

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Geodezija,
smer Geodezija

Kandidat:

Marko Goleš

GPS - višinomerstvo s pomočjo RTK - metode izmere

Diplomska naloga št.: 704

Mentor:
doc. dr. Miran Kuhar

Ljubljana, 21. 2. 2007

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MARKO GOLEŠ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»**GPS-VIŠINOMERSTVO S POMOČJO RTK-METODE IZMERE**«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 02. 02. 2007

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji geodetske smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.024:528.28(043.2)
Avtor: Marko Goleš
Mentor: doc. dr. Miran Kuhar
Naslov: GPS-višinomerstvo s pomočjo RTK-metode izmere
Obseg in oprema: 65 str., 14 pregl., 23 sl.
Ključne besede: višinomerstvo, GPS RTK, VRS, lokalna ploskev geoida

Izvleček

Diplomska naloga obravnava GPS- višinomerstvo z uporabo RTK-metode izmere. Opisan je avtomatiziran postopek pridobivanja ortometričnih višin na terenu v realnem času s podporo mobilnega računalništva, postopek izračuna lokalne ploskve geoida, celoten vrstni red enačb od pridobljenih WGS84 koordinat do ortometričnih višin ob uporabi zakona o prenosu varianc in kovarianc.

Naloga analizira, kolikšna je dosežena natančnost tako pridobljenih višin, kakšna so odstopanja od dejanskih višin točk v državni mreži, kakšna je aplikativna vrednost računanja ortometričnih višin z RTK-metodo preko ploskve lokalnega geoida.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 528.024:528.28(043.2)
Author: Marko Goleš
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Miran Kuhar
Title: GPS-leveling using RTK method
Notes: 65 p., 14 tab., 23 fig.
Key words: GPS-leveling, GPS Real-Time-Kinematics, VRS, local geoid surface

Abstract

Diploma work focuses on the GPS height determination, using the real-time kinematics surveying method. The work presents an overview of the automated procedure of calculating orthometric heights on the terrain in real-time with support of the mobile computer, the procedure of calculating local geoid surface, all the equations in chronological order from GPS derived WGS84 coordinates to orthometric heights, applying the law of propagation of variances and covariances.

Analysis examines obtained height accuracy, compares calculated and given heights, questions the value of the described GPS RTK height-surveying method.

ZAHVALA

Najprej bi se rad zahvalil družini, ki mi je vedno stala ob strani, še posebej mami in bratu Iztoku. Hvala.

Za pomoč pri diplomu bi se zahvalil mentorju doc. dr. Miranu Kuharju.
Hvala tudi mag. Klemenu Kozmusu ter vsem zaposlenim na oddelku za geodezijo FGG.

Zahvalil bi se tudi naslednjim osebam:

Boris Lešnik, Branko Novak - GEOFOTO
Žarko Komadina -GURS
Danijel Majcen- GU, izpostava Celje
Gregor Bilban - GEOSERVIS
Hans-Gerd Dünck-Kerst -Allsat
ter še mnogim drugim...

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	TEORIJA	2
2.1	Načini določanja višin	2
2.2	Geoid	3
2.3	Podatki o geoidu	5
2.4	Vrste višin	7
2.4.1	Geopotencialna kota	7
2.4.2	Ortometrična višina	8
2.4.3	Dinamična višina	10
2.4.4	Normalna višina	10
2.4.5	Normalne-ortometrične višine	11
2.5	Sistem GPS	12
2.5.1	Absolutna določitev položaja	14
2.5.2	Relativna določitev položaja (DGPS)	14
2.5.3	Fazna relativna določitev položaja	15
2.5.4	Statična metoda	15
2.5.5	Kinematična izmera, RTK metoda	15
2.5.6	Mrežni koncepti, VRS	16
2.6	RTK določitev ortometrične višine preko ploskve geoida	18
3	IZBOR INSTRUMENTARIJA	21
3.1	Izbrani instrument	21
3.2	Opis sprejemnika	21
4	POVEZAVA GPS SPREJEMNIK – PRENOSNI RAČUNALNIK	24
5	RAZUMEVANJE SESTAVE, DELOVANJA IN KOMUNIKACIJE SPREJEMNIK-LAPTOP, PROTOKOL OWI	26
6	VNOS ENAČB V PROGRAM (MATLAB)	29
6.1	Pridobitev potrebnih podatkov, količin	30
6.2	7-parametrična transformacija	30
6.3	Pretvorba kartezičnih koordinat v elipsoidne	32
6.4	Projekcija iz elipsoida v državno Gauss-Kruegerjevo projekcijo	33
6.5	Izračun geoidne višine N	35
6.6	Izračun ortometrične višine H	36
7	TESTIRANJE KODE NA IZBRANI KONFIGURACIJI	37
8	IZBIRA OBMOČJA ZA IZVAJANJE MERITEV, TESTIRANJE VIŠIN	38
8.1	Mreža Celje	38

9	PRIPRAVA PODATKOV PRED TERENSKIM DELOM	40
9.1	Izračun lokalne ploskve geoida	40
10	IZVAJANJE MERITEV NA TERENU	46
11	ANALIZA	49
11.1	Analiza rezultatov	52
12	ZAKLJUČEK	64
	VIRI	66
	PRILOGE	
	Priloga A: Meritve – dan 1	
	Priloga B: Meritve – dan 2	
	Priloga C: Meritve – dan 3	

KAZALO SLIK

Slika 1: Trigonometrično višinomerstvo	2
Slika 2: Zemeljsko površje, geoid, elipsoid	3
Slika 3: Absolutni geoid Slovenije	6
Slika 4: Absolutni geoid Slovenije	6
Slika 5: Diagram RTK določitve ortometrične višine preko ploskve lokalnega geoida	19
Slika 6: Običajni 9-pinski serijski kabel	24
Slika 7: Povezana strojna oprema	25
Slika 8: Povezana strojna oprema	25
Slika 9: Diagram izračuna ortometrične višine v programskem okolju Matlab	29
Slika 10: Testiranje kode in konfiguracije	37
Slika 11: Točke okvirne GPS mreže Celje 2004	42
Slika 12: Izvajanje meritev na terenu	46
Slika 13: Pregled rezultatov na terenu	46
Slika 14: Primer izhodne datoteke z rezultati	47
Slika 15: Primer izhodne datoteke s surovimi podatki	48
Slika 16: Skica merjenih točk	52
Slika 17: Graf absolutnih razlik H-H(dana) ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 4\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 3\text{cm}$)	54
Slika 18: Graf povprečnih natančnosti izračunanih ortometričnih višin ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 4\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 3\text{cm}$)	56
Slika 19: Graf absolutnih razlik H-H(dana) ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 1\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 1\text{cm}$)	58
Slika 20: Graf primerjave absolutnih razlik H-H(dana) za različne natančnosti obodnih točk	58
Slika 21: Graf povprečnih natančnosti izračunanih ortometričnih višin ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 1\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 1\text{cm}$)	60
Slika 22: Graf primerjave natančnosti izračunanih ortometričnih višin za različne natančnosti obodnih točk	61
Slika 23: Graf primerjave absolutnih razlik N(izračunana)-N(dana) obodnih točk za različne lokalne ploskve geoida [m]	63

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Sprejemik Leica GX1230	22
Preglednica 2:	Točke okvirne GPS mreže Celje 2004	42
Preglednica 3:	Opravljene GPS RTK-meritve na točkah okvirne GPS mreže Celje 2004	43
Preglednica 4:	Dane GK koordinate ter višine točk okvirne GPS mreže Celje 2004	43
Preglednica 5:	Izračunane geoidne višine točk okvirne GPS mreže Celje 2004	43
Preglednica 6:	Pregledna tabela v nalogi uporabljenih lokalnih ploskev geoida	49
Preglednica 7:	Tabela koeficientov lokalnih ploskev geoida	50
Preglednica 8:	Razlike med izračunanimi in danimi uradnimi višinami za različne geoide ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 4\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 3\text{cm}$)	53
Preglednica 9:	Natančnosti izračunanih ortometričnih višin za različne geoide ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 4\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 3\text{cm}$)	54
Preglednica 10:	Razlike med izračunanimi in danimi uradnimi višinami za različne geoide ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 1\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 1\text{cm}$)	56
Preglednica 11:	Natančnosti izračunanih ortometričnih višin za različne geoide ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 1\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 1\text{cm}$)	59
Preglednica 12:	Absolutne razlike $N(\text{izračunana})-N(\text{dana})$ obodnih točk za prvo verzijo lokalne ploskve geoida	61
Preglednica 13:	Absolutne razlike $N(\text{izračunana})-N(\text{dana})$ obodnih točk za drugo verzijo lokalne ploskve geoida	62
Preglednica 14:	Absolutne razlike $N(\text{izračunana})-N(\text{dana})$ obodnih točk za verzijo lokalne ploskve geoida prva z 8 in 96	62

1 UVOD

Višinomerstvo je postopek določanja višin točkam. Klasične metode določanja višin so postopkovno obsežne in časovno zamudne. Človek je s svojim razvojem in večanjem znanja vedno težil k temu, da razne delovne postopke v posameznih strokah in življenju nasploh čimbolj poenostavi in pospeši. V drugi polovici prejšnjega stoletja so elektronski računalniki spremenili naravoslovne vede. Izjemna analitična moč računalnikov je v rokah programerjev rodila razne računalniške programe, ki določene postopke, za katere bi človek potreboval tedne, mesece, leta, opravijo v zelo hitrem času. Izračuni, simulacije, računalniški grafi so za uporabnika dosegljivi praktično takoj ter lahko manipulirajo z neverjetno količino podatkov. Računalniška tehnologija je tudi na področju geodezije močno vplivala na razvoj instrumentarija ter nenazadnje tudi na postopke raznih izmer. Zaradi hitrega razvoja tehnologije nastajajo vedno nove možnosti uporabe znanja za hitrejše izvedbo postopkov izmere. Avtomatizacija (računalniško, programsko podprta izvedba postopkov) je torej vodilo razvoja, saj žene človeški um dlje in dlje.

Kot smo že omenili zgoraj, je postopek geometričnega nivelmana dolgotrajen, meritve pa morajo biti opravljene natančno in zelo previdno. Statična GPS metoda je pravtako dolgotrajna, saj moramo zaradi izravnave opazovanj, vektorjev v geodetski mreži pridobiti nadštevilna opazovanja, tudi samo planiranje izmere je časovno obsežno.

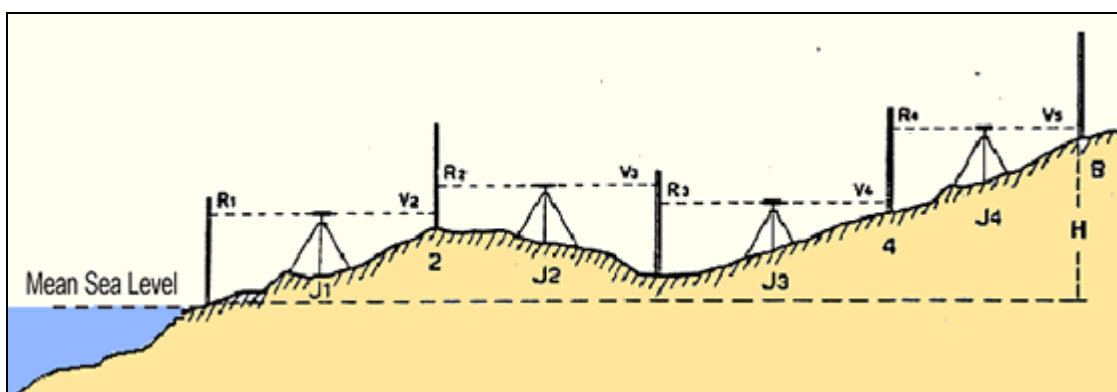
V tej diplomski nalogi me je zanimalo, kako lahko z RTK GPS metodo na terenu v realnem času ter s podporo mobilnega računalništva avtomatizirano pridobivam ortometrične višine točk. Zanimalo me je tudi, kolikšna je dosežena natančnost tako pridobljenih višin, kakšna so odstopanja od dejanskih višin točk v državni mreži, kakšna je aplikativna vrednost računanja ortometričnih višin z RTK metodo preko geoida.

2 TEORIJA

2.1 Načini določanja višin

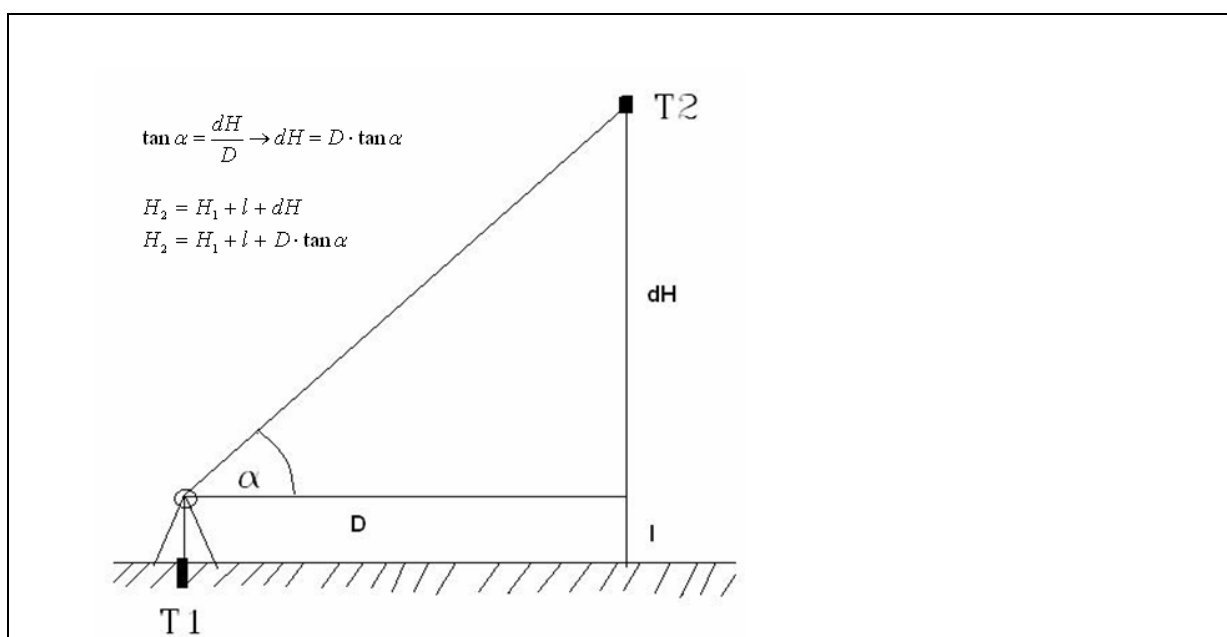
Obstaja več metod določanja višinskih razlik. Najbolj razširjena metoda je višinerstvo z geometričnim nivelmanom. Sledijo ji metode trigonometričnega višinerstva, GPS metode, določanje višin na osnovi tlaka, z merskim trakom...

Geometrični nivelman temelji na nivelirju, instrumentu, ki zagotavlja horizontalno vizuro. Z nivelirjem čitamo odčitka na lati spredaj in zadaj. Za odpravo raznih pogreškov običajno niveliramo iz sredine med obema latama (ki sta na točki zadaj in točki spredaj). Razlika odčitkov je višinska razlika med točkama.



Geometrični nivelman (vir: kartoweb.itc.nl)

Trigonometrično višinerstvo temelji na trigonometriji. Višine oz višinske razlike ne merimo, ampak jih izračunamo iz meritev kotov in dolžin



Slika 1: Trigonometrično višinerstvo

GPS (*global positioning system*) je satelitska metoda, s katero pridobimo geocentrične koordinate.

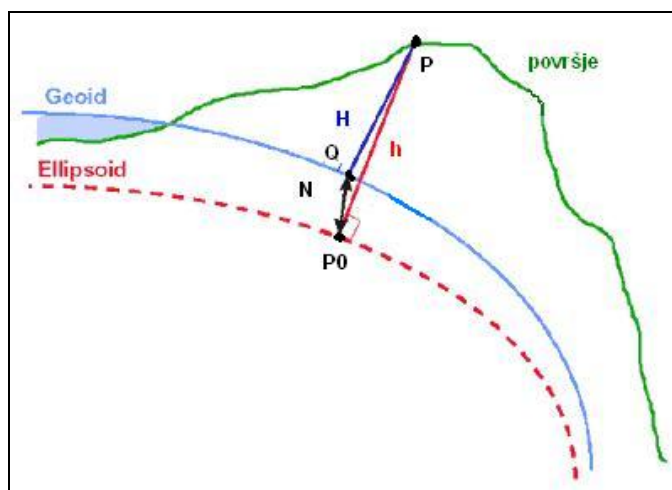
Cilj vseh metod višिनomerstva je določitev višinskih razlik med točkami oziroma določitev višिन točk. Za določitev višине je potrebno definirati višինsko izhodišče (višինski geodetski datum-višինski koordinatni sistem vezan na nek časovni trenutek) ter višինsko razliko. Višինa točke je oddaljenost točke od izbrane referenčne ploskve. Višինska razlika je razlika višín dveh točk.

Z večino metod višिनomerstva pridobimo nadmorske višине, medtem ko z GPS metodo pridobimo elipsoidne višине. Te za nas niso tako zanimive, saj nas običajno zanimajo nadmorske oziroma ortometrične višине. Za določitev le teh moramo pri GPS metodah poznati tudi obliko geoida, da lahko uporabimo naslednjo enačbo: $H = h - N$.

2.2 Geoid

Ker so vsa dogajanja na fizični površini Zemlje povezana s silo teže, lahko za predstavitev oblike Zemlje uporabimo eno izmed nivojskih ploskev težnostnega potenciala. Obliki Zemlje se najbolj prilega *geoid*. To je ploskev konstantnega težnostnega potenciala, enakega težnostnemu potencialu na srednji morski gladini. Ponazorjena je s srednjo gladino svetovnih morij, in teoretično podaljšana pod kontinente.

Ploskev geoida je v vseh svojih točkah pravokotna na smer navpičnice (smer vektorja sile teže g .)



Slika 2: Zemeljsko površje, geoid, elipsoid

Enačba geoida: $W = W(x, y, z) = W_0$

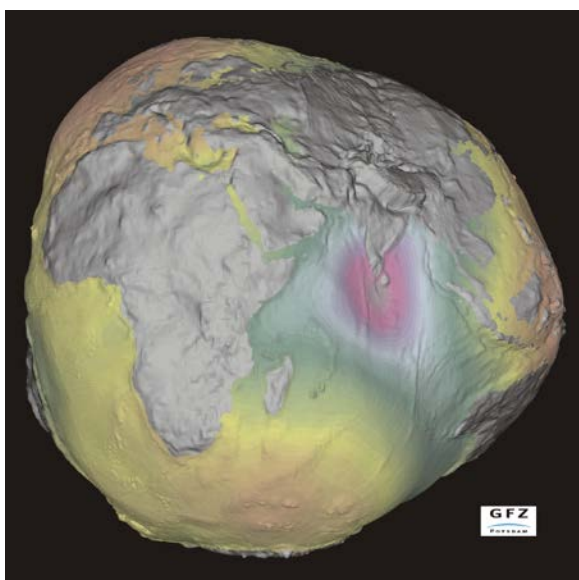
Geoid, fizična predstavitev oblike Zemlje, je ničelna nivojska ploskev ter predstavlja referenčno ploskev za določanje višinskih razlik med točkami na Zemlji. Za njeno upodobitev si pomagamo s srednjo gladino morja, ki pa odstopa od trenutne nivojske ploskve za vrednosti ± 1 do ± 2 m.

Geoid se lahko uporabi tudi za redukcijo terestričnih opazovanj s fizične površine Zemlje na referenčni elipsoid.

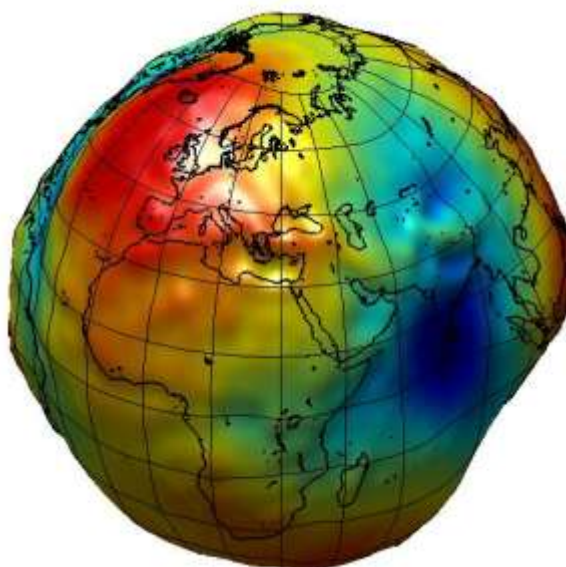
Matematično pa predstavimo obliko Zemlje z rotacijskim elipsoidom.

Iz zgornje skice sledi znana enačba GPS višinomerstva: $H = h - N$.

Ortometrična višina H je definirana kot dolžina težiščnice med geoidom in točko na površju. Geoidna višina N je razdalja med referenčnim elipsoidom in geoidom, elipsoidna višina h pa matematična pravokotna razdalja (normala) med elipsoidom in točko na površju. Geoidna in elipsoidna višina sta odvisni od izbranega referenčnega elipsoida.



Geoid (vir: www.gfz-potsdam.de)



Geoid (vir: tau.fesg.tu-muenchen.de)

Obstaja več metod določitve ploskve geoida.

V splošnem jih lahko razdelimo na:

- Terestrične metode (astro-geodetska metoda, gravimetrična metoda);
- Satelitske metode (satelitska altimetrija, dinamična metoda satelitske geodezije, tridimenzionalna satelitska določitev položaja);
- Kombinirane metode (dinamične in gravimetrične metode, astro-gravimetrični nivelman, astro-geodetska metoda z uporabo topografsko-izostatske interpolacije).

2.3 Podatki o geoidu

Geoid je lahko podan:

- Za celotno Zemljo (globalni geopotencialni modeli: zemeljski težnostni potencial je možno določiti, če se opazuje pravilnost tirov gibanja satelitov; Globalni geopotencialni model se predstavi s pomočjo sfernih funkcij - koeficienti anomalije potenciala).
- Za določeno regijo, državo (množica točk z danimi geoidnimi višinami) ;
- Lokalno za manjše področje.

Geoid je lahko:

-*Absoluten* (podatki diskretnih točk so geoidne višine v svoji celotni absolutni vrednosti).

-*Relativen* (podatki diskretnih točk so relativne razlike geoidnih višin med točkami).

Podatki geoida (geoidne višine točk N ; koeficienti anomalije potenciala) so običajno podani v svojih ločenih datotekah. Zaradi metod interpolacije, kot je bilinearna metoda za regionalne geoidne, in uporabe koeficientov vrste sfernih funkcij za izračun geoidnih višin pri globalnih geopotencialnih modelih ter zaradi racionalnega shranjevanja podatkov, da so ti nato čimlažje dostopni za računalniško obdelavo, so podatki v datotekah organizirani v gridu (mreži). Ena os mreže predstavlja geografsko širino, druga geografsko dolžino.

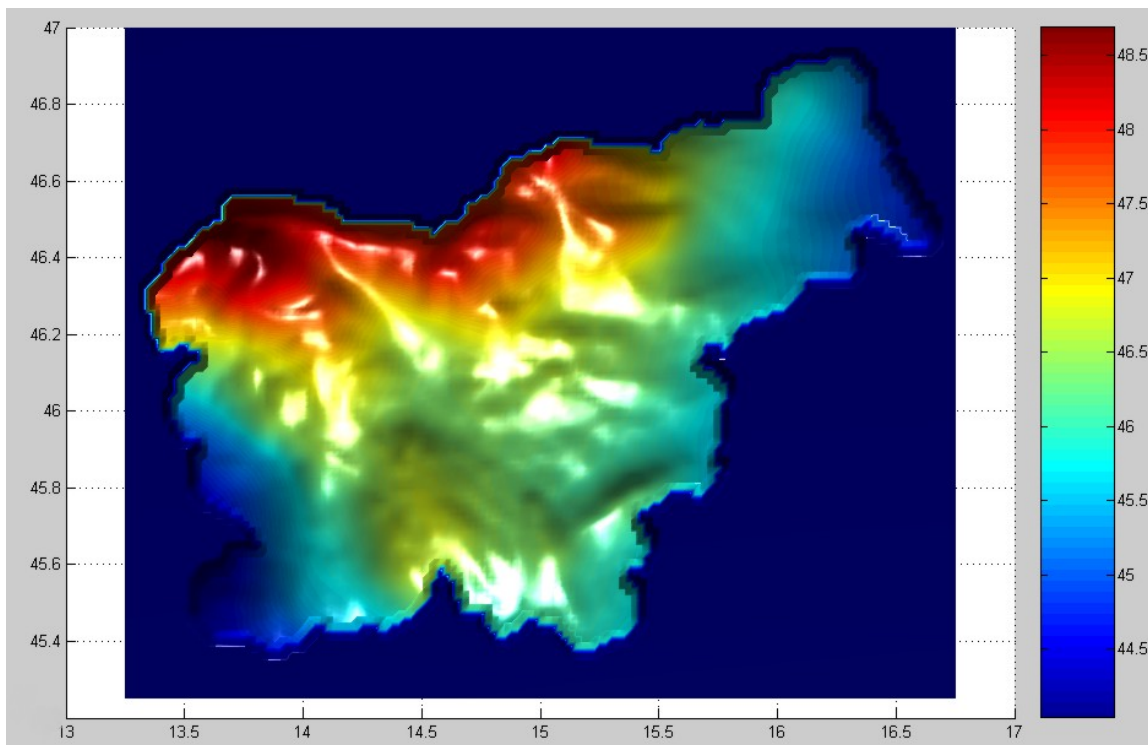
Tako organizirane podatke o geoidu lahko uporabimo tudi pri izračunu ortometričnih višin na osnovi absolutnega geoida Slovenije (AGS). Izračun AGS-a je lepo opisan v doktorski disertaciji *Uporaba geološko-geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida republike Slovenije* avtorja Boška Pribičevića, iz leta 2000.

Pri izračunu geoida so uporabili tri vrste informacij:

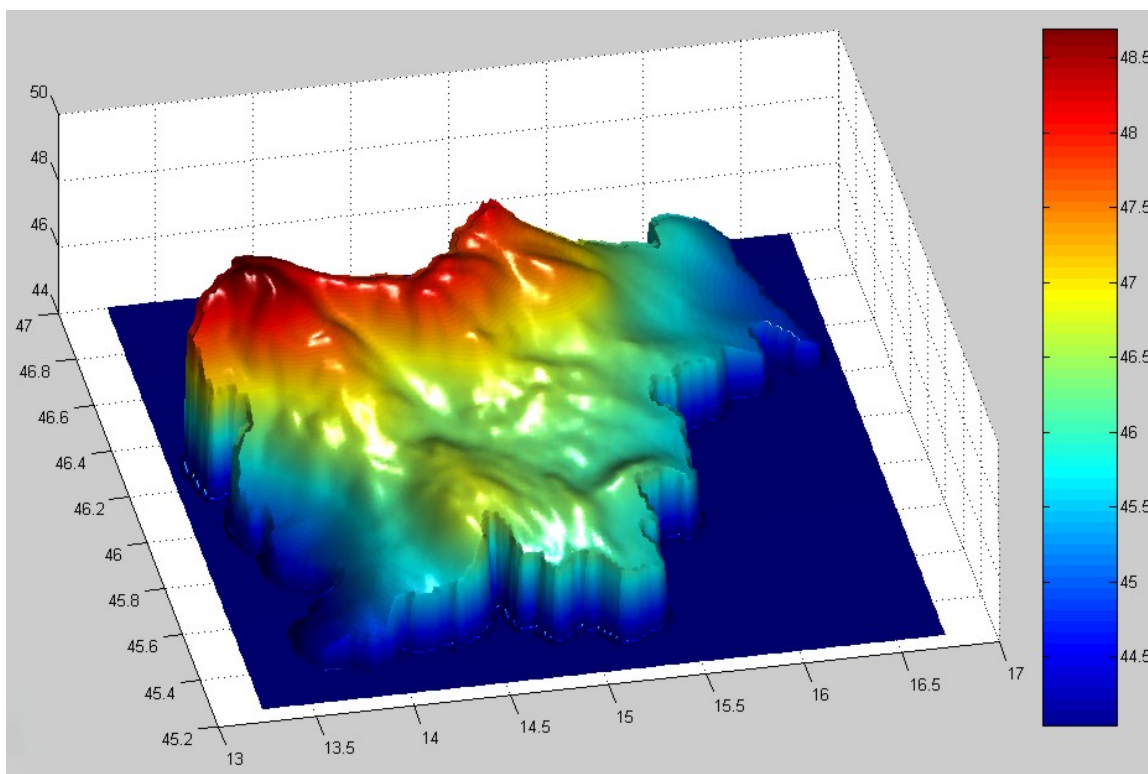
- globalni geopotencialni model EGM96;
- opazovane komponente odklona navpičnice ξ in η , anomalije težnosti prostega zraka in podatke GPS/NVN o geoidnih višinah;
- digitalni model reliefa (DMR) in digitalni model gostote površinskih mas (DMG).

Izračun so opravili s kolokacijo po metodi najmanjših kvadratov (postopek remove-restore). Celoten postopek je sestavljen iz treh korakov. Najprej se odstrani vpliv topografskih in izostatskih mas in geopotencialnega modela iz površinskih odklonov navpičnice in anomalij prostega zraka (remove). Nato z metodo kolokacije sledi predikcija izgubljenih reduciranih geoidnih višin. Na koncu se povrnejo mase in vpliv geopotencialnega modela EGM96 (restore).

Ocenjena natančnost AGS je visoka in homogena za celotno ozemlje Slovenije ter znaša 2-3cm.



Slika 3 : Absolutni geoid Slovenije



Slika 4 : Absolutni geoid Slovenije

Geoid se lokalno zelo malo spreminja (par centimetrov na km), zato ga lahko na majhnih območjih aproksimiramo z ravno regresijsko ploskvijo. Ta postopek sem v nalogi uporabil tudi jaz. Geoid je tukaj predstavljen z enostavno enačbo za ravnino v prostoru. Postopek je opisan v naslednjih poglavjih.

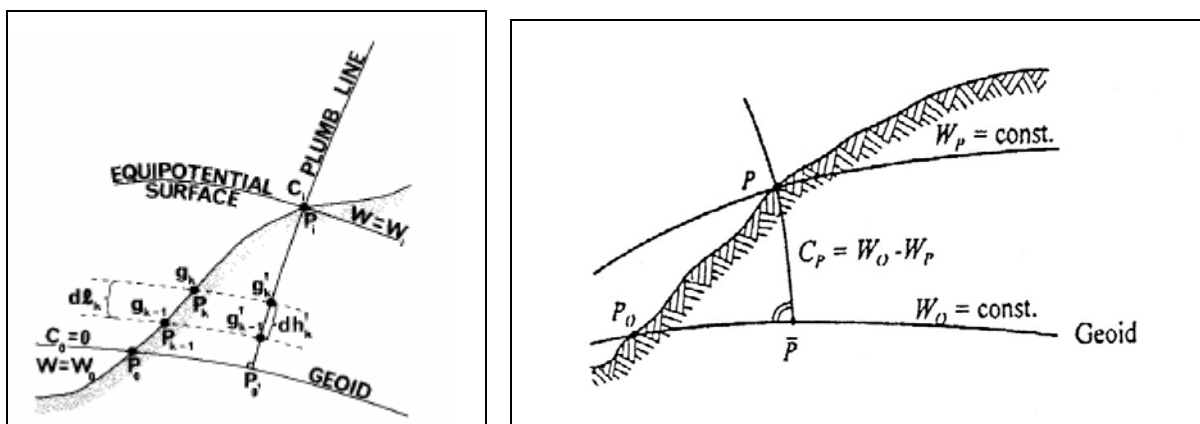
2.4 Vrste višin

V geodeziji ločimo med naslednjimi vrstami višin:

- geopotencialne kote (C);
- ortometrične višine (H);
- dinamične višine (H^D);
- normalne višine (H^N);
- normalne-ortometrične višine;
- elipsoidne višine (h).

2.4.1 Geopotencialna kota

Geopotencialna kota (število) C_i je po definiciji negativna razlika potencialov med točko P_i na zemeljskem površju in točko P_0 na geoidu .



Težnostni potencial, geopotencialna kota (vir: Geofizika, Kuhar.M, 2006, str.65)

Ker je razlika potencialov dveh ekvipotencialnih ploskev: $\delta W \cong -g \cdot \delta h$

(g je težni pospešek, δh je oddaljenost dveh ekvipotencialnih ploskev), lahko zapišemo:

$$C_i = -(W_i - W_0) = \int_{P_0}^{P_i} g \cdot dl = \int_{P_0}^{P_i} g' \cdot dh', \text{ kjer integriramo po terenu } dl \text{ med geoidom in točko } P_i$$

ali pa vzdolž težiščnice dh' med geoidom in točko P_i .

$$\text{Razlika geopotencialnih kot med točkama } P_i \text{ in } P_j \text{ je tako: } \Delta C_{ij} = \int_{P_i}^{P_j} g \cdot dl .$$

Enota za geopotencialno koto je geopotencialno število (gpu – geopotential unit):

$$10m^2 / s^2 = 1 \text{ gpu} = 1 \text{ kGalm} = 1000 \text{ Galm.}$$

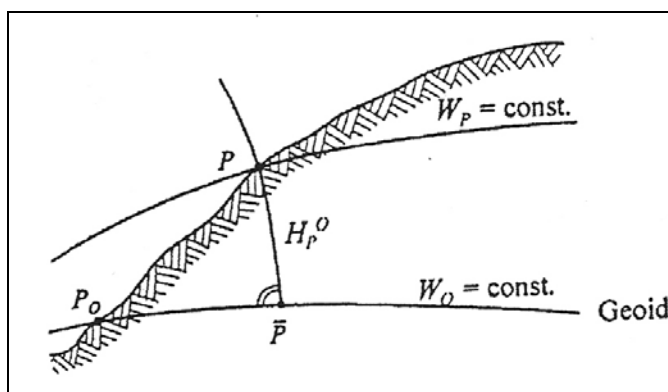
Enota za geopotencialno koto je izbrana tako, da je njena numerična vrednost približno enaka višini točke nad geoidom: $g \approx 0,98kGal$ ter $C \approx g \cdot H \approx 0,98H$

Geopotencialna kota v enotah gpu je skoraj enaka nadmorski višini točke v metrih.

Geopotencialne kote nimajo geometrijskega pomena. Njihova uporabnost je v tem, da enolično določajo višino točke (vse točke nivojske ploskve imajo enako geopotencialno koto), so osnova za izračun ostalih vrst višin (dinamične, normalne) ter so uporabne tudi za raziskovanje težnostnega polja Zemlje.

2.4.2 Ortometrična višina

Nadmorske višine oziroma ortometrične višine v praksi dobimo z niveliranjem. Pri geometričnem nivelmanu merimo višinske razlike vzdolž težišnice.



Ortometrična višina (vir: Geofizika, Kuhar.M, 2006, str.66)

$$H = \int_{P_0}^{P_i} dh', \text{ kjer integriramo vzdolž težišnice.}$$

Ortometrična višina je definirana kot dolžina težišnice med geoidom in točko.

Ker za spremembo težnostnega potenciala velja $\delta W \cong -g \cdot \delta h$, sledi:

$$H = - \int_{P_0}^{P_i} \frac{dW}{g_i'} = \int_{P_0}^{P_i} \frac{dC}{g_i'} = \int_{P_0}^{P_i} \frac{g}{g_i'} \cdot dl$$

Po izreku o povprečni vrednosti integrala obstaja med geoidom in točko P_i na površju Zemlje takšna vrednost težnega pospeška, da velja:

$$H_i = \frac{1}{\bar{g}_i'} \cdot \int_{P_0}^{P_i} g \cdot dl \Rightarrow \bar{g}_i' = \frac{1}{H_i} \cdot \int_{P_0}^{P_i} g \cdot dl$$

Iz enačbe za geopotencialno koto sledi:

$$C_i = -(W_i - W_0) = \int_{P_0}^{P_i} g \cdot dl = \int_{P_0}^{P_i} g' \cdot dh' = H_i \cdot \left[\frac{1}{H_i} \cdot \int_{P_0}^{P_i} g' \cdot dh' \right] = \bar{g}_i' \cdot H_i \Rightarrow$$

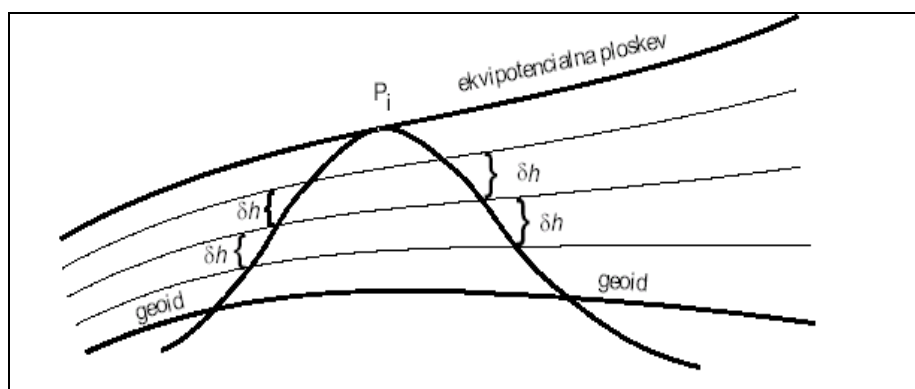
$$\Rightarrow H_i = \frac{C_i}{\bar{g}_i'}$$

\bar{g}_i' je srednja vrednost težnega pospeška vzdolž težiščnice.

Enačba ortometrične višine:

$$H = \frac{C}{\bar{g}'}$$

Znano je, da nivojske ploskve niso vzporedne.



Ne vzporednost ekvipotencialnih ploskev (vir: Geofizika, Kuhar.M, 2006, str.67)

Če pogledamo zgornjo sliko, ugotovimo, da za točko P_i pri niveliranju iz različnih strani hriba dobimo različne vrednosti ortometrične višine. Vsota δh je na desni strani večja, zato je ortometrična višina, določena na desni strani hriba, večja od tiste, ki je določena z leve strani. Vpliv ne vzporednosti ekvipotencialnih ploskev odpravimo z ortometričnim popravkom, ki ga prištejemo niveliranim višinskim razlikam.

Ortometrični popravek (OP):

$$OP_{ij} = \sum_{k=i}^j \frac{g_k - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot \delta l_k + \frac{\bar{g}_i - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot H_i - \frac{\bar{g}_j - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot H_j$$

δl_k je merjena višinska razlika med reperjema i in j ; \bar{g}_i in \bar{g}_j sta srednji vrednosti težnega pospeška vzdolž težiščnic reperjev i in j ; H_i in H_j sta ortometrični višini reperjev; γ_0 je izbrana vrednost normalnega težnega pospeška. Velikost OP je od par mm do cm.

V enačbi za ortometrično višino nastopa srednja vrednost težnostnega pospeška. Vendar pa na odseku težiščnice med točkama P_0 in P_i v notranjosti Zemlje ne moremo izvajati meritev pospeška g . Rešitev je uvedba hipotez o razporeditvi mas in gostot v notranjosti Zemlje.

V praksi lahko zato določimo le bolj ali manj natančne približke ortometričnih višin.

Ortometrične višine imajo geometrijski pomen, vendar ne ležijo na istih nivojskih ploskvah (razen na geoidu).

2.4.3 Dinamična višina

Dinamično višino točke dobimo tako, da geopotencialno koto točke delimo s konstantno referenčno normalno težnostjo γ_0^R :

$$H_i^D = \frac{C_i}{\gamma_0^R}$$

Za γ_0^R privzamemo vrednost normalne težnosti na Zemljinem elipsoidu za srednjo geografsko širino φ_R . Tako bo γ_0^R predstavljal približno povprečno težnost na obravnavanem območju.

V praksi določimo dinamične višine tako, da nivelirani višinski razliki med dvema reperjema prištejemo dinamični popravek (DP):

$$DP_{ij} = \int_{P_i}^{P_j} \frac{g_k - \gamma_0^R}{\gamma_0^R} \cdot \delta l_k = \sum_{k=i}^j \frac{g_k - \gamma_0^R}{\gamma_0^R} \cdot \delta l_k$$

g_k je merjena vrednost težnostnega pospeška na k-tem reperju. δl_k je merjena višinska razlika med dvema reperjema. V praksi ne merimo težnega pospeška na vsakem reperju, ampak samo na posameznih. Vmesne vrednosti interpoliramo.

Ta tip višin ima enote v dolžinski meri (m).

Dinamična višina prav tako kot geopotencialna kota ne predstavlja geometrične razdalje med geoidom in točko. Točke imajo lahko isto dinamično višino, a so različno oddaljene od geoida, ker so to točke z iste ekvipotencialne ploskve.

Skupaj z geopotencialnimi kotami so dinamične višine pomembne pri hidrotehničnih inženirskih nalogah.

2.4.4 Normalna višina

Normalne višine je predlagal ruski geofizik Molodenski. Dobimo jih tako, da geopotencialno koto delimo s srednjo vrednostjo normalne težnosti na normali točke $\bar{\gamma}_i$:

$$H_i^N = \frac{C_i}{\bar{\gamma}_i}$$

$$\bar{\gamma}_i = \frac{1}{H_i^N} \cdot \int_0^{H_i^N} \gamma(\varphi, h) \cdot dH^N$$

Normalna težnost γ na geografski širini φ in elipsoidni višini h :

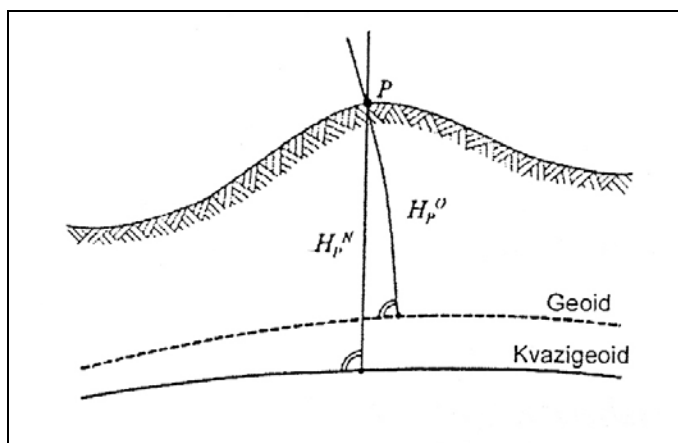
$$\gamma(\varphi, h) = \gamma_0 \cdot \left(1 - \frac{2}{a} \cdot (1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi) \cdot h + \frac{3}{a^2} \cdot h^2 \right)$$

, kjer je $f = \frac{a-b}{a}$ geometrijska sploščenost elipsoida in $m = \frac{\omega^2 \cdot a}{\gamma_e}$ pomožna okrajšava.

Za izračun normalne težnosti na elipsoidu γ_0 uporabimo izraz *Somigliane*:

$$\gamma_0 = \frac{a \cdot \gamma_e \cdot \cos^2 \varphi + b \cdot \gamma_p \cdot \sin^2 \varphi}{\sqrt{a^2 \cdot \cos^2 \varphi + b^2 \cdot \sin^2 \varphi}}$$

, kjer sta a, b polosi elipsoida; φ geografska širina; γ_e normalni težni pospešek na ekvatorju, γ_p pa na polu.



Normalna in ortometrična višina (vir: *Geofizika, Kuhar.M, 2006, str.68*)

Za normalne višine velja, da točke na isti nivojski ploskvi nimajo enakih normalnih višin, zato nimajo ne fizikalnega in ne geometrijskega pomena. Normalne višine so odvisne od izbranega referenčnega elipsoida. Referenčna ploskev je kvazigeoid.

2.4.5 Normalne-ortometrične višine

Pri teh ortometričnih višinah se namesto izmerjenega težnostnega pospeška uporabi izračunane vrednosti normalnega težnega pospeška. To vrsto višin imenujemo tudi sferoidne višine (težni pospešek se računa po sferoidnih enačbah).

Izhodiščna ploskev se imenuje normalna ničelna nivojska ploskev.

Normalne-ortometrične višine se uporabljajo tudi pri nas v Sloveniji.

2.5 Sistem GPS

GPS (Global Positioning System) je eden izmed globalnih satelitskih navigacijskih sistemov (GNSS – Global Navigation Satellite System), ki je v temeljih spremenil naloge navigacije in geodezije.

Sistem NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite System for Timing and Ranging) je zgradilo ameriško obrambno ministrstvo DoD (Department of Defense). Kasneje je solastništvo pridobilo DoT (Department of Transportation).

Glavne lastnosti GPS:

- možnost določitve položaja, časa, hitrosti;
- možnost določitve položaja v 3D prostoru;
- relativno visoka točnost položaja;
- na razpolago na morju, na kopnem, v zraku;
- deluje v vseh vremenskih razmerah;
- na razpolago 365 dni v letu, 24 ur na dan;
- relativno poceni oprema za uporabnike.

Določitev položaja temelji na določitvi razdalj med GPS-sateliti ter sprejemnikom na Zemlji. Določitev razdalj temelji na znanih položajih satelitov v točno določenih trenutkih in obdelavi satelitskih signalov (korelacija kode ali faze s satelita sprejetega signala s kodo ali fazo, generirano v sprejemniku). Čas potovanja signala, pomnožen s svetlobno hitrostjo, omogoča določitev razdalje med satelitom in sprejemnikom.

GPS uporabljamo na naslednjih področjih:

- geodezija na kopnem, na morju, v zraku;
- kartografija, naloge različnih GIS aplikacij;
- geofizika in geologija;
- navigacija na kopnem, na morju, v zraku;
- uporaba v letalskem prometu;
- vojaška uporaba;
- naloge zaščite in reševanja;
- prostoročne aktivnosti;

V geodeziji GPS uporabljamo:

1. na kopnem:
 - geodetska izmera (kataster in topografija);
 - inženirska geodezija (od najnatančnejših do rutinskih del, spremljanje deformacij,...);
 - fotogrametrična izmera;
 - kartografija in GIS;
 - globalna geodezija (vzpostavitev regionalnih, kontinentalnih, globalnih koordinatnih sistemov, določitev ploskve geoida, kvazigeoida);
 - geodinamične raziskave (naloge določanja premikov zemeljske skorje);
 - raziskave v seizmologiji, vulkanologiji, oceanografiji, geografiji;

2. v zraku:
 - aerofotogrametrija skupaj z radarskimi in laserskimi tehnikami snemanja zemeljskega površja;
 - geofizikalne meritve na krovu letal (položaj gravimetra, določitev magnetnega severa,...);
3. na morju:
 - pomorska geodezija, pomorska geodetska izmera, kartografija;
 - geofizikalne raziskave;
 - inženirska geodezija;
 - hidrografske raziskave;
4. v vesolju:
 - ugotavljanje stanja v Zemljini atmosferi (GPS meteorologija).

Slabosti GPS izmere pred klasičnimi geodetskimi postopki:

- točke GPS izmere se morajo nahajati na odprtem prostoru, kjer ni ovir za satelitski signal; (problematična so gosto pozidana in poraščena območja);
- GPS merska in programska oprema sta dražji od klasične geodetske opreme;
- položaji točk, pridobljeni s satelitsko tehniko, so določeni v terestričnem globalnem koordinatnem sistemu. Za položaj v državnem koordinatnem sistemu je potrebna transformacija;
- Z GPS opazovanji pridobimo elipsoidne višine točk. Za pridobitev ortometričnih višin potrebujemo podatke o geoidu. Za normalne višine potrebujemo model kvazigeoida;
- Problem vključevanja GPS izmere v manj natančne klasične terestrične geodetske mreže.

Sistem GPS se deli na naslednje tri komponente:

1. Vesoljski segment:

- niz satelitov v 6 orbitalnih ravninah z inklinacijo 55° (63° pri Block I);
- okoli Zemlje se sateliti gibljejo v skladu s Keplerjevimi zakoni;
- Sprejema in shranjuje podatke, ki jih pripravi kontrolna komponenta;
- Zagotavlja točen čas s pomočjo atomskih ur;
- Oddaja satelitski signal s potrebnimi informacijami;
- GPS sateliti se delijo na skupine/block-e (Block I, Block II, IIA, IIR, IIF);
- Vsak satelit je identificiran z dvema oznakama (SVN – Space Vehicle Number in s PRN –Pseudo Random Name).

2. Kontrolni segment:

- Sestavlja ga 5 kontrolnih postaj (glavna kontrolna postaja Colorado Springs ter kontrolne postaje Havaji, Ascension, Diego Garcia, Kwajalein);
- Kontrolni segment izvaja naloge telemetrije, izvajanje opazovanj v okviru sistema GPS, upravlja in nadzoruje sistem, izračunava efemeride satelitov, prenaša podatke do posameznih satelitov.

3. Uporabniški segment:

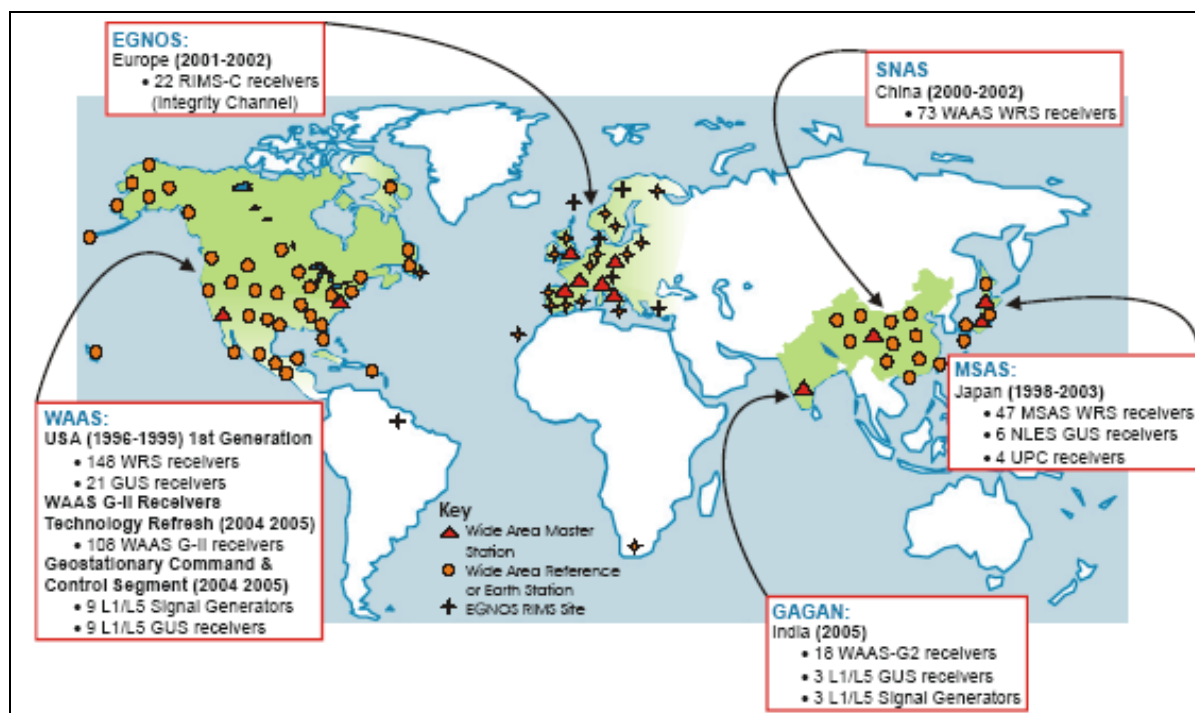
- Sestavljajo ga merska GPS oprema in uporabniki GPS sistema;
- Mersko GPS opremo sestavljajo strojna oprema, programska oprema ter postopki izmere.

2.5.1 Absolutna določitev položaja

Meritve izvajamo z enim samim sprejemnikom. Razdalje med sateliti in sprejemnikom so obremenjene s pogreški zaradi potovanja signala skozi atmosfero. Te zato niso prave in so imenovane psevdorazdalje.

Natančnost položaja je približno 10 metrov, višinska natančnost pa je dvakrat slabša. Za potrebe geodetskih nalog je ta natančnost preslaba.

Natančnost absolutne določitve položaja se lahko izboljša z uporabo sistemov, kot so WAAS (Wide Area Augmentation System – Severna Amerika, dosežena natančnost pod 7m), EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), MSAS na Japonskem, kitajski NSAS, GAGAN v Indiji.



Območja delovanja sistemov za izboljšanje absolutne metode GPS (vir: www.novatel.com)

2.5.2 Relativna določitev položaja (DGPS)

Pri relativni določitvi položaja oziroma pri uporabi diferencialnega GPS-a (DGPS) imamo en sprejemnik postavljen na baznem stojišču (točka z znanim položajem), z drugim

sprejemnikom pa določamo položaj nove točke. Oba sprejemnika istočasno sprejemata signale z istih satelitov. Na podlagi odstopanj med izračunanim in danim položajem baznega sprejemnika se določijo popravki psevdorazdalj med referenčnim sprejemnikom in sateliti. Ker sta referenčni in premični sprejemnik glede na oddaljenost satelitov relativno blizu, lahko popravke psevdorazdalj za referenčni sprejemnik uporabimo kot popravke za psevdorazdalje premičnega sprejemnika.

Natančnost DGPS-a je pod 1m. Višinska komponenta je dvakrat slabša.

Zaradi popravkov psevdorazdalj za ta opazovanja uporabljamo kodne enofrekvenčne sprejemnike. Popravke se lahko računa in sprejema tudi v realnem času preko RTCM-standarda (Radio Technical Commission for Maritime Services).

2.5.3 Fazna relativna določitev položaja

Določitev položaja temelji na osnovi faznih opazovanj in tvorjenju faznih razlik, s katerimi izločimo pogreške satelitovih ur (enojne fazne razlike), pogreške sprejemnikovih ur (dvojne fazne razlike), s kombinacijo opazovanj na frekvencah L1 in L2 odstranimo vpliv ionosfere. Uporabimo lahko najbolj točne efemeride (podatke o tirnicah satelitov). Za kakovost določitve položaja je zelo pomembna določitev neznanega števila celih začetnih valov. Metoda je zelo natančna, je edina prava geodetska metoda.

2.5.4 Statična metoda

Klasična izvedba fazne relativne izmere je statična metoda izmere. Opazovanja izvajamo istočasno z večjim številom sprejemnikov na večih točkah. Meritve na posamezni točki so dolgotrajne, čas je odvisen od zahtevane natančnosti, geometrične razporeditve satelitov in trenutnih merskih pogojev. Najbolj natančne meritve se opravljajo 48 ur in več, ob tem pa se izvajajo tudi meritve meteoroloških parametrov: temperature, relativne vlage in zračnega tlaka.

Opazovanja izvajamo v večih serijah, postavitve instrumentov v vsaki seriji morajo biti neodvisne. Meritve v serijah omogočajo izboljšanje natančnosti določitve položaja. Po opravljenih meritvah opazovanja vseh sprejemnikov v vseh serijah prenesemo v računalnik in jih v ustreznem programskem okolju obdelamo. Najprej določimo neznano število začetnih celih valov, nato določimo bazne vektorje, ki jih povežemo v mrežo. Opazovanja in neznanke v mreži se nato izravna po načelih izravnave opazovanj v geodeziji. Rezultati izravnave so koordinate novih točk.

2.5.5 Kinematična izmera, RTK metoda

Položaj nove točke z relativno metodo je možno določiti tudi v kinematičnem načinu. Princip je podoben kot pri DGPS, le da se tu ne računa popravkov psevdorazdalj, ampak izračun temelji na določitvi baznega vektorja med referenčnim in premičnim sprejemnikom. Komponente baznega vektorja so izračunane s skupno obdelavo faznih in kodnih opazovanj obeh sprejemnikov. Tudi tukaj je določitev števila celih začetnih valov zelo pomembna in jo

moramo izvesti pred začetkom izmere (inicializacija). Kvaliteta določitve položaja novih točk je odvisna ravno od kvalitete izvedene inicializacije.

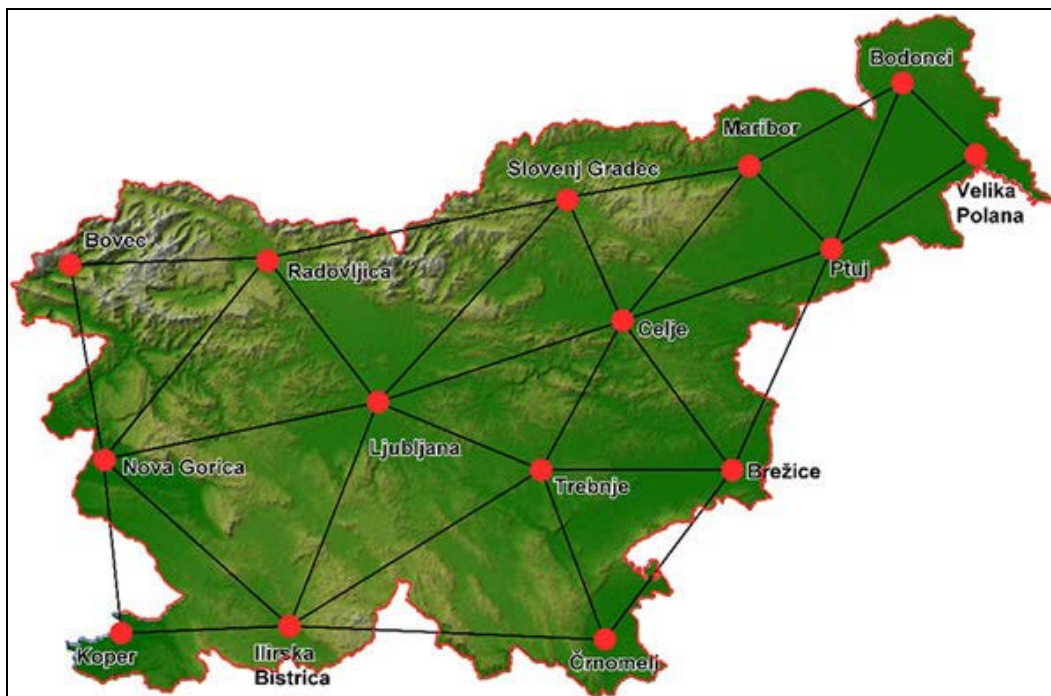
Rezultate izmere lahko pridobimo v realnem času, če je med sprejemnikoma vpostavljena stalna podatkovna povezava. Tej metodi rečemo RTK (Real Time Kinematics) metoda izmere. Namesto lastnega baznega sprejemnika lahko uporabimo podatke stalne referenčne postaje. Natančnost določitve položaja se z oddaljenostjo slabša, zato razdalja med baznim in premičnim sprejemnikom naj ne bi bila večja od 20 km.

2.5.6 Mrežni koncepti, VRS

Razvoj na področju GPS tehnologije danes omogoča izvajanje geodetskih meritev s samostojnim sprejemnikom. Kot bazni sprejemnik se uporabi ena izmed permanentnih GPS-postaj. Pogoj za nemoteno delo je bližina uporabnika vsaj eni izmed permanentnih postaj.

Omrežje permanentnih postaj GPS je del temeljne državne geoinformacijske infrastrukture, namenjene geodeziji in navigaciji. Tvori ga 15 delujočih permanentnih postaj, in sicer v Ljubljani, Mariboru, Črnomlju, Bovcu, Bodoncih, Brežicah, Celju, Ilirski Bistrici, Kopru, Novi Gorici (Bilje), Ptuj, Radovljici, Slovenj Gradcu, Trebnjah in Veliki Polani, ki so komunikacijsko povezane s centrom Službe za GPS v Ljubljani.

Omrežje je poimenovano s kratico SIGNAL (SI-Geodezija-NAvigacija-Lokacija). Za centralni nadzor njegovega delovanja skrbi Služba za GPS.



Omrežje permanentnih GPS postaj SIGNAL (vir: www.gu-signal.si)

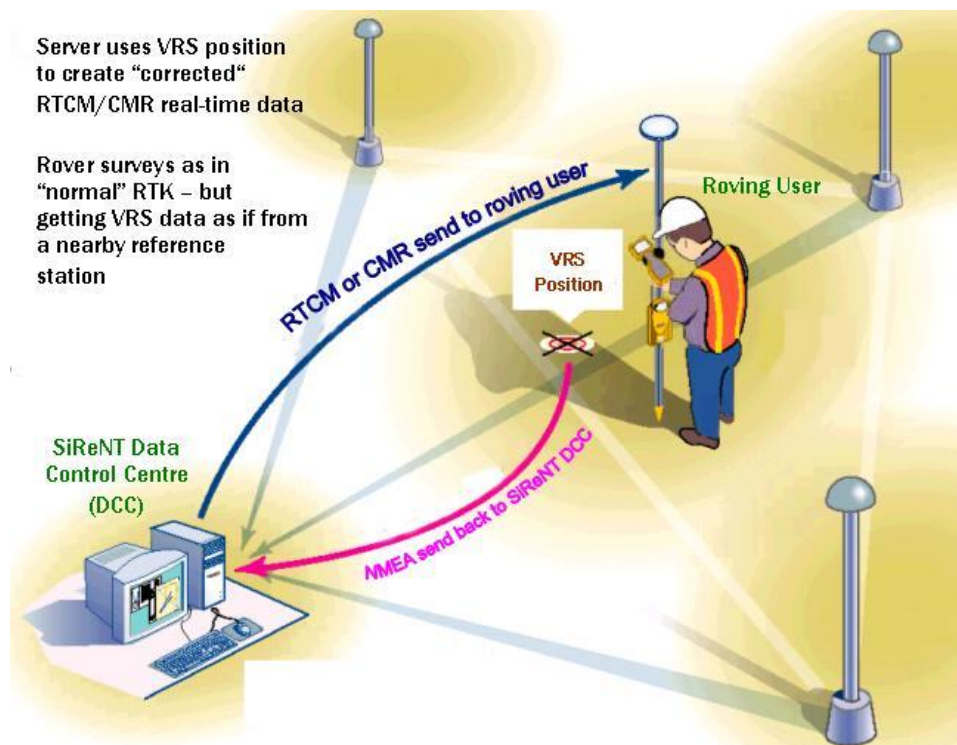
Problem permanentnih postaj se pojavi, ko je uporabnik od najbližje postaje oddaljen več kot 20 km. Meritve ne dosegajo več željene kvalitete. V Sloveniji omrežje permanentnih postaj ni tako gosto, da bi uporabnik vedno bil od najbližje postaje oddaljen manj kot 20 km.

Problem gostote omrežja permanentnih GPS postaj je rešen z mrežnimi koncepti. Naloga mrežnih konceptov je zmanjšati gostoto permanentnih postaj v omrežju, kar se doseže s skupno obravnavo podatkov opazovanj vseh postaj v omrežju.

V uporabi sta predvsem koncepta FKP (Flächenkorrekturparameter) in koncept navideznih referenčnih postaj VRS (Virtual Reference Stations). Slednji deluje v okviru SIGNAL-a tudi v Sloveniji ter sem ga zato v diplomski nalogi uporabil tudi jaz.

Oba mrežna koncepta temeljita na primerjavi danih koordinat z merjenimi koordinatami referenčnih postaj. Neznano število celih valov je določeno za vsak trenutek opazovanj. Odstopanja položajev permanentnih postaj določajo ploskev popravkov za obravnavano območje. Popravki za položaj sprejemnika so nato določeni z interpolacijo. Pri FKP interpolacijo izvede sprejemnik.

Pri konceptu VRS se v bližini uporabnikovega sprejemnika vzpostavi navidezna referenčna postaja, ki se obnaša kot dejanska permanentna postaja. Zinterpolirani popravki so opazovanjem VRS referenčne postaje že dodani, tako da sprejemnik VRS referenčno postajo obravnava kot pravo referenčno postajo.



Koncept VRS RTK izmere (vir: www.sirent.inlis.gov.sg)

Uporaba VRS mrežnega koncepta je za uporabnika zelo enostavna. Uporabnik na terenu s samostojnim premičnim GPS sprejemnikom (roverjem) s pritiskom gumba v svoji bližini »vzpostavi« navidezno referenčno postajo in že lahko izvaja meritve.

Ker je VRS relativno mlad, mora uporabnik imeti novejši model GPS sprejemnika, ki ga podpira. Pravtako mora biti zagotovljena stalna povezava s centrom SIGNAL. Sprejemnik mora omogočati pošiljanje NMEA-stavka glede svojega približnega položaja.

Zaenkrat je VRS koncept brezplačen, vendar mora biti uporabnik za to storitev prijavljen. Pred vsako uporabo se mora v sistem prijaviti z uporabniškim imenom in geslom. Podatke navidezne referenčne postaje lahko sprejema direktno preko GSM-a, za prenos podatkov lahko uporabi tudi internet. V tem primeru mora sprejemnik podpirati NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protokol) protokol, imeti pa mora tudi GPRS kartico za prenos podatkov. Razlika med obema načinoma je v tem, da se pri GSM dostopu plačujejo impulzi (čas trajanja telefonske povezave z GPS centrom), medtem ko pri NTRIP-u plačujemo le količino prenešenih podatkov. Čeprav je GSM dostop dražji, pa v času dnevnih konic zagotavlja boljšo povezavo od NTRIP protokola.

V diplomski nalogi sem uporabil GSM dostop.

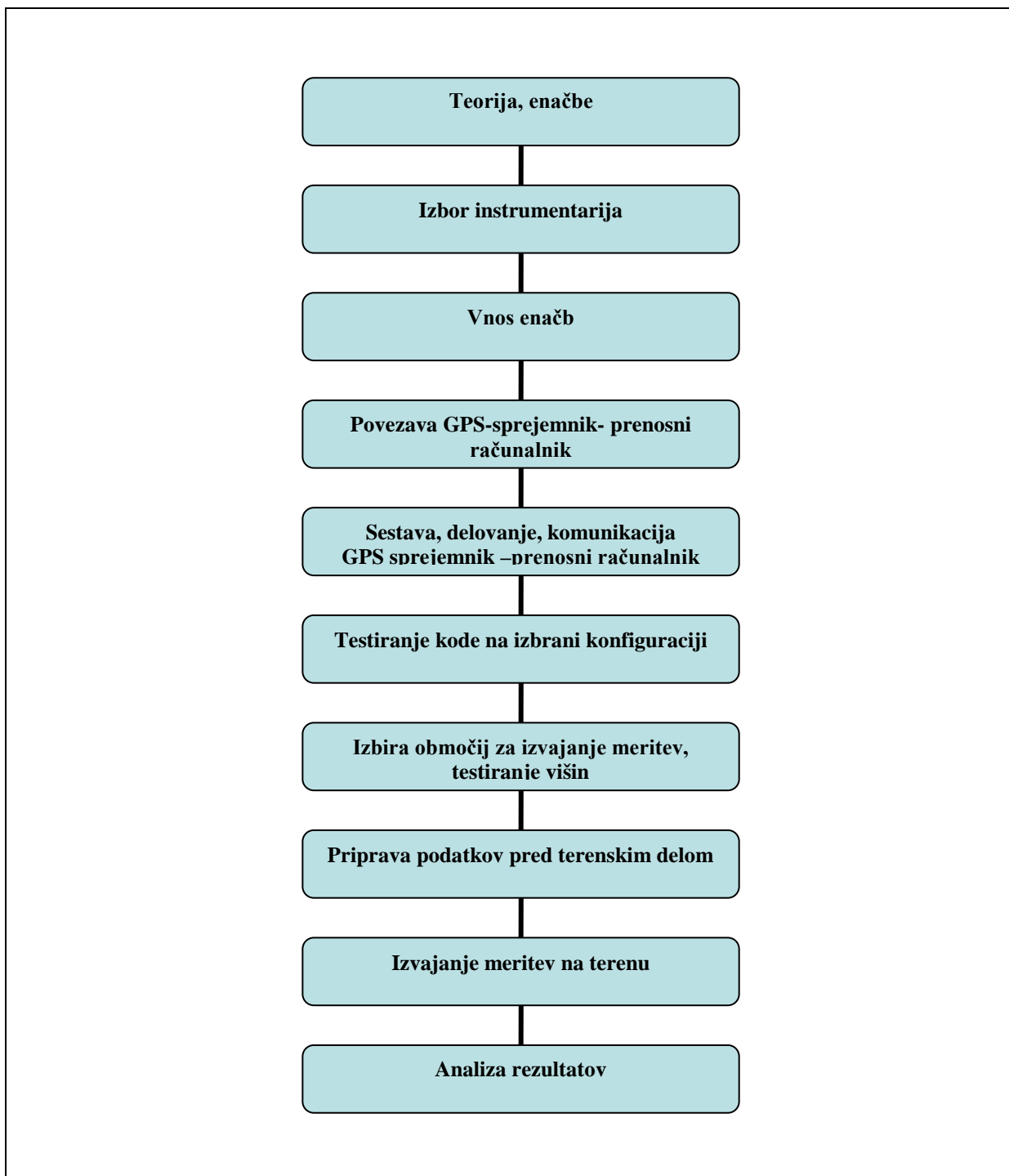
2.6 RTK določitev ortometrične višine preko ploskve geoida

Idejni postopek:

1. Izberemo si 4 točke (lahko tudi več) z znanimi GK-koordinatami ter znanimi ortometričnimi višinami v državnem višinskem KS. Z GPS-sprejemnikom na teh točkah pridobimo elipsoidno višino h . Sedaj lahko izračunamo geoidne višine teh točk ($N = h - H$).
2. Za območje, katerega obod določajo 4 točke iz prejšnje alineje, lahko izračunamo ravnino geoida (ploskev geoida) ter tudi transformacijske parametre (jih potrebujemo za direktno RTK izmero).
3. Za 4 obodne točke lahko pridobimo geoidne višine tudi z bilinearno interpolacijo iz absolutnega geoida Slovenije. Tako lahko naredimo primerjavo interpoliranih geoidnih višin z geoidnimi višinami, določenimi v 1. alineji.
4. Nato se postavimo na poljubno točko znotraj oboda (v diplomski nalogi na dane točke / dana H /). Za vsako točko lahko pridobimo (s pomočjo predhodno izračunanih transformacijskih parametrov) GK-koordinate, te pa potem uporabimo za izračun geoidne višine za trenutno točko (iz enačbe geoida, določene v alineji 2). Ker pa za trenutno točko pridobimo tudi elipsoidno višino, lahko z enačbo $H = h - N$ pridobimo ortometrično višino. S pomočjo zakona o prenosu varianc in kovarianc lahko izračunamo tudi natančnost tako pridobljene ortometrične višine.

5. Na koncu lahko primerjamo dane ortometrične višine in natančnosti danih točk z ortometričnimi višinami in pripadajočimi natančnostmi, izračunanimi preko enačbe lokalnega geoida.

Celoten postopek določitve ortometrične višine v realnem času preko ploskve lokalnega geoida prikazuje spodnji diagram.



Slika 5: Diagram RTK določitve ortometrične višine preko ploskve lokalnega geoida

Celotna diplomska naloga temelji na RTK-izmeri. Namreč določitev višin z metodo RTK preko ploskve geoida me je zanimala že v osnovi.

3 IZBOR INSTRUMENTARIJA

Pri izbiri instrumentarija sem upošteval dejstvo, da me je že v osnovi naloge zanimala najboljša dosežena natančnost ortometričnih višin po metodi RTK.

3.1 Izbrani instrument

Za nalogo sem izbral geodetski, dvofrekvenčni GPS-sprejemnik Leica 1200. Sprejemnik mi je za potrebe terenskih meritev posodilo podjetje Geoservis.



Sistem Leica GPS1200 (vir: www.leica-geosystems.com)

Pri RTK metodi sprejemnik dosega običajno standardno centimetersko natančnost. Ker se po zakonu o prenosu varianc in kovarianc variance skladno večajo s številom korakov v postopku, sem težil k temu, da bi, če bi le bilo možno, meritve izvajal z uporabo omrežja permanentnih postaj. S tem bi odpadla možnost pogreškov, ki bi nastali ob postavljanju lastne baze na terenu. Pogreški pri postavljanju lastnega baznega stojišča so lahko naslednji: pogrešek centriranja sprejemnika na stativu; pogrešek višine sprejemnika; neznane ali slabo določene standardne deviacije znanih koordinat točke, na kateri stoji sprejemnik, ...

Ob uporabi omrežja permanentnih postaj, v našem primeru sistema VRS, možnost pogreškov z naše strani ob postavitvi baznega stojišča odpade.

3.2 Opis sprejemnika

Leicin sistem GPS1200 sestavljajo naslednje komponente:

- sprejemnik GX1230/GTX1230;
- antena AX1202/SmartAntenna ATX1230;
- terminal (kontroler) RX1210;
- GSM-modem.

GPS-sprejemnik sprejema in obdeluje signale s satelitov. Poleg te elektronike vsebuje še baterije, pomnilnik ter razne izhode za povezavo z zunanji napravami, kot so antena, radio, GSM-modem, kontroler,...

Kontroler omogoča posredovanje informacij uporabnik-sprejemnik.
Celoten sistem GPS1200 lahko s posebnim nastavkom nosimo na palici z anteno.

Za meritve na terenu sem uporabil sprejemnik GX1230, ker ima ta tip sprejemnika možnost komuniciranja z ostalimi napravami preko serijskega porta (vmesnika). Uporabljena antena je bila AX1202.

Preglednica 1: *Sprejemnik Leica GX1230:*

Tip sprejemnika	dvofrekvenčni, podpira VRS/FKP
GPS tehnologija	*SmartTrack
Število kanalov	12L1 +12L2/EGNOS/WAAS
RTK	DA
DGPS+ EGNOS/WAAS	DA
Antena	SmartTrack AX1202
Porti (vmesniki)	3 serijski, 1 kontroler port, 1 port za anteno, 1 port za eksterno napajanje
Natančnost	Horizontalno: 10 mm + 1 ppm, kinematic Vertikalno: 20 mm + 1 ppm, kinematic Horizontalno: 5 mm + 0.5 ppm, static Vertikalno: 10 mm + 0.5 ppm, static Za dolge linije vektorje z daljšim časom opazovanja Horizontalno: 3 mm + 0.5 ppm, static Vertikalno: 6 mm + 0.5 ppm, static
Frekvenca obnavljanja položaja	Od 0.05 sekunde (20Hz) do 60 sekund. Latenca manjša od 0.03 sekunde.
Formati za prenos in sprejem	Leica proprietary, CMR, CMR+, RTCM V2.1/2.2/2.3/3.0.
NMEA izhod	NMEA 0183 V2.20 and Leica proprietary.
Inicializacija	Običajno 8 sekund.
Teža	Sprejemnik 1.20 kg; terminal (RX1210) 0.48 kg; antena 0.44 kg; baterija 0.19 kg; Vse skupaj na palici iz karbonskih vlaken (sprejemnik, baterija, radio modem in antena, terminal, SmartTrack antena) 3.60 kg

*SmartTrack (čas po zagonu, ki je potreben, da sprejemnik začne spremljati vse vidne satelite, je približno 50 sekund; ponovno spremljanje satelitov po vmesni izgubi signala »loss of lock« je 1 sekunda. Visoka občutljivost na signale, zaznava šibke signale v težkih pogojih. Pridobi več kot 99 % možnih opazovanj nad 10° nad horizontom. Majhen šum. Redukcija multipatha. »Jamming resistant«.)

4 POVEZAVA GPS SPREJEMNIK – PRENOSNI RAČUNALNIK

Večina GPS sprejemnikov komunicira z zunanji napravami, kot je osebni računalnik, preko serijskega vmesnika. Tudi Leicin sistem GPS1200 uporablja takoimenovani »COM port«.

Današnji novejši prenosni računalniki (laptop) večinoma nimajo več serijskega vmesnika. Tudi meni se je pripetilo, da izposojen laptop ni imel serijskega izhoda. Problem sem rešil s pretvornikom »USB to COM«. Ta pretvornik, priključen na USB-port, v računalniku ustvari serijski vmesnik z vsemi njegovimi lastnostmi. V mojem primeru je pretvornik ustvaril vmesnik COM4.

GPS-sprejemnik ter prenosni računalnik povežemo s serijskim kablom. Večinoma se serijski kabli za GPS razlikujejo od običajnih serijskih kablov.



Slika 6 : Običajni 9-pinski serijski kabel



Slika 7, slika 8 : Povezana strojna oprema v vsej svoji lepoti

Pri povezavi je zelo pomembno, da uskladimo prenos podatkov.

Spodnji stavek iz Matlaba uporabimo za inicializacijo serijskega vmesnika osebnega računalnika, preko katerega bomo komunicirali z GPS-sprejemnikom:

```
s=serial('COM4','Baudrate',115200,'Parity','none','DataBits',8,'StopBits',1,'Terminator','CR/LF');
```

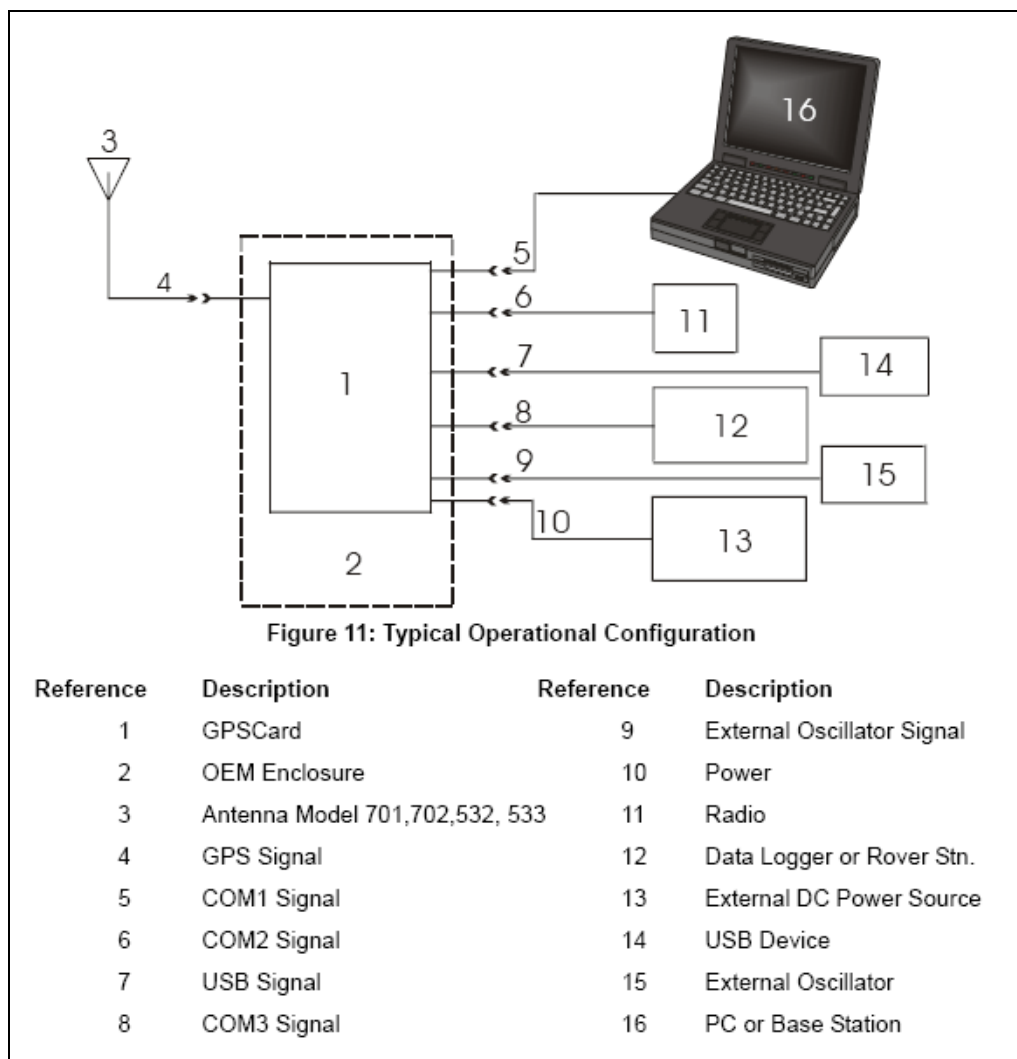
Komunikacija poteka prek vmesnika COM4 s hitrostjo 115200 b/s in s parametri:

- Parity: none;
- Data bits: 8;
- Stop bits: 1.

Pri nastavitvi te hitrosti moramo biti pazljivi, tako da bi bila ta vedno usklajena s hitrostjo oddajanja NMEA-stavkov iz GPS-sprejemnika. Nastavitve prenosa za GPS-sprejemnik je najboljšje narediti kar z obstoječim softverom v terminalu.

Če sprejemnik pošilja na svoj serijski vmesnik podatke s hitrostjo 38400 bitov/sekundo, osebni računalnik pa jih sprejema s hitrostjo 19600 bitov/sekundo, potem se določen del podatkov konstantno izgublja, računalnikov pomnilnik pa se čez čas preveč napolni in računalnik začasno preneha delovati.

5 RAZUMEVANJE SESTAVE, DELOVANJA IN KOMUNIKACIJE SPREJEMNIK-LAPTOP, PROTOKOL OWI



Shema GPS sprejemnika (vir: www.novatel.com)

GPS-sprejemnik na grobo sestavljajo GPS-kartica(board/engine), vir energije (baterije), pomnilnik (shranjevanje podatkov), antena....

Srce vsakega sprejemnika je GPS kartica, ki omogoča sprejemanje satelitskih signalov. V našem primeru je to Novatelova GPS-kartica iz družine OEM GPS kartic. Takšne kartice same po sebi ne vedo, kaj naj s sprejetimi podatki s satelitov. Proizvajalci so zato v njih vgradili možnost komuniciranja preko command in log stavkov.

Firma Leica za komuniciranje z GPS-kartico uporablja dva avtorsko zaščitena protokola. Prvi je ASCII protokol OWI (Outside World Interface), katerega sem pri komunikaciji s sprejemnikom uporabljal tudi sam. Drugi pa je binarni protokol LB2 (Leica Binary 2 Interface).

NMEA je že uveljavljen ASCII format, s katerim lahko iz GPS-sprejemnika pridobivamo mnogo upravnih GPS-sporočil. Vendar pa NMEA uporabnikom ne zagotavlja vseh potrebnih podatkov.

Leica je zato s svojim protokolom OWI uporabila NMEA standard in ga razširila z dodatnimi sporočili, ki so bili zahtevani s strani uporabnikov. OWI ASCII standard si lahko torej predstavljamo kot razširitev že dobro sprejetega in uveljavljenega NMEA standarda.

Vsako ASCII sporočilo se začne s predpono, ki je lahko:
\$GP???, za NMEA sporočila;
\$PLEI?,??? za OWI.

Normalno NMEA sporočilo izgleda takole:
\$GPGLL,3723.454333,N,12202.269667,W,151933,A*3E<CR><LF>

Za Leicin OWI protokol se uporablja naslednja okrajšava:
\$PLEI : Proprietary (P) Leica (LEI).

Izmenjava sporočil med senzorjem in zunanjo napravo je sledeča. Informacije iz senzorja pridobimo z ukazom (command) Query \$PLEIQ,???,....

Primer: Za pridobitev položaja v geodetskih koordinatah na trenutno uporabljenem portu sprejemnika s hitrostjo enkrat na sekundo moramo senzorju poslati naslednje sporočilo: \$PLEIQ,POS,0,4,0*39<CR><LF>

Senzor povpraševalno sporočilo sprejme in odgovori, tako da na port pošlje naslednje acknowledgement (potrditveno) sporočilo (\$PLEIR: R pomeni Response oziroma odgovor)
\$PLEIR,ACK,POS,0*5B<CR><LF>

'0' v zgornjem sporočilu se imenuje flag (zastavica) in nam pove, da je bila zahteva po podatku o višini antene pravilno sprejeta. Zastavic je več vrst (0, 1, 2, 3, ...). Povedo nam, kakšna je napaka, če ta obstaja.

Zatem pošlje zahtevano sporočilo:
\$PLEIR,POS,101259.00,250497,.....*hh<CR><LF>

Notranje nastavitve sprejemnika/senzorja lahko nastavljamo, če mu pošljemo sporočilo (imenovano Set command sporočilo) v naslednjem formatu:

\$PLEIS,???,...

Primer: Da v senzorju nastavimo višino antene na 1.995 metra, moramo na port poslati naslednje sporočilo:
\$PLEIS,AHT,0,1.995,0*34<CR><LF>

Trenutne nastavitve senzorja lahko povprašujemo s pošiljanjem Query ukaza \$PLEIQ,???,....
Naprimera, če nas zanima trenutno nastavljena višina antene v senzorju, na port pošljemo naslednje sporočilo:
\$PLEIQ,AHT,0,200,0*2E<CR><LF>

Vsako poslano sporočilo senzorju in vsako sprejeto sporočilo od senzorja vsebuje oziroma mora na koncu sporočila za znakom '*' vsebovati dvomestno polje, imenovano checksum. Checksum skrbi za integriteto podatkov, ko se ti prenašajo preko serijskega kabla.

Checksum se izračuna po posebnem postopku (8-bit exclusive OR (XOR) [no start and stop bits]) iz vseh črk sporočila. Na koncu se pretvori v dvomestno ASCII polje.

To pomeni, da moramo načeloma za vsako različno poslano sporočilo izračunati nov checksum. Za izračun checksuma sem uporabljal programček, ki ga je napisal g. Grega Bilban.

OWI protokol zahteva, da na koncu vsakega sporočila dodamo "<CR><LF>".
<CR> je oznaka za ASCII kodo 13 oziroma "Carriage return" in <LF> za "linefeed" (ASCII koda 10)

"<CR><LF>" je enako, kot če bi na koncu niza poslali še "Enter".

V Matlabu se stvar elegantno reši že pri nastavitvi serijskega porta:

```
s=serial('COM4','Baudrate',115200,'Parity','none','DataBits',8,'StopBits',1,'Terminator','CR/LF');
```

'Terminator','CR/LF' poskrbi, da vsa poslana sporočila na koncu dobijo "<CR><LF>".

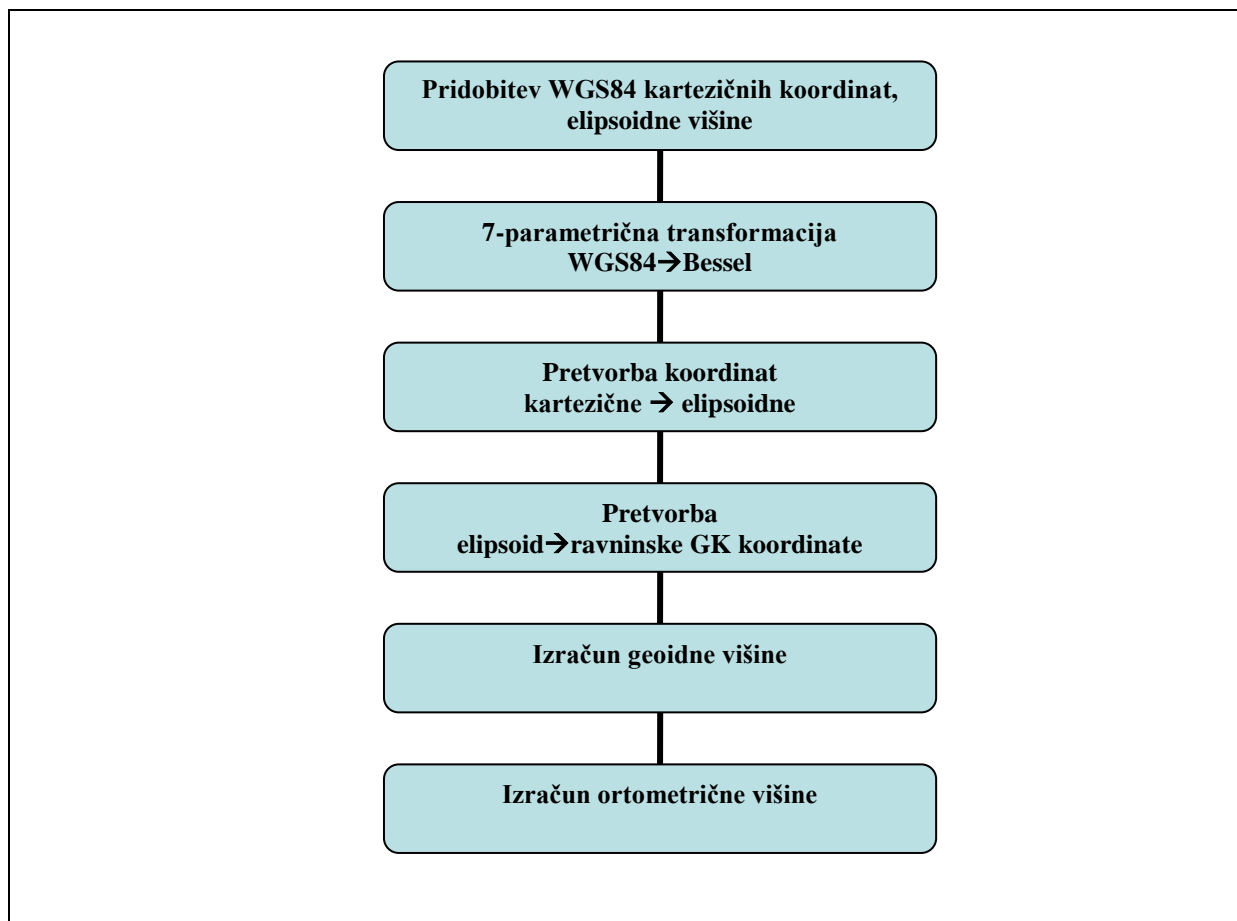
6 VNOS ENAČB V PROGRAM (MATLAB)

Zaradi znanih težav pri pisanju lastnih programčkov, ki bi ti potem delovali v Windows okolju CE, je bila izbira že obstoječega programskega paketa Matlab najbolj logična. Za uporabo Matlaba je zato potrebno na GPS-sprejemnik namesto kontrolerja povezati prenosni računalnik z operacijskim sistemom Windows za osebne računalnike.

V Matlabu lahko vsakdo z osnovnim znanjem programiranja hitro in enostavno izdela svoj lasten program. Računanje matrik je enostavno; povezava na zunanje naprave, kot je GPS-sprejemnik, je enostavna; vsebuje že ogromno knjižnico ukazov...

V svoji nalogi sem enačbe pisal v navadnem urejevalniku besedil (Notepad), ki sem jih nato kopiral v Matlab. Kodo sem sprotno testiral ob testnih podatkih.

Postopek izračuna ortometrične višine v programskem okolju Matlab prikazuje spodnji diagram.



Slika 9 : Diagram izračuna ortometrične višine v programskem okolju Matlab

6.1 Pridobitev potrebnih podatkov, količin

Za potrebe diplomske naloge moram na terenu iz terminala pridobiti WGS84 kartezične koordinate, WGS84 elipsoidno višino ter njihove standardne deviacije.

V OWI protokolu za pridobivanje koordinat uporabimo naslednji stavek:

\$PLEIQ,POS...

Tip koordinatnega sistema določajo dodatni parametri, ki jih uporabimo pri stavku.

Najprej definiramo in odpremo serijski vmesnik za prenos podatkov.

Z naslednjim stavkom nastavimo terminalov serijski vmesnik, da se ta ujema z vmesnikom na osebem računalniku.

Oddajanje WGS84 kartezičnih koordinat s standardnimi deviacijami nastavimo s stavkom \$PLEIQ,POS...

Leicin GPS sprejemnik oddaja željeno vrsto stavkov, dokler mu ne povemo, da tega ne želimo več. Na serijski vmesnik mu moramo poslati sporočilo, s katerim ustavimo oddajanje istega stavka.

Po končanem branju stavkov serijski vmesnik zapremo.

6.2 7-parametrična transformacija

7-parametrična transformacija omogoča prehod iz pravokotnega kartezičnega sistema A v pravokotni kartezični sistem B. Za geodete v Sloveniji je najbolj aktualna transformacija iz WGS84 kartezičnih koordinat v pravokotne kartezične koordinate za Besselov elipsoid.

Vektor translacije med izhodiščema obeh koordinatnih sistemov:

$$T = [dX; dY; dZ];$$

Vektor WGS84 kartezičnih koordinat:

$$x_{WGS84} = [X; Y; Z];$$

Rotacijska matrika za rotacijo okrog Z-osi:

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos(wz) & \sin(wz) & 0 \\ -\sin(wz) & \cos(wz) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Rotacijska matrika za rotacijo okrog Y-osi:

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos(wy) & 0 & -\sin(wy) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(wy) & 0 & \cos(wy) \end{bmatrix};$$

Rotacijska matrika za rotacijo okrog X-osi:

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(wx) & \sin(wx) \\ 0 & -\sin(wx) & \cos(wx) \end{bmatrix};$$

Skupna rotacijska matrika okrog vseh treh osi (X,Y,Z):

$$R=Rz * Ry * Rx ;$$

Enačba 7-parametrične transformacije:

$$xbessel=T+(1+m) * R * x_{WGS84} ;$$

Xbessel je že transformirani vektor

$$\begin{aligned} X &=xbessel(1) ; \\ Y &=xbessel(2) ; \\ Z &=xbessel(3) ; \end{aligned}$$

Pri sami transformaciji me zanima natančnost pridobljenih, transformiranih Besselovih kartezičnih koordinat X,Y,Z.

Za določitev natančnosti moramo najprej izračunati parcialne odvode Besselovih kartezičnih koordinat po WGS84 koordinatah.

Parcialni odvodi Besselove pravokotne kartezične koordinate X:

$$dX_{Xb} = (1+m) * \cos(wz) * \cos(wy) ; \quad \%odvodi \text{ funkcije } Xb :$$

$$dY_{Xb} = (1+m) * (\sin(wz) * \cos(wx) + \cos(wz) * \sin(wy) * \sin(wx)) ;$$

$$dZ_{Xb} = (1+m) * (\sin(wz) * \sin(wx) - \cos(wz) * \sin(wy) * \cos(wx)) ;$$

Varianca Besselove pravokotne kartezične koordinate X:

$$varXb=dX_{Xb} * dX_{Xb} * (\sigma_X * \sigma_X) + dY_{Xb} * dY_{Xb} * (\sigma_Y * \sigma_Y) + dZ_{Xb} * dZ_{Xb} * (\sigma_Z * \sigma_Z) ;$$

Parcialni odvodi Besselove pravokotne kartezične koordinate Y:

$$dX_{Yb} = -(1+m) * \sin(wz) * \cos(wy) ; \quad \%odvodi \text{ funkcije } Yb :$$

$$dY_{Yb} = (1+m) * (\cos(wz) * \cos(wx) - \sin(wz) * \sin(wy) * \sin(wx)) ;$$

$$dZ_{Yb} = (1+m) * (\cos(wz) * \sin(wx) + \sin(wz) * \sin(wy) * \cos(wx)) ;$$

Varianca Besselove pravokotne kartezične koordinate Y:

$$varYb=dX_{Yb} * dX_{Yb} * (\sigma_X * \sigma_X) + dY_{Yb} * dY_{Yb} * (\sigma_Y * \sigma_Y) + dZ_{Yb} * dZ_{Yb} * (\sigma_Z * \sigma_Z) ;$$

Parcialni odvodi Besselove pravokotne kartezične koordinate Z:

$$dX_{Zb} = (1+m) * \sin(wy) ;$$

$$dY_{Zb} = -(1+m) * \cos(wy) * \sin(wx) ;$$

$$dZ_{Zb} = (1+m) * \cos(wy) * \cos(wx) ;$$

Varianca Besselove pravokotne kartezične koordinate Z:

$$varZb=dX_{Zb} * dX_{Zb} * (\sigma_X * \sigma_X) + dY_{Zb} * dY_{Zb} * (\sigma_Y * \sigma_Y) + dZ_{Zb} * dZ_{Zb} * (\sigma_Z * \sigma_Z) ;$$

Standardne deviacije transformiranih Besselovih kartezičnih koordinat:

```
sigma_X=sqrt(varXb);  
sigma_Y=sqrt(varYb);  
sigma_Z=sqrt(varZb);
```

6.3 Pretvorba kartezičnih koordinat v elipsoidne

Pridobljene pravokotne kartezične koordinate na Besselovem elipsoidu moramo pred samo projekcijo v državni koordinatni sistem pretvoriti v elipsoidne koordinate.

Spodaj sledi postopek izračuna ϕ in λ na Besselovem elipsoidu.

Parametri Besselovega elipsoida:

```
a=6377397.155;  
b=6356078.963;  
e=0.08169683;  
ei=0.081970841;
```

Izračun ϕ in λ :

```
p=sqrt((X*X)+(Y*Y));  
omega=atan((Z*a)/(p*b));  
fi=atan((Z+(ei*ei)*b*(sin(omega))*(sin(omega))*(sin(omega)))/(p-(e*e)*a*(cos(omega))*(cos(omega))*(cos(omega)))));  
lam=atan(Y/X);
```

Za izračun natančnosti pridobljenih elipsoidnih koordinat ponovno izračunamo parcialne odvode.

Parcialni odvod funkcije ϕ po Besselovi kartezični koordinati X:

```
dX_fi=((-  
3*ei^2*Z^3*a^3/(X^2+Y^2)^(5/2)/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2)/b^2*X+3*ei^2  
*Z^5*a^5/(X^2+Y^2)^(7/2)/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(5/2)/b^4*X)/((X^2+Y^2)^(  
1/2)-e^2*a/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2))-  
(Z+ei^2*Z^3*a^3/(X^2+Y^2)^(3/2)/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2)/b^2)/((X^2+  
Y^2)^(1/2)-e^2*a/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2))^2*(1/(X^2+Y^2)^(1/2)*X-  
3*e^2*a^3/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(5/2)*Z^2/(X^2+Y^2)^2/b^2*X))/(1+(Z+ei^  
2*Z^3*a^3/(X^2+Y^2)^(3/2)/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2)/b^2)^2/(X^2+Y^2)  
^(1/2)-e^2*a/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2))^2);
```

Parcialni odvod funkcije ϕ po Besselovi kartezični koordinati Y:

```
dY_fi=((-  
3*ei^2*Z^3*a^3/(X^2+Y^2)^(5/2)/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2)/b^2*Y+3*ei^2  
*Z^5*a^5/(X^2+Y^2)^(7/2)/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(5/2)/b^4*Y)/((X^2+Y^2)^(  
1/2)-e^2*a/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2))-  
(Z+ei^2*Z^3*a^3/(X^2+Y^2)^(3/2)/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2)/b^2)/((X^2+  
Y^2)^(1/2)-e^2*a/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2))^2*(1/(X^2+Y^2)^(1/2)*Y-  
3*e^2*a^3/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(5/2)*Z^2/(X^2+Y^2)^2/b^2*Y))/(1+(Z+ei^  
2*Z^3*a^3/(X^2+Y^2)^(3/2)/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2)/b^2)^2/(X^2+Y^2)  
^(1/2)-e^2*a/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^(3/2))^2);
```

Parcialni odvod funkcije ϕ po Besselovi kartezični koordinati Z:

$$\begin{aligned} dZ_{fi} = & ((1+3*ei^2*Z^2*a^3/(X^2+Y^2)^{(3/2)})/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^{(3/2)}/b^2 - \\ & 3*ei^2*Z^4*a^5/(X^2+Y^2)^{(5/2)})/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^{(5/2)}/b^4) / ((X^2+Y^2)^{(1/2)} - \\ & e^2*a/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^{(3/2)}) - \\ & 3*(Z+ei^2*Z^3*a^3/(X^2+Y^2)^{(3/2)})/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^{(3/2)}/b^2) / ((X^2+Y^2)^{(1/2)} - \\ & e^2*a/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^{(3/2)})^2 * e^2*a^3/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^{(5/2)} * \\ & Z/(X^2+Y^2)/b^2) / (1+(Z+ei^2*Z^3*a^3/(X^2+Y^2)^{(3/2)})/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^{(3/2)}/b^2)^2 / \\ & ((X^2+Y^2)^{(1/2)} - e^2*a/(1+Z^2*a^2/(X^2+Y^2)/b^2)^{(3/2)})^2); \end{aligned}$$

Varianca Besselove elipsoidne koordinate ϕ :

$$varfi = (dX_{fi} * dX_{fi} * \sigma_X * \sigma_X) + (dY_{fi} * dY_{fi} * \sigma_Y * \sigma_Y) + (dZ_{fi} * dZ_{fi} * \sigma_Z * \sigma_Z);$$

Standardna deviacija Besselove elipsoidne koordinate ϕ :

$$\sigma_{fi} = \text{sqrt}(varfi);$$

Parcialni odvod funkcije λ po Besselovi kartezični koordinati X:

$$dX_{lam} = -Y/X^2 / (1+Y^2/X^2);$$

Parcialni odvod funkcije λ po Besselovi kartezični koordinati Y:

$$dY_{lam} = 1/X / (1+Y^2/X^2);$$

Parcialni odvod funkcije λ po Besselovi kartezični koordinati Z:

$$dZ_{lam} = 0;$$

Varianca Besselove elipsoidne koordinate λ :

$$varlam = (dX_{lam} * dX_{lam} * \sigma_X * \sigma_X) + (dY_{lam} * dY_{lam} * \sigma_Y * \sigma_Y);$$

Standardna deviacija Besselove elipsoidne koordinate λ :

$$\sigma_{lam} = \text{sqrt}(varlam);$$

6.4 Projekcija iz elipsoida v državno Gauss-Kruegerjevo projekcijo

Ko imamo Besselove elipsoidne koordinate, sledi pretvorba v državni koordinatni sistem.

Izračun GK-koordinat x in y:

$$\begin{aligned} a &= 6377397.155; \\ e &= \text{sqrt}(0.006674372); \\ ei &= \text{sqrt}(0.006719219); \\ m0 &= 0.9999; \\ B0 &= 5000000/m0; \\ K1 &= 6366742.527; \\ K2 &= 15988.632; \\ K3 &= 16.728; \end{aligned}$$

```
K4=0.022;  
  
Ni=a/((1-e*e*(sin(fi))^2)^(1/2));  
  
Ti=tan(fi)*tan(fi);  
  
Ci=ei*ei*cos(fi)*cos(fi);  
  
lam=lam*180/pi;  
Ai=cos(fi)*(lam-15)*pi/180;  
lam=lam*pi/180;  
  
Bi=K1*fi-K2*sin(2*fi)+K3*sin(4*fi)-K4*sin(6*fi);  
  
x=m0*(Bi-B0+Ni*tan(fi)*((Ai*Ai)/2+(5-  
Ti+9*Ci+4*(Ci*Ci))*(Ai*Ai*Ai*Ai)/24+(61-58*Ti+Ti*Ti+600*Ci-  
330*ei*ei)*Ai*Ai*Ai*Ai*Ai/720));  
  
yi=m0*Ni*(Ai+(1-Ti+Ci)*Ai*Ai*Ai/6+(5-18*Ti+Ti*Ti+72*Ci-  
58*ei*ei)*Ai*Ai*Ai*Ai/120);  
y=yi+500000;
```

Ker me zanima natančnost izračunanih GK-koordinat, moram izračunati odvode GK-koordinat x in y po ϕ in λ .

Parcialni odvod funkcije x po ϕ :

```
dphi_x=m0*(K1-2*K2*cos(2*fi)+4*K3*cos(4*fi)-6*K4*cos(6*fi)+a/(1-  
e^2*sin(fi)^2)^(3/2)*tan(fi)*(1/64800*cos(fi)^2*(180*lam/pi-  
15)^2*pi^2+1/25194240000*(5-  
tan(fi)^2+9*ei^2*cos(fi)^2+4*ei^4*cos(fi)^4)*cos(fi)^4*(180*lam/pi-  
15)^4*pi^4+1/24488801280000000*(61-  
58*tan(fi)^2+tan(fi)^4+600*ei^2*cos(fi)^2-330*ei^2)*cos(fi)^6*(180*lam/pi-  
15)^6*pi^6)*e^2*sin(fi)*cos(fi)+a/(1-  
e^2*sin(fi)^2)^(1/2)*(1+tan(fi)^2)*(1/64800*cos(fi)^2*(180*lam/pi-  
15)^2*pi^2+1/25194240000*(5-  
tan(fi)^2+9*ei^2*cos(fi)^2+4*ei^4*cos(fi)^4)*cos(fi)^4*(180*lam/pi-  
15)^4*pi^4+1/24488801280000000*(61-  
58*tan(fi)^2+tan(fi)^4+600*ei^2*cos(fi)^2-330*ei^2)*cos(fi)^6*(180*lam/pi-  
15)^6*pi^6)+a/(1-e^2*sin(fi)^2)^(1/2)*tan(fi)*(-  
1/32400*cos(fi)*(180*lam/pi-15)^2*pi^2*sin(fi)+1/25194240000*(-  
2*tan(fi)*(1+tan(fi)^2)-18*ei^2*cos(fi)*sin(fi)-  
16*ei^4*cos(fi)^3*sin(fi))*cos(fi)^4*(180*lam/pi-15)^4*pi^4-  
1/6298560000*(5-  
tan(fi)^2+9*ei^2*cos(fi)^2+4*ei^4*cos(fi)^4)*cos(fi)^3*(180*lam/pi-  
15)^4*pi^4*sin(fi)+1/24488801280000000*(-  
116*tan(fi)*(1+tan(fi)^2)+4*tan(fi)^3*(1+tan(fi)^2)-  
1200*ei^2*cos(fi)*sin(fi))*cos(fi)^6*(180*lam/pi-15)^6*pi^6-  
1/4081466880000000*(61-58*tan(fi)^2+tan(fi)^4+600*ei^2*cos(fi)^2-  
330*ei^2)*cos(fi)^5*(180*lam/pi-15)^6*pi^6*sin(fi));
```

Parcialni odvod funkcije x po λ :

$$\begin{aligned} dlam_x = & m0 * a / (1 - e^2 * \sin(\text{fi})^2)^{(1/2)} * \tan(\text{fi}) * (1/180 * \cos(\text{fi})^2 * (180 * \text{lam} / \text{pi} - \\ & 15) * \text{pi} + 1/34992000 * (5 - \\ & \tan(\text{fi})^2 + 9 * e^2 * \cos(\text{fi})^2 + 4 * e^4 * \cos(\text{fi})^4) * \cos(\text{fi})^4 * (180 * \text{lam} / \text{pi} - \\ & 15)^3 * \text{pi}^3 + 1/22674816000000 * (61 - 58 * \tan(\text{fi})^2 + \tan(\text{fi})^4 + 600 * e^2 * \cos(\text{fi})^2 - \\ & 330 * e^4) * \cos(\text{fi})^6 * (180 * \text{lam} / \text{pi} - 15)^5 * \text{pi}^5); \end{aligned}$$

Varianca in standardna deviacija pridobljene GK-koordinate x :

$$\begin{aligned} \text{varx} = & (\text{dfi_x} * \text{dfi_x} * \text{sigma_fi} * \text{sigma_fi}) + (\text{dlam_x} * \text{dlam_x} * \text{sigma_lam} * \text{sigma_lam}); \\ \text{sigma_x} = & \text{sqrt}(\text{varx}); \end{aligned}$$

Parcialni odvod funkcije y po ϕ :

$$\begin{aligned} \text{dfi_y} = & m0 * a / (1 - e^2 * \sin(\text{fi})^2)^{(3/2)} * (1/180 * \cos(\text{fi}) * (180 * \text{lam} / \text{pi} - \\ & 15) * \text{pi} + 1/34992000 * (1 - \tan(\text{fi})^2 + e^2 * \cos(\text{fi})^2) * \cos(\text{fi})^3 * (180 * \text{lam} / \text{pi} - \\ & 15)^3 * \text{pi}^3 + 1/22674816000000 * (5 - 18 * \tan(\text{fi})^2 + \tan(\text{fi})^4 + 72 * e^2 * \cos(\text{fi})^2 - \\ & 58 * e^4) * \cos(\text{fi})^5 * (180 * \text{lam} / \text{pi} - 15)^5 * \text{pi}^5) * e^2 * \sin(\text{fi}) * \cos(\text{fi}) + m0 * a / (1 - \\ & e^2 * \sin(\text{fi})^2)^{(1/2)} * (-1/180 * \sin(\text{fi}) * (180 * \text{lam} / \text{pi} - 15) * \text{pi} + 1/34992000 * (- \\ & 2 * \tan(\text{fi}) * (1 + \tan(\text{fi})^2) - 2 * e^2 * \cos(\text{fi}) * \sin(\text{fi})) * \cos(\text{fi})^3 * (180 * \text{lam} / \text{pi} - \\ & 15)^3 * \text{pi}^3 - 1/11664000 * (1 - \tan(\text{fi})^2 + e^2 * \cos(\text{fi})^2) * \cos(\text{fi})^2 * (180 * \text{lam} / \text{pi} - \\ & 15)^3 * \text{pi}^3 * \sin(\text{fi}) + 1/22674816000000 * (- \\ & 36 * \tan(\text{fi}) * (1 + \tan(\text{fi})^2) + 4 * \tan(\text{fi})^3 * (1 + \tan(\text{fi})^2) - \\ & 144 * e^2 * \cos(\text{fi}) * \sin(\text{fi})) * \cos(\text{fi})^5 * (180 * \text{lam} / \text{pi} - 15)^5 * \text{pi}^5 - \\ & 1/4534963200000 * (5 - 18 * \tan(\text{fi})^2 + \tan(\text{fi})^4 + 72 * e^2 * \cos(\text{fi})^2 - \\ & 58 * e^4) * \cos(\text{fi})^4 * (180 * \text{lam} / \text{pi} - 15)^5 * \text{pi}^5 * \sin(\text{fi})); \end{aligned}$$

Parcialni odvod funkcije y po λ :

$$\begin{aligned} \text{dlam_y} = & m0 * a / (1 - e^2 * \sin(\text{fi})^2)^{(1/2)} * (\cos(\text{fi}) + 1/64800 * (1 - \\ & \tan(\text{fi})^2 + e^2 * \cos(\text{fi})^2) * \cos(\text{fi})^3 * (180 * \text{lam} / \text{pi} - \\ & 15)^2 * \text{pi}^2 + 1/25194240000 * (5 - 18 * \tan(\text{fi})^2 + \tan(\text{fi})^4 + 72 * e^2 * \cos(\text{fi})^2 - \\ & 58 * e^4) * \cos(\text{fi})^5 * (180 * \text{lam} / \text{pi} - 15)^4 * \text{pi}^4); \end{aligned}$$

Varianca in standardna deviacija pridobljene GK-koordinate y :

$$\begin{aligned} \text{vary} = & (\text{dfi_y} * \text{dfi_y} * \text{sigma_fi} * \text{sigma_fi}) + (\text{dlam_y} * \text{dlam_y} * \text{sigma_lam} * \text{sigma_lam}); \\ \text{sigma_y} = & \text{sqrt}(\text{vary}); \end{aligned}$$

6.5 Izračun geoidne višine N

Za izračun geoidne višine uporabimo predhodno izračunano enačbo lokalnega geoida.

Najprej Gauss-Kruegerjeve koordinate (x, y) preračunamo na težišče mreže (x_0, y_0) :

$$\begin{aligned} x_{in} = & x - x_0; \\ y_{in} = & y - y_0; \end{aligned}$$

Koordinate vstavimo v enačbo lokalne ploskve geoida:

$$N_{tocke} = A * y_{in} + B * x_{in} + C;$$

Varianca izračunane geoidne višine za obravnavano točko:

$$\begin{aligned} \text{varN} = & y_{in} * y_{in} * (\text{sigma_A} * \text{sigma_A}) + x_{in} * x_{in} * (\text{sigma_B} * \text{sigma_B}) + (\text{sigma_C} * \text{sigma_C}) + \\ & B * B * (\text{sigma_x} * \text{sigma_x}) + B * B * (\text{sigma_x0} * \text{sigma_x0}) + A * A * (\text{sigma_y} * \text{sigma_y}) + A * A * (\text{sigma_y0} * \text{sigma_y0}); \end{aligned}$$

%tole pa uposteva natančnosti x, y, x_0, y_0

Standardna deviacija izračunane geoidne višine za obravnavano točko:

$\sigma_N = \sqrt{\text{var}N}$;

6.6 Izračun ortometrične višine H

Izračun ortometrične višine za obravnavano točko:

$H = h - N_{\text{tocke}}$;

Natančnost določitve ortometrične višine lahko izračunamo iz enačbe, iz katere pridobimo ortometrično višino: $H = h - N$.

Če poznamo natančnost določitve elipsoidne ter geoidne višine (σ_h , σ_N), lahko s pomočjo zakona o prenosu varianc in kovarianc izračunamo natančnost določitve H , ki je funkcija h in N .

Varianca ortometrične višine: $\sigma^2 H = \left(\frac{\partial H}{\partial h}\right)^2 \cdot \sigma^2 h + \left(\frac{\partial H}{\partial N}\right)^2 \cdot \sigma^2 N$

Ob vedenju, da sta parcialna odvoda po absolutni velikosti enaka 1, lahko poenostavimo:

$$\sigma^2 H = \sigma^2 h + \sigma^2 N$$

Varianca izračunane ortometrične višine:

$\text{var}H = (\sigma_h \cdot \sigma_h) + \text{var}N$;

Standardna deviacija izračunane ortometrične višine:

$\sigma_H = \sqrt{\text{var}H}$;

7 TESTIRANJE KODE NA IZBRANI KONFIGURACIJI

Testiranje je potekalo že med samim programiranjem kode. S tem sem preverjal, ali določeni deli kode delujejo, tako kot morajo. V primeru nepravilnega delovanja sem kodo ponovno pazljivo pregledal ter poiskal in popravil napake.



Slika 10 : Testiranje kode in konfiguracije na domači terasi

8 IZBIRA OBMOČJA ZA IZVAJANJE MERITEV, TESTIRANJE VIŠIN

V moji nalogi sem za določeno geografsko območje potreboval obodne točke z dobro določenimi GK-koordinatami, ortometrično višino ter njihove natančnosti, katerim lahko upravičeno zaupamo (elaborati meritev).

V osnovi sem imel željo, da izvedem nalogo na območju Slovenske Bistrice, vendar so se kmalu pokazale težave, ki so mi to onemogočile.

V Sloveniji je nasplošno problem z višinami. Višine točk so že določene, a o njihovi točnosti ne moremo zanesljivo govoriti. Mnogi reperji so bili izračunani že pred več kot pol stoletja, elaboratov o njihovi določitvi ni ali so se izgubili, nekatere višine so bile določene s trigonometričnim višinomerstvom...

Tudi topografije GURS-a, ki so dostopne preko interneta, nekatere niso popolne, manjkajo jim podatki, za mene še posebej pomembna standardna deviacija položajnih koordinat in ortometrične višine.

Prav zaradi tega sem prišel v kontakt z gospodom Žaretom Komadino z GURS-a. Po posvetu z njim sem se odločil, da bo moja naloga obravnavala območje geodetske mreže Celja. Pri zagotavljanju potrebnih podatkov mi je pomagal tudi g. Danijel Majcen z območne geodetske uprave Celje.

V nadaljevanju je na kratko opisana geodetska GPS-mreža Celje, ki je bila predmet obravnave moje diplomske naloge.

8.1 Mreža Celje

Na širšem območju Celja so bila leta 2004 izvedena GPS-opazovanja, katerih glavni cilji so bili:

- ugotovitev homogenosti geodetskih mrež
- ugotoviti možnost povezave horizontalne in višinske mreže
- širitev GPS-tehnologije v geodetski izmeri
- priprava začasnih transformacijskih parametrov

Opazovanja so bila razdeljena na opazovanja dveh GPS mrež:

- Okvirna GPS-mreža Celje 2004;
- Zgostitvena GPS-mreža Celje 2004.

Rekognisciranje terena so opravili delavci OGUCE.

Točke so bile izbrane na osnovi različnih kriterijev:

- Za referenčne točke so bile izbrane trigonometrične geodetske točke I. reda (373s/I – Mrzlica, PONI- geodinamična točka Ponikva, 744s/II – Kalobje);
- V okvirno GPS-mrežo je bilo izbranih 8 trigonometričnih geodetskih točk III. reda (2/IIIg, 4/IIIId, 8/III, 9/III, 12s/III, 96/III, 97/III, 102s/III);
- V zgostitveni mreži je bilo izbranih 21 geodetskih točk IV, V reda in ena točka 3/III_s Golovec (ki pa je zaradi tehničnih problemov izpadla iz okvirne mreže)
- Izmeritvena mreža – poligonske točke...

GPS-meritve okvirne mreže so bile opravljene 1272 teden (145., 146. julijanski dan). Uporabljena je bila static (statična) metoda v trajanju 3 do 4 ure z 10 sekundnim intervalom registracije in 15-stopinjskim vertikalnim kotom.

GPS-meritve za zgostitveno mrežo so bile opravljene v 1272. tednu (147. julijanski dan) Uporabljena je bila hitra statična (fast static) metoda v trajanju 20 do 30 minut s 5 sekundnim intervalom registracije in 15-stopinjskim vertikalnim kotom.

Izračun in obdelava podatkov obeh mrež ter končna izravnava je bila izvedena v programu GPSurvey 2.35. Transformacija v državni koordinatni sistem je bila izvedena s 7-parametrično Helmertovo transformacijo v programu Protra 3.0.

Opazovanja so opravili delavci OGS. Vse meritve so bile opravljene s petimi (5) Trimble navigation 4000ssi/sse sprejemniki in z antenami compact L1/2 W/GRND P in EXT L1/2 GEOD(SST/E).

9 PRIPRAVA PODATKOV PRED TERENSKIM DELOM

Pred odhodom na teren je potrebno iz razpoložljivih podatkov pridobiti ali izračunati transformacijske parametre in geoidno ravnino, ki bo uporabljena za izračun ortometrične višine.

Pred samo izmero na terenu je potrebno izvesti še rekognosciranje, da se geodetske točke pripravijo za samo izmero ter da se ugotovi, katere točke so uničene, katere je smiselno iz izmere izključiti.

Znano je, da se ploskev geoida počasi spreminja. To je bil tudi razlog, da za mojo nalogo nisem posebej računal transformacijskih parametrov, ampak sem jih prevzel od GURS-a.

V nalogi uporabljeni transformacijski parametri (GURS CELJE) so:

```
dX=-380.9279
dY= -63.4944
dZ= -558.9086
m= -0.0000130232 ppm
wx= 0.0000120139254247349 rad
wy= 0.0000373237690911625 rad
wz=-0.0000532330754808763 rad
```

9.1 Izračun lokalne ploskve geoida

Ploskev geoida za obravnavano območje izračunamo kot prostorsko regresijsko ploskev. V praksi to pomeni, da med dane obodne točke poskušamo postaviti ravno ploskev na način, da je vsota kvadratov odstopanj višin danih točk do ploskve minimalna.

Lokalni geoid na območju GPS-mreže predstavimo s pomočjo polinoma I. stopnje v obliki:

$$N = A \cdot y' + B \cdot x' + C,$$

kjer je N geoidna višina; y' in x' sta koordinati, ki se nanašata na težišče GPS mreže;

A, B, C so koeficienti polinoma, določeni z metodo najmanjših kvadratov.

Koeficienta A in B predstavljata razliko naklona tangentne ravnine na elipsoid in ustrezne geoidne ploskve (A naklon vzhod – zahod, B naklon sever – jug).

Koeficient C je vzporedni odmik elipsoida od geoida.

Za vsako dano točko sestavimo enačbo in dobimo sistem enačb.

$$N_1 = A \cdot y_1' + B \cdot x_1' + C$$

$$N_2 = A \cdot y_2' + B \cdot x_n' + C$$

.

.

$$N_n = A \cdot y_n' + B \cdot x_n' + C$$

Za rešitev koeficientov A,B,C, ki določajo ploskev geoida, potrebujemo najmanj 3 enačbe s tremi neznankami, to je 3 dane točke (z znanima h in H).

Če imamo več kot 3 točke, imamo nadštevilna opazovanja, kar pomeni, da lahko naredimo izravnavo po MNK.

Posredna izravnava po MNK:

$$N = B^T \cdot P \cdot B$$

$$t = B^T \cdot P \cdot f$$

$$\Delta = N^{-1} \cdot t$$

, kjer je Δ vektor ocenjenih neznank A, B in C; P matrika uteži; matrika B matrika koeficientov; vektor f pa vektor geoidnih višin na danih točkah.

Ko imamo izračunane koeficiente A, B, C nekega območja, imamo na tem območju določen geoid (s polinomom). Torej lahko za poljubno točko v tem območju določimo njeno geoidno višino N . Vse kar moramo storiti, je, da preračunani koordinati x in y te točke vstavimo v polinom (enačbo $N = A \cdot y' + B \cdot x' + C$).

Varianco geoidne višine $\sigma^2 N$ izračunamo podobno kot pri bilinearni interpolaciji.

Po zakonu o prenosu varianc in kovarianc sledi:

$$\sigma^2 N = \left(\frac{\partial N}{\partial A} \right)^2 \cdot \sigma^2 A + \left(\frac{\partial N}{\partial B} \right)^2 \cdot \sigma^2 B + \left(\frac{\partial N}{\partial C} \right)^2 \cdot \sigma^2 C$$

kjer so parcialni odvodi:

$$\left(\frac{\partial N}{\partial A} \right) = y'$$

$$\left(\frac{\partial N}{\partial B} \right) = x'$$

$$\left(\frac{\partial N}{\partial C} \right) = 1$$

Končna enačba za varianco je torej:

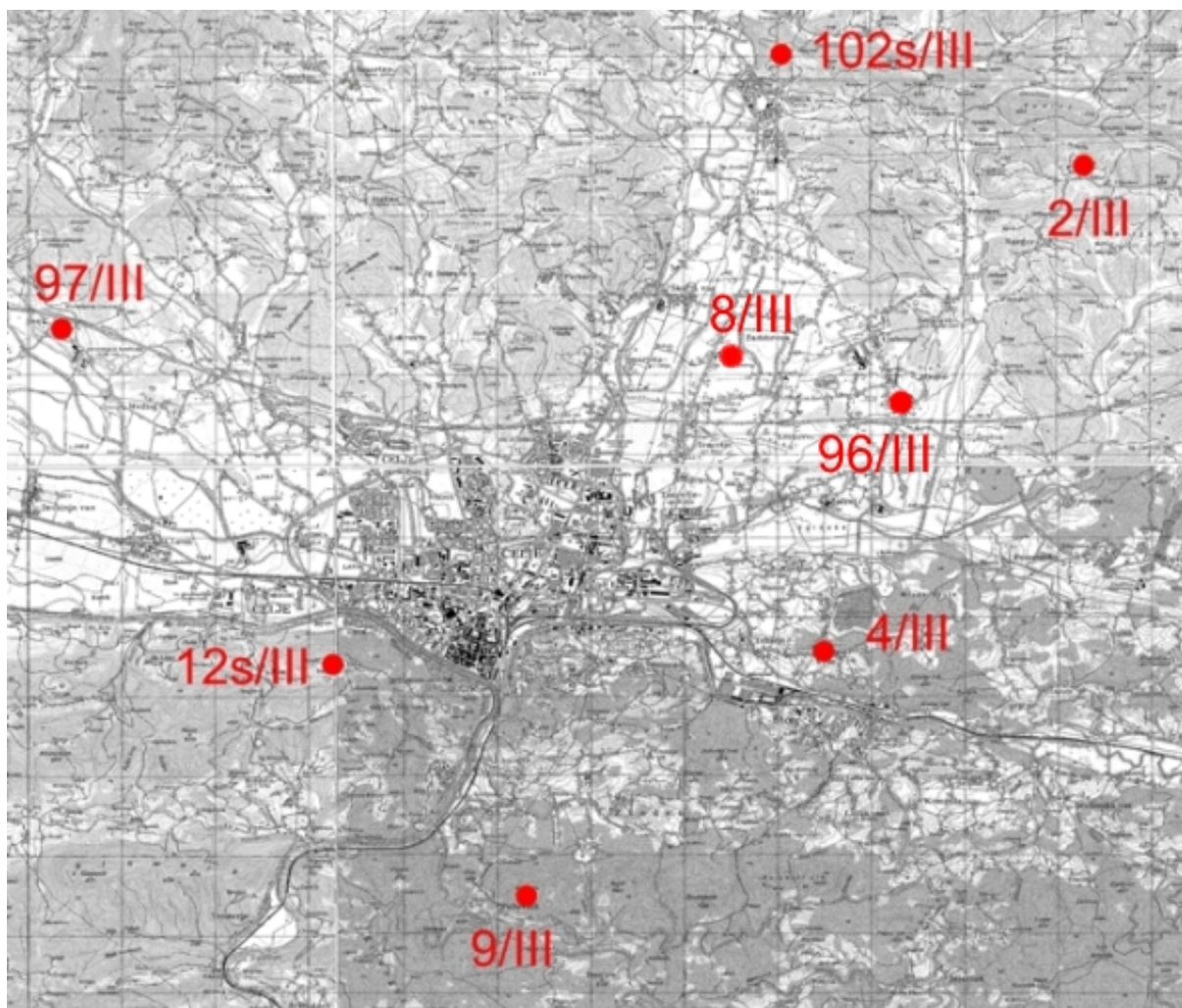
$$\sigma^2 N = (y')^2 \cdot \sigma^2 A + (x')^2 \cdot \sigma^2 B + \sigma^2 C$$

Natančnost ocenjenih vrednosti neznank (standardne deviacije $\sigma A, \sigma B, \sigma C$) lahko pridobimo že pred samo izravnavo s pomočjo matrike kofaktorjev ocenjenih vrednosti neznank.

Matrika kofaktorjev ocenjenih vrednosti neznank(koeficientov A, B, C):

$$Q_{\Delta\Delta} = N^{-1} = (B^T \cdot P \cdot B)^{-1}$$

Za izračun ploskve lokalnega geoida sem uporabil dane podatke in meritve točk okvirne GPS mreže Celje 2004. Okvirno GPS mrežo tvori 8 trigonometričnih točk tretjega reda.



Slika 11: Točke okvirne GPS mreže Celje 2004

Obodne točke se nahajajo na vzpetinah (griči, gore: razen točk 8/III, 96/III, ki sta na ravnini) z dobro odprtostjo terena proti jugu. V naravi so točke označene in stabilizirane z betonskim/granitnim kamnom.

Preglednica 2: Točke okvirne GPS mreže Celje 2004

Točka	metoda določitve		leto določitve		stabilizacija
	Y in X	H	Y in X	H	
102	triangulacija	trigonometrija	2004	2004	beton/granit kamen
12	triangulacija	trigonometrija	2004	2004	beton/granit kamen
2	triangulacija	trigonometrija	1959	1959	beton/granit kamen
4	triangulacija	GPS in terestrično	1958	2004	beton/granit kamen
8	triangulacija	niveliranje	1988	1988	beton/granit kamen
9	triangulacija	trigonometrija	1957	1957	beton/granit kamen
96	triangulacija	trigonometrija	1956	1956	beton/granit kamen
97	triangulacija	niveliranje	1956	1990	beton/granit kamen

Vsaka točka okvirne GPS mreže ima dane Gauss-Kruegerjeve kordinate ter ortometrično višino. Višine dostopnih točk so določene z metodo geometričnega nivelmana (privzeta natančnost 4 mm), medtem ko so nekatere točke ter točka 9 na strmem vrhu Grmade določene po metodi trigonometrije (privzeta natančnost je 3 cm, na Grmadi 1dm).

Za določitev ploskve geoida sem na obodnih točkah moral izmeriti elipsoidne višine (h). Te sem pridobil z RTK VRS metodo. Pri tem sem uporabil metodo povprečenja (približno 40 meritev na isti točki).

Preglednica 3: *Opravljenе GPS RTK-meritve na točkah okvirne GPS mreže Celje 2004*

Točka	φ	λ	h	$\sigma\varphi$	$\sigma\lambda$	σh
102	46° 17' 44.67358"	15° 18' 25.91964"	402.2475	0.0079	0.0031	0.0123
12	46° 13' 37.78159"	15° 14' 42.70107"	505.5997	0.0001	0.0045	0.0111
2	46° 16' 59.86715"	15° 20' 57.92783"	448.7657	0.0006	0.0008	0.0150
4	46° 13' 43.84436"	15° 18' 45.91638"	392.2358	0.0007	0.0016	0.0119
8	46° 15' 43.06033"	15° 17' 58.59799"	300.9451	0.0030	0.0013	0.0129
9	46° 12' 05.23406"	15° 16' 16.84002"	764.9486	0.0067	0.0072	0.0163
96	46° 15' 22.68610"	15° 19' 23.46629"	307.8332	0.0005	0.0002	0.0196
97	46° 15' 54.21902"	15° 12' 26.25558"	320.9110	0.0054	0.0048	0.0122

Preglednica 4: *Dane uradne GK koordinate in ortometrične višine za GPS mrežo Celje 2004*

Točka	Y	X	H	σY	σX	σH
102	524036.97	128006.69	355.690	0.01	0.01	0.03
12	519283.61	120367.49	459.130	0.01	0.01	0.03
2	527296.05	126636.95	402.330	0.01	0.01	0.03
4	524494.36	120573.04	345.920	0.01	0.01	0.03
8	523466.48	124249.76	254.591	0.01	0.01	0.004
9	521310.68	117516.98	718.400	0.01	0.01	0.1
96	525286.32	123628.02	261.570	0.01	0.01	0.03
97	516348.88	124571.47	274.404	0.01	0.01	0.004

Za dane točke lahko izračunamo geoidne višine po enačbi $N = h - H$

Preglednica 5: *Izračunane geoidne višine točk okvirne GPS mreže Celje 2004*

Točka	N	σN
102	46.5575	0.0324
12	46.4697	0.0320
2	46.4357	0.0335
4	46.3158	0.0323
8	46.3541	0.0135
9	46.5486	0.1013
96	46.2632	0.0358
97	46.5070	0.0128

Za potrebe diplomske naloge sem na začetku izračunal dve ploskvi lokalnega geoida brez notranjih točk 8/III, 96/III : verzijo *prva* brez obodne točke 9/III (Grmada) in verzijo *druga* z upoštevanjem točke 9/III.

Z uporabo različnih kombinacij danih točk sem kasneje izračunal še dodatne lokalne ploskve geoida. Vseh ploskev skupaj je 20. Njihov seznam je v poglavju *Analiza*.

Primer izračuna lokalnega geoida v Matlabu:

```
%enačba ravnine lokalnega geoida (točke 97,102,12,2,4)
%*****
KOV=[0.00019604,0,0,0,0;      % kovariančna matrika
0,0.00011225,0,0,0;
0,0,0.00010256,0,0;
0,0,0,0.00010144,0;
0,0,0,0,0.00014984];

apriori=0.00001;              % referenčna varianca apriori
Q=(1/apriori)*KOV;           % matrika kofaktorjev
P=inv(Q);                     % matrika uteži

f=[46.5664;                   % vektor odstopanj f
46.4726;
46.4374;
46.3171;
46.507
]

%GK koordinate
y1=524036.97;  x1=128006.69;
y2=519283.61;  x2=120367.49;
y3=527296.05;  x3=126636.95;
y4=524494.36;  x4=120573.04;
y5=516348.88;  x5=124571.47;

%težišče mreže
x0=(x1+x2+x3+x4+x5)/5
y0=(y1+y2+y3+y4+y5)/5

%standardni deviaciji težišča mreže
sigma_x0=0.00447213595500;
sigma_y0=0.00447213595500;

%preračun koordinat na težišče mreže
xi1=x1-x0;yi1=y1-y0;
xi2=x2-x0;yi2=y2-y0;
xi3=x3-x0;yi3=y3-y0;
xi4=x4-x0;yi4=y4-y0;
xi5=x5-x0;yi5=y5-y0;

B=[yi1,xi1,1;                % matrika koeficientov
yi2,xi2,1;
yi3,xi3,1;
yi4,xi4,1;
yi5,xi5,1;]

N=B'*P*B;
```

```
t=B'*P*f;
delta=inv(N)*t           %vektor neznank A,B,C (koeficienti ravnine geoida)
Qdelta=inv(N);
KOVdelta=apriori*Qdelta; %kovariančna matrika neznank A,B,C
sigma_A=sqrt(KOVdelta(1,1)) %standardne deviacije neznank
sigma_B=sqrt(KOVdelta(2,2))
sigma_C=sqrt(KOVdelta(3,3))

%Rezultati
A=-0.00001454446913; sigma_A= 0.000001356369199500429;
B=0.00002217400973 ;sigma_B= 0.000001735093237656504 ;
C=46.45787568922378 ;sigma_C= 0.00507953233186 ;
```

10 IZVAJANJE MERITEV NA TERENU



Slika 12: Izvajanje meritev na terenu



Slika 13: Pregled rezultatov na terenu

Postopek izvajanja meritev je sledeč:

Na terenu s pomočjo topografij, DOF-a ali pa s pomočjo danih koordinat najdemo točko, na kateri bomo izvajali meritve. V primeru danih koordinat točko iščemo s pomočjo GPS zakoličbe oziroma »stakeout« funkcije. Programska oprema v kontrolerju/terminalu pri tem iz

trenutnega položaja roverja in danih koordinat iskane točke sproti računa zakoličbene elemente.

Ko najdemo točko, se s palico centrično postavimo na njo. Če smo točko našli samo s pomočjo topografije, sestavimo GPS-sprejemnik. S serijskim kablom povežemo laptop in sprejemnik. Zaženemo Matlab in na GPS-terminalu pokličemo na klicni center SIGNAL-a, da vzpostavimo zvezo z virtualno referenčno postajo in počakamo, da se izvede inicializacija (počakamo, da se nam na terminalu prikaže »fixed« znakec). Takrat je neznano število celih valov znotraj naravnih števil, kar pomeni, da so meritve največje natančnosti.

Palico sedaj držimo v vertikalnem položaju (dozna libela vrhuni) in v Matlabu poženemo kodo. To sem sprogramiral tako, da traja približno 10 sekund. V tem času se na točki izvedejo 3 opazovanja WGS84 kartezičnih koordinat in 3 opazovanja WGS84 elipsoidnih koordinat. Končne koordinate so pridobljene s povprečenjem.

Ko so meritve končane, koda opravi transformacije in izračuna ortometrično višino s pripadajočo natančnostjo. Rezultati se izpišejo v izhodno tekstovno (.txt) datoteko. Za kontrolo se v drugo izhodno datoteko izpišejo še sami surovi podatki oziroma NMEA stavki.

```
*****  
Izmerjene in izracunane koordinate in visine tocke po metodi RTK  
*****  
Datum: 01-Jul-2006   Ura: 17:41   Avtor: Goleš Marko, GEO UNI  
-----  
Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:  
---X-----Y-----Z-----   sigma_X--sigma_Y-   sigma_Z-----  
4262813.9553   1161500.4323   4584976.0670   0.0077   0.0047   0.0110  
-----  
Uporabljeni transformacijski parametri:  
---dX-----dY-----dZ-----wx-----wy-----wz-----m-----  
-380.9279   -63.4944   -558.9086   0.0000   0.0000   -0.0001   -0.00001302  
-----  
Transformirane Bessel kartezične koordinate:  
---X-----Y-----Z-----sigma_X--sigma_Y--sigma_Z-----  
4262144.5447   1161703.8032   4584502.5920   0.0077   0.0047   0.0110  
-----  
Besselove elipsoidne koordinate:  
--fi[rad]-----lam[rad]-----sigma_fi[rad]--sigma_lam[rad]-----  
0.80727884   0.26609934   0.00000000   0.00000000  
-----  
Gauss-Kruegerjeve koordinate:  
---x-----y-----sigma_x--sigma_y-----  
123278.9113   518992.9546   0.0093   0.0049  
-----  
Parametri lokalnega geoida:  
---A-----B-----C-----sigma_A--sigma_B--sigma_C-----  
-0.00001454   0.00002217   46.45787569   0.000001   0.000002   0.005080  
-----  
Geoidna višina N ter ortometricna višina H za točko (x,y):  
---N-----sigma_N-----H-----sigma_H-----  
46.4892   0.0069   244.4455   0.0124  
-----
```

Slika 14: Primer izhodne datoteke z rezultati

```
          $PLEIR,ACK,PRT,0*41
          $PLEIR,ACK,POS,7*5C
$PLEIR,POS,154130.80,010706,200,0,841,254,0,0,0,0,4615.2018314,01514.4925058,290.932,0.008,0.0
04,0.009*31
$PLEIR,POS,154133.80,010706,200,0,841,254,0,0,0,0,4615.2018325,01514.4925098,290.936,0.009,0.0
04,0.010*31
$PLEIR,POS,154136.80,010706,200,0,841,254,0,0,0,0,4615.2018288,01514.4925022,290.936,0.010,0.0
05,0.012*38
          $PLEIR,ACK,POS,7*5C
          $PLEIR,ACK,POS,7*5C
$PLEIR,POS,154139.80,010706,200,0,842,254,0,0,2,0,4262813.958,1161500.435,4584976.068,0.008,0.
005,0.011*08
$PLEIR,POS,154142.80,010706,200,0,842,254,0,0,2,0,4262813.949,1161500.430,4584976.068,0.009,0.
005,0.013*02
$PLEIR,POS,154145.80,010706,200,0,842,254,0,0,2,0,4262813.959,1161500.432,4584976.065,0.006,0.
004,0.009*0E
```

Slika 15: Primer izhodne datoteke s surovimi podatki

Pri meritvah je priporočljivo imeti pomočnika, ki na laptopu požene kodo, ko vi na točki vrhunite libelo.

Meritve na terenu sem opravil v treh dneh:

- 1. dan – 1.julij 2006 : izmeril 13 točk;
(43, 132, 521, 545, 3378, 3381, 3735, 3864, 4005, 4203, 4452, 4961, 4981)
- 2. dan – 3.julij 2006 : izmeril 12 točk;
(3s, 19, 592, 828, 967, 1042, 3707, 4021, 4722, 4843, 4947, 5056)
- 3. dan - 4.julij 2006 : izmeril 15 točk.
(44z2, 45, 112, 148, 181, 271, 304, 369, 406, 531, 2658, 3400, 3526, 4850, 4896)

Skupno sem izmeril 40 točk. Pri meritvah sem opazil, da na natančnost merjenih količin močno vpliva geometrijska postavitev satelitov (DOP). To se je lepo pokazalo pri točki 4896. 3.julija so bile na tej točki natančnosti sledeče:

```
sigma_X--sigma_Y- sigma_Z-
0.0113 0.0063 0.0293
```

Posebej izstopa komponenta sigma_Z.

4.julija pa so bile natančnosti sledeče:

```
sigma_X--sigma_Y- sigma_Z-
0.0093 0.0033 0.0133
```

11 ANALIZA

Izbrana natančnost obodnih točk:

- Standardna deviacija niveliranih višin $\sigma H_{\text{nivelirana}} = 4\text{mm}$;
- Standardna deviacija višin s trigonometričnim višinomerstvom $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 3\text{cm}$.

Ob prvi in drugi verziji geoida sem izračunal še dodatnih 18 ploskev geoida. Te sem dobil z raznimi kombinacijami danih točk. Verzije *prva s točko 8 in 96*, *prva s točko 8 ter prva s točko 96* sem določil z dodajanjem danih točk v notranjosti *prve verzije* geoida.

Spodaj sledijo opisi ter parametri v nalogi uporabljenih lokalnih geoidov.

Preglednica 6: Pregled v nalogi uporabljenih lokalnih ploskev geoida

Verzija geoida	Obodne točke	x0	y0	Naklon m/km	Maks azimut
druga verzija	102s/III, 12s/III, 2/III, 4/III, 9/III, 97/III	122945.437	522128.425	0.0194	332.8012608
prva verzija	102s/III, 12s/III, 2/III, 4/III, 97/III	124031.128	522291.974	0.0223	335.1908499
prva brez 2	102s/III, 12s/III, 4/III, 97/III	123379.673	521040.955	0.0229	340.7378149
prva brez 2 in 97	102s/III, 12s/III, 4/III	122982.407	522604.980	0.0434	314.8876044
prva brez 4	102s/III, 12s/III, 2/III, 97/III	124895.650	521741.378	0.0121	334.7567495
prva brez 4 in 97	102s/III, 12s/III, 2/III	125003.710	523538.877	0.0377	316.8774431
prva brez 12	102s/III, 2/III, 4/III, 97/III	124947.038	523044.070	0.0315	341.4173337
prva brez 12 in 2	102s/III, 4/III, 97/III	124383.733	521626.740	0.0330	346.4070012
prva brez 12 in 4	102s/III, 2/III, 97/III	126405.037	522560.633	0.0532	342.4008319
prva brez 12 in 97	102s/III, 2/III, 4/III	125072.227	525275.793	0.0394	321.8814102
prva brez 12 in 102	2/III, 4/III, 97/III	123927.153	522713.100	0.0274	335.7892369
prva brez 97	102s/III, 12s/III, 2/III, 4/III	123896.043	523777.748	0.0421	316.922688
prva brez 102	12s/III, 2/III, 4/III, 97/III	123037.238	521855.730	0.0182	320.8981772
prva brez 102 in 2	12s/III, 4/III, 97/III	121837.333	520042.280	0.0312	68.54420487
prva brez 102 in 4	12s/III, 2/III, 97/III	123858.637	520976.180	0.0082	297.85071
prva brez 102 in 97	12s/III, 2/III, 4/III	122525.827	523691.340	0.0460	317.7879396
prva brez 2 in 4	102s/III, 12s/III, 97/III	124315.217	519889.820	0.0104	10.95147442
prva s točko 8 in 96	102s/III, 12s/III, 2/III, 4/III, 8/III, 96/III, 97/III	124004.774	522887.524	0.0282	323.668283
prva s točko 8	102s/III, 12s/III, 2/III, 4/III, 8/III, 97/III	124067.567	522487.725	0.0266	324.5342802
prva s točko 96	102s/III, 12s/III, 2/III, 4/III, 96/III, 97/III	123963.943	522791.032	0.0258	329.6815943

Koordinati $x0$ in $y0$ sta koordinati središča/težišča posamezne regresijske ploskve. V stolpcu *naklon m/km* so izračunani nakloni posameznih ploskev geoida glede na horizontalno ravnino v točki $x0$, $y0$. Stolpec *maks azimut* vsebuje azimut največjega naklona posamezne ploskve geoida.

Preglednica 7: Koeficienti v nalogi uporabljenih lokalnih ploskev geoida

Verzija geoida	A	B	C	σA	σB	σC	rS
druga verzija	-0.0000088893	0.0000172976	46.4356	0.0000025337	0.0000044380	0.0140	0.0066
prva verzija	-0.0000093390	0.0000202030	46.4488	0.0000025429	0.0000046529	0.0130	0.0066
prva brez 2	-0.0000075615	0.0000216381	46.4530	0.0000033281	0.0000049653	0.0139	0.0090
prva brez 2 in 97	-0.0000307431	0.0000306227	46.4477	0.0000088232	0.0000058893	0.0186	-
prva brez 4	-0.0000051764	0.0000109789	46.4872	0.0000032141	0.0000063736	0.0143	0.0065
prva brez 4 in 97	-0.0000257960	0.0000275445	46.4876	0.0000105067	0.0000102570	0.0189	-
prva brez 12	-0.0000100335	0.0000298437	46.4525	0.0000025554	0.0000058228	0.0145	0.0034
prva brez 12 in 2	-0.0000077466	0.0000320377	46.4601	0.0000033287	0.0000061719	0.0158	-
prva brez 12 in 4	-0.0000160744	0.0000506755	46.5001	0.0000061872	0.0000202850	0.0161	-
prva brez 12 in 97	-0.0000243366	0.0000310169	46.4363	0.0000135841	0.0000059247	0.0189	-
prva brez 12 in 102	-0.0000112220	0.0000249576	46.4195	0.0000027855	0.0000073943	0.0161	-
prva brez 97	-0.0000287460	0.0000307431	46.4446	0.0000070936	0.0000058809	0.0163	0.0012
prva brez 102	-0.0000114999	0.0000141497	46.4262	0.0000027828	0.0000056279	0.0142	0.0071
prva brez 102 in 2	-0.0000290842	-0.0000114307	46.4308	0.0000082846	0.0000126701	0.0157	-
prva brez 102 in 4	-0.0000072343	0.0000038224	46.4708	0.0000033656	0.0000072579	0.0160	-
prva brez 102 in 97	-0.0000308778	0.0000340391	46.4071	0.0000090382	0.0000104678	0.0188	-
prva brez 2 in 4	0.0000019850	0.0000102582	46.5114	0.0000047329	0.0000063832	0.0158	-
prva s točko 8 in 96	-0.0000167269	0.0000227446	46.3904	0.0000020571	0.0000046172	0.0090	0.0091
prva s točko 8	-0.0000154177	0.0000216422	46.4051	0.0000021322	0.0000046413	0.0090	0.0097
prva s točko 96	-0.0000130103	0.0000222481	46.4196	0.0000023394	0.0000046196	0.0123	0.0086

rS je povprečna napaka, ki jo naredimo z regresijsko aproksimacijo lokalne ploskve geoida. Izračunane imam samo za ploskve, ki imajo več kot 3 obodne točke (nadštevilnost).

Za primerjavo rezultatov sem za vsako merjeno točko na terenu kasneje izračunal še ortometrično višino ob upoštevanju AGS (verzija geoida *Bilinearna*).

Pri njegovi uporabi sem geoidne višine interpoliral iz grida po metodi bilinearne interpolacije.

Bilinearna interpolacija geoidne višine N v točki $P(\varphi, \lambda)$:

$$N(\varphi, \lambda) = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot Y + a_3 \cdot X \cdot Y$$

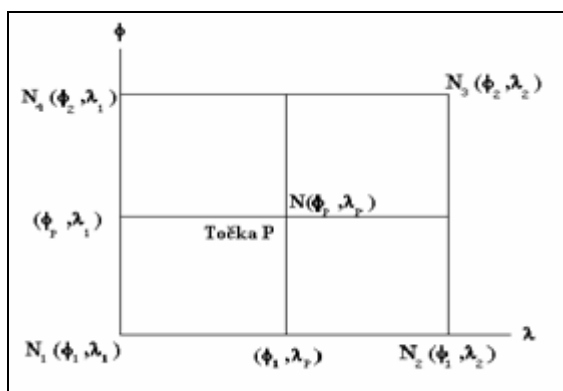
, kjer je:

$$a_0 = N_1, a_1 = N_2 - N_1,$$

$$a_2 = N_4 - N_1, a_3 = N_1 + N_3 - N_2 - N_4,$$

$$X = (\lambda - \lambda_1) / (\lambda_2 - \lambda_1), Y = (\varphi - \varphi_1) / (\varphi_2 - \varphi_1),$$

$$N = N_1 + (N_2 - N_1) \cdot X + (N_4 - N_1) \cdot Y + (N_1 + N_3 - N_2 - N_4) \cdot X \cdot Y$$



Bilinearna interpolacija (vir: Kuhar)

Natančnost interpolirane geoidne višine dobimo z interpolacijo pripadajočega grida natančnosti.

Ortometrične višine sem primerjal tudi z ortometričnimi, izračunanimi iz EGM96 geoidnih višin. Globalni geoid EGM96 daje ortometrične višine, ki so od ortometričnih višin za lokalni geoid manjše od 50 do 60 cm. Iz tega je razvidno, da je EGM96 geoid na področju Slovenije od lokalnega geoida »višji« več kot pol metra.

Preveril sem tudi vpliv premikanja tektonskih plošč na spremembo ortometričnih višin točk. Uporabil sem model NUVEL NNR1A in ugotovil, da na področju Celja premikanje tektonskih plošč bistveno ne vpliva na višino točk. Premiki so lahko posledica lokalne razmestitve mas (plazenje, lokalna posedanja ali dvigovanja zaradi slabe stabilizacije točk) ali pa širšega geodinamičnega dogajanja na Celjskem območju.

Preglednica 8: Razlike med izračunanimi in danimi uradnimi višinami $H - H(\text{dana})$
 za različne geoida ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 4\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 3\text{cm}$)

Točka	Druga	Prva	Prva z 8 in 96	Bilinearna
43	-0.0406	-0.0336	0.0009	-0.1115
132	-0.0793	-0.0768	-0.0455	-0.1489
521	-0.0974	-0.0895	-0.0624	-0.1700
545	-0.0088	-0.0056	0.0147	-0.0733
3378	0.0012	0.0104	0.0465	-0.0777
3381	-0.0061	0.0022	0.0367	-0.0818
3735	-0.0758	-0.0733	-0.0435	-0.1454
3864	-0.1140	-0.1157	-0.0868	-0.1933
4005	-0.0716	-0.0639	-0.0242	-0.1436
4203	-0.1066	-0.1037	-0.0702	-0.1762
4452	-0.0246	-0.0198	0.0056	-0.0910
4961	-0.0666	-0.0600	-0.0272	-0.1366
4981	-0.0714	-0.0672	-0.0376	-0.1407
3s	-0.1624	-0.1534	-0.1085	-0.2371
19	-0.0545	-0.0410	0.0102	-0.1447
592	-0.0156	-0.0026	0.0605	-0.0986
828	-0.0874	-0.0773	-0.0207	-0.1665
967	-0.1109	-0.1001	-0.0454	-0.1903
1042	-0.0624	-0.0495	0.0190	-0.1490
4021	-0.0236	-0.0100	0.0387	-0.1158
4722	-0.0796	-0.0727	-0.0343	-0.1495
4896	-0.1596	-0.1509	-0.0988	-0.2350
4947	-0.0027	0.0080	0.0526	-0.0829
5056	-0.0156	-0.0042	0.0405	-0.0983
44z2	-0.1182	-0.1131	-0.0616	-0.1936
45	-0.1393	-0.1338	-0.0876	-0.2102
112	-0.0428	-0.0395	0.0077	-0.1166
148	-0.1299	-0.1292	-0.0799	-0.2124
181	-0.1076	-0.1046	-0.0440	-0.1899
271	-0.0321	-0.0350	0.0123	-0.1255
304	-0.1069	-0.1109	-0.0591	-0.2092
369	0.0074	0.0062	0.0627	-0.0856
406	-0.0809	-0.0782	-0.0232	-0.1616
531	-0.0911	-0.0872	-0.0196	-0.1750
2658	-0.0842	-0.0774	-0.0304	-0.1546
3400	-0.0646	-0.0585	-0.0104	-0.1364
3526	-0.0772	-0.0716	-0.0234	-0.1496
4850	-0.0013	0.0095	0.0499	-0.0840
Stdev (+, -)	0.0461	0.0473	0.0471	0.0456
povprečje	-0.0685	-0.0625	-0.0180	-0.1464
Stdev +	0.0454	0.0446	0.0269	0.0456
Povprečje +	0.0690	0.0644	0.0422	0.1464
min	-0.1624	-0.1534	-0.1085	-0.2371

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

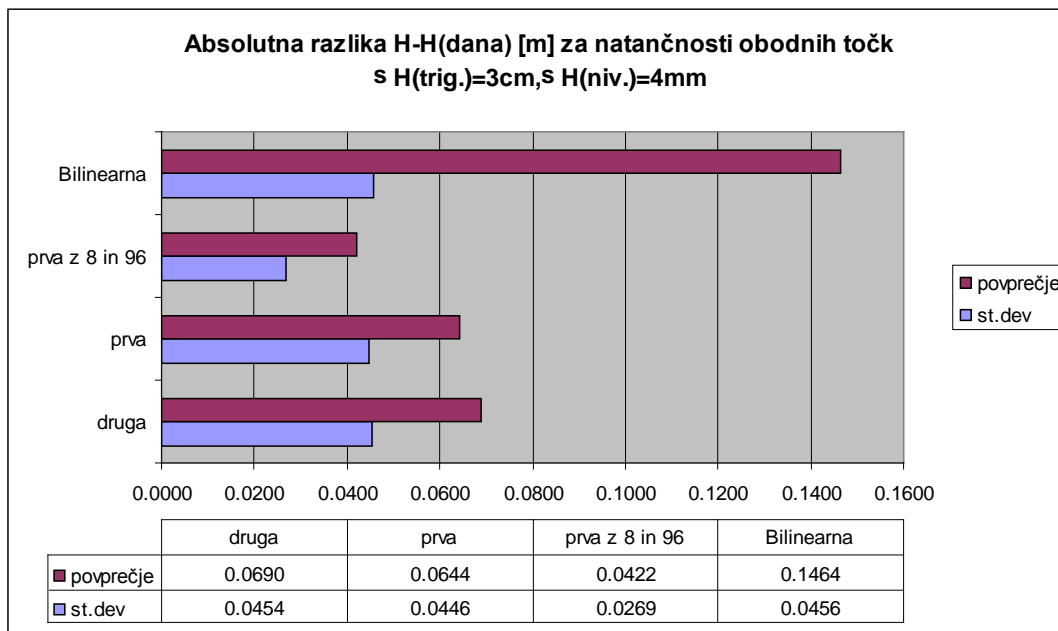
max	0.0074	0.0104	0.0627	-0.0733
interval	0.1698	0.1638	0.1712	0.1638

št. pod 2cm	8	10	9	0
%	21.05	26.32	23.68	0
št. pod 1cm	6	7	3	0
%	15.79	18.42	7.89	0

Iz zgornje tabele je razvidno, da imata *prva* in *druga* verzija geoida standardne deviacije in povprečne absolutne vrednosti razlik ($H - H(dana)$) skoraj enake.

Verzija geoida *prva* z 8 in 96 ima standardno deviacijo razlik le 0.0269 ter povprečno odstopanje od dane vrednosti višine 0.0422 m.

Geoid *bilinearna* ima standardno deviacijo razlik primerljivo s *prvo* in *drugo* verzijo, Vendar pa je povprečno odstopanje od danih vrednosti kar 0.1464 m.



Slika 17: Graf absolutnih razlik $H-H(dana)$
 ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 4\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 3\text{cm}$)

Število točk, katerih vrednost izračunane ortometrične višine se od dane vrednosti ortometrične višine razlikuje za manj kot 2 cm, je največje pri *prvi verziji* geoida (10).

Število točk, ki se po višini razlikujejo za manj kot 1 cm, je pravtako največ pri *prvi verziji* geoida (7).

Kolikšna je natančnost ([m]) izračunanih višin glede na verzijo geoida?

Preglednica 9: Natančnosti izračunanih ortometričnih višin

za različne geoida ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 4\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 3\text{cm}$)

Točka	Druga	Prva	Prva z 8 in 96	Bilinearna
43	0.0194	0.0198	0.0174	0.0194
132	0.0241	0.0229	0.0209	0.0230

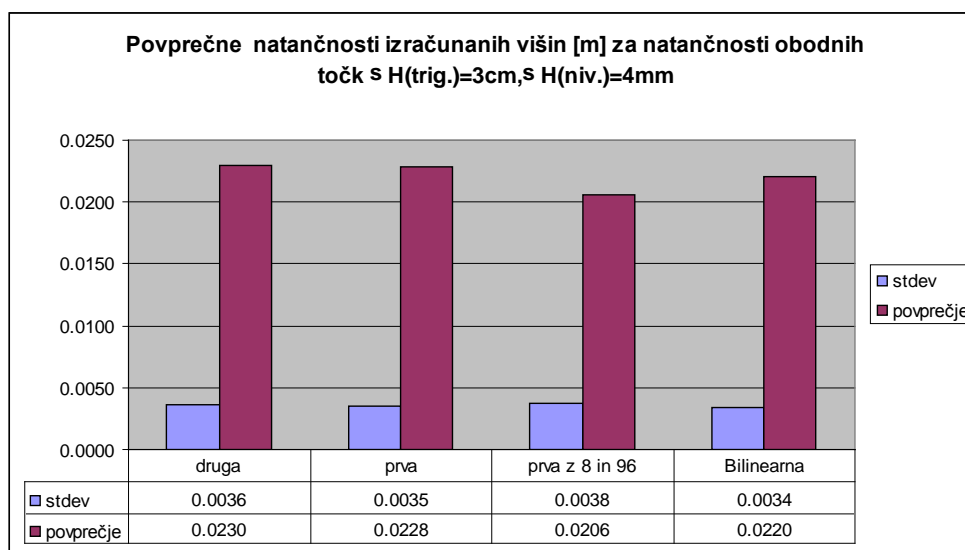
se nadaljuje ...

... nadaljevanje

521	0.0221	0.0230	0.0208	0.0208
545	0.0242	0.0235	0.0213	0.0222
3378	0.0215	0.0227	0.0206	0.0210
3381	0.0222	0.0231	0.0210	0.0220
3735	0.0249	0.0238	0.0219	0.0238
3864	0.0255	0.0231	0.0212	0.0215
4005	0.0256	0.0259	0.0242	0.0259
4203	0.0221	0.0209	0.0188	0.0212
4452	0.0192	0.0189	0.0162	0.0178
4961	0.0187	0.0190	0.0165	0.0186
4981	0.0203	0.0197	0.0172	0.0196
3s	0.0171	0.0181	0.0155	0.0178
19	0.0245	0.0268	0.0250	0.0236
592	0.0214	0.0233	0.0210	0.0210
828	0.0205	0.0215	0.0192	0.0211
967	0.0224	0.0236	0.0216	0.0228
1042	0.0207	0.0225	0.0199	0.0201
4021	0.0245	0.0269	0.0251	0.0232
4722	0.0219	0.0220	0.0200	0.0222
4896	0.0359	0.0362	0.0349	0.0364
4947	0.0194	0.0211	0.0189	0.0194
5056	0.0209	0.0228	0.0207	0.0205
44z2	0.0234	0.0225	0.0204	0.0236
45	0.0188	0.0181	0.0156	0.0192
112	0.0270	0.0259	0.0241	0.0266
148	0.0221	0.0196	0.0172	0.0197
181	0.0211	0.0190	0.0161	0.0196
271	0.0247	0.0215	0.0193	0.0187
304	0.0329	0.0302	0.0285	0.0268
369	0.0238	0.0208	0.0181	0.0186
406	0.0253	0.0237	0.0216	0.0245
531	0.0243	0.0227	0.0199	0.0227
2658	0.0253	0.0251	0.0234	0.0258
3400	0.0216	0.0211	0.0190	0.0221
3526	0.0204	0.0198	0.0174	0.0208
4850	0.0242	0.0257	0.0239	0.0236
Stdev	0.0036	0.0035	0.0038	0.0034
Povprečje	0.0230	0.0228	0.0206	0.0220

min	0.0171	0.0181	0.0155	0.0178
max	0.0359	0.0362	0.0349	0.0364
interval	0.0188	0.0181	0.0194	0.0186

Najboljša povprečna natančnost višin je natančnost pri geoidu *prva z 8 in 96* (0.0206 m), sledi ji *bilinearna* (0.0220 m), *prva* (0.0228 m) ter *druga verzija* (0.0230 m).



Slika 18 : Graf povprečnih natančnosti izračunanih ortometričnih višin
 ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 4\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 3\text{cm}$)

Ker me je zanimal vpliv natančnosti obodnih točk na rezultate, sem izvedel izračune še ob preoptimističnih natančnostih obodnih točk (standardna deviacija niveliranih višin 1mm, standardna deviacija višin s trigonometričnim višinomerstvom 1 cm).

Preglednica 10: Razlike med izračunanimi in danimi uradnimi višinami $H - H(\text{dana})$
 za različne goide ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 1\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 1\text{cm}$)

Točka	Druga	Prva	Prva z 8 in 96	Bilinearna
43	-0.0454	-0.0437	-0.0233	-0.1115
132	-0.0888	-0.0883	-0.0690	-0.1489
521	-0.1036	-0.1018	-0.0861	-0.1700
545	-0.0210	-0.0204	-0.0081	-0.0733
3378	-0.0012	0.0010	0.0221	-0.0777
3381	-0.0098	-0.0078	0.0124	-0.0818
3735	-0.0858	-0.0852	-0.0669	-0.1454
3864	-0.1278	-0.1283	-0.1098	-0.1933
4005	-0.0742	-0.0724	-0.0487	-0.1436
4203	-0.1151	-0.1145	-0.0939	-0.1762
4452	-0.0339	-0.0328	-0.0177	-0.0910
4961	-0.0722	-0.0706	-0.0512	-0.1366
4981	-0.0799	-0.0790	-0.0611	-0.1407
3s	-0.1623	-0.1602	-0.1335	-0.2371
19	-0.0487	-0.0454	-0.0157	-0.1447
592	-0.0067	-0.0035	0.0338	-0.0986
828	-0.0829	-0.0804	-0.0467	-0.1665
967	-0.1064	-0.1038	-0.0713	-0.1903
1042	-0.0520	-0.0488	-0.0080	-0.1490
4021	-0.0185	-0.0152	0.0130	-0.1158

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

4722	-0.0832	-0.0816	-0.0587	-0.1495
4896	-0.1576	-0.1555	-0.1244	-0.2350
4947	-0.0013	0.0013	0.0274	-0.0829
5056	-0.0136	-0.0108	0.0153	-0.0983
44z2	-0.1194	-0.1182	-0.0867	-0.1936
45	-0.1417	-0.1405	-0.1124	-0.2102
112	-0.0469	-0.0461	-0.0170	-0.1166
148	-0.1355	-0.1354	-0.1045	-0.2124
181	-0.1079	-0.1072	-0.0696	-0.1899
271	-0.0414	-0.0422	-0.0119	-0.1255
304	-0.1158	-0.1168	-0.0835	-0.2092
369	0.0023	0.0019	0.0377	-0.0856
406	-0.0831	-0.0825	-0.0484	-0.1616
531	-0.0885	-0.0876	-0.0458	-0.1750
2658	-0.0853	-0.0837	-0.0554	-0.1546
3400	-0.0660	-0.0646	-0.0354	-0.1364
3526	-0.0790	-0.0776	-0.0483	-0.1496
4850	-0.0011	0.0015	0.0250	-0.0840
Stdev (+, -)	0.0467	0.0470	0.0469	0.0456
povprečje	-0.0711	-0.0697	-0.0428	-0.1464
Stdev +	0.0465	0.0466	0.0351	0.0456
Povprečje +	0.0712	0.0700	0.0526	0.1464

min	-0.1623	-0.1602	-0.1335	-0.2371
max	0.0023	0.0019	0.0377	-0.0733
interval	0.1646	0.1621	0.1712	0.1638

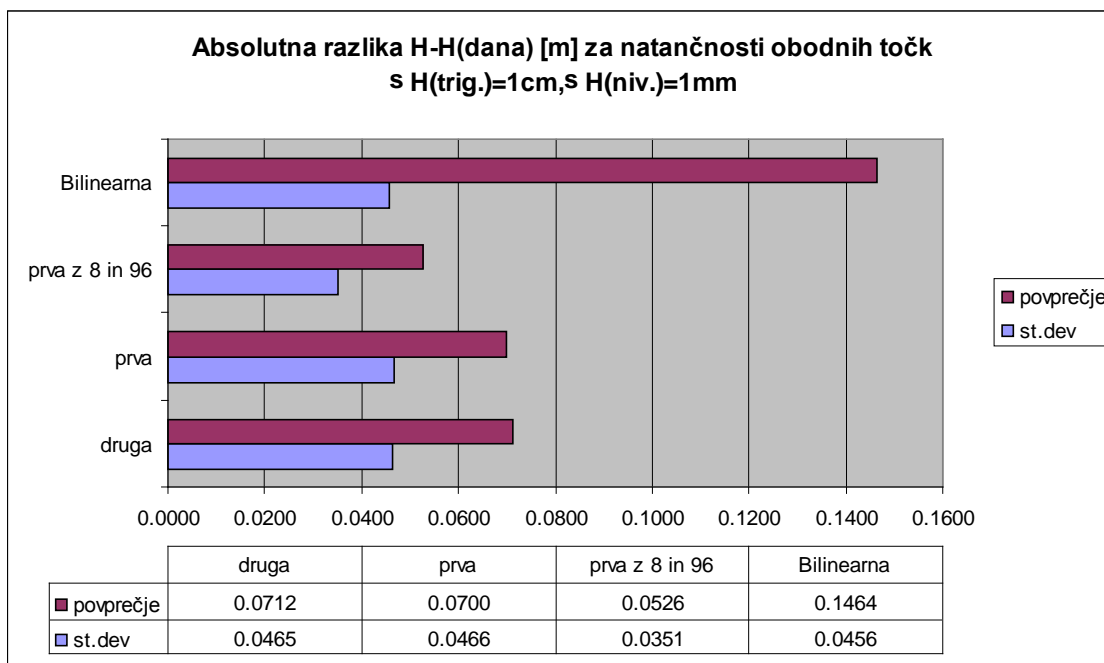
št. Pod 2cm	8	8	9	0
%	21.05	21.05	23.68	0
št. Pod 1cm	6	6	2	0
%	15.79	15.79	5.26	0

Iz zgornje tabele je razvidno, da imata *prva* in *druga* verzija geoida standardne deviacije in povprečne absolutne vrednosti razlik ($H - H(dana)$) skoraj enake.

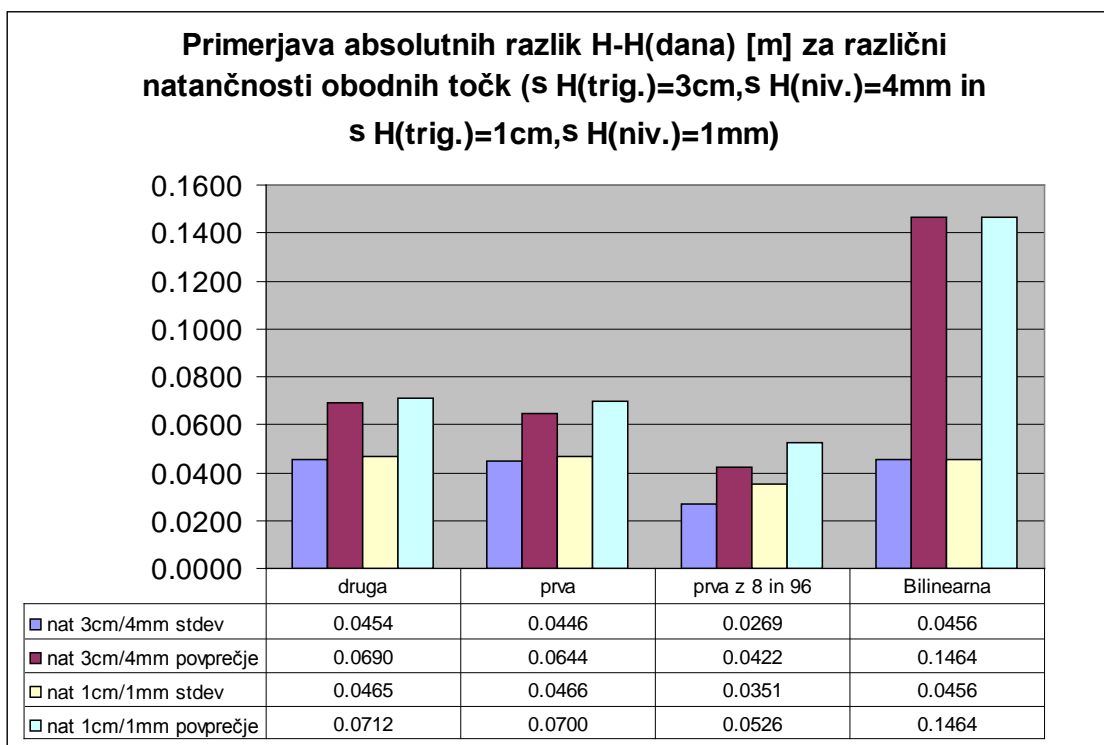
Verzija geoida *prva z 8 in 96* ima standardno deviacijo razlik 0.0351 m ter povprečno odstopanje od dane vrednosti višine 0.0526 m.

Geoid *bilinearna* ima standardno deviacijo razlik primerljivo s *prvo* in *drugo* verzijo, vendar pa je povprečno odstopanje od danih vrednosti kar 0.1464 m.

Število točk, katerih vrednost izračunane ortometrične višine se od dane vrednosti ortometrične višine razlikuje za manj kot 2 cm, je največje pri verziji geoida *prva z 8 in 96* (9). Vendar pa je število točk, ki se po višini razlikujejo za manj kot 1 cm, pri tej verziji geoida manjše (2) kot pri *prvi* in *drugi* verziji (6).



Slika 19 : Graf absolutnih razlik H-H(dana)
 ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 1\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 1\text{cm}$)



Slika 20 : Graf primerjave absolutnih razlik H-H(dana) za različne natančnosti obodnih točk

Zgornja primerjava absolutnih razlik $H - H(dana)$ kaže na to, da so absolutne razlike med izračunano in dano ortometrično višino v našem primeru večje pri večji natančnosti obodnih točk.

Rezultati kažejo tudi na to, da je izračunana lokalna ploskev geoida odvisna od danih natančnosti ortometričnih višin obodnih točk (!). Torej bi za prave vrednosti ploskev geoidov morali poznati točne podatke o natančnosti obodnih točk.

Preglednica 11: Natančnosti izračunanih ortometričnih višin za različne geode ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 1\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 1\text{cm}$)

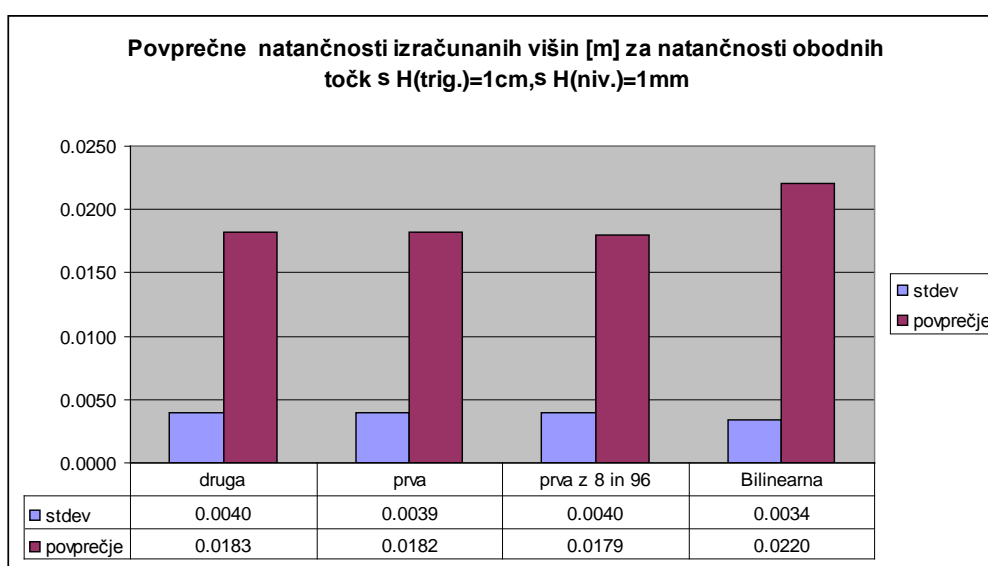
Točka	Druga	Prva	Prva z 8 in 96	Bilinearna
43	0.0147	0.0150	0.0147	0.0194
132	0.0199	0.0196	0.0195	0.0230
521	0.0174	0.0177	0.0176	0.0208
545	0.0196	0.0195	0.0193	0.0222
3378	0.0169	0.0174	0.0172	0.0210
3381	0.0180	0.0184	0.0182	0.0220
3735	0.0209	0.0206	0.0205	0.0238
3864	0.0195	0.0188	0.0186	0.0215
4005	0.0224	0.0225	0.0223	0.0259
4203	0.0177	0.0174	0.0172	0.0212
4452	0.0137	0.0137	0.0135	0.0178
4961	0.0137	0.0139	0.0137	0.0186
4981	0.0155	0.0154	0.0152	0.0196
3s	0.0118	0.0122	0.0118	0.0178
19	0.0195	0.0203	0.0200	0.0236
592	0.0161	0.0168	0.0163	0.0210
828	0.0162	0.0166	0.0162	0.0211
967	0.0184	0.0188	0.0184	0.0228
1042	0.0152	0.0158	0.0152	0.0201
4021	0.0193	0.0201	0.0198	0.0232
4722	0.0180	0.0182	0.0180	0.0222
4896	0.0338	0.0339	0.0337	0.0364
4947	0.0142	0.0149	0.0145	0.0194
5056	0.0158	0.0164	0.0162	0.0205
44z2	0.0198	0.0196	0.0193	0.0236
45	0.0144	0.0142	0.0138	0.0192
112	0.0237	0.0234	0.0231	0.0266
148	0.0162	0.0153	0.0149	0.0197
181	0.0155	0.0149	0.0142	0.0196
271	0.0166	0.0154	0.0149	0.0187
304	0.0261	0.0252	0.0248	0.0268
369	0.0162	0.0150	0.0144	0.0186
406	0.0211	0.0207	0.0203	0.0245
531	0.0195	0.0190	0.0184	0.0227
2658	0.0222	0.0222	0.0220	0.0258
3400	0.0179	0.0178	0.0175	0.0221

se nadaljuje ...

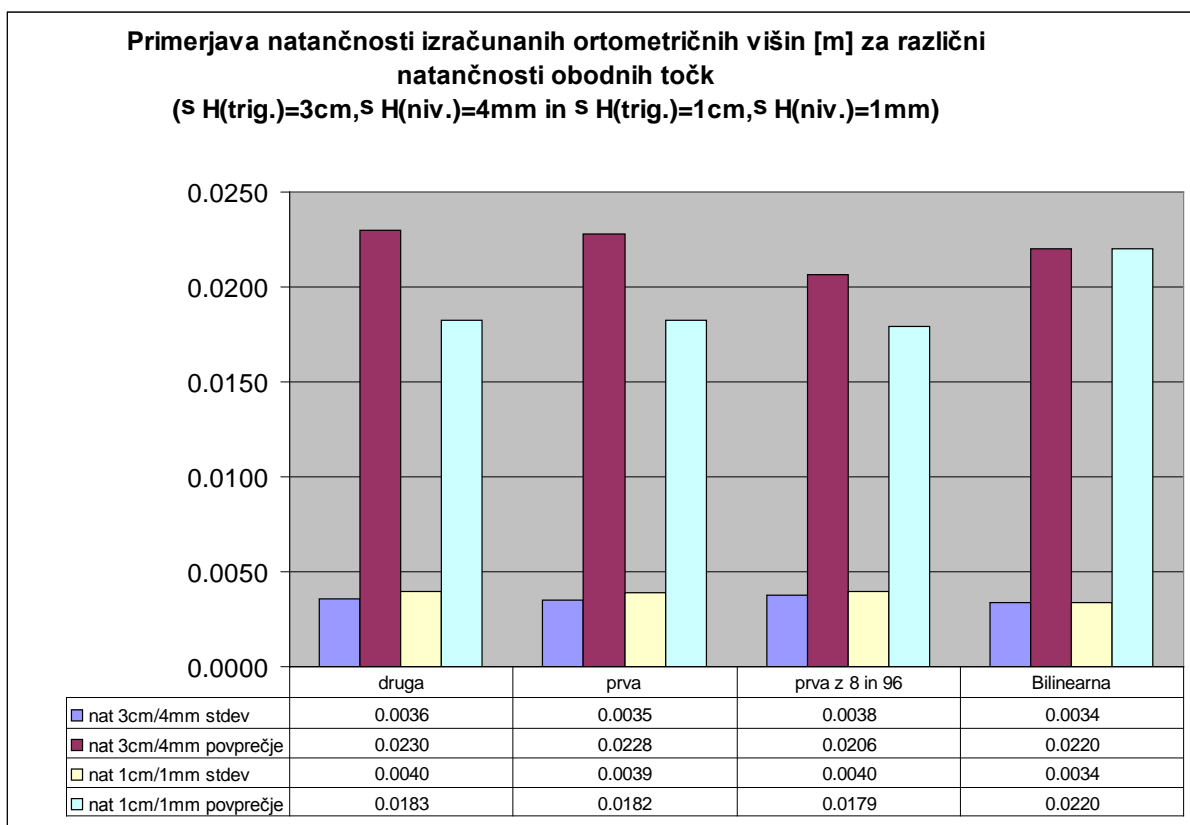
... nadaljevanje

3526	0.0164	0.0163	0.0159	0.0208
4850	0.0199	0.0204	0.0203	0.0236
Stdev	0.0040	0.0039	0.0040	0.0034
Povprečje	0.0183	0.0182	0.0179	0.0220
min	0.0118	0.0122	0.0118	0.0178
max	0.0338	0.0339	0.0337	0.0364
interval	0.0220	0.0217	0.0219	0.0186

Najboljša povprečna natančnost višin je natančnost pri geoidu *prva z 8 in 96* (0.0179 m), sledi ji *prva* (0.0182 m), *druga verzija* (0.0183m) ter *bilinearna* (0.0220 m),



Slika 21 : Graf povprečnih natančnosti izračunanih ortometričnih višin
 ($\sigma H_{\text{nivelirana}} = 1\text{mm}$, $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 1\text{cm}$)



Slika 22 : Graf primerjave natančnosti izračunanih ortometričnih višin za različne natančnosti obodnih točk

Zgornja primerjava natančnosti kaže na to, da so pri večji natančnosti ortometričnih višin obodnih točk natančnosti izračunanih ortometričnih višin večje. Vendar se natančnost izračunanih ortometričnih točk ne slabša premo sorazmerno s slabšanjem natančnosti obodnih točk (natančnost se slabša počasneje).

Za kontrolo sem izvedel tudi primerjavo absolutnih razlik $N(\text{izračunana}) - N(\text{dana})$ obodnih točk za različne lokalne ploskve geoida.

Preglednica 12: Absolutne razlike $N(\text{izračunana}) - N(\text{dana})$ obodnih točk za prvo verzijo lokalne ploskve geoida

Točka	Dana N [m]	Izračunana N [m]	Razlika [m]	Absolutna razlika [m]
102	46.5575	46.5128	0.0447	0.0447
12	46.4697	46.4029	0.0668	0.0668
2	46.4357	46.4547	-0.0190	0.0190
4	46.3158	46.3584	-0.0426	0.0426
97	46.5070	46.5152	-0.0082	0.0082
		stdev	0.0457	0.0231
		povprečje	0.0083	0.0363

Preglednica 13: *Absolutne razlike $N(\text{izračunana})-N(\text{dana})$ obodnih točk za drugo verzijo lokalne ploskve geoida*

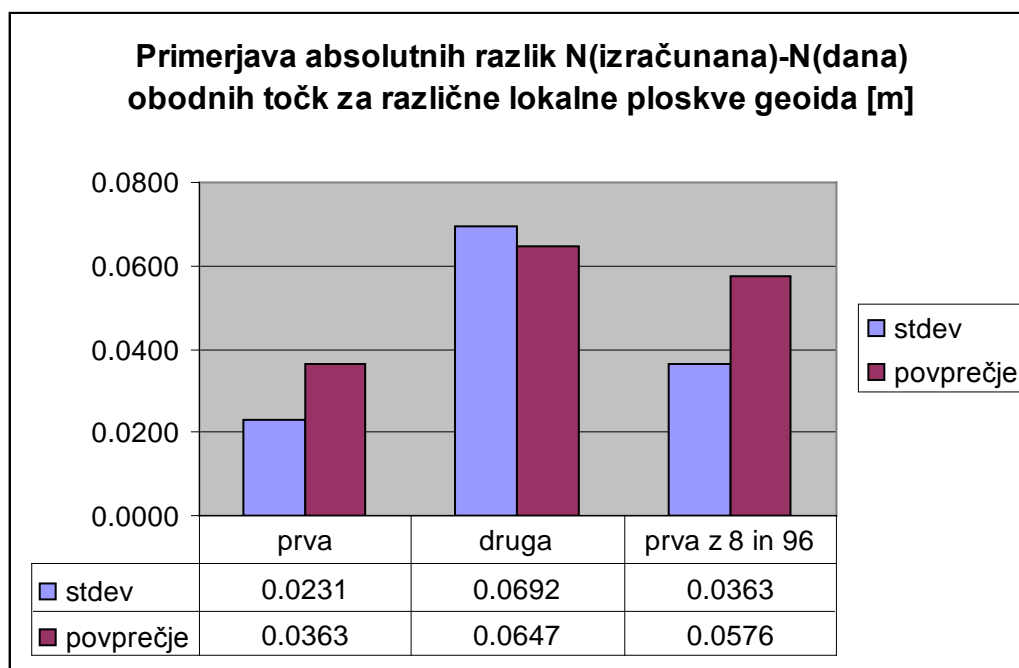
Točka	Dana N [m]	Izračunana N [m]	Razlika [m]	Absolutna razlika [m]
102	46.5575	46.5062	0.0513	0.0513
12	46.4697	46.4163	0.0534	0.0534
2	46.4357	46.4535	-0.0178	0.0178
4	46.3158	46.3735	-0.0577	0.0577
97	46.5070	46.5151	-0.0081	0.0081
9	46.5486	46.3490	0.1996	0.1996
		stdev	0.0905	0.0692
		povprečje	0.0368	0.0647

Preglednica 14: *Absolutne razlike $N(\text{izračunana})-N(\text{dana})$ obodnih točk za verzijo lokalne ploskve geoida prva z 8 in 96*

Točka	Dana N [m]	Izračunana N [m]	Razlika [m]	Absolutna razlika [m]
102	46.5575	46.4622	0.0953	0.0953
12	46.4697	46.3679	0.1018	0.1018
2	46.4357	46.3765	0.0592	0.0592
4	46.3158	46.2855	0.0303	0.0303
97	46.5070	46.5127	-0.0057	0.0057
8	46.3541	46.3863	-0.0322	0.0322
96	46.2632	46.3417	-0.0785	0.0785
		stdev	0.0670	0.0363
		povprečje	0.0243	0.0576

Zgornja primerjava absolutnih razlik $N(\text{izračunana})-N(\text{dana})$ kaže na to, da se prva verzija lokalne ploskve geoida od ostalih dveh veliko bolje prilega danim obodnim točkam. Povprečno absolutno odstopanje izračunanih geoidnih višin od danih geoidnih višin je pri prvi verziji lokalnega geoida 0.0363 m s standardno deviacijo 0.0457 m.

Manjša odstopanja geoidnih višin obodnih točk od odstopanj ortometričnih višin notranjih izmeritvenih točk, kažejo na to, da so obodne točke (trigonometrične točke 3. reda) verjetno bile bolj točno in natančno določene od notranjih (večinoma točke 6. reda).



Slika 23 : Graf primerjave absolutnih razlik $N(\text{izračunana})-N(\text{dana})$ obodnih točk za različne lokalne ploskve geoida [m]

Če bi lahko zaupali v točnost danih višin obodnih točk, bi kot najboljšo lokalno ploskev geoida na območju Celja izbrali *prvo* verzijo lokalne ploskve geoida in bi dejali, da so notranje izmeritvene točke tiste, katerih dane višine so slabše določene.

V primeru, da zaupamo danim višinam notranjih izmeritvenih točk (čeprav je to malo verjetno), bi kot najboljšo lokalno ploskev geoida za Celje izbrali verzijo *prva z 8 in 96*. Ta verzija namreč daje najboljšo »točnost« izračunanih ortometričnih višin. Če ne upoštevamo natančnosti verzije *bilinearna*, ploskev *prva z 8 in 96* omogoča tudi najbolj natančne izračune ortometričnih višin.

Zelo zanimivo je, da so največja povprečna odstopanja med izračunanimi in danimi višinami pri verziji lokalnega geoida *bilinearna*.

AGS daje rezultate z absolutno točnostjo slabih 15-ih centimetrov (!).

Zgornje trditve veljajo le za izmeritvene GPS točke in ne za višinske reperje.

12 ZAKLJUČEK

GPS - višinomerstvo po metodi RTK je metoda hitre določitve ortometrične višine. V primerjavi s klasičnimi metodami višinomerstva je postopek določitve ortometrične višine preko lokalne ploskve geoida zelo hiter in učinkovit.

Pri GPS - višinomerstvu po metodi RTK je problematična natančnost danih obodnih točk, ki določajo lokalno ploskev geoida. Standardne deviacije ortometričnih višin teh točk vplivajo na izračunano regresijsko ploskev geoida. Čimbolj točna določitev natančnosti ortometričnih višin obodnih točk je zato zelo pomembna.

Ob izbrani natančnosti obodnih točk $\sigma H_{\text{nivelirana}} = 4\text{mm}$ in $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 3\text{cm}$ so natančnosti izračunanih ortometričnih višin primerljive z natančnostjo ortometričnih višin, pridobljenih z uporabo AGS. Natančnosti H v nalogi na področju Celja varirajo povprečno med 2.0 in 2.3 cm. Vendar pa so te natančnosti v odvisnosti od nezanesljivo znanih natančnosti višin obodnih točk. Ugotovljeno je bilo tudi, da slabša natančnost H obodnih točk povzroča slabšo natančnost izračunanih H .

Problem je tudi ugotavljanje točnosti RTK- metode GPS – višinomerstva, ker pravih višin točk ne poznamo zanesljivo. Za odstopanja izračunanih višin od danih, uradnih višin je možnih več vzrokov:

- Ali je RTK – metoda višinomerstva preko ploskve lokalnega geoida slaba metoda?;
- Slabo določene višine danih točk (netočnost vrednosti)?;
- Premiki zaradi lokalnih razmestitev mas (plazenje, lokalna posedanja ali dvigovanja zaradi slabe stabilizacije točk) ali pa širšega geodinamičnega dogajanja na Celjskem območju.

Pri obodnih točkah s $\sigma H_{\text{nivelirana}} = 4\text{mm}$ in $\sigma H_{\text{trigonometrija}} = 3\text{cm}$ je povprečna točnost izračunanih ortometričnih višin (absolutna razlika $H - H(\text{dana})$) približno 7 cm. Z dodatnima danima točkama 8/III in 96/III v notranjosti oboda *prve* verzije geoida pa približno 4 cm. Ortometrične višine z uporabo AGS imajo povprečno točnost 14.6 cm.

Zanimivo je, da se na območju Celja z izboljšanjem natančnosti višin obodnih točk povprečna točnost izračunanih ortometričnih višin slabša. Razlog je “znižanje” ploskve geoida za nekaj centimetrov.

V prihodnosti bo potrebno izvesti še dodatne meritve in sicer uporaba predstavljene aplikacije za določitve višin reperjev.

Zaenkrat GPS RTK- višinomerstvo praktično ni uporabno, dokler ne bomo zanesljivo poznali natančnosti in točnosti ortometričnih višin obodnih točk.

V višinomerstvu bosta še naprej prevladovali klasični metodi geometričnega nivelmana in trigonometričnega višinomerstva.

VIRI

Kuhar, M. 2006. Geofizika. Študijski pripomoček. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 117 str.

Peterca, M. 2001. Matematična kartografija - kartografske projekcije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 198 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: 172 f.

www.gfz-potsdam.de (julij 2006)

www.gu-signal.si (julij 2006)

kartoweb.itc.nl (julij 2006)

www.leica-geosystems.com (julij 2006)

www.novatel.com (julij 2006)

tau.fesg.tu-muenchen.de (julij 2006)

PRILOGE

Priloga A: Meritve – dan 1

Točka 43

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4262936.1090	1162605.9000	4584578.5787	0.0120	0.0063	0.0080

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
286.3397	0.0123

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4502	0.0150	239.8894	0.0194	-0.0406
prva	46.4433	0.0155	239.8964	0.0198	-0.0336
prva brez 102	46.4426	0.0152	239.8970	0.0196	-0.0330
prva brez 102 in 2	46.4212	0.0193	239.9184	0.0229	-0.0116
prva brez 2	46.4462	0.0147	239.8934	0.0192	-0.0366
prva brez 4	46.4721	0.0207	239.8676	0.0241	-0.0624
prva brez 2 in 4	46.4952	0.0188	239.8444	0.0225	-0.0856
prva brez 102 in 4	46.4733	0.0183	239.8664	0.0221	-0.0636
prva s točko 8 in 96	46.4088	0.0123	239.9309	0.0174	0.0009
prva s točko 8	46.4136	0.0122	239.9260	0.0173	-0.0040
prva s točko 96	46.4277	0.0151	239.9120	0.0195	-0.0180
Bilinearna	46.5212	0.0150	239.8185	0.0194	-0.1115

Uradna H 239.93

Trigonometrična in poligonometrična točka IV. reda.

Trigonometrija 1947

Betonski, granitni kamen

Točka 132

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4261825.1777	1162422.7360	4585666.5983	0.0127	0.0080	0.0133

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
297.9430	0.0180

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4763	0.0160	251.4667	0.0241	-0.0793
prva	46.4738	0.0141	251.4692	0.0229	-0.0768
prva brez 12	46.4615	0.0167	251.4815	0.0246	-0.0645
prva brez 12 in 2	46.4681	0.0166	251.4749	0.0245	-0.0711
prva brez 12 in 102	46.4570	0.0178	251.4860	0.0253	-0.0600
prva brez 102	46.4635	0.0166	251.4795	0.0245	-0.0665
prva brez 2	46.4792	0.0149	251.4638	0.0234	-0.0822
prva brez 4	46.4887	0.0157	251.4543	0.0239	-0.0917
prva brez 2 in 4	46.5115	0.0158	251.4315	0.0240	-0.1145
prva brez 102 in 4	46.4784	0.0166	251.4646	0.0245	-0.0814
prva s točko 8 in 96	46.4425	0.0107	251.5005	0.0209	-0.0455
prva s točko 8	46.4457	0.0104	251.4973	0.0208	-0.0487
prva s točko 96	46.4610	0.0139	251.4820	0.0227	-0.0640
Bilinearna	46.5459	0.0143	251.3971	0.0230	-0.1489

Uradna H 251.546

Trigonometrična in poligonometrična točka IV. reda.

Niveliranje 1990. Betonski, granitni kamen

Točka 521

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4263590.2520	1161567.1223	4584238.6680	0.0083	0.0040	0.0113

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
288.3447	0.0147

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4521	0.0166	241.8926	0.0221	-0.0974
prva	46.4442	0.0178	241.9005	0.0230	-0.0895
prva brez 102	46.4491	0.0171	241.8956	0.0226	-0.0944
prva brez 102 in 2	46.4610	0.0192	241.8837	0.0241	-0.1063
prva brez 2	46.4444	0.0167	241.9003	0.0223	-0.0897
prva brez 4	46.4727	0.0241	241.8720	0.0282	-0.1180
prva brez 2 in 4	46.4878	0.0213	241.8569	0.0258	-0.1331
prva brez 102 in 4	46.4799	0.0212	241.8648	0.0258	-0.1252
prva s točko 8 in 96	46.4171	0.0147	241.9276	0.0208	-0.0624
prva s točko 8	46.4209	0.0147	241.9237	0.0207	-0.0663
prva s točko 96	46.4319	0.0174	241.9128	0.0227	-0.0772
Bilinearna	46.5247	0.0147	241.8200	0.0208	-0.1700

Uradna H 241.99
Poligonska točka 6. red.
Kovinski čep.

Točka 545

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4262619.2237	1160908.9660	4585313.1247	0.0087	0.0050	0.0170

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
297.0233	0.0170

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4822	0.0172	250.5412	0.0242	-0.0088
prva	46.4790	0.0163	250.5444	0.0235	-0.0056
prva brez 12	46.4629	0.0198	250.5605	0.0261	0.0105
prva brez 12 in 2	46.4645	0.0194	250.5588	0.0258	0.0088
prva brez 12 in 102	46.4629	0.0200	250.5605	0.0263	0.0105
prva brez 102	46.4753	0.0176	250.5480	0.0244	-0.0020
prva brez 2	46.4807	0.0164	250.5427	0.0237	-0.0073
prva brez 4	46.4916	0.0191	250.5317	0.0256	-0.0183
prva brez 2 in 4	46.5029	0.0175	250.5205	0.0244	-0.0295
prva brez 102 in 4	46.4885	0.0181	250.5348	0.0249	-0.0152
prva s točko 8 in 96	46.4586	0.0128	250.5647	0.0213	0.0147
prva s točko 8	46.4603	0.0125	250.5631	0.0211	0.0131
prva s točko 96	46.4712	0.0160	250.5521	0.0233	0.0021
Bilinearna	46.5467	0.0142	250.4767	0.0222	-0.0733

Uradna H 250.55
Poligonska točka 6.red.
Kovinski čep.

Točka 3378

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4263516.8320	1162694.8230	4584018.4833	0.0097	0.0050	0.0107

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
285.4280	0.0147

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4368	0.0157	238.9912	0.0215	0.0012
prva	46.4276	0.0174	239.0004	0.0227	0.0104
prva brez 102	46.4319	0.0165	238.9961	0.0221	0.0061
prva brez 102 in 2	46.4323	0.0158	238.9957	0.0215	0.0057
prva brez 2	46.4292	0.0161	238.9988	0.0218	0.0088
prva brez 4	46.4635	0.0245	238.9645	0.0286	-0.0255
prva brez 2 in 4	46.4868	0.0220	238.9412	0.0265	-0.0488
prva brez 102 in 4	46.4706	0.0217	238.9574	0.0262	-0.0326
prva s točko 8 in 96	46.3915	0.0145	239.0365	0.0206	0.0465
prva s točko 8	46.3971	0.0145	239.0309	0.0206	0.0409
prva s točko 96	46.4105	0.0169	239.0175	0.0224	0.0275
Bilinearna	46.5157	0.0151	238.9123	0.0210	-0.0777

Uradna H 238.99
 Poligonska točka 6.red.
 Kovinski čep.

Točka 3381

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4263310.4690	1162539.6573	4584248.8640	0.0110	0.0053	0.0117

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
285.8973	0.0160

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4434	0.0154	239.4539	0.0222	-0.0061
prva	46.4352	0.0166	239.4622	0.0231	0.0022
prva brez 102	46.4377	0.0159	239.4596	0.0226	-0.0004
prva brez 102 in 2	46.4313	0.0166	239.4660	0.0230	0.0060
prva brez 2	46.4371	0.0155	239.4602	0.0223	0.0002
prva brez 4	46.4677	0.0230	239.4297	0.0280	-0.0303
prva brez 2 in 4	46.4900	0.0206	239.4073	0.0261	-0.0527
prva brez 102 in 4	46.4726	0.0202	239.4247	0.0258	-0.0353
prva s točko 8 in 96	46.4007	0.0136	239.4967	0.0210	0.0367
prva s točko 8	46.4058	0.0136	239.4915	0.0210	0.0315
prva s točko 96	46.4192	0.0162	239.4781	0.0228	0.0181
Bilinearna	46.5191	0.0150	239.3782	0.0220	-0.0818

Uradna H 239.46
 Poligonska točka 6.red.Kovinski čep.

Točka 3735

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4261921.2620	1162214.7273	4585639.7180	0.0123	0.0070	0.0133

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
304.7817	0.0190

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4775	0.0161	258.3042	0.0249	-0.0758
prva	46.4750	0.0143	258.3067	0.0238	-0.0733
prva brez 12	46.4624	0.0171	258.3193	0.0255	-0.0607
prva brez 12 in 2	46.4683	0.0169	258.3133	0.0254	-0.0667
prva brez 12 in 102	46.4584	0.0180	258.3233	0.0262	-0.0567
prva brez 102	46.4654	0.0166	258.3163	0.0253	-0.0637
prva brez 2	46.4799	0.0150	258.3018	0.0242	-0.0782
prva brez 4	46.4893	0.0160	258.2924	0.0248	-0.0876
prva brez 2 in 4	46.5105	0.0158	258.2711	0.0247	-0.1089
prva brez 102 in 4	46.4799	0.0166	258.3018	0.0253	-0.0782
prva s točko 8 in 96	46.4452	0.0109	258.3365	0.0219	-0.0435
prva s točko 8	46.4482	0.0106	258.3335	0.0217	-0.0465
prva s točko 96	46.4629	0.0141	258.3188	0.0237	-0.0612
Bilinearna	46.5471	0.0143	258.2346	0.0238	-0.1454

Uradna H 258.38
Poligonska točka 6.red.
Betonski, granitni kamen.

Točka 3864

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4260775.6340	1162314.1923	4586684.7323	0.0193	0.0083	0.0123

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
313.9513	0.0223

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.5000	0.0192	267.4360	0.0255	-0.1140
prva	46.5017	0.0160	267.4343	0.0231	-0.1157

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

prva brez 12	46.5033	0.0167	267.4327	0.0236	-0.1173
prva brez 12 in 2	46.5135	0.0184	267.4225	0.0248	-0.1275
prva brez 2	46.5095	0.0183	267.4265	0.0248	-0.1235
prva brez 4	46.5038	0.0159	267.4322	0.0230	-0.1178
prva brez 12 in 4	46.5021	0.0253	267.4339	0.0303	-0.1161
prva brez 2 in 4	46.5267	0.0183	267.4093	0.0247	-0.1407
prva s točko 8 in 96	46.4728	0.0131	267.4632	0.0212	-0.0868
prva s točko 8	46.4747	0.0127	267.4613	0.0210	-0.0887
prva s točko 96	46.4912	0.0159	267.4448	0.0230	-0.1052
Bilinearna	46.5793	0.0137	267.3567	0.0215	-0.1933

Uradna H 267.55
 Poligonska točka 6. red.
 Betonski kamen.

Točka 4005

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4262859.1717	1163275.6887	4584481.1270	0.0143	0.0053	0.0210

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
286.5203	0.0210

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	H – H(uradna) [m]
druga	46.4419	0.0146	240.0784	0.0256	-0.0716
prva	46.4343	0.0152	240.0861	0.0259	-0.0639
prva brez 12	46.4052	0.0209	240.1151	0.0296	-0.0349
prva brez 12 in 2	46.4093	0.0196	240.1110	0.0287	-0.0390
prva brez 12 in 102	46.4084	0.0198	240.1120	0.0288	-0.0380
prva brez 102	46.4330	0.0148	240.0873	0.0257	-0.0627
prva brez 2	46.4382	0.0145	240.0821	0.0255	-0.0679
prva brez 4	46.4671	0.0208	240.0532	0.0296	-0.0968
prva brez 97	46.4925	0.0283	240.0278	0.0353	-0.1222
prva brez 2 in 97	46.4938	0.0252	240.0265	0.0328	-0.1235
prva brez 4 in 97	46.4940	0.0432	240.0263	0.0481	-0.1237
prva brez 102 in 4	46.4679	0.0186	240.0524	0.0280	-0.0976
prva s točko 8 in 96	46.3945	0.0120	240.1258	0.0242	-0.0242
prva s točko 8	46.4003	0.0120	240.1200	0.0242	-0.0300
prva s točko 96	46.4159	0.0148	240.1044	0.0257	-0.0456
Bilinearna	46.5139	0.0151	240.0064	0.0259	-0.1436

Uradna H 240.15
 Poligonska točka 6. red. Kovinski čep.

Točka 4203

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4261836.8120	1162691.9640	4585580.4910	0.0107	0.0057	0.0090

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
292.4853	0.0157

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4719	0.0156	246.0134	0.0221	-0.1066
prva	46.4690	0.0139	246.0163	0.0209	-0.1037
prva brez 12	46.4554	0.0166	246.0299	0.0228	-0.0901
prva brez 12 in 2	46.4623	0.0164	246.0230	0.0227	-0.0970
prva brez 12 in 102	46.4512	0.0174	246.0341	0.0234	-0.0859
prva brez 102	46.4588	0.0161	246.0265	0.0225	-0.0935
prva brez 2	46.4747	0.0146	246.0106	0.0214	-0.1094
prva brez 4	46.4860	0.0156	245.9993	0.0221	-0.1207
prva brez 2 in 4	46.5108	0.0160	245.9746	0.0224	-0.1454
prva brez 102 in 4	46.4761	0.0163	246.0092	0.0226	-0.1108
prva s točko 8 in 96	46.4355	0.0103	246.0498	0.0188	-0.0702
prva s točko 8	46.4392	0.0101	246.0461	0.0186	-0.0739
prva s točko 96	46.4550	0.0136	246.0303	0.0207	-0.0897
Bilinearna	46.5415	0.0143	245.9438	0.0212	-0.1762

Uradna H 246.12
Poligonska točka 6. red.
Kovinski čep.

Točka 4452

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4262813.9553	1161500.4323	4584976.0670	0.0077	0.0047	0.0110

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
290.9347	0.0103

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4692	0.0162	244.4654	0.0192	-0.0246
prva	46.4644	0.0158	244.4702	0.0189	-0.0198
prva brez 12	46.4433	0.0203	244.4913	0.0228	0.0013

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

prva brez 12 in 2	46.4451	0.0193	244.4896	0.0219	-0.0004
prva brez 12 in 102	46.4451	0.0197	244.4896	0.0223	-0.0004
prva brez 102	46.4626	0.0164	244.4721	0.0194	-0.0179
prva brez 2	46.4663	0.0155	244.4683	0.0186	-0.0217
prva brez 4	46.4837	0.0197	244.4510	0.0222	-0.0390
prva brez 2 in 4	46.4990	0.0176	244.4357	0.0204	-0.0543
prva brez 102 in 4	46.4829	0.0179	244.4517	0.0206	-0.0383
prva s točko 8 in 96	46.4390	0.0125	244.4956	0.0162	0.0056
prva s točko 8	46.4419	0.0123	244.4928	0.0160	0.0028
prva s točko 96	46.4538	0.0155	244.4809	0.0187	-0.0091
Bilinearna	46.5357	0.0145	244.3990	0.0178	-0.0910

Uradna H 244.49
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 4961

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4262929.3433	1162393.3370	4584642.8140	0.0113	0.0067	0.0080

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
289.5470	0.0110

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4536	0.0152	243.0934	0.0187	-0.0666
prva	46.4470	0.0155	243.1000	0.0190	-0.0600
prva brez 102	46.4462	0.0154	243.1008	0.0189	-0.0592
prva brez 102 in 2	46.4261	0.0200	243.1209	0.0228	-0.0391
prva brez 2	46.4497	0.0148	243.0973	0.0184	-0.0627
prva brez 4	46.4741	0.0205	243.0729	0.0233	-0.0871
prva brez 2 in 4	46.4957	0.0185	243.0513	0.0215	-0.1087
prva brez 102 in 4	46.4751	0.0182	243.0719	0.0213	-0.0881
prva s točko 8 in 96	46.4142	0.0123	243.1328	0.0165	-0.0272
prva s točko 8	46.4187	0.0122	243.1283	0.0164	-0.0317
prva s točko 96	46.4323	0.0151	243.1147	0.0187	-0.0453
Bilinearna	46.5236	0.0150	243.0234	0.0186	-0.1366

Uradna H 243.16
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 4981

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4262436.5057	1162093.4263	4585208.0977	0.0100	0.0057	0.0113

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
314.5673	0.0130

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4687	0.0156	268.0986	0.0203	-0.0714
prva	46.4645	0.0147	268.1028	0.0197	-0.0672
prva brez 12	46.4460	0.0186	268.1214	0.0227	-0.0486
prva brez 12 in 2	46.4499	0.0178	268.1174	0.0221	-0.0526
prva brez 12 in 102	46.4454	0.0184	268.1220	0.0225	-0.0480
prva brez 102	46.4593	0.0158	268.1080	0.0205	-0.0620
prva brez 2	46.4680	0.0147	268.0993	0.0196	-0.0707
prva brez 4	46.4836	0.0178	268.0837	0.0221	-0.0863
prva brez 2 in 4	46.5035	0.0165	268.0638	0.0210	-0.1062
prva brez 102 in 4	46.4793	0.0167	268.0881	0.0212	-0.0819
prva s točko 8 in 96	46.4349	0.0113	268.1324	0.0172	-0.0376
prva s točko 8	46.4383	0.0111	268.1290	0.0171	-0.0410
prva s točko 96	46.4520	0.0145	268.1153	0.0194	-0.0547
Bilinearna	46.5380	0.0146	268.0293	0.0196	-0.1407

Uradna H 268.17
Poligonska točka 6. red.
Kovinski čep.

Priloga B: Meritve – dan 2

Točka 3s

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4262991.2033	1163902.6043	4584246.3857	0.0067	0.0043	0.0107

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
319.2180	0.0090

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4304	0.0145	272.7876	0.0171	-0.1624
prva	46.4214	0.0157	272.7966	0.0181	-0.1534
prva brez 12	46.3884	0.0220	272.8296	0.0238	-0.1204
prva brez 12 in 2	46.3930	0.0208	272.8250	0.0227	-0.1250
prva brez 12 in 102	46.3927	0.0209	272.8253	0.0228	-0.1247
prva brez 102	46.4212	0.0151	272.7968	0.0176	-0.1532
prva brez 2	46.4258	0.0151	272.7922	0.0176	-0.1578
prva brez 4	46.4601	0.0224	272.7579	0.0241	-0.1921
prva brez 97	46.4646	0.0261	272.7534	0.0276	-0.1966
prva brez 2 in 97	46.4649	0.0225	272.7531	0.0242	-0.1969
prva brez 4 in 97	46.4691	0.0418	272.7489	0.0428	-0.2011
prva brez 102 in 4	46.4624	0.0201	272.7556	0.0220	-0.1944
prva s točko 8 in 96	46.3765	0.0127	272.8415	0.0155	-0.1085
prva s točko 8	46.3835	0.0128	272.8345	0.0156	-0.1155
prva s točko 96	46.4002	0.0152	272.8178	0.0177	-0.1322
Bilinearna	46.5051	0.0153	272.7129	0.0178	-0.2371

Uradna H 272.95

Trigonometrična in poligonometrična točka III. reda.

Trigonometrija 2004.

Betonski, granitni kamen.

Točka 19

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4263988.6907	1164496.2240	4583204.0700	0.0127	0.0057	0.0150

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
340.1867	0.0173

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4012	0.0173	293.7855	0.0245	-0.0545
prva	46.3876	0.0204	293.7990	0.0268	-0.0410
prva brez 102	46.3959	0.0195	293.7907	0.0261	-0.0493
prva brez 102 in 2	46.3993	0.0251	293.7873	0.0305	-0.0527
prva brez 2	46.3904	0.0194	293.7963	0.0260	-0.0437
prva brez 97	46.4086	0.0294	293.7780	0.0342	-0.0620
prva brez 102 in 97	46.4092	0.0331	293.7775	0.0373	-0.0625
prva brez 2 in 97	46.4084	0.0247	293.7782	0.0302	-0.0618
prva s točko 8 in 96	46.3365	0.0180	293.8502	0.0250	0.0102
prva s točko 8	46.3456	0.0182	293.8411	0.0252	0.0011
prva s točko 96	46.3622	0.0198	293.8245	0.0263	-0.0155
Bilinearna	46.4914	0.0160	293.6953	0.0236	-0.1447

Uradna H 293.84

Trigonometrična in poligonometrična točka IV. reda.

Trigonometrija 1947.

Betonski, granitni kamen.

Točka 592

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4263159.9393	1166114.0367	4583490.9280	0.0123	0.0100	0.0133

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
289.3880	0.0137

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.3936	0.0164	242.9944	0.0214	-0.0156
prva	46.3806	0.0189	243.0074	0.0233	-0.0026
prva brez 12	46.3359	0.0264	243.0521	0.0298	0.0421
prva brez 12 in 2	46.3430	0.0261	243.0450	0.0295	0.0350
prva brez 12 in 102	46.3429	0.0262	243.0451	0.0295	0.0351
prva brez 102	46.3822	0.0183	243.0058	0.0228	-0.0042
prva brez 2	46.3872	0.0194	243.0008	0.0237	-0.0092
prva brez 97	46.3721	0.0231	243.0159	0.0269	0.0059
prva brez 102 in 97	46.3704	0.0239	243.0176	0.0275	0.0076
prva brez 2 in 97	46.3683	0.0225	243.0197	0.0263	0.0097

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

prva s točko 8 in 96	46.3175	0.0160	243.0705	0.0210	0.0605
prva s točko 8	46.3284	0.0164	243.0596	0.0213	0.0496
prva s točko 96	46.3496	0.0180	243.0384	0.0226	0.0284
Bilinearna	46.4766	0.0160	242.9114	0.0210	-0.0986

Uradna H 243.01
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 828

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4262684.7433	1165393.3223	4584106.6170	0.0120	0.0060	0.0117

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
285.5267	0.0143

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4141	0.0147	239.1126	0.0205	-0.0874
prva	46.4040	0.0160	239.1227	0.0215	-0.0773
prva brez 12	46.3683	0.0223	239.1583	0.0265	-0.0417
prva brez 12 in 2	46.3760	0.0218	239.1506	0.0261	-0.0494
prva brez 12 in 102	46.3716	0.0213	239.1551	0.0257	-0.0449
prva brez 102	46.4014	0.0155	239.1252	0.0211	-0.0748
prva brez 2	46.4109	0.0165	239.1158	0.0218	-0.0842
prva brez 97	46.4160	0.0208	239.1107	0.0253	-0.0893
prva brez 102 in 97	46.4185	0.0211	239.1082	0.0255	-0.0918
prva brez 2 in 97	46.4132	0.0195	239.1134	0.0242	-0.0866
prva s točko 8 in 96	46.3474	0.0127	239.1793	0.0192	-0.0207
prva s točko 8	46.3566	0.0130	239.1701	0.0194	-0.0299
prva s točko 96	46.3769	0.0152	239.1498	0.0209	-0.0502
Bilinearna	46.4931	0.0155	239.0335	0.0211	-0.1665

Uradna H 239.2
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 967

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4262962.4953	1165110.5093	4583922.9863	0.0100	0.0050	0.0140

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
286.6317	0.0167

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4125	0.0150	240.2191	0.0224	-0.1109
prva	46.4018	0.0167	240.2299	0.0236	-0.1001
prva brez 12	46.3638	0.0235	240.2679	0.0288	-0.0621
prva brez 12 in 2	46.3701	0.0228	240.2615	0.0282	-0.0685
prva brez 12 in 102	46.3688	0.0227	240.2629	0.0281	-0.0671
prva brez 102	46.4016	0.0160	240.2301	0.0231	-0.0999
prva brez 2	46.4077	0.0167	240.2240	0.0236	-0.1060
prva brez 97	46.4177	0.0226	240.2140	0.0281	-0.1160
prva brez 102 in 97	46.4200	0.0233	240.2116	0.0287	-0.1184
prva brez 2 in 97	46.4157	0.0200	240.2160	0.0260	-0.1140
prva s točko 8 in 96	46.3471	0.0137	240.2846	0.0216	-0.0454
prva s točko 8	46.3561	0.0140	240.2756	0.0217	-0.0544
prva s točko 96	46.3754	0.0160	240.2562	0.0231	-0.0738
Bilinearna	46.4920	0.0156	240.1397	0.0228	-0.1903

Uradna H 240.33
Poligonska točka 6. red.
Betonski, granitni kamen.

Točka 1042

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4262867.0370	1166849.7457	4583604.1007	0.0100	0.0050	0.0077

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
310.0167	0.0123

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.3891	0.0166	263.6276	0.0207	-0.0624
prva	46.3762	0.0188	263.6405	0.0225	-0.0495
prva brez 12	46.3324	0.0259	263.6843	0.0287	-0.0057
prva brez 12 in 2	46.3416	0.0262	263.6751	0.0289	-0.0149
prva brez 12 in 102	46.3377	0.0256	263.6790	0.0284	-0.0110
prva brez 102	46.3752	0.0184	263.6414	0.0222	-0.0486
prva brez 2	46.3844	0.0202	263.6322	0.0237	-0.0578
prva brez 97	46.3540	0.0225	263.6627	0.0257	-0.0273
prva brez 102 in 97	46.3511	0.0232	263.6656	0.0263	-0.0244

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

prva brez 2 in 97	46.3486	0.0251	263.6681	0.0280	-0.0219
prva s točko 8 in 96	46.3077	0.0156	263.7090	0.0199	0.0190
prva s točko 8	46.3195	0.0161	263.6972	0.0203	0.0072
prva s točko 96	46.3426	0.0177	263.6741	0.0216	-0.0159
Bilinearna	46.4757	0.0159	263.5410	0.0201	-0.1490

Uradna H 263.69
Poligonska točka 6. red.
Kovinski čep.

Točka 3707

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4264620.6497	1163695.0403	4582776.5917	0.0093	0.0037	0.0123

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
307.3077	0.0163

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.3994	0.0193	260.9083	0.0253	0.0383
Bilinearna	46.5000	0.0158	260.8077	0.0227	-0.0623

Uradna H 260.87
Poligonska točka 6. red.
Kovinski čep.

Točka 4021

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4264104.2277	1164151.1057	4583105.8263	0.0127	0.0067	0.0113

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
283.4593	0.0170

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4029	0.0176	237.0564	0.0245	-0.0236
prva	46.3893	0.0208	237.0700	0.0269	-0.0100
prva brez 102	46.3989	0.0199	237.0604	0.0262	-0.0196
prva brez 102 in 2	46.4109	0.0243	237.0485	0.0297	-0.0315

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

prva brez 2	46.3913	0.0196	237.0680	0.0260	-0.0120
prva brez 97	46.4165	0.0312	237.0429	0.0355	-0.0371
prva brez 102 in 97	46.4175	0.0356	237.0418	0.0394	-0.0382
prva brez 2 in 97	46.4170	0.0263	237.0423	0.0314	-0.0377
prva s točko 8 in 96	46.3406	0.0185	237.1187	0.0251	0.0387
prva s točko 8	46.3494	0.0187	237.1100	0.0253	0.0300
prva s točko 96	46.3650	0.0202	237.0943	0.0264	0.0143
Bilinearna	46.4951	0.0159	236.9642	0.0232	-0.1158

Uradna H 237.08
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 4722

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4262718.3283	1163134.9237	4584648.1417	0.0133	0.0097	0.0087

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
287.5773	0.0163

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4469	0.0145	241.1304	0.0219	-0.0796
prva	46.4401	0.0148	241.1373	0.0220	-0.0727
prva brez 12	46.4134	0.0201	241.1640	0.0259	-0.0460
prva brez 12 in 2	46.4178	0.0189	241.1596	0.0250	-0.0504
prva brez 12 in 102	46.4155	0.0190	241.1619	0.0251	-0.0481
prva brez 102	46.4375	0.0147	241.1398	0.0220	-0.0702
prva brez 2	46.4441	0.0143	241.1332	0.0217	-0.0768
prva brez 4	46.4703	0.0198	241.1071	0.0257	-0.1029
prva brez 2 in 4	46.4974	0.0188	241.0799	0.0249	-0.1301
prva brez 102 in 4	46.4696	0.0178	241.1078	0.0241	-0.1022
prva s točko 8 in 96	46.4016	0.0115	241.1757	0.0200	-0.0343
prva s točko 8	46.4071	0.0115	241.1703	0.0200	-0.0397
prva s točko 96	46.4226	0.0144	241.1548	0.0218	-0.0552
Bilinearna	46.5168	0.0150	241.0605	0.0222	-0.1495

Uradna H 241.21
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 4843

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4264442.8777	1163808.2603	4582879.5683	0.0187	0.0043	0.0210

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
283.6513	0.0267

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4010	0.0187	237.2503	0.0326	-0.0197
Bilinearna	46.4989	0.0158	237.1525	0.0310	-0.1175

Uradna H 237.27

Poligonska točka 6. red.

Kovinski čep.

Točka 4896

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4262514.0673	1164862.5533	4584401.7443	0.0113	0.0063	0.0293

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
288.0560	0.0330

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4256	0.0142	241.6304	0.0359	-0.1596
prva	46.4169	0.0149	241.6391	0.0362	-0.1509
prva brez 12	46.3856	0.0205	241.6704	0.0389	-0.1196
prva brez 12 in 2	46.3932	0.0199	241.6628	0.0385	-0.1272
prva brez 12 in 102	46.3874	0.0194	241.6686	0.0383	-0.1214
prva brez 102	46.4128	0.0147	241.6432	0.0361	-0.1468
prva brez 2	46.4235	0.0153	241.6325	0.0364	-0.1575
prva brez 97	46.4425	0.0211	241.6135	0.0391	-0.1765
prva brez 102 in 97	46.4473	0.0226	241.6087	0.0400	-0.1813
prva brez 2 in 97	46.4406	0.0190	241.6154	0.0381	-0.1746
prva s točko 8 in 96	46.3648	0.0115	241.6912	0.0349	-0.0988
prva s točko 8	46.3729	0.0117	241.6831	0.0350	-0.1069

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

prva s točko 96	46.3924	0.0142	241.6636	0.0359	-0.1264
Bilinearna	46.5010	0.0152	241.5550	0.0364	-0.2350

Uradna H 241.79
Poligonska točka 6. red.
Kovinski čep.

Točka 4947

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4263467.5963	1163760.5800	4583792.6947	0.0133	0.0083	0.0080

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
283.5193	0.0117

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4220	0.0155	237.0973	0.0194	-0.0027
prva	46.4113	0.0176	237.1080	0.0211	0.0080
prva brez 102	46.4154	0.0166	237.1039	0.0203	0.0039
prva brez 102 in 2	46.4057	0.0179	237.1136	0.0214	0.0136
prva brez 2	46.4144	0.0165	237.1049	0.0202	0.0049
prva brez 97	46.4531	0.0289	237.0662	0.0312	-0.0338
prva brez 102 in 97	46.4578	0.0323	237.0615	0.0343	-0.0385
prva brez 2 in 97	46.4539	0.0248	237.0654	0.0274	-0.0346
prva s točko 8 in 96	46.3668	0.0148	237.1526	0.0189	0.0526
prva s točko 8	46.3741	0.0150	237.1452	0.0190	0.0452
prva s točko 96	46.3899	0.0171	237.1295	0.0207	0.0295
Bilinearna	46.5022	0.0155	237.0171	0.0194	-0.0829

Uradna H 237.1
Poligonska točka 6. red.
Kovinski čep.

Točka 5056

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4263672.1057	1163745.4783	4583608.2033	0.0113	0.0067	0.0080

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
283.9823	0.0133

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4180	0.0160	237.5644	0.0209	-0.0156
prva	46.4066	0.0184	237.5758	0.0228	-0.0042
prva brez 102	46.4124	0.0174	237.5699	0.0219	-0.0101
prva brez 102 in 2	46.4107	0.0186	237.5716	0.0229	-0.0084
prva brez 2	46.4091	0.0173	237.5732	0.0218	-0.0068
prva brez 97	46.4468	0.0300	237.5355	0.0328	-0.0445
prva brez 102 in 97	46.4508	0.0337	237.5315	0.0362	-0.0485
prva brez 2 in 97	46.4478	0.0257	237.5345	0.0289	-0.0455
prva s točko 8 in 96	46.3618	0.0158	237.6205	0.0207	0.0405
prva s točko 8	46.3694	0.0160	237.6130	0.0208	0.0330
prva s točko 96	46.3848	0.0179	237.5976	0.0223	0.0176
Bilinearna	46.5006	0.0156	237.4817	0.0205	-0.0983

Uradna H 237.58
Poligonska točka 6. red.
Trigonometrija 1996.
Betonski, granitni kamen.

Priloga C: Meritve – dan 3

Točka 44z2

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4261537.5467	1164977.7370	4585279.0767	0.0120	0.0060	0.0110

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
291.4460	0.0183

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4442	0.0145	245.0018	0.0234	-0.1182
prva	46.4391	0.0131	245.0069	0.0225	-0.1131
prva brez 12	46.4198	0.0161	245.0262	0.0244	-0.0938
prva brez 12 in 2	46.4310	0.0167	245.0150	0.0248	-0.1050
prva brez 12 in 102	46.4149	0.0162	245.0311	0.0244	-0.0889
prva brez 102	46.4265	0.0149	245.0195	0.0237	-0.1005
prva brez 2	46.4482	0.0151	244.9978	0.0237	-0.1222
prva brez 4	46.4695	0.0164	244.9765	0.0246	-0.1435
prva brez 97	46.4709	0.0181	244.9751	0.0257	-0.1449
prva brez 2 in 97	46.4682	0.0191	244.9778	0.0265	-0.1422
prva brez 4 in 97	46.4746	0.0246	244.9714	0.0307	-0.1486
prva brez 102 in 4	46.4580	0.0171	244.9880	0.0250	-0.1320
prva s točko 8 in 96	46.3876	0.0091	245.0584	0.0204	-0.0616
prva s točko 8	46.3947	0.0092	245.0513	0.0205	-0.0687
prva s točko 96	46.4158	0.0124	245.0302	0.0221	-0.0898
Bilinearna	46.5196	0.0148	244.9264	0.0236	-0.1936

Uradna H 245.12

Trigonometrična in poligonometrična točka IV. reda.

Trigonometrija 1988.

Betonski, granitni kamen.

Točka 45

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4261911.8483	1164247.0490	4585114.7603	0.0090	0.0043	0.0083

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
289.2180	0.0123

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4473	0.0142	242.7707	0.0188	-0.1393
prva	46.4418	0.0133	242.7762	0.0181	-0.1338
prva brez 12	46.4207	0.0170	242.7973	0.0210	-0.1127
prva brez 12 in 2	46.4295	0.0168	242.7885	0.0208	-0.1215
prva brez 12 in 102	46.4180	0.0166	242.8000	0.0207	-0.1100
prva brez 102	46.4324	0.0145	242.7856	0.0190	-0.1244
prva brez 2	46.4491	0.0142	242.7689	0.0188	-0.1411
prva brez 4	46.4711	0.0169	242.7469	0.0209	-0.1631
prva brez 97	46.4867	0.0213	242.7313	0.0246	-0.1787
prva brez 2 in 97	46.4856	0.0199	242.7324	0.0234	-0.1776
prva brez 4 in 97	46.4888	0.0300	242.7292	0.0324	-0.1808
prva brez 102 in 4	46.4629	0.0165	242.7551	0.0206	-0.1549
prva s točko 8 in 96	46.3956	0.0095	242.8224	0.0156	-0.0876
prva s točko 8	46.4020	0.0095	242.8160	0.0156	-0.0940
prva s točko 96	46.4210	0.0127	242.7970	0.0177	-0.1130
Bilinearna	46.5182	0.0147	242.6998	0.0192	-0.2102

Uradna H 242.91

Trigonometrična in poligonometrična točka IV. reda.

Trigonometrija 1947.

Betonski, granitni kamen.

Točka 112

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4261237.0533	1164505.8807	4585677.1647	0.0180	0.0097	0.0153

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
292.6377	0.0223

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4575	0.0152	246.1802	0.0270	-0.0428
prva	46.4542	0.0130	246.1835	0.0259	-0.0395
prva brez 12	46.4407	0.0151	246.1970	0.0269	-0.0260
prva brez 12 in 2	46.4522	0.0160	246.1854	0.0275	-0.0376
prva brez 12 in 102	46.4335	0.0164	246.2042	0.0277	-0.0188
prva brez 102	46.4390	0.0160	246.1987	0.0275	-0.0243
prva brez 2	46.4634	0.0153	246.1742	0.0270	-0.0488
prva brez 4	46.4778	0.0149	246.1599	0.0268	-0.0631
prva brez 97	46.4994	0.0195	246.1382	0.0296	-0.0848
prva brez 2 in 97	46.4973	0.0203	246.1403	0.0302	-0.0827

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

prva brez 4 in 97	46.5002	0.0240	246.1375	0.0328	-0.0855
prva brez 102 in 4	46.4629	0.0170	246.1748	0.0280	-0.0482
prva s točko 8 in 96	46.4069	0.0091	246.2307	0.0241	0.0077
prva s točko 8	46.4130	0.0091	246.2247	0.0241	0.0017
prva s točko 96	46.4335	0.0125	246.2042	0.0256	-0.0188
Bilinearna	46.5313	0.0145	246.1064	0.0266	-0.1166

Uradna H 246.223
 Trigonometrična in poligonometrična točka IV. reda.
 Niveliranje 1988.
 Betonski, granitni kamen.

Točka 148

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4260362.2960	1164929.3267	4586387.2840	0.0093	0.0057	0.0103

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
299.6297	0.0133

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4695	0.0177	253.1601	0.0221	-0.1299
prva	46.4689	0.0144	253.1608	0.0196	-0.1292
prva brez 12	46.4648	0.0146	253.1649	0.0198	-0.1251
prva brez 12 in 2	46.4801	0.0174	253.1496	0.0219	-0.1404
prva brez 12 in 102	46.4518	0.0191	253.1778	0.0233	-0.1122
prva brez 102	46.4461	0.0194	253.1835	0.0236	-0.1065
prva brez 2	46.4808	0.0181	253.1489	0.0225	-0.1411
prva brez 4	46.4857	0.0150	253.1440	0.0201	-0.1460
prva brez 97	46.5126	0.0193	253.1171	0.0234	-0.1729
prva brez 2 in 97	46.5091	0.0233	253.1206	0.0269	-0.1694
prva brez 4 in 97	46.5119	0.0202	253.1177	0.0242	-0.1723
prva brez 102 in 4	46.4622	0.0203	253.1675	0.0243	-0.1225
prva s točko 8 in 96	46.4195	0.0108	253.2101	0.0172	-0.0799
prva s točko 8	46.4253	0.0108	253.2044	0.0171	-0.0856
prva s točko 96	46.4480	0.0139	253.1817	0.0192	-0.1083
Bilinearna	46.5521	0.0145	253.0776	0.0197	-0.2124

Uradna H 253.29
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 181

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4260472.9873	1166302.1747	4585946.7447	0.0097	0.0047	0.0093

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
305.5493	0.0127

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4470	0.0169	259.1024	0.0211	-0.1076
prva	46.4439	0.0142	259.1054	0.0190	-0.1046
prva brez 12	46.4327	0.0149	259.1166	0.0195	-0.0934
prva brez 12 in 2	46.4496	0.0182	259.0998	0.0221	-0.1102
prva brez 12 in 102	46.4213	0.0176	259.1280	0.0217	-0.0820
prva brez 102	46.4222	0.0182	259.1272	0.0222	-0.0828
prva brez 2	46.4571	0.0187	259.0922	0.0226	-0.1178
prva brez 4	46.4720	0.0164	259.0774	0.0207	-0.1326
prva brez 97	46.4557	0.0172	259.0937	0.0214	-0.1163
prva brez 2 in 97	46.4497	0.0256	259.0997	0.0285	-0.1103
prva brez 4 in 97	46.4609	0.0205	259.0884	0.0241	-0.1216
prva brez 102 in 4	46.4504	0.0203	259.0990	0.0240	-0.1110
prva s točko 8 in 96	46.3833	0.0099	259.1660	0.0161	-0.0440
prva s točko 8	46.3915	0.0102	259.1579	0.0162	-0.0521
prva s točko 96	46.4169	0.0132	259.1325	0.0183	-0.0775
Bilinearna	46.5293	0.0150	259.0201	0.0196	-0.1899

Uradna H 259.21

Poligonska točka 6. red.

Kovinski čep.

Točka 271

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4259466.3490	1164830.9597	4587247.1027	0.0103	0.0057	0.0093

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
305.7577	0.0123

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4897	0.0214	259.2679	0.0247	-0.0321

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

prva	46.4926	0.0176	259.2650	0.0215	-0.0350
prva brez 12	46.5004	0.0173	259.2573	0.0212	-0.0427
prva brez 12 in 2	46.5187	0.0213	259.2390	0.0246	-0.0610
prva brez 2	46.5065	0.0221	259.2512	0.0253	-0.0488
prva brez 4	46.4986	0.0183	259.2591	0.0221	-0.0409
prva brez 12 in 4	46.4997	0.0167	259.2579	0.0208	-0.0421
prva brez 2 in 4	46.5408	0.0261	259.2169	0.0289	-0.0831
prva s točko 8 in 96	46.4454	0.0148	259.3123	0.0193	0.0123
prva s točko 8	46.4500	0.0147	259.3077	0.0192	0.0077
prva s točko 96	46.4737	0.0172	259.2839	0.0212	-0.0161
Bilinearna	46.5831	0.0140	259.1745	0.0187	-0.1255

Uradna H 259.3
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 304

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4258900.8930	1165512.8563	4587610.6347	0.0163	0.0080	0.0190

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
315.9447	0.0230

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4916	0.0235	269.4531	0.0329	-0.1069
prva	46.4956	0.0196	269.4491	0.0302	-0.1109
prva brez 12	46.5078	0.0192	269.4369	0.0300	-0.1231
prva brez 12 in 2	46.5290	0.0242	269.4156	0.0334	-0.1444
prva brez 2	46.5116	0.0249	269.4330	0.0339	-0.1270
prva brez 4	46.5001	0.0211	269.4446	0.0312	-0.1154
prva brez 97	46.5395	0.0248	269.4052	0.0338	-0.1548
prva brez 12 in 4	46.5131	0.0227	269.4316	0.0323	-0.1284
prva brez 2 in 97	46.5339	0.0325	269.4107	0.0398	-0.1493
prva brez 4 in 97	46.5360	0.0287	269.4086	0.0368	-0.1514
prva s točko 8 in 96	46.4437	0.0169	269.5009	0.0285	-0.0591
prva s točko 8	46.4488	0.0169	269.4959	0.0285	-0.0641
prva s točko 96	46.4748	0.0191	269.4699	0.0299	-0.0901
Bilinearna	46.5938	0.0138	269.3508	0.0268	-0.2092

Uradna H 269.56
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 369

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4259481.0407	1165980.5320	4586964.9440	0.0117	0.0053	0.0083

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
321.3000	0.0120

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4726	0.0206	274.8274	0.0238	0.0074
prva	46.4738	0.0170	274.8262	0.0208	0.0062
prva brez 12	46.4767	0.0163	274.8233	0.0203	0.0033
prva brez 4	46.4882	0.0181	274.8118	0.0217	-0.0082
prva brez 97	46.5020	0.0212	274.7980	0.0243	-0.0220
prva brez 12 in 4	46.4607	0.0197	274.8393	0.0231	0.0193
prva brez 4 in 97	46.5024	0.0232	274.7976	0.0261	-0.0224
prva brez 12 in 97	46.4961	0.0249	274.8039	0.0276	-0.0161
prva s točko 8 in 96	46.4173	0.0136	274.8827	0.0181	0.0627
prva s točko 8	46.4238	0.0137	274.8762	0.0182	0.0562
prva s točko 96	46.4500	0.0163	274.8500	0.0202	0.0300
Bilinearna	46.5656	0.0143	274.7344	0.0186	-0.0856

Uradna H 274.82

Poligonska točka 6. red.

Kovinski čep.

Točka 406

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4260679.8170	1165563.2810	4585940.5237	0.0117	0.0047	0.0157

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
304.1427	0.0193

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4536	0.0163	257.6891	0.0253	-0.0809
prva	46.4508	0.0136	257.6918	0.0237	-0.0782
prva brez 12	46.4401	0.0146	257.7026	0.0242	-0.0674
prva brez 12 in 2	46.4552	0.0171	257.6875	0.0258	-0.0825
prva brez 12 in 102	46.4297	0.0171	257.7130	0.0258	-0.0570

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

prva brez 102	46.4308	0.0176	257.7118	0.0261	-0.0582
prva brez 2	46.4627	0.0173	257.6800	0.0260	-0.0900
prva brez 4	46.4758	0.0154	257.6668	0.0247	-0.1032
prva brez 97	46.4774	0.0171	257.6653	0.0258	-0.1047
prva brez 2 in 97	46.4729	0.0224	257.6697	0.0296	-0.1003
prva brez 4 in 97	46.4804	0.0192	257.6623	0.0272	-0.1077
prva brez 102 in 4	46.4559	0.0190	257.6868	0.0271	-0.0832
prva s točko 8 in 96	46.3959	0.0095	257.7468	0.0216	-0.0232
prva s točko 8	46.4031	0.0097	257.7396	0.0216	-0.0304
prva s točko 96	46.4266	0.0129	257.7160	0.0232	-0.0540
Bilinearna	46.5342	0.0150	257.6084	0.0245	-0.1616

Uradna H 257.77
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 531

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4260365.6763	1167195.3997	4585836.1637	0.0140	0.0070	0.0110

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
317.2050	0.0170

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4361	0.0174	270.7689	0.0243	-0.0911
prva	46.4322	0.0150	270.7728	0.0227	-0.0872
prva brez 12	46.4188	0.0156	270.7862	0.0231	-0.0738
prva brez 12 in 102	46.4071	0.0180	270.7979	0.0247	-0.0621
prva brez 102	46.4096	0.0188	270.7954	0.0254	-0.0646
prva brez 97	46.4249	0.0192	270.7801	0.0257	-0.0799
prva brez 102 in 97	46.4305	0.0309	270.7745	0.0353	-0.0855
prva brez 12 in 97	46.4227	0.0193	270.7823	0.0257	-0.0777
prva s točko 8 in 96	46.3646	0.0103	270.8404	0.0199	-0.0196
prva s točko 8	46.3741	0.0108	270.8309	0.0202	-0.0291
prva s točko 96	46.4015	0.0137	270.8035	0.0219	-0.0565
Bilinearna	46.5200	0.0150	270.6850	0.0227	-0.1750

Uradna H 270.86
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 2658

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4262238.8300	1164286.6200	4584802.0550	0.0097	0.0057	0.0210

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
288.6357	0.0210

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σ_N [m]	H [m]	σ_H [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4399	0.0140	242.1958	0.0253	-0.0842
prva	46.4331	0.0138	242.2026	0.0251	-0.0774
prva brez 12	46.4077	0.0185	242.2280	0.0280	-0.0520
prva brez 12 in 2	46.4154	0.0179	242.2202	0.0276	-0.0598
prva brez 12 in 102	46.4072	0.0176	242.2285	0.0274	-0.0515
prva brez 102	46.4265	0.0142	242.2092	0.0254	-0.0708
prva brez 2	46.4397	0.0143	242.1960	0.0254	-0.0840
prva brez 4	46.4663	0.0185	242.1693	0.0280	-0.1107
prva brez 97	46.4741	0.0219	242.1615	0.0304	-0.1185
prva brez 2 in 97	46.4731	0.0198	242.1625	0.0289	-0.1175
prva brez 4 in 97	46.4775	0.0329	242.1581	0.0390	-0.1219
prva brez 102 in 4	46.4615	0.0173	242.1742	0.0272	-0.1058
prva s točko 8 in 96	46.3861	0.0102	242.2496	0.0234	-0.0304
prva s točko 8	46.3929	0.0103	242.2428	0.0234	-0.0372
prva s točko 96	46.4115	0.0133	242.2241	0.0248	-0.0559
Bilinearna	46.5103	0.0149	242.1254	0.0258	-0.1546

Uradna H 242.28

Poligonska točka 6. red.

Kovinski čep.

Točka 3400

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
4261983.3173	1164470.0250	4585000.9753	0.0123	0.0063	0.0193

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σ_h [m]
295.3080	0.0163

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4426	0.0141	248.8654	0.0216	-0.0646
prva	46.4365	0.0134	248.8715	0.0211	-0.0585
prva brez 12	46.4137	0.0175	248.8943	0.0239	-0.0357
prva brez 12 in 2	46.4226	0.0172	248.8854	0.0237	-0.0446
prva brez 12 in 102	46.4115	0.0168	248.8965	0.0234	-0.0335
prva brez 102	46.4277	0.0143	248.8803	0.0217	-0.0497
prva brez 2	46.4439	0.0143	248.8641	0.0217	-0.0659
prva brez 4	46.4682	0.0175	248.8398	0.0239	-0.0902
prva brez 97	46.4758	0.0205	248.8322	0.0262	-0.0978
prva brez 2 in 97	46.4743	0.0193	248.8337	0.0253	-0.0963
prva brez 4 in 97	46.4790	0.0298	248.8290	0.0340	-0.1010
prva brez 102 in 4	46.4608	0.0169	248.8472	0.0235	-0.0828
prva s točko 8 in 96	46.3884	0.0096	248.9196	0.0190	-0.0104
prva s točko 8	46.3952	0.0097	248.9128	0.0190	-0.0172
prva s točko 96	46.4146	0.0128	248.8934	0.0208	-0.0366
Bilinearna	46.5144	0.0148	248.7936	0.0221	-0.1364

Uradna H 248.93
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 3526

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4261860.6500	1164509.0850	4585107.0490	0.0117	0.0063	0.0107

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
297.2473	0.0147

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(\text{uradna})$ [m]
druga	46.4446	0.0142	250.8028	0.0204	-0.0772
prva	46.4389	0.0132	250.8084	0.0198	-0.0716
prva brez 12	46.4175	0.0170	250.8299	0.0224	-0.0501
prva brez 12 in 2	46.4269	0.0169	250.8205	0.0224	-0.0595
prva brez 12 in 102	46.4145	0.0165	250.8328	0.0221	-0.0472
prva brez 102	46.4290	0.0145	250.8183	0.0206	-0.0617
prva brez 2	46.4467	0.0144	250.8006	0.0206	-0.0794
prva brez 4	46.4695	0.0170	250.7779	0.0224	-0.1021
prva brez 97	46.4785	0.0201	250.7689	0.0249	-0.1111
prva brez 2 in 97	46.4768	0.0193	250.7705	0.0242	-0.1095
prva brez 4 in 97	46.4814	0.0286	250.7659	0.0321	-0.1141

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

prva brez 102 in 4	46.4609	0.0167	250.7865	0.0223	-0.0935
prva s točko 8 in 96	46.3907	0.0094	250.8566	0.0174	-0.0234
prva s točko 8	46.3974	0.0095	250.8499	0.0175	-0.0301
prva s točko 96	46.4171	0.0126	250.8302	0.0194	-0.0498
Bilinearna	46.5169	0.0148	250.7304	0.0208	-0.1496

Uradna H 250.88
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.

Točka 4850

Izmerjene kartezične WGS84 koordinate:

X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
4263728.4067	1163194.1893	4583696.2767	0.0117	0.0160	0.0177

Izmerjena elipsoidna WGS84 višina:

h [m]	σh [m]
284.8037	0.0180

Izračunane geoidne in ortometrične višine:

Verzija geoida	N [m]	σN [m]	H [m]	σH [m]	$H - H(uradna)$ [m]
druga	46.4250	0.0161	238.3787	0.0242	-0.0013
prva	46.4142	0.0184	238.3895	0.0257	0.0095
prva brez 102	46.4204	0.0173	238.3832	0.0250	0.0032
prva brez 102 in 2	46.4252	0.0168	238.3785	0.0246	-0.0015
prva brez 2	46.4160	0.0171	238.3877	0.0248	0.0077
prva brez 4	46.4562	0.0266	238.3474	0.0321	-0.0326
prva brez 97	46.4664	0.0324	238.3373	0.0371	-0.0427
prva brez 2 in 97	46.4684	0.0285	238.3352	0.0337	-0.0448
prva brez 4 in 97	46.4706	0.0528	238.3330	0.0558	-0.0470
prva brez 102 in 4	46.4658	0.0239	238.3379	0.0299	-0.0421
prva s točko 8 in 96	46.3738	0.0157	238.4299	0.0239	0.0499
prva s točko 8	46.3805	0.0158	238.4232	0.0240	0.0432
prva s točko 96	46.3947	0.0179	238.4090	0.0254	0.0290
Bilinearna	46.5076	0.0153	238.2960	0.0236	-0.0840

Uradna H 238.38
 Poligonska točka 6. red.
 Kovinski čep.