 1" R2000
Instrument Serial Number: 369332
Instrument Height: 0.2380 m
Setup Time: 04/15/2016 06:52:05

Sets of Angles

Time: 04/15/2016 06:52:06
Number of Points: 3 / 3
Number of Sets: 6 / 6
Mean Error of avg direction (Hz): 0° 00' 00.2"
Mean Error of avg vertical angle (V): 0° 00' 00.2"
Mean Error of avg distance: 0.0000 m
Mean Error of single direction (Hz): 0° 00' 00.4"
Mean Error of single vertical angle (V): 0° 00' 00.4"
Mean Error of single distance: 0.0000 m

Tolerances	Hz	V	Distance
Residuals	0° 00' 16.2"	0° 00' 16.2"	0.0100 m
Face Diff.	0° 00' 16.2"	0° 00' 16.2"	0.0100 m

Point O1

Mean of all sets (Hz): 0° 00' 00.0"
Mean of all sets (V): 91° 24' 36.8"
Mean of all sets (Dist): 60.9023 m

Set	Use	Hz	V	Distance	Target height	Refl.Type
1		0° 00' 00.0"	91° 24' 36.5"	60.9022 m	0.2420 m	Leica Circ Prism
2		0° 00' 00.0"	91° 24' 36.6"	60.9023 m	0.2420 m	Leica Circ Prism
3		0° 00' 00.0"	91° 24' 37.1"	60.9023 m	0.2420 m	Leica Circ Prism
4		0° 00' 00.0"	91° 24' 36.9"	60.9023 m	0.2420 m	Leica Circ Prism
5		0° 00' 00.0"	91° 24' 36.7"	60.9023 m	0.2420 m	Leica Circ Prism
6		0° 00' 00.0"	91° 24' 37.1"	60.9022 m	0.2420 m	Leica Circ Prism

Set	Use	Res. Hz	Res. V	Res. Dist.	Face Diff Hz	Face Diff V	Face Diff Dist
1		0° 00' 00.0"	0° 00' 00.3"	0.0001 m	0° 00' 02.1"	0° 00' 01.9"	0.0004 m
2		0° 00' 00.0"	0° 00' 00.2"	0.0000 m	0° 00' 00.3"	0° 00' 01.2"	0.0002 m
3		0° 00' 00.0"	-0° 00' 00.3"	0.0000 m	0° 00' 00.5"	0° 00' 00.3"	0.0002 m
4		0° 00' 00.0"	-0° 00' 00.1"	0.0000 m	0° 00' 01.6"	0° 00' 00.2"	0.0002 m
5		0° 00' 00.0"	0° 00' 00.1"	-0.0001 m	0° 00' 00.3"	0° 00' 00.9"	0.0001 m
6		0° 00' 00.0"	-0° 00' 00.2"	0.0000 m	0° 00' 00.2"	0° 00' 00.0"	0.0003 m

Point O3

Mean of all sets (Hz): 40° 59' 16.7"
 Mean of all sets (V): 93° 27' 57.3"
 Mean of all sets (Dist): 147.3201 m

Set	Use	Hz	V	Distance	Target height	Ref.Type
1		40° 59' 16.9"	93° 27' 57.2"	147.3201 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
2		40° 59' 16.5"	93° 27' 56.9"	147.3201 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
3		40° 59' 17.4"	93° 27' 57.3"	147.3201 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
4		40° 59' 16.9"	93° 27' 57.8"	147.3202 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
5		40° 59' 16.8"	93° 27' 57.0"	147.3201 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
6		40° 59' 16.8"	93° 27' 57.9"	147.3201 m	0.0000 m	Leica Circ Prism

Set	Use	Res. Hz	Res. V	Res. Dist.	Face Diff Hz	Face Diff V	Face Diff Dist
1		0° 00' 00.8"	0° 00' 00.2"	0.0000 m	0° 00' 03.0"	0° 00' 00.2"	0.0003 m
2		0° 00' 00.2"	0° 00' 00.5"	0.0000 m	0° 00' 03.2"	0° 00' 00.2"	0.0002 m
3		-0° 00' 00.6"	0° 00' 00.1"	0.0000 m	0° 00' 02.9"	0° 00' 00.8"	0.0002 m
4		-0° 00' 00.2"	-0° 00' 00.5"	-0.0001 m	0° 00' 03.8"	0° 00' 02.6"	0.0002 m
5		-0° 00' 00.1"	0° 00' 00.4"	0.0000 m	0° 00' 01.9"	0° 00' 01.0"	0.0002 m
6		-0° 00' 00.1"	-0° 00' 00.8"	0.0000 m	0° 00' 03.9"	0° 00' 00.3"	0.0003 m

Point O4

Mean of all sets (Hz): 57° 36' 12.4"
 Mean of all sets (V): 93° 41' 20.1"
 Mean of all sets (Dist): 138.9529 m

Set	Use	Hz	V	Distance	Target height	Ref.Type
1		57° 36' 12.0"	93° 41' 20.1"	138.9528 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
2		57° 36' 12.1"	93° 41' 19.8"	138.9528 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
3		57° 36' 13.0"	93° 41' 19.5"	138.9529 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
4		57° 36' 11.8"	93° 41' 19.9"	138.9529 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
5		57° 36' 13.3"	93° 41' 20.7"	138.9528 m	0.0000 m	Leica Circ Prism
6		57° 36' 12.2"	93° 41' 20.5"	138.9528 m	0.0000 m	Leica Circ Prism

Set	Use	Res. Hz	Res. V	Res. Dist.	Face Diff Hz	Face Diff V	Face Diff Dist
1		0° 00' 00.4"	-0° 00' 00.0"	0.0000 m	0° 00' 01.8"	0° 00' 02.4"	0.0002 m
2		0° 00' 00.4"	0° 00' 00.3"	0.0001 m	0° 00' 01.0"	0° 00' 01.6"	0.0003 m
3		-0° 00' 00.6"	0° 00' 00.6"	0.0000 m	0° 00' 02.2"	0° 00' 00.2"	0.0003 m
4		0° 00' 00.6"	0° 00' 00.2"	0.0000 m	0° 00' 00.3"	0° 00' 00.4"	0.0003 m
5		-0° 00' 00.9"	-0° 00' 00.6"	0.0000 m	0° 00' 00.9"	0° 00' 00.5"	0.0004 m
6		0° 00' 00.2"	-0° 00' 00.4"	0.0000 m	0° 00' 00.5"	0° 00' 00.2"	0.0002 m

PRILOGA B: Koordinate detajlnih točk posamezne ravnine

	y [m]	x [m]	h [m]
Ravnina 1			
T₁	13,1002	10,2886	1,0839
T₂	13,1102	10,2886	1,3589
T₃	12,7902	10,1726	1,2439
Ravnina 2			
T₁	12,2752	10,1726	1,1139
T₂	12,1952	10,0236	1,3539
T₃	11,8652	10,2236	1,0689
Ravnina 3			
T₁	12,0602	9,9176	1,5789
T₂	11,9502	9,9276	1,5739
T₃	11,9452	9,9276	1,6189
Ravnina 4			
T₁	11,6002	9,9586	1,5089
T₂	11,5852	9,9276	1,5539
T₃	11,5302	9,9386	1,5439
Ravnina 5			
T₁	11,5002	9,9386	1,5789
T₂	11,5002	9,9386	1,6186
T₃	11,5002	9,9676	1,5789
Ravnina 6			
T₁	10,7852	10,3236	0,9989
T₂	10,7602	10,2126	1,1839
T₃	10,6002	10,3286	1,0139
Ravnina 7			
T₁	10,7602	10,7026	0,8839
T₂	10,5102	10,5526	0,8839
T₃	10,5552	10,7926	0,8839

	y [m]	x [m]	h [m]
Ravnina 8			
T₁	10,3752	10,5676	0,8889
T₂	10,3202	10,5476	0,9089
T₃	10,3152	10,7726	0,8889
Ravnina 9			
T₁	10,2152	10,4536	1,0189
T₂	10,1102	10,7226	1,0389
T₃	10,1552	10,4176	1,0989
Ravnina 10			
T₁	9,8752	10,1636	1,5339
T₂	9,8552	10,2386	1,5339
T₃	9,8452	10,1586	1,5689
Ravnina 11			
T₁	9,8252	10,1436	1,5836
T₂	9,8102	10,1836	1,5839
T₃	9,8052	10,1326	1,5839
Ravnina 12			
T₁	9,8802	10,0986	1,5939
T₂	9,8502	10,0986	1,6139
T₃	9,8852	10,0986	1,6489
Ravnina 13			
T₁	9,9052	10,0736	1,6189
T₂	9,9002	10,0126	1,6089
T₃	9,9002	10,0076	1,6589

PRILOGA C: Izhodna datoteka simulacije opazovanj (melje.som)

```

*N      seznam koordinat to-k v mre`i
'O1      '      88.8162      131.0617
'O2      '      146.8843      112.7626
'r11     '      13.1002      10.2886
'r12     '      13.1102      10.2886
'r13     '      12.7902      10.1726
'r21     '      12.2752      10.1726
'r22     '      12.1952      10.0236
'r23     '      11.8652      10.2236
'r31     '      12.0602      9.9176
'r32     '      11.9502      9.9276
'r33     '      11.9452      9.9276
'r41     '      11.6002      9.9586
'r42     '      11.5852      9.9276
'r43     '      11.5302      9.9386
'r51     '      11.5002      9.9386
'r52     '      11.5002      9.9386
'r53     '      11.5002      9.9676
'r61     '      10.7852      10.3236
'r62     '      10.7602      10.2126
'r63     '      10.6002      10.3286
'r71     '      10.7602      10.7026
'r72     '      10.5102      10.5526
'r73     '      10.5552      10.7926
'r81     '      10.3752      10.5676
'r82     '      10.3202      10.5476
'r83     '      10.3152      10.7726
'r91     '      10.2152      10.4536
'r92     '      10.1102      10.7226
'r93     '      10.1552      10.4176
'r101    '      9.8752      10.1636
'r102    '      9.8552      10.2386
'r103    '      9.8452      10.1586
'r111    '      9.8252      10.1436
'r112    '      9.8102      10.1836
'r113    '      9.8052      10.1326
'r121    '      9.8802      10.0986
'r122    '      9.8502      10.0986
'r123    '      9.8852      10.0986
'r131    '      9.9052      10.0736
'r132    '      9.9002      10.0126
'r133    '      9.9002      10.0076
*O      seznam opazovanj v mre`i
3 'O1      ' 'r11      ' 212 5 3.2 1.      142.5438 0.00702 1
3 'O1      ' 'r12      ' 212 4 53.5 1.      142.5395 0.00702 1
3 'O1      ' 'r13      ' 212 9 55.5 1.      142.8071 0.00700 1
3 'O2      ' 'r11      ' 232 32 58.1 1.      168.5221 0.00593 1
3 'O2      ' 'r12      ' 232 32 51.5 1.      168.5131 0.00593 1
3 'O2      ' 'r13      ' 232 34 53.8 1.      168.8380 0.00592 1
3 'O1      ' 'r21      ' 212 20 24.2 1.      143.0826 0.00699 1
3 'O1      ' 'r22      ' 212 20 6.7 1.      143.2517 0.00698 1
3 'O1      ' 'r23      ' 212 29 22.7 1.      143.2601 0.00698 1
3 'O2      ' 'r21      ' 232 41 15.0 1.      169.2456 0.00591 1
3 'O2      ' 'r22      ' 232 39 50.2 1.      169.3996 0.00590 1
3 'O2      ' 'r23      ' 232 47 6.5 1.      169.5417 0.00590 1
3 'O1      ' 'r31      ' 212 21 27.4 1.      143.4131 0.00697 1
3 'O1      ' 'r32      ' 212 23 49.7 1.      143.4644 0.00697 1
3 'O1      ' 'r33      ' 212 23 55.6 1.      143.4644 0.00697 1
3 'O2      ' 'r31      ' 232 39 46.8 1.      169.5711 0.00590 1
3 'O2      ' 'r32      ' 232 41 18.2 1.      169.6522 0.00589 1
3 'O2      ' 'r33      ' 232 41 22.8 1.      169.6588 0.00589 1
3 'O1      ' 'r41      ' 212 31 16.4 1.      143.6252 0.00696 1
3 'O1      ' 'r42      ' 212 31 12.0 1.      143.6590 0.00696 1
3 'O1      ' 'r43      ' 212 32 27.5 1.      143.6799 0.00696 1

```


3	'02	'	r41	'	232	46	7.0	1.	169.9120	0.00589	1
3	'02	'	r42	'	232	45	45.8	1.	169.9439	0.00588	1
3	'02	'	r43	'	232	46	38.4	1.	169.9818	0.00588	1
3	'01	'	r51	'	212	33	2.7	1.	143.6969	0.00696	1
3	'01	'	r52	'	212	33	3.3	1.	143.6957	0.00696	1
3	'01	'	r53	'	212	33	27.9	1.	143.6709	0.00696	1
3	'02	'	r51	'	232	46	59.0	1.	170.0043	0.00588	1
3	'02	'	r52	'	232	46	58.5	1.	170.0036	0.00588	1
3	'02	'	r53	'	232	47	27.3	1.	169.9872	0.00588	1
3	'01	'	r61	'	212	52	27.8	1.	143.7588	0.00696	1
3	'01	'	r62	'	212	51	28.9	1.	143.8661	0.00695	1
3	'01	'	r63	'	212	56	12.6	1.	143.8554	0.00695	1
3	'02	'	r61	'	233	1	53.9	1.	170.3434	0.00587	1
3	'02	'	r62	'	233	0	24.4	1.	170.4312	0.00587	1
3	'02	'	r63	'	233	4	13.4	1.	170.4876	0.00587	1
3	'01	'	r71	'	212	57	51.4	1.	143.4538	0.00697	1
3	'01	'	r72	'	213	0	56.1	1.	143.7181	0.00696	1
3	'01	'	r73	'	213	3	10.7	1.	143.4906	0.00697	1
3	'02	'	r71	'	233	8	20.1	1.	170.1362	0.00588	1
3	'02	'	r72	'	233	8	56.2	1.	170.4250	0.00587	1
3	'02	'	r73	'	233	12	17.4	1.	170.2445	0.00587	1
3	'01	'	r81	'	213	3	50.8	1.	143.7763	0.00696	1
3	'01	'	r82	'	213	4	39.2	1.	143.8238	0.00695	1
3	'01	'	r83	'	213	7	43.5	1.	143.6382	0.00696	1
3	'02	'	r81	'	233	10	49.7	1.	170.5248	0.00586	1
3	'02	'	r82	'	233	11	11.7	1.	170.5803	0.00586	1
3	'02	'	r83	'	233	14	49.9	1.	170.4500	0.00587	1
3	'01	'	r91	'	213	5	32.0	1.	143.9597	0.00695	1
3	'01	'	r92	'	213	11	8.8	1.	143.7926	0.00695	1
3	'01	'	r93	'	213	6	19.4	1.	144.0210	0.00694	1
3	'02	'	r91	'	233	10	54.4	1.	170.7219	0.00586	1
3	'02	'	r92	'	233	16	29.7	1.	170.6435	0.00586	1
3	'02	'	r93	'	233	11	3.0	1.	170.7896	0.00586	1
3	'01	'	r101	'	213	8	32.4	1.	144.3892	0.00693	1
3	'01	'	r102	'	213	9	56.8	1.	144.3360	0.00693	1
3	'01	'	r103	'	213	9	5.0	1.	144.4096	0.00692	1
3	'02	'	r101	'	233	10	19.9	1.	171.1665	0.00584	1
3	'02	'	r102	'	233	11	47.0	1.	171.1385	0.00584	1
3	'02	'	r103	'	233	10	37.6	1.	171.1926	0.00584	1
3	'01	'	r111	'	213	9	18.3	1.	144.4317	0.00692	1
3	'01	'	r112	'	213	10	8.2	1.	144.4069	0.00692	1
3	'01	'	r113	'	213	9	34.6	1.	144.4527	0.00692	1
3	'02	'	r111	'	233	10	37.3	1.	171.2178	0.00584	1
3	'02	'	r112	'	233	11	26.4	1.	171.2076	0.00584	1
3	'02	'	r113	'	233	10	40.8	1.	171.2402	0.00584	1
3	'01	'	r121	'	213	7	38.2	1.	144.4393	0.00692	1
3	'01	'	r122	'	213	8	13.5	1.	144.4586	0.00692	1
3	'01	'	r123	'	213	7	29.8	1.	144.4372	0.00692	1
3	'02	'	r121	'	233	9	14.4	1.	171.2023	0.00584	1
3	'02	'	r122	'	233	9	37.5	1.	171.2272	0.00584	1
3	'02	'	r123	'	233	9	11.2	1.	171.1991	0.00584	1
3	'01	'	r131	'	213	6	47.5	1.	144.4476	0.00692	1
3	'01	'	r132	'	213	6	7.2	1.	144.5024	0.00692	1
3	'01	'	r133	'	213	6	3.0	1.	144.5048	0.00692	1
3	'02	'	r131	'	233	8	32.3	1.	171.1966	0.00584	1
3	'02	'	r132	'	233	7	35.7	1.	171.2380	0.00584	1
3	'02	'	r133	'	233	7	32.4	1.	171.2394	0.00584	1

PRILOGA D: Natančnosti y in x koordinate, natančnost horizontalnega položaja ter višine detajlnih točk ravnine

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDT} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 1				
T ₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T ₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T ₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 1				
T ₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T ₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T ₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDT} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 2				
T ₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T ₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T ₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 2				
T ₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T ₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T ₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDT} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 3				
T ₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T ₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T ₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 3				
T ₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T ₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T ₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDT} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 4				
T ₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T ₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T ₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 4				
T ₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T ₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T ₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDt} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 5				
T₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 5				
T₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDt} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 6				
T₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 6				
T₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDt} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 7				
T₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 7				
T₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDt} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 8				
T₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 8				
T₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDT} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 9				
T₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 9				
T₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDT} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 10				
T₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 10				
T₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDT} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 11				
T₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 11				
T₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDT} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 12				
T₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 12				
T₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T₃	1,1	1,0	1,5	1,7

	σ_{yDT} [mm]	σ_{xDt} [mm]	σ_{PHz} [mm]	σ_{hDT} [mm]
Iz stojišča O1 do točk ravnine 13				
T₁	1,0	1,0	1,4	1,6
T₂	1,0	1,0	1,4	1,6
T₃	1,0	1,0	1,4	1,6
Iz stojišča O2 do točk ravnine 13				
T₁	1,1	1,0	1,5	1,7
T₂	1,1	1,0	1,5	1,7
T₃	1,1	1,0	1,5	1,7

PRILOGA E: Žični model prelivne stene MHE Melje

