

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:

Korošec, M., 2014. Primerjava GNSS-izmere vodostaja in simulacije vodostaja na podlagi DMR na delu Cerknškega jezera. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Pavlovčič Prešeren, P., somentor Grigillo, D.): 29 str.

Datum arhiviranja:03-10-2014

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:

Korošec, M., 2014. Primerjava GNSS-izmere vodostaja in simulacije vodostaja na podlagi DMR na delu Cerknškega jezera. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešeren, P., co-supervisor Grigillo, D.): 29 pp.

Archiving Date: 03-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GEODEZIJA IN  
GEOINFORMATIKA

Kandidatka:

**MARJETA KOROŠEC**

**PRIMERJAVA GNSS-IZMERE VODOSTAJA IN  
SIMULACIJE VODOSTAJA NA PODLAGI DMR NA  
DELU CERKNIŠKEGA JEZERA**

Diplomska naloga št.: 63/GIG

**GNSS WATER LEVEL DETERMINATION COMPARED  
TO THE DMT BASED SIMULATION AT THE PART OF  
THE LAKE CERKNICA**

Graduation thesis No.: 63/GIG

**Mentorica:**

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

**Predsednik komisije:**

doc. dr. Božo Koler

**Somentor:**

asist. dr. Dejan Grigillo

Ljubljana, 16. 09. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## IZJAVE

Podpisana **Marjeta Korošec** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »**Primerjava GNSS-izmere vodostaja in simulacije vodostaja na podlagi DMR na delu Cerknškega jezera**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2014

Marjeta Korošec

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

- UDK:** 528.28(497.4Cerknjško jezero)(043.2)
- Avtorica:** Marjeta Korošec
- Mentorica:** doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren
- Somentor:** asist. dr. Grigillo Dejan
- Naslov:** Primerjava GNSS-izmere vodostaja in simulacije vodostaja na podlagi DMR na delu Cerknjškega jezera
- Tip dokumenta:** diplomska naloga – univerzitetni študij
- Obseg in oprema:** 29 str., 7 pregl., 18 sl., 1 pril.
- Ključne besede:** GNSS-izmera, DMR, VRS, diskretne točke, vodostaj

### **Izveček**

V diplomski nalogi predstavljamo rezultate terenske izmere GNSS v januarju in marcu 2014 na delu Cerknjškega jezera, podrobneje v okolici vasi Dolenje Jezero. Izmeri smo delali v času pred in po žledolomu ter kasnejši nadpovprečno povečani višini vodostaja jezera. V nalogi opisujemo rezultate in ugotovitve s področja določitve srednje nadmorske višine gladine jezera ter kakovosti uporabljenega DMR-ja. Prvi del diplomske naloge se nanaša na teoretični opis metod izmere GNSS, v nadaljevanju pa se osredotočimo na opis GNSS-izmere na terenu. V praktičnem delu naloge izpostavimo težave, ki so se pojavile pri obdelavi opazovanj statične metode izmere GNSS. Preverili smo natančnost RTK-metode izmere z navezavo na VRS na danem območju. Glavni del naloge zajema grafične prikaze srednjih nadmorskih višin gladine jezera, določenih s pomočjo merjenih diskretnih točk z RTK-metodo izmere. Cilj naloge v tem delu je primerjava podatkov RTK-metode izmere vodostaja s simulacijo vodostaja, izvedeno na podlagi DMR-ja v času poplav. V povezavi s primerjavo rezultatov na grafični podlagi ortofota predstavimo nihanje vodne gladine. V zaključnem delu diplomske naloge so podani predlogi za možno nadgradnjo naloge v prihodnosti.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 528.28(497.4Cerknško jezero)(043.2)  
**Author:** Marjeta Korošec  
**Supervisor:** Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph. D.  
**Co-advisor:** Assist. Dejan Grigillo, Ph. Sc.  
**Title:** GNSS water level determination compared to the DTM based simulation at the part of the lake Cerknica  
**Documenttype:** Graduation Thesis – University studies  
**Notes:** 29 p., 7 tab., 18 fig., 1 ann.  
**Keywords:** GNSS-surveying, DTM, VRS, discrete point, the water level

**Abstract**

This thesis presents the results of field measurement of GNSS at a part of lake Cerknica, more specifically in the surroundings of the village Dolenje Jezero, in January and March 2014. We took measures before and after the sleet storm and later when the amount of water was increased above the average water level of the lake. We describe the results and findings of determining the medium-altitude surface of the lake and the quality of the DTM. The first part of the thesis concerns the theoretical description of the methods GNSS surveying, later we focused on the description of GNSS surveying on the field. In the practical part of the thesis the problems encountered in the processing of observations static GNSS surveying methods are highlighted. We checked the accuracy of RTK-measurement method with reference to the VRS in a given area. The main part of the thesis includes graphic displays of a medium altitude surface of the lake set by using the measured discrete points with RTK-method of surveying. The aim of the task in this part is to compare the data of the RTK-method measurement of water levels to the DTM based simulation of water level during the flood. Fluctuation of water levels was introduced with the comparison of the results on the graphic basis of orthophoto. The final part of the thesis points out the suggestions for a possible upgrade of the task in the future.

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Poloni Pavlovčič Prešeren za vso pomoč pri izdelavi diplomske naloge in za izkazano pripravljenost terenskih meritev na težko prehodnem zamočvirjenem delu Cerknjškega jezera. Prav tako se za pomoč pri izvedbi terenskih meritev zahvaljujem g. Albinu Mencinu. Za vso izkazano pomoč pri izdelavi naloge se zahvaljujem tudi somentorju asist. dr. Dejanu Grigillu.

Ob nastajanju diplomskega dela so me starši, sestre in prijatelji ves čas vzpodbujali in mi stali ob strani, za kar se jim iskreno zahvaljujem.

**KAZALO VSEBINE**

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Zgodovina	1
1.2 Hidrološke značilnosti	3
1.3 Cilji	4
1.4 Hipoteze	5
<b>2 STATIČNA IN KINEMATIČNA METODA IZMERE GNSS</b>	<b>6</b>
2.1 Statična metoda izmere GNSS	6
2.2 RTK-metoda izmere GNSS	6
<b>3 OMREŽJE SIGNAL</b>	<b>8</b>
3.1 Določitev položaja z navezavo na VRS	9
<b>4 PRAKTIČNI DEL NALOGE</b>	<b>11</b>
4.1 Pridobivanje podatkov	11
4.2 Izmera na terenu	11
4.3 Opis terenskega dela	13
4.3.1 Prva izmera	13
4.3.2 Druga izmera	15
4.4 Opis težav	16
4.4.1 Nevzdrževana geodetska mreža	17
4.4.2 Določanje roba jezera	17
<b>5 OBDELAVA PODATKOV</b>	<b>18</b>
5.1 Splošno o opazovanjih GNSS	18
5.2 Statična metoda izmere	18
5.2.1 Izravnava GNSS-mreže	18
5.3 Kinematična metoda izmere	20
<b>6 INTERPRETACIJA REZULTATOV</b>	<b>21</b>
6.1 Problematika kakovosti ortofota in DMR-ja	21
6.2 Grafični prikaz rezultatov	21
6.2.1 Srednja nadmorska višina gladine jezera pred poplavami	21
6.2.2 Srednja nadmorska višina gladine jezera med poplavami	23
6.2.3 Srednja nadmorska višina gladine jezera po poplavah	24



6.2.4	Primerjava rezultatov prve in druge RTK-metode izmere	26
<b>7</b>	<b>NADGRADNJA NALOGE V PRIHODNOSTI</b>	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>28</b>
<b>VIRI</b>		<b>29</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1:	Hidrološke značilnosti (1972-1975) za področje Cerknice v porečju Ljubljanice (Žibrik in sod., 1976, cit. po Kranjc, 1985, str. 23)	4
Preglednica 2:	Geodetske koordinate točk v ETRS89/TM koordinatnem sistemu, ki določajo oba območja izmere	13
Preglednica 3:	Geodetske (približne) koordinate točk določene z RTK-metodo izmere v ETRS89/TM koordinatnem sistemu	14
Preglednica 4:	Geodetske koordinate novih točk v ETRS89/TM koordinatnem sistemu	19
Preglednica 5:	Koordinate novih točk določene v novem koordinatnem sistemu D96/TM	19
Preglednica 6:	Sredine koordinat točk, določene z RTK-metodo izmere v novem koordinatnem sistemu D96/TM	20
Preglednica 7:	Primerjava koordinat točk določene s statično in RTK-metodo izmere	20

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Požiralniki v Rešetu, Potočna jama (Kebe, 2011, foto: Schein V.)	1
Slika 2:	Znana Valvasorjeva slika kanalov, sifonov in podzemnih jezerc Cerknškega jezera (Cerknško jezero in njegovi raziskovalci, 2014)	2
Slika 3	RTK- metoda GNSS-izmere z navezavo na stalno delujočo postajo GNSS	7
Slika 4:	Omrežje permanentnih postaj SIGNAL (SIGNAL, 2014)	8
Slika 5:	Delovanje RTK metode z navezavo na VRS postajo	10
Slika 6:	Prikaz prvega obravnavanega območja na podlagi DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM	12
Slika 7:	Prikaz drugega obravnavanega območja na podlagi DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM	12
Slika 8:	Statična metoda izmere na terenu (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM)	14
Slika 9:	Postavitev antene Leica Viva nad točko POL1	15
Slika 10:	Postavitev antene Leica Viva nad točko POLI2	15
Slika 11:	Postavitev antene Trimble nad točko TRIG	15
Slika 12:	Prikaz diskretnih točk določene z RTK-metodo izmere z legendo (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM)	16
Slika 13:	Definiranje roba jezera (levo) in primer, kjer voda zastaja v močvirnatih tleh (desno)	17
Slika 14:	Prikaz vodostaja na Cerknškem jezeru dne 17. 1. 2014 skupaj z merjenimi diskretnimi točkami (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM, DMV 5)	22
Slika 15:	Prikaz srednje višine gladine jezera (v transparentno modri barvi) v času poplav dne 23. 2. 2014. Razširjenost jezera pred poplavami je prikazano v svetlo modri barvi. Voda je segala do najbližje hiše v vasi Dolenje Jezero (rumen krogec), z rdečim krožcem je označena cerkev Sv. Lovrenca, kjer smo pričeli s terensko izmero GNSS. Rumene točke ponazarjajo meritve prve RTK-izmere (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM, DMV 5)	23

- Slika 16: Merilno mesto vodostaja na mostu (levo) ter pogled na poplavljen most in makadamsko pot Dolenje Jezero-Otok (desno) (Foto: Gornik M.) 24
- slika 17: Prikaz srednje nadmorske višine gladine jezera dne 15. 3. 2014 z legendo (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM, DMV 5) 25
- Slika 18: Primerjava vodostaja s prve in druge RTK-metode izmere. V transparentni barvi je prikazan vodostaj v času druge RTK-metode izmere, v svetlejši barvi pa v času prve RTK-metode izmere (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM, DMV 5) 26

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

CROPOS	ang. Croatian Positioning System
D48/GK	Datum 1948 / Gauss-Krügerjeva projekcija – državni koordinatni sistem v veljavi do 31. 12. 2007
D96/TM	Datum 1996 / Transverzalna merkatorjeva projekcija – državni koordinatni sistem v veljavi od 31. 12. 2007
DMV	Digitalni model višin
DOF	Državni ortofoto
ETRS89/TM	ang. European Terrestrial Reference System 1989 / Transversal Mercator
GNSS	ang. Global Navigation Satellite System
GPS	ang. Global Positioning System
GSM	ang. Global System for Mobile
IGS	ang. International GNSS Service
LGO	Programski paket Leica Geo Office
NMEA	ang. National Marine Electronics Association
PPP	ang. Precise Point Positioning
RINEX	ang. Receiver Independent Exchange
RTCM	ang. Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	ang. Real Time Kinematic
SIGNAL	Slovenija-Geodezija-Navigacija-Lokacija
VRS	ang. Virtual Reference Station



## 1 UVOD

V diplomski nalogi opisujemo merjenje vodostaja z metodami GNSS na delu Cerknškega jezera, ki se nahaja 2,5 km južno od Cerknice ob vasici Dolenje Jezero. Cerknško polje z istoimenskim jezerom se razprostira sredi notranjskih gozdov. Na zahodu in jugu ga obdajajo strma pobočja Javornikov; na jugovzhodu ga ozek greben loči od Loške doline; na vzhodu ga omejuje Bloška planota in na severu se razprostira pobočje Slivnice. Cerknško polje sodi v sistem kraških polj, s katerih površinske vode odtekajo in pridejo do izvirov Bistre na obrobju Ljubljanskega barja.

Vsak dan nam Cerknško jezero ponudi drugačen obraz in vse to zaradi posebne lastnosti – presihanje. Na jezerskem dnu se nahajajo požiralniki in ponorne jame, skozi katere voda odteka v kraško podzemlje. Po tem je Cerknško jezero najbolj znano v evropskem in v svetovnem merilu.

O Cerknškem jezeru govorimo takrat, ko je pritok vodena polje večji od požiralne sposobnosti požiralnikov. Posledično se voda razlije po polju. Jezero presiha skozi talne požiralnike (slika 1) in dve veliki ponorni jami z imenoma Velika in Mala Karlovica. Na dnu jezera najdemo še estavele, ki so ob nalivu izviri, v sušnem obdobju pa manjši požiralniki (Gospodarič in Habič 1979, cit. po Korošec).

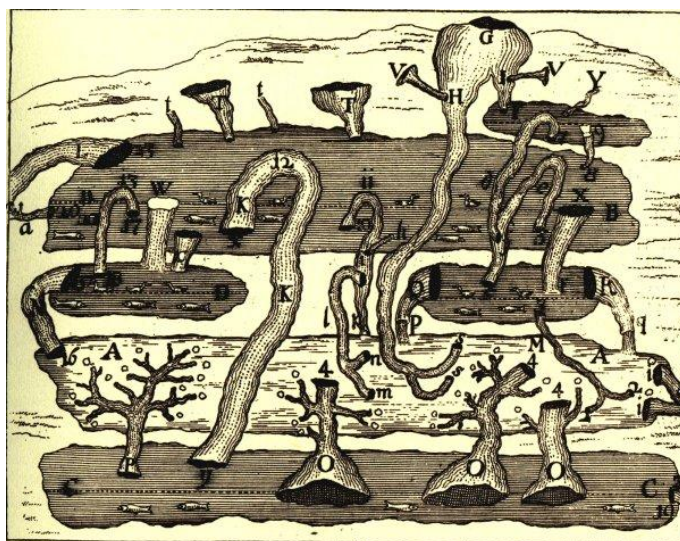


Slika 1: Požiralniki v Rešetu, Potočna jama (Kebe, 2011, foto: Schein V.)

### 1.1 Zgodovina

Presihanje jezera je bila že v preteklosti velika uganka znanstvenikov. O nastanku Cerknškega jezera je v 17. stoletju podrobno razlagal Janez Vajkard Valvasor v delu Slave

Vojvodine Kranjske. Ob opazovanju jezera so se mu porajala številna vprašanja o nastanku pojavov, ki so se mu zdeli bistveni za presihanje. Njegova teorija o odtekanju vode temelji na petih jezerih, poleg Cerknjškega še eno jezero pod njim in tri nad njim kot prikazuje slika 2. Z AA je Valvasor označil Cerknjško jezero, s CC jezersko mlako pod njim ter z BB večje jezero v Javornikih. Pod jezerom BB sta dve manjši jezera, zaznamovani s črkama D in E. Najvišje ležeče jezero ima svoj kotel, ki leži nad njim (črka F). Vsa jezera so med seboj povezana s kanali, cevmi in sifoni.



Slika 2: Znana Valvasorjeva slika kanalov, sifonov in podzemnih jezerc Cerknjškega jezera (Cerknjško jezero in njegovi raziskovalci, 2014 )

Valvasorje s takratno tehniko merjenja določil višino jezera BB, ki bi po njegovih izračunih bilo 8 sežnjev ali 42 čevljev (15,59 m) višje od Cerknjškega jezera. Svoj sklep je dokazal na človeških ribicah, ki ob močnem pritoku vode pridejo na dan pri studencu Storžek in jezeru BB. To pove v delu Slave Vojvodine Kranjske z naslednjimi besedami: »Med Snežnikom in Ložem pridejo često, kadar je velik nalive, pri studencu Storžku črne in slepe race prav tako na dan kakor pri tem jezeru« (Radics, cit. po Valvasor, 1689, str. 30). To analizo so kasneje znanstveniki ovrgli. S pomočjo nizozemskega zvezdomera in matematičnega instrumenta<sup>1</sup> je ugotovil, da je Vranja jama od Storžka pri Snežniku oddaljena za 24300 sežnjev.

V času praznjenja naj bi voda odtekala skozi pet požiralnikov, vendar ne hkrati. Po petih dneh umikanja jezera se posamezni požiralnik prazni naslednjih pet dni (požiralnik Kamenje, Vodonos, Kotel, Levišča). Po tem sistemu jezero presahne v 25-ih dneh. Medtem voda presiha tudi skozi ostale požiralnike po določenem vrstnem redu.

<sup>1</sup> Geodetski instrument, ki ga je izumil Valvasor za merjenje nadmorskih višin, vodostajev, ...



Omeni tudi Veliko in Malo Karlovico, kamor odteka jezero, kadar je polno. Ob opazovanju jezera je razkril, da ne presahne vsako leto in da nikoli ni celo leto suho. Zelo je presenečen nad močjo bruhanja vode ob močnem deževju iz vseh požiralnikov, razen iz Male in Velike Karlovice. Menil je, da tako hiter dotok vode lahko napolni jezero v manj kot enem dnevu.

Skozi zgodovino so ljudje veliko posegali v naravno delovanje jezera. Zaradi poizkusov osuševanja jezera in zadrževanja vode v njem sedanje stanje vodotoka kot tudi presihanje jezera ni naravno stanje. Omenjamo le nekaj letnic s posegi v Cerkniško jezero in ekstremnih voda na njem.

**Leta 1848** so vaščani Dolenjega Jezera naredili jez v Vodonosu za načrt vaške žage, ki se jim kasneje ni uresničil (Kebe, 2011).

**Maja leta 1892** so bile velike poplave (Kebe, 2011).

**Leta 1910** je nekaj »Jezercev« (domačini Dolenjega Jezera) očistilo malo Karlovico in v njej razstrelilo nekaj skal z namenom, da bo voda hitreje odtekala. Od tedaj naprej je v sušnem obdobju jezero popolnoma presahnilo vsako leto (Kebe, 2011).

**Leta 1921** je Vodna zadruga vodila najobsežnejše posege za osuševanje jezera. Očistili so Veliko in Malo Karlovico in požiralnike, ki so jih tudi poglobili. Izvedli so tudi poglobitev in regulacijo struge Stržena (Kebe, 2011).

**Leta 1966** so v namen turizma želeli popolnoma zajezi Cerkniško jezero. Zabetonirali so Malo Karlovico in v Veliki Karloviči zgradili betonski zid z zapornico do višine kote 551 metrov, kar je največja oskrumba slovenske narave (Kebe, 2011).

**Decembra leta 2000** so katastrofalne poplave bile povod za odstranitev pregrade pred Malo Karlovico in dvig zapornic pred Veliko Karlovico (Kebe, 2011).

**Februarja leta 2014** je voda na jezeru ekstremno narasla zaradi obilnega deževja, taljenja ledu in snega ob hudem žledolomu.

## 1.2 Hidrološke značilnosti

Površina Cerkniškega jezera meri od 26 km<sup>2</sup> do 38 km<sup>2</sup>. Ob svojem največjem razponu v dolžino meri 10,5 km in v širino 4,7 km. Globina jezera na območju požiralnikov meri 10 m, v najplitvejših ravninah pa le nekaj decimetrov. V času močnega jesenskega in pomladnega deževja se jezero lahko napolni v dveh do treh dneh. Kljub temu, da meseca marca nimamo padavinskega viška, je v tem času gladina jezera že kar visoka. Takrat veliko količino vode prinašajo pritoki iz zaledja Cerkniškega jezera zaradi taljenja snega v višjih legah. V poletnih mesecih jezero presahne v treh do štirih tednih (Kranjc, 1985).

Področje Cerknice, ki je eno izmed hidroloških zaledij Cerkniškega polja, spada v porečje Ljubljanice. Voda, ki se izteka iz sistema kraških polj, se pojavi na površju pri Vrhniku. Tamkajšnji izviri napajajo reko Ljubljanico. Hidrološke značilnosti za izbrano območje so prikazane v preglednici 1.

Preglednica 1: Hidrološke značilnosti (1972-1975) za področje Cerknice v porečju Ljubljanice (Žibrik in sod., 1976, cit. po Kranjc, 1985, str. 23)

Parameter	Cerknica
<b>Površje</b>	241,70 km <sup>2</sup>
<b>Padavine</b>	1894,00 mm
<b>Odtok</b>	364,20 m <sup>3</sup>
<b>Srednji pretok</b>	11,54m <sup>3</sup> /s
<b>Specifični odtok 1/s</b>	47,70 km <sup>2</sup>
<b>Odtočni količnik<sup>2</sup></b>	0,80
<b>Evapotranspiracija<sup>3</sup></b>	387,00 mm

Ob normalnem pritoku vode jezero pokriva 53 % Cerknškega polja. Kadar se pritok potokov znatno poveča, je polje kar v 70-ih odstotkih prekrito z vodo. Največjo sposobnost odvajanja vode imajo ponorne jame, ki zavzamejo 45 m<sup>3</sup>/s, medtem ko talni požiralniki le 6 m<sup>3</sup>/s. Nadmorska višina gladine jezera se giblje od 546 do 551 m (Turk, Pipan, 2009). Cerknško jezero lahko označimo za tipično kraško presihajoče jezero, čeprav nima popolnega kraškega pritoka in odtoka. Kranjec to pojasnjuje z naslednjimi besedami: »*Cerknško jezero ima, računano po količinah vode: 80 % kraških in 15 % površinskih dotokov. Tak je torej tudi delež jezerske vode: 80 % kraške in 15 % normalne. S tem ni rečeno, da je Cerknško jezero tudi deloma "normalna" hidrološka tvorba, "navadno" jezero. Zajezitev, zaradi katere jezero sploh nastane, je v celoti kraška in je jezero tipično kraško, to se pravi presihajoče jezero*« (Kranjc, 1985, str. 23).

Prav to pestro dogajanje na Cerknškem jezeru je bil povod za merjenje vodne gladine. Letos meseca februarja smo bili priča veliki povodnji, ki je prizadela tudi okoliške vasi, zato smo aktualni tematiki posvetili še večjo pozornost z izvedbo terenskih meritev na delu jezera.

### 1.3 Cilji

Glavni cilj naloge je, da z geodetskimi meritvami v več različnih časovnih obdobjih pridobimo podatke o srednji nadmorski višini vodne gladine na Cerknškem jezeru. Ob tem je pomembno, da rezultate terenskega dela kakovostno in pravilno interpretiramo na ustrezni strokovni podlagi. S tem želimo prikazati uporabo geodetske stroke v širšem obsegu in jo povezati z ostalimi strokami. Eden izmed ciljev je tudi pridobiti veščine pri uporabi programov

<sup>2</sup>Odtočni količnik nam pove, kolikšen odstotek padavin, ki padejo na določeno površje, odteče. Preostale izhlapijo, vpije jih prst ali zadrži rastje.

<sup>3</sup>Je hkratno izhlapevanje vode iz tal in rastlin (SSKJ).

grafične predstavitve dogajanja; pri tem smo uporabili programa ArcScene in ArcMap. Kot naslednje je cilj naloge spoznati nepredvidljive težave, ki jih je potrebno v prihodnosti odpraviti oziroma na njih opozoriti.

## 1.4 Hipoteze

Diplomsko nalogo naslonimo na dve hipotezi. Prva se navezuje na statično in RTK-metodo izmere GNSS na terenu in obdelavo pridobljenih podatkov, druga pa na interpretacijo rezultatov, pridobljenih z RTK-metodo izmere, na podlagi državnega ortofota (DOF) in digitalnega modela višin (DMV).

1. Hipoteza: Predpostavimo, da obdelava podatkov opazovanj GNSS vezana na dano točko VRS, ni optimalna. Ker omrežje SIGNAL na izbranem območja izmere tvori velik trikotnik s stranicami, daljšimi od 70 km, predpostavljamo, da izvedba tako statične metode izmere kot tudi kinematičnih metod izmere z uporabo dane točke VRS, ki nam jo nudi omrežje, ni najboljša izbira. Prav tako zaradi prevelike oddaljenosti od stalne postaje GNSS v Ljubljani (ca. 34 km zračne razdalje) predpostavljamo, da izvedba statične in RTK-metoda izmere z navezavo na stalno postajo v Ljubljani ni dobra izbira.
2. Hipoteza: Predpostavimo, da lahko terenske meritve z GNSS-višinomerstvo odstopajo od državnih višinskih podatkov, ki so nam na voljo na danem območju. Na podlagi vertikalnih odstopanj v izmerjenih diskretnih točkah od državnega DMV-ja predpostavimo, da lahko pride do odstopanj terenskih podatkov od DMV-ja tudi zato, ker je rob jezera težko določiti.

## 2 STATIČNA IN KINEMATIČNA METODA IZMERE GNSS

### 2.1 Statična metoda izmere GNSS

Statična metoda izmere spada med relativne metode izmere GNSS, saj z njo določimo relativni položaj točke. Sprejemnik se med samo izmero ne premika, od tu izhaja tudi njeno ime.

Metodo izvajamo z vsaj dvema sprejemnikoma, izmed katerih je prvi lociran na točki z znanim položajem v koordinatnem sistemu, vezanem na GNSS, drugi pa na novi točki. Opazovanja na obeh točkah (dani in novi) izvajamo istočasno. Kot znano točko lahko uporabimo nam najbližjo stalno (permanentno) postajo ali navidezno referenčno točko (angl. VRS – **V**irtual **R**eference **S**tation), ki nam jo nudi omrežje stalnih postaj GNSS. Slaba stran omenjene metode je, da je časovno potratna. Zbiranje opazovanj mora potekati od 30 do 120 minut, za najzahtevnejše naloge pa tudi po več dni. Položaj lahko izboljšamo z opazovanji v več serijah, torej v različnih časovnih obdobjih, ko so dejavniki drugačni (Kozmus, Stopar, 2003).

Omenjena metoda omogoča določitev koordinat točk z milimetrsko natančnostjo, vendar ne v realnem času, saj so meritve v realnem času vezane na kinematične metode izmere GNSS. Potrebna je naknadna obdelava statično pridobljenih opazovanj, s katero pridobimo boljši podatek o položaju točke s pripadajočo natančnostjo. Točke, ki jih določimo z visoko natančnostjo, so kasneje uporabne za vzpostavitev in zgoščevanje geodetske mreže, detajlno izmero, izmero dolžinskih objektov, snemanje oslonilnih točk za potrebe aerosnemanj, zakoličbo točk, linij in krožnih lokov, spremljanje deformacij in premikov (Kozmus, Stopar 2003). Statična metoda izmere se uporablja za določitev položaja stalnih GNSS postaj, geodinamične raziskave in določitev položaja geodetskih in drugih točk.

### 2.2 RTK-metoda izmere GNSS

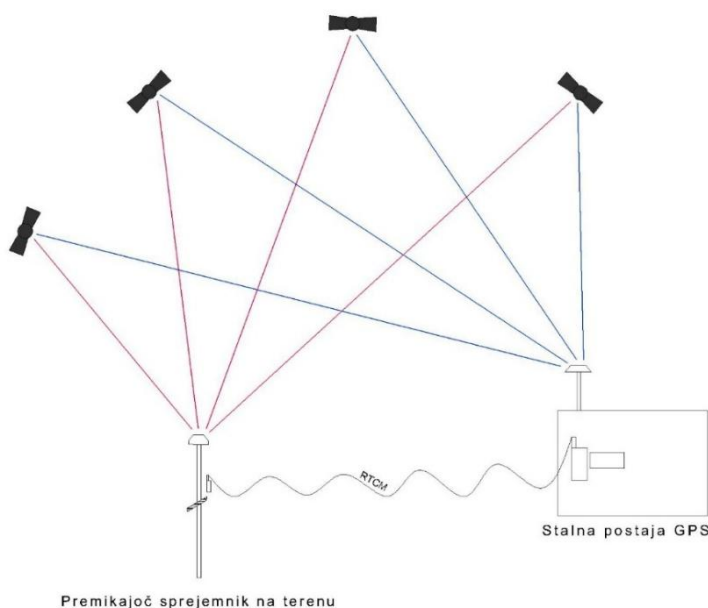
RTK-metoda (angl. **R**eal **T**ime **K**inematic) spada pod kinematične metode izmere GNSS, saj se sprejemnik med izmero premika. Lahko je tudi Stop-and-Go metoda (to pomeni, da se za nekaj časa ustavimo, nato pa smo z instrumentom spet v gibanju) ali kombinacija kinematične in hitre statične metode GNSS-izmere. S programi obdelave opazovanj GNSS, določamo relativni položaj, čeprav nekateri programi nudijo tudi možnost obdelave opazovanj statične metode izmere GNSS le enega instrumenta (metoda PPP (angl. **P**recise **P**oint **P**ositioning)).

Pri relativni metodi izmera istočasno poteka z vsaj dvema sprejemnikoma: en sprejemnik je postavljen na znani bazni točki v ustreznem koordinatnem sistemu, z drugim sprejemnikom pa izvajamo izmero na terenu. Metodo lahko še bolj poenostavimo tako, da bazno stojišče zamenjamo s stalno delujočo postajo v bližini.

Osnovni pogoj za izvedbo RTK-metode izmere je radijska ali GSM povezava med baznim in premičnim sprejemnikom GNSS v času trajanja izmere (slika 3). Po komunikacijski zvezi se od baznega stojišča proti premikajočemu sprejemniku pošiljajo opazovanja GNSS baznega stojišča, nato se na premikajoči enoti v realnem času vrši obdelava opazovanj GNSS. Poleg znanega položaja referenčne točke moramo imeti na voljo tudi znane položaje satelitov v obliki efemerid. Dobra lastnost te metode je, da že v realnem času pridobimo koordinate točk, podatek o natančnosti določitve le-teh in informacijo o količini opravljenega terenskega dela (Čadež, 2010).

Za uspešno opravljeno kinematično izmero GNSS mora biti vedno vzpostavljena inicializacija. S tem imamo zagotovljeno določitev neznanega števila celih valov v začetnem trenutku, kar imenujemo tudi fazna nedoločenaost. Metoda je primerna za uporabo na področjih geodezije (detajlna izmera, inženirska geodezija,...) in evidentiranja nepremičnin, geoinformacijske storitve, gradbeništva, varstvo kulturne dediščine, aerofotogrametrije in laserske tehnike daljinskega zaznavanja.

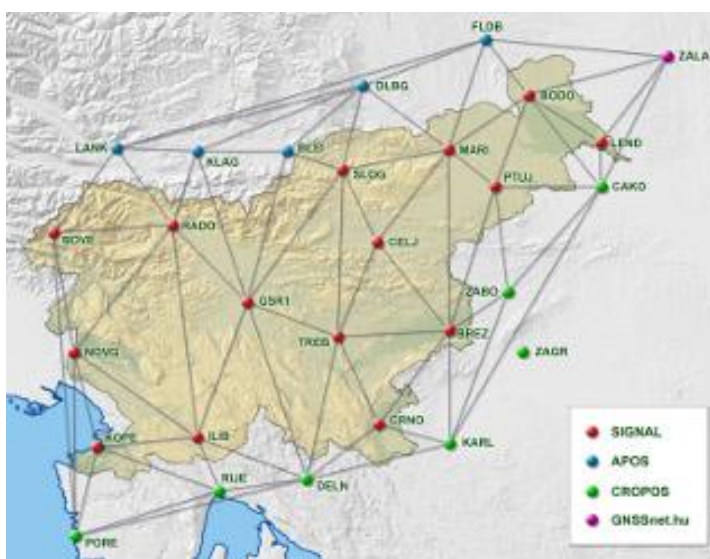
Slaba stran omenjene metode je, da lahko dokaj hitro pride do izgube inicializacije oziroma je bila inicializacija vzpostavljena, ko so bila opazovanja obremenjena z vplivi (problem odboja signala GNSS od objektov).



Slika 3: RTK- metoda GNSS-izmere z navezavo na stalno delujočo postajo GNSS

### 3 OMREŽJE SIGNAL

Omrežje SIGNAL (**S**lovenija-**G**eodezija-**N**avigacija-**L**okacija) je vzpostavljeno državno omrežje stalno delujočih postaj GNSS na območju Slovenije. Tvori ga 15 t.i. permanentnih postaj, ki so enakomerno razporejene po vsej državi (slika 4). Nekatera območja so boljše pokrita, nekatera manj. Trenutno je problematična izmera na območju, kjer so stranice trikotnikov, katerih oglišča so stalne postaje, večje od 70 km (primer RADO-NOVG-ILIB in RADO-GSR1-ILIB). Problem že rešujejo z vzpostavljanjem nove stalne postaje v Idriji. Za delovanje omrežja stalnih postaj SIGNAL skrbi Služba za GPS, ki jo sestavljajo podatkovni, operativni in analitični centri. Omrežje je osnova državne geoinformacijske infrastrukture in predstavlja ogrodje novega slovenskega državnega sistema (SIGNAL, 2014).



Slika 4: Omrežje permanentnih postaj SIGNAL (SIGNAL, 2014)

Ob državni meji so permanentne postaje povezane s postajami sosednjih držav, od katerih največ podatkov sprejemajo od šestih hrvaških postaj (omrežje CROPOS). Omrežje SIGNAL tvorijo stalno delujoče postaj, ki so locirane v naslednjih krajih po Sloveniji: Bodonci, Bovec, Brežice, Celje, Črnomelj, Ilirska Bistrica, Koper, Ljubljana, Maribor, Nova Gorica, Ptuj, Radovljica, Slovenj Gradec, Trebnje in Velika Polana. Na vseh postajah v omrežju so postavljene dvo-frekvenčni fazni sprejemniki GNSS, ki izvajajo opazovanja neprekinjeno, kar omogoča določitev neznanega položaja visoke kakovosti. S pomočjo navezave na eno izmed postaj v omrežju SIGNAL lahko določimo relativni položaj neznanе točke brez tega, da bi morali imeti na voljo dva instrumenta in da bi morali na terenu iskati točko z znanim položajem v GNSS-koordinatnem sistemu – vse to nam nudi omrežje. Omrežje uporabniku tako omogoča, da vlogo referenčnega sprejemnika prevzame sistem omrežja SIGNAL, tako za izmero potrebuje le še premični sprejemnik (SIGNAL, 2014).

### 3.1 Določitev položaja z navezavo na VRS

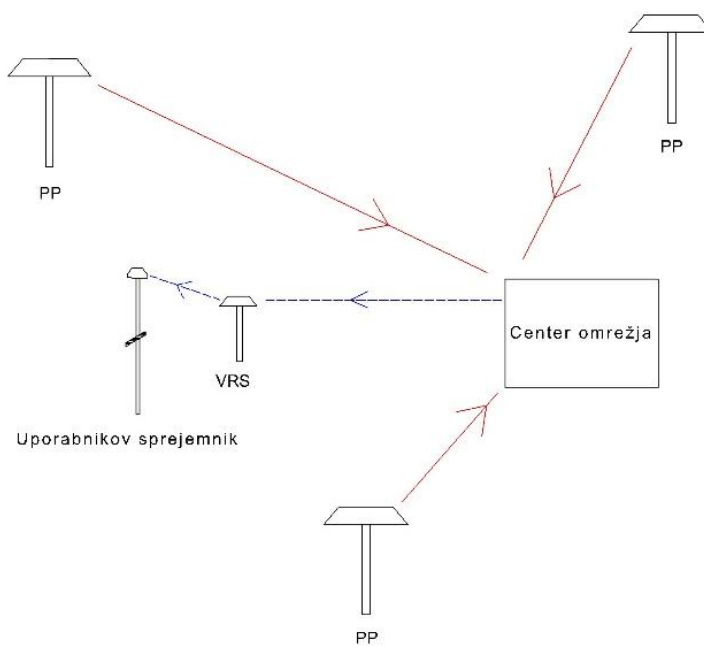
V primeru, da je uporabnikov sprejemnik od permanentne postaje oddaljen več kot 10 km, nam omrežje SIGNAL ponuja storitev opazovanja VRS. Stranice trikotnika, ki ga tvorijo 3 sosednje stalne postaje, morajo biti krajše od 70 km. Le tako lahko uporabnik doseže visoko natančnost določitve položaja ob uporabi VRS-opazovanj (SIGNAL, 2014).

VRS-postaja je namišljena točka v bližini delovišča, kjer naj bi uporabnik izvajal meritve (slika 5). Najprej se morajo izračunati VRS-opazovanja (gre za kodna in fazna opazovanja GNSS, nudijo jih v sprejemniško neodvisnem formatu zapisa RINEX) v centru omrežja SIGNAL. S pomočjo programskega paketa (Trimble VRS3Net) se v centralnem vodenem omrežju zbirajo in obdelujejo opazovanja z vseh permanentnih postaj, ki se stekajo v center skorajda v realnem času. Pri obdelavi podatkov programski paket za vsako postajo iz omrežja izračuna popravke ionosfere, troposfere, položaja satelitov in neznanega števila celih valov (t. j. fazne nedoločenosti). Center omrežja sprejme tudi podatke o absolutnem položaju, ki ga pošlje uporabnikov sprejemnik v obliki standardnega sporočila NMEA (GGA stavek). Tu se na podlagi popravkov generirajo vplivi na opazovanja in nato se izračunajo interpolirane vrednosti vplivov za položaj uporabnika. Opazovanja VRS se izračunajo na podlagi modeliranih vplivov za poljubno lokacijo v omrežju. Položaj, za katerega se generirajo ti vplivi, imenujemo VRS-točka oziroma postaja (SIGNAL, 2014).

Podatke VRS-postaje uporabnikov sprejemnik sprejme od centra omrežja v obliki standardnega sporočila RTCM SC 104. Obravnava jih tako, kot da bi opazovanja sprejel s točke, kjer naj bi dejansko izvajali opazovanja. Položaj uporabnikovega sprejemnika se pri tem ne spremeni, zelo pa se poveča natančnost določitve položaja .

Če se pri RTK-metodi uporablja opazovanja VRS ali opazovanja permanentne postaje, mora uporabnik najprej vzpostaviti povezavo med sprejemnikom in centrom omrežja SIGNAL. Tako bo lahko sprejemnik prejemal opazovanja v realnem času.

Pri statični metodi izmere GNSS podatke o opazovanjih VRS ali stalno delujoče postaje uporabimo pri obdelavi podatkov. VRS ali permanentno postajo opredelimo kot referenčno točko. Izbira le-te je odvisna od njene oddaljenosti do lokacije izmere. Če je razdalja od območja izmere do najbližje permanentne postaje večja od 30 km (oddaljenost je odvisna od programskega paketa obdelave opazovanj in je pri komercialnih paketih navadno 30 km), se bomo odločili za obdelavo podatkov z VRS-opazovanji.



Slika 5: Delovanje RTK metode z navezavo na VRS postajo



## **4 PRAKTIČNI DEL NALOGE**

### **4.1 Pridobivanje podatkov**

Pred samo izmero na terenu smo v topografski bazi pridobili podatke o položajnih geodetskih točkah v bližini obravnavanega območja v starem koordinatnem sistemu D48/GK. S pomočjo topografij smo rekognoscirali teren; iskali smo 7 stabiliziranih točk in od tega našli samo eno trigonometrično oziroma poligonometrično točko IV. reda. Za namen statične metode izmere smo želeli vzpostaviti geodetsko mrežo, zato smo pred samo izmero v bližini najdene točke stabilizirali še dve točki. Tako so bile za statično izmero uporabne 3 trajno stabilizirane točke.

Za interpretacijo srednje nadmorske višine gladine jezera uporabimo državni DMR velikosti 5x5 m (DMV 5) in državni ortofoto z velikostjo slikovnega elementa 0,50 m (DOF050) v novem državnem koordinatnem sistemu D96/TM. Podlaga za interpretacijo rezultatov sta lista z oznako D044762 in D044862.

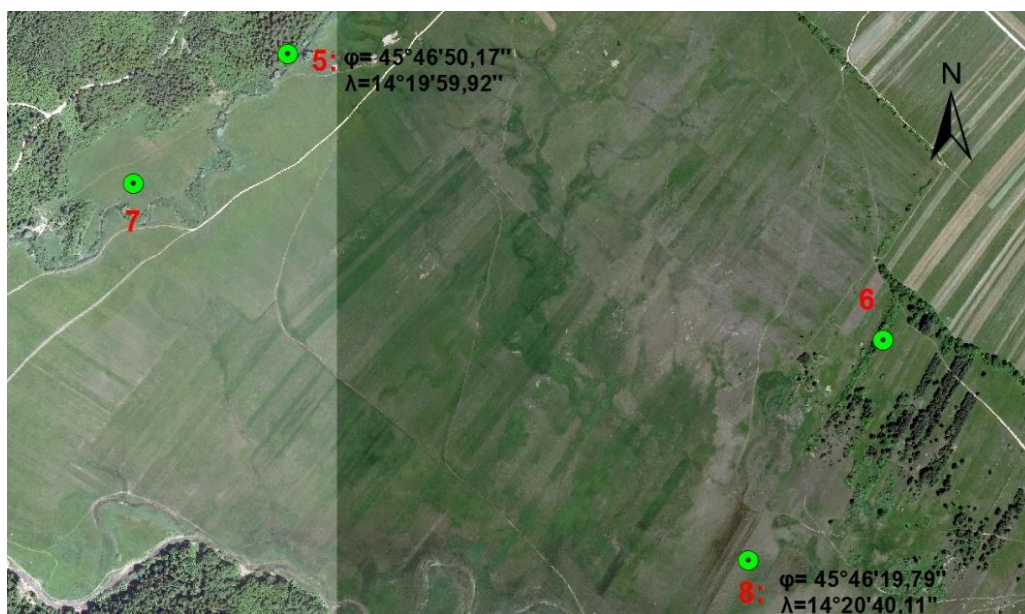
DOF je izdelek v fotogrametriji, ki ga dobimo s transformacijo letalskega posnetka preko DMR-ja v ortogonalno projekcijo. DMR je digitalni zapis zemeljskega površja, kjer so nadmorske višine prikazane z neprekinjeno ploskvijo. Izdelamo ga na podlagi integracije prostorskih podatkov, pridobljenih z množičnimi zajemom (lasersko skeniranje, fotogrametrični zajem površja, ...). DMR vsebuje objekte, ki opisujejo ploskev reliefa, kot so lomne linije, padnice, točke vrhov ali vrtač, medtem, ko DMV zgolj višine urejene v celično mrežo (Podobnikar 2008, cit. po Podobnikar, 2002, 2005b). Tako DMV 5 kot DOF050 sta dostopna na spletnem portalu e-prostor, ki ga vodi Geodetska uprava RS (GURS).

### **4.2 Izmera na terenu**

GNSS-izmero smo izvedli na dveh območjih; prvo območje, kjer smo opravili meritve s statično metodo, se nahaja v bližini cerkve Sv. Lovrenca v vasi Dolenja vas, drugo območje pa približno 800 m jugovzhodno od cerkve proti Cerkniškemu jezeru. Do slednjega nas vodi makadamska pot, kjer smo z RTK-metodo izmere diskretno določali položaje točkam, ki ponazarjajo rob jezera. Drugo obravnavano območje je na levi strani omejeno z izlivom potoka Cerkniščica v jezero, na desni strani pa z gozdčkom. Celotno območje je po dolžini dolgo nekaj več kot 1200 m zračne razdalje. Na spodnjih slikah (slika 6, slika 7) sta prikazani obe obravnavani območji, ki sta določeni s koordinatami točk (preglednica 2).



Slika 6: Prikaz prvega obravnavanega območja na podlagi DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM



Slika 7: Prikaz drugega obravnavanega območja na podlagi DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM

Preglednica 2: Geodetske koordinate točk v ETRS89/TM koordinatnem sistemu, ki določajo oba območja izmere

Točka	$\varphi$	$\lambda$
1	45°47'02,52" S	14°20'27,39" V
2	45°47'03,81" S	14°20'33,70" V
3	45°47'01,26" S	14°20'27,91" V
4	45°47'03,06" S	14°20'34,41" V
5	45°46'50,17" S	14°19'59,92" V
6	45°46'33,17" S	14°20'51,57" V
7	45°46'42,28" S	14°19'46,69" V
8	45°46'19,79" S	14°20'40,11" V

### 4.3 Opis terenskega dela

Za potrebe spremljanja višine vodne gladine smo izmero na terenu izvedli dvakrat neodvisno v razmiku dveh mesecev. V vmesnem poplavnem obdobju smo spremljali nivo vode na merilnem mestu na mostu, saj so bile razmere za izvedbo meritev neugodne. Tudi rezultati meritev iz tega obdobja ne bi bili tako zanimivi, saj se je vodna gladina dnevno spreminjala, predvsem pa bi naloga zahtevala vsakodnevno izvedbo terenskega dela.

#### 4.3.1 Prva izmera

Na prvi terenski izmeri, dne 17.1.2014, smo opravili statično metodo izmere GNSS, katere namen je bil, da smo umerili in preverili natančnost kinematičnih metod izmere GNSS na danem območju. Poleg najdene trigonometrične točke TRIG, primerne za GNSS-izmero, smo morali stabilizirati še dve novi točki POL1 in POLI2. Vse točke, namenjene statični izmeri, smo najprej določili z RTK-izmero. Tako smo vzpostavili manjšo mrežo s tremi točkami na razdalji približno 120 m. Na točkah TRIG in POLI2 smo postavili stativ, na točki POL1 pa karbonsko togo grezilo s dvonožnikom za stabilno podporo tako, da je dozna libela vrhunila. Nato smo na vseh točkah namestili GNSS-sprejemnike, ki so istočasno sprejemali opazovanja eno uro in pol. Na točki TRIG je bil postavljen Trimbllov sprejemnik (slika 11), na ostalih dveh pa anteni Leica Viva (slika 10, slika 9).

Pred začetkom meritev smo v instrumentu nastavili interval registracije signala 5 s in višinski kot 10°, nad katerim sprejemnik sprejema signale, ki jih pošiljajo sateliti. V bližini sprejemnikov ni bilo ovir (kovinske strehe stavb, mokra drevesa, žičnate ograje, ...), ki bi povzročale posreden sprejem signala antene (ang. multipath).



Slika 8: Statična metoda izmere na terenu (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM)

Na sliki 18 je prikazana statična metoda izmere, ki zajema tri točke (preglednica 3):

- Točka TRIG je stabilizirana na betonskem kamnu dimenzije 0,15 m\*0,15 m\*0,10 m s kovinskim čepom,
- Točka POL1 in POLI2 sta novo vzpostavljeni točki, ki sta stabilizirani s kovinskim čepom.

Točka TRIG je po podatkih topografije od cerkve oddaljena 54,77 m in 2,5 m od sredine poljske poti. Na križišču dveh poljskih poti je na kamnu 93 m pred točko TRIG stabilizirana točka POLI2. Točka POL1 je stabilizirana na desni strani poljske poti na zametku asfalta na travniku. Od cerkvenega obzidja je oddaljena približno 60 m, od točke TRIG pa 27 m.

Preglednica 3: Geodetske (približne) koordinate točk določene z RTK-metodo izmere v ETRS89/TM koordinatnem sistemu

Točka	$\varphi$	$\lambda$	h [m]
POL1	45°47'01,98447"S	14°20'28,31942"V	598,818
POLI2	45°47'03,09480"S	14°20'33,64653"V	599,173
TRIG	45°47'02,00527"S	14°20'29,59437"V	598,809





Slika 11: Postavitev antene Trimble nad točko TRIG



Slika 10: Postavitev antene Leica Viva nad točko POLI2

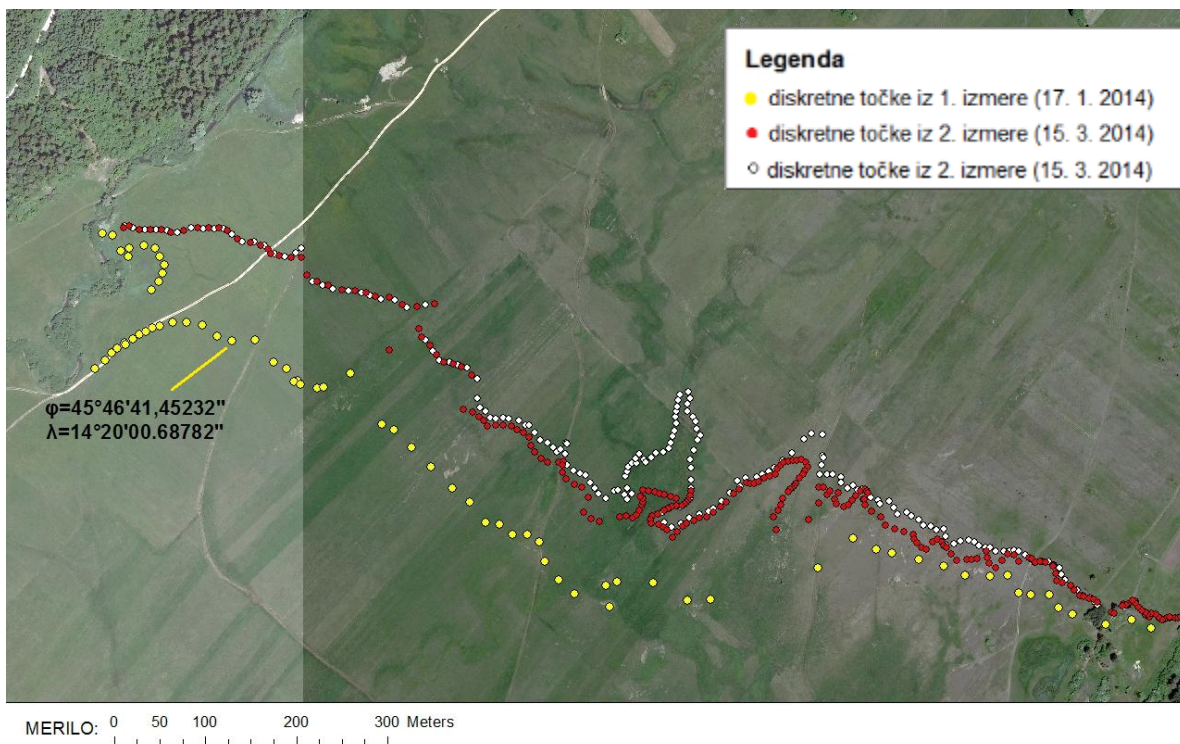


Slika 9: Postavitev antene Leica Viva nad točko POL1

Nato smo se napotili na izmero vodne gladine z RTK-metodo GNSS-izmere. Za korektno izvedene meritve smo vzpostavili GSM povezavo z navezavo na VRS. Diskretne točke smo določali na vsakih 5 metrov, ker smo želeli prikazati podroben potek roba jezera. RTK-metoda izmere je zajemala 76 točk. Teren je bil močvirnat, zato smo morali biti zelo previdni pri nošenju GNSS-sprejemnika. Med izmero nismo imeli težav z izgubo inicializacije, saj v okolici ni bilo fizičnih ovir, ki bi povzročale težave.

#### 4.3.2 Druga izmera

Tri tedne kasneje po veliki povodnji, dne 15.3.2014, smo opravili druge neodvisne meritve z RTK-metodo izmere. Izvajali smo jih na istem območju. Na robu jezera smo točke določili neodvisno z dvema sprejemnikoma GNSS v dveh različnih linijah. Tudi tokrat so razmiki med diskretno določenimi točkami bili približno 5 m. RTK-metoda izmere je zajemala 424 točk. Določili smo točke na vidnem robu jezera, kjer je voda segala čez gležnje, in točke na zamočvirjenem delu. O zamočvirjenem delu v tem primeru govorimo takrat, ko voda vidno zastaja na travnikih, vendar ne sega čez gleženj.



Slika 12: Prikaz diskretnih točk določene z RTK-metodo izmere z legendo (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM)

Na sliki 12 prikazujemo diskretno določene točke na terenu z RTK-metodo izmere. Točke v rumeni barvi ponazarjajo rob jezera iz prve izmere. Iz druge izmere imamo dve liniji točk; točke v rdeči barvi prikazujejo rob jezera, kjer je voda segala do gležnjev, linijo zamočvirjenega dela pa ponazarjajo bele točke. Največja oddaljenost med rumenimi ter belimi oz. rdečimi točkami znaša približno 200 m, najmanjša pa 12 m. Med belimi in rdečimi pikami največja razdalja znaša približno 100 m. Na začetku druge izmere smo rob jezera in zamočvirjeni del določili v isti liniji, saj nista potekala izrazito ločeno. Kasneje smo rob jezera in zamočvirjeni del določili ločeno. Slednje je razlog, da se bele in rdeče pike na sliki 12 ponekod ne ujemajo. S slike 12 je tudi vidno, da se bele in rdeče pike zopet združijo proti koncu izmere, ko je bilo zopet težko razločiti rob jezera in zamočvirjeni del. Za določitev poteka jezera v dveh linijah smo se odločili zaradi težavnega določanja roba jezera pri prvi izmeri.

#### 4.4 Opis težav

Na terenu so se pojavile tudi določene težave, ki jih nismo predvideli. Izpostavljamo naslednje:

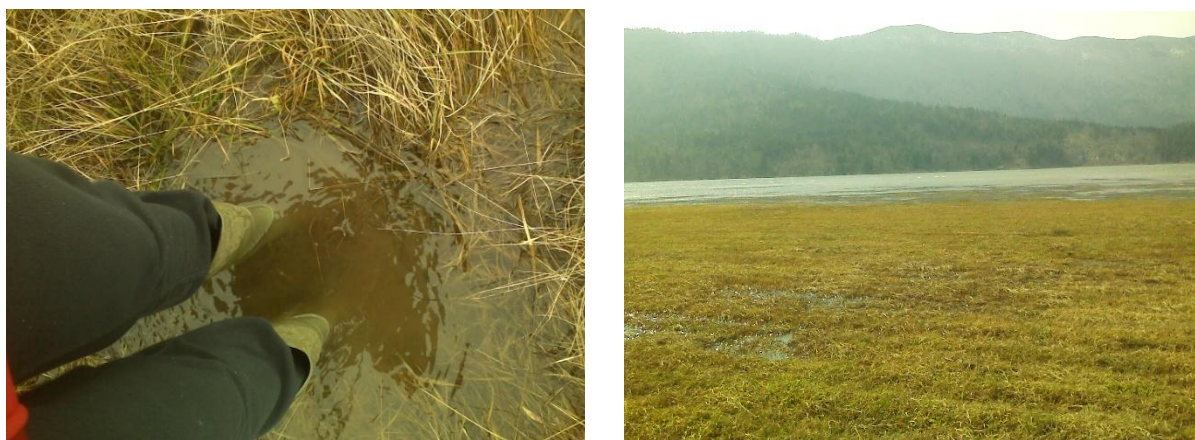
- a) nevzdrževana geodetska mreža na širšem območju
- b) zelo težko določljiv rob jezera

#### 4.4.1 Nevzdrževana geodetska mreža

Na območju Dolenjega Jezera in Dolenje vasi ni vzdrževanih trajno stabiliziranih točk stare geodetske mreže, s katerimi bi med drugim hitro in enostavno določili tudi odstopanje modela geoida na danem območju (izjema je ena višinska točka na začetku izmere). To smo ugotovili pri rekognosciranju terena ob pomoči topografij »obstojećih« točk. Glede na to, da je ponekod jezero globoko le nekaj decimetrov, bi bilo namreč dobro na več trajno stabiliziranih točkah obravnavanega območja preveriti kvaliteto aktualnega modela geoida na danem območju glede na to, da smo višine določali z GNSS-višinomerstvom. Vedeti je potrebno, da je že nekaj centimeterska nepravilnost rezultatov GNSS-višinomerstva zaradi nepravilnosti v modelu geoida pri določitvi roba jezera lahko problematična.

#### 4.4.2 Določanje roba jezera

Zaradi močvirnatih tal in neizrazite meje razlivanja vode na terenu smo težko določili rob jezera. Zato smo se odločili, da rob jezera definiramo tam, kjer je voda segala čez gleženj (slika 13). Težavno določanje roba jezera bi najbrž predstavljal problem tudi pri fotogrametričnih meritvah. Območja, kjer je voda globoka le nekaj decimetrov in so prekrita z visoko travo, na posnetkih lahko izgledajo kot vegetacija.



Slika 13: Definiranje roba jezera (levo) in primer, kjer voda zastaja v močvirnatih tleh (desno)



## 5 OBDELAVA PODATKOV

### 5.1 Splošno o opazovanjih GNSS

Relativna določitev položaja temelji na tvorjenju faznih razlik, kjer se izločijo pogreški satelitove ure (enojne fazne razlike), sprejemnikove ure (dvojne fazne razlike), z linearno kombinacijo opazovanj na frekvencah L1 in L2 pa odstranimo vpliv ionosfere. Uporabiti moramo ustrezne podatke o tirnicah satelitov, ki so na razpolago že pred samo izmero (najhitrejše efemeride ali hitre efemeride ali končne efemeride službe IGS (angl. International GNSS Service)). Najpomembnejše za kvalitetno določitev položaja je določitev neznanke celih začetnih valov (fazna nedoločенost). Prava rešitev neznanke je celoštevilčna vrednost. Na podlagi faznih opazovanja lahko določimo položaj največje točnosti (v okviru centimetra).

### 5.2 Statična metoda izmere

Opazovanja, ki smo jih pridobili s statično metodo izmere na točka TRIG, POL1 in POLI2, smo obdelali s programskim paketom Leica Geo Office (v nadaljevanju LGO).

Kot vhodni podatki za obdelavo so bili poleg opazovanj tudi kalibracijski parametri anten GNSS (National Geodetic Survey, 2014) in opazovanja najbližje stalne GNSS-postaje GSR1 in končne precizne efemeride službe IGS (2014). Vpliv troposferske refrakcije smo zmanjšali z uporabo Hopfieldovega modela.

#### 5.2.1 Izravnava GNSS-mreže

Obdelava podatkov v programskem paketu LGO je potekala najprej do določitve komponent baznih vektorjev  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , ki so pozneje bili vhodni podatek za izravnavo mreže GNSS. Med neznanimi točkami smo oblikovali linearno neodvisne vektorje. Preverjali smo cenilke kakovosti obdelave baznih vektorjev. Med nje štejemo DOP-faktorje in referenčni standardni odklon  $m_0$ .

V izravnavi GNSS mreže so točke TRIG, POL1 in POLI2 prevzete kot neznane točke. Kot referenčno točko smo uvozili permanentno postajo GSR1v Ljubljani z danimi koordinatami v ETRS89/TM koordinatnem sistemu ( $\varphi=46^{\circ}02'53,2708$  S,  $\lambda =14^{\circ}32'37,36199$ "V,  $h = 351,662$  m).

Tekom izravnave smo preverjali tudi možnost prisotnosti grobih pogreškov. Grobe pogreške smo v poročilu izravnave izločevali glede na vrednost Tau-testa.

Rezultati izravnave so geodetske koordinate novih točk v ETRS89 koordinatnem sistemu (preglednica 4), katere smo s programom SiTraNet pretvorili v novi koordinatni sistem D96/TM (preglednica 5).



Preglednica 4: Geodetske koordinate novih točk v ETRS89/TM koordinatnem sistemu

Točka	$\varphi$	$\lambda$	h [m]
<b>POL1</b>	45° 47' 01,98423" S	14° 20' 28,31917" V	598,8949
<b>POLI2</b>	45° 47' 03,09472" S	14° 20' 33,64655" V	599,2049
<b>TRIG</b>	45° 47' 02,00495" S	14° 20' 29,59434" V	598,8754

Preglednica 5: Koordinate novih točk določene v novem koordinatnem sistemu D96/TM

Točka	e [m]	n [m]	H [m]
<b>POL1</b>	71768,604	448774,011	552,335
<b>POLI2</b>	71801,923	448889,415	552,642
<b>TRIG</b>	71768,995	448801,446	552,324

Normalna-ortometrična višina je izračunana kot razlika elipsoidnih višin h in interpolirane geoidne višine N iz absolutnega modela geoida Slovenije iz leta 2000.

Standardni odklon posamezne koordinate pri vseh točkah znaša manj kot 1 cm. Horizontalni komponenti točk sta določeni z natančnostjo od 2 do 3 mm. Malo slabše je določena višinska komponenta, kjer natančnost znaša od 5 mm do 6 mm.

Točke POL1, POLI2 in TRIG so določene z milimetrsko natančnostjo ter vrednosti parametrov elipse pogreškov so podobne in majhne. Posledica tega je tudi velikost mreže, ki je vzpostavljena na kratki razdalji. V primerjavi z natančnostjo RTK-metode izmere so točke določene dobro.

Obdelava opazovanja statične metode izmere smo naredili tudi tako, da smo kot dano točko privzeli točko VRS, generirano v omrežju SIGNAL. Pri tem so se pojavile težave že v postopku obdelave baznih vektorjev, kjer je z različnimi nastavitvami obdelave neznan število celih valov v začetnem trenutku opazovanj (fazna nedoločenost) vedno določeno kot realna vrednost. Vzrok za to je najbrž dejstvo, da se obravnavano območje nahaja znotraj trikotnika permanentnih postaj, kjer so stranice trikotnika daljše od 70 km. Zato z uporabo VRS-opazovanj tudi ne dosežemo visoke natančnosti pri določitvi položaja novih točk. Kljub temu, da je lokacija izmere od najbližje stalne postaje GSR1 (Ljubljana) oddaljena za več kot 30 km, je obdelava istih opazovanj, kjer smo kot dano točko privzeli GSR1, uspela. Vendar zaradi velike oddaljenosti od permanentne postaje rezultatom z obdelavo na navezavo dane točke GSR1 ob uporabi programskega paketa LGO ne moremo povsem zaupati.

### 5.3 Kinematična metoda izmere

Opazovanja RTK-metode izmere smo z navezavo na točko VRS uspešno izvedli, saj je bila navezava na stalno delujočo postajo GSR1 zaradi prevelike oddaljenosti nesmiselna. Položaji diskretnih točk, ki smo jih pridobili v realnem času, so bili kakovostno določeni, saj smo lahko inicializacijo ves čas izmere enostavno vzpostavljali.

Z RTK-metodo izmere GNSS smo približen položaj točk POL1, POLI2 in TRIG določili pred in po izvedbi statične metode izmere trikrat neodvisno (preglednica 6). Zanimivo je, da je bila inicializacija pri RTK-metodi izmere z uporabo dane točke VRS uspešno izvedena, medtem ko pri statični metodi izmere temu ni bilo tako. Koordinate, določene v realnem času, se v nekaj centimetrih razlikujejo od koordinat statične metode izmere (preglednica 7).

Preglednica 6: Sredine koordinat točk, določene z RTK-metodo izmere v novem koordinatnem sistemu D96/TM

Točka	e [m]	n [m]	H [m]
POL1	71768,742	448773,999	552,263
POLI2	71802,072	448889,341	552,616
TRIG	71769,157	448801,542	552,253

Preglednica 7: Primerjava koordinat točk določene s statično in RTK-metodo izmere

Točka	$\Delta e$ [m]	$\Delta n$ [m]	$\Delta H$ [m]
POL1	0,012	-0,138	0,072
POLI2	0,074	-0,149	0,026
TRIG	-0,096	-0,162	0,071

Iz preglednice 7 je razvidno, da so odstopanja v položajnem smislu zelo velika za izvedene meritve, ki imajo predpostavljeno natančnost v milimetrih oz. centimetrih. Največje razlike se pojavijo pri drugi koordinati (n), ko znašajo do 15 cm.

## **6 INTERPRETACIJA REZULTATOV**

### **6.1 Problematika kakovosti ortofota in DMR-ja**

Za grafični prikaz rezultatov uporabimo DOF050 in DMV 5, ki imata določene pomanjkljivosti glede natančnosti. Odstopanja prikazanih rezultatov od izmerjenih podatkov razlagamo v naslednjem podpoglavju. Pri DMR je težko zagotoviti kakovost izdelave, ki je odvisna od metod zajema prostorskih podatkov, tehnične opremljenosti osebja in pridobljenega znanja. Srednja natančnost uporabljenega DMR-ja znaša približno 3 m, kar pa ne velja za hribovite predele, kjer je lahko precej slabša (Petrovič in sod., 2011). Zato na podlagi izmerjenih nadmorskih višin diskretnih točk preverjamo odstopanja od DMR-ja in tako ocenimo njegovo kakovost. Ker je DMR pomemben vhodni podatek pri izdelavi ortofota, posledično vpliva tudi na njegovo položajno točnost. Zaradi nehomogene natančnosti DMR-ja se položajna točnost na ortofotu razlikuje - ni homogena (Petrovič in sod., 2011). Izbrano območje obravnave leži na ravnem terenu, zato trdimo, da je položajna točnost DOF-a na danem območju zadovoljiva.

### **6.2 Grafični prikaz rezultatov**

Meritve z RTK-metodo izmere so potekale pred in po poplavih meseca februarja 2014, zato sledeča interpretacija rezultatov vsebuje 2 sklopa, skupaj s prikazom razmer med poplavami. Rezultate obeh izmer komentiramo tudi na podlagi primerjave. Osredotočimo se na razlike med izmerjenim in grafičnim robom jezera ter na potek terena. Interpretacija vodne gladine jezera je še posebej zanimiva zaradi aktualne tematike letošnjih poplav. Z upodobitvijo meritev na ortofotu lahko opazimo razširjenost poplav in razlivanje Cerknško jezero ob običajnem vodostaju.

Gladino jezera prikazujemo kot grafični presek ploskve z DMR-jem. V programu za grafično vizualizacijo ArcScene smo ploskev dvignili na nivo srednje nadmorske višine, ki smo jo določili s terenskimi meritvami. Tako smo dobili presek ploskve z DMR-jem, kjer je vidno, do kje sega rob jezera ter kolikšna so odstopanja izmerjenega in grafičnega roba jezera v posameznem časovnem obdobju (preverimo kvaliteto DMR-ja). Potek terena interpretiramo s plastnicami. Ekvidistanca znaša 10 m.

#### **6.2.1 Srednja nadmorska višina gladine jezera pred poplavami**

Mesec pred veliko povodnjo na Cerknškem jezeru smo izvedli RTK-metodo izmere. Srednjo nadmorsko višino gladine jezera določimo z nekaj centimetrsko natančnostjo določitve položaja (uporaba RTK-metode izmere).



Slika 14: Prikaz vodostaja na Cerknjškem jezuru dne 17.1.2014 skupaj z merjenimi diskretnimi točkami (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM, DMV 5)

Slika 14 prikazuje območje meritev in razlivanje jezera, ko srednja višina gladine jezera znaša **549,41 m**. Jezero je na spodnji strani zajezeno v vznožje planote Javornikov, zato se lahko širi le proti odprtemu delu polja. Na levi strani v liniji diskretnih točk opazimo izliv potoka Cerknjščica v jezero. Rumene točke ponazarjajo merjene diskretne točke z RTK-metodo izmere z začetkom na levi in s koncem na desni strani. Meritve smo izvajali na ravnini, kjer se relief počasi spreminja oz. se sploh ne in je razlika v višinskem smislu zelo majhna (nekaj centimetrov). S slike 14 je razvidno, da se dejansko izmerjeni in grafično predstavljeni rob jezera občutno razlikujeta. Vse diskretne točke imajo po podatkih meritev manjšo ortometrično višino (laično rečeno nadmorsko višino) od 550 m, ki jo ponazarja plastnica, izrisana na območju meritev. Plastnica mora pri vseh točkah potekati nad njimi, saj se teren dviguje po polju navzgor, vendar ni izrisana tako. Kot glavni razlog navajamo problem točnosti uporabljenega DMR-ja.

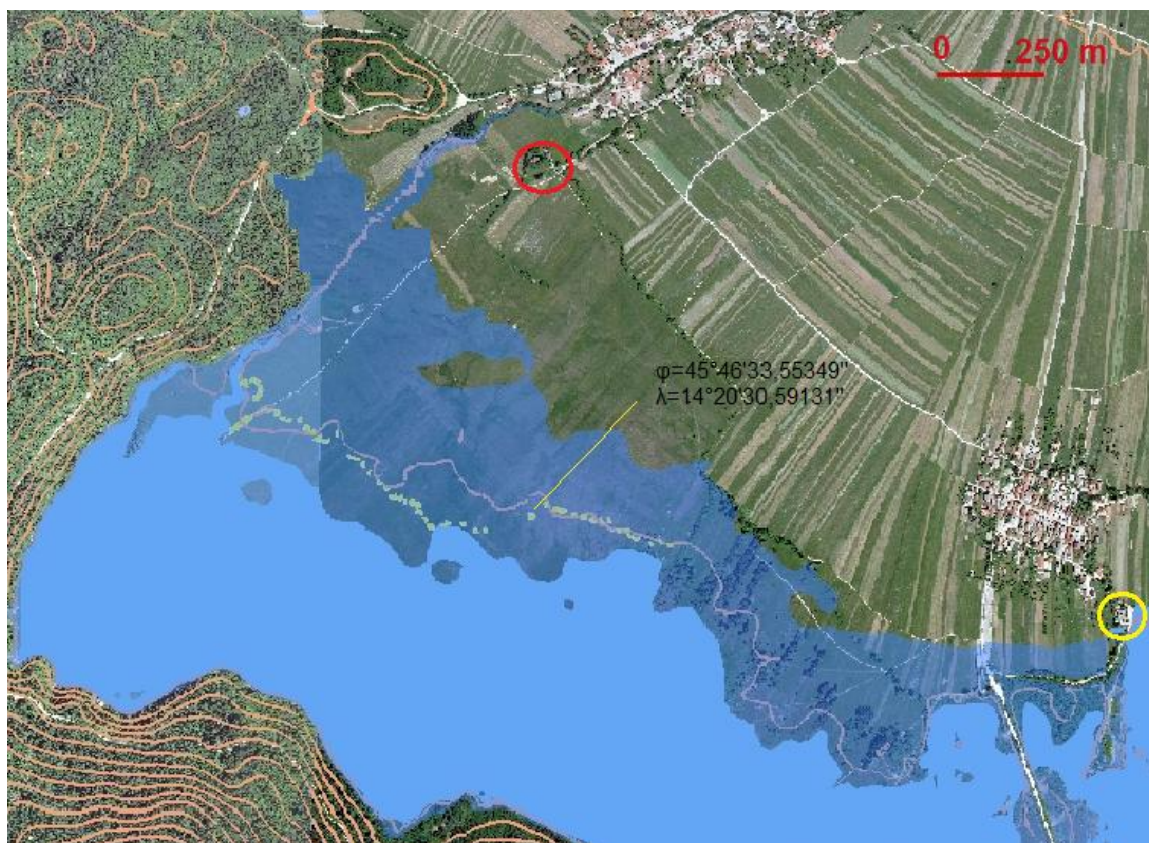
Smer izmerjenega roba jezera se na začetku in proti koncu izmere s smerjo grafičnega roba jezera sklada. Največja oddaljenost med obema robovoma jezera opazimo v zadnjem delu poteka rumene linije točk, kjer so diskretne točke v horizontalnem smislu najbolj odmaknjene od roba jezera in kjer horizontalna razdalja znaša približno 150 m. Na sredini izmere in na samem začetku se izmerjeni rob jezera stika z grafičnim robom jezera, kar pomeni, da tu ni



razlik med grafično gladino jezera in izmerjeno. Za bolj natančno interpretacijo in boljši prikaz izmerjenega roba jezera se sklicujemo na sliko 12.

### 6.2.2 Srednja nadmorska višina gladine jezera med poplavami

Mesec februar je neobičajen čas, da ima Cerkniško jezero nadpovprečno visok vodostaj. Vzrok za poplave februarja 2014 je neznačilen višek padavin ter taljenje ledu in snega po žledolomu. Če voda ne bi hitreje odtekala v podzemlje skozi kraške ponore, bi bile posledice hujše in jezero bi lahko poplavelo okoliške vasi. Višino vodne gladine v tem obdobju določimo zgolj teoretično, saj med poplavami nismo izvedli terenske izmere GNSS. Na merilnem mestu v času najvišjega vodostaja smo odčitali globino jezera, ki je znašala 5,5 m (slika 16), kar je 1,3 m več kot globina v času druge izmere, ko je znašala 4,20 m. Razliko prištejemo drugi določeni srednji nadmorski višini gladine jezera, da dobimo višino gladine jezera v času poplav, ki znaša **550,95 m**. Srednja višina gladine jezera je že dosegala najvišjo zgornjo mejo, ki jo jezero po navadi doseže v obdobju najvišjega vodostaja oziroma poplav.



Slika 15: Prikaz srednje višine gladine jezera (v transparentno modri barvi) v času poplav dne 23.2.2014. Razširjenost jezera pred poplavami je prikazano v svetlo modri barvi. Voda je segala do najbližje hiše v vasi Dolenje Jezero (rumen krogec), z rdečim krožcem je označena cerkev Sv. Lovrenca, kjer smo pričeli s terensko izmero GNSS. Rumene točke ponazarjajo meritve prve RTK-izmere (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM, DMV 5)

Na sliki 15 opazimo občutno povečan potok Cerknjščica, preden se le ta izlije v jezero. V primerjavi z vodostajem pred poplavami (svetlo modra barva) se jezero na levem robu najbolj razširi in sicer za približno 600 m. Manj se razširi na srednjem in desnem delu vidnega območja jezera, kjer voda sega 250 m dlje kot pred poplavami. Jezero se je takrat že približalo najbližji hiši v vasi Dolenje Jezero (na sliki označena z rumenim krogcem). Od cerkve Sv. Lovrenca (rdeč krogec) je oddaljeno približno 500 m. Na sliki je prikazano širše območje, saj želimo pokazati razširjenost poplav tudi na ostalem delu jezera, kjer nismo izvajali terenske izmere GNSS



Slika 16: Merilno mesto vodostaja na mostu (levo) ter pogled na poplavljen most in makadamsko pot Dolenje Jezero-Otok (desno) (Foto: Gornik M.)

### 6.2.3 Srednja nadmorska višina gladine jezera po poplavah

Dva tedna kasneje, ko se je jezero umaknilo v običajen vodostaj, smo izvedli drugo RTK-metodo izmere. Način določitve srednje višine gladine jezera za namen grafične predstavitve je enak kot pri prvi izmeri, le da upoštevamo samo višine diskretnih točk, ki so bile izmerjene v liniji roba jezera. Slika 17 prikazuje srednjo nadmorsko višino gladine jezera, ki znaša približno **549,65 m**. Iz slike je razvidno, da je linija rdečih diskretnih točk na začetku (na levi strani) poteka dokaj skladno z robom jezera, vendar zopet ne tik ob robu jezera. Najbolj se robu približamo na sredini meritev. Največja oddaljenost izmerjenega roba od grafičnega roba jezera v horizontalnem smislu znaša približno 160 m.

Teren se od vznožja planot počasi dviguje po polju navzgor. Čeprav nadmorske višine vseh točk po podatkih meritev znašajo pod 550 m, so na sliki prikazane nad plastnico, ki predstavlja nadmorsko višino 550 m. Kot težavo zopet navajamo natančnost izrisa plastnice



»550 m«, ki je izračunana iz DMV 5. Zaradi problematike DMR-ja nastopajo odstopanja nadmorskih višin diskretnih točk od DMR-ja, ki se posledično kažejo v oddaljenosti med grafičnim in izmerjenim prikazom gladine jezera. Kot težavo izpostavimo tudi težko določljiv rob jezera na terenu, vendar je njegov prispevek k odstopanju izmerjenega roba od grafičnega roba jezera majhen. Zato je pglavitni dejavnik za slab izris plastnic in grafični prikaz razširjenosti jezera točnost DMR-ja, ki na tem območju ni najboljša.

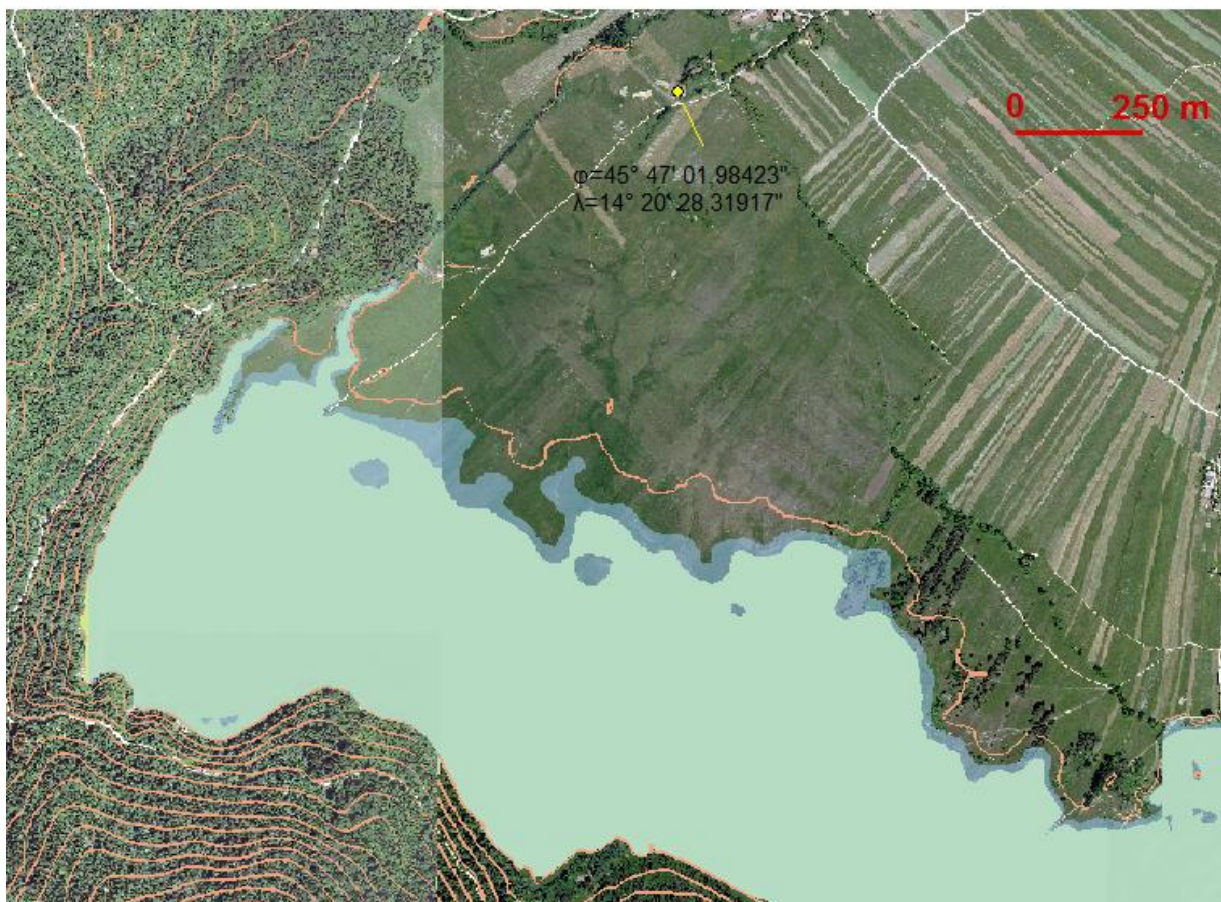
Linijo belih točk označuje zamočvirjen del jezera. Pri tem omenimo, da smo na terenu imeli nekaj težav z določitvijo zamočvirjenega dela. Voda nekje zastaja v večjih plitvinah in tvori majhne vodne otoke, ki niso v stiku z jezerom. To se na sliki 17 vidi tako, da se bela linija na sredini izmere oddalji od rdeče. Za bolj podroben prikaz izmerjenega roba jezera se sklicujemo na sliko 12.



Slika 17: Prikaz srednje nadmorske višine gladine jezera dne 15.3.2014 z legendo(DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM, DMV 5)

#### 6.2.4 Primerjava rezultatov prve in druge RTK-metode izmere

Srednja nadmorska višina vodne gladine z druge izmere je od srednje višine gladine jezera iz prve izmere višja za 24 cm. Na sliki 18, se posledice višinske razlike kažejo v razsežnosti jezera v obeh primerih. Na sliki je srednja nadmorska višina gladine jezera z druge izmere prikazana v transparentni barvi, s prve izmere pa v svetlejši. Jezero se v primerjavi z vodostajem s prve RTK-metode izmere v horizontalnem smislu razširi za približno 100 m. Otočki s prve izmere so v času druge poplavljeni. Prav tako je rečna struga Cerknjščice (na levem robu jezera) za malenkost bolj vodnata in se voda začne prej razlirati po polju. Največjo razliko med obema robovoma jezera opazimo na sredini obravnavanega območja. Jezero se razlira skladno s potekom terena, kakor ga na polju nakazuje plastnica.



Slika 18: Primerjava vodostaja s prve in druge RTK-metode izmere. V transparentni barvi je prikazan vodostaj v času druge RTK-metode izmere, v svetlejši barvi pa v času prve RTK-metode izmere (DOF050 v novem koordinatnem sistemu D96/TM, DMV 5)



## 7 NADGRADNJA NALOGE V PRIHODNOSTI

Težave, ki jih izpostavljamo v diplomski nalogi, bi v prihodnosti z ustreznimi rešitvami odpravili ali omilili na različne načine. Ker stara geodetska mreža ni vzdrževana, bi s statično metodo izmere vzpostavili novo geodetsko mrežo z baznim stojiščem na danem območju in preverili kvaliteto lokalnega modela geoida. Zaradi razmer na terenu bi večino točk stabilizirali na travnikih ali v gozdu, kjer je drugje velika verjetnost za poškodbo točk.

V osnovi so pridobljeni rezultati uporabni tudi v drugih strokah (npr. v hidrologiji). Z geodetskimi meritvami, ki zahtevajo natančnejše meritve, bi s spremljanjem gladine vode na krajše obdobje simulirali nadmorsko višino gladine jezera. Ob tem bi spremljali še količino padavin in interpretacija rezultatov bi bila še bolj zanimiva in nadgrajena. Poleg spremljanja višine gladine jezera bi lahko z RTK-metodo izmere izvedli meritve v času sušnega obdobja na delu jezerskega dna. Na podlagi podatkov bi izrisali plastnice terena in izračunali volumen vode.

Zamisel nadgradnje diplomske naloge temelji na fotogrametričnih meritvah, ki bi jih izvedli z letalom. Na ta način bi lažje pridobili zelene podatke, na katerih bi zasnovali novo uporabno raziskavo in jo povezali še z drugimi sorodnimi strokami.

## 8 ZAKLJUČEK

Teorija se v praksi velikokrat pokaže kot težko izvedljiva in moramo postopati po drugačnih metodah. V nalogi smo položaje diskretnih točk določili z RTK-metodo izmere. Pri tem nam izvedba inicializacije z uporabo VRS kot dane točke ni delala težav. Ravno nasprotno pa smo pri obdelavi statične metode izmere GNSS z uporabo dane točke VRS naleteli na težavo. Opazovanj nismo mogli korektno obdelati, saj je bila fazna nedoločenost vedno določena v okviru realnih števil. Razloge, zakaj je bila inicializacija uspešno določena v primeru RTK-metode izmere, še ne znamo pojasniti. Del prve hipoteze, ki se navezuje na izvedbo RTK-metode izmere, sprejmemo, saj je pri uporabi VRS pri RTK-metodi izmere položaj sicer bilo mogoče določiti, vendar precej slabše od statične metode izmere (večja odstopanja RTK-položajev od statične metode izmere, kot bi pričakovali). Razlog se najbrž res nahaja v dejstvu, da se izbrano območje nahaja znotraj trikotnika stalnih postaj omrežja SIGNAL, kjer so stranice daljše od 70 km. Bolj konkretno bi hipotezo lahko potrdili šele, ko bo z izgradnjo stalne postaje v omrežju SIGNAL v Idriji omrežje SIGNAL zgoščeno.

Drugo hipotezo v celoti potrdimo, saj na podlagi odstopanj višinskih komponent v diskretnih točkah od DMR-ja, katerih posledice se na grafičnem prikazu kažejo kot horizontalni odmiki izmerjenega roba jezera od grafičnega, izpostavimo slabšo točnost DMR-ja na danem območju. Iz tega sledi, da so nadmorske višine točk z GNSS-višinomerstvom bolje določene kot iz obstoječih virov (DMV 5), kljub temu, da ne preverimo kvalitete geoida za dano območje. Poleg tega odstopanja izmerjenih podatkov od DMR-ja nastopijo tudi zaradi težko določljivega roba jezera.

Z raziskovanjem v diplomski nalogi poleg terenskih izkušenj poglobimo tudi teoretično znanje uporabe GNSS-metod izmere. Teorijo uporabimo na praktičnem delu naloge in na podlagi rezultatov lahko nekatere hipoteze, ki jih postavimo na začetku, potrdimo.

Z natančnejšimi podatki bi grafični prikaz gladine jezera prikazali bližje dejanskemu stanju vodostaja v naravi, zato si mora geodetska stroka prizadevati za čimbolj natančne podatke ter ustrezno posodabljanje in vzdrževanje. Tako bodo uporabniki geodetskih podatkov bolj zadovoljni z njihovim stanjem.

## VIRI

Cerkniško jezero in njegovi raziskovalci. 2014.

<http://www.oocities.org/thetropics/island/5410/raziskovalci.htm> (Pridobljeno 23. 8. 2014.)

Čadež, P. 2010. Analiza metod geodetske GNSS izmere. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer: 157 f.

E-prostor. 2014.

<http://www.e-prostor.gov.si/> (Pridobljeno 30. 5. 2014.)

Kebe, J. 2011. Cerknisko jezero in ljudje ob njem. Ljubljana, Ognjišče: str. 62-64, 66, 68, 71, 74,75.

Korošec, M. 2014. Cerknisko jezero »pravo čudo narave«.

[http://www.rdcernica.si/znamenitosti\\_cerknisko\\_jezero.shtml](http://www.rdcernica.si/znamenitosti_cerknisko_jezero.shtml) (Pridobljeno 29. 7. 2014.)

Kozmus, K., Stopar, B. 2003. Načini določanja položaja s satelitskimi tehnikami = Satellite-Based Point Positioning Techniques. Geodetski vestnik 47,4: 408-410.

Kozmus Trajkovski, K., Stopar, B. 2008. Pretvorba koordinat: aplikacija SiTraNet. Ljubljana, UL FGG.

Kranjc, A. 1985. Cerknisko jezero in njegove poplave = The Lake of Cerknica and Its Floods. Ljubljana, Akademija znanosti in umetnosti, 30. oktober 1985. Postojna, Inštitut za raziskovanje krasa: str. 23.

National Geodetic Survey. 2014.

<http://www.ngs.noaa.gov/> (Pridobljeno 22. 4. 2014.)

Omrežje SIGNAL. 2014.

<http://www.gu-signal.si/> (Pridobljeno 15. 8. 2014.)

Petrovič, D., Podobnikar, T., Grigillo, D., Kozmus Trajkovski, K., Vrečko, A., Urbančič, T., Kosmatin Fras, M. 2011. Kaj pa topografija? Stanje in kakovost topografskih podatkov v Sloveniji = What About Topography? Status and Quality of Topographic Data in Slovenia. Geodetski vestnik 55, 2: 307-309.

Podobnikar, T. 2008. Nadgradnja modela reliefa Slovenije z visokokakovostnimi podatki. Geodetski vestnik 52, 4: 835.

Radics, P.

[http://www.savel-hobi.net/valvasor/htm\\_ji/knjiga\\_4.htm](http://www.savel-hobi.net/valvasor/htm_ji/knjiga_4.htm) (Pridobljeno 29. 7. 2014.)

Služba IGS. 2014.

<ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/product/> (Pridobljeno 22. 4. 2014.)

Turk, J., Pipan, A. 2014. Cerknisko polje.

<http://www.dedi.si/dediscina/9-cerknisko-polje> (Pridobljeno 5. 8. 2014.)



## **PRILOGA**

PRILOGA 1: Poročilo izravnave programskega paketa Leica Geo Office

# Network Adjustment

www.MOVE3.com

(c) 1993-2008 Grontmij

Licensed to Leica Geosystems AG


Created: 04/22/2014 11:55:23

## Project Information

Project name: marjeta-diploma  
 Date created: 04/22/2014 11:19:19  
 Time zone: 1h 00'  
 Coordinate system name: WGS 1984  
 Application software: LEICA Geo Office 7.0  
 Processing kernel: MOVE3 4.0.1

## General Information

### Adjustment

Type: Minimally constrained  
 Dimension: 3D  
 Coordinate system: WGS 1984  
 Height mode: Ellipsoidal  
 Number of iterations: 1  
 Maximum coord correction in last iteration: 0.0000 m  (tolerance is met)

### Stations

Number of (partly) known stations: 1  
 Number of unknown stations: 3  
 Total: 4


### Observations

GPS coordinate differences: 18 (6 baselines)  
 Known coordinates: 3  
 Total: 21

### Unknowns

Coordinates: 12  
 Total: 12  
 Degrees of freedom: 9

### Testing

Alfa (multi dimensional): 0.2876  
 Alfa 0 (one dimensional): 5.0 %  
 Beta: 80.0 %  
 Sigma a-priori (GPS): 10.0  
 Critical value W-test: 1.96  
 Critical value T-test (2-dimensional): 2.42  
 Critical value T-test (3-dimensional): 1.89  
 Critical value F-test: 1.20  
 F-test: 0.24  (accepted)

Results based on a-posteriori variance factor

## Adjustment Results

### Coordinates

Station		Coordinate	Corr	Sd	
GSR1	Latitude	46° 02' 53.27068" N	0.0000 m	-	fixed
	Longitude	14° 32' 37.36199" E	0.0000 m	-	fixed
	Height	351.6620 m	0.0000 m	-	fixed
POL1	Latitude	45° 47' 01.98423" N	-0.0008 m	0.0031 m	
	Longitude	14° 20' 28.31917" E	0.0006 m	0.0022 m	
	Height	598.8949 m	0.0014 m	0.0054 m	
POLI2	Latitude	45° 47' 03.09472" N	-0.0015 m	0.0036 m	
	Longitude	14° 20' 33.64655" E	0.0010 m	0.0025 m	
	Height	599.2049 m	0.0024 m	0.0061 m	
TRIG	Latitude	45° 47' 02.00495" N	0.0017 m	0.0035 m	
	Longitude	14° 20' 29.59434" E	-0.0012 m	0.0025 m	
	Height	598.8754 m	-0.0026 m	0.0060 m	

### Observations and Residuals

	Station	Target	Adj obs	Resid	Resid (ENH)	Sd
DX	GSR1	TRIG	24510.4683 m	-0.0045 m	-0.0012 m	0.0049 m
DY			-9883.7752 m	-0.0025 m	0.0003 m	0.0028 m
DZ			-20257.1626 m	-0.0048 m	-0.0069 m	0.0048 m
DX	POL1	POLI2	-52.1084 m	-0.0020 m	0.0041 m	0.0038 m
DY			105.4676 m	0.0037 m	-0.0024 m	0.0020 m
DZ			24.1340 m	-0.0044 m	-0.0039 m	0.0037 m
DX	POL1	POLI2	-52.1084 m	0.0059 m	-0.0026 m	0.0038 m
DY			105.4676 m	-0.0012 m	0.0014 m	0.0020 m
DZ			24.1340 m	0.0075 m	0.0092 m	0.0037 m
DX	GSR1	POL1	24517.7495 m	0.0059 m	-0.0006 m	0.0044 m
DY			-9910.3475 m	0.0010 m	0.0022 m	0.0023 m
DZ			-20257.5949 m	0.0093 m	0.0109 m	0.0043 m
DX	GSR1	POL1	24517.7495 m	-0.0003 m	0.0014 m	0.0044 m
DY			-9910.3475 m	0.0014 m	-0.0027 m	0.0023 m
DZ			-20257.5949 m	-0.0038 m	-0.0027 m	0.0043 m
DX	POLI2	TRIG	44.8272 m	0.0031 m	0.0009 m	0.0044 m
DY			-78.8953 m	0.0017 m	-0.0001 m	0.0026 m
DZ			-23.7016 m	0.0035 m	0.0049 m	0.0044 m

### GPS Baseline Vector Residuals

	Station	Target	Adj vector [m]	Resid [m]	Resid [ppm]
DV	GSR1	TRIG	33298.7193	0.0070	0.2
DV	POL1	POLI2	120.0881	0.0061	50.7
DV	POL1	POLI2	120.0881	0.0096	80.2
DV	GSR1	POL1	33312.2377	0.0111	0.3
DV	GSR1	POL1	33312.2377	0.0040	0.1
DV	POLI2	TRIG	93.7855	0.0050	52.8

### Absolute Error Ellipses (2D - 39.4% 1D - 68.3%)

Station	A [m]	B [m]	A/B	Phi	Sd Hgt [m]
GSR1	0.0000	0.0000	1.0	90°	0.0000
POL1	0.0031	0.0022	1.4	-1°	0.0054
POLI2	0.0036	0.0025	1.4	-4°	0.0061
TRIG	0.0035	0.0025	1.4	-10°	0.0060

### Testing and Estimated Errors

#### Observation Tests

	Station	Target	MDB	Red	BNR	W-Test	T-Test
DX	GSR1	TRIG	0.0234 m	34	3.9	-0.29	0.93
DY			0.0150 m	36	3.8	-0.79	
DZ			0.0244 m	33	3.9	-0.91	
DX	POL1	POLI2	0.0180 m	50	2.9	-0.44	1.19
DY			0.0108 m	62	2.2	1.65	
DZ			0.0183 m	57	2.6	-0.77	

<b>DX</b>	POL1	POLI2	0.0195 m	67	1.9	0.71	1.60
<b>DY</b>			0.0105 m	51	2.7	-1.06	
<b>DZ</b>			0.0187 m	57	2.3	1.49	
<b>DX</b>	GSR1	POL1	0.0206 m	49	2.9	0.18	1.08
<b>DY</b>			0.0127 m	59	2.3	0.10	
<b>DZ</b>			0.0212 m	56	2.7	1.42	
<b>DX</b>	GSR1	POL1	0.0248 m	75	1.5	0.09	0.26
<b>DY</b>			0.0131 m	62	2.2	0.58	
<b>DZ</b>			0.0235 m	67	1.9	-0.70	
<b>DX</b>	POLI2	TRIG	0.0234 m	22	5.3	0.29	0.93
<b>DY</b>			0.0150 m	28	4.6	0.79	
<b>DZ</b>			0.0244 m	26	4.8	0.91	

**Redundancy:**

**W-Test:**

**T-Test (3-dimensional):**