

**Razvoj DGS 2007**  
**Prehod na nov koordinatni sistem**  
**Izračun gravimetrične mreže 1. reda**

Ljubljana, 20. 03. 2008

## **PODATKI O PROJEKTU**

### **Naročnik:**

**Ministrstvo za okolje in prostor,  
Geodetska uprava Republike Slovenije**

Ljubljana, Zemljemerska ulica 12

Matična številka: 5026334  
ID za DDV: SI25661787

Odgovorna oseba: Aleš seliškar, direktor

### **Izvajalec:**

**Geodetski inštitut Slovenije**

Ljubljana, Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana

Matična številka: 5051649000  
ID za DDV: SI81498756  
Račun: 01100-6030348025

Odgovorna oseba: mag. Borut Pegan Žvokelj, direktor

### **Pogodba:**

Številka naročila: 2512-07-000061

Naslov pogodbe: Razvoj državnega geodetskega sistema – Prehod na nov koordinatni sistem

Naročnik: številka pogodbe: 35305-5/2007-1  
aneks št. 1 k pogodbi: 35305-13/2007-1

datum: 17. 05. 2007

datum: 25. 07. 2007

Izvajalec: številka pogodbe: 07-077/P-SB  
aneks št. 1 k pogodbi: 07-077/1-07/A-DR

datum: 18. 05. 2007

datum: 25. 07. 2007

### **Zastopnik pogodbe:**

Naročnik: mag. Blaž Mozetič, univ. dipl. inž. geod.

Izvajalec: Sandi Berk, univ. dipl. inž. geod.

### **Avtorji izračuna in poročila:**

dr. Miran Kuhar in dr. Božo Koler (Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo)

<b>1 IZRAČUN GRAVIMETRIČNE MREŽE I. REDA.....</b>	<b>5</b>
1.1 GRAVIMETRIČNI REFERENČNI SISTEM SLOVENIJE .....	5
1.2 GRAVIMETRIČNI DATUM REPUBLIKE SLOVENIJE .....	5
1.3 OSNOVNA GRAVIMETRIČNA MREŽA SLOVENIJE.....	7
1.3.1 Oštevilčevanje gravimetričnih točk.....	7
1.4 IZMERA GRAVIMETRIČNE MREŽE I. REDA .....	9
1.5 OBDELAVA PODATKOV OPAZOVANJ V MREŽI I. REDA .....	9
1.5.1 Popravek zaradi plimovanja trdne Zemlje .....	9
1.5.2 Popravek zaradi vpliva atmosferskega tlaka.....	10
1.5.3 Hod instrumenta .....	10
1.5.4 Redukcija za višino instrumenta .....	11
1.5.5 Popravek zaradi gibanja pola.....	11
1.6 OCENA NATANČNOSTI IZVEDENIH MERITEV.....	11
1.7 REZULTATI DIAGNOSTIČNIH IZRAVNAV .....	13
1.8 REZULTATI IZRAVNAVE OPAZOVANJ V CELOTNI MREŽI .....	13
1.9 ZAKLJUČEK .....	15
1.9.1 Viri.....	16

## SEZNAM PRILOG

- Priloga 1: [Obdelava podatkov gravimetričnih opazovanj v mreži I. reda – gravimeter št. 10241 \(SI\)](#)  
(147 str.)
- Priloga 2: [Obdelava podatkov gravimetričnih opazovanj v mreži I. reda – gravimeter št. 704373 \(HR\)](#)  
(147 str.)
- Priloga 3: [Izravnava gravimetričnih opazovanj v mreži I. reda – oba instrumenta skupaj](#)  
(17 str.)

Skupaj prilog: 311 str.

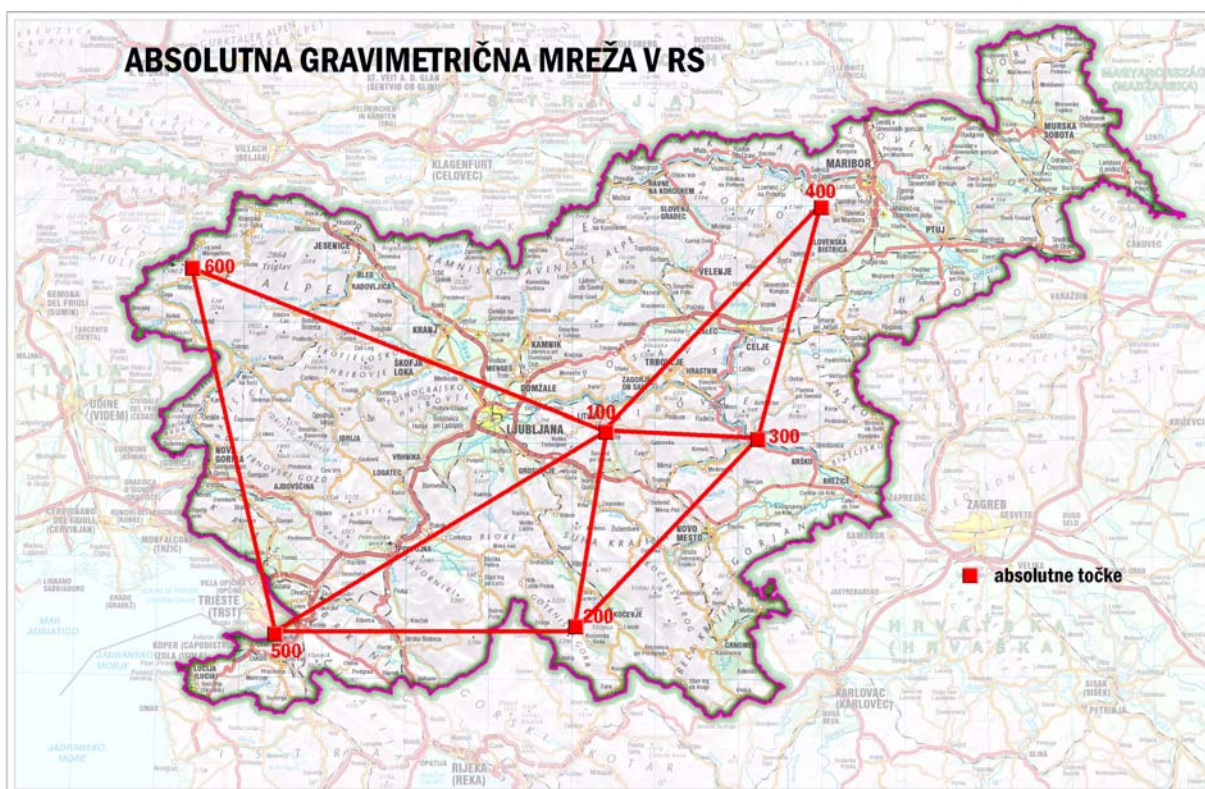
# 1 IZRAČUN GRAVIMETRIČNE MREŽE I. REDA

## 1.1 Gravimetrični referenčni sistem Slovenije

Novi gravimetrični sistem Republike Slovenije je vzpostavljen z gravimetričnimi meritvami in določitvijo težnega pospeška na 6 absolutnih točkah gravimetrične mreže 0. reda in 29 točkah gravimetrične mreže 1. reda. Absolutne gravimetrične točke so bile stabilizirane leta 1995 in izmerjene leta 1996 (glej preglednico 1). Gravimetrična izmera mreže 1. reda je bila izvedena jeseni 2006. To poročilo podaja obdelavo gravimetričnih meritev v mreži 1. reda.

## 1.2 Gravimetrični datum Republike Slovenije

Gravimetrični datum je določen z absolutnimi meritvami težnega pospeška na posamezni absolutni gravimetrični točki. Vsi absolutni gravimetri na svetu dajo vrednosti težnega pospeška, ki se nanaša na Mednarodno gravimetrično standardno mrežo IGSN71. Gravimetrični datum Republike Slovenije tako tvori šest absolutnih gravimetričnih točk enakomerno razporejenih na območju Slovenije: AGT 100 - Bogenšperk, AGT200 - Gotenica, AGT300 - Sevnica, AGT 400 - Sv. Areh, AGT500 - Socerb, AGT600 - Kluže (slika 1 in preglednica 1).



Slika 1: Razporeditev absolutnih gravimetričnih točk

Pri izmeri gravimetrične mreže 1. reda Slovenije, smo direktno povezali tudi posamezne absolutne gravimetrične točke (glej sliko 1). Tako smo pridobili možnost kontrole določitve absolutnih vrednosti težnostnih pospeškov oziroma preverili bomo lahko, kako se ujemajo dane z merjenimi vrednostmi  $\Delta g$  (glej poglavje 1.7).

Čeprav so prve absolutne meritve na točkah izvedene že leta 1996, smo končne vrednosti težnega pospeška na štirih točkah mreže 0. reda dobili šele leta 2007. Takrat so namreč na točkah AGT 300 - Sevnica, AGT 400 - Aréh, AGT 500 - Socerb in AGT 600 - Kluže končane meritve določitve vertikalnega gradienta težnega pospeška. S poznavanjem prave vrednosti vertikalnega gradienta je možno reducirati merjene vrednosti absolutnega težnega pospeška z referenčne višine opazovanj absolutnega gravimetra na nivo točke (čepa). Izmerjene

vrednosti vertikalnega gradienta na omenjenih točkah, kot tudi ostalih točkah mreže 0. reda so zbrane v preglednici 1.

Preglednica 1: vrednosti težnega pospeška na točkah 0. reda.

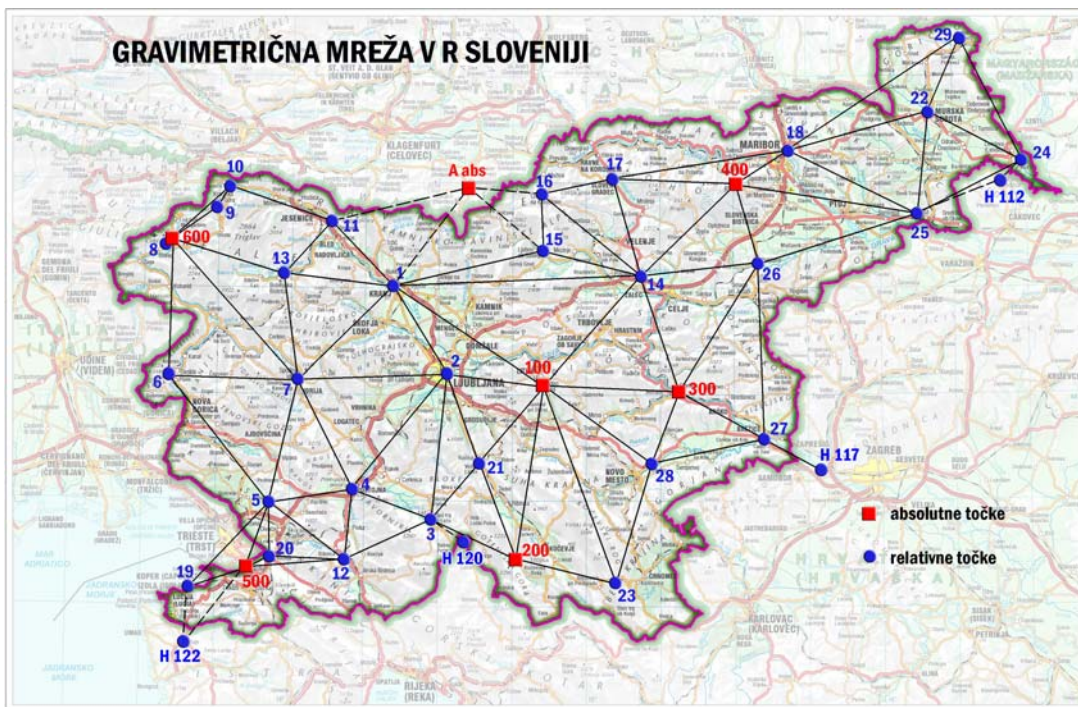
Točka	Instrument	epoha	merjeni <b>g</b> [ $\mu$ Gal]	višina opaz. [mm]	gradient [ $\mu$ Gal/m]	epoha gradienta	red.za višino [ $\mu$ Gal]	<b>g</b> nivo čepa [ $\mu$ Gal]
<b>AGT 100</b>	IMGC	jul. 96	980593302,4	860	-290,0	povp.	-249,4	980593551,8
<b>Bogenšperk</b>	FG5-101 (IfAG)	maj. 96	980593152,7	1303	-284,5	maj. 96	-370,8	980593523,5
	JILAg-6 (Ruess)	maj. 00	980593297,6	835	-290,7	maj. 00	-242,7	980593540,3
	JILAg-5 (Makinen)	dec. 98	980593286,8	840	-294,7	dec. 98	-247,5	980593534,3
								980593537,5
<b>AGT 200</b>	IMGC	jul. 96	980506654,5	867	-205,8	jul. 96	-178,4	980506832,9
<b>Gotenica</b>	JILAg-5 (Makinen)	dec. 98	980506653,4	834	-205,8	dec. 98	-171,6	980506825,1
								980506829,0
<b>AGT 400 Areh</b>	IMGC	jul. 96	980483435,2	860	-381,0	dec.07	-327,7	980483762,9
<b>AGT 300 Sevnica</b>	IMGC	jul. 96	980640722,2	899	-394,1	mar.06	-354,3	980641076,5
<b>AGT 500 Socerb</b>	IMGC	jul. 96	980558270,3	895	-340,5	dec.07	-304,7	980558575,1
<b>AGT 600 Kluže</b>	IMGC	jul. 96	980545634,2	881	-241,0	mar.06	-212,3	980545846,5

Preglednica 1 podaja končne vrednosti izmerjene absolutne vrednosti težnega pospeška na točkah mreže 0. reda. Vse vrednosti se nanašajo na vrh čepa, saj se vse višine instrumentov (absolutnega ali relativnega) merijo od te točke.

### 1.3 Osnovna gravimetrična mreža Slovenije

Osnovno gravimetrično mrežo Slovenije na teritoriju naše države tvori (Slika 2):

- 29 relativnih točk (I. red)
- 6 absolutnih točk (0. red)



Slika 2: Osnovna gravimetrična mreža Slovenije

#### 1.3.1 Oštevilčevanje gravimetričnih točk

Absolutne gravimetrične točke, tj. točke mreže 0. reda so označene na sledeči način (preglednica 2):

Preglednica 2: Pregled različnih oznak za absolutne gravimetrične točke.

Nova oznaka	Stara oznaka	Datum izmere
AGT 100 Bogenšperk	Bogenšperk	10.-11.07.1996
AGT 200 Gotenica	Gotenica	12.-13.07.1996
AGT 300 Sevnica	Sevnica	14.-15.07.1996
AGT 400 Areh	Areh	15.07.1996
AGT 500 Socerb	Socerb	17.-18.11.1996
AGT 600 Kluže	Kluže	20.-21.11.1996

Gravimetrične točke mreže I. reda so oštevilčene na naslednji način (preglednica 3).

Preglednica 3: Pregled oznak gravimetričnih točk 1. reda.

Oznaka	Kraj	Oznaka	Kraj
GT 1	Kranj	GT 16	Črna na Koroškem
GT 2	Ljubljana - Golovec	GT 17	Okolica Slovenj Gradca
GT 3	Lož - Pudob	GT 18	Maribor
GT 4	Postojna	GT 19	Izola
GT 5	Štorje	GT 20	Kozina
GT 6	Plave	GT 21	Velike Lašče
GT 7	Sp. Idrija	GT 22	Murska Sobota
GT 8	Bovec	GT 23	Kočevski rog - Miklarji
GT 9	Vršič	GT 24	Lendava - Orešje - Pince
GT 10	Kranjska gora	GT 25	Ormož - Hajndl
GT 11	Žirovnica	GT 26	Sp. Poljčane
GT 12	Sp. Bitnja	GT 27	Čatež ob Savi
GT 13	Bohinjska Bistrica - Lepence	GT 28	Otočec
GT 14	Okolica Celja	GT 29	Okolica Gornjih Petrovcev
GT 15	Ljubno ob Savinji - Radmirje		



## 1.4 Izmera gravimetrične mreže I. reda

V izmero so vključene tudi točke onstran meja Slovenije: ekscenter avstrijske absolutne točke (oznaka A-abs) in štiri hrvaške relativne točke (oznake HR-112, HR-122, HR-120, HR-117). Tako smo dosegli večjo homogenost naše gravimetrične mreže, poleg tega pa bo mreža navezana na gravimetrične mreže sosednjih držav (Avstrija in Hrvaška). Celotna izmera je tako potekala na 40 gravimetričnih točkah.

Opazovanja smo izvedli v 42 delovnih dneh med 11.09.2006 in 9.11.2006. Meritve smo izvajali z dvema relativnima gravimetroma tipa Scintrex CG-3M. Prvi, serijska številka 10241, je last Geodetske uprave Republike Slovenije, drugi, serijska številka 704373, pa je last Hrvaškega geodetskega inštituta iz Zagreba.

## 1.5 Obdelava podatkov opazovanj v mreži I. reda

Po vsakem končanem opazovalnem dnevu smo podatke meritev z obeh gravimetrov prenesli v prenosni računalnik. Tako imamo za vsak opazovalni dan in vsak gravimeter ustrezno datoteko opazovanj, ki jo potem naknadno obdelamo.

Obdelava podatkov opazovanj pomeni izračun ustreznih popravkov in redukcij, ki jih izračunamo za vsako točko in za vsak dan opazovanj. Upoštevali smo naslednje popravke oz. redukcije opazovanj (Torge, 1989):

- popravek zaradi plimovanja trdne Zemlje,
- popravek zaradi gibanja Zemljinih polov,
- popravek zaradi vpliva atmosferskega tlaka,
- izračun in redukcija opazovanj za dnevni hod instrumenta,
- redukcija izmerjene vrednosti težnega pospeška z nivoja senzorja instrumenta na nivo točke oz. redukcija za višino instrumenta.

Obdelavo podatkov opazovanj smo opravili s programom GravAP (Schüller, 2000), izravnave merjenih vrednosti težnega pospeška pa smo opravili z dvema programoma: GravAP in VIM (Turk, Ambrožič, 1999).

Rezultati obdelave podatkov opazovanj tj. izračun popravkov in redukcij so podani v [prilogi 1](#) in [prilogi 2](#).

### 1.5.1 Popravek zaradi plimovanja trdne Zemlje

Plimovanje je periodično odzivanje trdne zemeljske skorje, ozračja in vodovja na spremembe v težnostnem polju, ki jih povzročata privlačni sili Lune in Sonca, v zelo mali meri pa tudi najbližja planeta. Vpliva sta plimovanje morij ("ocean tide") in plimovanje trdne Zemlje ("tides of the solid Earth"). Slednji je posledica elastičnosti Zemljine notranjosti.

Učinek Sonca je približno enak polovici Luninega. Velikost plimovanja ni stalna, ampak se s časom spreminja. Največje plime se pojavijo, ko se vpliva Lune in Sonca seštejeta. Do tega pride v primeru, ko ležijo Sonce, Luna in Zemlja na isti premici, kar se zgodi dvakrat na mesec: ob polni luni in mlaju. V vmesnem času privlačita Sonce in Luna vsak na svojo stran in je učinek zato zmanjšan. Prav tako je velikost plimovanja odvisna od letnega časa. Največje razlike se namreč pojavijo ob spomladanskem in jesenskem enakonočju (kot posledica nagnjenosti osi, okoli katere se Zemlja vrti, glede na ravnino gibanja okoli Sonca).

Za trdno Zemljo se učinek plimovanja v neki točki na površju Zemlje lahko določi iz Newtonovega gravitacijskega zakona in efemerid (koordinat) Lune oz. Sonca. Izračun se izpelje posebej za vsak sistem dveh teles (Sonce, Luna) in izračuna se rezultanta obeh sil. Amplitude spremembe težnosti zaradi vpliva plimovanja so reda velikosti 0,25 mGal (Ducarme, 2002). To so t.i. astronomske plimske sile. Če bi Zemlja bila idealno togo telo, teh sprememb ne bi bilo.

Zemlja reagira na plimske sile kot elastično telo in nastajajo t.i. "Earth's body tides". Pri tem Zemljino telo povečuje izmerjeno plimsko težnost tudi do 15%, kar nanese skupno tudi do 0,3 mGal. Kot reakcija na plimske sile spreminja Zemlja svojo obliko.

Plimske sile spreminjajo velikost izmerjenega težnega pospeška. Pri vseh gravimetričnih meritvah mora upoštevati vpliv plimovanja. Zato uporabljamo gotove modele, ki za določen trenutek in kraj opazovanja lahko izračunajo popravek za vpliv plimskih sil na rezultate meritev. Vpliv plimovanja morij in trde Zemlje je odvisen od geografske širine kraja in od časa. Popravek je največji v malih širinah (okolica ekvatorja) in lahko znaša prek 0,3mGal.

Vsi računski modeli uporabljajo razvoj plimskega potenciala v vrsto po sfernih funkcijah. Razlika je samo v številu koeficientov razvoja. Sam Scintex gravimeter ima možnost avtomatskega upoštevanja plimovanja trdne Zemlje že ob samih meritvah, vgrajen je t.i. model Longman. V našem primeru, ko gre za meritve višje natančnosti smo upoštevali model Cartwright-Taylor-Eden (Schüler, 2000).

### 1.5.2 Popravek zaradi vpliva atmosferskega tlaka

Sprememba zračnega tlaka vpliva na spremembo vrednosti pospeška sile teže. Da izničimo ta vpliv je potrebno izmeriti zračni tlak. Vpliv se računa glede na tlak normalne atmosfere DIN 5450 po izrazu, ki ga priporoča *International Association of Geodesy* (IAG) v resoluciji št. 9, iz leta 1983.

$$P_n = 1013,25 \left( 1 - \frac{0,0065 H}{288,15} \right)^{5,2559} \quad (1)$$

Če vnesemo višino stojišča  $H$  v [m] dobimo vrednost normalnega zračnega tlaka v [hPa]. Popravek sile teže dobimo z izrazom:

$$dg_p = 0,30 (P_i - P_{in})$$

kjer so:

- $P_i$  - merjena vrednost tlaka na stojišču
- $P_{in}$  - normalna vrednost tlaka dobljena po zgornjem izrazu (1)
- $dg_p$  - popravek v enoti [ $10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ ]

Tlak zraka moramo poznati z natančnostjo do 3 hPa.

### 1.5.3 Hod instrumenta

Pri numeričnem načinu določanja hoda instrumenta izračunamo polinom čim manjše stopnje, ki se najbolje prilega določenim vrednostim hoda na posameznih točkah. Iz polinoma računamo popravek v določenem trenutku (enačba 2).

Če so  $d_1, d_2, d_3 \dots$  koeficienti polinoma, lahko popravek hoda  $\Delta g_D$  v času  $t_i$  izračunamo po enačbi:

$$\Delta g_D = d_1(t_i - t_0) + d_2(t_i - t_0)^2 + d_3(t_i - t_0)^3 \dots \quad (2)$$

pri čemer je  $t_0$  referenčni (začetni) čas merjenja.

Naše izkušnje iz leta 2005, ko smo izvajali testne meritve in izkušnje drugih uporabnikov Scintrex gravimetrov kažejo, da linearna funkcija hoda zadošča v večini primerov. Funkcijo dnevnega hoda instrumenta se z uporabo programa GravAP določi v postopku izravnave opazovanj. Rezultati kažejo, da je za vsak dan opazovanj in za vsak instrument zadoščala linearna

funkcija hoda ([Priloga 1](#) in [Priloga 2](#)). Pri tem je treba vedeti, da pozitivni hod zahteva negativno korekcijo in obratno.

#### 1.5.4 Redukcija za višino instrumenta

Redukcijo odčitka instrumenta na nivo točke izračunamo z enačbo:

$$r_i'(t) = r_i(t) + \left( \frac{\partial g}{\partial H} \right)_P h_i \quad (3)$$

kjer so:

- $r_i(t)$  - odčitek gravimetra v trenutku  $t$ ,
- $\left( \frac{\partial g}{\partial H} \right)_P$  - vertikalni gradient sile teže v opazovališču P,
- $h_i$  - izmerjena višina instrumenta.

Dejanski vertikalni gradient težnega pospeška poznamo samo na absolutnih točkah (kjer je neposredno določen z meritvami). Na relativnih točkah smo zato uporabili vertikalni gradient normalnega težnega pospeška, ki znaša: 0,3086 mGal/m.

#### 1.5.5 Popravek zaradi gibanja pola

Popravek zaradi spremembe položaja Zemljinih polov izračunamo kot:

$$dg_{pol}(t) = -1,16\omega^2 R \sin 2\phi (x(t) \cos \lambda - y(t) \sin \lambda) \quad (\text{ms}^{-2}) \quad (4)$$

kjer so:

$\omega$  - kotna rotacija Zemlje,

$R$  - radij Zemlje

$\phi, \lambda$  - geografske koordinate stojišča

$(x(t), y(t))$  - položaj pola v trenutku  $t$  - podatki dostopni na:

<http://hpiers.obspm.fr/eoppc/bul/bulb/> (elektronski bilten International Earth Rotation and Reference Systems Service - IERS).

### 1.6 Ocena natančnosti izvedenih meritev

Na koncu je ocenjena natančnost s katero so opravljene relativne meritve težnosti (izmerjene razlike težnih pospeškov med točkami mreže). Do ocen smo prišli na dva načina:

- s klasičnimi enačbami teorije pogreškov in statistične obdelave podatkov opazovanj;
- z rezultati diagnostičnih izravnjav opazovanj po metodi najmanjših kvadratov.

Natančnost določitve vrednosti težnega pospeška na točkah nam podajo rezultati izravnave opazanj v mreži po posredni metodi.

Primerjali smo izmerjene razlike težnih pospeškov določenih z dvema gravimetroma. Razlike težnih pospeškov so izračunane na osnovi reduciranih vrednosti odčitkov gravimetrov (po upoštevanju vseh popravkov in redukcij). Izračunali smo standardni odklon iz razlik dvojnih meritev s pomočjo znane enačbe:

$$\sigma = \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{2n}} \quad (5)$$

kjer so:

$\delta$  - razlike vrednosti težnih pospeškov določenih s slovenskim in z hrvaškim gravimetrom, tj.

$$\delta = \Delta g_{SI} - \Delta g_{HR}$$

$n$  - število dvojnih meritev (razlik),  $n = 84$ .

Standardni odklon znaša  $\sigma_{\delta} = 9,2 \mu\text{gal}$ .

Natančnost smo ocenili tudi s pomočjo zapiranja pravih geometrijskih likov. Merjene razlike težnosti smo razporedili v skupaj 47 trikotnikov. Vsota razlik težnega pospeška bi v pravilnem geometrijskem liku morala biti enaka nič. V resnici nastopi odstopanje  $f$ .

$$f_i = \Delta g_1 + \Delta g_2 + \Delta g_3 \quad (6)$$

Natančnost izmerjenih razlik težnosti iz zapiranja trikotnikov lahko izračunamo po enačbi, ki je dejansko enaka Ferrerovi enačbi za zapiranje trikotnikov v triangulaciji:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{[ff]}{3N}}$$

kjer sta:

$f$  - odstopanje zapiranja trikotnika,

$N$  - število trikotnikov ( $N = 47$ ).

Standardna odklona za slovenski oz. hrvaški gravimeter znašata:  $\sigma_{f(SI)} = 7,4 \mu\text{gal}$  oz.  $\sigma_{f(HR)} = 7,7 \mu\text{gal}$ .

Natančnost meritev oz. izmerjenih razlik težnosti smo ocenili tudi iz rezultatov diagnostičnih izravnav. Pri tem smo uporabili dva pristopa oz. dva načina izravnave gravimetričnih meritev:

- Prvi način (program VIM) upošteva razlike merjenih vrednosti težnega pospeška med dvema sosednjima točkama kot opazovanja. Način in metoda izravnave je identična izravnavi nivelmanskih meritev po posredni metodi. Opazovanja so bila popravljena tudi za dnevni hod gravimetra.
- Drugi način (program GravAP) upošteva kot opazovanja neposredne odčitke gravimetrov, popravljene za našete vplive, razen za dnevni hod gravimetra. Koeficienti funkcije hoda gravimetra se pri tem določijo v postopku izravnave. Tukaj imamo mnogo več opazovanj, vendar tudi mnogo več neznanih parametrov (neznanek), ki jih moramo oceniti v postopku izravnave.

V obeh primerih smo opravili posredno izravnavo z minimalnim številom danih količin. Kot dano točko smo privzeli AGT 100 (Bogenšperk), saj je na njej vrednost težnosti določena štirikrat. Za uteži merjenih razlik težnega pospeška smo prevzeli enoto. Takrat nam a-posteriori referenčna varianca neposredno poda natančnost izmerjenih razlik težnosti. Ocenjene vrednosti referenčnih standardnih odklonov z uporabo programa VIM znašata:

$$\bullet \sigma_{0(SI)} = \sqrt{\frac{[pvv]}{n-u}} = 7,7 \mu\text{gal}, n = 76, u = 34,$$

$$\bullet \sigma_{0(HR)} = \sqrt{\frac{[pvv]}{n-u}} = 7,2 \mu\text{gal}, n = 76, u = 34.$$

V primeru izravnave meritev obeh instrumentov skupaj dobimo naslednji rezultat:

$$\bullet \sigma_{0(SI+HR)} = \sqrt{\frac{[p_{VV}]}{n-u}} = 9,5 \mu\text{gal}, n = 152, u = 34$$

To vrednost smo potem uporabili kot a-priori natančnost opazovanj pri izravnavi v celotni mreži.

## 1.7 Rezultati diagnostičnih izravnav

Nekateri rezultati diagnostičnih izravnav so predstavljeni v prejšnjem poglavju. Tu opisujemo rezultate izravnav opazovanj med absolutnimi točkami. Pri obdelavi podatkov gravimetričnih opazovanj je običaj, da se v izravnavi absolutne točke privzamejo kot dane. Znano je dejstvo, da je po opravljeni stabilizaciji v letu 1995 na točkah AGT 300 Sevnica in AGT 500 Kluže prišlo do sprememb v njihovi neposredni okolici. Na obeh točkah so oskrbovalci objektov, v katerih se nahajajo točke, dvignili nivo poda. V Sevnici je dodatna plast debela približno 15 cm, v Klužah pa okoli 10 cm. S tem se je dejansko spremenila tudi vrednost težnega pospeška na točki.

Moramo se zavedati, da je prisoten 10-letni časovni zamik med absolutnimi meritvami leta 1996 in meritvami opravljenih v OGM. Zato smo se odločili, da relativne meritve med absolutnimi točkami izravnamo kot opazovanja v prosti mreži. Izravnane vrednosti težnosti absolutnih točk smo potem uvedli v izravnano opazovanj v celotni mreži kot dane količine.

Rezultati izravnave opazovanj v mreži absolutnih točk so podane v preglednici 4.

Preglednica 4: izravnane vrednosti težnosti na absolutnih točkah, kot rezultat izravnave proste mreže.

Točka	merjeno [μgal]	izravnano [μgal]	razlika [μgal]
AGT100	980593537,5	980593521,9	15,6
AGT200	980506829,0	980506799,6	29,4
AGT300	980641076,5	980641098,0	-21,5
AGT400	980483762,9	980483750,3	12,6
AGT500	980558575,1	980558575,8	-0,7
AGT600	980545846,5	980545881,9	-35,4

## 1.8 Rezultati izravnave opazovanj v celotni mreži

Končne vrednosti težnosti na relativnih točkah OGM smo pridobili z izravnano opazovanj v celotni mreži. Upoštevali smo opazovanja z obema gravimetroma. Za dane točke smo privzeli absolutne točke, pri čemer smo kot dane vrednosti težnosti upoštevali izravnane vrednosti na absolutnih točkah iz preglednice 4. Izravnane vrednosti težnosti na relativnih točkah z ustreznimi standardnimi deviacijami so podane v preglednici 5.

Preglednica 5: izravnane vrednosti težnega pospeška na relativnih točkah I. reda OGM Slovenije.

Točka	Vrednost g-ja [ $\mu\text{gal}$ ]	$\sigma$ [ $\mu\text{gal}$ ]
GT1	980592038,4	4,5
GT2	980593064,7	5,1
GT3	980532974,6	5,2
GT4	980535508,7	5,4
GT5	980573174,3	4,6
GT6	980630953,2	5,6
GT7	980594109,2	4,5
GT8	980567050,5	7,4
GT9	980355053,8	7,7
GT10	980515982,8	6,6
GT11	980560126,3	6,2
GT12	980554329,7	5,2
GT13	980566863,5	5,6
GT14	980625533,7	4,1
GT15	980614191,3	6,3
GT16	980588017,6	6,3
GT17	980629780,8	5,7
GT18	980670793,7	6,0
GT19	980661902,4	6,4
GT20	980547738,0	6,3
GT21	980551021,0	5,9
GT22	980716210,2	7,6
GT23	980545376,3	5,9
GT24	980716155,5	8,0
GT25	980695149,9	6,0
GT26	980658574,6	4,8
GT27	980662139,7	6,2
GT28	980647767,8	5,4
GT29	980711498,4	8,4

Rezultati končne izravnave so podani v [Prilogi 3](#).

## 1.9 Zaključek

Osnovno gravimetrično mrežo Slovenije tvori 35 točk, 6 absolutnih točk mreže 0. reda in 29 relativnih točk I. reda. Določitev vrednosti težnega pospeška na točkah I. reda smo opravili z gravimetričnimi meritvami, ki smo jih izvedli v 42 delovnih dneh med 11.09.2006 in 9.11.2006. Meritve smo izvajali z dvema relativnima gravimetroma tipa Scintrex CG-3M.

Obdelavo podatkov opazovanj smo opravili z izračunom ustreznih popravkov in redukcij merjenih vrednosti težnega pospeška. Iz popravljenih vrednosti težnosti na posameznih točkah smo izračunali razlike težnih pospeškov, ki smo jih obravnavali kot opazovanja. Ta smo izravnali v mreži po metodi posrednih opazovanj. Da bi upoštevali vse prostorske in časovne spremembe na absolutnih točkah, ki so se zgodile od njihove stabilizacije in izmere v letih 1995 in 1996, smo prvo izravnali opazovanja med samimi absolutnimi točkami. Izravnavo smo opravili po metodi posrednih opazovanj in to kot prsto mrežo. Na ta način smo pridobili nove vrednosti težnega pospeška na absolutnih točkah, ki smo jih potem obravnavali kot dane vrednosti v izravnavi opazovaj v celotni mreži.

Menimo, da so sama opazovanja opravljena z natančnostjo, ki ustreza metitvam za določitev gravimetričnih mrež. Na to kažejo referentne standardn odkloni v izravnavi celotne mreže z upoštevanjem minimalnega števila danih količin (točka AGT 100 dana):  $\sigma_{0(SI)} = 7,7 \mu\text{gal}$  za slovenski gravimeter oz.  $\sigma_{0(HR)} = 7,2 \mu\text{gal}$  za hrvaški gravimeter. V primeru izravnave meritev obeh instrumentov skupaj smo dobili vrednost:  $\sigma_{0(SI+HR)} = 9,5 \mu\text{gal}$ . To je hkrati tudi ocenjena natančnost opravljenih meritev.

Končne vrednosti težnosti na relativnih točkah OGM smo pridobili z izravnavo opazovanj v celotni mreži. Upoštevali smo opazovanja z obema gravimetroma. Ocenjena natančnost določitve posameznih točk se giblje med 4,1  $\mu\text{gal}$  in 8,4  $\mu\text{gal}$ , kar menimo, da je zelo dobro. Najslabše so določene točke po robovih mreže kot na primer GT6, GT8, GT24, GT29, saj imajo največje ocenjene standardne odklone po izravnavi. Razlog je v relativno malemu številu povezav s sosednjimi točkami oz. večji oddaljenosti od absolutnih točk. Čeprav so točke GT6, GT8 in GT9 blizu absolutne točke AGT600, so večje standardne deviacije rezultat večjih višinskih razlik med točkami (hkrati so tudi večje razlike težnega pospeška) in spremenjenih okoliščin na točki AGT600.

V splošnem so meritve v Osnovni gravimetrični mreži Slovenije opravljene kvalitetno in vrednosti težnega pospeška so določene z ustrežno natančnostjo. Priporočljivo bi bilo gravimetrična opazovanja v mreži ponoviti po parih letih, s čemer bi pridobili tudi vpogled v morebitne časovne spremembe težnega pospeška.

### 1.9.1 Viri

Berk S. in drugi (2006): Razvoj OGS 2006 - Prehod na nov koordinatni sistem, končno poročilo, Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana.

Ducarme B. (2002): Introduction to the Theory of Tides, gradivo s poletne šole: Joint BGI/ICET Terrestrial Gravity Data Acquisition Techniques, Department of Physics, Catholic University of Louvain, September 4-11, 2002.

Medved K. (2007): Določitev vertikalnih gradientov in reduciranje merjenih absolutnih vrednosti težnega pospeška, seminarska naloga, UL FGG, Ljubljana.

Mikhail E.M. (1976) Observation and least squares. University Press of America, Lanham, New York, London.

Niemeier W. (2001): Ausgleichungs-rechnung. Walter de Gruyter, Berlin-New York.

Turk G., Ambrožič T. (1999): Navodila za uporabo programa VIM, interno gradivo, FGG, Ljubljana.

Schüler, T (2000): Conducting and Processing Relative Gravity Surveys. Institute of Geodesy and Navigation. University FAF Munich, Germany

Scintrex Limited (1995): CG-3/3M Autograv Automated Gravity meter. Operation manual. Scintrex Limited, Canada.

Seigel, H.O. (1995): High precision gravity guide. Scintrex Limited, Canada.

Torge, W. (1989): Gravimetry. Walter de Gruyter, Berlin-New York.