

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:

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

Datum arhiviranja: 08-10-2015

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:

Turčič, M., 2015. Terestrično lasersko skeniranje prelivne stene MHE Melje za izračun deformacij. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Savšek, S., co-supervisor Kregar, K.): 35 pp.

Archiving Date: 08-10-2015

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

Kandidat:

MATEO TURČIĆ

**TERESTRIČNO LASERSKO SKENIRANJE PRELIVNE
STENE MHE MELJE ZA IZRAČUN DEFORMACIJ**

Diplomska naloga št.: 93/GIG

**TERRESTRIAL LASER SCANNING OF THE
OVERFLOW WALL ON A SMALL HYDRO POWER
PLANT MELJE FOR DEFORMATION CALCULATIONS**

Graduation thesis No.: 93/GIG

Mentorica:

doc. dr. Simona Savšek

Somentor:

asist. Klemen Kregar

Ljubljana, 15. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MATEO TURČIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**„TERESTRIČNO LASERSKO SKENIRANJE PRELIVNE STENE MALE
HIDROELEKTRARNE MELJE ZA IZRAČUN DEFORMACIJ“.**

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 7. september 2015

MATEO TURČIČ

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.48:621.311.21(043.2)
Avtor:	Mateo Turčič
Mentorica:	doc. dr. Simona Savšek
Somentor:	asist. Klemen Kregar
Naslov:	Terestrično lasersko skeniranje prelivne stene male hidroelektrarne Melje za izračun deformacij
Tip dokumenta:	Diplomska naloga - UNI
Obseg in oprema:	35 str., 20 tabel., 42 sl., 19 en., 6 pril.
Ključne besede:	lasersko skeniranje, hidroelektrarna, projektni koordinatni sistem, izračun deformacij

Izvelek

V diplomski nalogi smo testirali elektronski tahimeter Leica Nova MultiStation MS50, ki vključuje tehnologijo terestričnega laserskega skeniranja. Izvedeni sta bili dve neodvisni izmeri prelivne stene male hidroelektrarne Melje, na osnovi katerih smo ocenili deformacije. Ker instrument omogoča direktno georeferenciranje, smo skenograme posamezne terminske izmere enostavno združili v projektni koordinatni sistem. Primerjavo oblakov točk na osnovi dveh terminskih izmer smo obdelali s prosto dostopnima programoma Cloud Compare in MeshLab.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.48:621.311.21(043.2)
Author: Mateo Turčič
Supervisor: Assist. Prof. Simona Savšek, Ph.D.
Co-advisor: Assist. Klemen Kregar
Title: Terrestrial laser scanning of the overflow wall on a small hydro power plant Melje for deformation calculations
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 35 p., 20 tab., 42 fig., 19 eq., 6 ann.
Key words: laser scanning , hydro power plants, project coordinate system, calculating the deformation

Abstract

In this thesis, we tested an electronic total station Leica Nova MS50 MultiStation, which includes technology of terrestrial laser scanning. There have been two independent measuring the overflow wall of the small hydro power plant Melje which allowed us to assess the deformation of overflow wall. Because the instrument enables the direct georeferencing, we have easily integrated point clouds from first and second epoch into the project coordinate system. Comparison of point clouds from first and second epoch was treated with open source programs Cloud Compare and MeshLab.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Za veliko pomoč in nasvete ter za njihov čas pri izdelavi diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Simoni Savšek in somentorju asist. Klemenu Kregarju.

Zahvaljujem se tudi mojim bližnjim za njihovo podporo v času študija in pri izdelavi diplomskega dela.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

Izjave	V
Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček	VII
Bibliographic – documentalistic information and abstract	IX
Zahvala	XI
CILJ IN NAMEN	1
1 MALA HIDROELEKTRARNA MELJE	2
2 OBLIKA OPAZOVALNE MREŽE	4
3 STABILIZACIJA IN SIGNALIZACIJA TOČK	6
4 INSTRUMENTARIJ IN MERSKA OPREMA	9
5 METODE IZMERE	13
5.1 Klasične terestrične metode izmere	13
5.1.1 Triangulacija in trilateracija	13
5.1.2 Trigonometrično višinomerstvo	13
5.2 Terestrično lasersko skeniranje	14
6 MERITVE IN OBDELAVA MERITEV	17
6.1 Meteorološki popravki	17
6.2 Geometrični popravki	19
6.3 Projekcijski popravki	20
6.4 Skenogrami in natančnost skeniranja točk	20
7 IZRAVNAVA GEODETSKE MREŽE.....	24
7.1 Horizontalna izravnava	25
7.2 Višinska izravnava	28
8 IZRAČUN DEFORMACIJ PRELIVNE STENE MHE MELJE	29
9 ZAKLJUČEK	34
VIRI	36

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO TABEL

Tabela 1. Tehnični podatki instrumenta Leica Nova MultiStation MS50 (Geoservis, 2015)	10
Tabela 2. Podatki o aritmetičnih sredinah meteoroloških parametrov v prvi terminski izmeri 21. 04. 2015.	18
Tabela 3. Podatki o aritmetičnih sredinah meteoroloških parametrov v drugi terminski izmeri 10. 07. 2015.	18
Tabela 4. Referenčni podatki za tahimeter Leica Nova MS50 (Geoservis, 2015.)	18
Tabela 5. Empirično določene konstante za izračun grupnega lomnega količnika	18
Tabela 6. Pridobljene velikosti oblakov točk in čas zajema v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.	20
Tabela 7. Pridobljene velikosti oblakov točk in čas zajema v drugi terminski izmeri dne 10. 07. 2015.	21
Tabela 8. Tehnični podatki o skeniranju instrumenta Leica Nova MultiStation MS50 (Geoservis, 2015)	23
Tabela 9. Koordinate danih točk	24
Tabela 10. Približne koordinate novih točk	24
Tabela 11. Sredine horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in reducirane dolžine za meritve, ki smo izvajali dne 21. 04. 2015.	24
Tabela 12. Sredine horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in reduciranih dolžin za meritve, ki smo jih izvajali dne 10. 07. 2015.	25
Tabela 13. Izravnane horizontalne koordinate iz meritev 21. 04. 2015.	26
Tabela 14. Izravnane horizontalne koordinate iz meritev 10. 07. 2015.	27
Tabela 15. Izravnane višine točk prve terminske izmere dne 21. 04. 2015.	28
Tabela 16. Izravnane višine točk druge terminske izmere dne 10. 07. 2015.	28
Tabela 17. Primer: Koordinate ogljišč kvadra/sektorja 12	30
Tabela 18. Izračunane minimalna in maksimalna razdalja ter srednja vrednost med dvema terminskima izmerama za posamezne sektorje	31
Tabela 19. Podatki o oddaljenosti med skenogramoma v sektorju 5	32
Tabela 20. Podatki o oddaljenosti med skenogramoma v sektorju 20	33

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO SLIK

Slika 1.	Jez Melje pred letom 2006. (www.sl.wikipedia.org)	2
Slika 2.	Izgradnja male hidroelektrarne Melje (www. http://maribor24.si/)	2
Slika 3.	Mala hidroelektrarna Melje (www.dem.si/sl-si/Elektrarne-in-proizvodnja)	3
Slika 4.	Oblika opazovalne mreže male hidroelektrarne Melje	4
Slika 5.	Stabilizacija z betonskim stebrom (Vodopivec in Kogoj, 2005)	6
Slika 6.	Stabilizacija točke O2	6
Slika 7.	Stabilizacija točke O1	6
Slika 8.	Stabilizacija točke O4	7
Slika 9.	Stabilizacija točke O3	7
Slika 10.	Talna stabilizacija merske točke in ekscentrično stojišče (Vodopivec in Kogoj, 2005)	7
Slika 11.	Signalizacija talne točke O3	8
Slika 12.	Signalizacija točke O2	8
Slika 13.	Tahimeter Leica Nova MultiStation MS50 (http://www.leica-geosystems.com)	9
Slika 14.	Leica Wild GPH1P	11
Slika 15.	Trinožni podstavek in nastavek za reflektor	11
Slika 16.	Aspiracijski psihrometer	12
Slika 17.	Paroscientific digitalni barometer	12
Slika 18.	Klešče za varovalni čep	12
Slika 19.	Žepni merski trak Leica (http://images.tigersupplies.com)	12
Slika 20.	Trigonometrično višinomerstvo (Fröhlich, 2013)	13
Slika 21.	Impulzni način merjenja dolžin - osnovni princip (Kogoj, 2005)	14
Slika 22.	Fazni način merjenja dolžin (Kogoj, 2005)	15
Slika 23.	Triangulacijska metoda z eno in dvama kamerama (Kolenc, 2004)	15
Slika 24.	Laserski skener s pritrjenim digitalnim fotoaparatom (Hostnik, 2013)	16
Slika 25.	Postopek ročnega finega viziranja v prvem polgirusu s stojišča S1	17
Slika 26.	Izvajanje meritev na stojišču S1 v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.	17
Slika 27.	Prikaz izbranega območja skeniranja s stojišča S2 v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.	20
Slika 28.	Skenogram iz stojišča O1 zajet v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.	21
Slika 29.	Skenogram iz stojišča O1 zajet v drugi terminski izmeri dne 10. 07. 2015.	21
Slika 30.	Skenogram iz stojišča O2 zajet v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.	22
Slika 31.	Skenogram iz stojišča O2 zajet v drugi terminski izmeri dne 10. 07. 2015.	22
Slika 32.	Skenogram iz stojišča O2 zajet v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.	22
Slika 33.	Skenogram iz stojišča O2 zajet v drugi terminski izmeri dne 10. 07. 2015.	22
Slika 34.	Združeni skenogrami iz stojiš O1, O2 in S2 v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.	23
Slika 35.	Združeni skenogrami iz stojiš O1, O2 in S2 v drugi terminski izmeri dne 10. 07. 2015.	23
Slika 36.	Prikaz geodetske mreže in standardnih elips pogreškov prve terminske izmere dne 21. 04. 2015	26
Slika 37.	Prikaz geodetske mreže in standardnih elips pogreškov druge terminske izmere dne 10. 07. 2015	27
Slika 38.	Razlaga octree strukture (www.jara.org)	29
Slika 39.	Razdelitev prelivne stene na sektorje	30
Slika 40.	Prikaz izdelave sektorja 12	30
Slika 41.	Grafični prikaz oddaljenosti dveh skenogramov v sektorju 5	32
Slika 42.	Grafični prikaz oddaljenosti dveh skenogramov v sektorju 20	33

»Ta stran je namenoma prazna.«

CILJ IN NAMEN

Lasersko skeniranje je novejša geodetska metoda, s katero prikazujemo realni svet v virtualnem 3D prikazu. Njegova visoko razvita tehnologija omogoča snemanje več milijonov točk, ki se združujejo v gost oblak točk, ki ga obdelamo v ustreznem programu. Lasersko skeniranje se najbolj pogosto uporablja v geodeziji, gradbeništvu, arhitekturi, arheologiji in v industriji.

Namen diplomske naloge je bil na konkretnem primeru preučiti potek skeniranja in obdelave pridobljenih podatkov v poljubnem programu ter preučiti primernost uporabe terestričnega laserskega skenerja za potrebe ugotavljanja deformacij. Testni primer je bila prelivna stena male hidroelektrarne Melje, kjer tudi sicer potekajo specialne precizne geodetske meritve v območju sidra S2 z namenom ugotavljanja deformacij prelivne stene. Prva terenska izmera je bila izvedena 21. aprila 2015, ko smo skupaj s študenti druge stopnje študijskega programa Geodezija in geoinformatika Fakultete za gradbeništvo in geodezijo opravili terenske meritve ter iz teh meritev pridobili oblak točk prelivne stene male hidroelektrarne Melje. Druga terminska izmera je bila izvedena 10. junija 2015, ko smo na osnovi meritev ugotavljali premike prelivne stene MHE Melje. Na osnovi dveh neodvisnih izmer smo testirali uporabnost elektronskega tahimetra Leica Nova MultiStation MS50 za postavljeno hipotezo ali je metoda terestričnega laserskega skeniranja primerna za ugotavljanje premikov.

Diplomska naloga je razdeljena na dva dela, in sicer na teoretični in na praktični del.

Teoretični del vsebuje poglavje o zgodovini male hidroelektrarne Melje ter splošne podatke o njej. Mala hidroelektrarna je bila zgrajena, da skrbi za biološki minimum v stari strugi reke Drave in tudi, da proizvaja električno energijo.

Drugo in tretje poglavje opisujeta obliko opazovalne mreže ter vrsto in način stabilizacije in signalizacije posamezne točke oziroma vsakega stojišča v mikro mreži.

V četrtem poglavju je podrobno opisan instrument Leica Nova MultiStation MS50, ki smo ga uporabljali tako za izmero terestrične mikro mreže, kakor tudi za skeniranje prelivne stene male hidroelektrarne Melje. To je najnovejši instrument proizvajalca Leica Geosystems, ki omogoča številne napredne funkcije.

Teoretični del vsebuje še opis metod izmere, in sicer klasične terestrične metode izmere in laserskega skeniranja.

Drugi del diplomske naloge je praktični. V šestem in sedmem poglavju obravnavamo obdelavo meritev in skenogramov ter izvedemo položajno in višinsko izravnavo terestrične mikro mreže. Osmo poglavje podrobno opisuje izračun deformacij prelivne stene male hidroelektrarne Melje s pomočjo laserskega terestričnega skeniranja. Prikazani so skenogrami iz vsakega stojišča, izračunana je natančnost skeniranja ter prikazana obdelava skenogramov. Za zaključek so grafično ter računsko prikazane deformacije prelivne stene male hidroelektrarne Melje. V nalogi skušamo na osnovi testnega primera in uporabe elektronskega tahimetra Leica Nova MultiStation MS50 ugotoviti primernost metode laserskega skeniranja za ugotavljanje premikov in deformacij. Podamo kritično oceno primernosti uporabljene metodologije glede na uporabljeno mersko opremo in zahteve naročnika.

1 MALA HIDROELEKTRARNA MELJE

Mala hidroelektrarna Melje se nahaja na $46^{\circ}33'39.0''$ severne geografske širine in $15^{\circ}40'23.5''$ vzhodne geografske dolžine v regionalnem središču pokrajine Štajerske, v mestu Maribor ob jezu Melje v strugi reke Drave (slika 1).

To je ena izmed osmih hidroelektrarn v Sloveniji, ki se nahajajo na slovenskem delu reke Drave in je tudi najmanjša med njimi. Za upravljanje in vzdrževanje male hidroelektrarne Melje je zadolženo podjetje „Dravske elektrarne Maribor d. o. o.“.



Slika 1. Jez Melje pred letom 2006. (www.sl.wikipedia.org)

Marca 2006 se je začela prenova jezu Melje, nadvišanje dovodnega kanala ter izgradnja male hidroelektrarne Melje (slika 2). Izvedena je bila kompletna zamenjava hidromehanske opreme jezu z nadvišanjem zapornic vseh šestih pretočnih polj. Zamenjana je bila elektro oprema in sistem vodenja, na novo so bili zgrajeni sredjenapetostno in nizkonapetostno stikališče ter nova mala hidroelektrarna na desnem bregu Drave za potrebe izkoriščanja ekološko sprejemljivega pretoka, ki se preliva v strugo Drave. Zaradi zagotavljanja biološkega minimuma v stari strugi reke Drave hidroelektrarna izkorišča predpisani zimski pretok, ki znaša 10 m^3 na sekundo ter poletni pretok, ki je dvakrat večji in znaša 20 m^3 na sekundo.



Slika 2. Izgradnja male hidroelektrarne Melje (<http://maribor24.si/>)

Elektrarna vsebuje dva agregata, katerih namen je proizvodnja električne energije. Predvidena letna proizvodnja električne energije male hidroelektrarne Melje je 8,69 GWh. Prvi agregat se nahaja v novi strojnični zgradbi ob prelivnem zidu dovodnega kanala hidroelektrarne Zlatoličje in ima pretočno sposobnost 20 m^3 na sekundo. Drugi agregat, ki se uporablja le kot rezerva, se nahaja v strojnični zgradbi na levem bregu reke Drave s protočnostjo 10 m^3 na sekundo.

Prenova jezusa Melje je bila zaključena avgusta 2009. Mala hidroelektrarna Melje pa je začela obratovati januarja 2009. (vir: <http://www.energetika-portal.si/novica/n/projekt-prenove-hidroelektrarne-zlatolicje-jezu-melje-in-izgradnje-male-hidroelektrarne-melje-je-z/>)



Slika 3. Mala hidroelektrarna Melje (www.dem.si/sl-si/Elektrarne-in-proizvodnja)

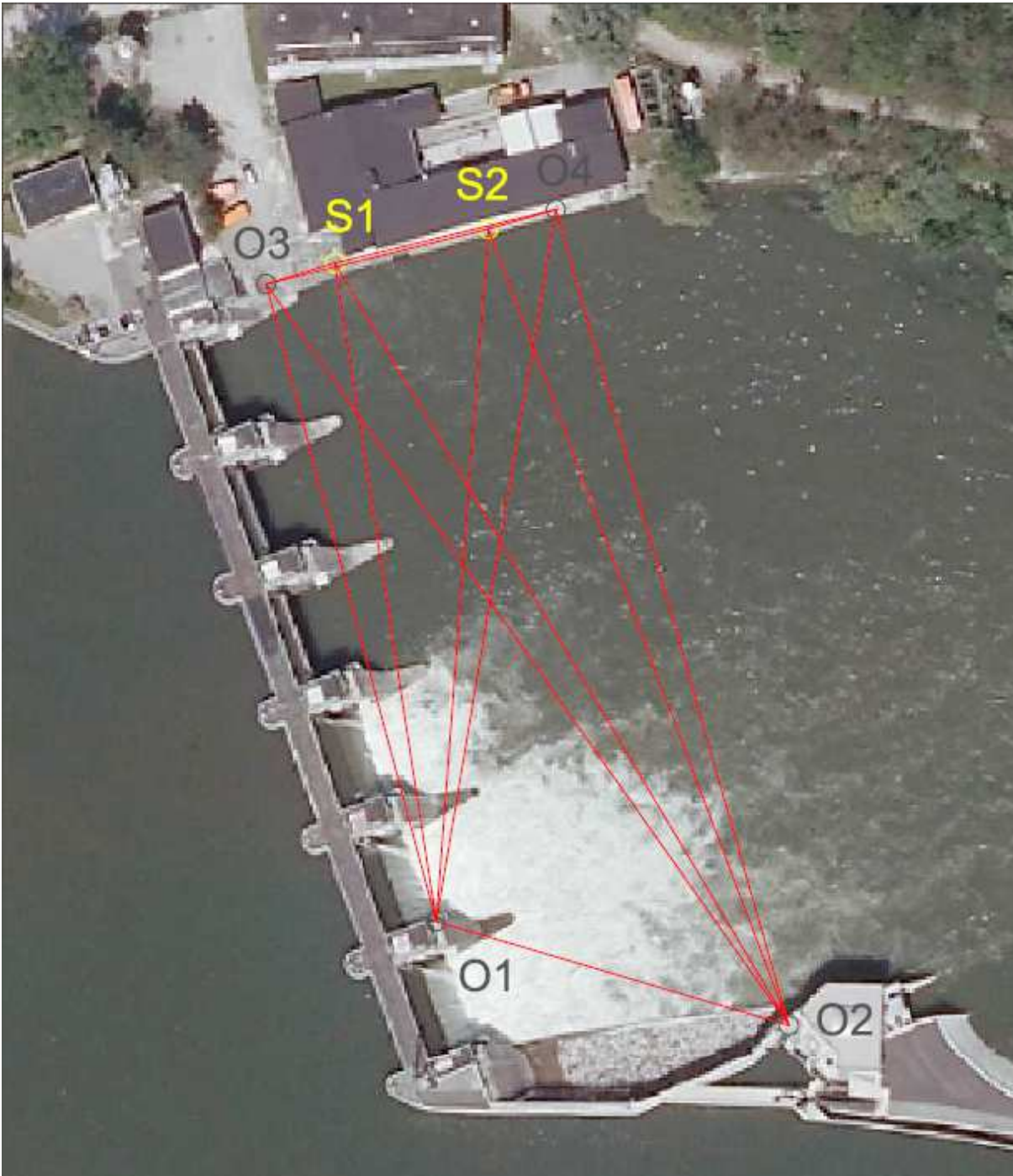
Malo hidroelektrarno Melje po karakteristikah uvrščamo med velike pregrade zaradi svoje 17 metrov visoke težnostno betonske pregrade (slika 3). Za vse velike pregrade je potrebno periodično spremljanje premikov objekta v prostoru. Spremljanje premikov temelji na zakonodaji in tehničnih predpisih:

- Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov, Ur. l. SFRJ, št. 7/66;
- Zakon o varstvu okolja (ZVO-1-UPB1), Ur. l. RS, št. 39/2006.

Na območju male hidroelektrarne Melje je bila vzpostavljena in projektirana terestrična mikro mreža z referenčnimi in kontrolnimi točkami, katerim z geodetskimi terestričnimi meritvami določamo prostorske koordinate. Stabilnost referenčnih točk in značilne premike kontrolnih točk na prelivnem polju ugotavljamo s primerjavo dveh neodvisnih terminskih izmer letno. Med kontrolne meritve uvrščamo izvajanje meritev, obdelavo podatkov in analizo rezultatov. Ugotavljanje premikov in stabilnosti pregradnega objekta ima velik pomen pri zagotavljanju varnosti za okolico hidroelektrarne – za človeška življenja in tudi za njihovo lastnino.

2 OBLIKA OPAZOVALNE MREŽE

Na sliki 4 je prikazana oblika opazovalne mreže male hidroelektrarne Melje na podlagi državnega ortofoto posnetka.



Slika 4. Oblika opazovalne mreže male hidroelektrarne Melje

Terestrično mikro mrežo male hidroelektrarne Melje sestavljajo štiri točke osnovne mreže (O1, O2, O3 in O4) ter dve pomožni točki (S1 in S2). Štiri osnovne točke so razporejene tako, da tvorijo geodetski štirikotnik, ki zagotavlja zelo zanesljive rezultate meritev. Dve točki osnovne mreže geodetskega štirikotnika, ki sta stabilizirani na obali (O3 in O4), definirata geodetski datum.

Mreža je definirana in vzpostavljena na osnovi zahtev investitorja in rezultatov simulacije. Število in način medsebojnih povezav nam zagotavlja dovolj čvrsto mrežo, omogoča dobro in hitro odkrivanje ter izločitev grobih pogreškov.

Terestrična mikro mreža male hidroelektrarne Melje je sestavljena iz štirih referenčnih točk, od katerih se dve nahajata na betonskih stebrih, dve pa sta domnevno stabilni talni točki. Talni točki O3 in O4, ki sta locirani na stabilni obali ob črpališču Melje, določata geodetski datum horizontalne in višinske mreže.

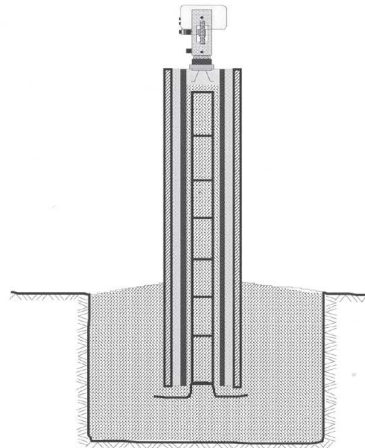
Geodetska horizontalna mreža je terestrična triangulacijsko – trilateracijska (kombinirana) mikro mreža. Višine točk so določene z metodo trigonometričnega višinomerstva, ki je zaradi zahtevnega dostopa prelivne stene edina primerna.

Obe mreži, horizontalna in tudi višinska, vključujeta dve osnovni točki na stebrih (O1 in O2) ter dve pomožni točki (S1 in S2), ki ju v postopku izračuna obravnavamo kot novi točki. Zaradi zadostnega števila povezav, kar nam omogoča ugotavljanje in izločanje grobo pogrešenih opazovanj, dobimo pričakovano in zahtevano natančnost določitve prostorskih koordinat novih točk, ki jo je predpisal naročnik [1].

3 STABILIZACIJA IN SIGNALIZACIJA TOČK

Terestrično mikro mrežo male hidroelektrarne Melje sestavljajo štiri točke osnovne mreže ter dve pomožni točki.

Dve od štirih točk osnovne mreže male hidroelektrarne Melje in sicer točki O1 in O2 sta stabilizirani z betonskim stebrom, ki omogoča prisilno centriranje (slika 5). To je klasični način stabilizacije v preciznih mikro mrežah za ugotavljanje deformacij.



Slika 5. Stabilizacija z betonskim stebrom (Vodopivec in Kogoj, 2005)

Oba stebra (točki O1 in O2) sta okrogla armirano betonska stebra, široka okrog 30 centimetrov in visoka 140 centimetrov. Stebra sta zaščitena z betonsko cevjo in vmesnim praznim prostorom, ki je zapolnjen s temperaturnim izolatorjem. Na glavi stebra je vzdana centriralna kovinska plošča, ki ima vgrajen srčni vijak, na katerega privijemo trinožni podstavek instrumenta ali nosilec prizme z možnostjo horizontiranja (slika 6 in slika 7).

Slabosti takšnega načina stabilizacije so možnost lokalnega premika, možnost nagiba, takšna točka lahko predstavlja fizično oviro in velik strošek izdelave.

Prednosti so velika lastna stabilnost točke ob kvalitetni izvedbi stabilizacije, ki nam zagotavlja prisilno centriranje z natančnostjo boljšo od 0,1 milimetra [2].

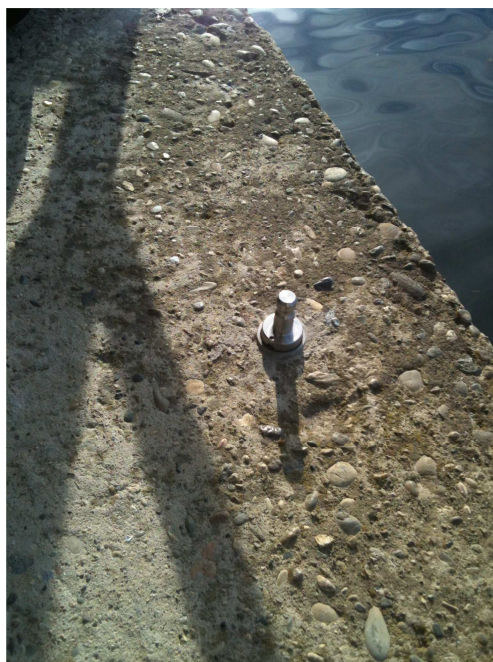


Slika 6. Stabilizacija točke O2



Slika 7. Stabilizacija točke O1

Drugi dve točki osnovne mreže male hidroelektrarne Melje in sicer točki O3 in O4 sta talni točki. Točki O3 in O4 se obravnavata kot domnevno stabilni točki. Točki sta vgrajeni v betonsko podlago. Stabilizacija je realizirana s sidrom, ki je zavrtano v beton na globini 30 centimetrov. Na vrhu čepa se nahaja navoj, ki omogoča pritvitje nosilca za prizme (slika 8 in slika 9). Ta način nam omogoča natančnost prisilnega centriranja boljše od 0.3 milimetrov. Na vsaki točki se nahaja tudi varovalni čep.

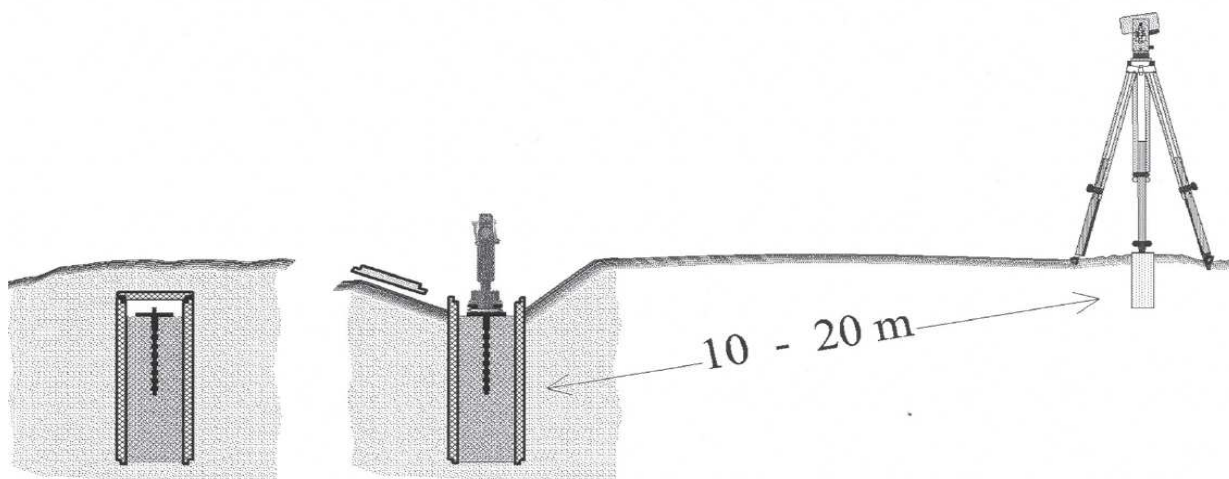


Slika 8. Stabilizacija točke O4



Slika 9. Stabilizacija točke O3

Dve pomožni točki (ekscentrični stojišči) S1 in S2, ki se nahajata v neposredni bližini talnih točk O3 in O4, nista trajno stabilizirani. Ekscentrično stojišče je začasno stabilizirano s kovinskim čepom v podlago. Oddaljenost ekscentra od centra točke je okrog 10 metrov (slika 10) [2].



Slika 10. Talna stabilizacija merske točke in ekscentrično stojišče (Vodopivec in Kogoj, 2005)

Signalizacijo dveh talnih točk osnovne mreže male hidroelektrarne Melje izvedemo s prisilnim centriranjem reflektorja (slika 11). Meritve so bile izvedene iz ekscentričnih stojišč.



Slika 11. Signalizacija talne točke O3

Dve točki osnovne mreže, O1 in O2, ki se nahajata na opazovalnih stebrih, sta signalizirani s pomočjo trinožnih podstavkov in preciznih reflektorjev GPH1P (slika 12).



Slika 12. Signalizacija točke O2

4 INSTRUMENTARIJ IN MERSKA OPREMA

Meritve so bile izvedene s preciznim elektronskim tahimetrom Leica Nova MultiStation MS50 (slika 13). Ta instrument je prvi na svetu, ki v eni napravi združuje vse sodobne merske tehnologije. Vsebuje vse funkcije zajema prostora, kot so 3D skeniranje, merjenje brez reflektorja do 2 kilometra, slikovna podpora in povezave z GNSS tehnologijo. Instrument omogoča zelo natančne meritve v terestričnih geodetskih mrežah in hkrati omogoča tudi lasersko skeniranje hitrosti do 1000 točk na sekundo do maksimalne razdalje 300 metrov.



Slika 13. Tahimeter Leica Nova MultiStation MS50 (<http://www.leica-geosystems.com>)

Tehnični podatki o instrumentu so prikazani v Tabeli 1.

Tabela 1. Tehnični podatki instrumenta Leica Nova MultiStation MS50 (Geoservis, 2015)

Merjenje kotov	
Natančnost	1"
Merjenje razdalj	
Z reflektorjem (doseg/natančnost)	10000 m / 1 mm + 1.5 ppm
Brez reflektorja (doseg / natančnost)	2000 m / 2 mm + 2 ppm
Velikost pike laserskega žarka	8 mm × 20 mm na razdalji 50 m
Doseg ATR na okrogli reflektor GPR1	1000m, sledenje reflektorja: 800 m
Kotna natančnost in trajanje meritve ATR na GPR1	1" / običajno 2.5 s
Skeniranje	
Hitrost vrtenja s piezo motornimi pogoni	180° / s
Hitrost / največji 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
Vizualizacija	Vgrajen pregledovalnik 3D oblakov točk, tudi s foto-realističnim obarvanjem oblakov
Slikovna podpora	
Vgrajeni kameri (ločljivost / frekvenca osveževanje)	5 MP CMOS slikovni senzor / 20 Hz
Lastnosti	Samodejno fokusiranje, viziranje preko zaslona, digitalna skica na fotografiji
Splošno	
Operacijski sistem / nameščena programska oprema	Windows CE 6.0 / Leica SmartWorx Viva
Zaslon v obeh krožnih legah	8.9 cm, 640 x 480 slikovnih elementov (VGA), barvni LED zaslon na dotik, berljiv na soncu
Tipkovnica	36 osvetljenih tipk (12 funkcijskih in 12 alfanumeričnih tipk), pametna tipka za proženje meritev, 2 tipki za ročno nastavitev fokusiranja
Neskončni vjaki	2 vijaka za Hz pomik, 1 vijak za V pomik, vijak za ročno fokusiranje
Vgrajen pomnilnik / pomnilniški vmesniki	1 GB / SD kartica, USB ključ
Komunikacijski vmesniki	RS232, Bluetooth, WLAN
Baterija / avtonomija delovanja	Li-Ion 5.8 Ah / 7 – 9 ur (GEB242)
Temperaturno območje delovanja	- 20 °C do + 50 °C
Odpornost na prah in vodo (IEC 60529) / vlago	IP65 / 95%, brez kondenziranja

Pri signalizaciji točk smo uporabili precizne reflektorje tipa Wild GPH1P proizvajalca Leica Geosystems (slika 14). Adicijska konstanta teh reflektorjev znaša nič ($k_a = 0$) in je zato ni potrebno upoštevati pri obdelavi podatkov.



Slika 14. Leica Wild GPH1P

Merski instrument in reflektorje smo s pomočjo trinožnega podstavka privili na stative ali na opazovalne stebre (slika 15).



Slika 15. Trinožni podstavek in nastavek za reflektor

Poleg merske opreme za zajem prostorskih podatkov smo uporabili še instrumentarij za merjenje meteoroloških parametrov. Za merjenje mokre in suhe temperature smo uporabili aspiracijski psihrometer (slika 16), za merjenje zračnega tlaka pa digitalni barometer Paroscientific (slika 17). Meteorološke parametre smo odčitavali na vseh stojiščih instrumenta pred in po opravljenih meritvah.



Slika 16. Aspiracijski psihrometer



Slika 17. Paroscientific digitalni barometer

Na terenu smo uporabljali še žepni merski trak proizvajalca Leica za merjenje višine instrumenta ter posebne klešče za odpiranje varovalnega pokrova na talnih točkah (slika 18 in slika 19).



Slika 18. Klešče za varovalni čep



Slika 19. Merski trak Leica
(<http://images.tigersupplies.com>)

5 METODE IZMERE

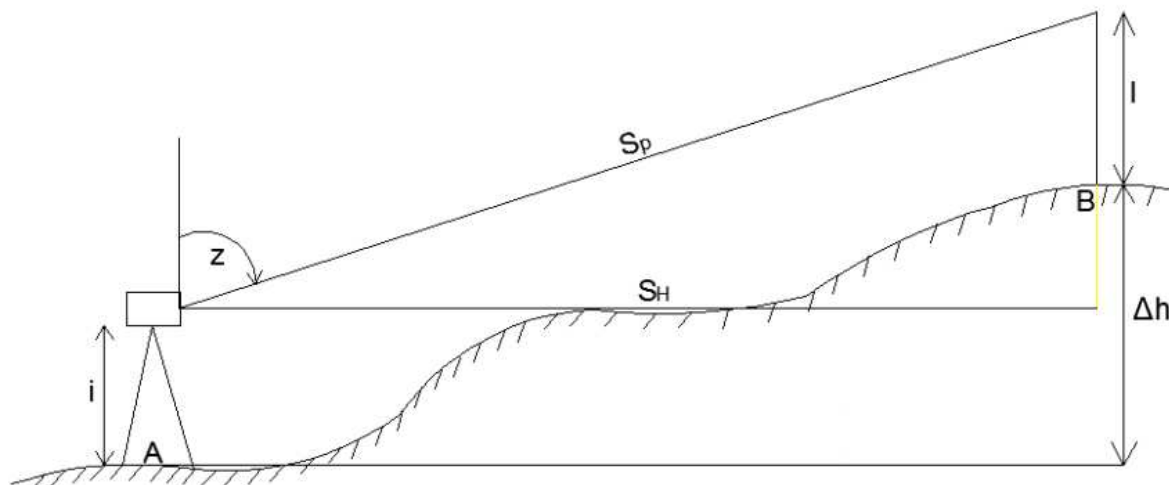
5.1 Klasične terestrične metode izmere

5.1.1 Kombinirana triangulacijsko - trilateracijska metoda izmere

Triangulacija je metoda določanja koordinat točk v horizontalnih mrežah na osnovi merjenih kotov. Trilateracija je metoda določanja koordinat na osnovi merjenja dolžin. S kombinacijo obeh metod pridobimo bolj čvrste in zanesljive merske povezave, ter pri izravnavi istočasno uporabimo vse merjene količine. S tem povečamo število nadštevilnih meritev in izboljšamo položajno natančnost neznank. Koordinate točk mikro mreže male hidroelektrarne Melje smo določili s kombinirano triangulacijsko – trilateracijsko metodo. Iz točk O1 in O2, ki se nahajata na betonskih stebrih in pomožnih točk (ekscentričnih stojišč) S1 in S2, ki se nahajata na stativih, smo opravljali obojestranske meritve. Na talni točki O3 in O4 ni mogoče meriti obojestransko, zato smo merili enostransko. Merili smo horizontalne smeri, zenitne razdalje in poševne dolžine.

5.1.2 Trigonometrično višinerstvo

Z uporabo metode trigonometričnega višinerstva smo določili tudi višine v mreži (slika 20). Ta metoda se večinoma uporablja pri mrežah manjših dimenzij. Višinske razlike se določa na osnovi merjenih zenitnih razdalj in reduciranih dolžin med točkami. Za vsako točko smo potrebovali tudi podatek o izmerjeni višini instrumenta. Za talni točki in pomožni točki na stativih je bila privzeta višina nič, kar pomeni, da so bile točke v višinskem smislu realizirane s centrom reflektorja. Na betonskih stebrih smo trikrat neodvisno z žepnim merskim trakom izmerili višino instrumenta in srednjo vrednost upoštevali pri izračunu višin točk na betonskih stebrih.



Slika 20. Trigonometrično višinerstvo (Fröhlich, 2013)

- i – višina instrumenta
- l – višina signala
- z – zenitna razdalja
- S_p – merjena poševna dolžina
- S_H – horizontalna razdalja
- Δh – višinska razlika

5.2 Terestrično lasersko skeniranje

Sodobno, trenutno zelo trendovsko geodetsko metodo, lahko poenostavljeno pojasnimo na način kot je to zapisala Ana Hostnik: „Terestrično pomeni, da snemamo neposredno na terenu, lasersko pomeni, da za merjenje uporabljamo laserske žarke, skeniranje pa označuje hitro prečesavanje območja snemanja.“ [3]

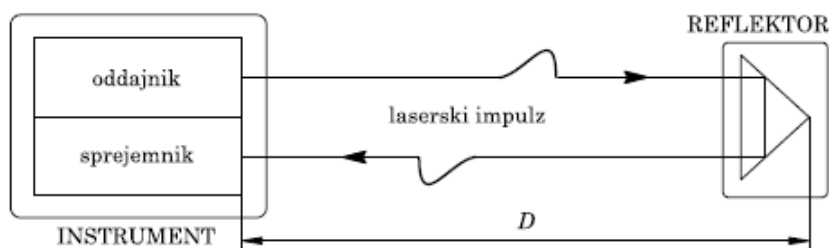
Terestrično lasersko skeniranje je geodetska metoda, s katero prikazujemo realni svet v virtualnem 3D prikazu. Laserski skenerji imajo visoko razvito tehnologijo, ki nam omogoča v nekaj sekundah ali minutah posneti več tisoč ali milijonov točk in na ta način pridobiti gost oblak točk, ki ga nato obdelamo v ustreznem programu.

Terestrično lasersko skeniranje v geodeziji uporabljamo za analizo deformacij grajenih in naravnih objektov, za namen spremljanja odkopov zemeljskih plazov, za detajlno izmero, za namen evidentiranja sprememb površine, oblik in velikosti objektov ter pri izdelavi digitalnih modelov reliefa. Terestrični laserski skener zagotavlja meritve horizontalnih in tudi vertikalnih smeri ter dolžine. Rezultat teh meritev je množica ali oblak točk v 3D prostoru.

Z uporabo laserskega skeniranja merimo koordinate točk v prostoru na način, da merimo smer in razdaljo od instrumenta do površine objekta, od katerega se je laserski žarek odbil. To razdaljo izmerimo na osnovi izmerjenega časa, v katerem elektromagnetno valovanje prepotuje pot od oddajne optike proti reflektorju, od katerega se odbije nazaj proti instrumentu. To pomeni, da elektromagnetno valovanje prepotuje dvakrat enako dolžino [4].

Poznamo tri načine merjenja dolžin z uporabo laserskega skenerja in sicer impulzni, fazni in triangulacijski.

Laserski skenerji z impulznim načinom merjenja neposredno merijo čas potovanja impulza od oddajne točke do sprejemne točke s tem, da se žarek vmes odbije na površini objekta. Čas širjenja impulza predstavlja razdaljo med oddajnikom in sprejemnikom (slika 21).



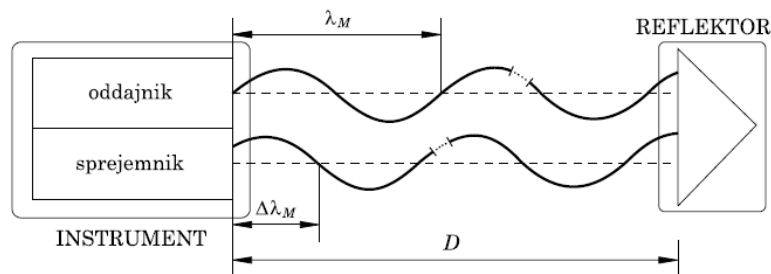
Slika 21. Impulzni način merjenja - osnovni princip (Kogoj, 2005)

Za izračun razdalje je potrebno poznati svetlobno hitrost ($c = 299\,792\,458$ m/s), lomni količnik (n) in merjeni čas (τ). Lomni količnik atmosfere, skozi katero potuje signal, v normalnih pogojih v zraku znaša približno 1 (ena). Razdalja se izračuna s pomočjo naslednje formule:

$$D = \frac{c \cdot \tau}{n \cdot 2}. \quad (1)$$

Ta način je najprimernejši za daljše razdalje (od 50 do 500 metrov) in dosega slabše natančnosti kot skenerji s faznim načinom merjenja [4].

Fazni način merjenja razložimo na način, da laserski žarek, ki ga oddaja instrument, obravnavamo kot sinusno valovanje s spremljivo amplitudo ali frekvenco (slika 22). Razdaljo pri skenerjih s faznim načinom merjenja računamo s primerjavo originalnega oddanega signala z odbitim signalom, ki z odbojem od tarče oslabi.



Slika 22. Fazni način merjenja dolžin (Kogoj, 2005)

Za izračun razdalje je potrebno poznati fazno razliko med merskim in referenčnim žarkom ($\Delta\varphi$), valovno dolžino moduliranega valovanja (λ_M) in število polovičnih valovnih dolžin na merjeni poti (N). Razdaljo računamo na način, da najprej izračunamo fazno razliko med obema signaloma:

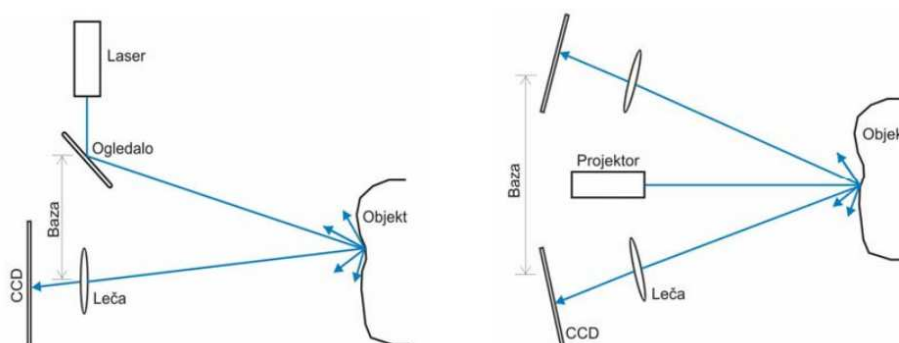
$$\Delta\lambda_M = \lambda_M \cdot \left(\frac{\Delta\varphi}{2 \cdot \pi} \right). \quad (2)$$

Ko izračunamo fazno razliko med obema signaloma, moramo izračunati še dolžino med oddajno točko in točko sprejema iz izračunanega dela modulatorske valovne dolžine, določenega na osnovi merjenja faze razlike med merskim in referenčnim žarkom:

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

Skenerji s faznim načinom merjenja so bolj natančni kot laserski skenerji z impulznim načinom merjenja. Njihova natančnost je do 3 milimetre ter se uporabljajo pri krajših razdaljah do 100 metrov [4].

Triangulacijska metoda deluje na način, da se izračuna razdalja od oddajne točke do točke sprejema na podlagi znane dolžine baze med CCD kamero in laserskim oddajnikom ter na podlagi kotov (slika 23).



Slika 23. Triangulacijska metoda z eno in dvama kamerama (Kolenc, 2004)

Laserski žarek se projicira na površino objekta pod določenim kotom, drugi kot zazna kamera glede na lokacijo padajoče laserske pike na vidno polje kamere. „Skener se imenuje triangulacijski, zato ker laserski oddajnik, točka na predmetu in kamera tvorijo trikotnik“ [5]. Pri uporabi triangulacijske metode poznamo dolžino med laserskim izvorom in kamero (projekcijskim centrom) iz

kalibracijskega poročila skenerja ter kot, ki ga oklepata laserski žarek iz oddajne točke in kamera (baza).



Slika 24. Laserski skener s pritrjenim digitalnim fotoaparatom (Hostnik, 2013)

Triangulacijska metoda merjenja se uporablja večinoma v industriji. Primerna je za majhne objekte, ki so na majhnih razdaljah do 2 metra, ker takrat dosežemo najboljšo natančnost, ki naj bi bila 0,1 milimeter na 1 meter [6, 7].

Zdaj ko so opisane različne metode merjenja z laserskim skenerjem, je potrebno opisati še postopek terestričnega laserskega skeniranja, ki sestoji iz naslednjih faz:

- Terenske meritve – na vsakem stojišču pridobimo oblak točk (skenogram) v koordinatnem sistemu skenerja,
- Združitev skenogramov v skupni (objektni) koordinatni sistem za vse oblake točk,
- Obdelava oblaka točk – tako združene oblake točk z lahkoto obdelujemo v enem od številnih programov za obdelavo. Programi vsebujejo opcije filtriranja, triangulacije, izdelave digitalnih modelov reliefa in ostale. Končni rezultat obdelave podatkov je 3D model skeniranega objekta.

Pomembno je omeniti, da so vse faze terestričnega laserskega skeniranja enako pomembne.

Terestrično lasersko skeniranje ima nekatere prednosti pred klasično geodetsko izmero. Pri uporabi terestričnega laserskega skeniranja ni potrebno priti v neposredni stik s točko ali objektom snemanja. Predvsem je zelo uporabno na neurejenih terenih ali na terenih z oteženim ali onemogočenim dostopom. Z enim skeniranjem območja skener posname v kratkem času zelo gosto mrežo točk s 3D koordinatami. Za obdelavo podatkov je na voljo množica programskih orodij, nekateri so tudi prosto dostopni na internetu. Obdelava podatkov se opravi na interaktiven način. Čas obdelave je močno odvisen od zahtev in natančnosti naročnika, kakor tudi od zahtevnosti in detajlov snemanega objekta. Glede na množico prostorskih podatkov je pridobljena natančnost ustrezna, ni pa primerljiva z najnatančnejšimi geodetskimi metodami določanja 3D koordinat točk. Kot rezultat pridobimo podroben prikaz našega posnetega območja oz. objekta.

6 MERITVE IN OBDELAVA MERITEV

Terestrične meritve mikro mreže Melje smo izvajali s pomočjo elektronskega tahimetra Leica Nova MultiStation MS50 v sedmih neodvisnih ponovitvah (girusih). Meritve smo izvedli obojestransko med opazovalnimi stebri in enostransko na talni točki (O3 in O4). Pred meritvami smo vnesli število smeri, ki smo jih opazovali ter število girusov, ki smo jih opravljali. Vnesli smo tudi ime stojišča. Na obeh opazovalnih stebrih je bilo potrebno izmeriti tudi višino instrumenta. Uporabljali smo instrument z avtomatskim iskanjem in viziranjem tarč tako, da je bilo potrebno imenovati in ročno fino vizirati smeri samo v prvem polgirusu. Na vsakem stojišču smo med meritvami trikrat neodvisno izmerili meteorološke popravke in sicer suho temperaturo, mokro temperaturo in zračni tlak.



Slika 25. Postopek ročnega finega viziranja v prvem polgirusu s stojišča S1



Slika 26. Izvajanje meritev na stojišču S1 dne 21. 04. 2015.

Po opravljenih terenskih meritvah smo iz instrumenta prenesli surove podatke. Preneseni podatki niso uporabni v takšni obliki ter jih je potrebno še obdelati (Priloga A). Meritve smo v primernejšo obliko uredili v programskem okolju LisCad za vsako stojišče posebej. Kot izhodno datoteko smo pridobili reducirane sredine sedmih merjenih girusov, in sicer sredine horizontalnih smeri, zenitnih razdalj ter poševnih dolžin (Priloga B).

Merjene poševne dolžine smo reducirali za meteorološke, geometrične ter projekcijske popravke. Tako smo dobili horizontalne dolžine na poljubni referenčni ploskvi, ki so vhodni podatek za izravnavo.

6.1 Meteorološki popravki

V času meritev smo na posameznem stojišču merili meteorološke parametre in sicer suho in mokro temperaturo ter zračni tlak. Za izračun meteoroloških vplivov smo uporabili aritmetične sredine izračunanih količin na terenu. Glede na to, da smo izvedli dve neodvisni terminski izmeri, sta v nadaljevanju prikazani dve tabeli o meteoroloških parametrih (tabela 2 in tabela 3).

Tabela 2. Podatki o aritmetičnih sredinah meteoroloških parametrov v prvi terminski izmeri 21.04.2015.

Stojišče	Suha temperatura [°C]	Mokra temperatura [°C]	Zračni tlak [mbar]
S1	13,00	10,00	994,280
S2	12,60	8,70	994,260
O1	16,30	10,70	993,680
O2	16,30	10,00	993,370

Tabela 3. Podatki o aritmetičnih sredinah meteoroloških parametrov v drugi terminski izmeri 10.07.2015.

Stojišče	Suha temperatura [°C]	Mokra temperatura [°C]	Zračni tlak [mbar]
S1	18,65	14,90	993,797
S2	19,07	14,20	993,750
O1	21,00	14,90	992,803
O2	22,50	15,45	992,385

Meteorološke vplive upoštevamo pri izračunu prvega popravka hitrosti, ker je zaradi njih merjena dolžina drugačna od dejanske dolžine med instrumentom in tarčo. Za izračun prvega popravka hitrosti je potrebno izračunati nominalni lomni količnik n_0 :

$$n_0 = 1 + \frac{n_g - 1}{1 + \alpha \cdot t_0} \cdot \frac{p}{1013,25} - \frac{4,125 \cdot 10^{-8}}{1 + \alpha \cdot t_0} \cdot e_0. \quad (4)$$

Pri izračunu nominalnega lomnega količnika za instrument Leica Nova MS50 uporabimo referenčne podatke iz Tabele 4.

Tabela 4. Referenčni podatki za tahimeter Leica Nova MS50 (Geoservis, 2015.)

λ_{Neff}	t_0	p_0	e_0
0,658 μm	12 °C	1013,25 hPa	60 %

Grupni količnik smo izračunali glede na efektivno valovno dolžino λ_{Neff} :

$$(n_g - 1) \cdot 10^6 = A + 3 \cdot \frac{B}{\lambda_{Neff}^2} + 5 \cdot \frac{C}{\lambda_{Neff}^4}. \quad (5)$$

Količine A, B in C so empirično določene konstante, ki veljajo za atmosfero z normalnimi pogoji ($t = 0$ °C, $p = 1013,25$ hPa, $e = 0$ hPa). Njihova vrednost je prikazana v Tabeli 5.

Tabela 5. Empirično določene konstante za izračun grupnega lomnega količnika

Avtor	Območje	A	B	C
IAG (1999)	$650\text{nm} \leq \lambda_{Neff} \leq 850\text{nm}$	287,6155	1,62887	0,01360

Ker se dejanski meteorološki parametri razlikujejo od referenčnih, je potrebno izračunati dejanski lomni količnik.

$$n_D = 1 + \frac{n_g - 1}{1 + \alpha \cdot t} \cdot \frac{p}{1013,25} - \frac{4,125 \cdot 10^{-8}}{1 + \alpha \cdot t} \cdot e. \quad (6)$$

Prvi popravek hitrosti dobimo po enačbi:

$$D_1 = D_a \cdot \frac{n_0}{n_D}. \quad (7)$$

n_0 – nominalni lomni količnik

n_D – dejanski lomni količnik

D_a – dolžina popravljena za vpliv pogreška določitve ničelne točke razdaljemera in reflektorja

Za izračun drugega popravka hitrosti moramo prav tako upoštevati meteorološke parametre. Zaradi kratke dolžine (pri dolžinah daljših od 65 kilometerov popravek znaša 1 ppm) je vpliv na dolžino zanemarljiv. Enačbe za izračun drugega popravka hitrosti:

$$D_2 = D_1 + k_{\Delta n} . \quad (8)$$

D_1 – prvi popravek hitrosti in

$$\Delta_{kn} = -(k - k^2) \cdot \frac{D_1^3}{12 \cdot R^2} . \quad (9)$$

6.2 Geometrični popravki

Poleg meteoroloških popravkov je bilo potrebno upoštevati tudi geometrične popravke. Izmerjena dolžina je zaradi refrakcije prostorska krivulja in zato moramo izračunati njeno tetivo. Enačba za izračun tetive prostorske krivulje:

$$S_r = D_2 - k^2 \cdot \frac{D_2^3}{24 \cdot R^2} , \text{ kjer je} \quad (10)$$

D_2 – drugi popravek hitrosti

k – koeficient refrakcije ($k = 0,13$)

R – radij Zemlje ($R = 6\,370\,000$ m).

Po izračunani tetivi prostorske krivulje je bilo potrebno upoštevati še višino instrumenta ter višine reflektorjev na vsaki točki. Uporabili smo naslednje enačbe:

$$S_p = S_r - (l - i) \cdot \cos(z_r) + \frac{[(i - l) \cdot \sin(z_r)]^2}{2 \cdot S_r} , \text{ kjer je} \quad (11)$$

S_r – tetiva prostorske krivulje

i – višina instrumenta

l – višina tarče.

Popravek merjene zenitne razdalje z' zaradi refrakcije znaša:

$$z_r = z' + \frac{S_r}{2 \cdot R} \cdot k , \text{ kjer je } z' \text{ – merjena zenitna razdalja.} \quad (12)$$

Vrednost dolžine na nivoju točk, to je kamen – kamen, znaša:

$$S_k = S_p - \frac{i \cdot S_p}{R} . \quad (13)$$

6.3 Projekcijski popravki

Z upoštevanjem geometričnih popravkov smo pridobili dolžino na nivoju kamen – kamen (S_k). Pri projekcijskih popravkih to dolžino reduciramo na izbrano referenčno ploskev, da pridobimo sferno dolžino loka S s pomočjo naslednje enačbe:

$$S = (R + H_0) \cdot a \tan \left(\frac{S_r \cdot \sin(z_r)}{R + H_A + i + S_r \cdot \cos(z_r)} \right). \quad (14)$$

H_0 predstavlja višino računskega nivoja, ki v našem primeru znaša 10 metrov, kar je višina talne stabilne točke O3 v lokalnem koordinatnem sistemu.

6.4 Skenogrami in natančnost skeniranja točk

Za skeniranje smo uporabili instrument Leica Nova MultiStation MS50, ki omogoča direktno pridobitev georeferenciranega oblaka točk. Pred skeniranjem je bilo potrebno v instrument vnesti izmerjene meteorološke parametre, in sicer suho in mokro temperaturo ter zračni tlak. Določiti je bilo potrebno območje skeniranja. Da bi zajeli vse točke, ki se nahajajo na prelivni steni, smo za območje skeniranja vzeli nekaj metrov večje območje okrog prelivne stene (slika 27). Prelivno steno smo v obeh terminskih izmerah skenirali iz stojišč S2, O1 in O2.

Gostoto točk smo nastavili na 3 x 3 centimetre in izbrali hitrost skeniranja 1000 točk na sekundo.



Slika 27. Prikaz izbranega območja skeniranja s stojišča S2 v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.

Glede na nastavljen hitrost skeniranja ter gostoto točk smo pridobili naslednje podatke (tabela 6 in tabela 7).

Tabela 6. Pridobljene velikosti oblakov točk in čas zajema v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.

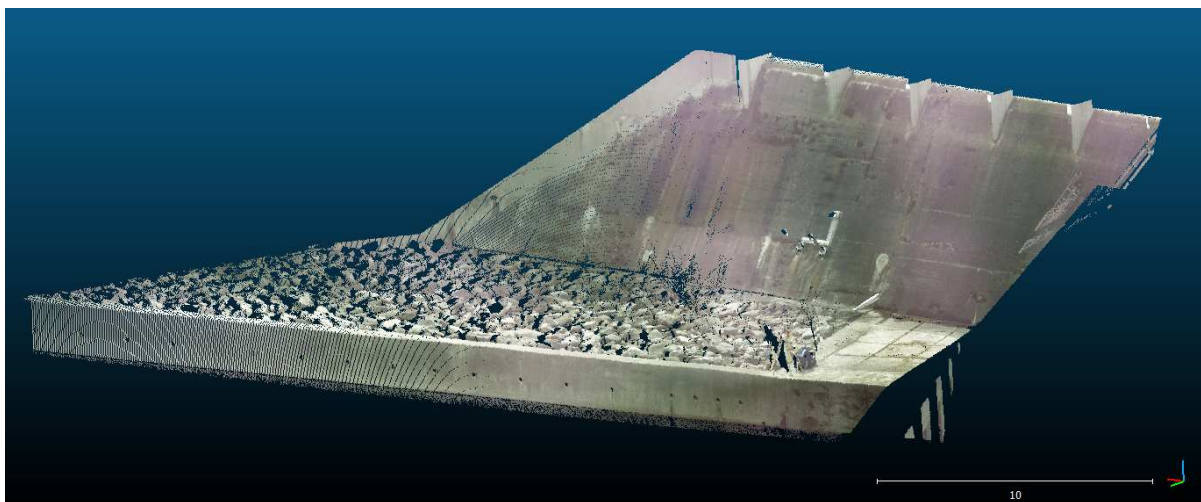
Skeniranje iz stojišča	Število zajetih točk	Potreben čas zajema
O1	590 812	~ 10 minut
O2	243 647	~ 5 minut
S2	125 737	~ 10 minut
	$\Sigma = 960 196$	$\Sigma = \sim 25$ minut

Tabela 7. Pridobljene velikosti oblakov točk in čas zajema v drugi terminski izmeri dne 10. 07. 2015.

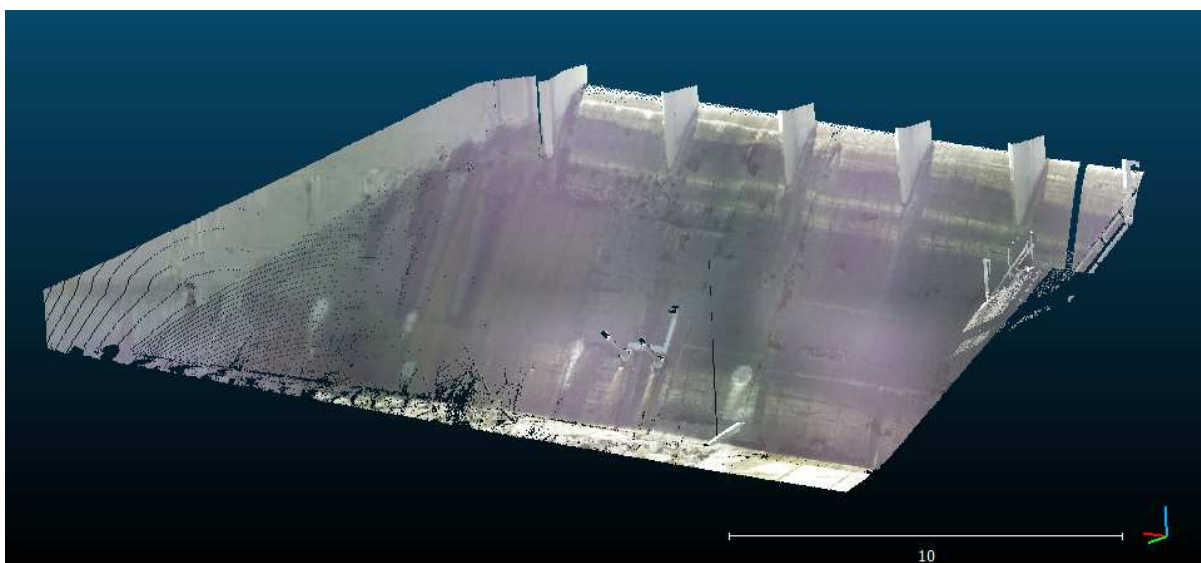
Skeniranje iz stojišča	Število zajetih točk	Potreben čas zajema
O1	358 328	~ 6 minut
O2	243 328	~ 5 minut
S2	135 605	~ 10 minut
	$\Sigma = 737\ 261$	$\Sigma = \sim 21\ \text{minuta}$

Iz tabel je razvidno, da se velikosti oblakov točk in hitrost zajema med terminskima izmerama razlikujeta. Razlog je v različni velikosti izbranega območja skeniranja okrog prelivne stene hidroelektrarne Melje.

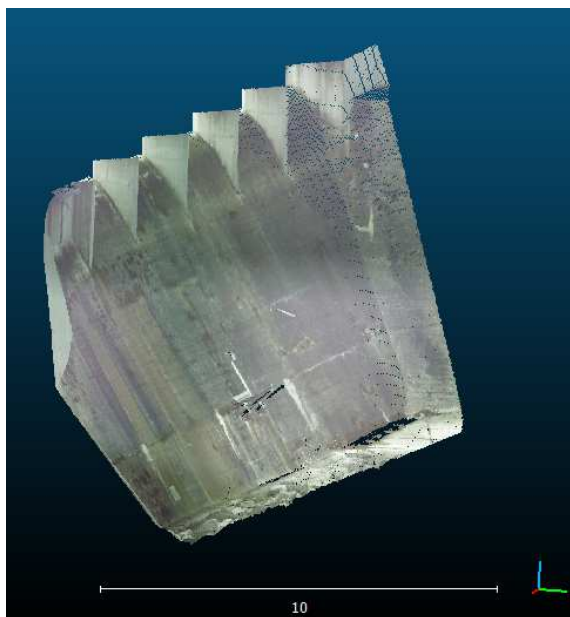
Skenogrami iz vseh treh stojišč je bilo potrebno vklopiti v projektni koordinatni sistem. Za orientacijo skenogramov smo izmerili 5 girusov proti ostalim točkam mreže ter izravnane koordinate mikro mreže Melje, ki jih smo jih prikazali v naslednjem poglavju. V nadaljevanju so prikazani skenogrami iz posameznih stojišč.



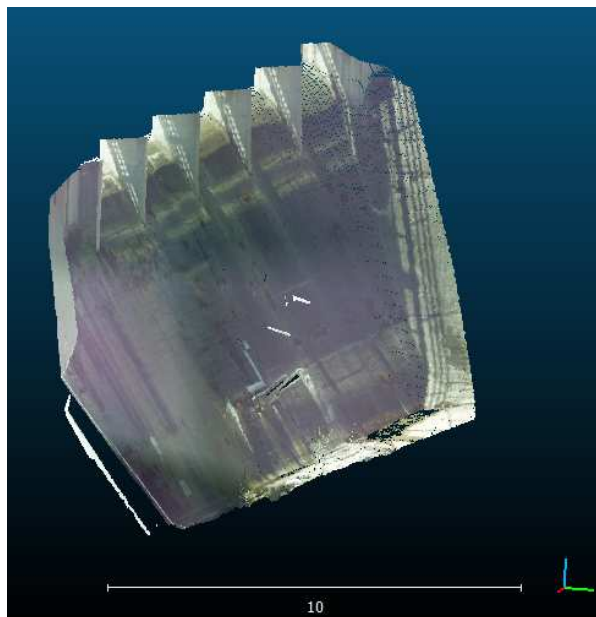
Slika 28. Skenogram iz stojišča O1 zajet v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.



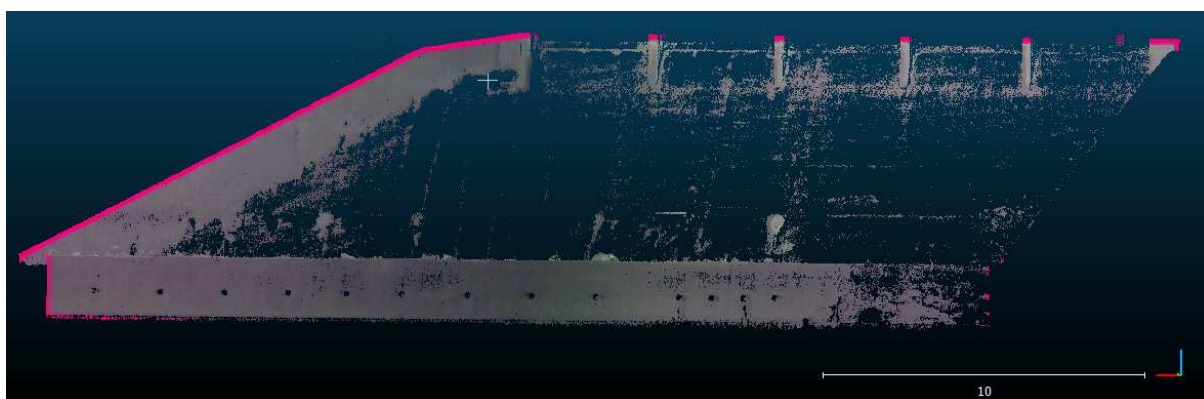
Slika 29. Skenogram iz stojišča O1 zajet v drugi terminski izmeri dne 10. 07. 2015.



Slika 30. Skenogram iz stojišča O2 zajet v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.



Slika 31. Skenogram iz stojišča O2 zajet v drugi terminski izmeri dne 10. 07. 2015.



Slika 32. Skenogram iz stojišča S2 zajet v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.



Slika 33. Skenogram iz stojišča S2 zajet v drugi terminski izmeri dne 10. 07. 2015.

Iz zgornjih slik je razvidno, da smo s skenogrami iz točk O1 in O2, oziroma iz stojišč, ki sta v neposredni bližini prelivne stene uspešno zajeli vse točke (slika 28, slika 29, slika 30 in slika 31).

Do problema je prišlo pri skeniranju s stojišča S2 (slika 32 in slika 33). Zaradi večje razdalje med stojiščem in prelivno steno se veliko točk zaradi nezadostnega odboja ni posnelo. Na delih stene, ki so pod pravim kotom glede na instrument, je prišlo do pravih odbojev, medtem ko smo od prelivne

stene, ki je nagnjena, dobili ustrezen odboj le na nekaj točkah. Glede na oddaljenost stojišča od tarče (130 metrov) in na izbrano hitrost skeniranja (1000 hertzov) lahko trdim, da so te napake v odboju nepričakovane. Proizvajalec Leica Geosystems sicer zagotavlja zadosten odboj pri oddaljenostih do 300 metrov od stojišča v optimalnih pogojih skeniranja.



Slika 34. Združeni skenogrami iz stojišč O1, O2 in S2 v prvi terminski izmeri dne 21. 04. 2015.



Slika 35. Združeni skenogrami iz stojišč O1, O2 in S2 v drugi terminski izmeri dne 10. 07. 2015.

Natančnost skeniranja nam podaja proizvajalec Leica Geosystems (Tabela 8).

Tabela 8. Tehnični podatki o skeniranju instrumenta Leica Nova MultiStation MS50 (Geoservis, 2015)

Skeniranje	
Hitrost vrtenja s piezo motornimi pogoni	180° / s
Hitrost / največji 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
Vizualizacija	Vgrajen pregledovalnik 3D oblakov točk, tudi s foto-realističnim obarvanjem oblakov

Glede na izbrano hitrost skeniranja in maksimalno oddaljenost skenerja od prelivne stene, ki znaša 130 metrov, je pričakovana natančnost skeniranja med 2 in 3 milimetre. Iz tabele 8 je razvidno, da z zmanjšanjem hitrosti skeniranja, lahko nekoliko povečamo natančnost skeniranja.

7 IZRAVNAVA GEODETSKE MREŽE

Za določitev stojiščnih in orientacijskih točk za skeniranje, je potrebno izračunati najverjetnejše koordinate točk terestrične mikro mreže Melje s pomočjo posredne izravnave meritev. V izravnavi uporabimo koordinate danih točk (tabela 9), približne koordinate novih točk (tabela 10) ter izračunane sredine girusov in reducirane dolžine (tabela 11 in tabela 12). Izbran je bil lokalni koordinatni sistem, kjer smer osi X horizontalnega koordinatnega sistema predstavlja smer najverjetnejših pričakovanih premikov kontrolnih točk, ki je definirana s smerjo O3 - S2. V višinskem smislu izhodišče predstavlja talna točka O3 [1].

Tabela 9. Koordinate danih točk

Točka	Y [m]	X [m]	h [m]
O3	70,0081	238,1196	10,0000
O4	111,2209	246,7633	9,9650

Tabela 10. Približne koordinate novih točk

Točka	Y [m]	X [m]	h [m]
S2	99,9624	244,5430	11,62372
S1	76,4370	239,8970	11,49228
O1	88,8120	131,0780	17,16487
O2	146,8820	112,7820	18,66792

Tabela 11. Sredine horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in reducirane dolžine meritev, ki smo izvajali dne 21.04.2015.

OD	DO	Horizontalna smer [° ' "]	Zenitna razdalja [° ' "]	Reducirana dolžina [m]
S1	O2	0 00 00,00	87 08 10,97	145,3302
S1	O1	22 30 22,42	86 58 53,41	109,5188
S1	O3	103 41 28,34	103 40 19,73	6,6748
S1	S2	287 49 12,36	90 19 02,92	23,9797
S1	O4	287 47 37,49	92 40 48,38	35,4490
S2	O2	0 00 00,00	86 58 14,31	139,8668
S2	O1	25 12 46,68	87 02 02,56	114,0103
S2	O3	97 31 44,95	92 47 17,57	30,6408
S2	O4	278 20 51,47	97 34 43,51	11,4699
S2	S1	98 25 41,54	89 41 08,00	23,9797
O1	O3	0 00 00,00	93 53 55,43	108,6955
O1	S1	3 28 43,69	93 01 24,14	109,5186
O1	S2	15 34 45,06	92 58 14,22	114,0102
O1	O4	20 55 23,82	93 36 48,84	117,8502
O1	O2	117 27 25,67	88 35 39,78	60,8846
O2	O3	0 00 00,00	93 27 58,08	147,0520
O2	S1	2 31 38,68	92 52 07,92	145,3297
O2	S2	11 55 16,16	93 02 04,42	139,8664
O2	O4	16 36 55,75	93 41 19,70	138,6667
O2	O1	319 00 42,26	91 24 35,64	60,8844

Tabela 12. Sredine horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in reduciranih dolžin meritev, ki smo jih izvajali dne 10.07.2015.

OD	DO	Horizontalna smer [° '"]	Zenitna razdalja [° '"]	Reducirana dolžina [m]
S1	O2	0 00 00,00	87 03 48,75	145,3373
S1	O1	22 30 28,96	86 53 17,21	109,5426
S1	O3	103 31 37,49	102 10 26,96	6,7123
S1	S2	287 50 59,92	89 43 51,73	23,9152
S1	O4	287 48 40,60	92 23 51,68	35,4433
S2	O2	0 00 00,00	86 59 41,77	139,8708
S2	O1	25 12 36,87	87 03 57,24	114,0038
S2	O3	97 32 18,82	92 55 03,63	30,6121
S2	O4	278 21 59,20	97 53 38,72	11,4986
S2	S1	98 29 12,10	90 16 03,93	23,9150
O1	O3	0 00 00,00	93 53 47,38	108,6969
O1	S1	3 29 49,18	93 06 42,40	109,5425
O1	S2	15 33 54,79	92 56 02,08	114,0039
O1	O4	20 55 25,49	93 36 40,24	117,8508
O1	O2	117 27 20,51	88 35 19,49	60,8836
O2	O3	0 00 00,00	93 27 53,29	147,0518
O2	S1	2 32 37,31	92 56 11,37	145,3371
O2	S2	11 54 35,24	93 00 18,98	139,8709
O2	O4	16 36 56,65	93 41 16,74	138,6651
O2	O1	319 00 36,95	91 24 40,90	60,8836

7.1 Horizontalna izravnava

Za določitev definitivnih horizontalnih koordinat točk mikro mreže smo uporabili izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Uporabili smo program RamWin (avtorji: T.Ambrožič, G.Turk), ki je prosto dostopen za uporabo.

Vhodna datoteka za program RamWin ima končnico *.pod. Datoteka vsebuje koordinate danih točk, približne koordinate novih točk, opazovanja (horizontalne smeri, reducirane dolžine), podatke o natančnosti opazovanih smeri in dolžin, razdelbo kroga ter natančnost izpisa rezultatov (Priloga C).

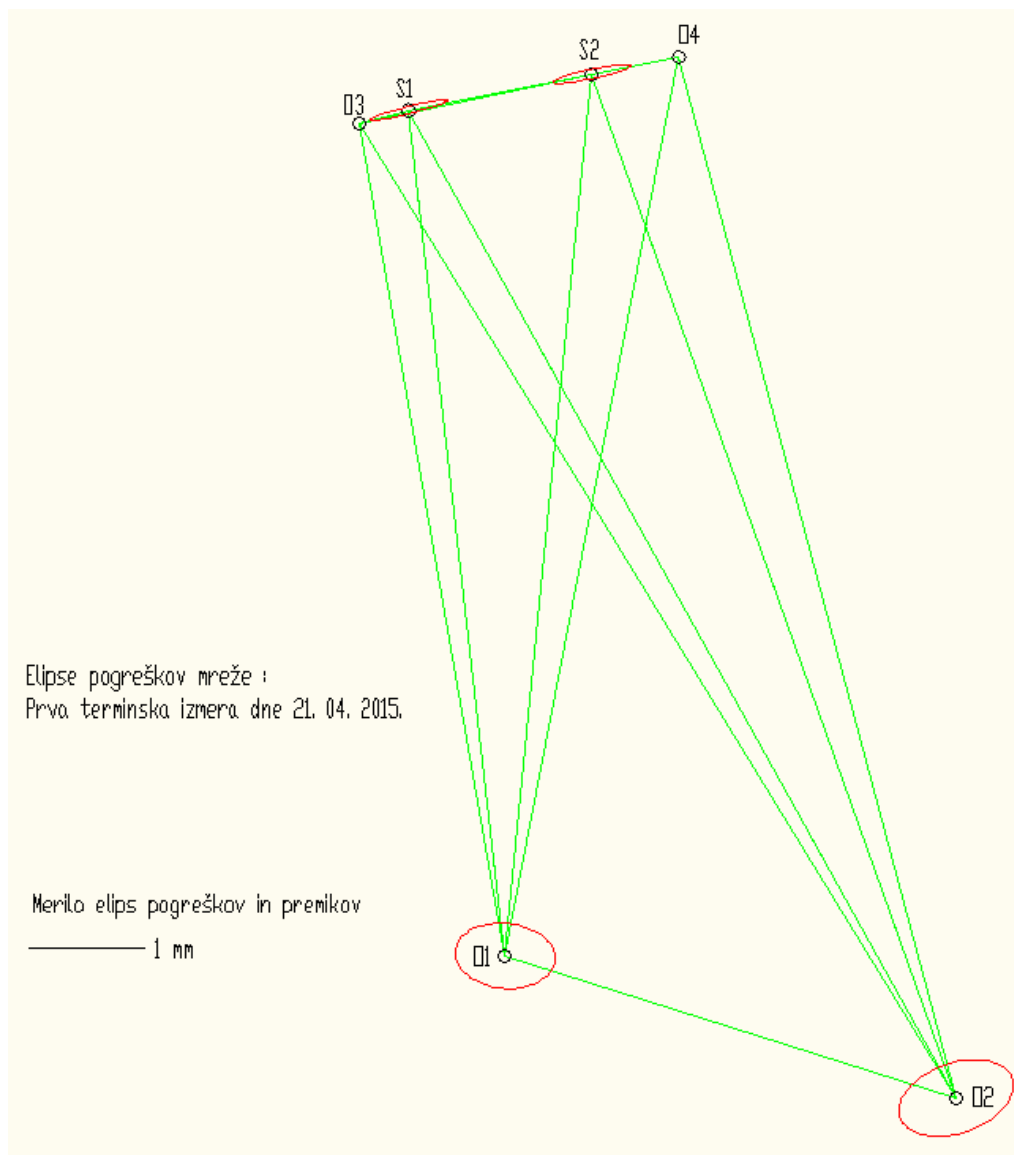
Rezultati izravnave so definitivne koordinate novih točk, ocena natančnosti določitve položaja novih točk – natančnost v smeri koordinatnih osi in elipse pogreškov, ter ocena natančnosti meritev (Priloga D).

Dve stabilni točki O3 in O4 določata geodetski datum v terestrični mikro mreži Melje. Natančnost koordinat novih točk je odvisna od natančnosti opazovanj, oblike mreže in vrste opazovanj.

V nadaljevanju podajamo rezultate izravnave dveh terminskih izmer (tabela 13 in tabela 14) ter grafično prikazemo doseženo natančnost s pomočjo standardnih elips pogreškov (slika 36 in slika 37). Za prikaz standardnih elips pogreškov smo uporabili program DemoGem, ki je dostopen za uporabo le na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (avtorji: T.Ambrožič, G.Turk, Z.Jamšek).

Tabela 13. Izravnane horizontalne koordinate iz meritev 21. 04. 2015.

Točka	Y [m]	X [m]	My [m]	Mx [m]	Mp [m]	a [m]	b [m]	Θ [°]
S2	99,9711	244,5257	0,0003	0,0001	0,0003	0,0003	0,0000	78
S1	76,4465	239,8808	0,0003	0,0001	0,0003	0,0003	0,0000	76
O1	88,8135	131,0627	0,0004	0,0003	0,0005	0,0004	0,0003	96
O2	146,8817	112,7603	0,0005	0,0003	0,0006	0,0005	0,0003	71

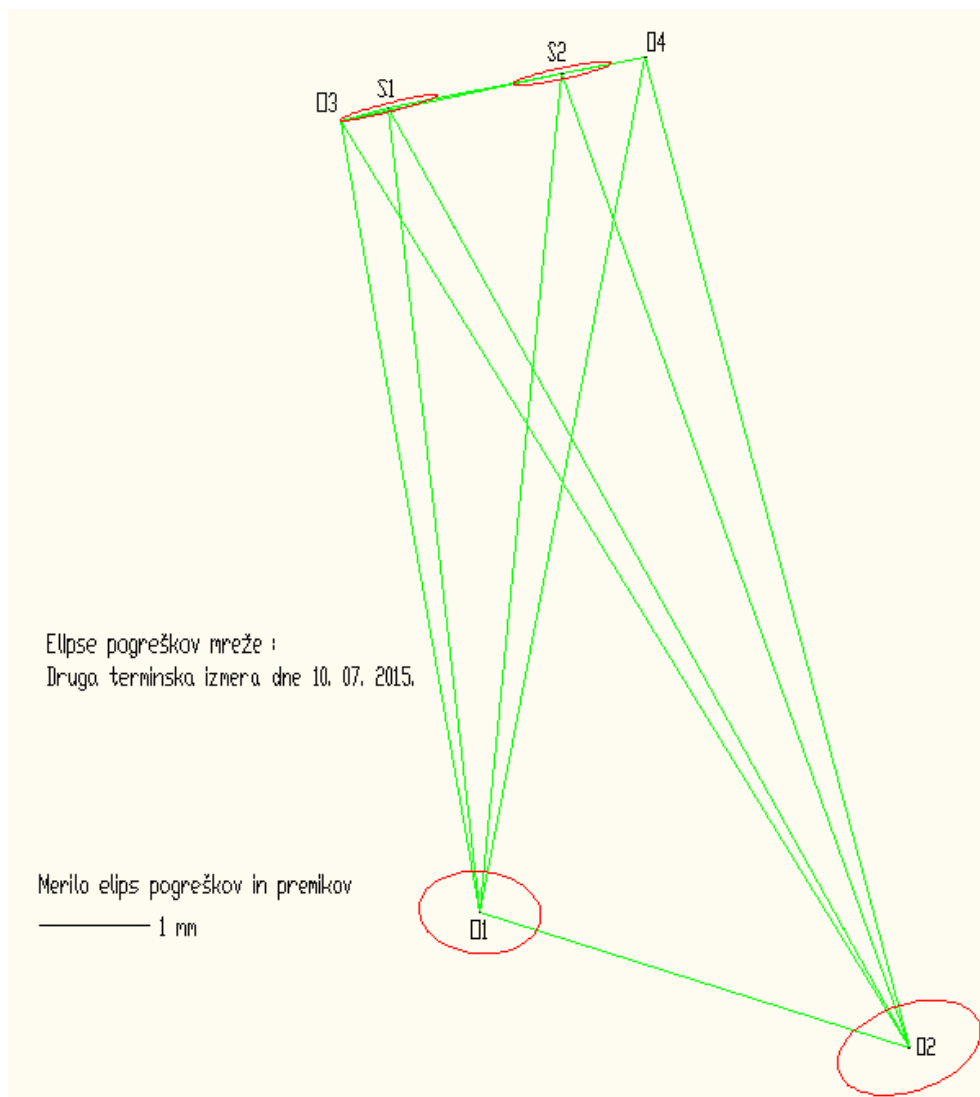


Slika 36. Prikaz geodetske mreže in standardnih elips pogreškov prve terminske izmera dne 21. 04. 2015

Iz pridobljenih parametrov absolutnih elips pogreškov na osnovi meritev, ki smo jih opravljali 21. 04. 2015, lahko sklepamo, da je natančnost koordinat geodetske mreže pričakovano visoka. Tako visoko natančnost smo pridobili zaradi ustrezne izbire instrumentarija in merske opreme ter načina opravljanja meritev. Merili smo v 7 girusih v obeh krožnih legah obojestransko med točkami S1, S2, O1 in O2 ter enostransko na talni točki O3 in O4.

Tabela 14. Izravnane horizontalne koordinate iz meritev 10. 07. 2015.

Točka	Y [m]	X [m]	My [m]	Mx [m]	Mp [m]	a [m]	b [m]	Θ [°]
S2	99,9427	244,5212	0,0004	0,0001	0,0005	0,0004	0,0001	78
S1	76,4782	239,9075	0,0004	0,0001	0,0005	0,0004	0,0000	76
O1	88,8162	131,0617	0,0006	0,0004	0,0007	0,0006	0,0004	96
O2	146,8843	112,7626	0,0006	0,0004	0,0008	0,0007	0,0004	71



Slika 37. Prikaz geodetske mreže in standardnih elips pogreškov druge terminske izmere dne 10. 07. 2015

Iz pridobljenih parametrov absolutnih elips pogreškov na osnovi meritev, ki smo jih opravljali 10. 07. 2015, lahko sklepamo, da je natančnost koordinat geodetske mreže, ne glede na to, da je nekoliko slabša kot v prvi izmeri, pričakovano visoka. Tako visoko natančnost smo pridobili zaradi ustrezne izbire instrumentarija in merske opreme ter načina opravljanja meritev. Merili smo v 7 girusih v obeh krožnih legah na enak način kot v prvi izmeri. Na slabšo natančnost meritev so vplivale nekoliko slabše atmosferske razmere.

Na osnovi prve terminske izmere dne 21. 04. 2015 smo definirali geodetski datum horizontalne in višinske mreže ter določili najverjetnejše koordinate točk v mikro mreži Melje. Na osnovi druge terminske izmere dne 10. 07. 2015 smo ob uporabi identičnega geodetskega datuma ugotavljali stabilnost referenčnih točk in določili projektni koordinatni sistem skenogramov.

7.2 Višinska izravnava

Pri višinski izravnavi smo uporabili program VimWin in vhodno datoteko s končnico *.pod (Priloga E). Datoteka vsebuje podatke o številu izpisa decimalnih mest, seznamu višin danih reperjev ter približnih višin novih reperjev, utežni enoti ter seznamu opazovanj (višinska razlika in poševna razdalja). Rezultati izravnave so definitivne višine novih točk, popravek višine ter srednji pogrešek višine (Priloga D).

Višinske razlike smo računali po enačbi:

$$\Delta h_a^b = S_k \cdot \cos(z_{k_a}^b) + \frac{S_k^2}{2 \cdot R} \cdot (1 - k) \cdot \sin(z_{k_a}^b), \text{ kjer je} \quad (19)$$

S_k – vrednost dolžine na nivoju točk (kamen - kamen)

R – radij Zemlje ($R = 6\,370\,000$ m)

k – koeficient refrakcije ($k = 0,13$)

$z_{k_a}^b$ - merjena zenitna razdalja s točke a na točko b .

Tabela 15. Izravnane višine točk prve terminske izmere dne 21. 04. 2015.

Reper	Približna višina [m]	Popravek višine [m]	Definitivna višina [m]	Srednji pogrešek višine [m]
O1	17,1604	0,00188	17,16228	0,00050
O2	18,6601	0,00090	18,66100	0,00053
S1	11,5150	-0,06719	11,44781	0,00022
S2	11,4960	0,06363	11,55963	0,00026

Tabela 16. Izravnane višine točk druge terminske izmere dne 10. 07. 2015.

Reper	Približna višina [m]	Popravek višine [m]	Definitivna višina [m]	Srednji pogrešek višine [m]
O1	17,16228	-0,00033	17,16195	0,00037
O2	18,66100	-0,00045	18,66055	0,00040
S1	11,44781	0,00004	11,44785	0,00019
S2	11,55963	0,00004	11,55967	0,00022

Iz pridobljenih rezultatov, prikazanih v tabelah (tabela 15 in tabela 16) sklepamo, da je natančnost višinske geodetske mreže pričakovano visoka. Tako visoko natančnost smo pridobili zaradi ustrezne izbire instrumentarija in merske opreme ter načina opravljanja meritev. Merili smo v 7 girusih v obeh krožnih legah obojestransko med točkami S1, S2, O1 in O2 ter enostransko na talni točki O3 in O4.

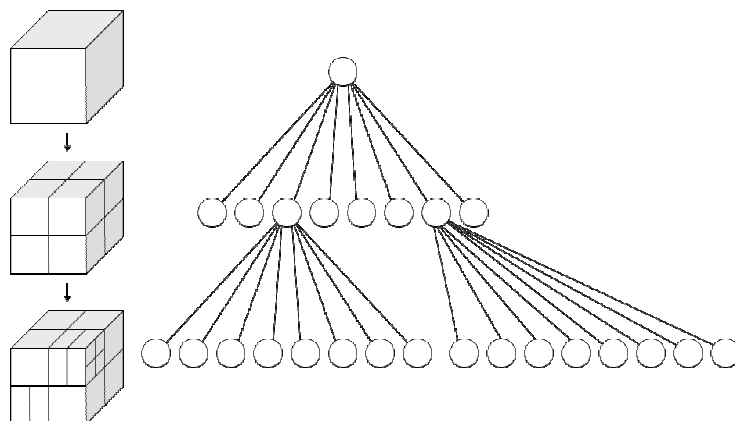
8 IZRAČUN DEFORMACIJ PRELIVNE STENE MHE MELJE

Za skeniranje smo uporabili instrument Leica Nova MultiStation MS50, ki omogoča direktno pridobitev georeferenciranega oblaka točk. Skenograme iz vseh treh stojišč smo vklopili v projektni koordinatni sistem oziroma na izravnano mikro mrežo male hidroelektrarne Melje v posamezni terminski izmeri. Instrument smo prisilno centriral na točke mreže. Za orientacijo smo izmerili 5 girusov proti ostalim točkam mreže.

Pri izračunu deformacij prelivne stene smo uporabljali dva podobna odprto kodna programa, in sicer MeshLab in Cloud Compare.

MeshLab je računalniški program za obdelavo oblakov točk, ki uporabniku pomaga pri čiščenju, filtriranju, popravljanju in pridobitvi nestrukturiranih 3D trikotniških mrež. Orodje se večinoma uporablja za osnovno uporabo na trikotniških mrežah, ki so bile posnete s 3D skeniranjem. Program vsebuje številne opcije med katerimi smo mi uporabili opcijo „Freeze Current Matrix“, s katero smo zamrznili matriko poljubnega sektorja prve terminske izmere, da bi med uporabo ostalih funkcij osnovni podatki ostali nespremenjeni. Z opcijo „Define New Per Vertex Attribute“ smo definirali vrednost, katero bomo izračunali. Uporabili smo tudi opcijo „Hausdorff Distance“, katera določa oddaljenosti med oblakoma točk ter izpiše minimalne, maksimalne in srednje vrednosti razdalj med oblakoma točk in opcijo „Quality Mapper“ za določanje barv posameznemu sektorju poljubnega oblaka točk. Na koncu smo uporabili opcijo „Show Quality Histogram“ za izris barvnega histograma za vrednost, ki smo je definirali s funkcijo „Define New Per Vertex Attribute“.

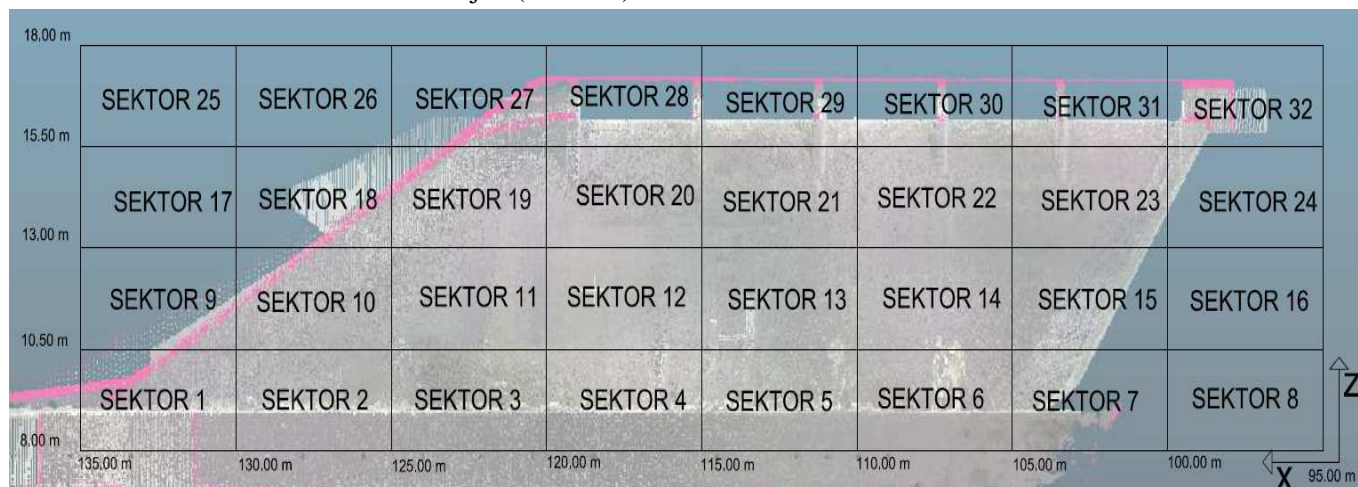
Cloud Compare je 3D program, s katerim obdelujemo oblak točk. Glavni namen programa je primerjava dveh 3D oblakov točk ali primerjava oblaka točk in trikotniške mreže. Njegova specifična octree struktura omogoča izjemne možnosti v svojih posameznih funkcijah (slika 38).



Slika 38. Razlaga octree strukture (<http://www.jara.org>, 2015.)

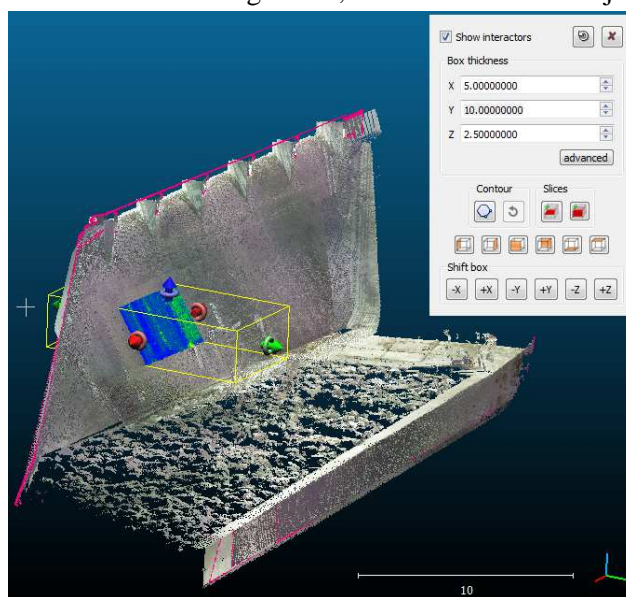
Orodje omogoča obdelavo do 120 milijonov točk in do 2 gigabajtov podatkov. Splošni dodatek, ki ga program vsebuje, omogoča obdelavo oblaka točk s številni algoritmi za registracijo, statistično obdelavo, upravljanje s senzorji, interaktivno ali avtomatsko segmentacijo in ostale. Pri izračunu deformacij smo uporabili opcijo „Merge Multiple Clouds“, katera omogoča združitev več oblakov točk v enega samega in opcijo „Segment“, s katero odstranimo neuporabne, moteče, slučajno zajete točke. Uporabili smo tudi opcijo „Cross Section“ pri izdelavi sektorjev, ki so prikazani v nadaljevanju ter na koncu opcijo „Cloud/Cloud Dist.“, s katero smo določali vertikalne, poševne in ostale oddaljenosti med oblakoma točk.

Odločili smo se, da bomo prelivno steno razdelili na kvadre enakih velikosti, in sicer 5 x 10 x 2,5 metra. Na ta način smo dobili 32 sektorjev (Slika 39).



Slika 39. Razdelitev prelivne stene na sektorje

Za izdelavo sektorjev smo uporabili opcijo „Cross Section“. Kvadre dimenzij 5 x 10 x 2,5 metra je bilo potrebno raztegniti v smeri pravokotno na prelivno steno, tako da v nadaljevanju lahko izračunamo in prikažemo deformacije prelivne stene (slika 40). Zaradi nagnjenosti stene smo za tretjo dimenzijo kvadra vzeli 10 metrov in s tem zagotovili, da v smeri te dimenzije zajamemo vse točke.



Slika 40. Prikaz izdelave sektorja 12

Tabela 17. Primer: koordinate oglišč kvadra/sektorja 12

Oglišča kvadra 12	x [m]	y [m]	z [m]
1	120,00	102,00	10,50
2	115,00	102,00	10,50
3	115,00	102,00	13,00
4	120,00	102,00	13,00
5	120,00	112,00	10,50
6	115,00	112,00	10,50
7	115,00	112,00	13,00
8	120,00	112,00	13,00

Deformacije prelivne stene smo izračunali v programu MeshLab s pomočjo opcije „Hausdorff Distance“, ki omogoča izračun vertikalnih, poševnih in ostalih oddaljenosti med oblakoma ter izpisuje minimalne, maksimalne in srednje vrednosti razdalj med oblakoma. Pred izračunom z opcijo „Hausdorff Distance“ smo poskušali izbrisati vse točke, ki se ne nahajajo na prelivni steni oziroma so izven definiranih 32 sektorjev. Za neodvisno kontrolo smo izračun razdalj naredili tudi s programom Cloud Compare in opcijo „Cloud/Cloud Dist.“. Rezultati izračuna s programom MeshLab so prikazani v Tabeli 18.

Tabela 18. Izračunane minimalna in maksimalna razdalja ter srednja vrednost oddaljenosti med dvema terminskima izmerama za posamezne sektorje

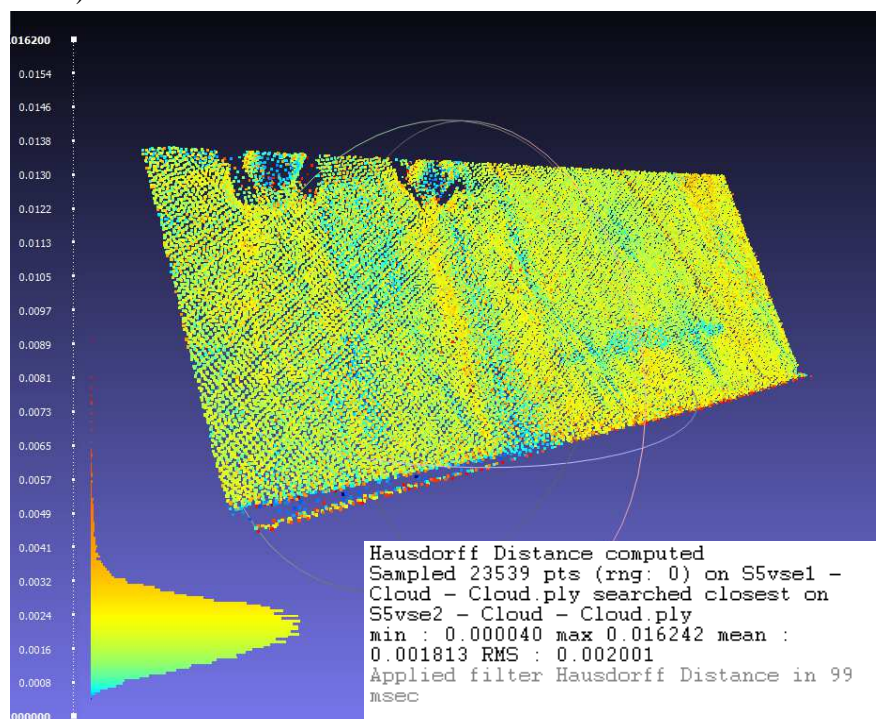
PRIMERJAVA DVEH SKENOGRAMOV – IZRAČUN DEFORMACIJ				
SEKTOR	Maksimalna razdalja [m]	Srednja vrednost [m]	RMS (σ)	Srednja vrednost [m] / RMS (σ)
1	0,0499	0,0039	0,0081	0,5
2	0,0342	0,0027	0,0030	0,9
3	0,0128	0,0018	0,0020	0,9
4	0,0400	0,0026	0,0046	0,6
5	0,0162	0,0018	0,0020	0,9
6	0,0075	0,0015	0,0017	0,9
7	0,0195	0,0026	0,0030	0,9
8	PRAZEN KVADER			
9	0,0489	0,0033	0,0058	0,6
10	0,0163	0,0021	0,0023	0,9
11	0,0072	0,0014	0,0016	0,9
12	0,0062	0,0017	0,0019	0,9
13	0,0071	0,0017	0,0018	0,9
14	0,0038	0,0014	0,0015	0,9
15	0,0522	0,0013	0,0015	0,9
16	PRAZEN KVADER			
17	PRAZEN KVADER			
18	0,0187	0,0041	0,0044	0,9
19	0,0125	0,0016	0,0018	0,9
20	0,0142	0,0017	0,0019	0,9
21	0,0065	0,0018	0,0019	0,9
22	0,0058	0,0016	0,0017	0,9
23	0,0069	0,0015	0,0016	0,9
24	0,0096	0,0028	0,0030	0,9
25	PRAZEN KVADER			
26	PRAZEN KVADER			
27	0,0477	0,0027	0,0038	0,7
28	0,0180	0,0023	0,0026	0,9
29	0,0168	0,0024	0,0027	0,9
30	0,0123	0,0022	0,0025	0,9
31	0,0252	0,0026	0,0038	0,7
32	0,0454	0,0039	0,0073	0,5

Maksimalna razdalja predstavlja največjo razdaljo med skenogramoma, ki jo je program zaznal. Srednja vrednost je določena kot kvocient seštevka vseh vrednosti razdalj med točkami v posameznem sektorju in številom točk v sektorju. RMS (Root Mean Square) predstavlja statistično mero razpršenosti opredeljeno kot kvadratni koren povprečja kvadratov vzorca. Zadnji stolpec podaja

razmerje med srednjo vrednostjo oddaljenosti in RMS, iz katerega lahko sklepamo o značilnih premikih. Glede na to, da so vse vrednosti v zadnjem stolpcu manjše od 1, sklepamo, da je razpršenost večja od premika. Če bi bila vrednost večja od 2 ali 3, bi lahko trdili, da je prišlo do značilnega premika.

Iz tabele 17 je razvidno, da smo dobili najslabše natančnosti (največji RMS) za odseke (sektorji 1, 9 in 18), ki se nahajajo na robovih prelivne stene. Do slabih rezultatov pride zaradi točk, ki ne pripadajo prelivni steni, ampak jih je instrument vseeno zajel. Slabi rezultati so tudi posledica neizkušnje pri obdelavi oblaka točk, še posebej na robovih objekta. Na sliki 35 prikazan grafični prikaz oddaljenosti med skenogramoma na enem od problematičnih robnih sektorjev. Na vrhu prelivne stene (sektorji 27, 28, 29, 30, 31 in 32) smo imeli enak problem, ker prelivna stena spreminja obliko iz ravne v zavito ploskev. Slika 42 prikazuje sektor, kjer stena spreminja obliko. Ostali sektorji imajo razpršenosti nekaj večje kot je podana natančnost skeniranja proizvajalca Leica Geosystems. Glede na pridobljene rezultate, ki smo jih izpisali v tabeli 17, sklepamo, da metoda terestričnega laserskega skeniranja glede na uporabljeno mersko opremo, gostoto zajema skeniranih točk in metodologijo obdelave skenogramov ni dovolj natančna metoda za izračun deformacij objektov, za katere je zahtevana visoka natančnost v rangi milimetrov.

Za grafični prikaz oddaljenosti med oblakoma smo uporabili program MeshLab, ker ponuja lepšo grafiko. Izbrali smo dva poljubna sektorja ter zanju z barvo prikazali različne oddaljenosti med njima (slika 41 in slika 42).

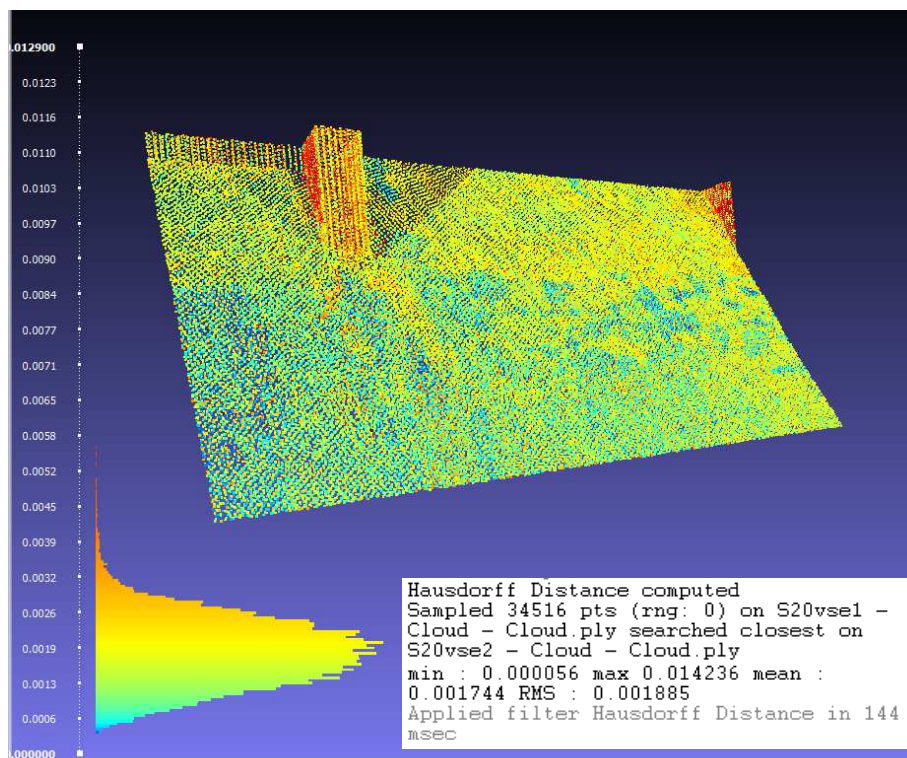


Slika 41. Grafični prikaz oddaljenosti dveh skenogramov v sektorju 5

Tabela 19. Podatki o oddaljenosti med skenogramoma v sektorju 5

Max	0,0162
Mean	0,0018
RMS	0,0020
Srednja vrednost [m] / RMS (σ)	0,9

Grafika vsebuje skalo, ki gre od 0 do 16,2 milimetrov. Večina točk ima oddaljenost med vrednostmi 0 in 4 milimetrov (modra in rumena barva). Največja razdalja med oblakoma znaša 1,6 centimetrov, vendar se zaradi majhnega števila takšnih točk na histogramu ne opazijo. Iz Tabele 19 je razvidno, da smo za srednjo vrednost oddaljenosti dveh skenogramov dobili slaba dva milimetra. Pridobljena natančnost se sklada z deklarirano natančnostjo proizvajalca. Glede na to, da se sektor 5 nahaja na spodnjem robu prelivne stene, sklepamo, da smo pridobili korektne rezultate.



Slika 42. Grafični prikaz oddaljenosti dveh skenogramov v sektorju 20

Tabela 20. Podatki o oddaljenosti med skenogramoma v sektorju 20

Max	0,0142
Mean	0,0017
RMS	0,0019
Srednja vrednost [m] / RMS (σ)	0,9

Grafika vsebuje skalo, ki gre od 0 do 13 milimetrov. Večina točk ima oddaljenost med vrednostmi 0 in 3 milimetre (modra in rumena barva). Največja razdalja je 1,2 centimetra, vendar se zaradi majhnega števila takšnih točk na histogramu ne opazijo. Sektor 20 se nahaja na vrhu prelivne stene, kjer prelivna stena spreminja obliko iz ravne v zavito ploskev. Zaradi tega smo v sektorju 20 za srednjo vrednost oddaljenosti dveh skenogramov pridobili rezultat velikosti 1,7 milimetrov (tabela 20). Pridobljena natančnost se sklada z deklarirano natančnostjo proizvajalca. Glede na položaj na prelivni steni male hidroelektrarne Melje sklepamo, da smo pridobili korektne rezultate.

9 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi je predstavljena uporaba tehnologije terestričnega laserskega skeniranja na primeru prelivne stene male hidroelektrarne Melje z namenom ugotavljanja deformacij.

Prednosti terestričnega laserskega skeniranja so, da pri uporabi metode ni bilo potrebno priti v neposredni stik s prelivno steno. Skener je v kratkem času posnel zelo gosto mrežo točk s 3D koordinatami. Natančnost, ki jo ponuja terestrično lasersko skeniranje je za številne geodetske naloge ustrezna, ni pa primerljiva z najnatančnejšimi geodetskimi metodami določanja 3D koordinat točk. Podatke smo obdelali z dvema računalniškima programoma, ki sta prosto dostopna na internetu. Opisan je tudi postopek obdelave podatkov z uporabo programov CloudCompare in MeshLab. Z uporabo terestričnega laserskega skeniranja smo pridobili podroben prikaz posnetega območja.

Namen diplomske naloge je bil preučiti primernost uporabe tehnologije laserskega skenerja za ugotavljanje premikov. Ob izdelavi diplomske naloge sem se spoznal z vsemi fazami terestričnega laserskega skeniranja, in sicer: terenskimi meritvami, združitvijo skenogramov ter obdelavo oblaka točk. Terenske meritve smo opravljali skupaj s študenti druge stopnje študijskega programa Geodezija in geoinformatika Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, obdelavo podatkov pa sem izvedel samostojno s pomočjo nasvetov mentorice in somentorja.

Osnovni cilj diplomske naloge je bil testiranje novega instrumenta Leica Nova MultiStation MS50 ter izračun deformacij prelivne stene male hidroelektrarne Melje na osnovi laserskega skeniranja. Ugotovimo lahko, da je postopek laserskega skeniranja z omenjenim instrumentom na terenu hiter in enostaven, saj omogoča direktno georeferenciranje oblaka točk, kar pri klasičnih skenerjih predstavlja določen problem. Za obdelavo oblakov točk so na voljo številni prosto dostopni programi, katerih zanesljivost rezultatov je potrebno podrobno testirati. Izbrana programa CloudCompare in MeshLab omogočata obdelavo oblaka točk in izdelavo 3D modela, vendar je za zanesljive rezultate potrebno imeti veliko izkušenj.

Testirali smo hipotezo ali je metoda terestričnega laserskega skeniranja ob uporabi merskega instrumenta Leica Nova Multistation MS50 primerna za ugotavljanje premikov in prišli do nekaterih ugotovitev.

- Srednja vrednost oddaljenosti med dvema terminskima izmerama za celotno prelivno steno znaša 2,2 milimetra, srednja vrednost statistične mere razpršenosti (RMS) pa 2,9 milimetrov, kar je skladno s podanimi tehničnimi specifikacijami instrumenta glede dosegljive natančnosti skeniranja na določenih razdaljah. Iz tega lahko sklepamo, da so premiki prelivne stene male hidroelektrarne Melje majhni in niso statistično značilni.
- Na osnovi meritev z instrumentom Leica Nova Multistation MS50 in rezultatov obdelave oblaka točk lahko sklepamo, da za zadovoljive rezultate stojišče, iz katerega izvajamo meritve, ne sme biti od skeniranega objekta oddaljeno več kot 100 metrov.
- Zaradi omejene natančnosti z metodo skeniranja ni mogoče zaznati zelo majhnih premikov objekta velikostnega reda milimetra.

Zaključim torej lahko, da z uporabljenimi metodologijami ne moremo zaznati premikov manjših od ~5 mm. Na obravnavanem primeru nismo zaznali premikov tudi zato, ker se prelivna stena dejansko ne premika, kar se v dveh izmerah na leto ugotavlja tudi s klasičnimi terestričnimi metodami izmere. Postopek primerjave oblakov točk temelji na računanju razdalj med posameznimi točkami oblaka, ki

imajo relativno slabo položajno natančnost. Premike bi določili natančneje, če bi iz velike množice skeniranih točk izravnali parametre geometrijskih oblik, ki bi imeli, zaradi velike nadštevilnosti, visoko natančnost.

Za prihodnost predlagam, da skeniranje opravimo iz več kot 3 stojišč. Predlagam tudi, da se zmanjša hitrost skeniranja in poveča gostota skeniranih točk, saj bi tako pridobili natančnejše rezultate. Za obdelavo oblakov točk si je potrebno vzeti dovolj časa ter pazljivo odstraniti vse točke, ki se ne nahajajo na prelivni steni in niso njen del. Le na tak način bi pridobili bolj natančne in zanesljive rezultate.

VIRI

- [1] Savšek S., Kogoj D., Ambrožič T., Kregar K., Štebe G. 2014. Poročilo o specialnih geodetskih meritvah v območju sidra S2 na jezu Melje, 7. Geodetska izmera horizontalnih in vertikalnih premikov geodetskih točk. Ljubljana, 30 str.
- [2] Vodopivec F., Kogoj D. 2005. Nov način precizne stabilizacije geodetskih točk za opazovanje premikov, Geodetski vestnik (25.feb.2005) 49, str. 9 – 17.
- [3] Hostnik, A. 2013. Analiza postopkov obdelave podatkov terestričnega laserskega skeniranja v programu RiSCAN PRO. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo (samozaložba A. Hostnik): 66 str.
- [4] Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdeljmeri. 1. izdaja. 2. natis. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 159 str.
- [5] Opravš, P. 2008. Postopek in natančnost tehnologije 3R terestričnega laserskega skeniranja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Opravš): 102 str.
- [6] Vosselman, G., Maas, H-G. 2010. Airborne and terrestrial laser scanning. Dunbeath, Whittles Publishing: 320 str.
- [7] Kastelic, M. 2010. Obdelava podatkov laserskega skeniranja v programu Geomagic na primeru Mislejevega portala. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Kastelic): 95 str.

Ostali viri

Kolenc, R. 2004. Terestrično 3D lasersko skeniranje. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 93 str.

Jenič M., Pavelić F., Spreicer M. 2015. Geodetska izmera deformacij prelivne stene male hidroelektrarne Melje. Tehnično poročilo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 44 f.

Konič, S. 2008. Prispevek k preverjanju zdrsa skalnega bloka z modelom medsebojne preslikave oblakov točk. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta (samozaložba S. Konič): 115 str.

Mala hidroelektrarna Melje. 2014.
https://sl.wikipedia.org/wiki/Mala_hidroelektrarna_Melje (Pridobljeno 30.06.2015.)

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 07.07.2015.)

Mala hidroelektrarna Melje. 2014.
<http://www.dem.si/sl-si/Elektrarne-in-proizvodnja/Elektrarne/Mala-HE-Melje>
(pridobljeno 07.07.2015.)

Pravilnik o tehničnem opazovanju visokih jezov. 1966.
http://www.e-konstrukcije.si/user_files/vsebina/Zakonodaja/SFRJ_66_7_81.pdf
(pridobljeno 07.07.2015.)

Zakon o varstvu okolja. 2006.
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2006-01-1682> (pridobljeno 07.07.2015.)

Precizna stabilizacija geodetskih točk. 2005.
http://www.geodetski-vestnik.com/49/1/gv49-1_009-017.pdf (pridobljeno 08.07.2015.)

Tehnični podatki o Leica Nova MultiStation MS50. 2015.
<http://www.geoservis.si/produkti/64-tahimetri-za-geodezijo-in-inzenirsko-geodezijo/244-leica-nova-ms50-multistation> (pridobljeno 08.07.2015.)

Tehnični podatki o reflektorjih Leica GPH1P. 2015.
http://www.leica-geosystems.com/en/Surveying-Prisms_1770.htm (pridobljeno 08.07.2015.)

Trigonometrično višinomerstvo. 2015.
http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Pouk/Gradb/Tv/trig_vis.html (pridobljeno 20.07.2015.)

Program MeshLab. 2015.
<https://en.wikipedia.org/wiki/MeshLab> (pridobljeno 24.08.2015.)

Program MeshLab. 2015
<http://www.stefanocostanzo.net/g3d/comparison/> (pridobljeno 24.08.2015.)

Program Cloud Compare. 2015.
<https://en.wikipedia.org/wiki/CloudCompare> (pridobljeno 24.08.2015.)

»Ta stran je namenoma prazna.«

SEZNAM PRILOG

Priloga A. Vhodna datoteka za izračun sredin girusov (HE MELJE-turcic.fld)	A1
Priloga B. LisCad poročilo o sredinah girusov (LisCad report-21.5- pravi.txt)	B1
Priloga C. Vhodna datoteka za položajno izravnavo (položaj.pod)	C1
Priloga D. Poročilo položajne izravnave programa RamWin (položaj.rez)	D1
Priloga E. Vhodna datoteka za višinsko izravnavo (višina.pod)	E1
Priloga F. Poročilo višinske izravnave programa VimWin (višina.rez)	F1

»Ta stran je namenoma prazna.«

**PRILOGA A: VHODNA DATOTEKA ZA IZRAČUN SREDIN GIRUSOV (MELJE.fld) – prva
terminalska izmera 21. 04. 2015.**

```
1      010  MS50   HE MELJE.txt
2      011  Tuesday, May 19, 2015
3      051  GR
4      053  M
5      021  XY
900    062  O3    70.0081 238.1196 10.0000
901    062  O4    111.2209 246.7633 9.9650
902    062  O1    88.8150 131.0625 17.1604
903    062  O2    146.8835 112.7614 18.6601
904    062  S1    76.4460 239.8820 11.5150
905    062  S2    99.9720 244.5260 11.4960
500    101          S1    0
6      160          4      14    0
78     111          O2    0.001620 96.818210 145.5111 0000000000
79     111          O1    25.008310 96.645890 109.6703 0000000000
80     111          O3    115.214370 115.191720 6.8694 0000000000
81     111          S2    319.801850 100.352710 23.9798 0000000000
82     111          O4    319.771660 102.978390 35.4875 0000000000
83     111          O4    119.772410 297.021380 35.4877 0000000000
84     111          S2    119.802320 299.647030 23.9800 0000000000
85     111          O3    315.213850 284.809450 6.8695 0000000000
86     111          O1    225.008760 303.353560 109.6703 0000000000
87     111          O2    200.001950 303.181730 145.5112 0000000000
501    ;
88     111          O2    0.001520 96.818320 145.5111 0000000000
89     111          O1    25.008210 96.645800 109.6704 0000000000
90     111          O3    115.214380 115.192090 6.8695 0000000000
91     111          S2    319.800610 100.353040 23.9799 0000000000
92     111          O4    319.771580 102.977790 35.4875 0000000000
93     111          O4    119.773530 297.022500 35.4877 0000000000
94     111          S2    119.801880 299.647350 23.9801 0000000000
95     111          O3    315.213490 284.809560 6.8695 0000000000
96     111          O1    225.008630 303.353640 109.6703 0000000000
97     111          O2    200.001730 303.181730 145.5112 0000000000
503    ;
98     111          O2    0.001190 96.818040 145.5111 0000000000
99     111          O1    25.008160 96.645890 109.6703 0000000000
100    111          O3    115.214480 115.191940 6.8694 0000000000
101    111          S2    319.802010 100.352630 23.9798 0000000000
102    111          O4    319.773430 102.976690 35.4875 0000000000
103    111          O4    119.771860 297.022490 35.4878 0000000000
104    111          S2    119.802370 299.647420 23.9800 0000000000
105    111          O3    315.213810 284.809280 6.8695 0000000000
106    111          O1    225.009100 303.353630 109.6704 0000000000
107    111          O2    200.001980 303.181740 145.5113 0000000000
505    ;
108    111          O2    0.001440 96.818080 145.5110 0000000000
109    111          O1    25.008490 96.646010 109.6703 0000000000
110    111          O3    115.214840 115.191950 6.8695 0000000000
111    111          S2    319.801390 100.352950 23.9798 0000000000
112    111          O4    319.772110 102.977500 35.4875 0000000000
113    111          O4    119.773080 297.022220 35.4878 0000000000
114    111          S2    119.802310 299.647400 23.9800 0000000000
115    111          O3    315.213830 284.809350 6.8695 0000000000
116    111          O1    225.009100 303.353550 109.6704 0000000000
117    111          O2    200.002030 303.181740 145.5112 0000000000
507    ;
118    111          O2    0.001470 96.818170 145.5110 0000000000
119    111          O1    25.008370 96.645870 109.6702 0000000000
120    111          O3    115.214620 115.191910 6.8694 0000000000
121    111          S2    319.800880 100.353170 23.9798 0000000000
122    111          O4    319.771840 102.978980 35.4876 0000000000
123    111          O4    119.774350 297.021520 35.4877 0000000000
124    111          S2    119.802560 299.646970 23.9800 0000000000
125    111          O3    315.213580 284.809330 6.8696 0000000000
126    111          O1    225.009000 303.353480 109.6704 0000000000
127    111          O2    200.001980 303.181910 145.5112 0000000000
509    ;
128    111          O2    0.001480 96.818350 145.5111 0000000000
129    111          O1    25.008330 96.645910 109.6702 0000000000
130    111          O3    115.214860 115.191970 6.8694 0000000000
131    111          S2    319.801540 100.352510 23.9798 0000000000
132    111          O4    319.772490 102.977710 35.4874 0000000000
```

133	111	O4	119.772600	297.022200	35.4877	0000000000
134	111	S2	119.802160	299.647270	23.9800	0000000000
135	111	O3	315.214060	284.809430	6.8695	0000000000
136	111	O1	225.009380	303.353990	109.6705	0000000000
137	111	O2	200.002310	303.181840	145.5113	0000000000
511						
138	111	O2	0.002140	96.818340	145.5109	0000000000
139	111	O1	25.008930	96.645860	109.6702	0000000000
140	111	O3	115.215370	115.192040	6.8694	0000000000
141	111	S2	319.802840	100.352560	23.9798	0000000000
142	111	O4	319.773510	102.977510	35.4875	0000000000
143	111	O4	119.772860	297.021730	35.4877	0000000000
144	111	S2	119.802510	299.647580	23.9800	0000000000
145	111	O3	315.214440	284.809360	6.8695	0000000000
146	111	O1	225.009770	303.353800	109.6705	0000000000
147	111	O2	200.002840	303.182000	145.5111	0000000000
161	161					
513						
502	101	S2	0			
515	160	14	0			
153	111	O2	0.001240	96.633880	140.0619	0000000000
154	111	O1	28.016010	96.704280	114.1628	0000000000
155	111	O3	108.367430	103.097630	30.6768	0000000000
156	111	O4	309.277950	108.420560	11.5708	0000000000
157	111	S1	109.366720	99.651060	23.9799	0000000000
158	111	S1	309.366300	300.348420	23.9801	0000000000
159	111	O4	109.276660	291.579390	11.5710	0000000000
160	111	O3	308.367580	296.901400	30.6770	0000000000
161	111	O1	228.016430	303.295070	114.1628	0000000000
162	111	O2	200.002090	303.365680	140.0620	0000000000
517						
163	111	O2	0.001450	96.633630	140.0617	0000000000
164	111	O1	28.015820	96.703940	114.1626	0000000000
165	111	O3	108.366900	103.097400	30.6767	0000000000
166	111	O4	309.276200	108.421030	11.5709	0000000000
167	111	S1	109.367030	99.650710	23.9798	0000000000
168	111	S1	309.367820	300.349000	23.9800	0000000000
169	111	O4	109.276560	291.579150	11.5710	0000000000
170	111	O3	308.368500	296.901580	30.6770	0000000000
171	111	O1	228.016460	303.295080	114.1629	0000000000
172	111	O2	200.001890	303.365690	140.0621	0000000000
519						
173	111	O2	0.001320	96.633770	140.0618	0000000000
174	111	O1	28.015810	96.704070	114.1627	0000000000
175	111	O3	108.366930	103.096550	30.6767	0000000000
176	111	O4	309.277230	108.421030	11.5709	0000000000
177	111	S1	109.366960	99.649590	23.9798	0000000000
178	111	S1	309.365130	300.349460	23.9800	0000000000
179	111	O4	109.275980	291.578810	11.5709	0000000000
180	111	O3	308.366770	296.901650	30.6770	0000000000
181	111	O1	228.016480	303.295230	114.1628	0000000000
182	111	O2	200.001880	303.365760	140.0620	0000000000
521						
183	111	O2	0.001300	96.633860	140.0617	0000000000
184	111	O1	28.015580	96.703840	114.1625	0000000000
185	111	O3	108.367490	103.096590	30.6768	0000000000
186	111	O4	309.276930	108.420810	11.5708	0000000000
187	111	S1	109.366050	99.651030	23.9799	0000000000
188	111	S1	309.365360	300.349730	23.9801	0000000000
189	111	O4	109.276680	291.579430	11.5710	0000000000
190	111	O3	308.366590	296.901780	30.6771	0000000000
191	111	O1	228.016540	303.294920	114.1628	0000000000
192	111	O2	200.001820	303.365700	140.0620	0000000000
523						
193	111	O2	0.001220	96.633790	140.0618	0000000000
194	111	O1	28.015610	96.704310	114.1626	0000000000
195	111	O3	108.366700	103.097540	30.6769	0000000000
196	111	O4	309.277600	108.421090	11.5708	0000000000
197	111	S1	109.367160	99.649950	23.9798	0000000000
198	111	S1	309.366180	300.349160	23.9800	0000000000
199	111	O4	109.276530	291.579270	11.5709	0000000000
200	111	O3	308.368840	296.899380	30.6770	0000000000
201	111	O1	228.016670	303.295130	114.1627	0000000000
202	111	O2	200.002060	303.365640	140.0619	0000000000
525						
203	111	O2	0.001560	96.633830	140.0617	0000000000
204	111	O1	28.015750	96.704140	114.1627	0000000000

205	111		O3	108.368140	103.096470	30.6769	0000000000
206	111		O4	309.277230	108.420870	11.5708	0000000000
207	111		S1	109.366430	99.649710	23.9799	0000000000
208	111		S1	309.365940	300.348980	23.9801	0000000000
209	111		O4	109.276660	291.579380	11.5709	0000000000
210	111		O3	308.367330	296.901600	30.6770	0000000000
211	111		O1	228.015980	303.295360	114.1627	0000000000
212	111		O2	200.002180	303.365830	140.0619	0000000000
527							
213	111		O2	0.001500	96.633760	140.0618	0000000000
214	111		O1	28.015600	96.704260	114.1627	0000000000
215	111		O3	108.367920	103.098280	30.6768	0000000000
216	111		O4	309.276480	108.420840	11.5708	0000000000
217	111		S1	109.365710	99.650440	23.9799	0000000000
218	111		S1	309.366200	300.349080	23.9800	0000000000
219	111		O4	109.276940	291.579090	11.5709	0000000000
220	111		O3	308.366630	296.900840	30.6770	0000000000
221	111		O1	228.016550	303.295130	114.1627	0000000000
222	111		O2	200.002070	303.365550	140.0619	0000000000
161	161						
529							
504	101		O1	0			
531	160	4	14	0			
227	111		O3	221.143200	104.331050	108.9463	0000000000
228	111		S1	225.008470	103.358030	109.6700	0000000000
229	111		S2	238.453370	103.299380	114.1623	0000000000
230	111		O4	244.391350	104.013770	118.0837	0000000000
231	111		O2	351.651560	98.437430	60.9024	0000000000
232	111		O2	151.651370	301.560930	60.9026	0000000000
233	111		O4	44.391990	295.984370	118.0839	0000000000
234	111		S2	38.453920	296.698510	114.1627	0000000000
235	111		S1	25.009310	296.639930	109.6704	0000000000
236	111		O3	21.144000	295.667470	108.9467	0000000000
533							
237	111		O3	221.142970	104.331580	108.9465	0000000000
238	111		S1	225.008290	103.358540	109.6700	0000000000
239	111		S2	238.453500	103.299800	114.1624	0000000000
240	111		O4	244.391420	104.014720	118.0838	0000000000
241	111		O2	351.651710	98.437800	60.9023	0000000000
242	111		O2	151.651500	301.561210	60.9024	0000000000
243	111		O4	44.391810	295.984490	118.0839	0000000000
244	111		S2	38.453890	296.698540	114.1627	0000000000
245	111		S1	25.009000	296.639710	109.6704	0000000000
246	111		O3	21.143830	295.667650	108.9467	0000000000
535							
247	111		O3	221.142980	104.331800	108.9465	0000000000
248	111		S1	225.009010	103.358400	109.6700	0000000000
249	111		S2	238.453410	103.299690	114.1623	0000000000
250	111		O4	244.391400	104.014540	118.0837	0000000000
251	111		O2	351.651350	98.437890	60.9023	0000000000
252	111		O2	151.651450	301.561440	60.9025	0000000000
253	111		O4	44.391540	295.984000	118.0840	0000000000
254	111		S2	38.453890	296.698090	114.1627	0000000000
255	111		S1	25.008860	296.639620	109.6704	0000000000
256	111		O3	21.144000	295.667190	108.9467	0000000000
537							
257	111		O3	221.143150	104.331100	108.9465	0000000000
258	111		S1	225.008430	103.358520	109.6700	0000000000
259	111		S2	238.453200	103.300210	114.1624	0000000000
260	111		O4	244.391390	104.014580	118.0837	0000000000
261	111		O2	351.650980	98.437530	60.9023	0000000000
262	111		O2	151.651480	301.561380	60.9025	0000000000
263	111		O4	44.391980	295.984420	118.0841	0000000000
264	111		S2	38.454200	296.698500	114.1626	0000000000
265	111		S1	25.009260	296.639970	109.6704	0000000000
266	111		O3	21.144110	295.667610	108.9468	0000000000
539							
267	111		O3	221.143240	104.331380	108.9465	0000000000
268	111		S1	225.008620	103.358540	109.6699	0000000000
269	111		S2	238.453450	103.300190	114.1623	0000000000
270	111		O4	244.391340	104.014720	118.0838	0000000000
271	111		O2	351.651310	98.437510	60.9023	0000000000
272	111		O2	151.651620	301.561270	60.9025	0000000000
273	111		O4	44.391550	295.984350	118.0840	0000000000
274	111		S2	38.454200	296.698330	114.1626	0000000000
275	111		S1	25.009190	296.639670	109.6704	0000000000
276	111		O3	21.143940	295.667330	108.9467	0000000000

541	;					
277	111	O3	221.142950	104.331100	108.9465	0000000000
278	111	S1	225.008550	103.358400	109.6700	0000000000
279	111	S2	238.453660	103.299660	114.1623	0000000000
280	111	O4	244.391510	104.014440	118.0837	0000000000
281	111	O2	351.651400	98.437730	60.9023	0000000000
282	111	O2	151.651390	301.561310	60.9025	0000000000
283	111	O4	44.392010	295.984340	118.0838	0000000000
284	111	S2	38.454060	296.698540	114.1627	0000000000
285	111	S1	25.009020	296.639840	109.6704	0000000000
286	111	O3	21.143930	295.667400	108.9467	0000000000
543	;					
287	111	O3	221.142980	104.331670	108.9466	0000000000
288	111	S1	225.008700	103.358690	109.6702	0000000000
289	111	S2	238.453410	103.299870	114.1625	0000000000
290	111	O4	244.391390	104.014650	118.0838	0000000000
291	111	O2	351.651600	98.437780	60.9024	0000000000
292	111	O2	151.651530	301.561260	60.9025	0000000000
293	111	O4	44.391920	295.984430	118.0840	0000000000
294	111	S2	38.454010	296.698710	114.1627	0000000000
295	111	S1	25.009340	296.640160	109.6703	0000000000
296	111	O3	21.144040	295.668090	108.9468	0000000000
161	161					
545	;					
506	101	O2				
547	160	4	14	0		
299	111	O3	197.192960	103.850080	147.3198	0000000000
300	111	S1	200.001370	103.187030	145.5104	0000000000
301	111	S2	210.438900	103.371580	140.0613	0000000000
302	111	O4	215.654990	104.099230	138.9530	0000000000
303	111	O1	151.651010	101.566580	60.9021	0000000000
304	111	O1	351.650920	298.433750	60.9025	0000000000
305	111	O4	15.654820	295.902050	138.9533	0000000000
306	111	S2	10.439550	296.628010	140.0616	0000000000
307	111	S1	0.002580	296.812450	145.5109	0000000000
308	111	O3	397.193610	296.148200	147.3202	0000000000
549	;					
309	111	O3	197.193220	103.851060	147.3199	0000000000
310	111	S1	200.001160	103.187040	145.5105	0000000000
311	111	S2	210.439260	103.371420	140.0614	0000000000
312	111	O4	215.654680	104.099050	138.9532	0000000000
313	111	O1	151.651110	101.566640	60.9022	0000000000
314	111	O1	351.650730	298.433470	60.9024	0000000000
315	111	O4	15.654890	295.901450	138.9532	0000000000
316	111	S2	10.439260	296.628250	140.0615	0000000000
317	111	S1	0.001370	296.811810	145.5108	0000000000
318	111	O3	397.193470	296.148460	147.3201	0000000000
551	;					
319	111	O3	197.192370	103.850830	147.3199	0000000000
320	111	S1	200.001570	103.187510	145.5106	0000000000
321	111	S2	210.439240	103.371370	140.0614	0000000000
322	111	O4	215.655370	104.098500	138.9531	0000000000
323	111	O1	151.650840	101.566590	60.9022	0000000000
324	111	O1	351.650250	298.433170	60.9024	0000000000
325	111	O4	15.654870	295.901160	138.9532	0000000000
326	111	S2	10.439130	296.628000	140.0616	0000000000
327	111	S1	0.001630	296.811890	145.5108	0000000000
328	111	O3	397.193840	296.148000	147.3202	0000000000
553	;					
329	111	O3	197.192990	103.850590	147.3199	0000000000
330	111	S1	200.001450	103.187270	145.5105	0000000000
331	111	S2	210.438910	103.371370	140.0615	0000000000
332	111	O4	215.655350	104.098720	138.9532	0000000000
333	111	O1	151.651160	101.565800	60.9021	0000000000
334	111	O1	351.650320	298.433270	60.9024	0000000000
335	111	O4	15.655000	295.901370	138.9533	0000000000
336	111	S2	10.439020	296.627680	140.0616	0000000000
337	111	S1	0.001300	296.811530	145.5108	0000000000
338	111	O3	397.193670	296.148400	147.3201	0000000000
555	;					
339	111	O3	197.193100	103.851010	147.3199	0000000000
340	111	S1	200.001540	103.187430	145.5106	0000000000
341	111	S2	210.438990	103.371870	140.0615	0000000000
342	111	O4	215.655100	104.098560	138.9533	0000000000
343	111	O1	151.650860	101.566360	60.9022	0000000000
344	111	O1	351.650960	298.433470	60.9024	0000000000
345	111	O4	15.655370	295.901380	138.9534	0000000000

346	111	S2	10.438960	296.628090	140.0617	0000000000
347	111	S1	0.001880	296.812280	145.5109	0000000000
348	111	O3	397.193870	296.148700	147.3202	0000000000
557	;					
349	111	O3	197.193670	103.851270	147.3199	0000000000
350	111	S1	200.001490	103.187450	145.5106	0000000000
351	111	S2	210.439150	103.371560	140.0614	0000000000
352	111	O4	215.654870	104.098510	138.9533	0000000000
353	111	O1	151.651040	101.566740	60.9022	0000000000
354	111	O1	351.650580	298.432980	60.9024	0000000000
355	111	O4	15.655320	295.901240	138.9535	0000000000
356	111	S2	10.439110	296.627740	140.0619	0000000000
357	111	S1	0.001590	296.812320	145.5111	0000000000
358	111	O3	397.193800	296.147890	147.3202	0000000000
559	;					
359	111	O3	197.193060	103.850940	147.3199	0000000000
360	111	S1	200.001990	103.187460	145.5104	0000000000
361	111	S2	210.439020	103.371150	140.0614	0000000000
362	111	O4	215.655180	104.098820	138.9532	0000000000
363	111	O1	151.651080	101.566260	60.9021	0000000000
364	111	O1	351.651120	298.433090	60.9024	0000000000
365	111	O4	15.654450	295.901320	138.9534	0000000000
366	111	S2	10.438870	296.628260	140.0616	0000000000
367	111	S1	0.001530	296.812080	145.5108	0000000000
368	111	O3	397.193520	296.148500	147.3201	0000000000
161	161					

»Ta stran je namenoma prazna.«

**PRILOGA B: LisCad POROČILO O SREDINAH GIRUSOV (LisCad report.txt) – prva
terminalska izmera 21. 04. 2015.**

LISCAD Report: Rounds Report
Thursday, May 21, 2015 13:13

File: Mateo
Projection: Plane grid
File Date: Thursday, May 21, 2015

Units
=====

Angle: Degrees Minutes Seconds
Distance: Metres

At S1

To O2 (Backsight reduced to zero)

Horizontal	Vertical	Face Diff.	Residual
0 00 00.000	87 08 11.098	0 00 00.194	0 00 00.125
0 00 00.000	87 08 11.276	-0 00 00.162	0 00 00.303
0 00 00.000	87 08 10.806	0 00 00.713	-0 00 00.167
0 00 00.000	87 08 10.871	0 00 00.583	-0 00 00.102
0 00 00.000	87 08 10.741	-0 00 00.259	-0 00 00.231
0 00 00.000	87 08 11.146	-0 00 00.616	0 00 00.174
0 00 00.000	87 08 10.871	-0 00 01.102	-0 00 00.102

Mean of Sets.

Horizontal	Vertical	SD. Vert.	Range
0 00 00.000	87 08 10.973	0 00 00.200	0 00 00.535
Distance	SD Dist.	Range	
145.51113	0.00011	0.00040	

To O1

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
22 30 21.870	0 00 00.389	-0 00 00.546	86 58 53.575	0 00 01.782	0 00 00.169
22 30 22.016	0 00 00.680	-0 00 00.400	86 58 53.299	0 00 01.814	-0 00 00.106
22 30 22.826	0 00 00.486	0 00 00.410	86 58 53.461	0 00 01.555	0 00 00.056
22 30 22.874	0 00 00.065	0 00 00.458	86 58 53.785	0 00 01.426	0 00 00.380
22 30 22.550	0 00 00.389	0 00 00.134	86 58 53.672	0 00 02.106	0 00 00.266
22 30 22.550	0 00 00.713	0 00 00.134	86 58 52.910	0 00 00.324	-0 00 00.495
22 30 22.226	0 00 00.454	-0 00 00.190	86 58 53.137	0 00 01.102	-0 00 00.268

Mean of Sets.

Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
22 30 22.416	0 00 00.389	0 00 01.004	86 58 53.406	0 00 00.310	0 00 00.875
Distance	SD Dist.	Range			
109.67034	0.00010	0.00030			

To O3

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
103 41 27.933	-0 00 02.754	-0 00 00.405	103 40 19.277	-0 00 03.791	-0 00 00.456
103 41 27.884	-0 00 03.564	-0 00 00.454	103 40 19.699	-0 00 05.346	-0 00 00.035
103 41 28.694	-0 00 04.730	0 00 00.356	103 40 19.909	-0 00 03.953	0 00 00.176
103 41 28.824	-0 00 05.184	0 00 00.486	103 40 19.812	-0 00 04.212	0 00 00.079
103 41 28.095	-0 00 05.022	-0 00 00.243	103 40 19.780	-0 00 04.018	0 00 00.046
103 41 28.711	-0 00 05.281	0 00 00.373	103 40 19.715	-0 00 04.536	-0 00 00.019
103 41 28.225	-0 00 05.281	-0 00 00.113	103 40 19.942	-0 00 04.536	0 00 00.208

Mean of Sets.

Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
103 41 28.338	0 00 00.397	0 00 00.940	103 40 19.733	0 00 00.221	0 00 00.664
Distance	SD Dist.	Range			
6.86947	0.00006	0.00020			

To S2

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
287 49 12.972	0 00 00.454	0 00 00.613	90 19 03.202	0 00 00.842	0 00 00.280
287 49 10.769	0 00 03.434	-0 00 01.590	90 19 03.218	-0 00 01.264	0 00 00.296
287 49 13.960	-0 00 01.393	0 00 01.601	90 19 02.440	-0 00 00.162	-0 00 00.481
287 49 12.373	0 00 01.069	0 00 00.014	90 19 02.991	-0 00 01.134	0 00 00.069
287 49 11.984	0 00 03.791	-0 00 00.375	90 19 04.044	-0 00 00.454	0 00 01.122
287 49 11.854	-0 00 00.680	-0 00 00.505	90 19 02.489	0 00 00.713	-0 00 00.433
287 49 12.599	-0 00 03.337	0 00 00.241	90 19 02.068	-0 00 00.454	-0 00 00.854

Mean of Sets.

Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
287 49 12.359	0 00 00.993	0 00 03.191	90 19 02.922	0 00 00.656	0 00 01.976
Distance	SD Dist.	Range			
23.97991	0.00011	0.00030			

To O4

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
287 47 35.610	0 00 01.361	-0 00 01.882	92 40 50.356	0 00 00.745	0 00 01.976
287 47 37.813	0 00 05.638	0 00 00.322	92 40 47.570	-0 00 00.940	-0 00 00.810
287 47 38.234	-0 00 07.646	0 00 00.743	92 40 45.804	0 00 02.657	-0 00 02.576
287 47 37.586	0 00 01.231	0 00 00.095	92 40 47.554	0 00 00.907	-0 00 00.826
287 47 39.239	0 00 06.480	0 00 01.747	92 40 51.085	-0 00 01.620	0 00 02.705
287 47 36.906	-0 00 02.333	-0 00 00.586	92 40 47.926	0 00 00.292	-0 00 00.454
287 47 37.052	-0 00 04.374	-0 00 00.440	92 40 48.364	0 00 02.462	-0 00 00.016
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
287 47 37.492	0 00 01.140	0 00 03.629	92 40 48.380	0 00 01.798	0 00 05.281
Distance	SD Dist.	Range			
35.48761	0.00012	0.00040			

At S2

To O2 (Backsight reduced to zero)

Horizontal	Vertical	Face Diff.	Residual
0 00 00.000	86 58 14.484	0 00 01.426	0 00 00.169
0 00 00.000	86 58 14.063	0 00 02.203	-0 00 00.252
0 00 00.000	86 58 14.176	0 00 01.523	-0 00 00.139
0 00 00.000	86 58 14.419	0 00 01.426	0 00 00.104
0 00 00.000	86 58 14.403	0 00 01.847	0 00 00.088
0 00 00.000	86 58 14.160	0 00 01.102	-0 00 00.155
0 00 00.000	86 58 14.500	0 00 02.236	0 00 00.185
Mean of Sets.			
Horizontal	Vertical	SD. Vert.	Range
0 00 00.000	86 58 14.315	0 00 00.177	0 00 00.437
Distance	SD Dist.	Range	
140.06187	0.00012	0.00040	

To O1

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
25 12 47.158	-0 00 01.393	0 00 00.477	87 02 02.920	0 00 02.106	0 00 00.359
25 12 46.883	0 00 00.648	0 00 00.201	87 02 02.353	0 00 03.175	-0 00 00.208
25 12 47.126	0 00 00.356	0 00 00.444	87 02 02.321	0 00 02.268	-0 00 00.241
25 12 46.980	0 00 01.426	0 00 00.299	87 02 02.450	0 00 04.018	-0 00 00.111
25 12 46.980	0 00 00.713	0 00 00.299	87 02 02.872	0 00 01.814	0 00 00.310
25 12 45.344	-0 00 01.264	-0 00 01.338	87 02 02.224	0 00 01.620	-0 00 00.338
25 12 46.300	0 00 01.231	-0 00 00.382	87 02 02.791	0 00 01.976	0 00 00.229
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
25 12 46.681	0 00 00.656	0 00 01.814	87 02 02.561	0 00 00.290	0 00 00.697
Distance	SD Dist.	Range			
114.16271	0.00010	0.00040			

To O3

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
97 31 45.322	-0 00 02.268	0 00 00.368	92 47 17.893	0 00 03.143	0 00 00.319
97 31 45.937	0 00 03.758	0 00 00.984	92 47 17.228	0 00 03.305	-0 00 00.345
97 31 43.410	-0 00 02.333	-0 00 01.544	92 47 15.738	0 00 05.832	-0 00 01.835
97 31 44.155	-0 00 04.601	-0 00 00.798	92 47 15.592	0 00 05.281	-0 00 01.981
97 31 46.261	0 00 04.212	0 00 01.308	92 47 21.019	0 00 09.979	0 00 03.446
97 31 45.403	-0 00 04.633	0 00 00.449	92 47 15.689	0 00 06.253	-0 00 01.884
97 31 44.188	-0 00 06.026	-0 00 00.766	92 47 19.853	0 00 02.851	0 00 02.280
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
97 31 44.954	0 00 01.050	0 00 02.851	92 47 17.573	0 00 02.165	0 00 05.427
Distance	SD Dist.	Range			
30.67691	0.00012	0.00040			

To O4

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
278 20 53.074	-0 00 06.934	0 00 01.599	97 34 42.695	0 00 00.162	-0 00 00.815
278 20 50.060	-0 00 00.259	-0 00 01.414	97 34 43.846	-0 00 00.583	0 00 00.336
278 20 51.016	-0 00 05.864	-0 00 00.458	97 34 44.396	0 00 00.518	0 00 00.886
278 20 51.794	-0 00 02.495	0 00 00.319	97 34 43.036	-0 00 00.778	-0 00 00.474
278 20 52.377	-0 00 06.188	0 00 00.903	97 34 43.748	-0 00 01.166	0 00 00.238
278 20 51.243	-0 00 03.856	-0 00 00.231	97 34 43.214	-0 00 00.810	-0 00 00.296
278 20 50.757	-0 00 00.356	-0 00 00.717	97 34 43.635	0 00 00.227	0 00 00.125
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
278 20 51.474	0 00 01.021	0 00 03.013	97 34 43.510	0 00 00.570	0 00 01.701
Distance	SD Dist.	Range			
11.57089	0.00007	0.00020			

To S1

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
98 25 42.098	-0 00 04.115	0 00 00.560	89 41 10.277	0 00 01.685	0 00 02.273
98 25 45.046	0 00 01.134	0 00 03.508	89 41 08.770	0 00 00.940	0 00 00.766
98 25 40.802	-0 00 07.744	-0 00 00.736	89 41 06.211	0 00 03.078	-0 00 01.794
98 25 39.830	-0 00 03.920	-0 00 01.708	89 41 08.106	-0 00 02.462	0 00 00.102
98 25 42.697	-0 00 05.897	0 00 01.159	89 41 07.280	0 00 02.884	-0 00 00.724
98 25 40.381	-0 00 03.596	-0 00 01.157	89 41 07.183	0 00 04.244	-0 00 00.822
98 25 39.911	-0 00 00.259	-0 00 01.627	89 41 08.203	0 00 01.555	0 00 00.199
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
98 25 41.538	0 00 01.889	0 00 05.216	89 41 08.004	0 00 01.305	0 00 04.066
Distance	SD Dist.	Range			
23.97995	0.00011	0.00030			

At O1

To O3 (Backsight reduced to zero)

Horizontal	Vertical	Face Diff.	Residual	
0 00 00.000	93 53 55.000	0 00 04.795	-0 00 00.435	
0 00 00.000	93 53 55.567	0 00 02.495	0 00 00.132	
0 00 00.000	93 53 56.668	0 00 03.272	0 00 01.234	
0 00 00.000	93 53 54.854	0 00 04.180	-0 00 00.581	
0 00 00.000	93 53 55.761	0 00 04.180	0 00 00.326	
0 00 00.000	93 53 55.194	0 00 04.860	-0 00 00.241	
0 00 00.000	93 53 55.000	0 00 00.778	-0 00 00.435	
Mean of Sets.				
Horizontal	Vertical	SD. Vert.	Range	
0 00 00.000	93 53 55.435	0 00 00.635	0 00 01.814	
Distance	SD Dist.	Range		
108.94661	0.00014	0.00050		

To S1

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
3 28 43.540	0 00 00.130	-0 00 00.155	93 01 23.322	0 00 06.610	-0 00 00.815
3 28 43.394	-0 00 00.486	-0 00 00.301	93 01 24.505	0 00 05.670	0 00 00.368
3 28 44.042	-0 00 03.791	0 00 00.347	93 01 24.424	0 00 06.415	0 00 00.287
3 28 43.297	-0 00 00.421	-0 00 00.398	93 01 24.051	0 00 04.892	-0 00 00.086
3 28 43.621	-0 00 00.421	-0 00 00.074	93 01 24.569	0 00 05.800	0 00 00.433
3 28 43.718	-0 00 01.652	0 00 00.023	93 01 24.067	0 00 05.702	-0 00 00.069
3 28 44.252	-0 00 01.361	0 00 00.558	93 01 24.019	0 00 03.726	-0 00 00.118
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
3 28 43.695	0 00 00.344	0 00 00.956	93 01 24.137	0 00 00.427	0 00 01.247
Distance	SD Dist.	Range			
109.67020	0.00020	0.00050			

To S2

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
15 34 44.546	-0 00 00.810	-0 00 00.514	92 58 13.409	0 00 06.836	-0 00 00.808
15 34 45.356	-0 00 01.523	0 00 00.296	92 58 14.041	0 00 05.378	-0 00 00.176
15 34 44.918	-0 00 01.750	-0 00 00.141	92 58 14.592	0 00 07.193	0 00 00.375
15 34 44.627	0 00 00.130	-0 00 00.433	92 58 14.770	0 00 04.180	0 00 00.553
15 34 45.161	0 00 00.162	0 00 00.102	92 58 15.013	0 00 04.795	0 00 00.796
15 34 45.761	-0 00 01.879	0 00 00.701	92 58 13.814	0 00 05.832	-0 00 00.403
15 34 45.048	-0 00 01.490	-0 00 00.012	92 58 13.879	0 00 04.601	-0 00 00.338
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
15 34 45.060	0 00 00.421	0 00 01.215	92 58 14.217	0 00 00.583	0 00 01.604
Distance	SD Dist.	Range			
114.16251	0.00017	0.00040			

To O4

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
20 55 23.747	-0 00 00.518	-0 00 00.069	93 36 47.628	0 00 06.026	-0 00 01.208
20 55 24.217	-0 00 01.523	0 00 00.400	93 36 48.973	0 00 02.560	0 00 00.137
20 55 23.455	-0 00 02.851	-0 00 00.361	93 36 49.475	0 00 04.730	0 00 00.639
20 55 23.698	-0 00 01.199	-0 00 00.118	93 36 48.859	0 00 03.240	0 00 00.023
20 55 23.050	-0 00 01.588	-0 00 00.766	93 36 49.199	0 00 03.013	0 00 00.363
20 55 24.557	-0 00 01.555	0 00 00.741	93 36 48.762	0 00 03.953	-0 00 00.074
20 55 23.990	-0 00 01.717	0 00 00.174	93 36 48.956	0 00 02.981	0 00 00.120
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
20 55 23.816	0 00 00.496	0 00 01.507	93 36 48.836	0 00 00.583	0 00 01.847
Distance	SD Dist.	Range			
118.08385	0.00013	0.00040			

To O2

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
------------	-------	----------	----------	------------	----------

117 27 25.483	-0 00 03.208	-0 00 00.190	88 35 39.930	0 00 05.314	0 00 00.146
117 27 26.584	-0 00 03.467	0 00 00.912	88 35 40.076	0 00 03.208	0 00 00.292
117 27 25.628	-0 00 02.981	-0 00 00.044	88 35 39.849	0 00 02.171	0 00 00.065
117 27 24.624	-0 00 01.490	-0 00 01.048	88 35 39.363	0 00 03.532	-0 00 00.421
117 27 25.515	-0 00 01.264	-0 00 00.157	88 35 39.509	0 00 03.953	-0 00 00.275
117 27 25.774	-0 00 03.208	0 00 00.102	88 35 39.800	0 00 03.110	0 00 00.016
117 27 26.098	-0 00 03.661	0 00 00.426	88 35 39.962	0 00 03.110	0 00 00.178
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
117 27 25.672	0 00 00.603	0 00 01.960	88 35 39.784	0 00 00.257	0 00 00.713
Distance	SD Dist.	Range			
60.90241	0.00010	0.00030			
At O2					
To O3 (Backsight reduced to zero)					
Horizontal			Vertical	Face Diff.	Residual
0 00 00.000			93 27 57.046	0 00 05.573	-0 00 01.034
0 00 00.000			93 27 58.212	0 00 01.555	0 00 00.132
0 00 00.000			93 27 58.585	0 00 03.791	0 00 00.505
0 00 00.000			93 27 57.548	0 00 03.272	-0 00 00.532
0 00 00.000			93 27 57.742	0 00 00.940	-0 00 00.338
0 00 00.000			93 27 59.476	0 00 02.722	0 00 01.396
0 00 00.000			93 27 57.953	0 00 01.814	-0 00 00.127
Mean of Sets.					
Horizontal			Vertical	SD. Vert.	Range
0 00 00.000			93 27 58.080	0 00 00.786	0 00 02.430
Distance	SD Dist.	Range			
147.32002	0.00014	0.00040			
To S1					
Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
2 31 40.156	0 00 01.814	0 00 01.472	92 52 06.820	0 00 01.685	-0 00 01.104
2 31 37.661	-0 00 00.130	-0 00 01.023	92 52 07.873	0 00 03.726	-0 00 00.051
2 31 39.524	-0 00 04.568	0 00 00.840	92 52 08.504	0 00 01.944	0 00 00.581
2 31 38.066	-0 00 02.689	-0 00 00.618	92 52 08.699	0 00 03.888	0 00 00.775
2 31 38.649	-0 00 01.393	-0 00 00.035	92 52 07.743	0 00 00.940	-0 00 00.181
2 31 37.288	-0 00 00.097	-0 00 01.396	92 52 07.711	0 00 00.745	-0 00 00.213
2 31 39.443	-0 00 02.981	0 00 00.759	92 52 08.116	0 00 01.490	0 00 00.192
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
2 31 38.684	0 00 01.067	0 00 02.867	92 52 07.924	0 00 00.616	0 00 01.879
Distance	SD Dist.	Range			
145.51069	0.00020	0.00070			
To S2					
Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
11 55 16.846	-0 00 00.000	0 00 00.680	93 02 04.583	0 00 01.328	0 00 00.162
11 55 16.765	-0 00 00.810	0 00 00.599	93 02 03.935	0 00 01.069	-0 00 00.486
11 55 17.299	-0 00 05.119	0 00 01.134	93 02 04.259	0 00 02.041	-0 00 00.162
11 55 15.857	-0 00 01.847	-0 00 00.308	93 02 04.778	0 00 03.078	0 00 00.356
11 55 15.388	-0 00 02.592	-0 00 00.778	93 02 04.924	0 00 00.130	0 00 00.502
11 55 15.080	-0 00 00.551	-0 00 01.085	93 02 04.988	0 00 02.268	0 00 00.567
11 55 15.922	-0 00 01.976	-0 00 00.243	93 02 03.482	0 00 01.912	-0 00 00.940
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
11 55 16.165	0 00 00.821	0 00 02.219	93 02 04.421	0 00 00.559	0 00 01.507
Distance	SD Dist.	Range			
140.06153	0.00015	0.00060			
To O4					
Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
16 36 55.649	-0 00 02.657	-0 00 00.100	93 41 19.432	-0 00 04.147	-0 00 00.268
16 36 55.066	-0 00 00.130	-0 00 00.683	93 41 20.112	-0 00 01.620	0 00 00.412
16 36 56.929	-0 00 06.383	0 00 01.180	93 41 19.691	0 00 01.102	-0 00 00.009
16 36 56.378	-0 00 03.337	0 00 00.629	93 41 19.707	-0 00 00.292	0 00 00.007
16 36 56.070	-0 00 01.620	0 00 00.322	93 41 19.432	0 00 00.194	-0 00 00.268
16 36 54.806	0 00 01.037	-0 00 00.942	93 41 19.577	0 00 00.810	-0 00 00.123
16 36 55.341	-0 00 03.856	-0 00 00.407	93 41 19.950	-0 00 00.454	0 00 00.250
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
16 36 55.748	0 00 00.755	0 00 02.122	93 41 19.700	0 00 00.255	0 00 00.680
Distance	SD Dist.	Range			
138.95326	0.00012	0.00050			
To O1					
Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
319 00 42.883	-0 00 02.398	0 00 00.623	91 24 35.185	-0 00 01.069	-0 00 00.454

319 00 42.543	-0 00 02.041	0 00 00.282	91 24 35.735	-0 00 00.356	0 00 00.097
319 00 42.106	-0 00 06.674	-0 00 00.155	91 24 36.140	0 00 00.778	0 00 00.502
319 00 42.008	-0 00 04.925	-0 00 00.252	91 24 34.699	0 00 03.013	-0 00 00.940
319 00 42.057	-0 00 02.171	-0 00 00.204	91 24 35.282	0 00 00.551	-0 00 00.356
319 00 40.923	-0 00 01.912	-0 00 01.338	91 24 36.691	0 00 00.907	0 00 01.053
319 00 43.304	-0 00 01.361	0 00 01.044	91 24 35.735	0 00 02.106	0 00 00.097
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
319 00 42.261	0 00 00.761	0 00 02.381	91 24 35.638	0 00 00.658	0 00 01.993
Distance	SD Dist.	Range			
60.90229	0.00014	0.00040			

»Ta stran je namenoma prazna.«

**PRILOGA C: VHODNA DATOTEKA ZA HORIZONTALNO IZRAVNAVO (polozaj.pod) –
prva terminska izmera 21. 04. 2015.**

```
*n
O1          88.8121      131.0642
O2          146.8798      112.7613
S1          76.4462      239.8817
S2          99.9715      244.5262
*o
1  S1  O2          0  0  0.000      1.00  1  DA
1  S1  O1          25  0  69.185      1.00  1  DA
1  S1  O3         115  21  24.500      1.00  1  DA
1  S1  S2         319  80  1.108      1.00  1  DA
1  S1  O4         319  77  8.309      1.00  1  DA
1  S2  O2          0  0  0.000      1.00  1  DA
1  S2  O1          28  1  44.077      1.00  1  DA
1  S2  O3         108  36  57.265      1.00  1  DA
1  S2  O4         309  27  51.463      1.00  1  DA
1  S2  S1         109  36  46.722      1.00  1  DA
1  O1  O3          0  0  0.000      1.00  1  DA
1  O1  S1          3  86  53.380      1.00  1  DA
1  O1  S2         17  31  2.037      1.00  1  DA
1  O1  O4         23  24  80.914      1.00  1  DA
1  O1  O2        130  50  79.234      1.00  1  DA
1  O2  O3          0  0  0.000      1.00  1  DA
1  O2  S1          2  80  82.358      1.00  1  DA
1  O2  S2         13  24  57.299      1.00  1  DA
1  O2  O4         18  46  16.506      1.00  1  DA
1  O2  O1        354  45  74.880      1.00  1  DA
2  S1  O2         145.33028      1.0000  DA
2  S1  O1         109.51884      1.0000  DA
2  S1  O3          6.67487      1.0000  DA
2  S1  S2         23.97971      1.0000  DA
2  S1  O4         35.44905      1.0000  DA
2  S2  O2         139.86677      1.0000  DA
2  S2  O1         114.01032      1.0000  DA
2  S2  O3         30.64077      1.0000  DA
2  S2  O4         11.46988      1.0000  DA
2  S2  S1         23.97972      1.0000  DA
2  O1  O3         108.69552      1.0000  DA
2  O1  S1         109.51856      1.0000  DA
2  O1  S2         114.01016      1.0000  DA
2  O1  O4         117.85020      1.0000  DA
2  O1  O2         60.88458      1.0000  DA
2  O2  O3         147.05193      1.0000  DA
2  O2  S1         145.32967      1.0000  DA
2  O2  S2         139.86644      1.0000  DA
2  O2  O4         138.66670      1.0000  DA
2  O2  O1         60.88437      1.0000  DA
*PS
1
*PD
.0010059
*RK
G
*IK
MM
*IS
DE
*IP
DA  DA
*Konec
```

»Ta stran je namenoma prazna.«

PRILOGA D: POROČILO POLOŽAJNE IZRAVNAVE PROGRAMA RamWin (polozaj.rez) – prva terminska izmera 21. 04. 2015.

Izravnava Ravninske geodetske Mreže
Program: RAM, ver.4.0, dec. 02
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: polozaj.pod
Ime datoteke za rezultate: polozaj.rez
Ime datoteke za risanje slike mreže: polozaj.ris
Ime datoteke za izračun premikov: polozaj.koo

Datum: 7. 8.2015
Čas: 9:34:18

Seznam koordinat DANIH točk
=====

Točka	Y (m)	X (m)
O3	70.0081	238.1196
O4	111.2209	246.7633

Vseh točk je 2.

Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk
=====

Točka	Y (m)	X (m)
O1	88.8121	131.0642
O2	146.8798	112.7613
S1	76.4462	239.8817
S2	99.9715	244.5262

Vseh točk je 4.

Pregled OPAZOVANJ
=====

Štev.	Stojišče	Vizura	Opazov. smer (gradi)	W (")	Utež	Dolžina (m)	Du (m)	Utež Gr
1	S1	O2	0 0	0.000	0.000	1.00		1
2	S1	O1	25 0	69.185	0.000	1.00		1
3	S1	O3	115 21	24.500	0.000	1.00		1
4	S1	S2	319 80	1.108	0.000	1.00		1
5	S1	O4	319 77	8.309	0.000	1.00		1
6	S2	O2	0 0	0.000	0.000	1.00		1
7	S2	O1	28 1	44.077	0.000	1.00		1
8	S2	O3	108 36	57.265	0.000	1.00		1
9	S2	O4	309 27	51.463	0.000	1.00		1
10	S2	S1	109 36	46.722	0.000	1.00		1
11	O1	O3	0 0	0.000	0.000	1.00		1
12	O1	S1	3 86	53.380	0.000	1.00		1
13	O1	S2	17 31	2.037	0.000	1.00		1
14	O1	O4	23 24	80.914	0.000	1.00		1
15	O1	O2	130 50	79.234	0.000	1.00		1
16	O2	O3	0 0	0.000	0.000	1.00		1
17	O2	S1	2 80	82.358	0.000	1.00		1
18	O2	S2	13 24	57.299	0.000	1.00		1
19	O2	O4	18 46	16.506	0.000	1.00		1
20	O2	O1	354 45	74.880	0.000	1.00		1
21	S1	O2				145.3303	0.0000	1.00

22	S1	O1	109.5188	0.0000	1.00
23	S1	O3	6.6749	0.0000	1.00
24	S1	S2	23.9797	0.0000	1.00
25	S1	O4	35.4490	0.0000	1.00
26	S2	O2	139.8668	0.0000	1.00
27	S2	O1	114.0103	0.0000	1.00
28	S2	O3	30.6408	0.0000	1.00
29	S2	O4	11.4699	0.0000	1.00
30	S2	S1	23.9797	0.0000	1.00
31	O1	O3	108.6955	0.0000	1.00
32	O1	S1	109.5186	0.0000	1.00
33	O1	S2	114.0102	0.0000	1.00
34	O1	O4	117.8502	0.0000	1.00
35	O1	O2	60.8846	0.0000	1.00
36	O2	O3	147.0519	0.0000	1.00
37	O2	S1	145.3297	0.0000	1.00
38	O2	S2	139.8664	0.0000	1.00
39	O2	O4	138.6667	0.0000	1.00
40	O2	O1	60.8844	0.0000	1.00

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 1.00 sekund.
Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 1.010 mm.

Število enačb popravkov je 40.
- Število enačb popravkov za smeri je 20.
- Število enačb popravkov za dolžine je 20.
Število neznank je 12.
- Število koordinatnih neznank je 8.
- Število orientacijskih neznank je 4.

POPRAVKI približnih vrednosti
=====

Točka	Dy (m)	Dx (m)	Do (")
O1	0.0014	-0.0015	-2.5
O2	0.0019	-0.0010	-2.2
S1	0.0003	-0.0009	3.3
S2	-0.0004	-0.0005	-3.2

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti
=====

Točka	Y (m)	X (m)	My (m)	Mx (m)	Mp (m)	a (m)	b (m)	Theta (st.)
O1	88.8135	131.0627	0.0004	0.0003	0.0005	0.0004	0.0003	96.
O2	146.8817	112.7603	0.0005	0.0003	0.0006	0.0005	0.0003	71.
S1	76.4465	239.8808	0.0003	0.0001	0.0003	0.0003	0.0000	76.
S2	99.9711	244.5257	0.0003	0.0001	0.0003	0.0003	0.0000	78.

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 0.90983.
[pvv] = 23.1783462901
[xx] vseh neznank = 32.6142484346
[xx] samo koordinatnih neznank = 0.0000102684
Srednji pogrešek aritmetične sredine /m_arit/ je 0.00021.

Srednji pogrešek smeri /m0*m0_smeri/ je 0.9098 sekund.
Srednji pogrešek dolžin /m0*m0_dolžin/ je 0.9189 milimetrov.

Največji položajni pogrešek /Mp_max/ je 0.0006 metrov.
Najmanjši položajni pogrešek /Mp_min/ je 0.0003 metrov.
Srednji položajni pogrešek /Mp_sred/ je 0.0005 metrov.

»Ta stran je namenoma prazna.«

**PRILOGA E: VHODNA DATOTEKA ZA VIŠINSKO IZRAVNAVO (visina.pod) – prva
terminalska izmera 21. 04. 2015.**

```
*5
*d
'O3' 10.0000
'O4' 9.9650
*n
'O1' 17.1604
'O2' 18.6601
'S1' 11.5150
'S2' 11.4960
*E
'km'
*o
'S1' 'O2' 7.21464 0.145511
'S1' 'O1' 5.71553 0.109670
'S1' 'O3' -1.44809 0.006895
'S1' 'S2' 0.11230 0.023980
'S1' 'O4' -1.48274 0.035487
'S2' 'O2' 7.10205 0.140062
'S2' 'O1' 5.60341 0.114163
'S2' 'O3' -1.56015 0.030677
'S2' 'O4' -1.59434 0.011571
'S2' 'S1' -0.11230 0.023980
'O1' 'O3' -7.16202 0.108947
'O1' 'S1' -5.71553 0.109671
'O1' 'S2' -5.60341 0.114163
'O1' 'O4' -7.19598 0.118084
'O1' 'O2' 1.49889 0.060902
'O2' 'O3' -8.65993 0.147320
'O2' 'S1' -7.21465 0.145511
'O2' 'S2' -7.10205 0.140063
'O2' 'O4' -8.69456 0.138953
'O2' 'O1' -1.49889 0.060903
*K
```

»Ta stran je namenoma prazna.«

PRILOGA F: POROČILO VIŠINSKE IZRAVNAVE PROGRAMA ViMWin (visina.rez) – prva terminska izmera dne 21. 04. 2015.

Izravnava Višinske geodetske Mreže
Program: VIM, ver.5.0, mar. 07
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: visina.pod
Ime datoteke za rezultate: visina.rez
Ime datoteke za deformacijsko analizo: visina.def
Ime datoteke za S-transformacijo: visina.str

Ime datoteke za izračun ocene natančnosti premika: visina.koo

Datum: 7. 8.2015
Čas: 11:47:41

NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

```
=====
Reper          Nadm.viš.    Opomba
O3              10.00000   Dani reper
O4              9.96500   Dani reper
O1              17.16040   Novi reper
O2              18.66010   Novi reper
S1              11.51500   Novi reper
S2              11.49600   Novi reper
```

Število vseh reperjev = 6
Število danih reperjev = 2
Število novih reperjev = 4

MERITVE VIŠINSKIH RAZLIK IN DOLŽIN

```
=====
Reper          Reper      Merjena      Merjena
zadaj          spređaj    viš.razlika  dolžina
S1              O2          7.21464      0.1455
S1              O1          5.71553      0.1097
S1              O3         -1.44809      0.0069
S1              S2          0.11230      0.0239
S1              O4         -1.48274      0.0354
S2              O2          7.10205      0.1401
S2              O1          5.60341      0.1142
S2              O3         -1.56015      0.0307
S2              O4         -1.59434      0.0116
S2              S1         -0.11172      0.0239
O1              O3         -7.16202      0.1089
O1              S1         -5.71368      0.1097
O1              S2         -5.60125      0.1142
O1              O4         -7.19598      0.1181
O1              O2          1.49889      0.0609
O2              O3         -8.65993      0.1473
O2              S1         -7.21183      0.1455
O2              S2         -7.09989      0.1401
O2              O4         -8.69456      0.1390
O2              O1         -1.49849      0.0609
```

Število opazovanj = 20

Vektor normalnih enačb je zaseden 0.00 %.

ENAČBE POPRAVKOV VIŠINSKIH RAZLIK

```
=====
Št. Reper      Reper      Koeficienti
op. zadaj      spređaj     a1  a2  f      Utež
1 S1           O2          -1.  1.  -0.06954  6.8716
2 S1           O1          -1.  1.  -0.07013  9.1155
3 S1           O3           1.  0.   0.06691 145.6240
4 S1           S2          -1.  1.  -0.13130  41.8148
5 S1           O4           1.  0.   0.06726  28.2135
```

6 S2	O2	-1.	1.	0.06205	7.1397
7 S2	O1	-1.	1.	0.06099	8.7602
8 S2	O3	1.	0.	-0.06415	32.6243
9 S2	O4	1.	0.	-0.06334	86.1475
10 S2	S1	1.	-1.	-0.13072	41.8148
11 O1	O3	1.	0.	-0.00162	9.1788
12 O1	S1	1.	-1.	-0.06828	9.1155
13 O1	S2	1.	-1.	0.06315	8.7602
14 O1	O4	1.	0.	-0.00058	8.4685
15 O1	O2	-1.	1.	0.00081	16.4201
16 O2	O3	1.	0.	0.00017	6.7880
17 O2	S1	1.	-1.	-0.06673	6.8716
18 O2	S2	1.	-1.	0.06421	7.1397
19 O2	O4	1.	0.	0.00054	7.1968
20 O2	O1	1.	-1.	0.00121	16.4201

IZRAČUNANI POPRAVKI VIŠINSKIH RAZLIK

Št. Reper op. zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Popravek viš.razlike	Definitivna viš.razlika
1 S1	O2	7.21464	-0.00194	7.21270
2 S1	O1	5.71553	-0.00143	5.71410
3 S1	O3	-1.44809	0.00024	-1.44785
4 S1	S2	0.11230	-0.00048	0.11182
5 S1	O4	-1.48274	-0.00011	-1.48285
6 S2	O2	7.10205	-0.00117	7.10088
7 S2	O1	5.60341	-0.00114	5.60227
8 S2	O3	-1.56015	0.00048	-1.55967
9 S2	O4	-1.59434	-0.00033	-1.59467
10 S2	S1	-0.11172	-0.00010	-0.11182
11 O1	O3	-7.16202	0.00007	-7.16195
12 O1	S1	-5.71368	-0.00042	-5.71410
13 O1	S2	-5.60125	-0.00102	-5.60227
14 O1	O4	-7.19598	-0.00097	-7.19695
15 O1	O2	1.49889	-0.00028	1.49861
16 O2	O3	-8.65993	-0.00062	-8.66055
17 O2	S1	-7.21183	-0.00087	-7.21270
18 O2	S2	-7.09989	-0.00099	-7.10088
19 O2	O4	-8.69456	-0.00099	-8.69555
20 O2	O1	-1.49849	-0.00012	-1.49861

Srednji pogrešek utežne enote, $m_0 = 0.002995$

Izračunano odstopanje = ***** mm ($s = 1.786$ km).

Dopustna odstopanja v nivelmanskem vlaku:

- niv. mreža 1. reda	$f = +- 1.5 * \text{SQRT}(s+0.04*s^2) =$	2.1 mm
- niv. mreža 2. reda	$f = +- 2. * \text{SQRT}(s+0.04*s^2) =$	2.8 mm
- niv. mreža 3. reda	$f = +- 5. * \text{SQRT}(s+0.04*s^2) =$	6.9 mm
- niv. mreža 4. reda	$f = +- 8. * \text{SQRT}(s+0.06*s^2) =$	11.3 mm
- mestna niv. mreža 1. reda	$f = +- 2. * \text{SQRT}(s+0.04*s^2) =$	2.8 mm
- mestna niv. mreža 2. reda	$f = +- 3. * \text{SQRT}(s+0.04*s^2) =$	4.2 mm

IZRAVNANE NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

Reper	Približna višina	Popravek višine	Definitivna višina	Sred.pog. višine
O1	17.16040	0.00188	17.16228	0.00050
O2	18.66010	0.00090	18.66100	0.00053
S1	11.51500	-0.06719	11.44781	0.00022
S2	11.49600	0.06363	11.55963	0.00026

IZRAČUN OBČUTLJIVOSTI VIŠINSKE MREŽE

Št. Reper op. zadaj	Reper spredaj	Q11	Sred.pog. viš.razl.	Qvv	r
1 S1	O2	0.01771	0.00040	0.12782	0.87833
2 S1	O1	0.01556	0.00037	0.09415	0.85821
3 S1	O3	0.00418	0.00019	0.00268	0.39061
4 S1	S2	0.00587	0.00023	0.01804	0.75447

5 S1	O4	0.00418	0.00019	0.03126	0.88194
6 S2	O2	0.01802	0.00040	0.12204	0.87132
7 S2	O1	0.01594	0.00038	0.09822	0.86040
8 S2	O3	0.00522	0.00022	0.02544	0.82982
9 S2	O4	0.00522	0.00022	0.00639	0.55063
10 S2	S1	0.00587	0.00023	0.01804	0.75447
11 O1	O3	0.01537	0.00037	0.09358	0.85896
12 O1	S1	0.01556	0.00037	0.09415	0.85821
13 O1	S2	0.01594	0.00038	0.09822	0.86040
14 O1	O4	0.01537	0.00037	0.10272	0.86987
15 O1	O2	0.01775	0.00040	0.04316	0.70861
16 O2	O3	0.01748	0.00040	0.12984	0.88132
17 O2	S1	0.01771	0.00040	0.12782	0.87833
18 O2	S2	0.01802	0.00040	0.12204	0.87132
19 O2	O4	0.01748	0.00040	0.12147	0.87417
20 O2	O1	0.01775	0.00040	0.04316	0.70861

Skupno število nadštevilnosti je 16.00000000.

Povprečno število nadštevilnosti je 0.80000000.

»Ta stran je namenoma prazna.«