

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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM DRUGE  
STOPNJE GEODEZIJA IN  
GEOINFORMATIKA**

Kandidatka:

**ANITA ANŽELAK**

**PRIMERJAVA MAKETE TRIGLAVA OB BOHINJSKEM JEZERU Z  
DEJANSKO OBLIKO GORE**

Magistrska naloga št.:

**COMPARISON OF THE MOUNT TRIGLAV MODEL AT THE  
BOHINJ LAKE WITH THE ACTUAL MOUNTAIN SHAPE**

Graduation – Master Thesis No.:

**Mentor:**

doc. dr. Dušan Petrovič

**Somentor:**

asist. dr. Dejan Grigillo

asist. dr. Tilen Urbančič

**Član komisije:**

**Predsednik komisije:**

Ljubljana, 2018

## STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna«

**BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

|                   |   |
|-------------------|---|
| UDK/UDC:          | 528.7:551.4.035(497.4Triglav)(043.3)  |
| Avtor:            | Anita Anželak, univ. dipl. inž. geod.   |
| Mentor/mentorica: | doc. dr. Dušan Petrovič   |
| Somentor:         | asist. dr. Dejan Grigillo   |
| Somentor:         | asist. dr. Tilen Urbančič   |
| Naslov:           | Primerjava makete Triglava ob Bohinjskem jezeru z dejansko obliko gore  |
| Tip dokumenta:    | magistrsko delo   |
| Obseg in oprema:  | 40 str., 6 pregl., 32 sl., 2 en., 2 pril.   |
| Ključne besede:   | maketa Triglava, bližnjelikkovna fotogrametrija, »SfM«, fotogrametrični oblak točk, lidarski oblak točk, metoda ICP |

**Izveček**

V magistrskem delu smo ocenili ujemanje makete Triglava ob Bohinjskem jezeru v Ribčevem Lazu z dejansko obliko Triglavskega pogorja. V ta namen smo maketo fotografirali s fotoaparatom in iz fotografij z metodo SfM izdelali fotogrametrični oblak točk. Pridobljeni oblak smo primerjali z dejanskim reliefom, tj. z oblakom točk reliefa Slovenije, pridobljenim v sklopu projekta Laserskega skeniranja Slovenije (lidarski oblak točk). Pri tem smo uporabili orodja usklajevanja merila in poravnave brez in s postopkom ICP. Ujemanje makete z dejansko obliko pogorja smo predstavili s sliko absolutnih razdalj med oblakoma.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

UDK/UDC: 528.7:551.4.035(497.4Triglav)(043.3)  
Author: Anita Anželak, B. Sc.  
Supervisor: assist. prof. Dušan Petrovič, Ph. D.  
Co-supervisor: Assist. Dejan Grigillo, Ph. D.  
Co-supervisor: Assist. Tilen Urbančič, Ph. D.  
Title: Comparison of the Mount Triglav model at the Bohinj lake with the actual mountain shape  
Document type: Master Thesis  
Notes: 40 p., 6 tab., 32 fig., 2 eq., 2 ann.  
Key words: »maketa Triglava«, close-range photogrammetry, SfM, photogrammetric point cloud, lidar point cloud, »ICP« method

### **Abstract**

In masters thesis we estimated identity between Mount Triglav model at the Bohinj lake and actual shape of Triglav mountain Triglav model was photographed with photocamera and using SfM method photogrammetric point cloud from photographs was built. As a reference shape of actual mountain shape we used ground point cloud (lidar point cloud) of Slovenija, result of Laser Scanning of Slovenia project. When comparing both point clouds we used match scales and aligning tools with and without ICP method. Identity between Triglav model and actual Triglav shape is represented with the image of absolute distances between point clouds.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Dušanu Petroviču ter somentorjema asist. dr. Dejanu Grigillu in asist. dr. Tilnu Urbančiču za vso pomoč pri izdelavi magistrskega dela.

Zahvaljujem se tudi družini za stalno podporo v času študija.

## KAZALO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK</b>                               | <b>IV</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT</b>                        | <b>V</b>  |
| <b>ZAHVALA</b>   | <b>VI</b> |
| <b>1 UVOD</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2 MAKETA TRIGLAVA OB BOHINJSKEM JEZERU</b>  | <b>3</b>  |
| <b>3 PRIPRAVE NA TERENSKO DELO</b>   | <b>5</b>  |
| <b>4 IZVEDBA TERENKEGA DELA</b>  | <b>7</b>  |
| 4.1 Tahimeter Leica Nova MS50  | 7         |
| 4.2 Fotoaparat Olympus E-PL7   | 9         |
| 4.3 Merski pribor in pripomočki  | 9         |
| 4.4 Metode izmere  | 11        |
| 4.4.1 Klasična terestrična geodetska izmera  | 11        |
| 4.4.2 Terestrično lasersko skeniranje  | 13        |
| 4.4.3 Bližnjleslikovna fotogrametrija  | 14        |
| <b>5 IZDELAVA OBLAKA TOČK IZ FOTOGRAFIJ V PROGRAMSKEM ORODJU AGISOFT<br/>PHOTOSCAN</b> | <b>15</b> |
| 5.1 Izdelava redkega oblaka točk   | 15        |
| 5.2 Meritev oslonilnih točk  | 16        |
| 5.3 Izdelava gostega oblaka točk   | 17        |
| <b>6 PODATKI O DEJANSKI OBLIKI RELIEFA OBMOČJA</b>                                     | <b>18</b> |
| 6.1 Lasersko skeniranje Slovenije  | 18        |
| 6.2 Oblak točk reliefa   | 19        |
| <b>7 PRIMERJAVA OBLAKOV TOČK V PROGRAMSKEM ORODJU CLOUDCOMPARE</b>                     | <b>20</b> |
| 7.1 Priprava podatkov  | 20        |
| 7.2 Uvoz oblakov točk v CloudCompare   | 22        |
| 7.3 Ujemanje meril oblakov točk  | 22        |
| 7.4 Poravnava oblakov točk   | 22        |
| 7.5 Fina poravnava oblakov točk z metodo ICP   | 23        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>8 REZULTATI PRIMERJAVE</b>                                     | <b>25</b> |
| <b>8.1 Manjše območje</b>   | <b>25</b> |
| <b>8.2 Celotno območje</b>  | <b>29</b> |
| <b>8.3 Primerjava rezultatov med manjšim in celotnim območjem</b> | <b>33</b> |
| <b>9 ZAKLJUČEK</b>  | <b>35</b> |
| <b>VIRI</b>   | <b>38</b> |



## KAZALO SLIK

|   |    |
|---|----|
| Slika 1: Maketa Triglava.....   | 3  |
| Slika 2: Karta Slovenije z označenim območjem, ki ga prikazuje maketa Triglava (vir: Geopedia, 2018). ....  | 4  |
| Slika 3: Območje, ki ga prikazuje maketa Triglava na topografski karti DTK50 (vir: Geopedia, 2018). ....  | 4  |
| Slika 4: Leica Nova MS50 med izvedbo terenskega dela.....   | 7  |
| Slika 5: Fotoaparat Olympus E-PL7.....  | 9  |
| Slika 6: Reflektor Leica GPR1 (Leica Geosystems, 2018). ....  | 10 |
| Slika 7: Stativ Leica (Leica Geosystems, 2018). ....  | 10 |
| Slika 8: Trinožni podstavek Leica (Leica Geosystems, 2018).....   | 10 |
| Slika 9: Nosilec reflektorja z optičnim grezilom Leica (Leica Geosystems, 2018). ....   | 10 |
| Slika 10: Meteorološka postaja. ....  | 10 |
| Slika 11: Črno-bela tarča. ....   | 10 |
| Slika 12: Prikaz meritev. Z rdečo barvo so označene obojestranske, z rumeno pa enostranske meritve.....   | 12 |
| Slika 13: Redek oblak točk s položaji fotografij in oslonilnimi točkami. ....   | 16 |
| Slika 14: Gost oblak točk, položaj orientiranih fotografij in razpored oslonilnih točk.....   | 17 |
| Slika 15: Prikaz območij laserskega skeniranja Slovenije v maju 2014 glede na gostoto skeniranja (vir: Geodetski vestnik, 2014).....  | 18 |
| Slika 16: Manjše območje. ....  | 21 |
| Slika 17: Celotno območje. ....   | 21 |
| Slika 18: Manjše območje: koren srednjega kvadratnega pogreška (RMS) na identičnih točkah znaša 39,85 m.....  | 23 |
| Slika 19: Celotno območje: koren srednjega kvadratnega pogreška (RMS) na identičnih točkah znaša 49,19 m.....   | 23 |
| Slika 20: Manjše območje: koren srednjega kvadratnega pogreška (RMS) na identičnih točkah znaša 16,60 m.....  | 24 |
| Slika 21: Celotno območje: koren srednjega kvadratnega pogreška (RMS) na identičnih točkah znaša 32,55 m.....   | 24 |
| Slika 22: Manjše območje (brez metode ICP). Absolutne razdalje z označenim območjem. ....   | 25 |
| Slika 23: Manjše območje (brez metode ICP). Zgoraj: odstopanje fotogrametričnega oblaka nad lidarskim oblakom, spodaj (grafično merilo je enako, kot na zgornji sliki): odstopanja fotogrametričnega oblaka pod lidarskim oblakom. .... | 26 |
| Slika 24: Manjše območje (z metodo ICP). Absolutne razdalje. ....   | 27 |

|  |    |
|--|----|
| Slika 25: Manjše območje (z metodo ICP). Zgoraj: odstopanje fotogrametričnega oblaka nad lidarskim oblakom, spodaj (grafično merilo je enako, kot na zgornji sliki): odstopanje fotogrametričnega oblaka pod lidarskim oblakom.....    | 28 |
| Slika 26: Celotno območje. Absolutne razdalje (brez metode ICP).....   | 29 |
| Slika 27: Celotno območje. Zgoraj: odstopanje fotogrametričnega oblaka nad lidarskim oblakom, spodaj (grafično merilo je enako, kot na zgornji sliki): odstopanje fotogrametričnega oblaka pod lidarskim oblakom. ....                 | 30 |
| Slika 28: Celotno območje. Absolutne razdalje (z metodo ICP).....  | 31 |
| Slika 29: Celotno območje. Zgoraj: odstopanje fotogrametričnega oblaka nad lidarskim oblakom, spodaj (grafično merilo je enako, kot na zgornji sliki): odstopanje fotogrametričnega oblaka pod lidarskim oblakom (z uporabo ICP). .... | 32 |
| Slika 30: Zgoraj: manjše območje (brez metode ICP), spodaj: celotno območje (brez metode ICP). ....  | 33 |
| Slika 31: Zgoraj: manjše območje (z metodo ICP), spodaj: celotno območje (z metodo ICP). ....  | 34 |
| Slika 32: Zgoraj: Lidarski oblak z označenimi položaji planinskih koč in Aljaževim stolpom, spodaj: fotogrametrični oblak z označenimi položaji planinskih koč in Aljaževim stolpom.....   | 37 |

## KAZALO PREGLEDNIC

|  |    |
|--|----|
| Preglednica 1: Globinska ostrina slik. ....  | 6  |
| Preglednica 2: Tehnične lastnosti instrumenta Leica Nova MS50 (Geoservis, 2018). ....  | 8  |
| Preglednica 3: Prikazane so natančnosti merjenih horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in poševnih dolžin na vseh sedmih stojiščih (100–700). .... | 11 |
| Preglednica 4: Koordinate stojiščnih in oslonilnih točk ter njihove natančnosti. ....  | 13 |
| Preglednica 5: Prostorske koordinate oslonilnih točk in njihove natančnosti v metrih in slikovnih pikah. ....                                      | 17 |
| Preglednica 6: Absolutne razdalje in njihove vrednosti v merilu makete. ....   | 25 |

»Ta stran je namenoma prazna«

## 1 UVOD

Oblak tridimenzionalnih (v nadaljevanju 3D) točk je množica točk v izbranem 3D koordinatnem sistemu. Pridobivanje 3D informacije o objektih ali površju ima izjemen pomen pri različnih strokovnih nalogah, kot tudi v predstavitvenih namenih za širšo javnost. V strokovnih nalogah se s pomočjo oblaka točk lahko izvede rekonstrukcija kulturno-zgodovinskih objektov, izdelava 3D model objekta za arhitekturne, arheološke, umetniške namene itd. Na področju ohranjanja kulturno-zgodovinske dediščine v geometrijski dokumentaciji spomenikov in drugih pomembnih objektov poleg podatkov o obstoječem položaju, obliki in velikosti hranijo tudi oblak točk in iz njega izdelan 3D-model. V primeru njegove poškodbe izvedejo rekonstrukcijo s pomočjo izdelanega 3D-modela (Mulahusić, 2016).

Glavni cilj magistrskega dela je obiskovalcem makete Triglava ob Bohinjskem jezeru v Ribčevem Lazu podati informacijo o njenem ujemanju z dejansko obliko Triglavskega pogorja. Turistom, predvsem pa pohodnikom, ki bodo obiskali maketo Triglav in poznajo Triglavsko pogorje, položaje planinskih domov in značilnih vrhov, bo informacija o ujemanju koristila, saj si bodo tako lažje predstavljali, kolikšno je odstopanje položajev na maketi v primerjavi z dejansko obliko. Ujemanje smo ocenili z absolutnimi razdaljami med oblakom točk makete in oblakom točk dejanske oblike. Neodvisno smo pridobili dva oblaka točk makete: prvega smo izdelali iz fotografij makete (v nadaljevanju fotogrametrični oblak točk), drugega s skeniranjem makete s tahimetrom. Skeniranega oblaka zaradi slabo registriranih oblakov točk nismo uporabili, zato smo za primerjavo z oblakom točk dejanske oblike uporabili le fotogrametrični oblak točk. Oblak točk dejanske oblike Triglavskega pogorja je predstavljal oblak točk reliefa (OTR) Slovenije, ki smo ga dobili na spletni strani Ministrstva za okolje in prostor. Oblak točk reliefa Slovenije je bil pridobljen s tehnologijo LiDAR (angl. Light Detection And Ranging) v sklopu projekta Laserskega skeniranja Slovenije.

Namen magistrskega dela je uporaba in primerjava dveh metod zajema površja makete, in sicer skeniranje s tahimetrom in fotogrametrični zajem z nemerskim fotoaparatom. Z uporabo dveh metod smo hoteli ugotoviti, s katero od njiju dobimo bolj natančen oblak točk. Razlika med uporabljenima tehnologijama je v njunih lastnostih in postopku izdelave oblaka točk. Rezultat skeniranja s tahimetrom je oblak točk. Kadar objekt skeniramo na več stojščih, posamezne oblake točk registriramo v enoten koordinatni sistem. Pri fotografiranju s fotoaparatom so rezultat fotografije. Iz njih z metodami gostega slikovnega ujemanja in predhodno določenih oslonilnih točk na objektu izdelamo oblak točk. Pri izdelavi fotogrametričnega oblaka točk smo se spoznali metodo grajene strukture iz gibanja ali »SfM« (ang. Structure from Motion).

Magistrsko delo je sestavljeno iz uvoda in osmih vsebinskih poglavij. V drugem poglavju je podan opis makete Triglava. V tretjem poglavju so opisane priprave na terensko delo. V naslednjem poglavju je predstavljena izvedba terenskega dela. V njem je opisan tahimeter Leica Nova MS50, ki smo ga uporabili za klasične geodetske meritve in skeniranje, fotoaparati Olympus E-PL7, s katerim smo izvedli fotogrametrično izmero, in ostala merska oprema. Opisane so tudi merske metode, ki smo jih uporabili. V petem poglavju je po korakih predstavljena izgradnja oblaka točk iz posnetih fotografij v programskem paketu Agisoft PhotoScan. V šestem poglavju so opisani primerjalni podatki, to je oblak točk reliefa Slovenije. V naslednjem poglavju so opisani koraki primerjave v programskem paketu CloudCompare med primerjalnimi podatki in oblakom točk, pridobljenim iz fotografij. Rezultati primerjave so podani v naslednjem poglavju. V zadnjem poglavju so opisane ugotovitve primerjave in zaključek.

## 2 MAKETA TRIGLAVA OB BOHINJSKEM JEZERU

Maketa Triglava (slika 1) se nahaja v Ribčevem Lazu ob Bohinjskem jezeru. Izdelal jo je bohinjski slikar Valentin Hodnik med letoma 1931 in 1932. Avtor se je rodil 18. februarja 1896 v Stari Fužini, umrl pa 6. decembra 1935. Obiskoval je umetniško-obrtniško šolo v Ljubljani in kasneje likovno akademijo v Zagrebu. Njegova dela so bila prikazana realistično, velikokrat pa tudi šaljivo. Slikal je bohinjske gore in izdeloval smučarske razglednice za turiste (Sivec, 2006).

Maketa vsebuje tri tone kamenja (Vir: tabla pri maketi). V dolžino meri približno 5 m, v širino 3 m in v višino 2 m. Ni znano, katere podatke je avtor uporabil za izdelavo makete. Maketa zajema širše območje Triglava in okolice, ki poleg Triglava (2864 m) z Aljaževim stolpom vsebuje še Mali Triglav (2725 m), Dom Planiko pod Triglavom (2401 m), Triglavski dom na Kredarici (2515 m) in Dom Valentina Staniča pod Triglavom (2332 m). Območje, ki ga prikazuje maketa, je prikazano na sliki 2 in sliki 3. Kovinski modeli Aljaževega stolpa in planinskih domov na maketi so izdelani v večjem merilu kot sama maketa.

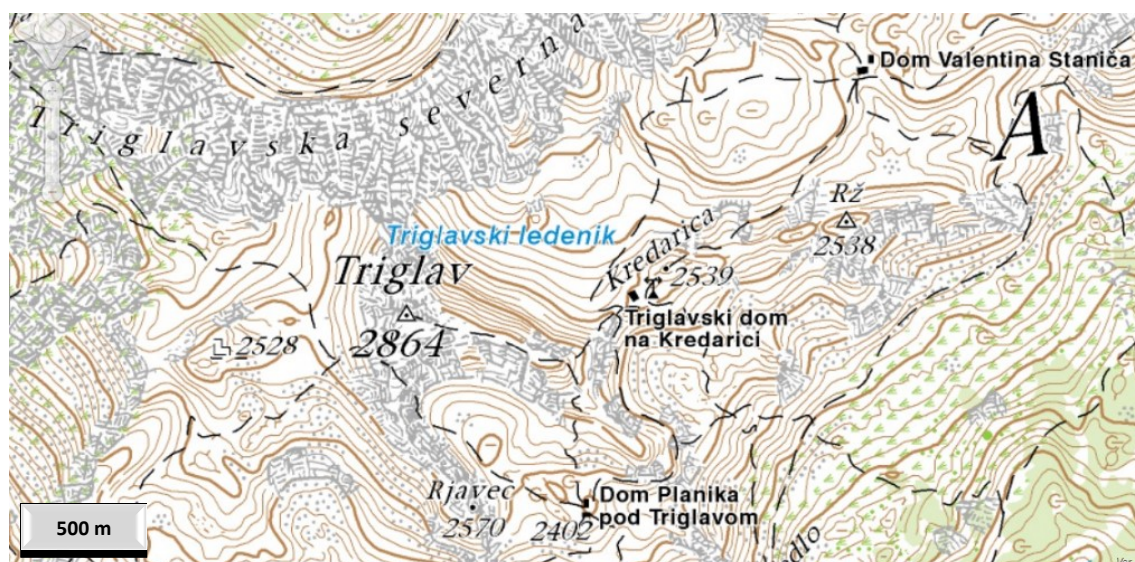


Slika 1: Maketa Triglava.





Slika 2: Karta Slovenije z označenim območjem, ki ga prikazuje maketa Triglava (vir: Geopedia, 2018).



Slika 3: Območje, ki ga prikazuje maketa Triglava na topografski karti DTK50 (vir: Geopedia, 2018).



### 3 PRIPRAVE NA TERENSKO DELO

Preden smo se odpravili na teren smo izdelali načrt postavitve stojšč tahimetra za skeniranje in fotogrametrični plan izmere. Za namen skeniranja smo vzpostavili geodetsko mrežo, ki je podrobneje opisana v poglavju 4.4.1. Pri izdelavi fotogrametričnega plana izmere smo upoštevali vrsto in lastnosti fotoaparata, lastnosti izbrane fotogrametrične metode (SfM), velikost in obliko makete ter prostorsko ločljivost fotografij. Plan fotogrametrične izmere makete Triglava je vseboval naslednje podatke:

- fotoaparat Olympus E-PL7;
- velikost obravnavanega objekta (5 x 3 x 2 m)
- končno prostorsko ločljivost fotografij vsaj 1 mm;
- konvergentnost posnetih fotografij:
  - o snemalne osi usmerjene proti središču makete;
  - o snemanje na treh višinah, v položaju počepa, stoje in na lestvi;
  - o prekrivanje fotografij: vsaj 80 %;
  - o oddaljenost fotoaparata od objekta: od 4 do 5 m;
  - o razdalja med dvema sosednjima fotografijama: 0,7–0,9 m, kar ustreza izbranemu premiku 10° pri oddaljenosti 4–5 m od objekta;
- število in položaj oslonilnih točk: signalizirane čim bolj enakomerno; na vsaki fotografiji morajo biti vidne vsaj tri oslonilne točke;
- globinska ostrina fotografij (preglednica 1) glede na zaslonsko število in oddaljenost od objekta. Izračunali smo jo po enačbi (Grigillo, 2003):

$$P_{B,D} = \frac{P}{1 \pm (P-f)uD/f^2}, \quad (1)$$

V enačbi (1) je  $P_{B,D}$  globinska ostrina (razdalji, med katerima nastane ostra fotografija),  $P$  oddaljenost objekta od objektiv,  $f$  goriščna razdalja,  $u$  krog sipanja (uporabili smo velikost piksla 0,0038 x 0,0038 mm) in  $D$  zaslonsko število.

Preglednica 1: Globinska ostrina slik.

| <b>Zaslonsko<br/>število/oddaljenost</b> | <b>4 m</b> | <b>4,5 m</b> | <b>5 m</b> |
|--|------------|--------------|------------|
| <b><math>D = 2</math></b>                | 3,62–4,47  | 4,03–5,10    | 4,42–5,75  |
| <b><math>D = 4</math></b>                | 3,31–5,06  | 3,64–5,89    | 3,96–6,78  |
| <b><math>D = 5.6</math></b>              | 3,09–5,66  | 3,38–6,72    | 3,66–7,90  |
| <b><math>D = 7</math></b>                | 2,93–6,32  | 3,19–7,66    | 3,43–9,24  |
| <b><math>D = 8</math></b>                | 2,82–6,88  | 3,06–8,52    | 3,28–10,51 |
| <b><math>D = 11</math></b>               | 2,54–9,44  | 2,73–12,80   | 2,91–17,90 |
| <b><math>D = 16</math></b>               | 2,18–24,68 | 2,32–79,14   | 2,44–      |
| <b><math>D = 22</math></b>               | 1,86–      | 1,96–        | 2,05–      |

## 4 IZVEDBA TERENSKEGA DELA

Meritve smo izvedli 5. 9. 2017. Z delom smo pričeli ob 9. uri, končali pa ob 15. uri. Klasične meritve in skeniranje makete Triglava smo izvedli z univerzalnim tahimetrom Leica Nova MS50, fotografiranje makete pa s fotoaparatom Olympus E-PL7.

### 4.1 Tahimeter Leica Nova MS50

Tahimeter Leica Nova MS50 (slika 4) odlikuje zmogljiva tehnologija »mergeTEC«, ki zajema zmogljive funkcije, kot so visoka stopnja avtomatizacije, 3D-lasersko skeniranje, povezljivosti s tehnologijo GNSS, merjenje dolžin brez reflektorja do 2 km in slikovna podpora (Geoservis, 2018). Leica Nova MS50 ima vgrajeno širokokotno kamero in kamero s 30-kratno povečavo. Z njima lahko pridobimo kakovostne digitalne posnetke in videe. Za obdelavo podatkov nam je na voljo programska oprema Leica Infinity, Leica MultiWorx za AutoCAD, Leica Cyclone, Leica GeoMoS itd. Natančnost merjenja dolžin z reflektorjem je 1 mm + 1,5 ppm, brez reflektorja pa 2 mm + 2 ppm. Hitrost skeniranja je do 1000 točk/s. Ostale tehnične lastnosti so prikazane v preglednici 2.



Slika 4: Leica Nova MS50 med izvedbo terenskega dela.

Preglednica 2: Tehnične lastnosti instrumenta Leica Nova MS50 (Geoservis, 2018).

|  |   |
|--|---|
| <b>Merjenje kotov:</b>                                   |   |
| Natančnost Hz, V   | 1" (0,3 mgon)   |
| <b>Merjenje razdalj:</b>                                 |   |
| Z reflektorjem<br>(doseg/natančnost)                     | 10.000 m/1 mm + 1,5 ppm   |
| Brez reflektorja<br>(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<br>GPR1                   | 1000 m, sledenje reflektorja: 800 m   |
| Kotna natančnost in trajanje<br>meritve ATR na GPR1      | 1"/običajno 2,5 s   |
| <b>Skeniranje:</b>                                       |   |
| Hitrost vrtenja s piezo motornimi<br>pogoni              | 180°/s  |
| Hitrost/največji doseg/šum                               | 1000 Hz/300 m/1,0 mm na razdalji 50 m<br>250 Hz/400 m/0,8 mm na razdalji 50 m<br>62 Hz/500 m/0,6 mm na razdalji 50 m<br>1 Hz/1000 m/0,6 mm na razdalji 50 m |
| Vizualizacija  | Vgrajen pregledovalnik 3D-oblakov točk, tudi<br>s fotorealističnim obarvanjem oblakov   |
| <b>Slikovna podpora:</b>                                 |   |
| Vgrajeni kameri<br>(ločljivost/frekvenca<br>osveževanje) | 5 MP CMOS slikovni senzor/20 Hz   |
| Lastnosti  | Samodejno fokusiranje, viziranje prek<br>zaslona, digitalna skica na fotografiji  |
| <b>Splošno:</b>  |   |
| Operacijski sistem/nameščena<br>programska oprema        | Windows CE 6.0/Leica SmartWorx Viva   |
| Zaslon v obeh krožnih legah                              | 8,9 cm, 640 x 480 slikovnih elementov (VGA),<br>barvni LED-zaslon na dotik, berljiv na soncu  |
| Tipkovnica   | 36 osvetljenih tipk (12 funkcijskih in 12<br>alfanumeričnih tipk), pametna tipka za<br>proženje meritev, 2 tipki za ročno nastavitve<br>fokusiranja         |
| Neskončni vijaki   | 2 vijaka za Hz pomik, 1 vijak za V pomik,<br>vijak za ročno fokusiranje   |
| Vgrajen pomnilnik/pomnilniški<br>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<br>delovanja                        | –20 °C do +50 °C  |
| Odpornost na prah in vodo (IEC<br>60529)/vlago           | IP65/95 %, brez kondenziranja   |

## 4.2 Fotoaparat Olympus E-PL7

Olympus E-PL7 (slika 5) je kompaktni fotoaparat japonskega podjetja Olympus Corporation. Fotoaparat spada v skupino najnovejših digitalnih fotoaparátov serije PEN. Dimenzije fotoaparata so 115 x 67 x 38 mm, teža pa 357 gramov. Vsebuje tudi LCD-zaslon na dotik. Ima zmogljiv senzor Live MOS s 16 milijoni slikovnih točk (4608 x 3456 pikslov) in dimenzijami 17,3 mm x 13,0 mm. Velikost piksla je 0,0038 x 0,0038 mm. Objektiv ima konstantno goriščno razdaljo 17 mm. Čas zapiranja zaklopa je do 1/4000 sekunde. Posnete fotografije so v formatih JPEG, ORF ali MPO in se shranjujejo na SD-, SDHC- ali SDXC-kartico.



Slika 5: Fotoaparat Olympus E-PL7.

## 4.3 Merski pribor in pripomočki

Uporabili smo šest stativov (slika 7), pet reflektorjev GPR1 (slika 6), pet nosilcev reflektorja z optičnim grezilom (slika 9) in pet trinožnih podstavkov (slika 8). Z meteorološko postajo (slika 10) smo na začetku meritev izmerili temperaturo in tlak. Oslonilne točke na maketi smo označili s črno-belimi tarčami dimenzij 2 x 2 cm (slika 11). Pri fotografiranju smo uporabili stativ za fotoaparat in lestev.



Slika 7: Stativ Leica (Leica Geosystems, 2018).



Slika 6: Reflektor Leica GPR1 (Leica Geosystems, 2018).



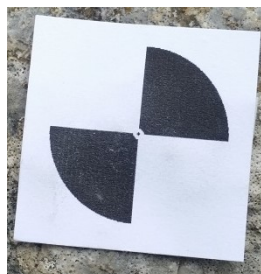
Slika 9: Nosilec reflektorja z optičnim grezilom Leica (Leica Geosystems, 2018).



Slika 8: Trinožni podstavek Leica (Leica Geosystems, 2018).



Slika 10: Meteorološka postaja.



Slika 11: Črno-bela tarča.

#### 4.4 Metode izmere

S kombinirano triangulacijsko-trilateracijsko metodo in trigonometričnim višinomerstvom smo vzpostavili lokalno geodetsko mrežo, kjer smo istočasno izmerili položaje oslonilnih točk in izvedli skeniranje. Neodvisno smo izvedli fotografiranje makete.

##### 4.4.1 Klasična terestrična geodetska izmera

Za namen skeniranja in določitve oslonilnih točk smo okoli makete Triglava vzpostavili kombinirano triangulacijsko-trilateracijsko mrežo. Uporabili smo dve metodi izmere, in sicer trigonometrično višinomerstvo in kombinirano triangulacijsko-trilateracijsko metodo, kjer smo merili horizontalne smeri, poševne dolžine in zenitne razdalje.

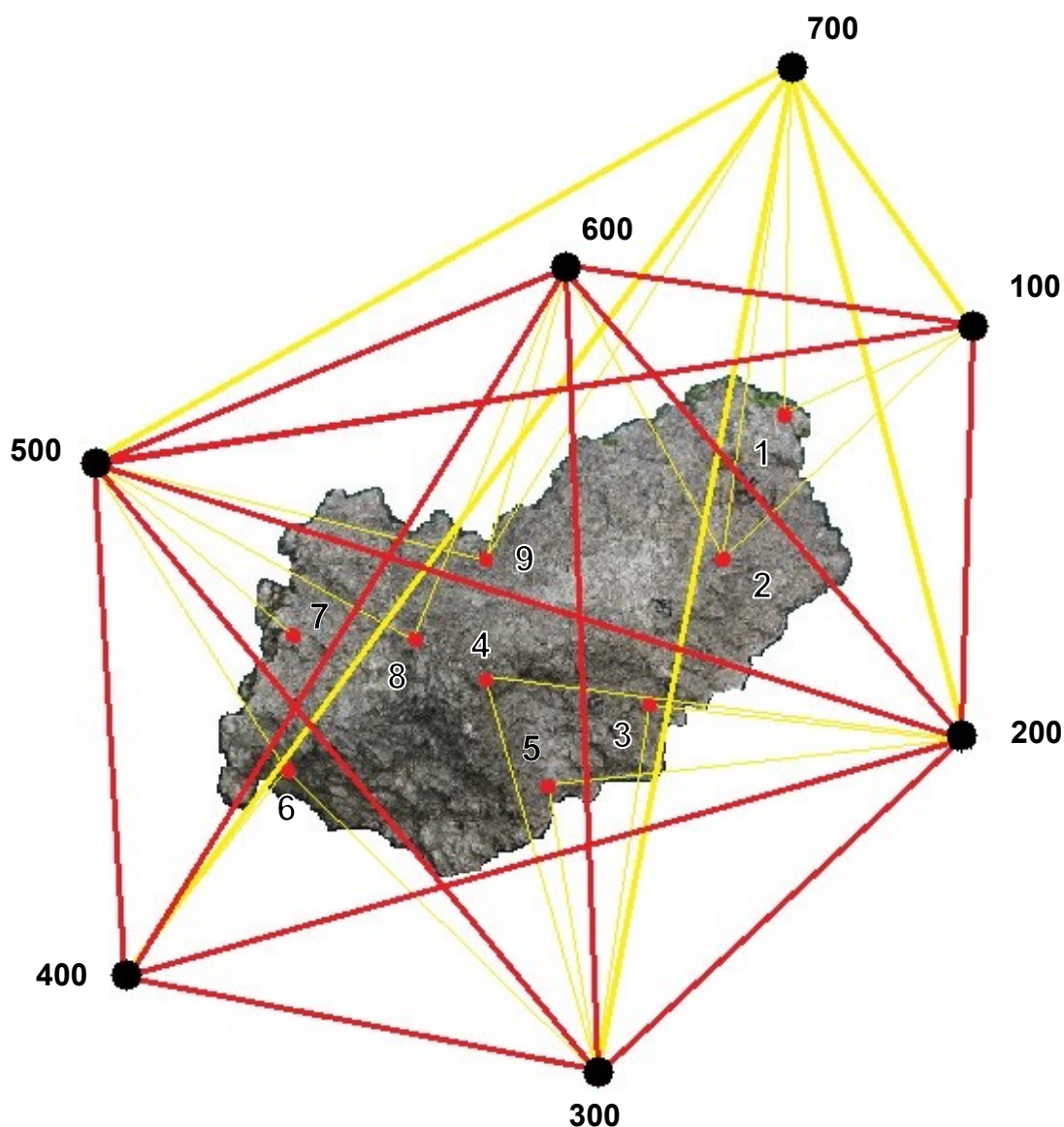
Vzpostavili smo lokalno geodetsko mrežo s sedmimi točkami (stojiščne točke) z oznakami od 100 do 700, kot prikazuje slika 12. Izhodišče koordinatnega sistema smo v času izmere določili s točko 100 s koordinatami (1000, 1000, 100) in približno orientacijo x-osi proti severu. Na ta način so bili končni rezultati meritev približno orientirani v dejanski prostor. Poleg koordinat stojiščnih točk je bilo treba za namen fotogrametrične obdelave določiti tudi koordinate devetim oslonilnim točkam z oznakami od 1 do 9 (slika 12). Na vsakem stojišču smo v treh girusih opazovali vse ostale stojiščne točke in vidne oslonilne točke. Opazovali smo horizontalne smeri, poševne dolžine in zenitne razdalje. Meritve so bile nadštevilne. Na sliki 12 so označene meritve, z rdečo barvo obojestranske, z rumeno pa enostranske.

Obdelava meritev je potekala v programskem paketu Leica Infinity. V programu smo izračunali sredine meritev in njihove natančnosti (preglednica 3), reducirane dolžine, višinske razlike in približne koordinate stojiščnih in oslonilnih točk. Horizontalne smeri smo izmerili s povprečno natančnostjo 0,40 mgona, zenitne razdalje s povprečno natančnostjo 0,11 mgona in poševne dolžine s povprečno natančnostjo 0,07 mm.

Preglednica 3: Prikazane so natančnosti merjenih horizontalnih smeri, zenitnih razdalj in poševnih dolžin na vseh sedmih stojiščih (100–700).

|                      | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  | 700  |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\sigma_{Hz}$ [mgon] | 0,15 | 0,06 | 0,66 | 0,07 | 0,11 | 0,76 | 0,19 |
| $\sigma_z$ [mgon]    | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,05 | 0,11 | 0,18 | 0,11 |
| $\sigma_d$ [mm]      | 0,06 | 0,04 | 0,09 | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,12 |





Slika 12: Prikaz meritev. Z rdečo barvo so označene obojestranske, z rumeno pa enostranske meritve.

Geodetsko mrežo smo izravnali v programih GEM4 in VimWin. GEM4 je program za izravnavo horizontalnih geodetskih mrež, VimWin pa za izravnavo višinskih mrež. V vhodni datoteki za program GEM4 (priloga A) so približne koordinate stojiščnih in oslonilnih točk, merjene smeri (iz sredin girusov) in reducirane dolžine. V vhodni datoteki za program VimWin (priloga B) so višine istih točk kot pri horizontalni izravnavi, višinske razlike in dolžine. Rezultati horizontalne in višinske izravnave, kjer smo v obeh primerih mrežo izravnali kot prosto, so prikazani v preglednici 4 in vsebujejo izravnane koordinate sedmih stojiščnih in devetih oslonilnih točk ter njihove natančnosti. Natančnosti koordinat točk znašajo pod 1 mm, le točka 7 je izmerjena s slabšo natančnostjo, saj je bila izmerjena le iz enega stojišča.



Preglednica 4: Koordinate stojiščnih in oslonilnih točk ter njihove natančnosti.

| Točka | $y$ [m]  | $x$ [m]   | $H$ [m]  | $\sigma_y$ [mm] | $\sigma_x$ [mm] | $\sigma_H$ [mm] |
|-------|----------|-----------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 100   | 999,9948 | 999,9984  | 99,9995  | 0,5             | 0,4             | 0,09            |
| 700   | 997,9755 | 1002,9683 | 99,4450  | 0,4             | 0,7             | 0,13            |
| 600   | 995,6559 | 1000,5575 | 99,4641  | 0,2             | 0,4             | 0,09            |
| 500   | 990,3401 | 998,2443  | 99,3928  | 0,6             | 0,5             | 0,09            |
| 400   | 991,6901 | 992,7688  | 99,9941  | 0,6             | 0,6             | 0,10            |
| 300   | 996,0332 | 992,0514  | 100,5727 | 0,5             | 0,5             | 0,09            |
| 200   | 999,7682 | 995,4586  | 100,6721 | 0,6             | 0,2             | 0,10            |
| 1     | 997,8793 | 998,5769  | 98,6381  | 0,4             | 0,3             | 0,15            |
| 2     | 997,1405 | 997,0208  | 99,4627  | 0,3             | 0,2             | 0,16            |
| 9     | 994,5682 | 997,3718  | 98,4282  | 0,3             | 0,3             | 0,15            |
| 8     | 994,1116 | 996,6334  | 99,7149  | 0,3             | 0,3             | 0,18            |
| 6     | 992,6972 | 995,1343  | 98,5906  | 0,4             | 0,4             | 0,13            |
| 7     | 992,6909 | 996,4026  | 98,5413  | 1,3             | 1,1             | 0,19            |
| 3     | 996,3503 | 995,7062  | 99,1695  | 0,3             | 0,2             | 0,16            |
| 4     | 994,7384 | 996,1350  | 99,9089  | 0,3             | 0,3             | 0,20            |
| 5     | 995,3803 | 994,8138  | 99,0500  | 0,4             | 0,3             | 0,16            |

#### 4.4.2 Terestrično lasersko skeniranje

Lasersko skeniranje je ena izmed tehnologij, s katero določimo 3D-obliko in dimenzije objekta. Instrument pri skeniranju pošlje laserski žarek proti objektu, kjer se odbije in vrne nazaj proti instrumentu. Podatke o merskih vrednostih (horizontalna smer, vertikalna smer in poševna dolžina) instrument določi na osnovi razlik med oddanim in sprejetim laserskim pulzom, iz lastnosti prejetega pulza pa določi tudi jakost odboja. Kadar skeniranje izvajamo iz tal, mersko metodo imenujemo terestrično lasersko skeniranje.

Skeniranje makete smo izvedli na stojiščih z oznakami od 100 do 600. Glede na oddaljenost od makete in velikost izbranega skeniranega območja, smo za najbolj oddaljeno točko na maketi določili gostoto skeniranja 4 mm. Oblak točk smo na osnovi izravnanih koordinat stojiščnih točk izdelali v programu Leica Infinity. Skeniranega oblaka v nadaljnjo obravnavo nismo vključili, saj so se v času izmere trije stativi rahlo posedli in posledično posamezni oblaki točk niso bili dobro registrirani.

#### 4.4.3 Bližnjelikovna fotogrametrija

Fotogrametrijo lahko razdelimo glede na različne kriterije, in sicer glede na vrsto uporabe, število posnetkov, oddaljenost od objekta, uporabljeno tehnologijo, valovne dolžine elektromagnetnega sevanja, dostopnost rezultatov, vrsto uporabljenega fotoaparata itd. (Bric, 2015). Glede na oddaljenost od objekta ločimo makro, bližnjelikovno, terestrično, letalsko in satelitsko fotogrametrijo. Kadar objekt fotografiramo iz roke ali z daljinsko vodenega zrakoplova, metodo imenujemo bližnjelikovna fotogrametrija. V bližnjelikovni fotogrametriji fotografiramo z merskimi ali nemerskimi fotoaparati. Merski fotoaparati imajo vnaprej znane kalibracijske podatke (parametre notranje orientacije), nemerski pa ne. Kadar uporabljamo nemerske fotoaparate, kalibracijo izvedemo med izvedbo projekta. To lahko naredimo z uporabo testnega polja z znanimi oblikami ali pa izvedemo samokalibracijo. Pri samokalibraciji pazimo, da posnamemo čim več konvergentnih fotografij, ne spreminjamo nastavitvev fotoaparata in na fotografijah v postopku aerotriangulacije izmerimo čim več oslonilnih točk.

Fotografirali smo okoli makete v radiju od 4 do 5 m v položaju počepa, nato stoje in na koncu še na lestvi. Da bi čim manj vplivali na elemente notranje orientacije fotoaparata, smo fotografirali s konstantno odprtino zaslonke ( $D = 7$ ). Le izjemoma smo morali zaradi slabše osvetlitve objekta nekaj fotografij posneli z večjo odprtino zaslonke ( $D = 5,6$ ). To smo storili v primeru slikanja z lestve, ki smo ga izvajali »z roke« in zato nismo mogli podaljšati časa osvetlitve. Posneli smo 125 fotografij, položaji projekcijskih centrov so vidni na sliki 13.

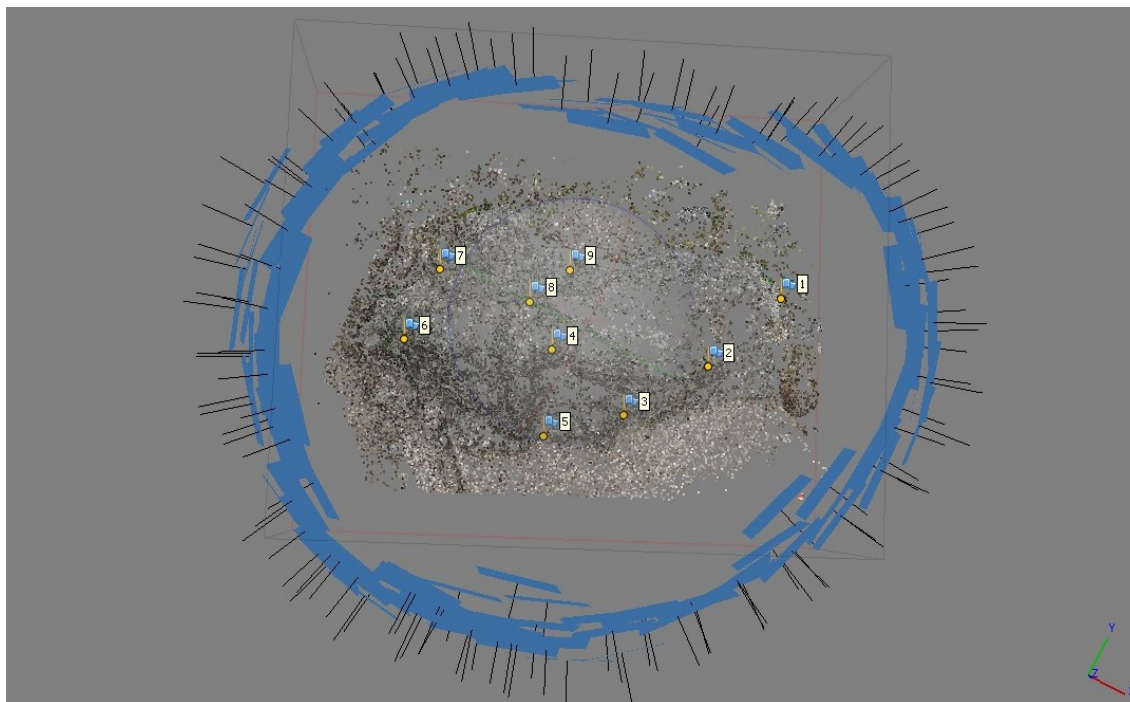
## **5 IZDELAVA OBLAKA TOČK IZ FOTOGRAFIJ V PROGRAMSKEM ORODJU AGISOFT PHOTOSCAN**

Oblak točk smo pridobili s fotogrametrično obdelavo fotografij v plačljivem programskem paketu PhotoScan ruskega proizvajalca Agisoft. Program je namenjen izdelavi oblaka točk in 3D-modeliranju. Za obdelavo fotografij uporablja v računalniškem vidu poznano metodo grajene strukture iz gibanja (angl. Structure from motion ali SfM) pri kateri se sočasno določijo geometrijski parametri fotoaparata ali parametri notranje orientacije (slikovne koordinate glavne točke, konstanta fotoaparata, nepravokotnost med kartezičnim slikovnim in pikselnim koordinatnim sistemom ter parametri optične distorzije) in relativni odnos med fotografijami v času ekspozicije ali relativna orientacija. Izračuna se tudi redek oblak točk. Pri tem nam ni treba vnaprej določati koordinat oslonilnih in kontrolnih točk. Prednost SfM je tudi ta, da ne potrebuje podatkov o fotoaparatu in predhodnih podatkov o času in lokaciji fotografiranja (Kokalj, 2014). Westoby (2012) navaja, da je SfM primerna metoda za naloge v topografiji in fotogrametriji, predvsem na področju obravnavanja površij in objektov, ki so na prostorsko zahtevnejših območjih.

Postopek obdelave je potekal tako, da smo najprej izračunali redek oblak točk, izmerili oslonilne točke na fotografijah in izračunali gost oblak točk. Koraki obdelave so podrobneje predstavljeni v naslednjih poglavjih.

### **5.1 Izdelava redkega oblaka točk**

Matematični algoritem »SfM« z metodami gostega slikovnega ujemanja poišče značilne identične točke na vseh fotografijah. Na podlagi identičnih točk izračuna parametre notranje (samokalibracija) in relativne orientacije fotoaparata ter izdela redek oblak točk. Na sliki 13 je prikazan obrezan redek oblak točk makete Triglava, ki je sestavljen iz 68.267 točk.



Slika 13: Redek oblak točk s položaji fotografij in oslonilnimi točkami.

## 5.2 Meritev oslonilnih točk

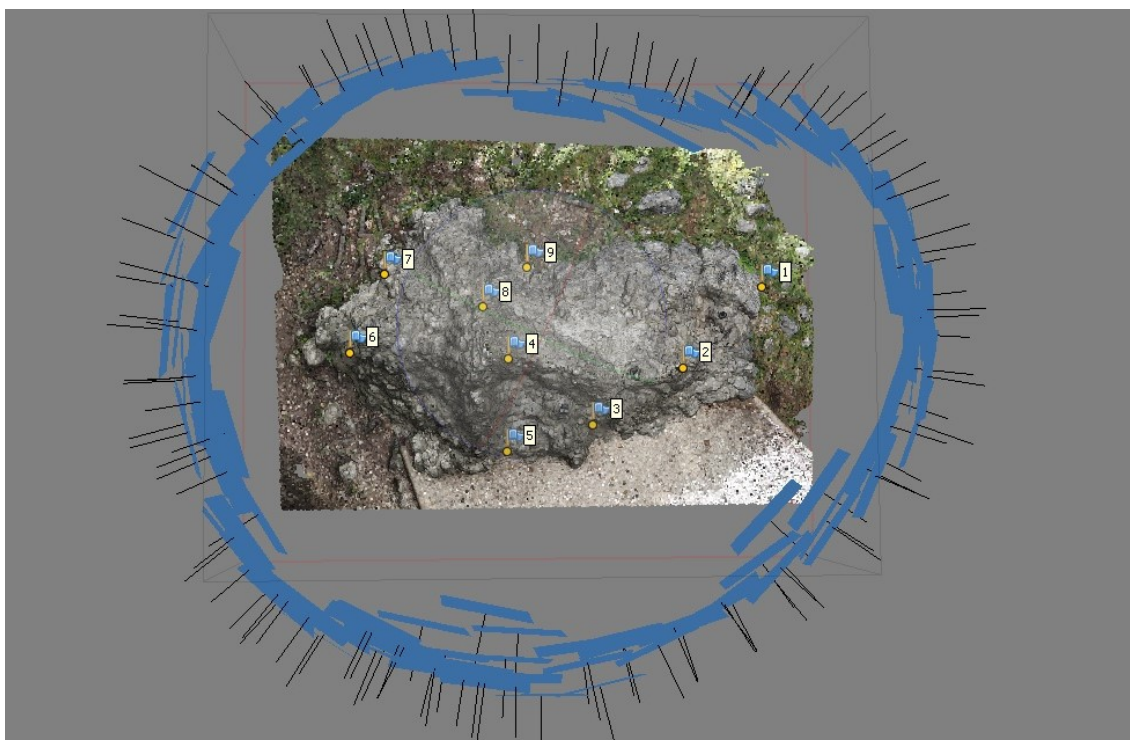
V program smo uvozili koordinate oslonilnih točk in jih ročno izmerili na vseh fotografijah. Obdržali smo le dobro vidne izmerjene oslonilne točke na fotografijah. S tem smo izračunali zunanjo orientacijo v prostorskem koordinatnem sistemu (tj. koordinatni sistem, realiziran z oslonilnimi točkami) in na ta način izdelkom zagotovili dejansko velikost. Rezultat postopka sta še preračunan redki oblak točk v prostorskem koordinatnem sistemu in preračunana notranja orientacija fotoaparata. Na sliki 13 so prikazani položaji vseh oslonilnih točk (modre zastavice). Prostorske koordinate oslonilnih točk in njihove natančnosti so prikazane v preglednici 5. Napake v preglednici so podane s koreni srednjih kvadratnih pogreškov oslonilnih točk v oblaku točk ([m]) in na fotografijah ([pix]). Povprečna vrednost srednjih kvadratnih pogreškov je 0,35 mm v oblaku točk in 0,232 piksla na fotografijah. V stolpcu »Projekcije« je prikazan podatek, ki predstavlja število fotografij, na katerih se nahaja določena oslonilna točka.

Preglednica 5: Prostorske koordinate oslonilnih točk in njihove natančnosti v metrih in slikovnih pikah.

| Oslonilne točke | x        | y        | H       | Napaka [m] | Projekcije | Napaka [pix] |
|-----------------|----------|----------|---------|------------|------------|--------------|
| 1               | 997,8793 | 998,5769 | 98,6381 | 0,000314   | 23         | 0,214        |
| 2               | 997,1405 | 997,0208 | 99,4627 | 0,000246   | 29         | 0,206        |
| 3               | 996,3503 | 995,7062 | 99,1695 | 0,000312   | 41         | 0,225        |
| 4               | 994,7384 | 996,1350 | 99,9089 | 0,000168   | 44         | 0,207        |
| 5               | 995,3803 | 994,8138 | 99,0500 | 0,000294   | 41         | 0,201        |
| 6               | 992,6972 | 995,1343 | 98,5906 | 0,000233   | 39         | 0,247        |
| 7               | 992,6909 | 996,4026 | 98,5413 | 0,000341   | 30         | 0,268        |
| 8               | 994,1116 | 996,6334 | 99,7149 | 0,000381   | 34         | 0,256        |
| 9               | 994,5682 | 997,3718 | 98,4282 | 0,000833   | 36         | 0,261        |

### 5.3 Izdelava gostega oblaka točk

V zadnjem koraku smo s pomočjo prostorskih presekov slikovnih žarkov identičnih točk izračunali gost oblak točk (v nadaljevanju fotogrametrični oblak točk). Pri njegovi izdelavi smo stopnjo kakovosti izdelave oblaka točk nastavili na najvišje, stopnjo filtriranja fotografij pa na najmanjše. Končni oblak točk je prikazan na sliki 14. Vsebuje 96.006.133 točk. Datoteka oblaka točk je sestavljena iz koordinat točk in njihovih barvnih komponent RGB.

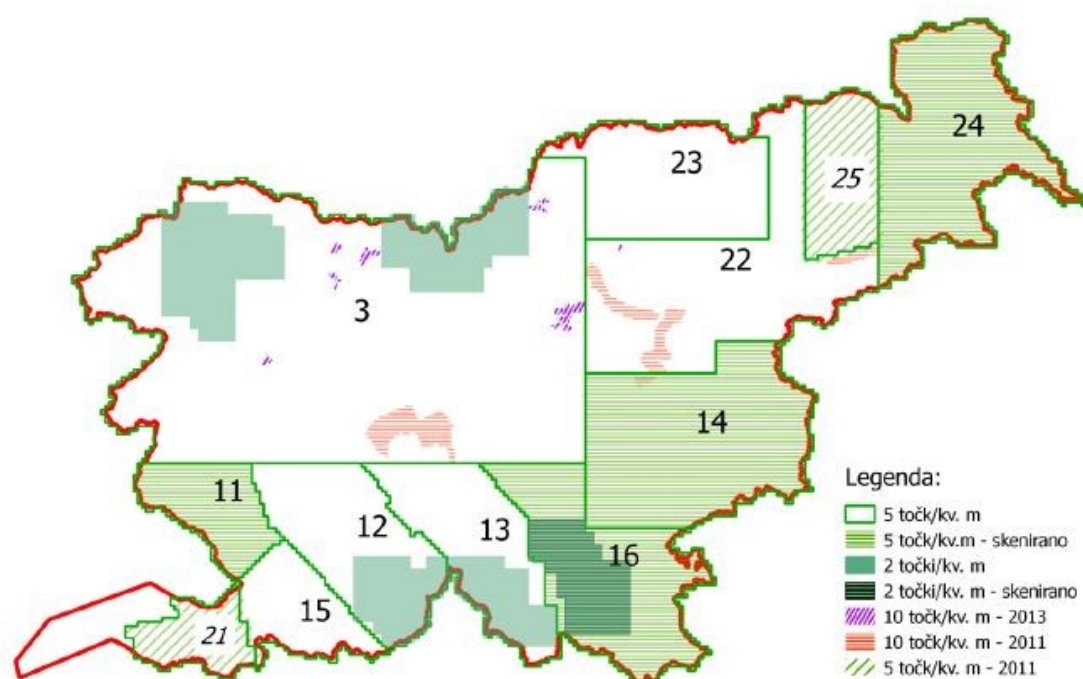


Slika 14: Gost oblak točk, položaj orientiranih fotografij in razpored oslonilnih točk.

## 6 PODATKI O DEJANSKI OBLIKI RELIEFA OBMOČJA

### 6.1 Lasersko skeniranje Slovenije

Projekt laserskega skeniranja Slovenije (LSS) je bil izveden med letoma 2011 in 2015. Glavni namen projekta, ki je bil izveden pod vodstvom Ministrstva za kmetijstvo in okolje Republike Slovenije, je bil zagotoviti ustrezne podatke na področju hidrografije in dejanske rabe (Triglav Čekada, 2015). Lasersko skeniranje s tehnologijo LiDAR je potekalo tako, da so območje Slovenije razdelili na 19 blokov. Leta 2011 sta bila poskenirana dva bloka z gostoto 5 točk/m<sup>2</sup>. Ostali bloki so bil skenirani z gostoto 5 točk/m<sup>2</sup> in 2 točki/m<sup>2</sup>, le na območjih Ljubljanskega barja, Cerknega, Kroke in Kamne Gorice, Begunj, Tržiča, Črne na Koroškem, Hrastovca, Vranskega, na dveh delih Savinje in na delu Dravinje so skenirali z gostoto 10 točk/m<sup>2</sup> (slika 15) (Triglav Čekada, 2015).



Slika 15: Prikaz območij laserskega skeniranja Slovenije v maju 2014 glede na gostoto skeniranja (vir: Geodetski vestnik, 2014).

Rezultat LSS so naslednji izdelki:

- oblak točk reliefa (OTR) v formatu LAS;
- georeferenciran oblak točk z elipsoidnimi višinami (GOT) v formatu LAS;
- georeferenciran in klasificiran oblak točk z nadmorskimi višinami (GKOT) v formatu LAS;
- digitalni model reliefa z mrežno celico velikosti 1 m (DMR1) v formatu ASCII in
- podobe analitičnega senčenja (PAS) v formatu TIF.

OTR, GKOT in DMR1 so prosto dostopni na internetnem portalu Lidar Ministrstva za okolje in prostor RS. Podatke lahko dobimo v »starem« D48/GK in »novem« D96/TM koordinatnem sistemu.

## **6.2 Oblak točk reliefa**

Oblak točk reliefa (OTR) vsebuje tiste točke, ki so bile v klasifikaciji skeniranega oblaka točk prepoznane kot talne točke. Ostale točke, ki predstavljajo nizko, srednjo, visoko vegetacijo, stavbe in neklasificirane točke v OTR niso vključene. Datoteko LAS smo pretvorili v tekstovno datoteko, ki vsebuje točke s koordinatama  $e$  in  $n$ , nadmorskimi višinami  $H$  in vrednostmi, ki predstavljajo jakost odboja.

## 7 PRIMERJAVA OBLAKOV TOČK V PROGRAMSKEM ORODJU CLOUDCOMPARE

Odprtokodno programsko orodje CloudCompare je namenjeno obdelavi in primerjavi oblakov točk. Oblaku točk lahko spreminjamo gostoto, ga obrežemo, premikamo in rotiramo, spreminjamo merilo in iz njega izdelamo 3D-model. Spreminjamo lahko tudi prikaz točk glede na intenziteto, RGB itd. Hkrati lahko obdelujemo več oblakov točk, kjer uporabljamo orodja, kot so »bound bounding boxes«, »match scales«, »align tool« in »registration ICP«. Za prikaz rezultatov lahko uporabimo orodja za izračun razdalj med točkami dveh oblakov ali med točkami enega oblaka in 3D-modelom. Koraki obdelave so predstavljeni v naslednji poglavjih.

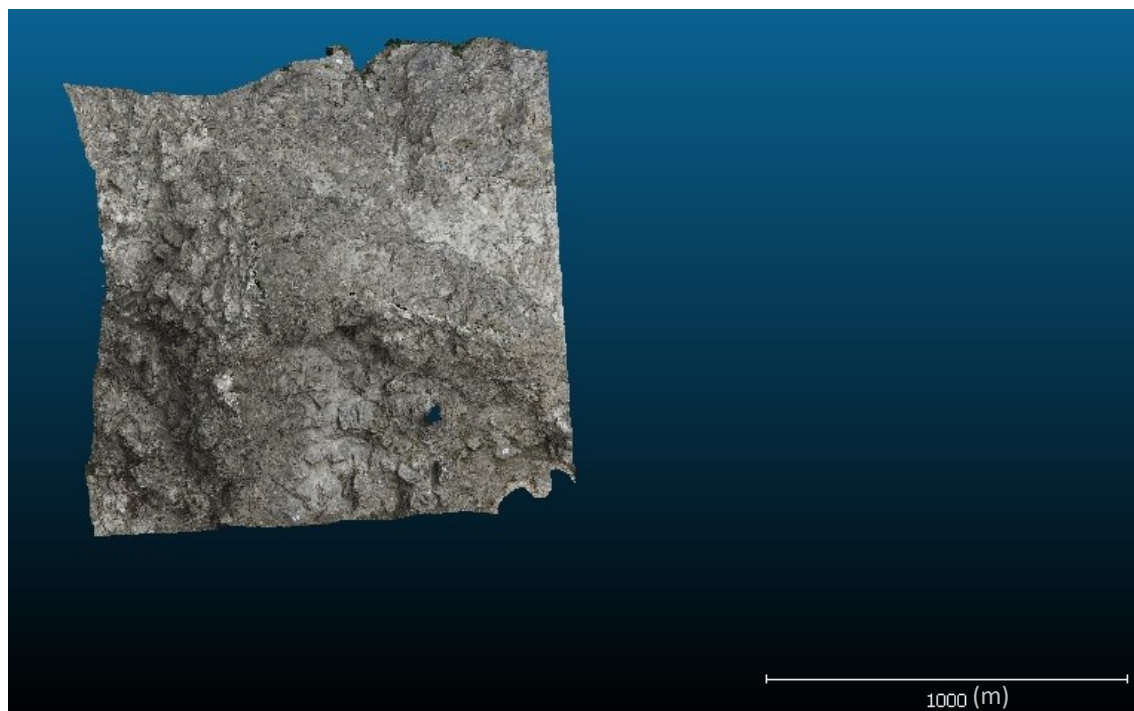
### 7.1 Priprava podatkov

Pred začetkom obdelave je bilo treba uskladiti gostoti oblaka točk LSS in fotogrametričnega oblaka točk. Gostoto smo uskladili v programskem orodju RiScan PRO v naslednjih korakih:

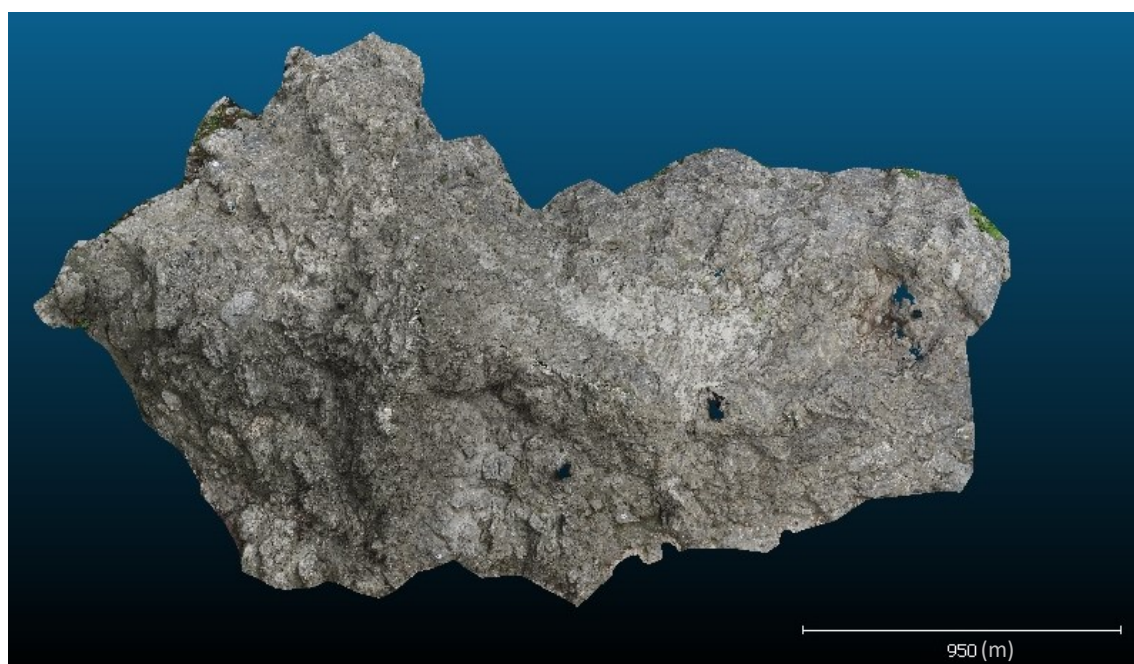
- korak 1: najprej smo izračunali merilo fotogrametričnega oblaka točk glede na oblak točk LSS. V ta namen smo izmerili razdalje med značilnimi lokacijami (Aljažev stolp, Dom Planika pod Triglavom, Dom Valentina Staniča in Triglavski dom na Kredarici) v obeh oblakih točk. Merilo smo dobili na podlagi povprečne vrednosti razmerja med razdaljami v obeh oblakih točk. Približno merilo tako znaša 1 : 700;
- korak 2: sledilo je redčenje oblaka točk LSS na 1 točko/m<sup>2</sup> (prej 2 točki/m<sup>2</sup>). S tem smo zmanjšali velikost datoteke za lažjo obdelavo. Dobljeni oblak smo obrezali na območje, ki ga predstavlja maketa (v nadaljevanju lidarski oblak točk);
- korak 3: fotogrametrični oblak točk smo redčili s faktorjem 0,00134, kar ustreza gostoti lidarskega oblaka točk (glede na izračunano merilo 1 : 700);
- korak 4: iz fotogrametričnega oblaka točk smo izrezali Aljažev stolp, dom Planika, Dom Valentina Staniča in Triglavski dom na Kredarici, saj so objekti v večjem merilu kot ostala maketa. Dobljeni oblak smo obrezali tako, da so bile v njem samo točke makete.

Primerjavo med lidarskim in fotogrametričnim oblakom točk smo najprej naredili na manjšem območju okoli Triglava (slika 16). Nato smo izvedli primerjavo še za celotno območje, ki ustreza velikosti makete Triglava (slika 17). Na obeh slikah (16 in 17) je predstavljen fotogrametrični oblak točk. Postopek obdelave v programu CloudCompare je za obe območji enak. Rezultati primerjave so predstavljeni v poglavju 8.





Slika 16: Manjše območje.



Slika 17: Celotno območje.

## 7.2 Uvoz oblakov točk v CloudCompare

Pripravljene podatke smo uvozili v program CloudCompare. Koordinatam točk lidarskega oblaka smo prišteli translacijski vektor:

$$\begin{bmatrix} y \\ x \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -409000 \\ -137000 \\ -1000 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

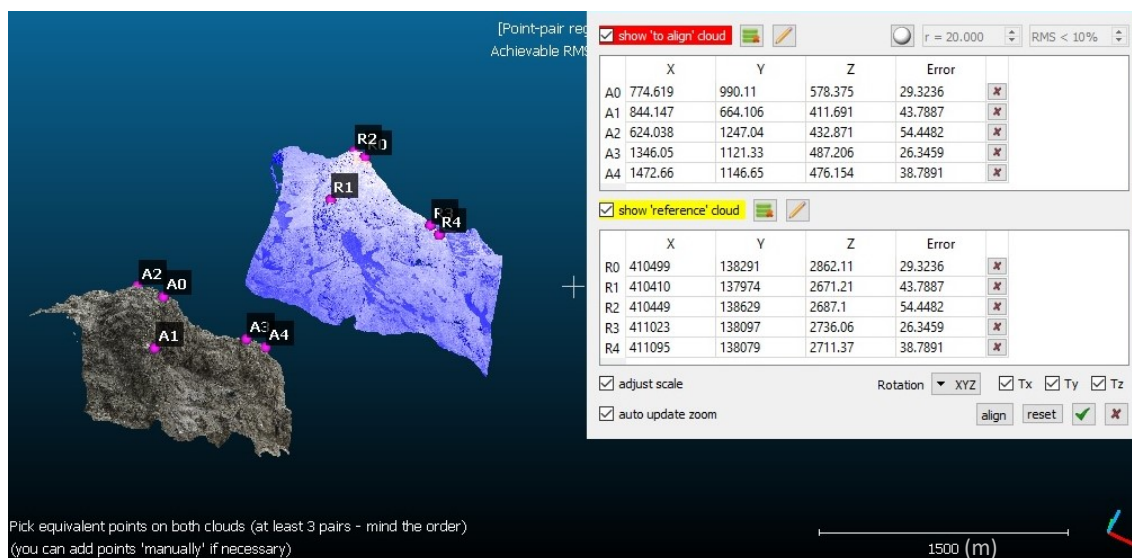
in na ta način grobo uskladili izhodišči koordinatnih sistemov fotogrametričnega oblaka in lidarskega oblaka točk. Fotogrametrični oblak točk smo prikazali v barvah RGB, lidarski oblak točk pa smo obarvali glede na jakost odboja laserskega žarka z belo-modro-rdečo barvno lestvico. Poudariti je treba, da lidarskega oblaka točk nadalje nismo več spreminjali.

## 7.3 Ujemanje meril oblakov točk

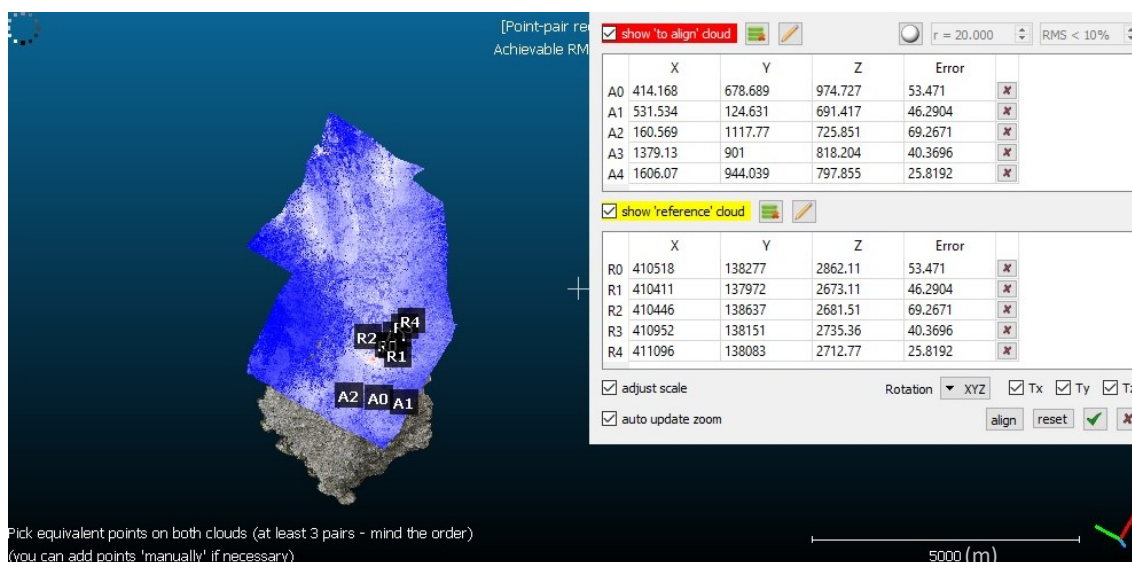
Po uskladitvi koordinatnih izhodišč oblakov je sledila prilagoditev merila fotogrametričnega oblaka točk merilu lidarskega oblaka točk. Lidarski oblak točk smo določili kot referenčni oblak, zato se njegovo merilo ni spremenilo. Nereferenčnim oblakom točk lahko merilo v programu CloudCompare spreminjamo na različne načine. Mi smo uporabili način »max bounding-box dimension«, poznamo pa še druge načine, kot so »bounding box volume«, »principal dimensions (PCA)« in »ICP«. Omejevalno polje ali angl. bounding-box je najmanjše možno območje v obliki kvadra, ki zajema celoten oblak točk.

## 7.4 Poravnava oblakov točk

Po prvem in drugem koraku obdelave v programu CloudCompare sta bila oblaka v približno istem prostorskem položaju in velikosti. Ker sta bila oblaka med seboj še vedno nekoliko zamaknjena in zasukana, smo izvedli postopek poravnave. V obeh oblakih točk smo ročno določili pet identičnih točk, na podlagi katerih je program izvedel poravnavo. Upoštevali smo tudi ponovno prilagoditev merila. V preglednicah na slikah 18 in 19 so za manjše in celotno območje vidni standardni odkloni na identičnih točkah (stolpec Error) in predstavljajo oceno kakovosti poravnave oblakov. Identične točke so označene z oznakami od R0 do R4 na lidarskemu oblaku in z oznakami od A0 do A4 na fotogrametričnem oblaku točk.



Slika 18: Manjše območje: koren srednjega kvadratnega pogreška (RMS) na identičnih točkah znaša 39,85 m.



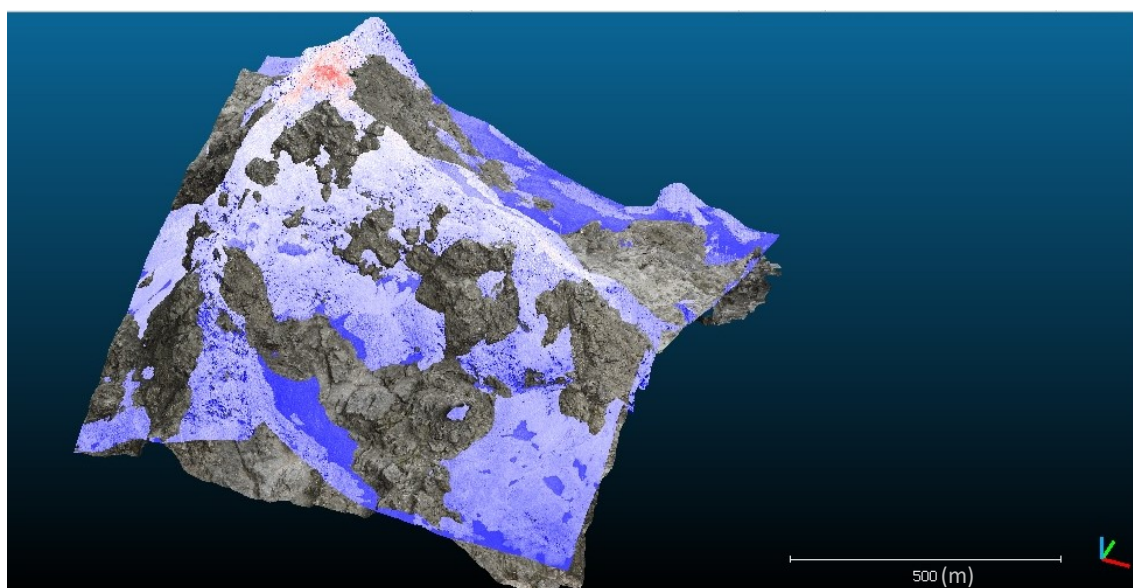
Slika 19: Celotno območje: koren srednjega kvadratnega pogreška (RMS) na identičnih točkah znaša 49,19 m.

## 7.5 Fina poravnava oblakov točk z metodo ICP

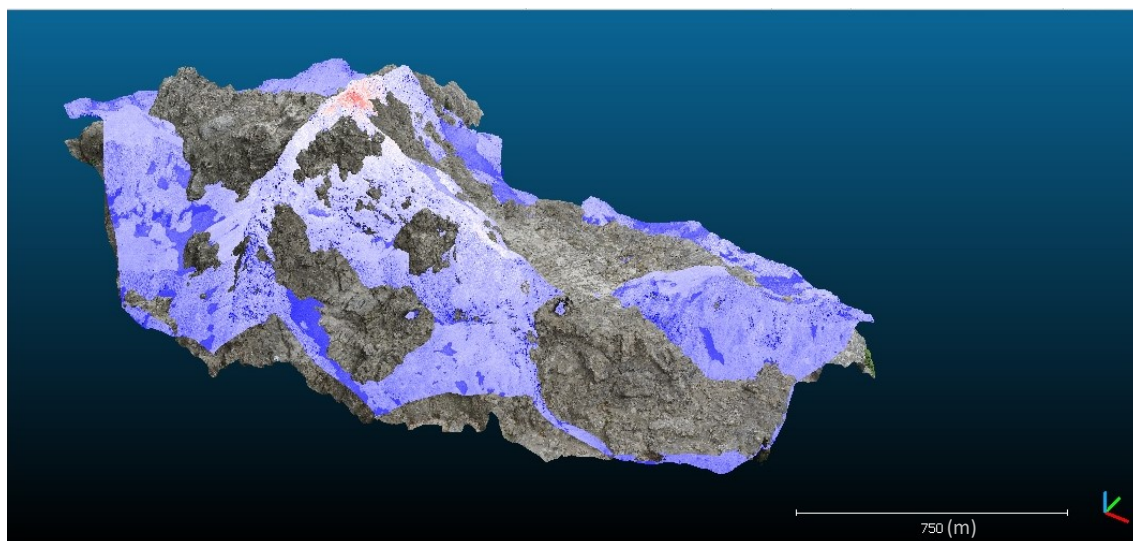
Po poravnavi oblakov v prejšnjem koraku smo izvedli še fino poravnavo oblakov točk. V programu CloudCompare smo to storili s 3D-registracijo oziroma z metodo iterativno določene najbližje točke ali metodo ICP (angl. Iterative Closest Point). ICP je ena izmed metod ploskovnega ujemanja in deluje na principu, kjer mora biti vsota korenov srednjih kvadratnih pogreškov (RMS) med identičnimi točkami v dveh sklopih podatkov minimalna (Besl, 1992). Lidarski oblak točk smo določili kot referenčnega, zato se v postopku 3D-registracije ni spremenil. Pri 3D-registraciji oblakov točk smo določili naslednje parametre:

- razlika *RMS*:  $10^{-5}$ ;
- prekrivanje: 90 %;
- prilagoditev merila in
- izključitev najbolj oddaljenih točk.

Končni rezultat fine poravnave na manjšem območju je prikazan na sliki 20, na celotnem območju pa na sliki 21.



Slika 20: Manjše območje: koren srednjega kvadratnega pogreška (RMS) na identičnih točkah znaša 16,60 m.



Slika 21: Celotno območje: koren srednjega kvadratnega pogreška (RMS) na identičnih točkah znaša 32,55 m.



## 8 REZULTATI PRIMERJAVE

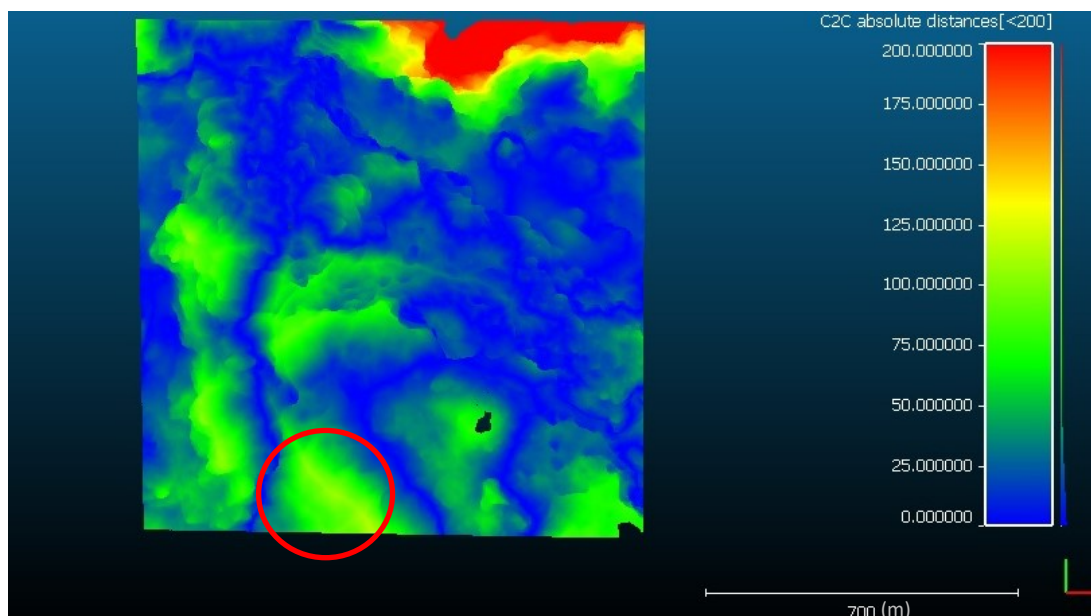
Rezultati primerjave med lidarskim in fotogrametričnim oblakom točk prikazani z in brez metode ICP, in sicer ločeno za manjše in za celotno območje, na koncu pa so predstavljeni še rezultati primerjave med manjšim in celotnim območjem. Ocena kakovosti primerjave je podana z absolutnimi razdaljami, ki predstavljajo odstopanje fotogrametričnega oblaka od lidarskega. Absolutne razdalje so prikazane z modro-zeleno-rdečo barvno lestvico, s katero je obarvan fotogrametrični oblak točk. V preglednici 6 so za lažjo predstavbo podane absolutne razdalje in pripadajoče vrednosti v velikosti makete (glede na pribl. merilo 1 : 700).

Preglednica 6: Absolutne razdalje in njihove vrednosti v merilu makete.

| Absolutna razdalja [m] | Vrednost v velikosti makete (1 : 700) [cm] |
|------------------------|--|
| 20                     | 2,9  |
| 50                     | 7,1  |
| 100                    | 14,3                                       |

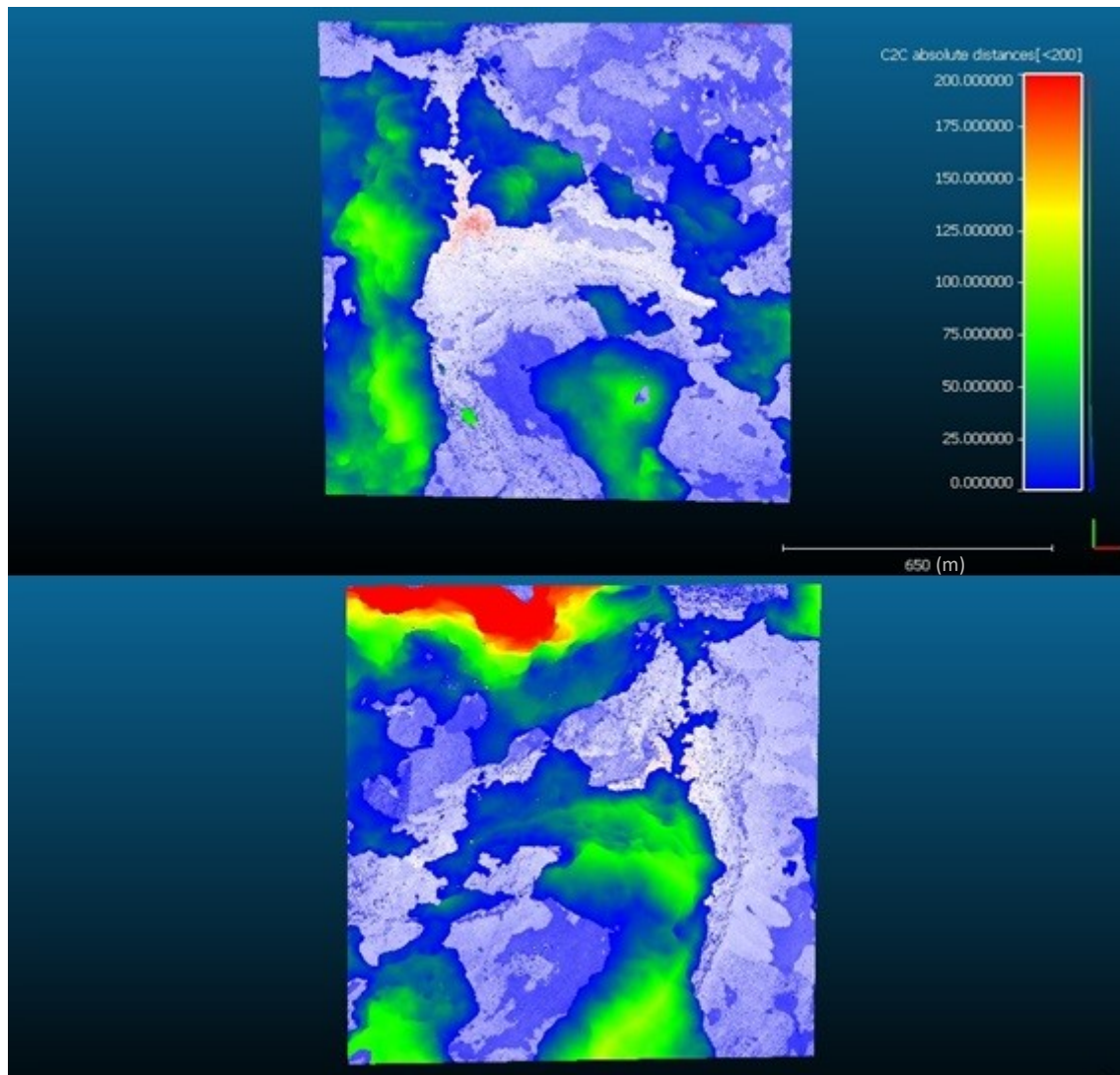
### 8.1 Manjše območje

Na slikah 22 in 23 je prikazan rezultat primerjave oblakov po prvi poravnavi (pred poravnavo z metodo ICP) v programu CloudCompare. Na sliki 22 vidimo, da so najmanjše razdalje na grebenih, kjer znašajo do 25 m. Na pobočjih se razdalje povečajo do 125 m. Večje razhajanje med fotogrametričnim in lidarskim oblakom opazimo na južni strani grebena, ki poteka od Triglava proti jugu (označeno na sliki 22). Največje razdalje so na robovih (predvsem severni) makete, ki so lahko večje od 200 m.



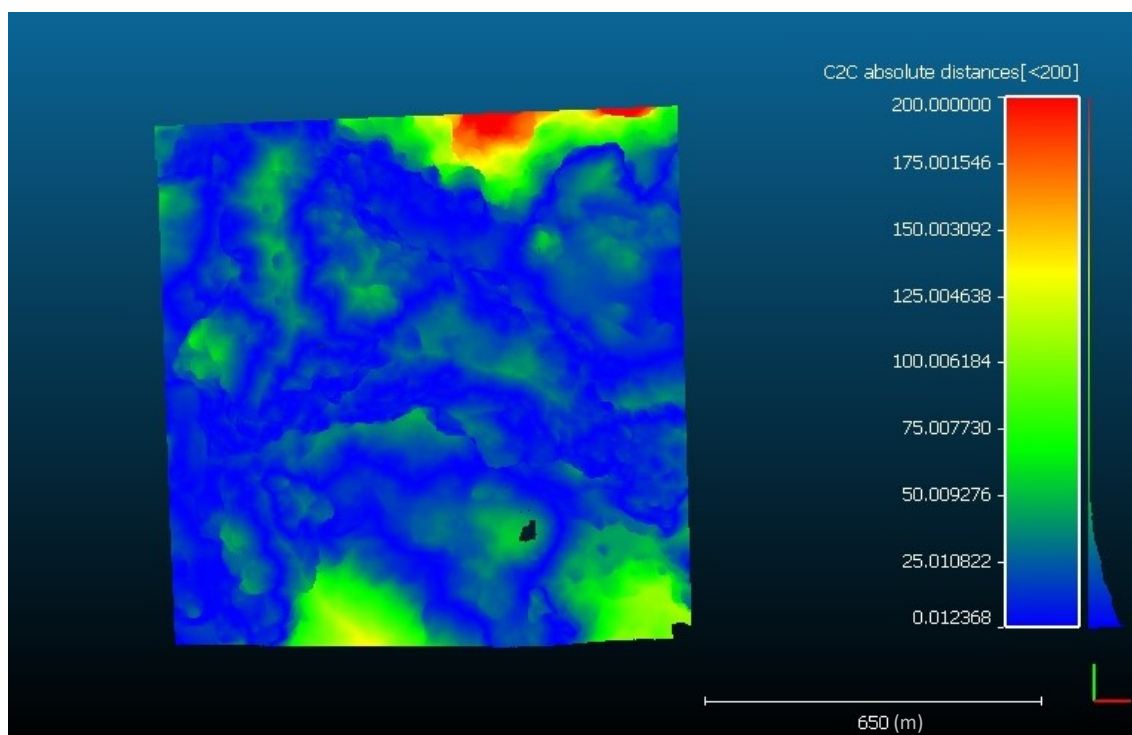
Slika 22: Manjše območje (brez metode ICP). Absolutne razdalje z označenim območjem.

Na sliki 23 opazimo, da se večji del fotogrametričnega oblaka nahaja pod lidarskim oblakom. Na zahodnem, severozahodnem, jugozahodnem, severovzhodnem delu pobočja pod Triglavom, na dnu jugovzhodnega pobočja pod Triglavom, na delu severovzhodnega in jugovzhodnega pobočja pod Malim Triglavom je fotogrametrični oblak nad lidarskim oblakom. Na grebenih, na južnem delu pobočja Triglava in severnih delih območja pa je fotogrametrični oblak pod lidarskim oblakom.



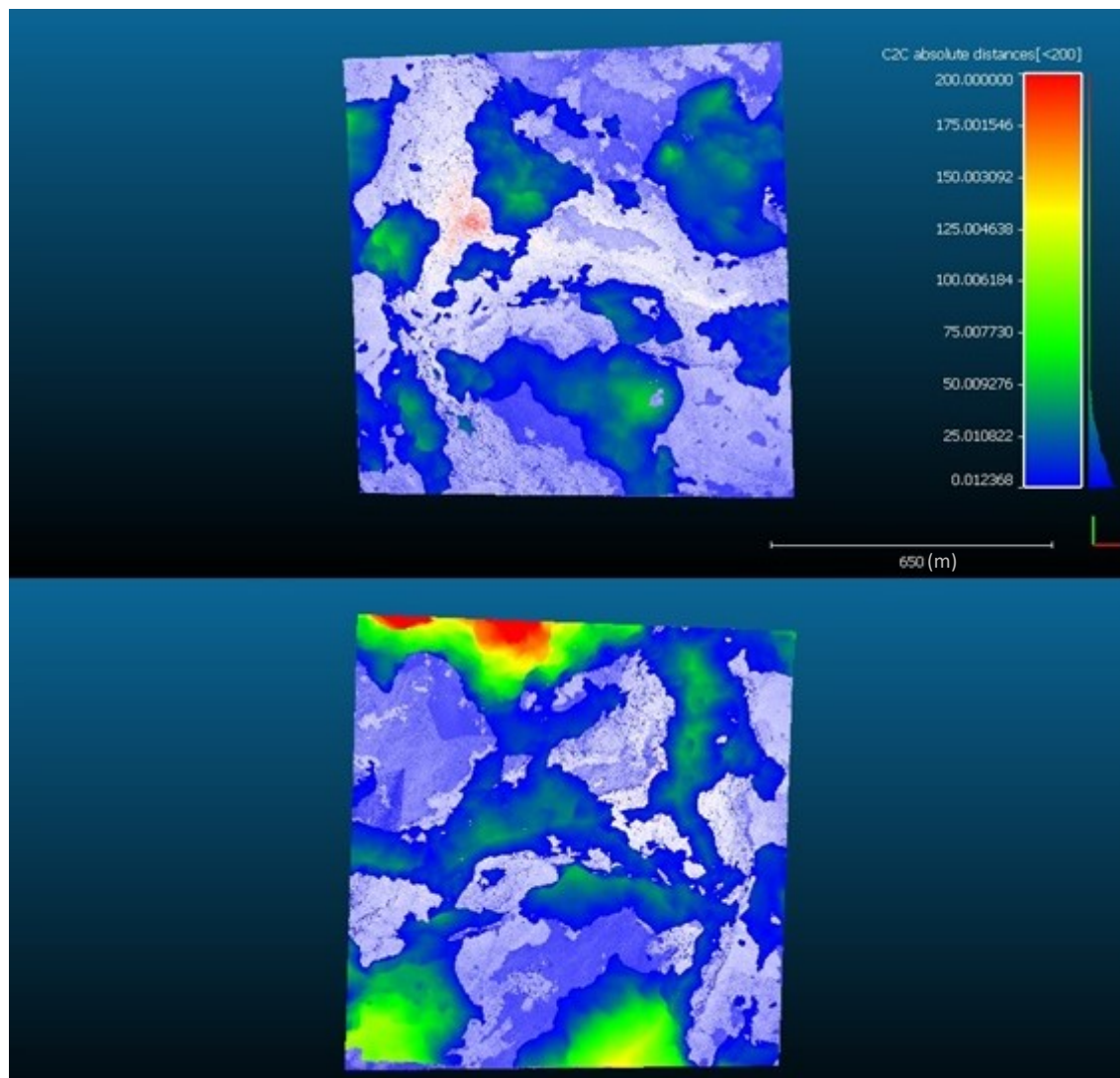
Slika 23: Manjše območje (brez metode ICP). Zgoraj: odstopanje fotogrametričnega oblaka nad lidarskim oblakom, spodaj (grafično merilo je enako, kot na zgornji sliki): odstopanja fotogrametričnega oblaka pod lidarskim oblakom.

Na slikah 24 in 25 je prikazan rezultat primerjave z upoštevanjem metode ICP. Na sliki 24 vidimo, da razdalje na grebenih in na pobočjih pod Triglavom in Malim Triglavom znašajo večinoma pod 50 m. Večje razhajanje med fotogrametričnim in lidarskim oblakom, tako kot v prejšnjem primeru, opazimo na južni strani grebena, ki poteka od Triglava proti jugu. Tudi na jugovzhodnem delu območja (v kotu) so tokrat razdalje nekoliko večje. Na severnem robu območja so še vedno vidna večja odstopanja, ki so velika tudi 200 m in več, vendar so manjša kot v prejšnjem primeru, ko nismo uporabili metode ICP.



Slika 24: Manjše območje (z metodo ICP). Absolutne razdalje.

Na sliki 25 lahko vidimo, da se večji del fotogrametričnega oblaka nahaja pod lidarskim oblakom kot v primeru brez metode ICP. Na severovzhodnem delu pobočja pod Triglavom, na dnu jugovzhodnega pobočja pod Triglavom in na severovzhodnem delu pobočja pod Malim Triglavom je fotogrametrični oblak znova višji od lidarskega oblaka, drugod pa je večinoma ravno obratno.

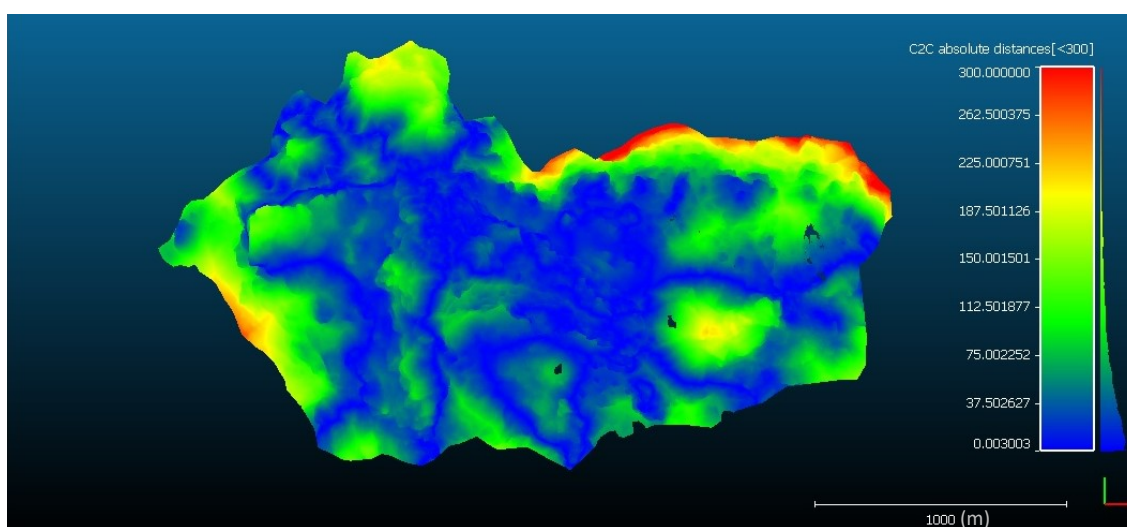


Slika 25: Manjše območje (z metodo ICP). Zgoraj: odstopanje fotogrametričnega oblaka nad lidarskim oblakom, spodaj (grafično merilo je enako, kot na zgornji sliki): odstopanje fotogrametričnega oblaka pod lidarskim oblakom.



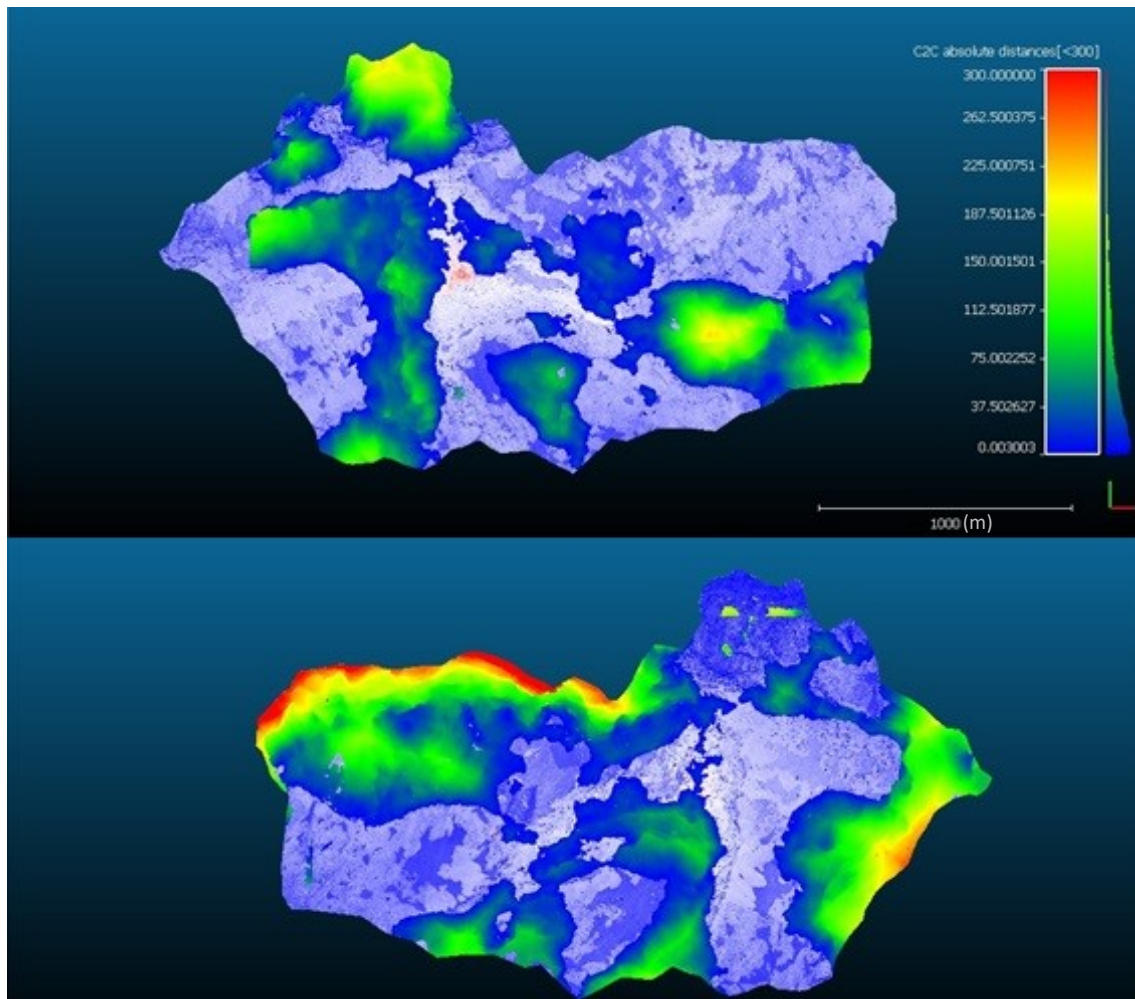
## 8.2 Celotno območje

Na slikah 26 in 27 so prikazani rezultati primerjave po prvi poravnavi (pred poravnavo z metodo ICP) v programu CloudCompare. Na sliki 26 so največja ujemanja vidna na območju Triglava, Doma Planika pod Triglavom in vse do Kredarice, kjer znašajo razdalje do 40 m, ponekod tudi do 100 m. Vzhodno od Triglavskega doma na Kredarici se razdalje povečajo na 180 m. Na delu okoli Doma Valentina Staniča pod Triglavom znašajo razdalje približno 110 m. Na južnem in vzhodnem robu makete znašajo razdalje od 30 m do 120 m. Na zahodnem robu so razdalje večje od 100 m in manjše od 260 m. Na severnem robu območja razdalje med oblakoma hitro naraščajo, vse od 100 do 300 m in več.



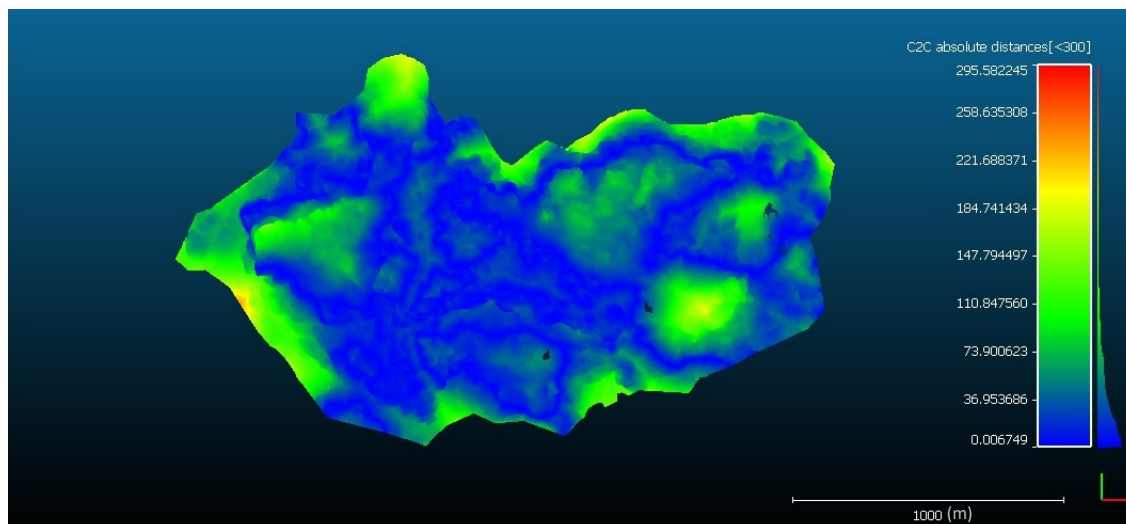
Slika 26: Celotno območje. Absolutne razdalje (brez metode ICP).

Na sliki 27 lahko vidimo, da se večji del fotogrametričnega oblaka nahaja pod lidarskim oblakom. Na zahodnem, severnem, severozahodnem, jugozahodnem, severovzhodnem delu pobočja pod Triglavom, na dnu jugovzhodnega pobočja pod Triglavom, na delu severovzhodnega in jugovzhodnega pobočja pod Malim Triglavom ter na območju jugovzhodno od Malega Triglava je fotogrametrični oblak nad lidarskim oblakom. Na grebenih, na južnem delu pobočja Triglava, na severnih, severovzhodnih in jugozahodnih delih območja pa je fotogrametrični oblak pod lidarskim oblakom.



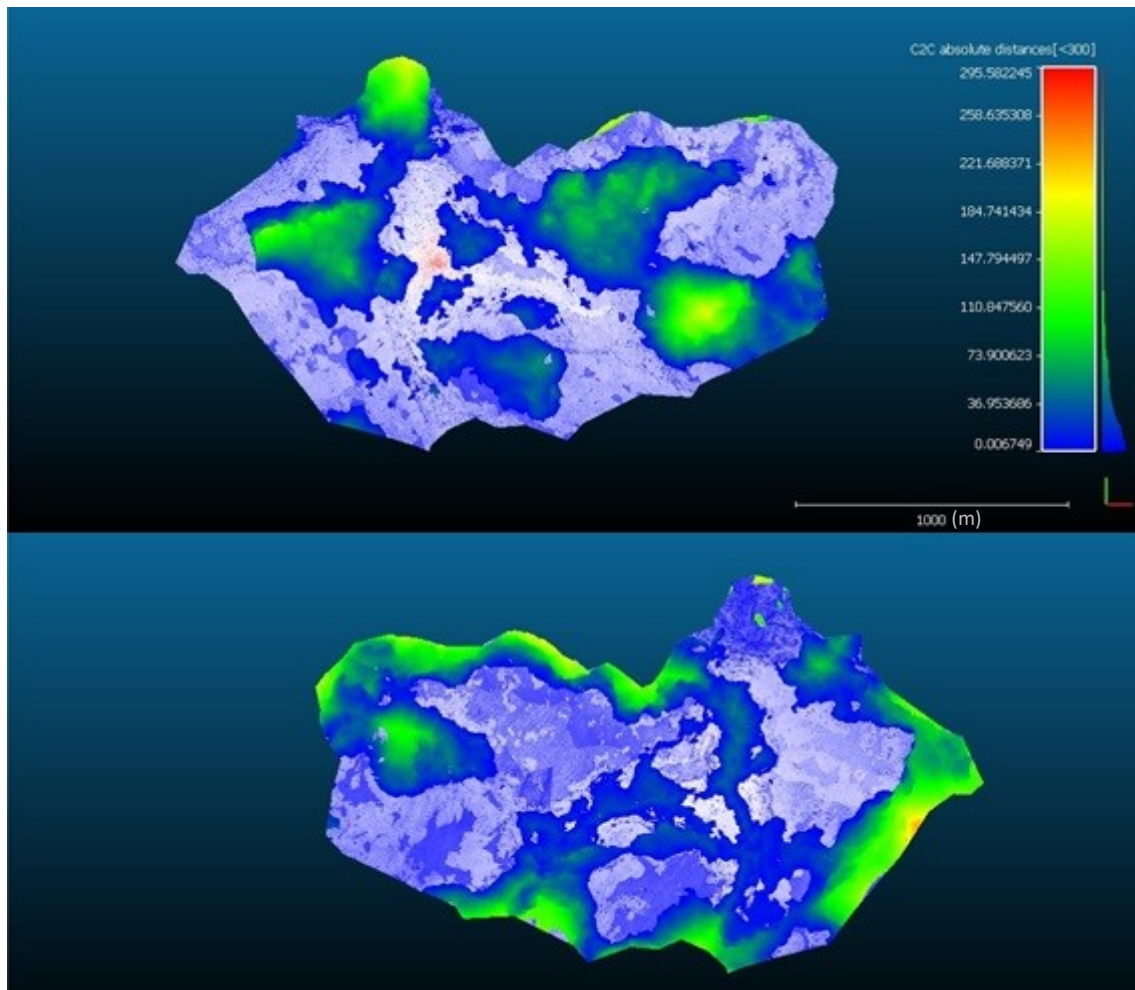
Slika 27: Celotno območje. Zgoraj: odstopanje fotogrametričnega oblaka nad lidarskim oblakom, spodaj (grafično merilo je enako, kot na zgornji sliki): odstopanje fotogrametričnega oblaka pod lidarskim oblakom.

Na slikah 28 in 29 je prikazan rezultat primerjave z metodo ICP. V osrednjem delu na sliki 28, razdalje na grebenih in na pobočjih niso večje od 70 m. Na delu vzhodno od Triglavskega doma na Kredarici in v okolici Doma Vanetina Staniča pod Triglavom so razdalje znova večje, vendar manjše kot v primeru brez metode ICP. Tudi na robovih makete so razdalje manjše in znašajo povprečno od 70 do 150 m, ponekod tudi do 180 m.



Slika 28: Celotno območje. Absolutne razdalje (z metodo ICP).

Na sliki 29 lahko vidimo, da se večji del fotogrametričnega oblaka nahaja pod lidarskim oblakom. Na zahodnem, severnem, severozahodnem, jugozahodnem, severovzhodnem delu pobočja pod Triglavom, na dnu jugovzhodnega pobočja pod Triglavom, na delu severovzhodnega pobočja pod Malim Triglavom, na delih jugovzhodno in severovzhodno od Malega Triglava in na robovih območja je fotogrametrični oblak nad lidarskim oblakom, drugod pa je ravno obratno.

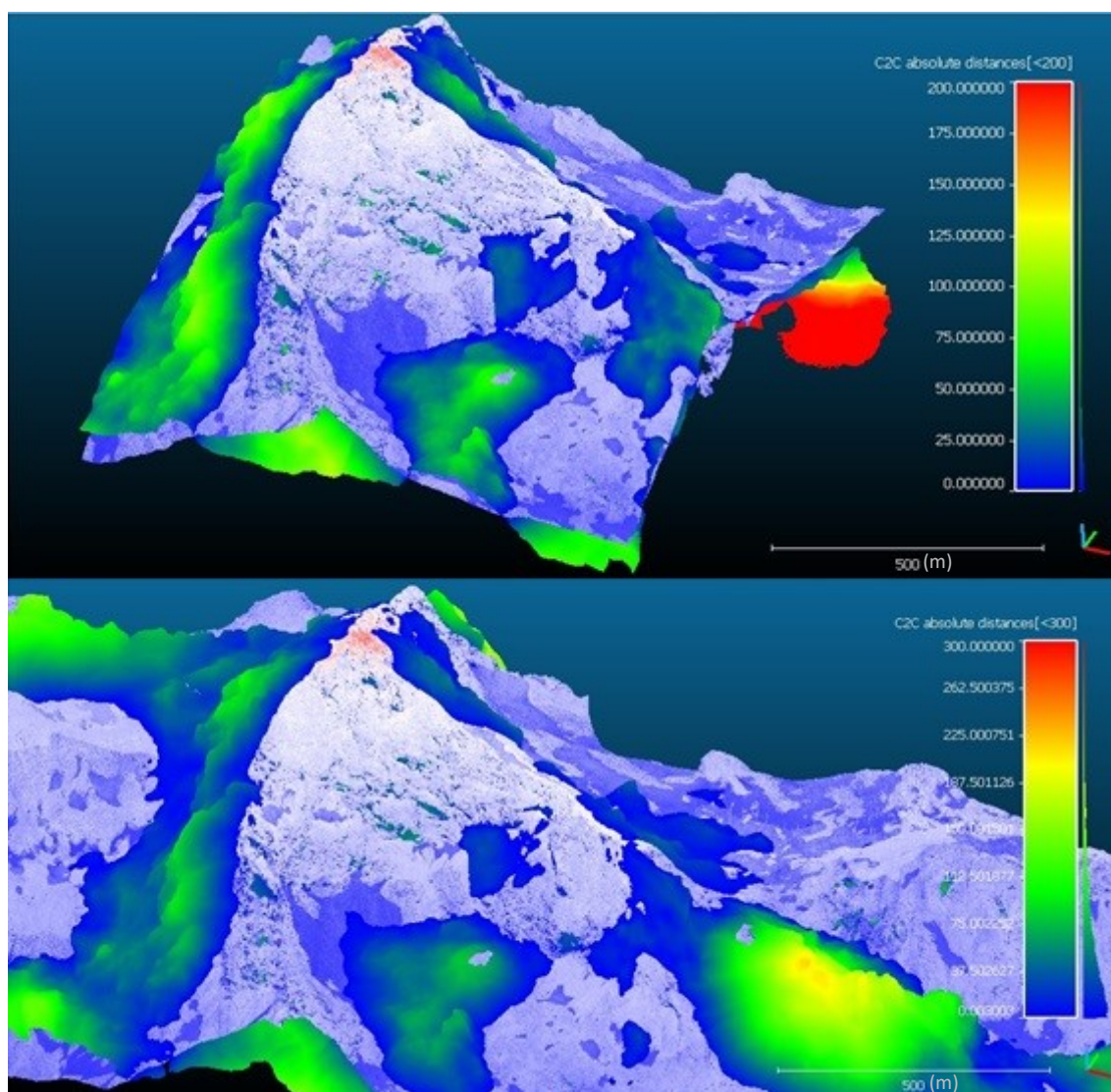


Slika 29: Celotno območje. Zgoraj: odstopanje fotogrametričnega oblaka nad lidarskim oblakom, spodaj (grafično merilo je enako, kot na zgornji sliki): odstopanje fotogrametričnega oblaka pod lidarskim oblakom (z uporabo ICP).



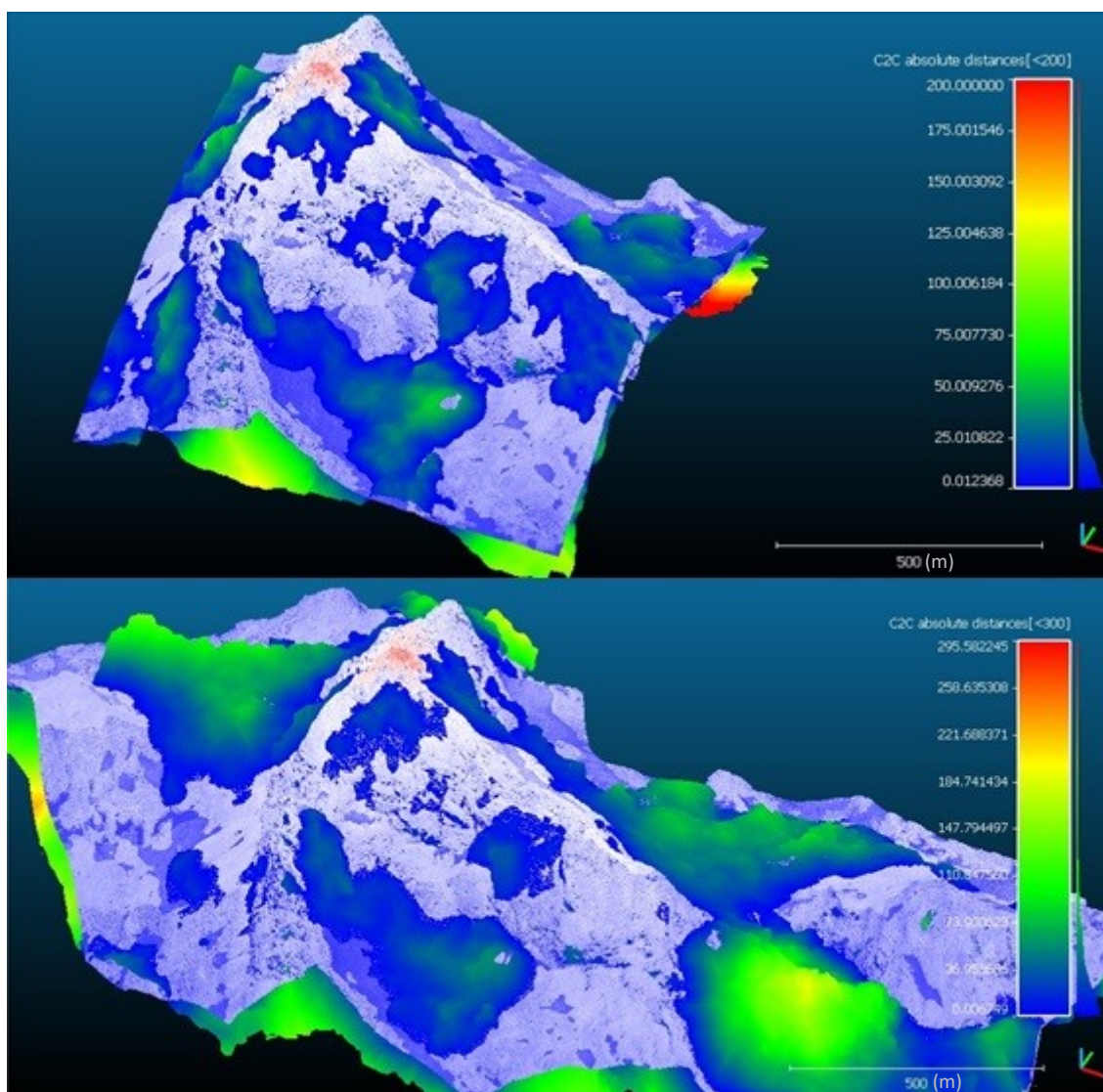
### 8.3 Primerjava rezultatov med manjšim in celotnim območjem

Na sliki 30 je prikazan rezultat primerjave brez metode ICP. Opazimo lahko, da prihaja do razhajanj med oblakoma na istih delih območij. Povprečna vrednost razdalj na manjšem območju znaša 45 m ali 6,4 cm v velikosti makete, na celotnem območju pa 67 m ali 10 cm (glede na približno merilo makete 1 : 700).



Slika 30: Zgoraj: manjše območje (brez metode ICP), spodaj: celotno območje (brez metode ICP).

Na sliki 31 je prikazan rezultat primerjave po uporabi metode ICP. Tako kot pri primerjavi brez metode ICP tudi tukaj prihaja do razhajanj med oblakoma na istih delih območij. Razlika s prejšnjim primerom je v tem, da so tokrat razdalje manjše. Povprečna vrednost razdalj na manjšem območju je 28 m ali 4 cm v velikosti makete, na celotnem območju pa 42 m ali 6 cm (glede na približno merilo makete 1 : 700).



Slika 31: Zgoraj: manjše območje (z metodo ICP), spodaj: celotno območje (z metodo ICP).

## 9 ZAKLJUČEK

V magistrskem delu smo želeli oceniti ujemanje površja makete Triglava ob Bohinjskem jezeru s Triglavskim pogorjem. V ta namen smo s fotoaparatom fotografirali maketo Triglava ter iz fotografij izdelali fotogrametrični oblak točk. Fotogrametrični oblak smo nato primerjali z dejansko obliko reliefa, ki ga prikazuje maketa, ki smo jo pridobili iz oblaka točk reliefa Laserskega skeniranja Slovenije (lidarski oblak).

V nalogi je opisan potek izdelave fotogrametričnega oblaka v programskem orodju Agisoft PhotoScan. Fotogrametrični oblak točk je izdelan z visoko natančnostjo, kar lahko potrdimo z natančnostmi merjenih prostorskih koordinat oslonilnih točk, ki znašajo pod 1 mm (preglednica 5) ali 0,7 m v dejanski velikosti (glede na približno merilo makete 1 : 700). Iz tega lahko sklepamo, da je fotogrametrična metoda izmere vsekakor primerna za podobne naloge, kot je bila naša.

Opisan je postopek primerjave oblakov v programskem orodju CloudCompare. Primerjavo smo izvedli na dveh obravnavanih območjih, in sicer na manjšem območju okoli Triglava in na celotnem območju, ki ga pokriva maketa, ter na dva različna načina, z in brez uporabe metode ICP za fino poravnavo oblakov točk.

Pri obravnavanju manjšega in celotnega območja smo pri primerjavi prišli do nekaterih podobnih zaključkov:

- brez upoštevanja metode ICP so rezultati primerjave slabši. Ob upoštevanju metode ICP je pri manjšem območju povprečna absolutna razdalja manjša skoraj za polovico, pri celotnem območju pa skoraj za tretjino;
- grebeni in vrhovi v lidarskem oblaku so višji ter bolj ostri kot v fotogrametričnem oblaku;
- najmanjše absolutne razdalje so na grebenih;
- največje absolutne razdalje so pod Severno Triglavsko steno, na koncu grebena, ki poteka od Triglava proti jugu, in na robovih makete;
- pri primerjavi manjšega in celotnega območja so bile absolutne razdalje na istih mestih in približno enako velike.

Pri obravnavanju celotnega območja smo prišli do dodatnih ugotovitev:

- na vzhodnem delu makete je fotogrametrični oblak večinoma višji od lidarskega, na zahodu pa nižji;

- v delu vzhodno od Triglavskega doma na Kredarici in v okolici Doma Valentina Staniča so absolutne razdalje med oblakoma točk precej večje kot drugje. Na tem delu (poleg robov makete) se fotogrametrični in lidarski oblak najmanj skladata.

Grebeni in vrhovi v lidarskem oblaku so višji ter bolj ostri, kot v fotogrametričnem oblaku, kar pomeni, da je maketa na teh delih bolj zaobljena. Razlogi, da je na grebenih maketa nižja od dejanskega stanja so lahko ti, da se je kamen, iz katerega je sestavljena maketa, do danes obrabil zaradi vplivov, kot so dež, veter, hoja po maketi, čiščenje makete itd. Boljši rezultati primerjave bi bili mogoče tudi, če bi avtor pri izdelavi makete uporabil manjše in bolj ostre kamne. Na ta način bi bile med oblakoma na vrhovih in grebenih manjše razlike.

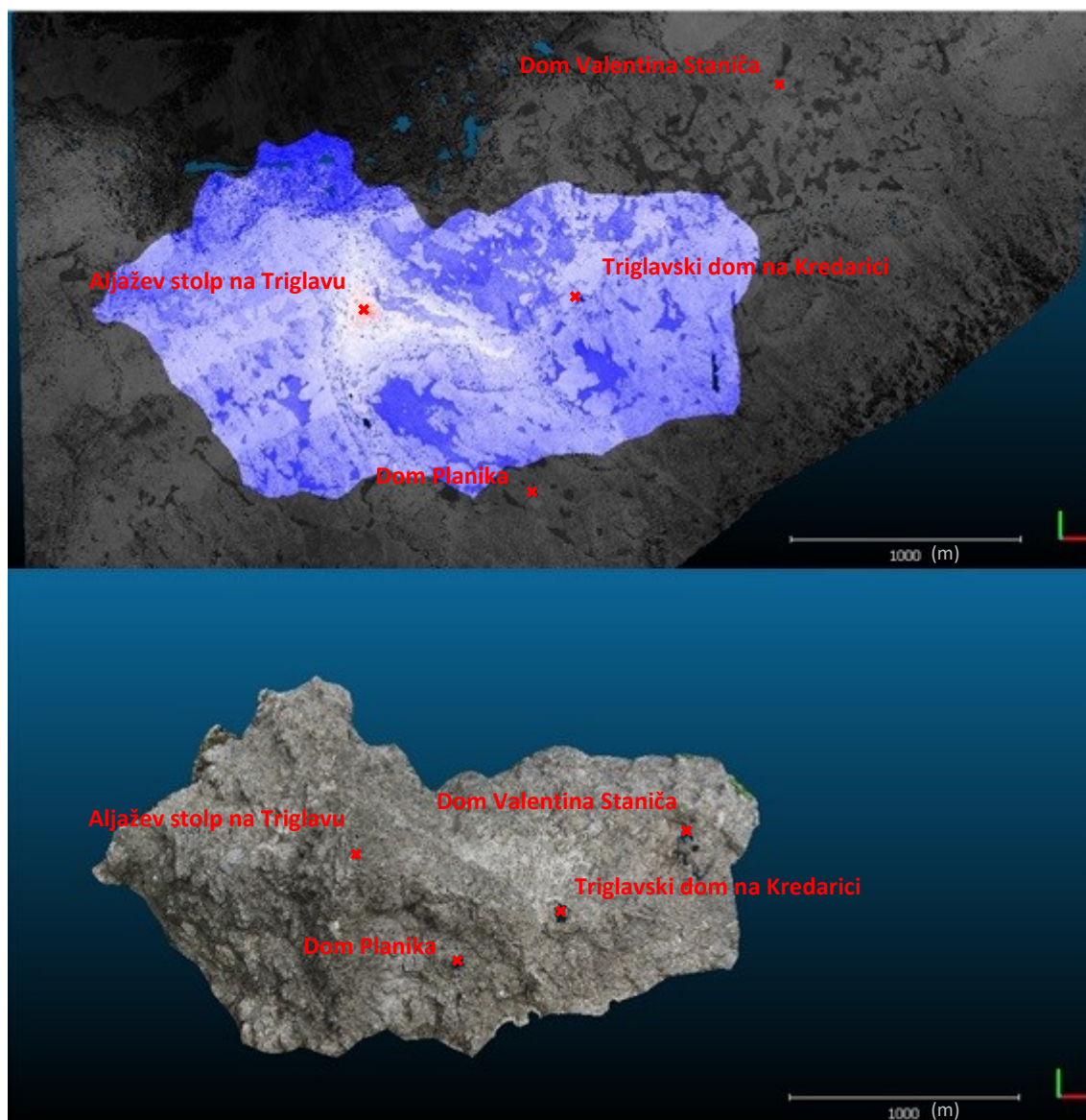
Največje absolutne razdalje so na robovih makete, predvsem na severnem robu. Južni del grebena, ki poteka od Triglava proti jugu, je prav tako del roba makete. Razlog za večje odstopanje na robovih je verjetno v tem, da je moral avtor maketo prilagoditi terenu, na katerem jo je izdelal.

Pri primerjavi manjšega in celotnega območja smo ugotovili, da ni prišlo so večjih razlik, kar je najverjetneje posledica tega, da smo pri poravnavi za obe območji izbrali iste identične točke.

Pri obravnavanju celotnega območja smo prišli do ugotovitve, da se na vzhodni polovici makete fotogrametrični in lidarski oblak najmanj skladata, kar pomeni, da se ta del makete najmanj ujema z dejanskim stanjem. Na osrednjem delu makete so absolutne razdalje najmanjše, kar je vidno iz rezultatov primerjave tako na manjšem kot tudi na celotnem območju. Osrednji del makete se najbolj ujema z dejanskim stanjem, ki pa je tudi najbolj zanimiv za obiskovalce.

Ugotovili smo, da so planinske koče postavljene zgolj za lažjo orientacijo, saj njihovi položaji precej odstopajo od dejanskega položaja (slika 32). To smo ugotovili že pri računanju približnega merila, saj so razmerja med planinskimi domovi in stolpom precej različna. Na sliki 32 so prikazani dejanski položaji planinskih domov in Aljaževega stolpa ter njihovi položaji na maketi.





Slika 32: Zgoraj: Lidarski oblak z označenimi položaji planinskih koč in Aljaževim stolpom, spodaj: fotogrametrični oblak z označenimi položaji planinskih koč in Aljaževim stolpom.

Maketa Triglava je avtorjevo umetniško delo, ki ima tudi kulturno-zgodovinski in turistični pomen. Gledano s strani ohranjanja kulturne dediščine smo v tem magistrskem delu pridobili podatke za morebitno rekonstrukcijo makete Triglava. Za bolj točen prikaz območja okoli Triglava bi lahko izdelali novo maketo na podlagi lidarskega oblaka točk, na kateri bi bile prikazane tudi planinske poti in dejanski položaji planinskih domov. Novo maketo bi lahko natisnili s 3D-tiskalnikom. Iz rezultatov lahko sklepamo, da maketa Triglava dobro prikazuje obliko reliefa, vendar služi le za orientacijo in predstavitvene namene.

## VIRI

Agisoft. 2017. Agisoft PhotoScan user Manual: Version 1.3.

[http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_3\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_3_en.pdf) (Pridobljeno 7. 11. 2017.)

Besl, P.J., McKay, N.D. 1992. A method for registration of 3-D shapes. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence 14, 2: 239-256.

Bric, V., Grigillo, D., Kosmatin Fras, M. 2015. Fotogrametrija. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: izpitni program.

[http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni\\_izpiti/msgeo/Fotogrametrija.pdf](http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Fotogrametrija.pdf) (Pridobljeno 29. 3. 2018.)

Butler, R., Keller, J. 2014. Olympus PEN E-PL7 first impressions review. DP Review.

<https://www.dpreview.com/reviews/olympus-pen-e-pl7> (Pridobljeno 3. 3. 2018.)

CloudCompare. 2015. CloudCompare user manual: Version 2.6.1.

<http://www.danielgm.net/cc/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf> (Pridobljeno 6. 3. 2018.)

CloudCompare. 2015. CloudCompare tutorial videos.

<http://www.danielgm.net/cc/> (Pridobljeno 6. 3. 2018.)

Geoservis. 2018. Leica Nova MultiStation MS50.

<http://www.geoservis.si/produkti/article/244-leica-nova-ms50-multistation> (Pridobljeno 2. 3. 2018.)

Geoservis. 2018. Leica Nova: tehnične lastnosti.

[http://www.geoservis.si/images/stories/Produkti/leica\\_nova\\_ms50/nova\\_flyer\\_techdata\\_1.pdf](http://www.geoservis.si/images/stories/Produkti/leica_nova_ms50/nova_flyer_techdata_1.pdf) (Pridobljeno 2. 3. 2018.)

Geoservis. 2018. Lasersko skeniranje.

<http://www.geoservis.si/produkti/5-lasersko-skeniranje> (Pridobljeno 2. 3. 2018.)

Geopedia: ortofoto. 2018.

[http://www.geopedia.si/#T105\\_x602814.2265625\\_y161931.5546875\\_s8\\_b2](http://www.geopedia.si/#T105_x602814.2265625_y161931.5546875_s8_b2) (Pridobljeno 5. 5. 2018.)

Geopedia: topografska karta. 2018.

[http://www.geopedia.si/#T105\\_x411893.74572753906\\_y138026.5008544922\\_s15\\_b4](http://www.geopedia.si/#T105_x411893.74572753906_y138026.5008544922_s15_b4)

(Pridobljeno 5. 5. 2018.)

Grigillo, D. 2003. Uporaba nemetričnih digitalnih fotoaparátov v fotogrametriji. Geodetski vestnik 47, 3: 240-250.

Kogoj, D., Stopar, B. 2015. Geodetska izmera. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: izpitni program.

[http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni\\_izpiti/msgeo/Geodetska\\_izmera\\_2009.pdf](http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Geodetska_izmera_2009.pdf)

(Pridobljeno 29. 2. 2018.)

Kokalj, Ž., Veljanovski, T. 2014. Izdelava 3R modela iz arhivskih letalskih posnetkov za digitalno retrospektivo porušenega Breginja. Digitalni prostor 12: 61-70.

Leica Geosystems. 2018. Original accessories.

[http://accessories.leica-](http://accessories.leica-geosystems.com/downloads123/zz/accessory/accessories/brochures/Leica%20Original%20Accessories%20BRO_en.pdf)

[geosystems.com/downloads123/zz/accessory/accessories/brochures/Leica%20Original%20Accessories%20BRO\\_en.pdf](http://accessories.leica-geosystems.com/downloads123/zz/accessory/accessories/brochures/Leica%20Original%20Accessories%20BRO_en.pdf) (Pridobljeno 2. 3. 2018.)

Lidar. 2018.

[http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso) (Pridobljeno 15. 10. 2017.)

Mulahusič, A., Tuno, N., Topoljak, J., Balić, D. 2016. Izdelava 3D-modela kompleksnega kulturno zgodovinskega spomenika z uporabo digitalne fotogrametrične postaje. Geodetski vestnik 60, 1: 28-30.

[http://www.geodetski-vestnik.com/60/1/gv60-1\\_mulahusic.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/60/1/gv60-1_mulahusic.pdf) (Pridobljeno 18. 5. 2017.)

Olympus. 2018. E-PL7.

[https://www.olympus.co.uk/site/en/c/cameras/pen\\_cameras/pen/e\\_pl7/index.html](https://www.olympus.co.uk/site/en/c/cameras/pen_cameras/pen/e_pl7/index.html)

(Pridobljeno 3. 3. 2018.)

Pegan Žvokelj, B., Bric, V., Triglav Čekada, M. 2014. Lasersko skeniranje Slovenije. Geodetski vestnik 58, 2: 349-351.

Poklukar, S. 2015. Pregled metod aerotriangulacije in primer uporabe programa SocetSet. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Poklukar): 17-36.

Sivec, I. 2006. Rojen slika Valentin Hodnik. PD Onger Trzin.  
<http://onger.org/?mode=chrono&id=293> (Pridobljeno 13. 2. 2018.)

Tabla pri maketi Triglava.

Triglav Čekada, M., Bric, V. 2015. Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. Geodetski vestnik 59, 3: 586-592.

Vovk, A. 2016. Tiskanje tridimenzionalnih modelov v medicini. eSiNAPSA 12.  
[https://www.sinapsa.org/eSinapsa/stevilke/2016-12/196/tiskanje\\_tridimenzionalnih\\_modelov\\_v\\_medicini](https://www.sinapsa.org/eSinapsa/stevilke/2016-12/196/tiskanje_tridimenzionalnih_modelov_v_medicini) (Pridobljeno 17. 4. 2018.)

Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., Reynolds, J.M. 2012. »Structure-from-Motion« photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. Geomorphology 179: 300-314.

## **SEZNAM PRILOG**

**Priloga A: Vhodna datoteka za horizontalno izravnavo v Gem4.**

**Priloga B: Vhodna datoteka za višinsko izravnavo v VimWin.**

»Ta stran je namenoma prazna«

## Priloga A: Vhodna datoteka za horizontalno izravnavo v Gem4

\*n

|     |          |           |
|-----|----------|-----------|
| 100 | 999.9948 | 999.9984  |
| 700 | 997.9755 | 1002.9683 |
| 600 | 995.6559 | 1000.5575 |
| 500 | 990.3401 | 998.2443  |
| 400 | 991.6901 | 992.7688  |
| 300 | 996.0332 | 992.0514  |
| 200 | 999.7682 | 995.4586  |
| 1   | 997.8793 | 998.5769  |
| 2   | 997.1405 | 997.0208  |
| 9   | 994.5682 | 997.3718  |
| 8   | 994.1116 | 996.6334  |
| 6   | 992.6972 | 995.1343  |
| 7   | 992.6909 | 996.4026  |
| 3   | 996.3503 | 995.7062  |
| 4   | 994.7384 | 996.1350  |
| 5   | 995.3803 | 994.8138  |

\*o

|   |     |     |     |    |        |      |   |    |
|---|-----|-----|-----|----|--------|------|---|----|
| 1 | 100 | 200 | 0   | 0  | 0.000  | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 100 | 300 | 26  | 25 | 85.000 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 100 | 400 | 51  | 21 | 68.100 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 100 | 500 | 85  | 37 | 89.100 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 100 | 600 | 104 | 97 | 55.600 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 100 | 1   | 59  | 15 | 47.600 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 100 | 2   | 45  | 47 | 47.100 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 200 | 300 | 0   | 0  | 0.000  | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 200 | 400 | 26  | 61 | 27.700 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 200 | 500 | 65  | 36 | 40.400 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 200 | 600 | 103 | 86 | 60.600 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 200 | 100 | 150 | 24 | 81.200 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 200 | 3   | 51  | 67 | 91.300 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 200 | 4   | 55  | 58 | 52.300 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 200 | 5   | 37  | 78 | 77.300 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 300 | 400 | 0   | 0  | 0.000  | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 300 | 500 | 42  | 25 | 11.000 | 1.00 | 1 | DA |

|   |     |     |     |    |        |      |   |    |
|---|-----|-----|-----|----|--------|------|---|----|
| 1 | 300 | 600 | 86  | 75 | 49.400 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 300 | 100 | 119 | 1  | 54.600 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 300 | 200 | 142 | 49 | 73.500 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 300 | 3   | 95  | 8  | 71.100 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 300 | 4   | 70  | 3  | 0.700  | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 300 | 5   | 74  | 80 | 8.000  | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 300 | 6   | 37  | 6  | 61.800 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 400 | 500 | 0   | 0  | 0.000  | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 400 | 600 | 45  | 36 | 99.300 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 400 | 100 | 69  | 78 | 34.200 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 400 | 200 | 94  | 92 | 11.400 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 400 | 300 | 125 | 80 | 95.600 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 400 | 6   | 41  | 0  | 94.700 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 500 | 9   | 39  | 8  | 29.200 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 500 | 600 | 0   | 0  | 0.000  | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 500 | 100 | 14  | 68 | 50.400 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 500 | 200 | 44  | 41 | 57.900 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 500 | 300 | 78  | 80 | 35.200 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 500 | 400 | 110 | 74 | 5.100  | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 500 | 6   | 84  | 83 | 84.900 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 500 | 7   | 68  | 43 | 49.100 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 500 | 8   | 51  | 82 | 59.800 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 600 | 100 | 0   | 0  | 0.000  | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 600 | 200 | 48  | 63 | 24.600 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 600 | 300 | 89  | 1  | 60.000 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 600 | 400 | 121 | 81 | 85.600 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 600 | 500 | 165 | 70 | 63.800 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 600 | 8   | 115 | 70 | 74.300 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 600 | 9   | 112 | 78 | 43.100 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 600 | 2   | 66  | 53 | 75.000 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 700 | 100 | 0   | 0  | 0.000  | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 700 | 200 | 23  | 8  | 95.500 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 700 | 300 | 49  | 21 | 83.100 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 700 | 400 | 73  | 16 | 96.900 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 700 | 500 | 102 | 74 | 28.100 | 1.00 | 1 | DA |
| 1 | 700 | 1   | 39  | 40 | 52.900 | 1.00 | 1 | DA |



|   |     |     |    |          |        |        |   |    |
|---|-----|-----|----|----------|--------|--------|---|----|
| 1 | 700 | 2   | 46 | 88       | 94.200 | 1.00   | 1 | DA |
| 1 | 700 | 9   | 72 | 82       | 52.200 | 1.00   | 1 | DA |
| 2 | 100 | 200 |    | 4.54512  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 100 | 300 |    | 8.88004  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 100 | 400 |    | 11.01103 |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 100 | 500 |    | 9.81225  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 100 | 600 |    | 4.37412  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 100 | 1   |    | 2.54938  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 100 | 2   |    | 4.12425  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 200 | 300 |    | 5.05632  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 200 | 400 |    | 8.51506  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 200 | 500 |    | 9.83141  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 200 | 600 |    | 6.55093  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 200 | 100 |    | 4.54538  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 200 | 3   |    | 3.42681  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 200 | 4   |    | 5.07618  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 200 | 5   |    | 4.43452  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 300 | 400 |    | 4.40218  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 300 | 500 |    | 8.41243  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 300 | 600 |    | 8.51503  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 300 | 100 |    | 8.87989  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 300 | 200 |    | 5.05597  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 300 | 3   |    | 3.66909  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 300 | 4   |    | 4.28429  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 300 | 5   |    | 2.83895  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 300 | 6   |    | 4.54224  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 400 | 500 |    | 5.63971  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 400 | 600 |    | 8.74126  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 400 | 100 |    | 11.01094 |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 400 | 200 |    | 8.51477  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 400 | 300 |    | 4.40238  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 400 | 6   |    | 2.57204  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 500 | 9   |    | 4.31646  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 500 | 600 |    | 5.79775  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 500 | 100 |    | 9.81211  |        | 1.0000 |   | DA |
| 2 | 500 | 200 |    | 9.83108  |        | 1.0000 |   | DA |

|   |     |     |          |        |    |
|---|-----|-----|----------|--------|----|
| 2 | 500 | 300 | 8.41312  | 1.0000 | DA |
| 2 | 500 | 400 | 5.64009  | 1.0000 | DA |
| 2 | 500 | 6   | 3.90228  | 1.0000 | DA |
| 2 | 500 | 7   | 2.98628  | 1.0000 | DA |
| 2 | 500 | 8   | 4.10131  | 1.0000 | DA |
| 2 | 600 | 100 | 4.37331  | 1.0000 | DA |
| 2 | 600 | 200 | 6.55016  | 1.0000 | DA |
| 2 | 600 | 300 | 8.51499  | 1.0000 | DA |
| 2 | 600 | 400 | 8.74106  | 1.0000 | DA |
| 2 | 600 | 500 | 5.79805  | 1.0000 | DA |
| 2 | 600 | 8   | 4.21669  | 1.0000 | DA |
| 2 | 600 | 9   | 3.36666  | 1.0000 | DA |
| 2 | 600 | 2   | 3.83477  | 1.0000 | DA |
| 2 | 700 | 100 | 3.59049  | 1.0000 | DA |
| 2 | 700 | 200 | 7.71959  | 1.0000 | DA |
| 2 | 700 | 300 | 11.08765 | 1.0000 | DA |
| 2 | 700 | 400 | 11.98012 | 1.0000 | DA |
| 2 | 700 | 500 | 8.97826  | 1.0000 | DA |
| 2 | 700 | 1   | 4.39014  | 1.0000 | DA |
| 2 | 700 | 2   | 6.00373  | 1.0000 | DA |
| 2 | 700 | 9   | 6.55038  | 1.0000 | DA |

\*PS

1

\*PD

.003

\*RK

G

\*IK

DM

\*IS

DE

\*Konec

## Priloga B: Vhodna datoteka za višinsko izravnavo v VimWin

\*5

\*N

100 100.00000

700 99.44573

600 99.46435

500 99.39188

400 99.99334

300 100.57249

200 100.67241

1 98.63923

2 99.46341

9 98.42914

8 99.71518

6 98.58985

7 98.54038

3 99.16917

4 99.90872

5 99.04973

\*E

m

\*O

400 600 -0.53050 152.8192528

400 200 0.67771 145.0026163

400 6 -1.40374 13.23077952

400 500 -0.60139 63.61265777

400 300 0.57811 38.76189933

400 100 0.00487 242.4815994

300 400 -0.57913 38.7583775

300 6 -1.98190 41.26388844

300 500 -1.18011 141.537957

300 4 -0.66378 36.71028161

300 600 -1.10921 145.0114718

300 3 -1.40332 26.92444286

300 5 -1.52276 16.11927421

300 200 0.09912 51.12566528

---

|     |     |          |             |
|-----|-----|----------|-------------|
| 300 | 100 | -0.57380 | 157.7048928 |
| 700 | 9   | -1.01659 | 85.81495629 |
| 700 | 200 | 1.22697  | 119.1841395 |
| 700 | 300 | 1.12719  | 245.871965  |
| 700 | 1   | -0.80650 | 38.54665844 |
| 700 | 100 | 0.55438  | 25.78323688 |
| 700 | 400 | 0.54884  | 287.0465504 |
| 700 | 2   | 0.01767  | 72.08954783 |
| 700 | 500 | -0.05250 | 161.2183053 |
| 100 | 600 | -0.53576 | 38.26585155 |
| 100 | 2   | -0.53685 | 34.01887613 |
| 100 | 1   | -1.36151 | 12.99867677 |
| 100 | 200 | 0.67235  | 41.31623163 |
| 100 | 300 | 0.57276  | 157.7102208 |
| 100 | 500 | -0.60678 | 192.5605001 |
| 100 | 400 | -0.00617 | 242.4855633 |
| 500 | 400 | 0.60109  | 63.62123042 |
| 500 | 8   | 0.32216  | 33.64033908 |
| 500 | 200 | 1.27901  | 193.3002679 |
| 500 | 300 | 1.17939  | 141.5611763 |
| 500 | 400 | 0.60109  | 63.62168162 |
| 500 | 600 | 0.07102  | 67.22781013 |
| 500 | 100 | 0.60631  | 192.5550053 |
| 500 | 300 | 1.17939  | 141.5611763 |
| 500 | 6   | -0.80203 | 30.45479795 |
| 500 | 9   | -0.96455 | 37.26365386 |
| 500 | 7   | -0.85151 | 17.83573648 |
| 200 | 4   | -0.76326 | 51.53520678 |
| 200 | 5   | -1.62196 | 39.32993526 |
| 200 | 3   | -1.50258 | 23.48605355 |
| 200 | 400 | -0.67869 | 145.0124936 |
| 200 | 600 | -1.20859 | 85.82936773 |
| 200 | 100 | -0.67308 | 41.32095869 |
| 200 | 300 | -0.09987 | 51.13274388 |
| 600 | 300 | 1.10818  | 145.0101094 |
| 600 | 2   | -0.00137 | 29.41092191 |

|     |     |          |             |
|-----|-----|----------|-------------|
| 600 | 500 | -0.07151 | 67.23476761 |
| 600 | 200 | 1.20789  | 85.80919205 |
| 600 | 8   | 0.25083  | 35.56094911 |
| 600 | 400 | 0.52984  | 152.8122598 |
| 600 | 100 | 0.53511  | 38.25168071 |
| 600 | 9   | -1.03603 | 22.66879911 |

\*K