

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:

Pogačnik, M., 2015. Določitev ploskve lokalnega geoida na območju Radovljice. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kuhar, M., somentor Urbančič, T.): 21 str.

Datum arhiviranja: 09-09-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Pogačnik, M., 2015. Določitev ploskve lokalnega geoida na območju Radovljice. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kuhar, M., co-supervisor Urbančič, T.): 21 p.

Archiving Date: 09-09-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA

Kandidat:

MATIC POGAČNIK

**DOLOČITEV PLOSKVE LOKALNEGA GEOIDA NA
OBMOČJU RADOVLJICE**

Diplomska naloga št.: 81/GIG

**DETERMINATION OF THE LOCAL GEOID MODEL IN
THE AREA OF RADOVLJICA**

Graduation thesis No.: 81/GIG

Mentor:

doc. dr. Miran Kuhar

Predsednik komisije:

doc. dr. Miran Kuhar

Somentor:

asist. Tilen Urbančič

Ljubljana, 01. 09. 2015

Prazna stran.

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Prazna stran.

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Matic Pogačnik izjavljam, da sem avtor diplomske naloge »Določitev ploskve lokalnega geoida na območju Radovljice«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Zgornja Besnica, 19.8.2015

Matic Pogačnik

Prazna stran.

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.2(497.4)(043.2)
Avtor:	Matic Pogačnik, Geodetski tehnik
Mentor:	doc. dr. Miran Kuhar
So mentor:	asist. Tilen Urbančič
Naslov:	Določitev ploskve lokalnega geoida na območju Radovljice
Tip dela:	Diplomska naloga
Obseg dela in oprema:	21 str., 10 pregl., 6 sl.
Ključne besede:	Višinski sistemi, geoid, geoidna višina, interpolacija ploskve geoida

Izvleček

Pri transformaciji koordinat pridobljenih z GNSS izmero v lokalni koordinatni sistem je potrebno tudi višine preračunati iz elipsoidnih v nadmorske za kar potrebujemo dobro določen model geoida. V nalogi sem preveril, kolikšno je odstopanja državnega modela geoida SLOG2000 (Pribičević, 2000) od dejanske vrednosti na območju Radovljice z interpolacijo ravnine, ki predstavlja potek geoida na izbranem območju. Ravnina je bila interpolirana preko točk na katerih se je izvajala statična GNSS izmera s katero smo določili elipsoidne višine in nivelman za pridobitev nadmorskih višin. Po analizi rezultatov je bilo razvidno, da državni model geoida na obravnavanem območju odstopa za povprečno 10 centimetrov.

Prazna stran.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	528.2(497.4)(043.2)
Author:	Matic Pogačnik
Supervisor:	Assist. Prof. Miran Kuhar, Ph.D.
Co-advisor:	Asist. Tilen Urbančič
Title:	Determination of the local geoid model in the area of Radovljica
Document type:	Graduation thesis
Scope and tools:	21 p., 10 tab., 6 fig.
Keywords:	Height coordinate systems, geoid, geoid undulations, geoid plane interpolation

Abstract

At the transformation of the GNSS measured coordinates to the local coordinate system it's necessary to convert heights from the ellipsoid system to heights above sea level (altitude), for what we need well defined geoid model. In this thesis I checked what is the derogation of national geoid model (SLOG2000) from the actual values on the area of Radovljica by interpolation of the local geoid undulation plane which represents actual values. Plane was interpolated over the points on which we conducted static GNSS survey for ellipsoid heights and leveling measurements for the above sea heights. Result analyze showed that average national geoid model derogation on the selected area is 10 centimeters.

Prazna stran.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	VII
--	------------

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IX
---	-----------

1 UVOD	1
---------------------	----------

2 SISTEMI VIŠIN	2
------------------------------	----------

3 GEOID.....	4
---------------------	----------

3.1 Model geoida.....	4
-----------------------	---

3.2 Različni načini določitve modela geoida.....	4
--	---

3.2.1 Geometrijsko satelitska metoda.....	5
---	---

4 IZRAČUN LOKALNEGA MODELA GEOIDA NA OBMOČJU RADOVLJICE ...	7
--	----------

4.1 Terenske meritve	7
----------------------------	---

4.2 Obdelava meritev GNSS meritev	9
---	---

4.3 Obdelava meritev nivelmanskih meritev.....	12
--	----

4.4 Izračun ploskve lokalnega modela geoida.....	13
--	----

4.4.1 Izravnava s pomočjo metode najmanjših kvadratov	14
---	----

4.5 Izris potega ravnine z pomočjo plastnic	14
---	----

5 PRIMERJAVA IZRAČUNANEGA MODELA Z OBSTOJEČIMI.....	17
--	-----------

6 ZAKLJUČEK.....	19
-------------------------	-----------

VIRI.....	20
------------------	-----------

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Sistemi višin	2
Preglednica 2: Tipi anten in interval GNSS opazovanj na posameznih točkah.....	8
Preglednica 3: Časovni interval posameznih serij opazovanj.....	9
Preglednica 4: Koordinate točk določene z GNSS izmero ter natančnosti določitve elipsoidne višine 11	
Preglednica 5: Koordinate točk v D96/TM koordinatni obliki.....	12
Preglednica 6: Ortometrične višine določene z niveliranjem in natančnost določitve	12
Preglednica 7: Izračunane geoidne ondulacije na opazovanih točkah.....	13
Preglednica 8: Vrednosti koeficientov v enačbi ravnine	14
Preglednica 9: Odstopanje interpoliranih višin iz državnega modela (SLOG2000) od izračunane ploskve na merjenih točkah	17
Preglednica 10: Primerjava geoidne višine interpolirane iz izračunane ravnine in državnega modela geoida	18

Kazalo slik

Slika 1: Prikaz povezave med elipsoidno, ortometrično in geoidno višino.....	3
Slika 2: Točke na katerih smo izvajali meritve	7
Slika 3: Zanke geometričnega nivelmana.....	8
Slika 4: Obdelani linearno neodvisni vektorji	10
Slika 5: Prikaz interpolirane ravnine na DOF-u	15
Slika 6: Dejanski potek geoida	16

1 UVOD

Obliko Zemljinega težnostnega polja se ne da opisati z matematičnimi izrazi, saj mu neenakomerno razporejene mase v središču dajejo nepravilno obliko, ki jo lahko opišemo z fizikalnimi lastnostmi – enakim težnostnim pospeškom. Telesu z tako lastnostjo pravim geoid, kateri je izhodiščna ploskev najbolj vsesplošno razširjenemu višinskemu koordinatnemu sistemu.

Ampak trenutno vse bolj (in tudi v prihodnosti ne kaže, da bo drugače) na priljubljenosti za določevanje položaja pridobivajo sistemi GNSS (Globalni navigacijski sistemi), ki pa delujejo na matematično definiranim rotacijskem elipsoidu, preko katerih torej dobimo elipsoidne višine (vertikalna oddaljenost od elipsoida).

Če želimo iz izmerjenih višin izračunati nadmorske, jih moramo popraviti za neko vrednost in sicer za višinsko razliko med obema izhodiščnima ploskvama, ki jo imenujemo geoidna višina. Natančnost s katero lahko opravimo preračun je odvisna od natančnosti določitve te razlike, ki jo določimo na podlagi t.i. modela geoida.

2 SISTEMI VIŠIN

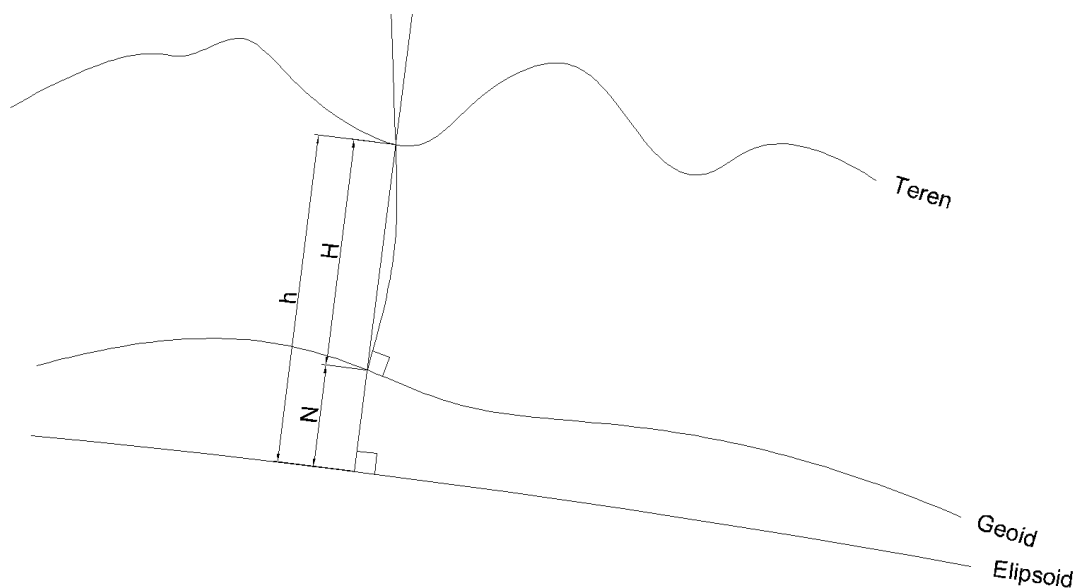
Lego točke lahko v tridimenzionalnem prostoru izrazimo z trojico koordinat, ki jih lahko izrazimo na različne načine, ki so načeloma med seboj neodvisne. Veliko sistemov loči te tri koordinate na dve položajni (ravninski) ter višinsko, katera predstavlja odmik od neke izhodiščne ploskve (Kuhar, 2012).

Med tem, ko so vse vrste položajnih koordinat določene geometrijsko, je večina višinskih sistemov definiranih na podlagi fizikalnih količin (težnostnega potenciala). V preglednici 1 so predstavljeni sistemi višin, izhodiščne ploskve ter uporabljene enote.

Preglednica 1: Sistemi višin

Sistemi višin	Referenčna ploskev	Uporabljena enota
Geopotencialne kote	Geoid	gpu / Galm
Dinamične višine	Geoid	Meter
Ortometrične / nadmorske višine	Geoid	Meter
Normalne višine	Kvazigeoid	Meter
Normalne ortometrične višine	NN ploskev	Meter
Elipsoidne višine	Referenčni elipsoid	Meter

Od teh so najbolj uporabljene in uporabne ortometrične višine (H), ki se uporabljajo v vsakdanjem življenju. Vendar se pogosto za določanje višin uporablja GNSS tehnologija, s katero pa je nemogoče določiti ortometrično višino brez poznavanja geoidne višine, saj so elipsoidne višine (h) definirane geometrijsko, kot pravokotna razdalja od referenčnega elipsoida, med tem, ko so ortometrične višine definirane, kot razdalja po težiščnici, od izhodiščne ekvipotencialne ploskve (geoida).



Slika 1: Prikaz povezave med elipsoidno, ortometrično in geoidno višino

Med ploskvijo geoida in elipsoida je neko odstopanje (kot prikazuje slika 1). Imenujemo ga geoidna višina / ondulacija (N), ki na območju Slovenije znaša od 40 do 50 metrov. Matematična povezava med omejenimi tremi količinami je tako definirana kot:

$$H = h - N$$

Iz katere je razvidno, da natančnost določitve geoidne višine neposredno vpliva na natančnost določitve nadmorske višine in jo je zato potrebno poznati čim boljše.

3 GEOID

Geoid predstavlja teoretično površino Zemlje, katero je Carl Friedrich Gauß opredelil kot ekvipotencialno ploskev¹ zemeljskega telesa, ki je ponazorjena srednjo gladino svetovnih morij in je v mislih podaljšana pod celine (Kuhar, et al., 2011).

3.1 Model geoida

Geoidni model lahko izračunamo za celotno zemeljsko oblo (globalni, kot na primer EGM96 (Lemoine, et al., 1998) ...), ali za manjša območja celino (na primer evropski geoid EGGG08), državo (SLOG2000), ali za povsem lokalna območja par deset kvadratnih kilometrov. Geoid se v posameznih primerih lahko predstavi v obliki analitičnih funkcij ali matematične vrste, najpogosteje pa se ga predstavi v obliki podanih geoidnih višin v gridni mreži iz kjer nato enostavno z interpolacijo izračunamo vrednost geoidne višine v poljubni točki (Kuhar & Prešeren, 2000).

Kot za vse izračune potrebujemo tudi za izračun modela geoida opraviti določene meritve / opazovanja iz katerih izhajamo (Kuhar, 2012):

- Meritve težnost (težnega pospeška),
- Astronomska opazovanja,
- Koordinate določene z metodami satelitske geodezije,
- Opazovanja do umetnih Zemljinih satelitov in med njimi,
- Meritve satelitske altimetrije.

3.2 Različni načini določitve modela geoida

Na podlagi teh opazovanj lahko z različnimi metodami izračunamo model geoida, katere ločimo na (Kuhar, 2012):

- Prva skupina združuje metode pri katerih so uporabljene samo terestrične metode:
 - Gravimetrična metoda,
 - Astrogeodetska metoda.
- Druga skupina združuje vse t.i. satelitske metode določitve geoida.
- V tretjo skupino spadajo vse integrirane pristope k določitve geoida, kjer se uporabi kombinacijo podatkov terestričnih in satelitskih meritev.

Zaradi velikega obsega bom v nadaljevanju opisal le geometrijsko satelitsko metodo, ki spada v tretjo skupino, saj smo z pomočjo te metode v praksi določili lokalno ploskev geoida na območju Radovljice.

¹ Ekvipotencialna ploskev je ploskev s stalnim težnostnim potencialom $W(x, y, z) = konst$

3.2.1 Geometrijsko satelitska metoda

Metoda temelji na določanju tridimenzionalnih koordinat na rotacijskem elipsoidu z uporabo GNSS meritev s pomočjo katere dobimo elipsoidne koordinate (φ, λ, h) ter klasično nivelmansko izmero (za pridobitev boljše natančnosti) ali metodo trigonometričnega višinomerstva, kjer izhajamo in znanega reperja z znano nadmorsko ortometrično višino (H) . Z pomočjo teh dveh podatkov lahko v točki enostavno določimo geoidno višino N kot (Kuhar, 2012):

$$N = h - H$$

Če imamo tako podano geoidno višino v več točkah, lahko preko teh točk analitično določimo ploskev, katera bi nam na lokalnem območju predstavljala ploskev geoida. Običajno izberemo ravnino, lahko pa tudi ploskev višjega reda. Tako pridobljena ploskev je funkcija dveh spremenljiv – položaja točke v lokalnem koordinatnem sistemu (v našem primeru D96/TM), kjer želimo izračunati geoidno višino (Kuhar, 2012).

$$N = N(e, n)$$

Enačbo interpolacijske ravnine lahko dobimo, če imamo dovoljšno število točk na območju z znano geoidno višino.

$$N(e, n) = Ae + Bn + C$$

Enačba ima tri neznanke tako potrebujemo minimalno tri točke z znanimi vrednostmi N , da lahko zapišemo tri enačbe z tremi neznankami (A, B, C) , ki predstavljajo koeficiente ravnine. V primeru če pa imamo večje število meritev, pa lahko predoločen sistem rešimo z pomočjo metode najmanjših kvadratov, kjer neznane koeficiente dobimo kot (Kuhar, 2012):

$$\Delta = (B^T B)^{-1} (B^T f)$$

Matriko koeficientov B in vektor f sestavimo kot:

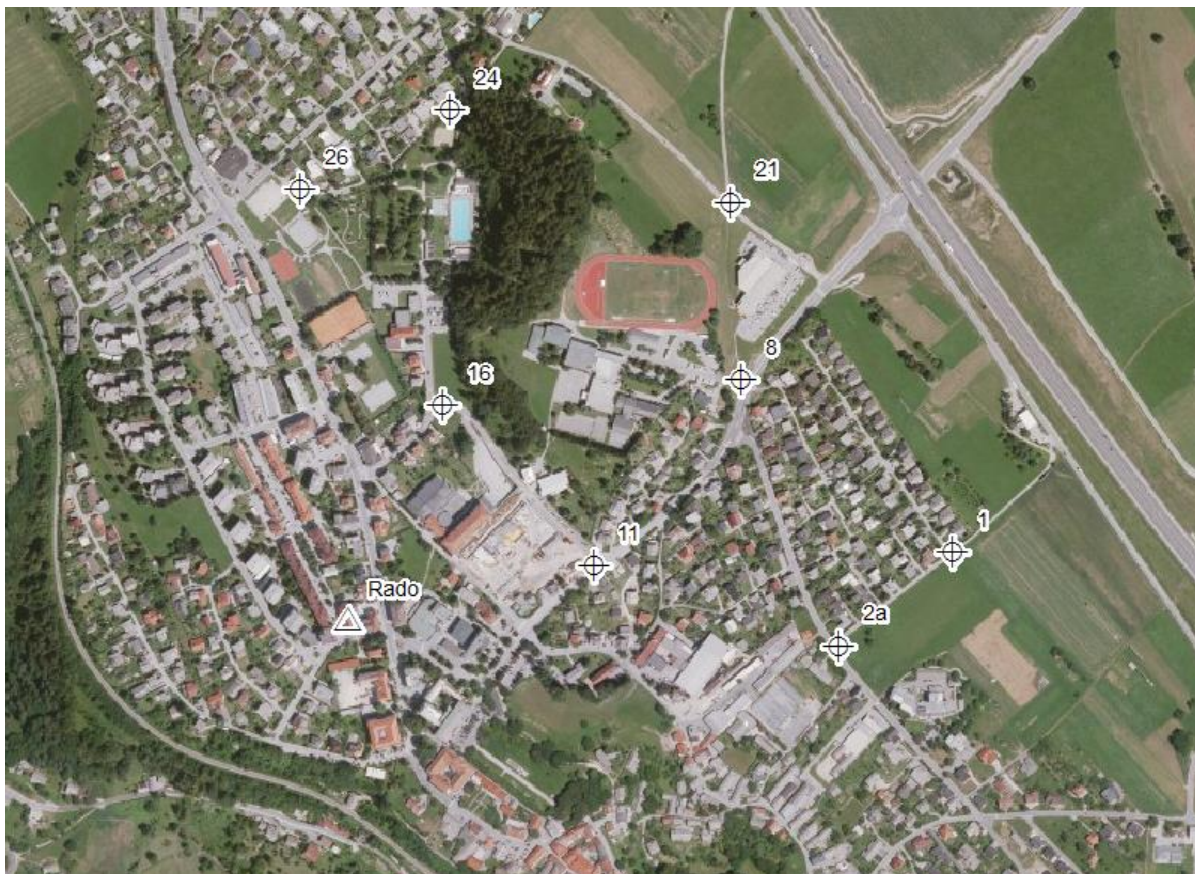
$$\Delta = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} e_1 & n_1 & 1 \\ e_2 & n_2 & 1 \\ e_3 & n_3 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ e_n & n_n & 1 \end{bmatrix} \quad f = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ \vdots \\ N_n \end{bmatrix}$$

V primeru, da se koordinate točk mreže (e, n) nanašajo na težišče mreže imajo koeficienti v enačbi naslednji pomen:

- A ... predstavlja nagnjenost ravnine v smeri sever – jug,
- B ... predstavlja nagnjenost ravnine v smeri vzhod – zahod,
- C ... predstavlja vertikalni odmik interpolirane ploskve od rotacijskega elipsoida v točki težišča mreže.

4 IZRAČUN LOKALNEGA MODELA GEOIDA NA OBMOČJU RADOVLJICE

Na območju Radovljice smo vzpostavili geodetsko mrežo osmih točk (Slika 2) na katerih smo izvajali statično GNSS izmero, ter nivelirali med njimi za pridobitev elipsoidnih in nadmorskih višin.



Slika 2: Točke na katerih smo izvajali meritve

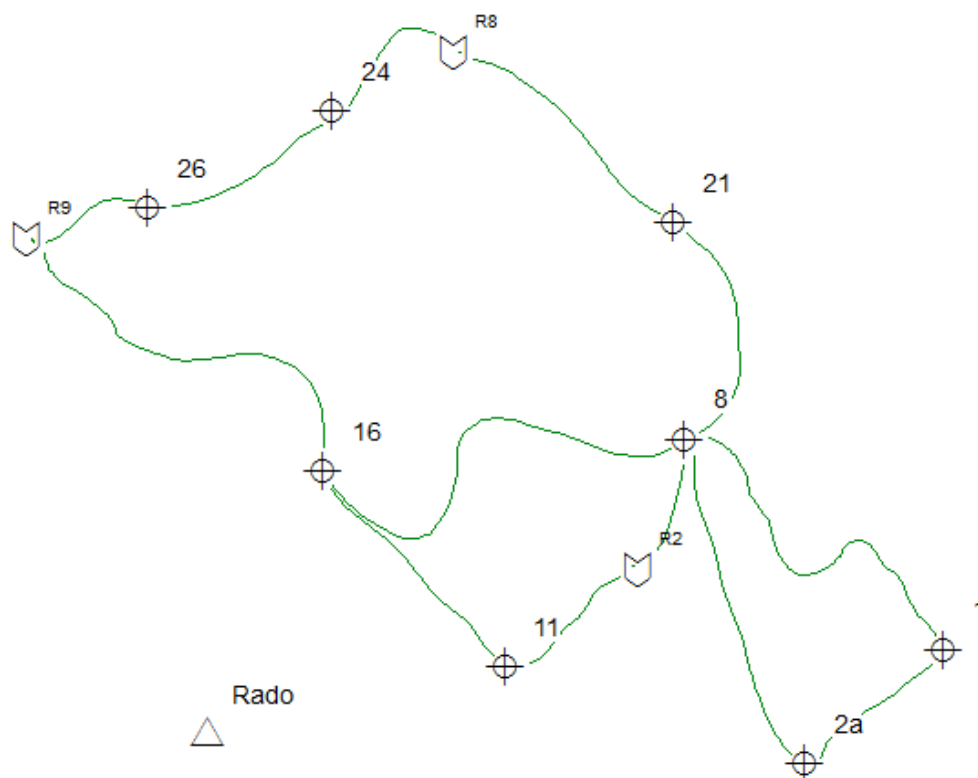
4.1 Terenske meritve

Terenske meritve smo izvajali v petek 28.11.2014 od 7:30 do 15:30 v oblačnem vremenu. Najprej smo na točke postavili GNSS sprejemnike ter začeli statično metodo izmere (Preglednica 2).

Preglednica 2: Tipi anten in interval GNSS opazovanj na posameznih točkah

Točka	Sprejemnik / tip antene	Začetek / konec opazovanj [UTC]
1	Trimble / TRM22020.00+GP	6:57:35 / 14:10:30
2a	Trimble / TRM14532.00	6:52:05 / 14:07:05
8	Leica / LEIGS15	7:44:54 / 13:59:18
11	Leica / LEIGS15	7:48:15 / 14:30:45
16	Leica / LEIGS15	8:49:11 / 14:21:01
21	Trimble / TRM22020.00+GP	6:24:05 / 14:15:50
24	Trimble / TRM22020.00+GP	6:33:40 / 14:21:00
26	Trimble / TRM22020.00+GP	6:41:05 / 14:24:55

V času, ko so se izvajala GNSS opazovanja (približno 8 ur) smo izmerili tri zanke nivelmanke mreže, kot je prikazano na sliki 3. Zanke so bile vezane na tri dane reperje, ki smo jih uporabili kot dane pri izravnavi nivelmanskih meritev.



Slika 3: Zanke geometričnega nivelmana

Za niveliranje smo uporabili instrument Leica DNA03, kateri zagotavlja natančnost 0,3 mm na kilometer dvojnega nivelmana. Uporabljene pa so bile tri precizne invar late.

4.2 Obdelava meritev GNSS meritev

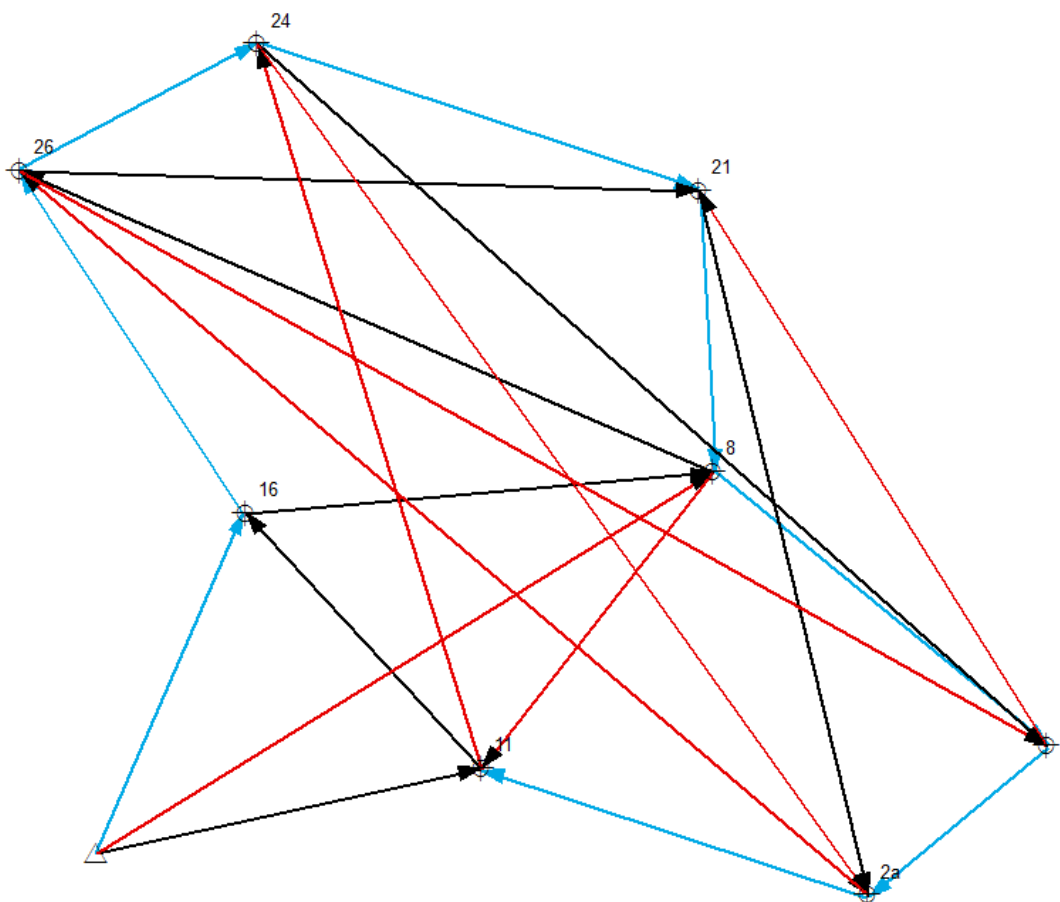
GNSS opazovanja smo obdelali s pomočjo programskega paketa Leica Geo Office 7, ki nam omogoča naknadno obdelavo opazovanj. Poleg meritev je bilo potrebo pridobiti tudi podatke stalne GNSS postaje, v Radovljici, ki je del sistema SIGNAL, podatke o kalibraciji anten ter uporabljene so bile precizne efemeride *.igs istoimenske organizacije.

Naslednji korak je bila priprava neodvisnih vektorjev v treh serijah, za kar je bilo potrebno opazovanja, ki so trajala v enem kosu razrezati v tri dele, kar se je opravilo z programom QTEC. Izbrani intervali so predstavljeni v preglednici 3.

Preglednica 3: Časovni interval posameznih serij opazovanj

Serijska	Začetek [UTC]	Konec [UTC]
1	Od ~ 6:30:00	10:00:00
2	10:00:00	12:15:00
3	12:15:00	Do ~ 14:30:00

Vektorji so bili sestavljeni, čim bolj prepleteno, da bi pridobili čim boljše rezultate. Prikazani so na sliki 4.



Slika 4: Obdelani linearno neodvisni vektorji

Po obdelavi vektorjev se je mreža izravnala po metodi najmanjših kvadratov. Iz poročila izravnave je bilo razvidnih nekaj možnih grobih pogreškov, vendar ob odstranitvi teh vektorjev so bili rezultati podobni, na podlagi česar smo se odločili, da obdržimo vse vektorje in z tem dvignem zanesljivost mreže zaradi večjega števila nadštevilnih opazovanj. Izračunane koordinate v WGS86 koordinatnem sistemu ter standardni odkloni višin so prikazane v preglednici 4.

Preglednica 4: Koordinate točk določene z GNSS izmero ter natančnosti določitve elipsoidne višine

Točka	φ	λ	h [m]	σ_h [mm]
1	46° 20' 40,61502"	14° 10' 50,32291"	540,5371	1,0
2a	46° 20' 36,96167"	14° 10' 43,96356"	540,1318	0,9
8	46° 20' 47,24266"	14° 10' 38,28170"	542,0044	1,0
11	46° 20' 39,81831"	14° 10' 30,02685"	537,3342	0,8
16	46° 20' 46,13204"	14° 10' 21,50115"	540,5425	0,9
21	46° 20' 54,03618"	14° 10' 37,74144"	543,0662	1,0
24	46° 20' 57,75297"	14° 10' 21,90207"	542,8375	2,1
26	46° 20' 54,41456"	14° 10' 13,52763"	542,2925	1,2

Pridobljeni rezultati so kvalitetni, saj smo meritve opravljali v dovolj dolgem intervalu, ter jih obdelali na kakovosten način, kar potrjujejo tudi pridobljeni standardni odkloni.

Skupna empirična ocena natančnosti določitve višine znaša 1,18 mm in je bila izračunana po naslednji enačbi:

$$\bar{\sigma}_h^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sigma_{h_i}^2$$

Poleg višin potrebujemo za izračun ploskve tudi težišče območja na katerem računamo ploskev lokalnega modela geoida, za kar potrebujemo koordinate v ravninskem koordinatnem sistemu. V ta namen smo pridobljene elipsoidne koordinate pretvorili v ravninsko D96/TM obliko s pomočjo spletne storitve Sitra.net (Preglednica 5).

Preglednica 5: Koordinate točk v D96/TM koordinatni obliki

n [m]	e [m]	H [m]*
134204,367	436931,670	493,048
134092,982	436794,529	492,644
134411,659	436676,339	494,507
134184,275	436497,456	489,840
134381,107	436317,201	493,040
134621,522	436666,967	495,563
134739,803	436329,522	495,327
134638,606	436149,400	492,644

*Ortometrične višine so interpolirane iz absolutnega modela geoida Slovenije (SLOG2000) vgrajenega v storitev Sitra.net.

4.3 Obdelava meritev nivelmanskih meritev

Meritve smo prenesli iz instrumenta v obliki zapisa *.gsi datoteke iz katere je bilo potrebno izbrati odčitke lat zadaj in spredaj, ki jih je bilo potrebno popraviti za sistematične pogreške in sicer za napako pete late ter pogreška merila po enačbi:

$$L = l_0 + L[1 + (m_0 + \alpha(T - T_0)) \cdot 10^{-6}]$$

Izravnava višinskih razlik določenih z geometričnim nivelmanom se je izvedla s pomočjo programa VimWin, katerega rezultati so predstavljeni v nadaljevanju (Preglednica 6):

Preglednica 6: Ortometrične višine določene z niveliranjem in natančnost določitve

Točka	H [m]	σ_H [mm]
1	493,1559	0,50
2a	492,7508	0,20
8	494,5906	0,45
11	489,9256	0,40
16	493,1266	0,53
21	495,6705	0,57
24	495,4185	0,50
26	494,8927	0,49

Tako kot pri GNSS metodi izmere je bila tudi tu izračunana empirična ocena natančnosti, ki znaša 0,47 mm.

4.4 Izračun ploskve lokalnega modela geoida

Geoid na lokalnem območju lahko prestavimo z ravnino (polinomom prve stopnje). Enačba ravnine v našem primeru je:

$$N(e', n') = Ae' + Bn' + C,$$

Iz katere je razvidno, da je geoidna višina (N) funkcija reduciranih ravninskih koordinat e' in n' na težišče mreže.

Geoidne višine na naših točkah lahko izračunamo kot razliko med elipsoidno in nadmorsko višino, ki so predstavljene v preglednici 7.

Preglednica 7: Izračunane geoidne ondulacije na opazovanih točkah

Točka	Geoidna višina (N) [m]
1	47,3812
2a	47,3810
8	47,4138
11	47,4086
16	47,4159
21	47,3957
24	47,4190
26	47,3998

Tako nam ostanejo trije koeficienti kot neznanke in sicer A , B ter C , katere je potrebno določiti z pomočjo izravnave, saj imamo meritev več ($m = 8$), kot jih potrebujemo ($m = 3$).

Za izračun reduciranih koordinat (e' , n') ploskve je bilo potrebo izračunati težišče območja na katerem je vzpostavljena mreža.

$$e_{težišče} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m e_i$$

$$n_{težišče} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m n_i$$

4.4.1 Izravnavna s pomočjo metode najmanjših kvadratov

Izračun koeficientov smo opravili z pomočjo programskega paketa MatLAB, kjer je potrebno za uporabo Gaussove eliminacije zapisati enačbe v matrični obliki $Dx = E$ (uporabimo pa lahko tudi metodo najmanjših kvadratov za katero moramo sistem zapisati v obliki $v + B\Delta = f$), ki nam v predloženem sistemu izvede tudi samo izravnavo.

$$\begin{bmatrix} e_1 - e_{težišče} & n_1 - n_{težišče} & 1 \\ e_{2a} - e_{težišče} & n_{2a} - n_{težišče} & 1 \\ e_8 - e_{težišče} & n_8 - n_{težišče} & 1 \\ e_{11} - e_{težišče} & n_{11} - n_{težišče} & 1 \\ e_{16} - e_{težišče} & n_{16} - n_{težišče} & 1 \\ e_{21} - e_{težišče} & n_{21} - n_{težišče} & 1 \\ e_{24} - e_{težišče} & n_{24} - n_{težišče} & 1 \\ e_{26} - e_{težišče} & n_{26} - n_{težišče} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_{2a} \\ N_8 \\ N_{11} \\ N_{16} \\ N_{21} \\ N_{24} \\ N_{26} \end{bmatrix}$$

Sistem enačb se nato reši z uporabo operatorja \backslash ($x = D \backslash E$). Vrednosti izračunanih koeficientov so predstavljeni v preglednici 8.

Preglednica 8: Vrednosti koeficientov v enačbi ravnine

Koeficient	Vrednost
<i>A</i>	$-0,32069 \cdot 10^{-6}$
<i>B</i>	$9,8668 \cdot 10^{-6}$
<i>C</i>	47,4019

Enačba za izračun geoidna ondulacije za območje Radovljice tako izgleda:

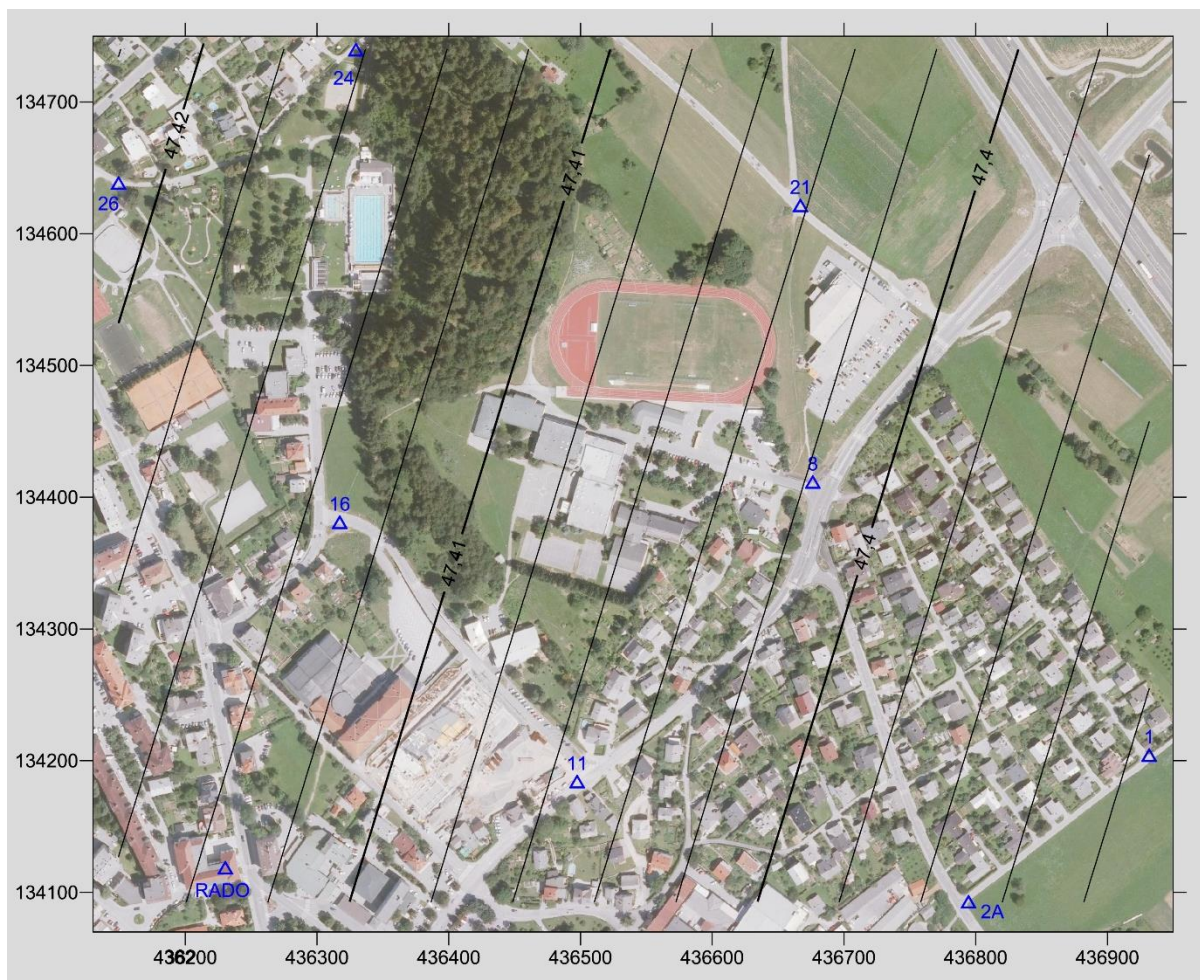
$$N = -0,32069 \cdot 10^{-6} \cdot e' + 9,8668 \cdot 10^{-6} \cdot n' + 47,4019$$

Empirična standardni odklon določena s pomočjo zgornje enačbe znaša 1,20 mm, katera je bila izračunana iz empiričnih natančnosti GNSS meritev in nivelmana.

$$\sigma_N^2 = \bar{\sigma}_H^2 + \bar{\sigma}_h^2$$

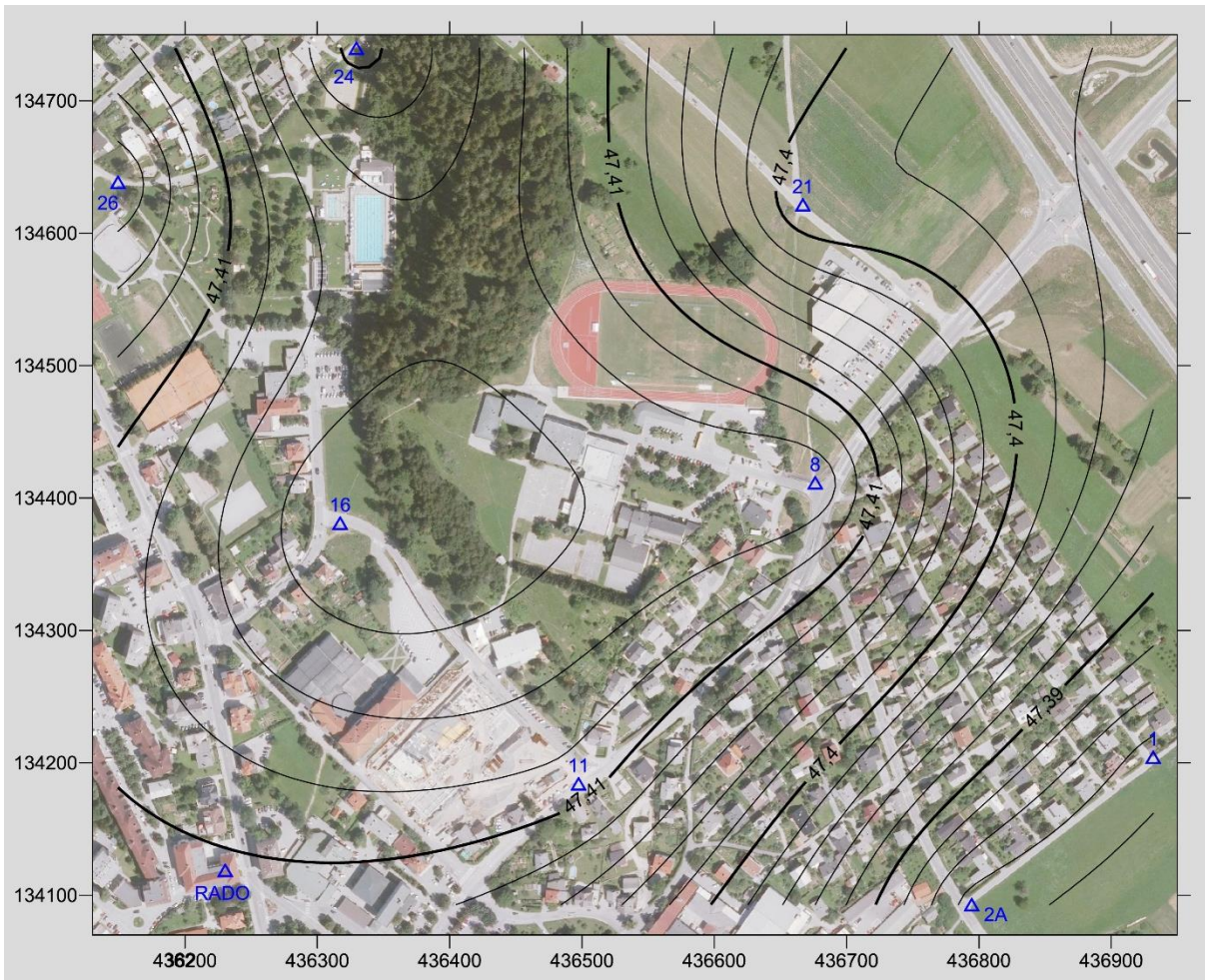
4.5 Izris potega ravnine z pomočjo plastnic

Potek plastnic izračunane ravnine je prikazan na sliki 5 za lažjo predstavo naklona. Za izris sta bila uporabljena programska paketa AutoCAD Civil 3D in Surfer.



Slika 5: Prikaz interpolirane ravnine na DOF-u

Če pa za izris plastnic uporabimo točke kjer smo izvajali meritve pa dobimo, kot rezultat dejanski potek geoida prikazan na sliki 6. Iz kjer se vidi, razlika med dejanskimi vrednostmi ter interpolirano ravnino.



Slika 6: Dejanski potek geoida

5 PRIMERJAVA IZRAČUNANEGA MODELA Z OBSTOJEČIMI

Namen naloge je bilo določiti ploskev lokalnega geoida in primerjava z državnim geoidom SLOG2000 ter »dejanskimi«, interpoliranimi iz lokalne ploskve geoida, katero se lahko izračuna iz terenskih GNSS meritev ter niveliranja.

V preglednici 9 so predstavljene ugotovitve in rezultati, do kakršnih smo prišli.

Preglednica 9: Odstopanje interpoliranih višin iz državnega modela (SLOG2000) od izračunane ploskve na merjenih točkah

Točka	Elipsoidna višina - h [m]	Nadmorska višina - H [m]	Izračunana geod. višina - N [m]	Interpolirana geod. višina (SLO2000) - N [m]	ΔN [cm]
1	540,5371	493,1559	47,3812	47,4891	-10,79
11	537,3342	489,9256	47,4086	47,4942	-8,56
16	540,5425	493,1266	47,4159	47,5025	-8,66
21	543,0662	495,6705	47,3957	47,5032	-10,75
24	542,8375	495,4185	47,4190	47,5105	-9,15
26	542,2925	494,8927	47,3998	47,5105	-11,07
2a	540,1318	492,7508	47,3810	47,4878	-10,68
8	542,0044	494,5906	47,4138	47,4974	-8,36
				Povprečje:	-9,75

Iz rezultatov je razvidno, da model geoida na območju Radovljice odstopa približno za 10 cm od dejanske vrednosti. Z GNSS metodo izmero in preračunom višinskih koordinat z uporabo modela geoida SLOG2000 pridobimo prevelike vrednosti. Izsledki iz diplome Urbanč, 2010 jasno kažejo, da uradni geoid iz leta 2000 lahko na GNSS/nivelman točkah odstopa na nekaterih območjih tudi preko 20 cm. Iz slike odstopanj na strani 52 (Urbanč, 2008) so odstopanja na območju Radovljice in okolici približno 10 cm, kar smo v naši nalogi tudi dejansko potrdili.

Glavni namen izračuna interpolacijske ravnine je seveda izračun geoidne višine poljubne točke na lokalnem območju, za prikaz odstopanja iz teh točk sem izračunal geoidno višino tudi na nekaj točkah, kjer se ni izvajala stična GNSS (Preglednica 10) položaji točk so označeni na sliki 5.

Preglednica 10: Primerjava geoidne višine interpolirane iz izračunane ravnine in državnega modela geoida

Točka	H_{nivelman}	N_{ravnina}	N_{SLOG2000}	ΔN [cm]	$h_{\text{niv} + \text{ravn}}$
1	493,156	47,387	47,489	10,2	540,543
2	492,934	47,391	47,488	9,7	540,325
2A	492,751	47,391	47,488	9,7	540,142
3	493,512	47,391	47,493	10,2	540,903
4	493,634	47,393	47,493	10,0	541,027
5	493,662	47,394	47,492	9,8	541,056
6	494,291	47,396	47,497	10,1	541,687
7	495,209	47,397	47,499	10,2	542,605
8	494,591	47,398	47,498	10,0	541,988
9	493,797	47,397	47,496	9,9	541,193
10	491,125	47,399	47,495	9,6	538,525
11	489,926	47,401	47,494	9,3	537,327
12	493,830	47,403	47,496	9,3	541,233
13	497,581	47,405	47,498	9,3	544,985
16	493,127	47,409	47,502	9,3	540,536
17	494,927	47,405	47,500	9,5	542,332
18	494,932	47,402	47,498	9,6	542,335
19	495,133	47,402	47,500	9,8	542,535
20	495,042	47,401	47,500	9,9	542,443
21	495,670	47,400	47,503	10,3	543,070
22	495,905	47,408	47,509	10,1	543,312
23	495,965	47,410	47,511	10,1	543,375
24	495,419	47,412	47,510	9,8	542,831
25	497,353	47,412	47,508	9,6	544,765
26	494,892	47,417	47,511	9,4	542,309
27	494,150	47,413	47,507	9,4	541,563
30	508,934	47,408	47,504	9,6	556,342
30A	512,106	47,408	47,505	9,7	559,514
30B	507,776	47,410	47,509	9,9	555,186
30C	504,884	47,408	47,502	9,4	552,292
31	497,088	47,400	47,500	10,0	544,488

6 ZAKLJUČEK

Zaradi neenakomerne razporeditve mas znotraj zemlje se smer vektorja sile teže konstantno spreminja, česar posledica je nepravilna oblika ploskve geoida, ki je ni mogoče opisati analitično z matematičnimi izrazi. Kot posledico tega dejstva moramo uporabljati modele geoida, ki z poenostavitvami opisujejo dejanski potek geoida, od natančnosti določitve modela pa je odvisno kako dobro lahko določimo nadmorsko višino z metodo GNSS višinomerstva, ki zelo pridobiva na pomembnosti in uporabnosti.

Zato smo v nalogi, na testnem območju v Radovljici, izračunali lokalno ploskev geoida. Aproximirali smo jo z ravnino. Geoidne višine lokalne ravnine smo primerjali z geoidnimi višinami interpoliranimi iz uradnega geoidnega modela Slovenije (SLOG2000). odstopanja so v povprečju reda velikosti 10 cm, kar se sklada z izsledki iz diplome Urbanč 2008.

To je velik problem, saj praktično vsa operativna geodezija izhaja iz lastne geodetske mreže, ki se jo postavi z RTK metodo izmere in tako vse višine, ki se bodo na primer prikazale na geodetskem načrtu lahko odstopajo za 10 centimetrov ali več na bolj ruralnih območjih. Geodetski načrti so lahko podlaga projektantom pri umestitvi grajenih objektov v prostor, kar lahko pripelje do neprijetnih presenečenj kasneje. Višine pridobljene z GNSS metodo torej niso primerne za uporabo, ko so le te ključnega pomena. Torej, za potrebe inženirske geodezije, nalog izdelave geodetskih načrtov in podobnih nalog uradni geoid Slovenije ne zadostuje. Zato je natančen geoidni model (lahko tudi lokalni) nujen pogoj za uporabo tehnologije GNSS. Brez natančnega geoida je preračun iz elipsoidnih višin v naš sistem nadmorskih višin (normalno ortometrične višine) praktično nemogoč.

VIRI

Ambrožič, T., Turk, G. 2007. Izravnava višinske geodetske mreže: aplikacija VimWin. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Estey, L.H., Meertens, C. M., 1999. TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data. GPS Solutions, Vol. 3, No. 1, str. 42-49, doi:10.1007/PL00012778

Kuhar, M. 2012. Fizikalna geodezija. Ljubljana Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 108 str.

Kuhar, M., Prešeren, P. 2000. Evropski in globalni model geoida na območju Slovenije. Geod. vestn. 44, 3: 177-184.

Kuhar, M., Berk, S., Koler, B., idr. 2011. Vloga kakovostnega višinskega sistema in geoida za izvedbo GNSS-višinomerstva. Geod. vest. 55, 2: 226-234.

Lemoine, F.G., Kenyon, S.C., Factor, J. K., idr. 1998. The Development of the Joint NASA GSFC and NIMA Geopotential Model EGM96. Greenbelt. NASA Goddard Space Flight Center. 243 str.

Pribičević, B. 2000. Uporaba geološko-geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida Republike Slovenije. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Pribičević): 115 str.

Urbanč, M. 2008. Ocena natančnosti geoidnega modela. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Urbanč): 41 str.

SEZNAM PRILOG

- A. Poročilo izravnave GNSS mreže iz programa Leica Geo Office,
- B. Poročilo izravnave nivelmanske mreže iz programa VimWin.

Network Adjustment

www.MOVE3.com

(c) 1993-2008 Grontmij

Licensed to Leica Geosystems AG


Created: 12/23/2014 08:55:49

Project Information

Project name:	Obdelava_RAD
Date created:	12/23/2014 08:23:32
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:	8
Total:	9

Observations

GPS coordinate differences:	66 (22 baselines)
Known coordinates:	3
Total:	69

Unknowns

Coordinates:	27
Total:	27

Degrees of freedom:	42
---------------------	----

Testing

Alfa (multi dimensional):	0.5303
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:	0.97

Results based on a-posteriori variance factor

Adjustment Results

Coordinates

Station	Coordinate	Corr	Sd		
1	Latitude	46° 20' 40.61502" N	0.0000 m	0.0005 m	
	Longitude	14° 10' 50.32291" E	0.0001 m	0.0004 m	
	Height	540.5371 m	-0.0002 m	0.0010 m	
11	Latitude	46° 20' 39.81831" N	-0.0001 m	0.0004 m	
	Longitude	14° 10' 30.02685" E	0.0000 m	0.0003 m	
	Height	537.3342 m	0.0001 m	0.0008 m	
16	Latitude	46° 20' 46.13204" N	-0.0001 m	0.0004 m	
	Longitude	14° 10' 21.50115" E	0.0000 m	0.0004 m	
	Height	540.5425 m	0.0000 m	0.0009 m	
21	Latitude	46° 20' 54.03618" N	0.0002 m	0.0005 m	
	Longitude	14° 10' 37.74144" E	0.0003 m	0.0004 m	
	Height	543.0662 m	-0.0006 m	0.0010 m	
24	Latitude	46° 20' 57.75297" N	0.0000 m	0.0009 m	
	Longitude	14° 10' 21.90207" E	0.0002 m	0.0007 m	
	Height	542.8375 m	-0.0004 m	0.0021 m	
26	Latitude	46° 20' 54.41456" N	-0.0002 m	0.0006 m	
	Longitude	14° 10' 13.52763" E	0.0005 m	0.0005 m	
	Height	542.2925 m	-0.0008 m	0.0012 m	
2a	Latitude	46° 20' 36.96167" N	0.0001 m	0.0004 m	
	Longitude	14° 10' 43.96356" E	0.0000 m	0.0003 m	
	Height	540.1318 m	-0.0001 m	0.0009 m	
8	Latitude	46° 20' 47.24266" N	-0.0002 m	0.0005 m	
	Longitude	14° 10' 38.28170" E	0.0000 m	0.0004 m	
	Height	542.0044 m	0.0003 m	0.0010 m	
RADO	Latitude	46° 20' 37.61069" N	0.0000 m	-	fixed
	Longitude	14° 10' 17.57093" E	0.0000 m	-	fixed
	Height	554.3034 m	0.0000 m	-	fixed

Observations and Residuals

	Station	Target	Adj obs	Resid	Resid (ENH)	Sd
DX	8	21	-143.6229 m	-0.0023 m	0.0004 m	0.0007 m
DY			-48.1973 m	-0.0002 m	0.0011 m	0.0004 m
DZ			145.5781 m	-0.0008 m	-0.0022 m	0.0007 m
DX	2a	26	-217.2350 m	-0.0003 m	0.0009 m	0.0007 m
DY			-726.1737 m	0.0008 m	-0.0008 m	0.0004 m
DZ			373.5962 m	-0.0012 m	-0.0009 m	0.0009 m
DX	2a	24	-333.0344 m	-0.0039 m	0.0005 m	0.0015 m
DY			-570.7166 m	-0.0005 m	0.0032 m	0.0007 m
DZ			445.1500 m	0.0006 m	-0.0023 m	0.0015 m
DX	2a	1	-112.1781 m	0.0005 m	-0.0003 m	0.0006 m
DY			111.9293 m	-0.0002 m	0.0000 m	0.0003 m
DZ			78.1721 m	0.0005 m	0.0007 m	0.0006 m
DX	26	21	-118.0726 m	0.0005 m	-0.0001 m	0.0007 m
DY			504.2250 m	0.0000 m	0.0003 m	0.0004 m
DZ			-7.5056 m	0.0009 m	0.0010 m	0.0008 m
DX	26	16	136.5062 m	0.0000 m	0.0005 m	0.0009 m
DY			210.3298 m	0.0005 m	-0.0023 m	0.0005 m

DZ			-177.8156 m	-0.0032 m	-0.0022 m	0.0010 m
DX	26	1	105.0570 m	-0.0015 m	0.0017 m	0.0008 m
DY			838.1029 m	0.0014 m	-0.0015 m	0.0004 m
DZ			-295.4241 m	-0.0034 m	-0.0033 m	0.0009 m
DX	24	8	141.3497 m	-0.0015 m	0.0010 m	0.0015 m
DY			396.9653 m	0.0007 m	0.0019 m	0.0008 m
DZ			-224.6375 m	0.0014 m	0.0002 m	0.0015 m
DX	24	26	115.7994 m	0.0019 m	-0.0013 m	0.0015 m
DY			-155.4571 m	-0.0009 m	-0.0004 m	0.0008 m
DZ			-71.5538 m	0.0011 m	0.0019 m	0.0015 m
DX	21	2a	335.3076 m	-0.0003 m	0.0007 m	0.0006 m
DY			221.9487 m	0.0006 m	0.0004 m	0.0004 m
DZ			-366.0906 m	0.0004 m	0.0001 m	0.0007 m
D0	21	24	2.2732 m	0.0014 m	-0.0006 m	0.0015 m
DY			-348.7680 m	-0.0003 m	0.0002 m	0.0007 m
DZ			79.0594 m	0.0016 m	0.0021 m	0.0015 m
DX	21	11	344.5538 m	-0.0014 m	-0.0009 m	0.0007 m
DY			-83.1236 m	-0.0013 m	0.0004 m	0.0004 m
DZ			-307.2192 m	-0.0011 m	-0.0020 m	0.0007 m
DX	16	11	89.9750 m	-0.0004 m	0.0002 m	0.0005 m
DY			210.7716 m	0.0001 m	0.0000 m	0.0003 m
DZ			-136.9091 m	-0.0003 m	-0.0005 m	0.0005 m
DX	11	8	-200.9309 m	-0.0002 m	0.0000 m	0.0005 m
DY			131.3209 m	-0.0001 m	0.0002 m	0.0003 m
DZ			161.6411 m	0.0000 m	-0.0001 m	0.0005 m
DX	11	2a	-9.2462 m	-0.0011 m	-0.0001 m	0.0006 m
DY			305.0722 m	-0.0004 m	-0.0001 m	0.0003 m
DZ			-58.8714 m	-0.0014 m	-0.0018 m	0.0007 m
DX	11	1	-121.4243 m	-0.0003 m	0.0001 m	0.0006 m
DY			417.0015 m	0.0000 m	-0.0008 m	0.0003 m
DZ			19.3007 m	-0.0014 m	-0.0013 m	0.0007 m
DX	1	8	-79.5066 m	-0.0006 m	0.0004 m	0.0007 m
DY			-285.6806 m	0.0003 m	-0.0006 m	0.0004 m
DZ			142.3404 m	-0.0013 m	-0.0013 m	0.0007 m
DX	1	24	-220.8563 m	0.0026 m	-0.0005 m	0.0015 m
DY			-682.6459 m	0.0002 m	-0.0026 m	0.0007 m
DZ			366.9779 m	-0.0012 m	0.0009 m	0.0015 m
DX	1	21	-223.1296 m	0.0002 m	-0.0002 m	0.0006 m
DY			-333.8779 m	-0.0001 m	-0.0003 m	0.0003 m
DZ			287.9185 m	-0.0003 m	-0.0001 m	0.0006 m
DX	RADO	2a	-133.6482 m	0.0006 m	-0.0002 m	0.0007 m
DY			548.3966 m	-0.0001 m	-0.0001 m	0.0004 m
DZ			-24.0884 m	0.0004 m	0.0007 m	0.0007 m
DX	RADO	16	-214.3770 m	-0.0019 m	0.0009 m	0.0007 m
DY			32.5528 m	0.0004 m	0.0005 m	0.0004 m
DZ			171.6922 m	-0.0011 m	-0.0020 m	0.0007 m
DX	RADO	11	-124.4020 m	0.0004 m	-0.0002 m	0.0006 m
DY			243.3244 m	-0.0001 m	-0.0001 m	0.0003 m
DZ			34.7830 m	0.0001 m	0.0003 m	0.0006 m

GPS Baseline Vector Residuals

	Station	Target	Adj vector [m]	Resid [m]	Resid [ppm]
DV	8	21	210.1036	0.0025	11.7
DV	2a	26	845.0405	0.0015	1.8
DV	2a	24	796.7358	0.0039	4.9
DV	2a	1	176.7002	0.0008	4.4
DV	26	21	517.9192	0.0010	2.0

DV	26	16	307.3939	0.0032	10.5
DV	26	1	894.8346	0.0040	4.4
DV	24	8	477.5177	0.0022	4.5
DV	24	26	206.6309	0.0024	11.4
DV	21	2a	543.7966	0.0008	1.4
DV	21	24	357.6236	0.0022	6.1
DV	21	11	469.0528	0.0022	4.7
DV	16	11	266.9537	0.0005	1.9
DV	11	8	289.3894	0.0002	0.8
DV	11	2a	310.8382	0.0018	5.7
DV	11	1	434.7489	0.0015	3.4
DV	1	8	328.9309	0.0014	4.4
DV	1	24	805.8881	0.0028	3.5
DV	1	21	494.1238	0.0004	0.8
DV	RADO	2a	564.9610	0.0008	1.3
DV	RADO	16	276.5780	0.0022	8.1
DV	RADO	11	275.4859	0.0004	1.5



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

Station	A [m]	B [m]	A/B	Phi	Sd Hgt [m]
1	0.0005	0.0004	1.3	5°	0.0010
11	0.0004	0.0003	1.3	3°	0.0008
16	0.0004	0.0004	1.3	3°	0.0009
21	0.0005	0.0004	1.3	11°	0.0010
24	0.0009	0.0007	1.3	12°	0.0021
26	0.0006	0.0005	1.3	12°	0.0012
2a	0.0004	0.0003	1.3	4°	0.0009
8	0.0005	0.0004	1.3	4°	0.0010
RADO	0.0000	0.0000	1.0	90°	0.0000

Testing and Estimated Errors

Observation Tests

	Station	Target	MDB	Red	BNR	W-Test	T-Test
DX	8	21	0.0035 m	72	1.7	-2.12	1.64
DY			0.0021 m	68	1.9	0.39	
DZ			0.0039 m	75	1.6	0.64	
DX	2a	26	0.0034 m	63	2.1	0.12	1.81
DY			0.0023 m	67	2.0	2.04	
DZ			0.0038 m	67	2.0	-1.67	
DX	2a	24	0.0078 m	81	1.4	-1.86	1.21
DY			0.0053 m	83	1.2	-0.19	
DZ			0.0079 m	82	1.4	1.44	
DX	2a	1	0.0025 m	51	2.9	0.70	0.85
DY			0.0016 m	41	3.3	-1.31	
DZ			0.0026 m	45	3.0	0.54	
DX	26	21	0.0030 m	43	3.2	0.13	0.63
DY			0.0021 m	47	3.1	-0.71	
DZ			0.0034 m	47	3.1	1.08	
DX	26	16	0.0055 m	83	1.2	0.57	0.97
DY			0.0036 m	83	1.2	0.48	
DZ			0.0063 m	83	1.2	-1.66	
DX	26	1	0.0039 m	74	1.6	-0.07	3.28
DY			0.0028 m	78	1.4	2.41	
DZ			0.0046 m	80	1.4	-2.22	

DX	24	8	0.0092 m	86	1.1	-0.90	0.31	
DY			0.0060 m	88	1.1	0.30		
DZ			0.0092 m	86	1.1	0.74		
DX	24	26	0.0072 m	75	1.7	0.68	0.49	
DY			0.0043 m	69	1.8	-0.99		
DZ			0.0071 m	72	1.7	0.06		
DX	21	2a	0.0030 m	67	1.9	-0.71	0.57	
DY			0.0020 m	70	1.9	1.08		
DZ			0.0030 m	64	2.1	0.26		
DX	21	24	0.0068 m	72	1.8	0.21	0.29	
DY			0.0039 m	59	2.2	-0.56		
DZ			0.0065 m	67	1.9	0.51		
DX	21	11	0.0037 m	80	1.4	-0.50	1.06	
DY			0.0022 m	78	1.5	-1.47		
DZ			0.0039 m	81	1.4	0.40		
DX	16	11	0.0029 m	15	6.8	-1.44	2.16	
DY			0.0019 m	15	6.6	1.56		
DZ			0.0030 m	13	7.1	-0.86		
DX	11	8	0.0026 m	17	6.2	-1.34	0.85	
DY			0.0017 m	19	5.7	-0.47		
DZ			0.0028 m	14	6.8	1.19		
DX	11	2a	0.0034 m	80	1.4	-0.18	0.47	
DY			0.0021 m	77	1.5	-0.40		
DZ			0.0036 m	79	1.4	-0.69		
DX	11	1	0.0030 m	71	1.8	0.51	0.74	
DY			0.0019 m	74	1.7	0.56		
DZ			0.0033 m	75	1.7	-1.45		
DX	1	8	0.0031 m	70	1.9	-0.03	0.72	
DY			0.0020 m	66	2.0	0.82		
DZ			0.0034 m	69	1.8	-1.13		
DX	1	24	0.0075 m	76	1.5	1.52	0.85	
DY			0.0053 m	86	1.3	0.00		
DZ			0.0075 m	78	1.5	-1.29		
DX	1	21	0.0028 m	58	2.3	0.65	0.20	
DY			0.0018 m	61	2.3	-0.17		
DZ			0.0028 m	54	2.5	-0.61		
DX	RADO	2a	0.0029 m	39	3.4	1.04	0.62	
DY			0.0019 m	44	3.2	-0.66		
DZ			0.0031 m	41	3.4	0.17		
DX	RADO	16	0.0031 m	66	2.0	-1.90	2.02	
DY			0.0021 m	67	1.9	1.44		
DZ			0.0032 m	63	2.1	-0.09		
DX	RADO	11	0.0027 m	52	2.7	0.66	0.22	
DY			0.0017 m	48	2.9	-0.58		
DZ			0.0028 m	54	2.6	-0.08		

Redundancy:

W-Test:

T-Test (3-dimensional):

Estimated Errors (Observations)

Estimated Errors For Observations With Rejected W-Tests (max 10)

	Station	Target	W-Test	Fact	Est err
DY	26	1	2.41	1.2	0.0024 m

DZ			-2.22	1.1	-0.0036 m
DX	8	21	-2.12	1.1	-0.0026 m
DY	2a	26	2.04	1.0	0.0017 m

Estimated Errors For Observations With Rejected T-Tests (max 10)

	Station	Target	T-Test	Fact	Est err
DX	26	1	3.28	1.3	-0.0019 m
DY					0.0017 m
DZ					-0.0042 m
DX	16	11	2.16	1.1	-0.0024 m
DY					0.0006 m
DZ					-0.0022 m
DX	RADO	16	2.02	1.0	-0.0029 m
DY					0.0006 m
DZ					-0.0017 m

A Poročilo izravnave nivelmanske mreže iz programa VimWin.

Izravnava VIŠINSKE geodetske Mreže

Program: VIM, ver.5.0, mar. 07

Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: data.pod

Ime datoteke za rezultate: data.rez

Ime datoteke za deformacijsko analizo: data.def

Ime datoteke za S-transformacijo: data.str

Ime datoteke za izračun ocene natančnosti premika: data.koo

Datum: 19.12.2014

Čas: 12:35:16

NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

=====

Reper	Nadm.viš.	Opomba
R2	493.42140	Dani reper
R8	495.69550	Dani reper
R9	494.39450	Dani reper
16	500.00000	Novi reper
T27	500.00000	Novi reper
T26	500.00000	Novi reper
T24	500.00000	Novi reper
T23	500.00000	Novi reper
T22	500.00000	Novi reper
T21	500.00000	Novi reper
T7	500.00000	Novi reper
T8	500.00000	Novi reper
T20	500.00000	Novi reper
T19	500.00000	Novi reper
T18	500.00000	Novi reper
T17	500.00000	Novi reper
T13	500.00000	Novi reper
T12	500.00000	Novi reper

T11	500.00000	Novi reper
T10	500.00000	Novi reper
T9	500.00000	Novi reper
T5	500.00000	Novi reper
T2	500.00000	Novi reper
T2A	500.00000	Novi reper
T1	500.00000	Novi reper
T3	500.00000	Novi reper
T4	500.00000	Novi reper
T6	500.00000	Novi reper

Število vseh reperjev = 28

Število danih reperjev = 3

Število novih reperjev = 25

MERITVE VIŠINSKIH RAZLIK IN DOLŽIN

```

=====

```

Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Merjena dolžina
16	T27	1.02261	0.2205
T27	T26	0.74295	0.1452
T26	R9	-0.49844	0.1494
R9	T24	1.02476	0.3718
T24	T23	0.54663	0.1273
T23	R8	-0.26924	0.0684
R8	T22	0.20926	0.0337
T22	T21	-0.23425	0.2454
T21	T7	-0.46014	0.2398
T7	T8	-0.61981	0.1098
T8	T20	0.45142	0.1106
T20	T19	0.09061	0.0756
T19	T18	-0.20015	0.0746
T18	T17	-0.00509	0.0704
T17	T13	2.65359	0.1278
T13	16	-4.45449	0.1774
T13	T12	-3.75116	0.0621
T12	T11	-3.90379	0.0974

T11	T10	1.20095	0.1090
T10	R2	2.29533	0.1167
R2	T8	1.16930	0.1542
T8	T9	-0.79394	0.0755
T9	T5	-0.13438	0.1235
T5	T2	-0.72753	0.1475
T2	T2A	-0.18321	0.0203
T2	T1	0.22229	0.2024
T1	T3	0.35614	0.1550
T3	T4	0.12282	0.0790
T4	T6	0.65674	0.1523
T6	T8	0.29991	0.0539

Število opazovanj = 30

Vektor normalnih enačb je zaseden 0.01 %.

ENAČBE POPRAVKOV VIŠINSKIH RAZLIK

```
=====
```

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Koeficienti			Utež
			a1	a2	f	
1	16	T27	-1.	1.	-1.02261	4.5343
2	T27	T26	-1.	1.	-0.74295	6.8885
3	T26	R9	1.	0.	5.10706	6.6930
4	R9	T24	0.	1.	4.58074	2.6898
5	T24	T23	-1.	1.	-0.54663	7.8570
6	T23	R8	1.	0.	4.03526	14.6289
7	R8	T22	0.	1.	4.09524	29.6404
8	T22	T21	1.	-1.	-0.23425	4.0742
9	T21	T7	1.	-1.	-0.46014	4.1710
10	T7	T8	1.	-1.	-0.61981	9.1045
11	T8	T20	-1.	1.	-0.45142	9.0430
12	T20	T19	-1.	1.	-0.09061	13.2234
13	T19	T18	1.	-1.	-0.20015	13.4070
14	T18	T17	1.	-1.	-0.00509	14.1946
15	T17	T13	-1.	1.	-2.65359	7.8270

16	T13	16	1.	-1.	-4.45449	5.6370
17	T13	T12	1.	-1.	-3.75116	16.0924
18	T12	T11	1.	-1.	-3.90379	10.2625
19	T11	T10	-1.	1.	-1.20095	9.1768
20	T10	R2	-1.	0.	-8.87393	8.5672
21	R2	T8	0.	1.	5.40930	6.4867
22	T8	T9	1.	-1.	-0.79394	13.2412
23	T9	T5	1.	-1.	-0.13438	8.0941
24	T5	T2	1.	-1.	-0.72753	6.7779
25	T2	T2A	1.	-1.	-0.18321	49.2136
26	T2	T1	-1.	1.	-0.22229	4.9403
27	T1	T3	-1.	1.	-0.35614	6.4524
28	T3	T4	-1.	1.	-0.12282	12.6541
29	T4	T6	-1.	1.	-0.65674	6.5668
30	T6	T8	-1.	1.	-0.29991	18.5658

IZRAČUNANI POPRAVKI VIŠINSKIH RAZLIK

=====

Št. Reper op. zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Popravek viš.razlike	Definitivna viš.razlika	
1	16	T27	1.02261	0.00034	1.02295
2	T27	T26	0.74295	0.00022	0.74317
3	T26	R9	-0.49844	0.00023	-0.49821
4	R9	T24	1.02476	-0.00075	1.02401
5	T24	T23	0.54663	-0.00026	0.54637
6	T23	R8	-0.26924	-0.00014	-0.26938
7	R8	T22	0.20926	0.00000	0.20926
8	T22	T21	-0.23425	0.00002	-0.23423
9	T21	T7	-0.46014	0.00002	-0.46012
10	T7	T8	-0.61981	0.00001	-0.61980
11	T8	T20	0.45142	-0.00005	0.45137
12	T20	T19	0.09061	-0.00003	0.09058
13	T19	T18	-0.20015	-0.00003	-0.20018
14	T18	T17	-0.00509	-0.00003	-0.00512
15	T17	T13	2.65359	-0.00005	2.65354
16	T13	16	-4.45449	0.00027	-4.45422
17	T13	T12	-3.75116	-0.00012	-3.75128

18	T12	T11	-3.90379	-0.00019	-3.90398
19	T11	T10	1.20095	-0.00021	1.20074
20	T10	R2	2.29533	-0.00023	2.29510
21	R2	T8	1.16930	-0.00008	1.16922
22	T8	T9	-0.79394	-0.00016	-0.79410
23	T9	T5	-0.13438	-0.00026	-0.13464
24	T5	T2	-0.72753	-0.00031	-0.72784
25	T2	T2A	-0.18321	0.00000	-0.18321
26	T2	T1	0.22229	-0.00042	0.22187
27	T1	T3	0.35614	-0.00032	0.35582
28	T3	T4	0.12282	-0.00016	0.12266
29	T4	T6	0.65674	-0.00032	0.65642
30	T6	T8	0.29991	-0.00011	0.29980

Srednji pogrešek utežne enote, m0 = 0.001396

IZRAVNANE NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

=====

Reper	Približna višina	Popravek višine	Definitivna višina	Sred.pog. višine
16	500.00000	-6.87341	493.12659	0.00067
T27	500.00000	-5.85046	494.14954	0.00063
T26	500.00000	-5.10729	494.89271	0.00049
T24	500.00000	-4.58149	495.41851	0.00050
T23	500.00000	-4.03512	495.96488	0.00034
T22	500.00000	-4.09524	495.90476	0.00025
T21	500.00000	-4.32946	495.67054	0.00059
T7	500.00000	-4.78958	495.21042	0.00056
T8	500.00000	-5.40938	494.59062	0.00045
T20	500.00000	-4.95800	495.04200	0.00057
T19	500.00000	-4.86742	495.13258	0.00062
T18	500.00000	-5.06760	494.93240	0.00063
T17	500.00000	-5.07272	494.92728	0.00063
T13	500.00000	-2.41919	497.58081	0.00058
T12	500.00000	-6.17047	493.82953	0.00058
T11	500.00000	-10.07444	489.92556	0.00055

T10	500.00000	-8.87370	491.12630	0.00044
T9	500.00000	-6.20347	493.79653	0.00058
T5	500.00000	-6.33811	493.66189	0.00072
T2	500.00000	-7.06595	492.93405	0.00080
T2A	500.00000	-7.24916	492.75084	0.00083
T1	500.00000	-6.84408	493.15592	0.00083
T3	500.00000	-6.48826	493.51174	0.00078
T4	500.00000	-6.36560	493.63440	0.00072
T6	500.00000	-5.70918	494.29082	0.00055

IZRAČUN OBČUTLJIVOSTI VIŠINSKE MREŽE

=====

Št. Reper op. zadaj	Reper spredaj	Q11	Sred.pog. viš.razl.	Qvv	r
1 16	T27	0.16793	0.00057	0.05261	0.23856
2 T27	T26	0.12237	0.00049	0.02280	0.15703
3 T26	R9	0.12526	0.00049	0.02415	0.16162
4 R9	T24	0.12818	0.00050	0.24359	0.65522
5 T24	T23	0.09873	0.00044	0.02855	0.22431
6 T23	R8	0.06012	0.00034	0.00824	0.12047
7 R8	T22	0.03223	0.00025	0.00151	0.04467
8 T22	T21	0.16569	0.00057	0.07976	0.32495
9 T21	T7	0.16365	0.00056	0.07610	0.31742
10 T7	T8	0.09386	0.00043	0.01597	0.14542
11 T8	T20	0.09586	0.00043	0.01473	0.13317
12 T20	T19	0.06874	0.00037	0.00689	0.09107
13 T19	T18	0.06789	0.00036	0.00670	0.08983
14 T18	T17	0.06447	0.00035	0.00598	0.08484
15 T17	T13	0.10811	0.00046	0.01966	0.15386
16 T13	16	0.14336	0.00053	0.03404	0.19190
17 T13	T12	0.05664	0.00033	0.00550	0.08855
18 T12	T11	0.08391	0.00040	0.01353	0.13886
19 T11	T10	0.09205	0.00042	0.01692	0.15528
20 T10	R2	0.09731	0.00044	0.01941	0.16633
21 R2	T8	0.10535	0.00045	0.04881	0.31664
22 T8	T9	0.06976	0.00037	0.00577	0.07635
23 T9	T5	0.10812	0.00046	0.01543	0.12490

24	T5	T2	0.12553	0.00049	0.02201	0.14915
25	T2	T2A	0.02032	0.00020	0.00000	0.00000
26	T2	T1	0.16100	0.00056	0.04142	0.20463
27	T1	T3	0.13070	0.00050	0.02428	0.15668
28	T3	T4	0.07271	0.00038	0.00631	0.07989
29	T4	T6	0.12884	0.00050	0.02344	0.15395
30	T6	T8	0.05093	0.00032	0.00293	0.05445

Skupno število nadštevilnosti je 5.00000000.

Povprečno število nadštevilnosti je 0.16666667.