

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Krevh, B., 2015. Določitev vertikalnega gradienta težnosti v stavbi FGG. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kuhar, M.): 53 str.

Datum arhiviranja: 29-10-2015

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Krevh, B., 2015. Določitev vertikalnega gradienta težnosti v stavbi FGG. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kuhar, M.): 53 pp.

Archiving Date: 29-10-2015

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*

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



UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GEODEZIJA  
SMER GEODEZIJA

Kandidat:

**BLAŽ KREVIH**

**DOLOČITEV VERTIKALNEGA GRADIENTA  
TEŽNOSTI V STAVBI FGG**

Diplomska naloga št.: 980/G

**DETERMINATION OF THE VERTICAL GRAVITY  
GRADIENT IN THE FGG BUILDING**

Graduation thesis No.: 980/G

**Mentor:**

doc. dr. Miran Kuhar

Ljubljana, 28. 10. 2015

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **BLAŽ KREVVH** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »**Določitev vertikalnega gradienta težnosti v stavbi FGG.**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 17. 9. 2015

Blaž Krevh

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

<b>UDK:</b>	528.5(497.4)(043.2)
<b>Avtor:</b>	Blaž Krevh
<b>Mentor:</b>	doc. dr. Miran Kuhar
<b>Naslov:</b>	Določitev vertikalnega gradienta težnosti v stavbi FGG
<b>Tip dokumenta:</b>	Diplomska naloga – univerzitetni študij
<b>Obseg in oprema:</b>	53 str., 31 pregl., 14 sl., 10 graf., 11 pril.
<b>Ključne besede:</b>	relativne gravimetrične meritve, absolutni gravitacijski pospešek, gravimeter Scintrex CG-3M, Matlab, GravAP

### **Izvleček**

Diplomska naloga opisuje relativne meritve težnostnega pospeška v stavbi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo z relativnim gravimetrom Scintrex CG-3M. V stavbi so bile izvedene dvakratne meritve težnostnega pospeška na sedmih točkah v sedmih nadstropjih FGG. Na osnovi merjenih razlik težnega pospeška ter znanih višinskih razlik med točkami, smo nato izračunali vrednosti vertikalnega gradienta težnosti. Pridobljene rezultate smo preračunali v različnih programih in jih primerjali med seboj. Nato smo primerjali izračunane vrednosti vertikalnega gradienta dejanske težnosti s teoretično vrednostjo vertikalnega gradienta normalne težnosti.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	528.5(497.4)(043.2)
<b>Author:</b>	Blaž Krevh
<b>Supervisor:</b>	Assist. Prof. Miran Kuhar, Ph.D
<b>Title:</b>	Determination of the vertical gradient of gravity in the building Faculty of Civil and Geodetic Engineering
<b>Document type:</b>	Graduation Thesis – University studies
<b>Scope and tools:</b>	53 p., 31 tab., 14 fig., 10 graph., 11 ann.
<b>Keywords:</b>	relative gravity measurements, absolute gravity acceleration, gravimeter Scintrex CG-3M, Matlab, GravAP

**Abstract**

The diploma thesis describes the relative gravity measurements in the building of Faculty of Civil and Geodetic Engineering with the gravity meter Scintrex CG-3M. Measurements in the building were made twice on two different days on seven different points and seven different floors of the building. Based on the measured differences of gravity acceleration and known heights between different points in the building, we then calculated the values of the vertical gradient of gravity. The obtained results were recalculated in different computer programs and the results were compared to each other. At last we compared the calculated values of the vertical gradient of the actual gravity with the vertical gradient of the normal gravity.

## **ZAHVALA**

Za usmerjanje, svetovanje in strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Miranu Kuharju. Zahvaljujem se tudi asist. Tilnu Urbančiču za pomoč pri meritvah in njegovo prijaznost.

Iskrena hvala gre mojim staršem, ki so mi omogočili študij in me spodbujali pri pisanju te naloge. Rad pa bi se zahvalil tudi bratu, puncu ter sošolcem in prijateljem, ki so mi pomagali na moji poti do diplomskega dela.

Hvala tudi teti Ljubi za lektoriranje tega diplomskega dela.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Delovne hipoteze naloge	1
<b>2 GRAVITACIJSKO OZ. TEŽNOSTNO POLJE</b>	<b>3</b>
2.1 Gravitacijska sila	3
2.2 Težni pospešek	3
2.3 Enota težnostnega pospeška	4
<b>3 METODE MERJENJA TEŽNOSTNEGA POSPEŠKA</b>	<b>5</b>
3.1 Relativne metode merjenja težnostnega pospeška	5
3.2 Absolutne metode merjenja težnostnega pospeška	6
<b>4 REDUKCIJE OPAZOVANIH VREDNOSTI TEŽNOSTNEGA POSPEŠKA</b>	<b>7</b>
4.1 Plimovanje Zemljine skorje	7
4.2 Vpliv zračnega tlaka	8
4.3 Sprememba v podtalnici in nivoju površinskih voda	9
4.4 Vpliv gibanja pola	10
4.5 Vpliv hoda instrumenta	10
4.6 Popravek prostega zraka	12
<b>5 DOLOČITEV VERTIKALNEGA GRADIENTA Z RELATIVNIM GRAVIMETROM</b>	<b>14</b>
5.1 Občutljivost vertikalnega gradienta glede na spremembe višinskih razlik pri konstantni varianci merjenja	14
5.2 Uporaba gradienta težnosti	15
<b>6 GRAVIMETER SCINTREX CG-3M</b>	<b>16</b>
<b>7 DOLOČITEV VERTIKALNEGA GRADIENTA TEŽNOSTI V STAVBI FGG</b>	<b>20</b>
7.1 Geometrični nivelman	20
7.2 Gravimetrične meritve	20



<b>8 OBDELAVA GRAVIMETRIČNIH MERITEV</b>	<b>23</b>
8.1 Program za obdelavo gravimetričnih meritev	23
8.2 Izpis rezultatov absolutnih vrednosti gravitacijskega pospeška	25
8.3 Oblike vhodnih datotek	25
8.3.1 Oblika datoteke izpisa meritev, pridobljenih iz gravimetra	25
8.3.2 Oblika datoteke z višinskimi razlikami, tlakom ter nadmorskimi višinami	27
8.4 Program GravAP	28
<b>9 OBDELAVA MERITEV IN REZULTATI</b>	<b>29</b>
9.1 Obdelava meritev v programu Matlab	29
9.1.1 Rezultati meritev z dne, 30.12.2014	29
9.1.1.1 Linearna funkcija	31
9.1.1.2 Kvadratna funkcija	32
9.1.1.3 Kubična funkcija	33
9.1.2 Rezultati meritev z dne, 15.02.2015	34
9.1.2.1 Linearna funkcija	35
9.1.2.2 Kvadratna funkcija	36
9.1.2.3 Kubična funkcija	37
9.2 Obdelava meritev v programu GravAP	38
9.2.1 Rezultati meritev z dne 30.12.2014	38
9.2.2 Rezultati meritev z dne 15.02.2015	38
9.3 Primerjava rezultatov programov Matlab in GravAP z dne 30.12.2014 in 15.2.2015	38
9.3.1 Primerjava rezultatov linearnega hoda 30.12.2014	39
9.3.2 Primerjava rezultatov linearnega hoda 15.2.2015	39
9.3.3 Primerjava rezultatov linearnega hoda	40
9.3.4 Primerjava linearnega hoda s kvadratnim z dne, 30.12.2014	44
9.3.5 Primerjava linearnega hoda z kvadratnim z dne 15.2.2015	45

9.3.6 Izračun vertikalnega gradienta iz kvadratnega hoda iz programa Matlab	45
9.4 Sprememba težnosti med etažami	46
9.5 Sprememba gradienta z višino	48
9.6 Vertikalni gradient normalne težnosti	50
<b>10 ZAKLJUČEK</b>	<b>52</b>
<b>VIRI</b>	<b>53</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Odvisnost gravitacijskega pospeška $g$ od geografske širine $j$	4
Preglednica 2: Enota težnega pospeška	4
Preglednica 3: Občutljivost gradienta, glede na višinsko razliko	14
Preglednica 4: Meritve, ki so bile uporabljene za izračun hoda instrumenta:	30
Preglednica 5: Meritve in popravki (linearna funkcija)	31
Preglednica 6: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti (linearna funkcija)	31
Preglednica 7: Meritve in popravki (kvadratna funkcija)	32
Preglednica 8: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti (kvadratna funkcija)	32
Preglednica 9: Meritve in popravki (kubična funkcija)	33
Preglednica 10: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti kubična funkcija)	33
Preglednica 11: Meritve, ki so bile uporabljene za izračun hoda instrumenta:	34
Preglednica 12: Meritve in popravki (linearna funkcija)	35
Preglednica 13: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti (linearna funkcija)	36
Preglednica 14: Meritve in popravki (kvadratna funkcija)	36
Preglednica 15: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti (kvadratna funkcija)	36
Preglednica 16: Meritve in popravki (kubična funkcija)	37
Preglednica 17: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti (kubična funkcija)	37
Preglednica 18: Preračunane absolutne vrednost na dan, 30.12.2014 iz programa GravAP	38
Preglednica 19: Preračunane absolutne vrednost na dan, 15.2.2015 iz programa GravAP	38
Preglednica 20: Primerjava rezultatov linearnega hoda pridobljenih iz obeh programov na dan, 30.12.2014	39
Preglednica 21: Primerjava rezultatov linearnega hoda pridobljenih iz obeh programov na dan, 15.2.2015	39
Preglednica 22: Izračun vertikalnega gradienta s podatki programa Matlab	41
Preglednica 23: Izračun vertikalnega gradienta s podatki programa GravAP (neizravnano)	42
Preglednica 24: Izračun vertikalnega gradienta s podatki programa GravAP (izravnano)	43
Preglednica 25: Primerjava rezultatov linearnega hoda pridobljenih iz obeh programov na dan, 30.12.2014	44
Preglednica 26: Primerjava rezultatov linearnega hoda pridobljenih iz obeh programov na dan, 15.2.2015	45
Preglednica 27: Izračun vertikalnega gradienta s podatki programa Matlab (kvadratni hod)	45
Preglednica 28: Sprememba težnosti z višino	47
Preglednica 29: Absolutni težnostni pospešek na točkah	48
Preglednica 30: Sprememba vertikalnega gradienta z naraščanjem višine	48

Preglednica 31: Primerjava vertikalnega gradienta normalne težnosti z vertikalnim gradientom dejanske težnosti

## KAZALO SLIK

Slika 1: Merjene spremembe težnosti na točki, zaradi plimovanja Zemlje. (Siegel, 1995, str. 8)	8
Slika 2: Metode določanja hoda (Torge, 1989)	11
Slika 3: Grafična določitev hoda (metoda profilov) (Torge, 1989)	12
Slika 4: Sprememba vertikalnega gradienta glede na spremembe višinskih razlik (Medved, 2008)	15
Slika 5: Gravimeter Scintrex CG-3M	16
Slika 6: Konstrukcija gravimetra Scintrex CG-3M	17
Slika 7: Analogni libeli na instrumentu	18
Slika 8: Shema nadstropij ter stojišč stavbe FGG	21
Slika 9: Primer strani terenskega zapisnika gravimetričnih meritev	22
Slika 10: Diagram koncepta delovanja programa (Urek, 2005)	24
Slika 11: Primer datoteke z meritvami, katero pridobimo iz gravimetra	27
Slika 12: Primer datoteke z višinskimi razlikami, tlakom ter nadmorskimi višinami	28
Slika 13: Izris hoda instrumenta v programu Matlab za dan 30.12.2014	29
Slika 14: Izris hoda instrumenta v programu Matlab za dan 15.2.2015	34

**KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Primerjava rezultatov med dnevi pridobljenih iz programa Matlab	40
Grafikon 2: Primerjava med dnevi po rezultatih iz programa GravAP (neizravnano)	40
Grafikon 3: Primerjava med dnevi po rezultatih iz programa GravAP (izravnano)	41
Grafikon 4: Primerjava vertikalnega gradienta z rezultati iz programa Matlab	42
Grafikon 5: Primerjava vertikalnega gradienta z rezultati iz programa GravAP (neizravnano)	43
Grafikon 6: Primerjava vertikalnega gradienta z rezultati iz programa GravAP (izravnano)	44
Grafikon 7: Primerjava vertikalnega gradienta z rezultati iz programa Matlab	46
Grafikon 8: Sprememba težnosti z višino na dan, 30.12.2014	46
Grafikon 9: Sprememba težnosti z višino na dan, 15.2.2015	47
Grafikon 10: Sprememba vertikalnega gradienta z višino	49

## 1 UVOD

V geodeziji merimo karakteristike Zemeljskega težnostnega polja za določitev dimenzij Zemlje ter oblike geoida. Gravimetrija pomeni merjenje težnosti. Izhaja iz latinske besede »gravis« - težek in grške besede »metrew« - meriti. Gravimetrija predstavlja skupino metod uporabne fizike, katere se ukvarjajo z merjenjem težnega pospeška ter s proučevanjem težnostnega polja. Sami rezultati gravimetričnih meritev pa imajo velik pomen za geodezijo oz. fizikalno, satelitsko geodezijo itd., saj so vse geodetske meritve opravljene v težnostnem polju. Sam gradient pospeška sile teže predstavlja spremembo pospeška sile teže v horizontalni smeri (horizontalni gradient težnosti) ali vertikalni smeri, tj. višini (vertikalni gradient težnosti). V tej diplomski nalogi je predstavljena sprememba sile teže z višino, kar imenujemo vertikalni gradient pospeška sile teže. Brunsova enačba iz leta 1878 nam poda teoretično vrednost vertikalnega gradienta. Le-ta, podaja zvezo pospeška sile teže in srednjo ukrivljenostjo nivojske ploskve z vertikalnim gradientom:

$$W_{zz} = \frac{\partial g}{\partial z} = -2gJ + 4\pi G\rho - 2\omega^2 \quad (1.1)$$

Največji problem Brunsove enačbe je v nepoznavanju ukrivljenosti nivojskih ploskev, saj je ta odvisna od gostote mas, skozi katere poteka ploskev.

Na naslednjih straneh, so opisane meritve z relativnim gravimetrom Scintrex CG-3M ter obdelava pridobljenih podatkov. Sama obdelava je avtomatizirana ter zajema upoštevanje redukcij, katere delimo na časovne ter prostorske. Vse redukcije se nanašajo na težnostno polje Zemlje, razen vpliva hoda instrumenta. Hod instrumenta povzroči, da so meritve na točkah odvisne od časa. Pri tem poznamo dolgoročni in kratkoročni hod instrumenta. Dolgoročni je posledica staranja vzmeti in se tako s časom zmanjšuje. Na kratkoročni hod pa lahko vplivamo z ustrezno zaščito instrumentarija med transportom. Hod računamo s ponovljenimi meritvami na istih točkah, pri čemer dobimo več različnih odčitkov v nekem časovnem razponu. Če dobro poznamo hod instrumenta, lahko s tem zagotovimo višjo natančnost meritev ter boljšo kvaliteto rezultatov.

### 1.1 Delovne hipoteze naloge

Z meritvami smo določali vertikalni gradient težnosti v stavbi FGG. Pred izdelavo diplomske naloge smo si postavili dve delovni hipotezi:

- predpostavljamo, da se dejanski vertikalni gradient težnosti razlikuje od vertikalnega gradienta normalne težnosti.

- predpostavljamo, da je sprememba vertikalnega gradienta (težnega pospeška) z višino linearna.

Glavni cilj naloge je bil določiti spremembo težnega pospeška z višino v stavbi FGG in jo primerjati z računsko (teoretično) vrednostjo spremembe normalnega težnega popeška z višino. Poleg tega, smo predpostavili, da bo sprememba dejanske težnosti z višino linearna funkcija. Da bi potrdili našo domnevo, smo meritve in izračune opravili z dvema neodvisnima meritvama.



## 2 GRAVITACIJSKO OZ. TEŽNOSTNO POLJE

### 2.1 Gravitacijska sila

Med telesoma, ki imata masi  $m_1$  in  $m_2$  na neki razdalji  $r$  vzajemno deluje gravitacijska sila  $F$ . Gravitacijska sila je vedno pozitivna in deluje v smeri veznice obeh masnih točk. Ta naravni pojav je definiriral Isaac Newton s formulo:

$$F = G \times (m_1 \times m_2) / r^2 \quad (2.1)$$

in pravi, da je gravitacijska sila, s katero se točkasti telesi privlačita premo sorazmerna masama obeh teles ter obratno sorazmerna kvadratu njune medsebojne oddaljenosti.

Gravitacijska konstanta  $G$ , katera je enotna za celotno vesolje znaša

$$G = (6,67259 \pm 0,00085) \times 10^{-11} \frac{m^3}{kg \times s^2} \quad (2.2)$$

Newtonov zakon lahko uporabimo le, če je velikost teles zanemarljivo majhna v primerjavi z oddaljenostjo. Ker pa v naravi nimamo le točkastih teles, ampak tudi netočkasta, katerih medsebojna oddaljenost ni relativno velika glede na velikost samih teles, Newtonovega zakona ne moremo neposredno uporabiti. V tem primeru gravitacijska sila ni odvisna le od mase teles ter njihove oddaljenosti, ampak tudi od velikosti in oblike posameznih teles. V takšnem primeru dobimo velikost ter smer gravitacijske sile tako, da vsako telo razdelimo na diferencialno majhne, točkaste masne elemente ter za vsak par masnih elementov posebej izračunamo gravitacijsko privlačno silo, nato pa poiščemo rezultanto vseh teh sil (Kladnik, 1974).

### 2.2 Težni pospešek

Na vsa telesa v neposredni okolici Zemlje deluje privlačna sila Zemlje. Privlačnost drugih astronomskih teles zaradi velike oddaljenosti lahko zanemarimo, kot lahko zanemarimo tudi privlačnost drugih bližnjih teles na površju Zemlje, saj je njihova masa v primerjavi z Zemljino zanemarljiva.

Gravitacijska sila, s katero Zemlja privlači telo z maso  $m$ , se imenuje teža telesa  $F_g$ . Teža telesa ima smer proti središču Zemlje in povzroča, da dobi vsako prosto telo pospešek prostega pada  $g$ , ki je usmerjen k Zemljinemu središču.

Tako iz drugega Newtonovega zakona sledi:

$$F \times g = m \times g \quad (2.3)$$

Zaradi privlačne sile, ki deluje na Zemljo ter povzroča njeno dnevno vrtenje, je Zemlja sploščena na polih. To pomeni, da je polmer Zemlje na ekvatorju večji kot polmer na polih. Tako se tudi sam gravitacijski pospešek spreminja v odvisnosti od geografske širine in sicer narašča v smeri od ekvatorja do tečajnikov.

Preglednica 1: Odvisnost gravitacijskega pospeška  $g$  od geografske širine  $j$

$j(^{\circ})$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$g_0 \left(\frac{m}{s^2}\right)$	9,7803	9,7819	9,7863	9,7932	9,8017	9,8107	9,8191	9,8261	9,8306	9,8322

### 2.3 Enota težnostnega pospeška

Enota za težni pospešek v SI sistemu merskih enot je  $\frac{m}{s^2}$ , v geodeziji in geofiziki oz. gravimetriji, pa je še vedno v uporabi začasna enota Gal, katera je poimenovana po Galileo Galileu in znaša

$$1 \text{ Gal} = 1 \frac{cm}{s^2} = 10^{-2} \frac{m}{s^2}$$

Načeloma pa težnostni pospešek merimo kar na tisočinko oz. milijoninko Gala, torej:

$$1 \text{ mGal} = 10^{-3} \text{ Gal}$$

$$1 \text{ } \mu\text{Gal} = 10^{-6} \text{ Gal}$$

In velja preglednica:

Preglednica 2: Enota težnega pospeška

	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$	$\left[\frac{cm}{s^2}\right]$	$\left[\frac{\mu m}{s^2}\right]$	$\left[\frac{nm}{s^2}\right]$
<b>Gal</b>	$10^{-2}$	1	-	-
<b>mGal</b>	$10^{-5}$	$10^{-3}$	10	-
<b><math>\mu</math>Gal</b>	$10^{-8}$	$10^{-6}$	$10^{-2}$	10

### **3 METODE MERJENJA TEŽNOSTNEGA POSPEŠKA**

Kadar lahko z merjenji na eni sami točki določimo težnostni pospešek na tej točki, je bila izvedena absolutna meritve. Če pa so merjene razlike v težnostnih pospeških na dveh ali več točkah, takrat merimo relativne vrednosti težnega pospeška.

Prav tako lahko metode merjenja delimo na dinamične ter statične. Dinamične metode obravnavajo gibanje telesa pod vplivom sile teže. Pri teh metodah neposredno merimo čas, ki ga potrebuje telo, da se premakne iz enega v drug položaj. Statične metode pa obravnavajo spremembo ravnovesja telesa pod vplivom sile teže in njej nasprotne sile. Neposredno merimo dolžinski premik ali spremembo kota telesa konstantne mase. Nasprotno delujoča sila je v tem primeru lahko sila prožnosti vzmeti, torzija nitke, membrane itd. (Kuhar, 2007).

Z dinamičnimi metodami lahko določamo absolutne ter relativne vrednosti težnosti. Pri absolutnih določitvah vrednosti težnosti je potrebno izmeriti poleg časa še razdaljo (dolžino nihala, oz. dolžino prostega pada). S statičnimi metodami pa določamo le relativne vrednosti težnosti.

#### **3.1 Relativne metode merjenja težnostnega pospeška**

Pri relativnih meritvah težnosti čutilo oz. senzor gravimetra omogoča posredno ali neposredno opazovanje ene ali dveh temeljnih količin pospeška, časa ter dolžine. Relativne meritve lahko opravimo z dinamičnimi kot tudi s statičnimi metodami.

Prvotne relativne meritve težnostnega pospeška so bile izvedene s pomočjo reverzibilnega nihala. Zaradi preprostejše metode relativnega merjenja glede na absolutne meritve, so bile pri meritvah z nihali pridobljene večje natančnosti. Problem je predstavljala nerodna oprema, same meritve pa so bile dolgotrajne, natančnosti pa še vedno niso bile zadovoljive.

Princip vseh modernih gravimetrov je utež obešena na zelo občutljivo vzmet. Težnosti pospešek se krajevno spreminja, z njim pa tudi odklon vzmeti. Ko premikamo gravimeter med točkami beležimo različne odklone vzmeti, na osnovi tega pa se lahko določijo relativne spremembe pospeška na merjenih točkah. Pri odčitavanju z gravimetri se določi sila, ki je potrebna, da vzmet pod vplivom gravitacije spravi v ravnotežno oz. nulto pozicijo, ko je raztezek enak nič.

Relativne meritve morajo biti vezane na vsaj eno točko, katera ima znan absolutni gravitacijski pospešek, če želimo preračunati relativne vrednosti v absolutne.

### 3.2 Absolutne metode merjenja težnostnega pospeška

Do srede 20. stoletja so bile absolutne meritve merjene z instrumenti, katerih sestavni del je bilo nihalo. Večina instrumentov je vsebovalo več nihal, katera so nihala v vakuumu. Z merjenjem nihajnih časov nihal se je dalo izračunati težnostni pospešek. Težave so se pojavljale pri natančnosti meritev za potrebe geodetske gravimetrije, kajti meritvam so vedno prisostvovala napake ter problemi. Tako so bili instrumenti z nihali zamenjani z instrumenti, ki so temeljili na balistični metodi, t.j. na časovnem merjenju prosto padajočih objektov. Težnost se lahko določi na podlagi merjenega časovnega intervala telesa, ki pada za znano razdaljo. Natančnosti absolutne določitve vrednosti težnosti s prostim padom znaša od  $\pm 10 \mu\text{Gal}$  do  $\pm 0,1 \mu\text{Gal}$ .

Tako se absolutna gravitacijska merjenja izvajajo le na nekaj določenih mestih. Te točke služijo za vzpostavitev datuma in merila relativnih gravimetričnih merenj. Absolutne gravimetrične meritve so manj pogoste zaradi drage ter predvsem okorne opreme. Ti problemi sčasoma izginjajo, saj postaja oprema vedno manjša ter mobilnejša.

Za potrebe gravimetričnih raziskovanj je potrebno poznati gravitacijski pospešek na večjih, homogeno razporejenih točkah po Zemeljski površini. Zaradi problemov z absolutnimi merjenji, ki so komplicirana, draga, časovno obsežna in do nedavnega tudi ne najbolj natančna, se za vzpostavitev mreže gravimetričnih meritev uporabljajo relativne meritve težnostnega pospeška, katere vežemo na absolutne točke.

## **4 REDUKCIJE OPAZOVANIH VREDNOSTI TEŽNOSTNEGA POSPEŠKA**

Meritve težnostnega pospeška potekajo na fizični površini Zemlje, kar pomeni, da so pogoji v času merjenja različni od točke do točke. Meritve zato potekajo na različni geografski širini, nadmorski višini, temperaturi, času, zračnem tlaku, ... v kratkem v različnih pogojih. Merjene vrednosti težnosti zato direktno med seboj niso primerljive, kajti v sebi skrivajo prostorske in časovne vplive. Zato da bi jih lahko med seboj primerjali, jih moramo popraviti. Uvedba popravkov za odstranitev različnih vplivov in preračun merjenih vrednosti težnosti s fizične površine Zemlje na skupno raven se imenuje redukcija težnostnega pospeška. Tako reducirane merjene vrednosti lahko primerjamo med seboj, ali pa z normalno vrednostjo težnega pospeška, ki je računana za elipsoid.

Težnostno polje se spreminja časovno in prostorsko. Čas vpliva na izmerjene vrednosti težnostnega pospeška na dva načina:

- zaradi časovnih sprememb težnostnega polja in
- zaradi neenakomernega delovanja gravimetra.

Zaradi geoloških in fizikalnih procesov, ki se dogajajo v notranjosti Zemlje, se le-ta stalno spreminja, tako na površju kot tudi v notranjosti. Pri tem prihaja do plimovanja ter preoblikovanja Zemeljske skorje in do prerazporeditve Zemeljskih mas, zaradi česar sila teže v določeni točki ni konstantna. Na silo teže na Zemlji vplivajo tudi nebesna telesa. Tako lahko spremembe, ki vplivajo na silo teže razdelimo na:

- periodične, katere so vezane na samo rotacijo Zemlje in posledično spreminjanje položaja opazovališča na Zemlji glede na Sonce, Luno ter ostala nebesna telesa in
- neperiodične, ki so vezane na geološke in fizikalne procese v Zemljini notranjosti.

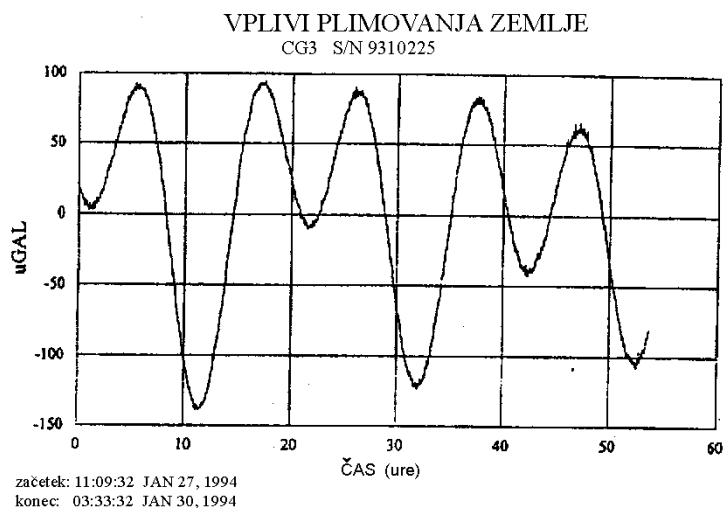
Težnostni pospešek je odvisen tudi od geografske širine in nadmorske višine stojišča. Prav tako na težni pospešek vpliva razporeditev ter struktura kamnin v okolici stojišča.

### **4.1 Plimovanje Zemljine skorje**

Zemlja ter nebesna telesa delujejo vzajemno drug na drugega. To pomeni, da nebesno telo z gravitacijsko silo deluje na vsak element mase Zemlje in to močneje na tiste točke, katere so bližje temu telesu.

Ponavadi obravnavamo le vpliv Sonca ter Lune, saj imata v primerjavi z ostalimi nebesnimi telesi najmočnejši vpliv. Zaradi gibanja Zemlje okrog Sonca in rotacije okrog svoje osi, je medsebojni položaj Sonca, Zemlje in Lune spremenljiv, posledično pa se spreminja tudi rezultanta privlačnih sil.

Te spremembe, ki so periodične, vplivajo na Zemljo, ki ni absolutno čvrsto telo in zato nastajajo periodični plimni valovi. Na ta način Zemlja nenehno utripa, pojav pa imenujemo plimovanje Zemeljske skorje.



Slika 1: Merjene spremembe težnosti na točki, zaradi plimovanja Zemlje. (Siegel, 1995, str. 8)

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

Ker plimske sile spreminjajo velikost izmerjenega težnega pospeška, moramo pri vseh gravimetričnih meritvah upoštevati vpliv plimovanja. Temu so namenjeni gotovi modeli, ki so preračunani kot funkcije geografske širine, geografske dolžine ter časa. Ti modeli so

- Longman (1959),
- Berger (1969)
- Tamura (1982)
- Rapp (19983)

Vpliv plimovanja morij in trde Zemlje je odvisen od geografske širine kraja ter časa. Popravki so največji v malih širinah (v okolici ekvatorja) in lahko znašajo preko 0,3 mGal.

#### 4.2 Vpliv zračnega tlaka

Sprememba zračnega tlaka povzroči spremembo mase zračnega stolpa nad merjeno gravimetrično točko. Vpliv zračnega tlaka na spremembo težnosti v mikroGal se računa glede na tlak normalne atmosfere DIN 5450 po enačbi ki jo priporoča International Association of Geodesy (IAG) v resoluciji št. 9, 1983. leta (Schüler, 2000):

$$\Delta g_p = 0,30 \times (p - p_n) \quad (4.1)$$

$$p_n = 1013,25 \times \left(1 - \frac{0,0065 \times H}{288,15}\right)^{5,2559} \quad (4.2)$$

kjer so:

- $p$  merjeni zračni tlak na stojišču v hPa oz. mbar,
- $p_n$  izračunani normalni zračni tlak na stojišču v hPa oz. mbar,
- $H$  nadmorska višina gravimetrične točke v metrih.

Ker sprememba zračnega tlaka za 10 hPa pomeni spremembo merjene težnosti za 3-4 mGal, se popravek zračnega tlaka upošteva le v najnatančnejših meritvah.

### 4.3 Sprememba v podtalnici in nivoju površinskih voda

Voda s svojo maso pravtako vpliva na Zemljino težnostno polje. Zaradi večjih sprememb v nivoju podtalnice, povečanega dotoka vode v jezera in reke ter ob večji vlažnosti tal (zaradi izrednih padavin, taljenja snega, ...), se spreminja tudi težnostno polje. Za izračun vpliva mase vode na težnostno polje lahko uporabimo naslednjo enačbo, kjer predpostavimo da je gostota vode  $1\text{g/cm}^3$  (Siegel, 1995):

$$\Delta g_R = 0,04192 \frac{mGal}{m} \quad (4.3)$$

Iz enačbe sledi, da bi sprememba v nivoju podtalnice ali površinske vode za 1m pomenila spremembo v merjeni težnosti za 43  $\mu\text{Gal}$ .

Plimovanje morja upoštevamo le, kadar opazujemo na obali poleg globokega morja. Popravke računamo z enačbo, kjer je vrednost popravka negativna ob plimi ter pozitivna ob oseki (Siegel, 1995):

$$\Delta g_R = 0,02 \frac{mGal}{m} \quad (4.4)$$

Kadar se nivo morske gladine spremeni za 1m, to vpliva na merjeno težnost za 20  $\mu\text{Gal}$ .

#### 4.4 Vpliv gibanja pola

Popravek vpliva gibanja pola kompenzira dolgoročne vplive zaradi spremembe trenutnega položaja pola glede na srednji pol CIO (Conventional International Origin) (Torge, 2001):

$$\Delta g_{pol}(t) = -1,16 \times \omega^2 \times R \times \sin 2\varphi \times (x(t) \cos \lambda - y(t) \sin \lambda) \left[ \frac{m}{s^2} \right] \quad (4.5)$$

kjer so:

- $\omega$  kotna hitrost Zemlje,
- $R$  radij Zemlje,
- $\varphi, \lambda$  geografski koordinati opazovališča,
- $x(t), y(t)$  koordinati trenutnega položaja pola glede na CIO – podatki so dostopni v elektronskem biltenu International Earth Rotation Service (IERS) oz. na medmrežju

Zgoraj naštetih vplivov se upoštevajo le pri najnatančnejših mikrogravimetričnih meritvah in pri kalibraciji instrumenta.

#### 4.5 Vpliv hoda instrumenta

Vplivi na elastičnost in dolžino vzmeti, kot so spreminjanje temperature in pritiska v notranjosti instrumenta, staranje vzmeti ter razni tresljaji, povzročajo da gravimeter tekom časa spremeni ničelni odčitek. Ta pojav imenujemo hod (ang. drift) instrumenta.

Hod razdelimo na dve vrsti:

- dolgoročni hod, ki je posledica staranja vzmeti, temperaturnih sprememb ter sprememb pritiska. Dolgoročni hod instrumenta znaša med 10 in 100 mikroGal na dan in se s staranjem instrumenta zmanjšuje.
- kratkoročni hod je posledica tresljajev med transportom instrumenta. Kratkoročni hod znaša do 100 mikroGal na uro in je v kratkih časovnih periodah skoraj linearen, odvisen pa je od instrumenta, načina transporta ter zaščite instrumenta.

Po Drewesu temelji določanje hoda na Taylorjevi vrsti merjene vrednosti  $g$  v odvisnosti od časa  $t$  (Torge, 1989) :

$$g(t) = g(t_0) + \left( \frac{\partial g}{\partial t} \right)_0 \times (t - t_0) + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 g}{\partial t^2} \right)_0 (t - t_0)^2 + \frac{1}{6} \left( \frac{\partial^3 g}{\partial t^3} \right)_0 (t - t_0)^3 + \dots \quad (4.6)$$



kjer  $t_0$  predstavlja čas začetka meritve.

Vpeljemo koeficiente hoda  $d_1, d_2, d_3, \dots$  in enačbo (13) pretvorimo v polinom:

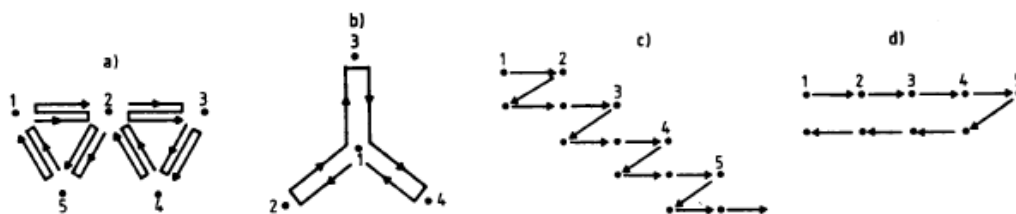
$$g(t) = g(t_0) + d_1(t - t_0) + d_2(t - t_0)^2 + d_3(t - t_0)^3 + \dots = g(t_0) + \sum_{p=1}^s d_p(t - t_0)^p = g(t_0) + D(t) \quad (4.7)$$

kjer  $g(t_0)$  predstavlja začetno meritev.

Običajno računamo koeficiente hoda v enačbi 4.7 s podatki enega dneva, torej določimo funkcijo hoda za vsak dan posebej. Koeficiente polinoma izračunamo z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov.

Koeficienti hoda se lahko določijo s ponovljenimi meritvami na istih točkah. Ponavljanja naj bodo čim enakomerneje časovno razporejena, odvisna pa so od tipa hoda (linearen, nelinearen, preskoki), velikosti hoda in zahtevane natančnosti meritev. Poznamo več metod merjenj (Torge, 1989):

- metoda razlik: kontrola hoda v realnem času na končnih točkah; zaporedje točk: 1-2-1-2, 2-3-2-3, 3-4-3-4, 4-2-4-2, ... (slika 4.2.a),
- metoda zvezde: povezava na centralno točko in kontrolo hoda v realnem času; zaporedje točk: 1-2-1-3-1-4-1 (slika 4.2.b),
- metoda korakov: najmanj trikratno zaporedno merjenje na posamezni točki; zaporedje točk: 1-2-1-2-3-2-3-4-3-... (slika 4.2.c) in
- metoda profilov: enkratno, dvokratno ali večkratno merjenje na posamezni točki profila; zaporedje točk: 1-2-3-4-...-4-3-2-1 (slika 4.2.d).

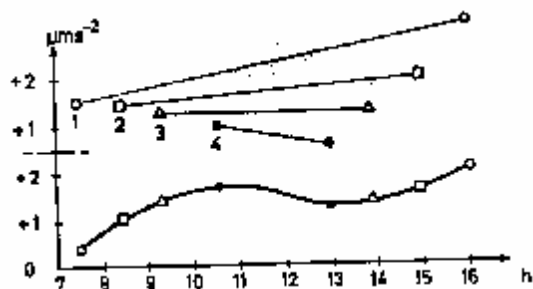


Slika 2: Metode določanja hoda (Torge, 1989)

Popravke hoda lahko določimo na dva načina:

### Grafični način

Pri grafičnem načinu na diagram nanese vrednosti hoda na posameznih točkah, v odvisnosti od časa in jih med seboj povežemo s polinomom čim manjše stopnje. Popravke nato direktno odčitamo s krivulje hoda.



Slika 3: Grafična določitev hoda (metoda profilov) (Torge, 1989)

### Numerični način

Pri numeričnem načinu izračunamo polinom čim manjše stopnje, ki se najbolj prilega določenim vrednostim hoda na posameznih točkah. Iz polinoma računamo popravek v določenem trenutku (enačba 4.7).

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

$$\Delta g_d = d_1(t_i - t_0) + d_2(t_i - t_0)^2 + d_3(t_i - t_0)^3 \dots \quad (4.8)$$

Pri čemer je  $t_0$  referenčni (začetni) čas merjenja. Pri tem je treba vedeti, da pozitivni hod zahteva negativno korekcijo ter obratno.

### 4.6 Popravek prostega zraka

Težni pospešek se z oddaljevanjem od Zemeljskega površja zmanjšuje obratnosorazmerno s kvadratom oddaljenosti od središča Zemlje. Zato lahko spremembo težnosti, kot posledico spremembe nadmorske višine  $\Delta H$  (m), zapišemo (Seigel, 1995):

$$\Delta g_{FA} = \frac{-2MG\Delta H}{R^2} = -0,3086 \text{ mGal/m} \quad (4.9)$$

kjer je:

- G gravitacijska konstanta,
- M masa Zemlje,
- R polmer Zemlje.

$\Delta g_{FA}$  imenujemo vertikalni gradient. Odvisen je od gostote kamnin in njihove razporeditve, od vpliva vodnih mas, od geografske širine, itd. Vrednost  $-0,3086$  mGal/m je le sferni približek vertikalnega gradienta normalne težnosti, ki ga uporabimo, ko nimamo merjenega vertikalnega gradienta.

Da odstranimo vpliv nadmorske višine na težni pospešek, moramo reducirati meritve na skupno raven, ponavadi na površino geoida. Iz enačbe razberemo, da se težni pospešek spremeni za  $0,3086$  mGal za meter višinske razlike z negativnim predznakom, pri večanju nadmorske višine. Za redukcijo na površino geoida moramo poznati nadmorsko višino stojišča. Če želimo zagotoviti natančnost meritev  $10$   $\mu$ Gal, moramo poznati višino na  $3$ cm natančno.

## 5 DOLOČITEV VERTIKALNEGA GRADIENTA Z RELATIVNIM GRAVIMETROM

Z relativnimi gravimetri ne moremo neposredno izmeriti vertikalnega gradienta. Določimo ga lahko na osnovi relativnih merjenj na različnih višinah nad isto točko. Tako dobimo z relativnimi gravimetričnimi meritvami na različnih višinah razlike pospeška sile teže. Če želimo izračunati gradient, pa moramo poznati tudi višinske razlike med posameznimi točkami.

Z izrazom:

$$\delta g = \frac{\Delta g}{\Delta h} \quad (5.1)$$

dobimo vertikalni gradient, pri čemer so  $g$  odčitki gravimetra na stojiščih,  $h$  pa višine gravimetra na stojiščih oz. višine točk, na katerih stoji gravimeter.

Eotvos je zastarela enota za gradient težnega pospeška v vodoravni smeri v sistemu enot CGS (centimeter-gram-sekunda). Imenuje se po madžarskem fiziku Lorándu Eötvösu (1848 – 1919), kateri je bil začetnik raziskav težnosti.

Eotvos je določen kot gradient oz. sprememba težnega pospeška, ki je enaka  $10^{-9}$  Gal/cm. V sistemu SI je  $1E = 1 \times 10^{-9} s^{-2} = 1 \mu ms^{-2}/km = 0,1 mgal/km$ .

### 5.1 Občutljivost vertikalnega gradienta glede na spremembe višinskih razlik pri konstantni varianci merjenja

V izraz vpeljemo zakon o prenosu varianc za nekorelirana merjenja. Če vzamemo višinsko razliko med točkami za točno, dobimo nov izraz (Medved, 2008):

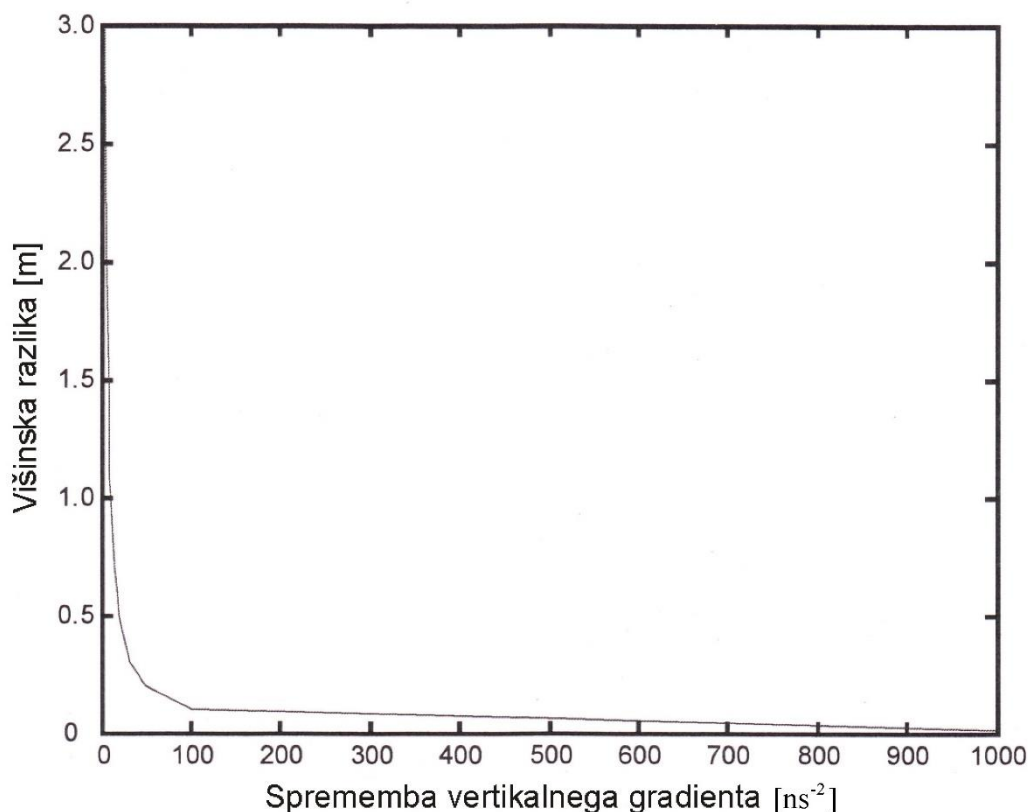
$$\sigma_{\sigma g}^2 = \frac{1}{\Delta i^2} \sigma_{\Delta g}^2 \quad (5.2)$$

Občutljivost gradienta lahko tako prikažemo v tabeli, pri čemer v izraz vstavimo različne vrednosti višinskih razlik.

Preglednica 3: Občutljivost gradienta, glede na višinsko razliko

$\Delta i$	[m]	0,01	0,1	0,2	1	2	3
$\sigma$	[ $ns^{-2}$ ]	1000	100	50	10	5	3

Iz tabele lahko razvidimo, da je vertikalni gradient zelo občutljiv na pogoške meritev pri merjenju na manjših višinskih razlikah., zato je priporočljivo, da so višinske razlike med stojšči čim večje.



Slika 4: Sprememba vertikalnega gradienta glede na spremembe višinskih razlik (Medved, 2008)

## 5.2 Uporaba gradienta težnosti

Madžarski geofizik Lorand Eötvös de Vásárosnamény je leta 1896 izpopolnil delovanje Coulombove tehtnice in omogočil določitev majhnih sprememb težnega pospeška. Takšen instrument imenujemo Eötvösevi variometer. V začetku XX. stoletja so množično začeli uporabljati gravimetrične meritve za iskanje nahajališč nafte.

Gradient težnosti potrebujemo tudi za potrebe redukcije absolutnih meritev težnosti z višine instrumenta na nivo točke oz. čepa. Prav tako lahko opravimo redukcijo absolutnih meritev na skupni nivo in s tem primerjamo rezultate med različnimi instrumenti. Gradient uporabimo tudi za redukcijo na nivo reperja pri relativnih meritvah, za potrebe določitve geopotencialnih kot.

Koristimo ga tudi za raziskave v geofiziki, npr. za raziskovanje geologije za pomoč iskanja mineralov in fosilnih goriv. Zanimiva je tudi uporaba za zaznavanje podzemnih tunelov ter bunkerjev, nedavno pa se ga je začelo uporabljati tudi za izboljševanje znanja o cirkulaciji oceanov.

## 6 GRAVIMETER SCINTREX CG-3M

Scintrex CG-3M je avtomatski relativni gravimeter, ki deluje s pomočjo mikroprocesorja. Obstajata dva CG-3 modela, ki se med seboj v imenu razlikujeta za črko M, ki pomeni *mikrogal meter*. CG-3 modeli delujejo brez ponovnega zagona v razponu nad 7000 mGal in imajo resolucijo čitanja (najmanjši odčitek, ki ga instrument še lahko poda) 5  $\mu$ Gal za CG-3 model in 1  $\mu$ Gal za model CG-3M. Standardni odklon modela CG-3 je manj kot 10  $\mu$ Gal in za model CG-3M manj kot 5  $\mu$ Gal (Scintrex, 1995).



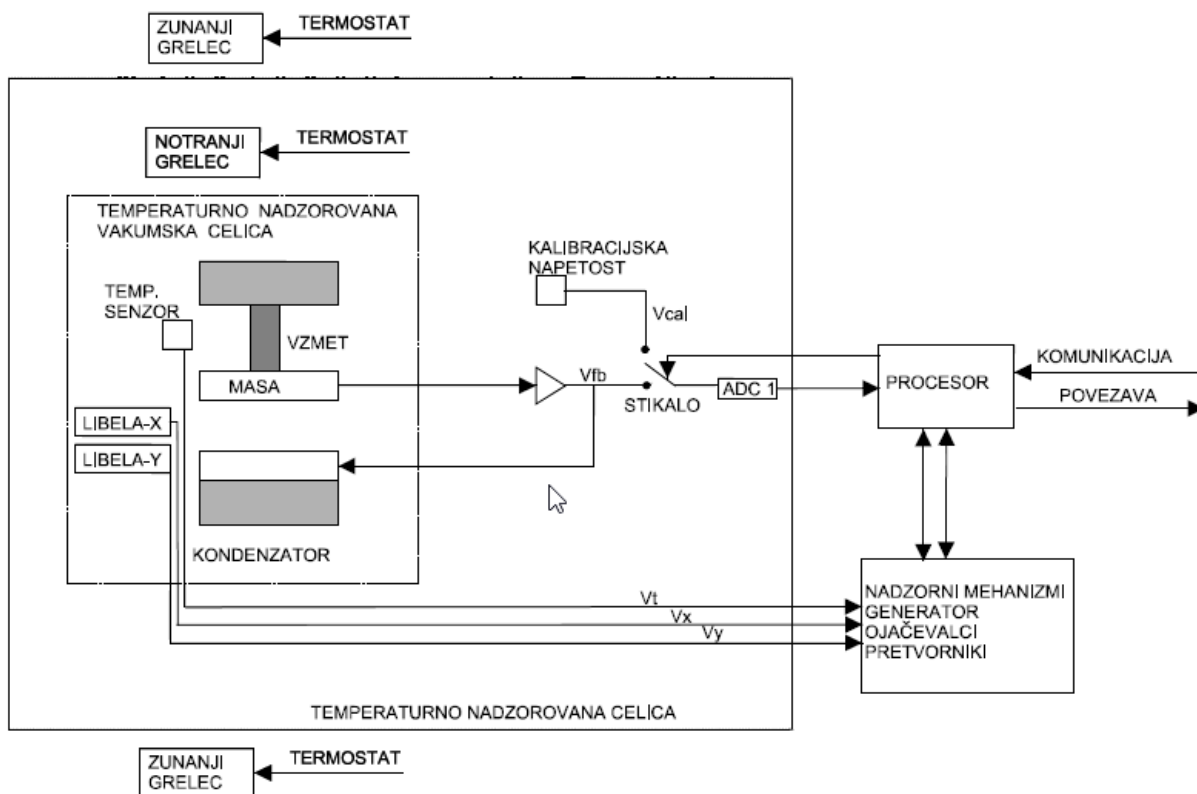
Slika 5: Gravimeter Scintrex CG-3M

Merilni sistem vsebuje:

- gravitacijski senzor,
- temperaturni senzor in
- elektronske libele.

Merilni sistem je hermetično zaprt v aluminijastem ohišju. Najobčutljivejši elementi (kremenčeva vzmet, občutljive elektronske naprave, libele, analogno-digitalni pretvornik) so v dvojnem vakuumskem ohišju, kjer je poleg vzmeti natančni temperaturni senzor, ki zaznava temperaturne spremembe. Te so praviloma manjše od 1 m°C. Sprememba temperature se prek digitalnega pretvornika določi v mK in je osnova za izračun temperaturnega popravka. Z upoštevanjem temperaturnega popravka je vpliv temperaturnih sprememb manjši od 5 $\mu$ Gal. V zunanji celici, kjer so manj občutljivi elektronski elementi, so spremembe temperature okoli 1 °C. Termostat vzdržuje

konstantno temperaturo in deluje v temperaturnem razponu med vrednostmi  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  in  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$  (lahko tudi  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$  ali  $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Običajno se v gravimetru vzdržuje temperatura okoli  $59\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Temperaturno kompenzacijo je treba preverjati periodično na terenski izmeri in pred meritvami za določevanje hoda instrumenta. Gravimetrični senzor je sestavljen iz kremenčeve vzmeti z utežjo, katere sprememba položaja se zazna s kondenzatorjem. Gravitacijska sila na utež je uravnovešena z vzmetjo ničelne dolžine in relativno majhno elektrostatično silo, ki se pojavi ob priključitvi kondenzatorjev na električno napetost in potisne položaj vzmeti v ničelni položaj. Relativni težnostni pospešek se tako določi na osnovi merjenja spremembe napetosti v kondenzatorju. Gravimetrični senzor pošlje vsako sekundo izmerjeno napetost v digitalni pretvornik, pri tem se analognodigitalni pretvornik periodično preklaplja na kalibracijsko napetost; pogostost preklapljanja predhodno določi operater. Senzor je narejen iz elementa, ki ni namagneten, tako da na delovanje instrumenta ne vplivajo spremembe v Zemeljskem magnetnem polju.



Slika 6: Konstrukcija gravimetra Scintrex CG-3M

Sistem za horizontiranje in centriranje, ki ga predstavlja trinožno stojalo z raztegljivimi nogami in elektronski libeli, omogoča postavitev instrumenta. Z elektronskima libelama, ki sta pravokotni ena na drugo, se eliminira pogrešek operaterja pri čitanju v primerjavi z običajnimi libelami z mehurčkom. Ničelni položaj libel in občutljivost libel moramo periodično preverjati in sicer približno enkrat na dva meseca (Scintrex, 1995).



Slika 7: Analogni libeli na instrumentu

Če se meritve opravljajo na nestabilnem terenu, se napake zaradi gibanja gravimetra avtomatsko eliminirajo, instrument pa sproti navaja stanje libel, če operater izbere to funkcijo, sicer se stanje libel izpiše na koncu merjenja. Popravki zaradi nehorizontalnosti se lahko med meritvami upoštevajo do nagiba  $\pm 200$  ločnih sekund. Operater prav tako lahko izbere avtomatsko upoštevanje Zemeljskega plimovanja. Podati mora geografsko pozicijo in določiti časovno cono, da lahko instrument izračuna in upošteva popravek plimovanja v realnem času. Uporabi se Longmanov model plimovanja trdne Zemlje.

Meritev je v večini primerov opravljena v eni minuti. Odčitek, ki ga poda instrument, je povprečje več sekundnih odčitkov, izmed katerih so izločeni tisti, ki so pod vplivom lokalnih vibracij in tresljajev. Odčitki, ki odstopajo od povprečja za več kot štiri standardne odklone so avtomatsko izločeni. Meritev je prikazana na LCD zaslonu, v enoti mGal. Podatki se hranijo v spominsko enoto in se jih lahko pošlje tiskalniku, modemu ali računalniku. Nadzorni mehanizem vsebuje tipkovnico, LCD zaslon z možnostjo prikaza 80 znakov, mikroprocesor in spominsko enoto.

Prikazani in shranjeni podatki:

- popravljena gravimetrična vrednost,
- standardni odklon,
- nagib po x osi,
- nagib po y osi,
- sprememba temperature,
- popravek plimovanja Zemeljske skorje,
- trajanje meritev,
- čas začetka meritev,
- splošne informacije v glavi datoteke.



Nadzorni mehanizem se uporablja za kontrolne funkcije meritev, določevanje popravljenih vrednosti meritev in shranjevanje vrednosti opazovanj, popravljenih za nekatere pogoške, kot so hod instrumenta, temperaturni popravek, popravek zaradi plimovanja Zemeljske skorje in popravek nehorizontalnosti instrumenta.

Majhna vrednost dnevnega hoda instrumenta je rezultat stabilnega operacijskega okolja kremenčeve vzmeti. Pri novem gravimetru znaša hod okoli 500  $\mu\text{Gal}$  na dan, sčasoma pa se hod zmanjša in pade celo pod 200  $\mu\text{Gal}$  na dan. Hod instrumenta postane tedaj linearna funkcija, ki omogoča natančno kompenzacijo hoda v odvisnosti od časa. Opazovanja lahko popravimo za vrednost hoda instrumenta (mGal na dan), ki ga prek tipkovnice vnesemo v instrument. Hod instrumenta je treba pri novih instrumentih določati bolj pogosto, po nekaj mesecih pa se določa vsaj enkrat na tri mesece oz. na 128 dni. Hod gravimetra se določi na osnovi periodične registracije relativnega težnostnega pospeška (24 ur) na točki, ki je stabilna, v njeni okolici pa ni navzočih lokalnih tresljajev.

Notranja 12-voltna baterija omogoča zadostno moč, da gravimeter normalno deluje cel opazovalni dan (okoli 12 ur). Stanje baterije se lahko sproti preverja na zaslonu. Ko je baterija tik pred izpraznitvijo, odda instrument zvočni alarm. Gravimeter lahko oskrbuje tudi zunanja 12-voltni DC vir napetosti, s 3-amperskim tokom. V primeru, da odpove glavna baterija, ohranja spomin za nekaj dni set vgrajenih miniaturnih baterij.

## **7 DOLOČITEV VERTIKALNEGA GRADIENTA TEŽNOSTI V STAVBI FGG**

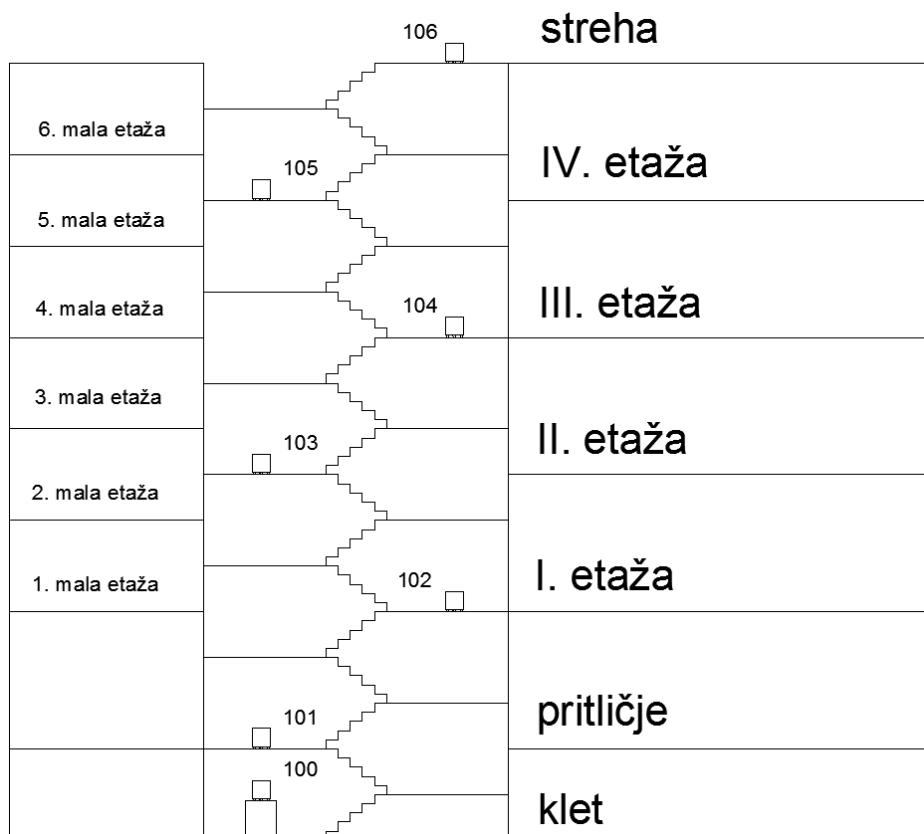
Namen naloge je bil določitev vertikalnega gradienta v stavbi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Za ta namen, smo si z Geodetske uprave izposodili relativni gravimeter Scintrex CG-3M, s katerim smo opravljali meritve. Meritve so bile opravljene dvakrat in sicer 30.12.2014 in 15.2.2015. Vedno smo merili navzgor od točke 100 do 106 ter nazaj od 106 do 100. Za določitev gradienta pa smo poleg meritev težnosti potrebovali tudi višinske razlike med točkami, do katerih smo prišli z geometričnim nivelmanom.

### **7.1 Geometrični nivelman**

Za določitev vertikalnega gradienta težnosti potrebujemo višinske razlike med stojišči. To smo pridobili z niveliranjem od točke 100 do 101. Med točkami 101 in 106 smo napeli merski trak v vertikalni smeri in brali odčitke na nivelmanu. Tako smo dobili relativne višinske razlike med stojišči, katere smo nato umestili še absolutno, saj smo imeli podano višino čepa točke 100.

### **7.2 Gravimetrične meritve**

Gravimetrične meritve z instrumentom Scintrex CG-3M, ki je last Geodetske uprave, smo na FGG opravljali dvakrat in sicer 30.12.2014 in 15.2.2015. Instrument smo imeli postavljen v kleti, pritličju ter vseh štirih večjih etažah in sicer na stopnišču. Vedno je bila stavba skoraj prazna, tako da ni bilo motečih tresljajev mimoidočih ljudi. Meritve so bile opravljene v naslednjem vrstnem redu od 100-101-102-103-104-105-106 in nazaj od 106-105-104-103-102-101-100. Tako smo imeli na isti dan dvojne meritve na vsakem stojišču. Na vsaki točki smo pustili instrument da se umiri približno deset minut, preden smo začeli z meritvami. Nato smo instrument shorizontirali, pregledali nastavitve in začeli meriti. Posamična meritev je trajala približno dvajset minut, vse skupaj pa okoli pet ur. Točka navezave je bila točka 100, ki je imela podano tudi absolutno gravimetrično vrednost.



Slika 8: Shema nadstropij ter stojišč stavbe FGG

Na terenu smo vodili tudi terenski zapisnik. Ta nam služi za kontrolo meritev, za zapis merjenega tlaka, temperature ter raznih opomb. V zapisnik se vpišejo:

- splošne informacije (v glavo zapisnika): naslov projekta, datum merjenja, ime opazovalca, tip instrumenta, čas izmere na posameznem stojišču, vključitev popravkov ter nastavitve gravimetra. Zapišemo tudi tipe instrumentov za merjenje tlaka in temperature.
- informacije o sami izmeri: zaporedna številka meritve, ime točke, višina instrumenta nad oz. pod točko, začetek in konec meritve, geografske koordinate točke, odčitek na gravimetru v [mgal], tlak in temperatura v času posamične meritve.

Kljub temu da je merilni sistem hermetično zaprt v aluminijastem ohišju, zaradi česar naj ne bi zunanji pogoji drastično vplivali na rezultate merjenja, se tlak in temperatura sproti merita zaradi preverjanja konstantnosti pogojev v času merjenja. Pri izračunu popravka je treba upoštevati predvsem zračni tlak. Instrument opravi eno meritev na sekundo, na posamezni točki pa meri 60 sekund, kar pomeni da opravi 60 meritev. Iz teh 60 meritev se avtomatsko izločijo meritve, ki preveč odstopajo. Na osnovi preostalih meritev, pa se izračuna povprečna vrednost, katera se nato izpiše tudi na ekranu.

## ZAPISNIK GRAVIMETRIČNIH MERITEV

stran 1/2

Projekt: V. GRADIENT V FGG		Datum: 30.12.2014	
Opazovalec: KREVH		Št. opazovalca:	
Gravimeter SCINTREX CG-3M		S. N. gravimetra:	Mode: FLD. GRAV <u>CYCLING</u>
READ TIME: 60	CAL. AFTER: 12	CYCLE TIME: 70	
Nr. of cycles: 5	Seismic Filter: <u>DA</u> NE	Continuous tilt corr.: <u>DA</u> NE	
Auto reject: <u>DA</u> NE	Tide correction: <u>DA</u> NE	Auto repeat: DA <u>NE</u>	
Auto record: <u>DA</u> NE	UTC(GMT) – krajevni čas: 0		
Tlak zraka merjen z: HM30 GURS NDVI		Temperatura zraka merjena z:	

Zap. št.	Točka	Višina instr. [mm] + nad - pod	start / stop			$\phi$ [°]	$\lambda$ [°]	Odčitek na gravimetru [mGal]	Tlak [mbar]	Temp. [°C]
			h	m	s					
1.	100	461	11	05	30	46,05	14,50	4900,880 4900,882	994,9	21,3
2.	101	461						4900,282	994,0	21,2
3.	102	461	12	03	11			4898,981	993,5	21,2
4.	103	461	12	10	00			4897,681	992,5	22
5.	104	460	12	45	09			4896,394	991,8	22,3
6.	105	462	13	02	16			4895,094	990,9	22,1

Slika 9: Primer strani terenskega zapisnika gravimetričnih meritev

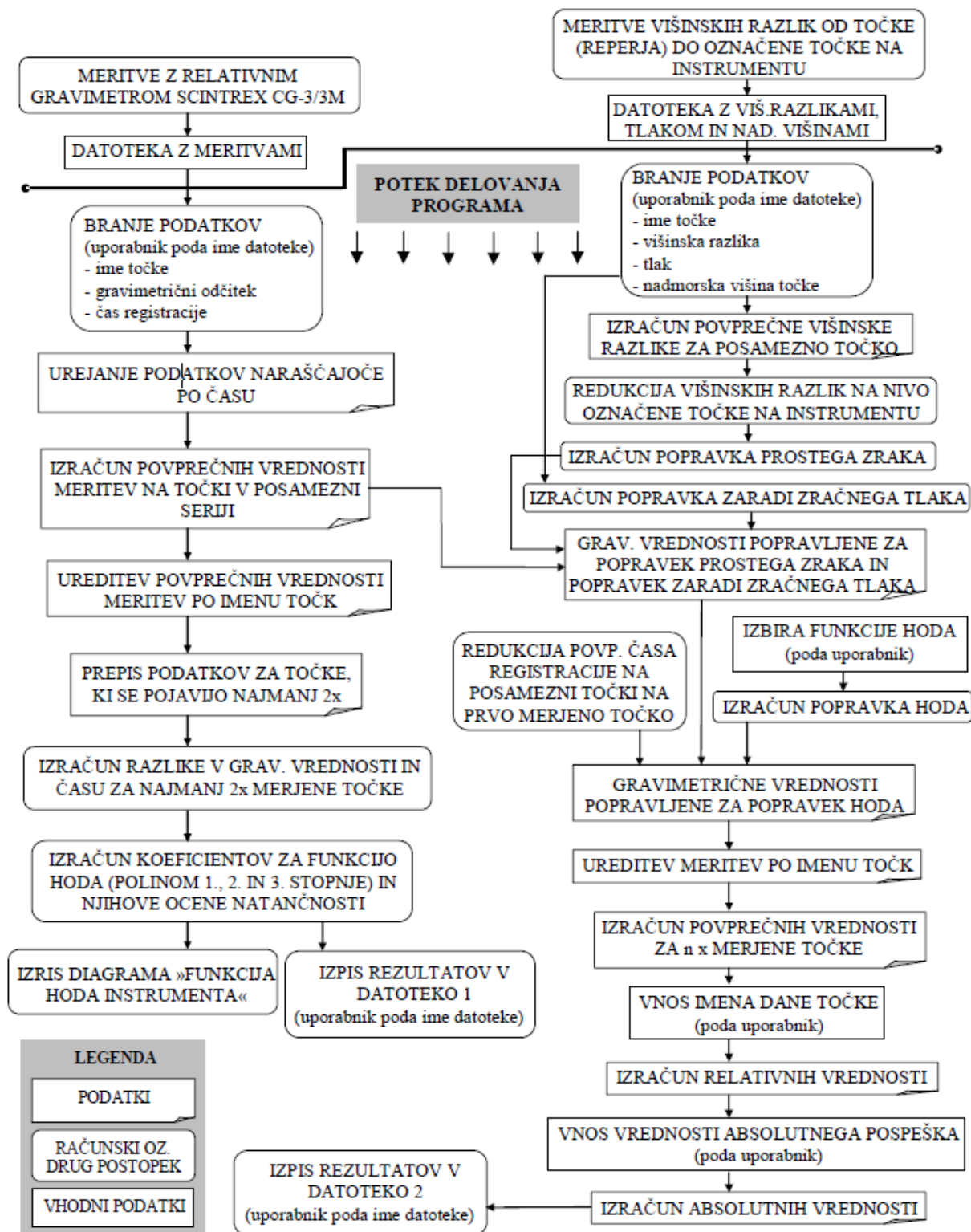
## **8 OBDELAVA GRAVIMETRIČNIH MERITEV**

Meritve smo obdelali z dvema programoma, enim napisanim v okolju Matlab in s programom GravAP.

### **8.1 Program za obdelavo gravimetričnih meritev**

Program je namenjen za avtomatizacijo računskega postopka pridobitve absolutnih vrednosti težnostnega pospeška na merjenih točkah na osnovi izpisa meritev, pridobljenih z relativnim gravimetrom Scintrex CG-3/3M. Napisan je v programskem okolju Matlab. Z avtomatizacijo se znebimo zamudnega prenašanja podatkov in ročnega računanja, prav tako s tem eliminiramo subjektivne napake le-tega. V obdelavo podatkov s programom je vključen tudi sam uporabnik, in sicer tako, da poda datoteko z meritvami, katero želi obdelati, ime izhodne datoteke, kamor se izpišejo rezultati, datoteko z višinami ter dodatne podatke, ki so potrebni za izračun. Te informacije program zahteva tekom izračuna

Program pri obdelavi meritev upošteva višinske razlike do reperjev, nadmorske višine točk, merjen tlak na točkah, popravek prostega zraka, popravek zračnega tlaka in popravek zaradi dnevnega hoda instrumenta. Prav tako izriše diagram funkcij hoda: linearno, kvadratno in kubično. Tako lahko sami vidimo katera se najboljše prilega meritvam. Katero funkcijo dnevnega hoda instrumenta program upošteva, pa naj bi določil uporabnik sam. Na koncu, na podlagi dane točke z absolutno vrednostjo težnega pospeška, katera je bila vključena v meritve, program izračuna najprej relativne, nato pa le-te pretvori v absolutne vrednosti gravitacijskega pospeška. Vsa merjenja ter rezultati se izpišejo v izhodno datoteko.



Slika 10: Diagram koncepta delovanja programa (Urek, 2005)

## 8.2 Izpis rezultatov absolutnih vrednosti gravitacijskega pospeška

Program izpiše rezultate v dve preglednici. Prva Tabela se imenuje »MERITVE in POPRAVKI« in vsebuje naslednje podatke:

- TOCKA – imena točk, na katerih so se izvajale meritve,
- GRAV. - gravimetrične meritve,
- GRAV.POV. – povprečne vrednosti meritev,
- CAS – čas registracije meritev,
- CAS POV. – povprečni čas registracije meritev,
- PPZ – popravek prostega zraka,
- PZT – popravek zaradi zračnega tlaka,
- PD – popravek hoda instrumenta,
- GRAV.POP. – povprečno gravimetrično meritev popravljen za vse popravke (vrednosti, ki se nanašajo na gravimetrične meritve so podane v enoti  $\mu\text{Gal}$ , časovne pa v obliki hh:mm:ss)

Druga Tabela pa se imenuje »IZRAČUN RELATIVNIH in ABSOLUTNIH VREDNOSTI g« in vsebuje:

- TOCKA – imena točk, na katerih so se izvajale meritve,
- GRAV.POP.POV. – povprečne vrednosti gravimetričnih meritev,
- GRAV.REL. – relativne vrednosti gravitacijskega pospeška,
- GRAV.ABS. – absolutne vrednosti gravitacijskega pospeška in
- TOCKA – še enkrat ponovljeno ime točke (gravimetrične meritve so v enoti  $\mu\text{Gal}$ , časovne pa v obliki hh:mm:ss).

## 8.3 Oblike vhodnih datotek

Vhodni podatki iz datoteke morajo biti zapisani v točno določeni obliki, da jih program lahko prebere in pravilno interpretira.

### 8.3.1 Oblika datoteke izpisa meritev, pridobljenih iz gravimetra

Vse datoteke z izpisom meritev, pridobljenih z relativnim gravimetrom imajo v uvodnih vrsticah napisane podatke o stanju gravimetra ter splošnih razmerah v času merjenja. Zatem sledijo merski podatki:

- Station – ime točke, zapisano s števki (ni črk v imenu),

- Grav. – merjena gravimetrična vrednost, podana v mGal, ki je izračunana kot srednja vrednost 60. merjenj,
- SD. – standardna deviacija izmerjene gravimetrične vrednosti,
- Tilt x – nagib libele v smeri x; dovoljena vrednost do  $\pm 10$ ,
- Tilt y – nagib libele v smeri y; dovoljena vrednost do  $\pm 10$ ,
- Temp. – sprememba temperature,
- E.T.C. – popravek plimovanja Zemeljske skorje,
- Dur – čas trajanja veljavnih meritev v sekundah, ki v bistvu predstavlja število meritev, katerih srednja vrednost je izpisana merjena gravimetrična vrednost; frekvenca merjenja je 1 meritev na sekundo,
- # Rej – število meritev iz sklopa enega merjenja, ki so bile zavrnjene zaradi prevelikega odstopanja oz. neprimernih pogojev merjenja (prevelik nagib libel),
- Time – čas registracije meritve.



```

-----
SCINTREX V5.2      AUTOGRAV / Cycling Mode      R5.31
Cycle Time:      70                      Ser No:      10241.
Line:      2.  Grid:      0.  Job:      29.  Date: 14/12/30  Operator:      29.

GRES.:      0.  mGals                      Tilt x sensit.:      306.2
GCAL.1:      6263.221                      Tilt y sensit.:      234.5
GCAL.2:      0.                      Deg.Latitude:      46.05
TEMPCO.:      -0.1255 mGal/mK              Deg.Longitude:      -14.50
Drift const.:      0.1277                  GMT Difference:      0.hr
Drift Correction Start Time: 10:52:59      Cal.after x samples:      999
Date: 13/07/15                          On-Line Tilt Corrected = "*"
-----
Station Grav.      SD.      Tilt x      Tilt y      Temp.      E.T.C.      Dur      #      Rej      Time
100. 4900.882* 0.042      1.      -0.      -0.36      -0.085      60      0      11:00:42
100. 4900.884* 0.039      0.      -1.      -0.36      -0.085      60      0      11:01:54
100. 4900.880* 0.047      0.      -1.      -0.35      -0.085      60      0      11:03:06
100. 4900.879* 0.045      1.      -1.      -0.34      -0.085      60      0      11:04:18
100. 4900.882* 0.047      1.      -2.      -0.34      -0.085      60      0      11:05:30
100. 4900.927* 0.037      2.      1.      -0.35      -0.034      60      0      15:05:51
100. 4900.929* 0.038      3.      1.      -0.35      -0.034      60      0      15:07:03
100. 4900.922* 0.039      3.      1.      -0.34      -0.033      60      0      15:08:15
100. 4900.921* 0.056      3.      1.      -0.35      -0.032      60      0      15:09:27
100. 4900.924* 0.043      3.      1.      -0.34      -0.032      60      0      15:10:39
101. 4900.286* 0.055      -1.      -0.      -0.41      -0.088      60      0      11:40:00
101. 4900.282* 0.044      -0.      -0.      -0.40      -0.088      60      0      11:41:12
101. 4900.286* 0.057      -1.      -1.      -0.38      -0.088      60      0      11:42:24
101. 4900.283* 0.053      -0.      -1.      -0.38      -0.088      60      0      11:43:36
101. 4900.282* 0.070      -0.      -1.      -0.37      -0.088      60      0      11:44:48
101. 4900.317* 0.055      0.      -2.      -0.35      -0.045      60      0      14:44:39
101. 4900.318* 0.039      1.      -2.      -0.34      -0.044      60      0      14:45:51
101. 4900.323* 0.055      1.      -3.      -0.35      -0.044      60      0      14:47:03
101. 4900.316* 0.048      1.      -2.      -0.34      -0.043      60      0      14:48:15
101. 4900.320* 0.052      1.      -2.      -0.35      -0.042      60      0      14:49:27
102. 4898.978* 0.053      -3.      -1.      -0.44      -0.088      60      0      11:58:23
102. 4898.983* 0.051      -3.      -1.      -0.42      -0.088      60      0      11:59:35
102. 4898.977* 0.057      -3.      -1.      -0.41      -0.088      60      0      12:00:47
102. 4898.982* 0.040      -3.      -1.      -0.40      -0.088      60      0      12:01:59
    
```

Slika 11: Primer datoteke z meritvami, katero pridobimo iz gravimetra

### 8.3.2 Oblika datoteke z višinskimi razlikami, tlakom ter nadmorskimi višinami

Datoteka je sestavljena iz štirih stolpcev in sicer:

- prvi stolpec: imena točk, ki morajo biti podana isto kot v datoteki z meritvami
- drugi stolpec: merjene višinske razlike od vrha instrumenta do točke oz reperja v milimetrih
- tretji stolpec: vrednost merjenega tlaka na posameznem stojšču v milibarjih
- četrti stolpec: nadmorske višine za merjene točke v metrih

100	461	994.9	294.995
101	461	994.0	297.166
102	461	993.5	301.645
103	461	992.5	306.102
104	460	991.8	310.535
105	462	990.9	314.981
106	461	990.1	319.456
105	460	990.5	314.981
104	454	990.8	310.535
103	454	991.1	306.102
102	454	991.7	301.645
101	454	992.2	297.166
100	457	992.5	294.995

Slika 12: Primer datoteke z višinskimi razlikami, tlakom ter nadmorskimi višinami

#### 8.4 Program GravAP

GravAP je program za obdelavo gravimetričnih meritev. Ima možnost neposrednega včitavanja surovih podatkov merjenja iz gravimetrov: LaCoste Romberg (modela LCR-G in LCR-D) ter Scintrex (modela CG-3 in CG-5).

Možna je celotna obdelava meritev od izračuna popravkov (redukcije vrednosti težnega pospeška) do končne izravnave izravnave.

Obdelava podatkov meritev pomeni izračun ustreznih popravkov in redukcij, ki jih izračunamo za vsako točko in za vsak dan opazovanj. Lahko izračunamo naslednje popravke:

- 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.

Program ima možnost vzpostavitve baze izmeritvenih točk, v kateri za vsako točko vnesemo njene geodetske koordinate in nadmorsko višino. Program lahko neposredno interpolira vrednost geoidne višine iz globalnega geopotencialnega modela EGM96.

Za razliko od našega programa za obdelavo meritev v okolju Matlab (FGG), GravAP modelira parametre dnevnega hoda v okviru izravnave meritev. V postopku izravnave program kot opazovanja obravnava neposredne odčitke gravimetra (opazovanja iz gravimetra), ki smo jim predhodno prišteli ustrezne popravke (redukcije). Dnevni hod gravimetra se modelira s polinomsko funkcijo prve ali druge stopnje.

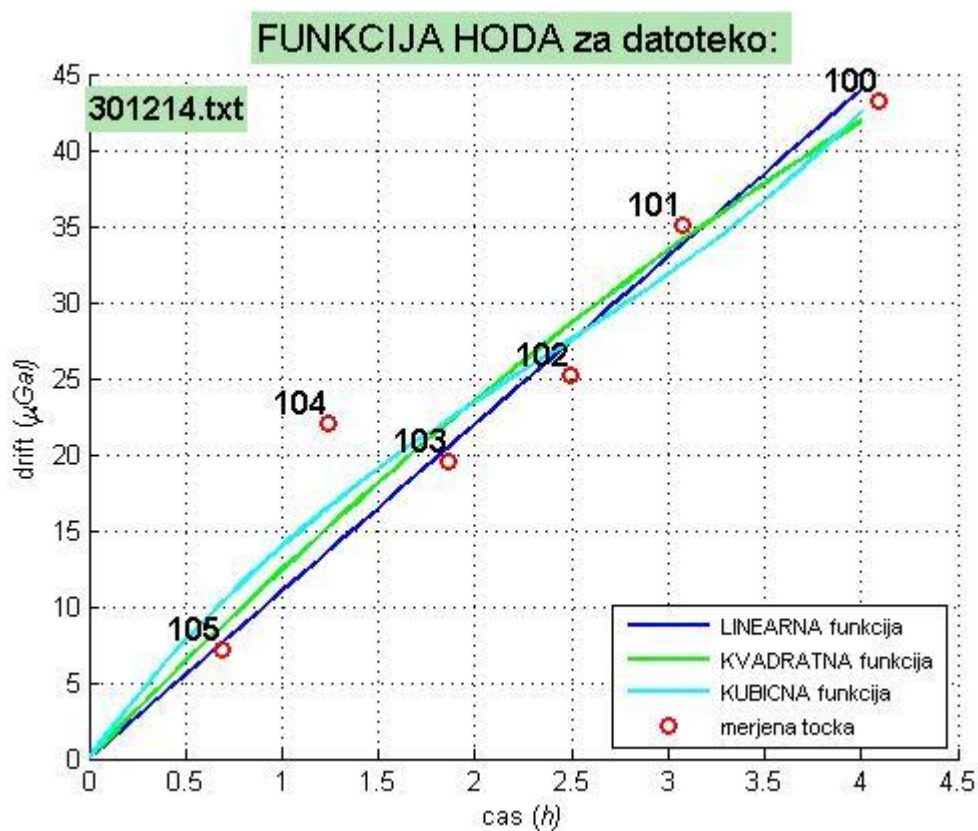
## 9 OBDELAVA MERITEV IN REZULTATI

### 9.1 Obdelava meritev v programu Matlab

Preračun podatkov v Matlabu nam poda tri datoteke z rezultati:

- diagram z izrisom funkcij hoda instrumenta
- datoteka z izračunom hoda instrumenta
- datoteka z izračunom gravitacijskega pospeška

#### 9.1.1 Rezultati meritev z dne, 30.12.2014



Slika 13: Izris hoda instrumenta v programu Matlab za dan 30.12.2014

**Izračun hoda instrumenta:**

Preglednica 4: Meritve, ki so bile uporabljene za izračun hoda instrumenta:

Točka	Grav. povprečje	Povprečen čas
100	4900881.4	11:03:06
101	4900283.8	11:42:24
102	4898980.2	12:00:47
103	4897678.6	12:21:25
104	4896391.8	12:42:45
105	4895095.4	12:59:52
105	4895102.6	13:41:02
104	4896413.8	13:57:19
103	4897698.2	14:13:08
102	4899005.4	14:30:16
101	4900318.8	14:47:03
100	4900924.6	15:08:15

Koeficienti funkcije hoda in njihove ocene natančnosti:

LINEARNA funkcija:

- $A = 10.983705$
- standardni odklon =  $\pm 3.900951$  mikroGal

KVADRATNA funkcija:

- $A = 13.056727$ ,  $B = -0.645770$
- standardni odklon =  $\pm 3.637979$  mikroGal

KUBIČNA funkcija:

- $A = 17.315379$ ,  $B = -3.931510$ ,  $C = 0.564752$
- standardni odklon =  $\pm 3.392073$  mikroGal

### 9.1.1.1 Linearna funkcija

Preglednica 5: Meritve in popravki (linearna funkcija)

Točka	Odčitek gravimetra povprečje	Čas povprečje	PPZ ( $\mu\text{Gal}$ )	PZT ( $\mu\text{Gal}$ )	PD ( $\mu\text{Gal}$ )	Odčitev gravimetra povp. ( $\mu\text{Gal}$ )
100	4900881.4	11:03:06	80.2	5.0	0.0	4900966.6
101	4900283.8	11:42:24	80.2	4.8	7.2	4900361.6
102	4898980.2	12:00:47	80.2	4.8	10.6	4899054.7
103	4897678.6	12:21:25	80.2	4.6	14.3	4897749.1
104	4896391.8	12:42:45	79.9	4.6	18.2	4896458.1
105	4895095.4	12:59:52	80.5	4.5	21.4	4895159.0
106	4893812.3	13:20:40	80.2	4.4	25.2	4893871.7
105	4895102.6	13:41:02	79.9	4.4	28.9	4895158.0
104	4896413.8	13:57:19	78.1	4.3	31.9	4896464.3
104	4897698.2	14:13:08	78.1	4.2	34.8	4897745.7
102	4899005.4	14:30:16	78.1	4.2	37.9	4899049.8
101	4900318.8	14:47:03	78.1	4.2	41.0	4900360.1
100	4900924.6	15:08:15	79.0	4.3	44.9	4900963.0

Preglednica 6: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti (linearna funkcija)

Točka	Odčitek gravimetra povprečje ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. rel. ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. abs. ( $\mu\text{Gal}$ )
100	4900964.8	0.0	980615665.7
101	4900360.9	-603.9	980615061.8
102	4899052.2	-1912.6	980613753.1
103	4897747.4	-3217.4	980612448.3
104	4896461.2	-4503.6	980611162.1
105	4895158.5	-5806.3	980609859.4
106	4893871.7	-7093.1	980608572.6

## 9.1.1.2 Kvadratna funkcija

Preglednica 7: Meritve in popravki (kvadratna funkcija)

Točka	Odčitev gravimetra povprečje	Čas povprečje	PPZ ( $\mu\text{Gal}$ )	PZT ( $\mu\text{Gal}$ )	PD ( $\mu\text{Gal}$ )	Odčite pop. [ $\mu\text{Gal}$ ]
100	4900881.4	11:03:06	80.2	5.0	0.0	4900966.6
101	4900283.8	11:42:24	80.2	4.8	8.3	4900360.5
102	4898980.2	12:00:47	80.2	4.8	12.0	4899053.3
103	4897678.6	12:21:25	80.2	4.6	15.9	4897747.5
104	4896391.8	12:59:52	79.9	4.6	19.9	4896456.4
105	4895095.4	13:20:40	80.5	4.5	23.0	4895157.5
106	4893812.3	13:41:02	80.2	4.4	26.5	4893870.4
105	4895102.6	13:57:19	79.9	4.4	29.9	4895157.0
104	4896413.8	14:13:08	78.1	4.3	32.5	4896463.7
104	4897698.2	14:30:16	78.1	4.2	34.9	4897745.6
102	4899005.4	14:47:03	78.1	4.2	37.4	4899050.3
101	4900318.8	15:08:15	78.1	4.2	39.7	4900361.4
100	4900924.6	11:03:06	79.0	4.3	42.6	4900965.3

Preglednica 8: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti (kvadratna funkcija)

Točka	Odčitek gravim. povprečje ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. rel. ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. abs. ( $\mu\text{Gal}$ )
100	4900966.0	0.0	980615665.7
101	4900361.0	-605.0	980615060.7
102	4899051.8	-1914.1	980613751.6
103	4897746.6	-3219.4	980612446.3
104	4896460.1	-4505.9	980611159.8
105	4895157.2	-5808.7	980609857.0
106	4893870.4	-7095.6	980608570.1

### 9.1.1.3 Kubična funkcija

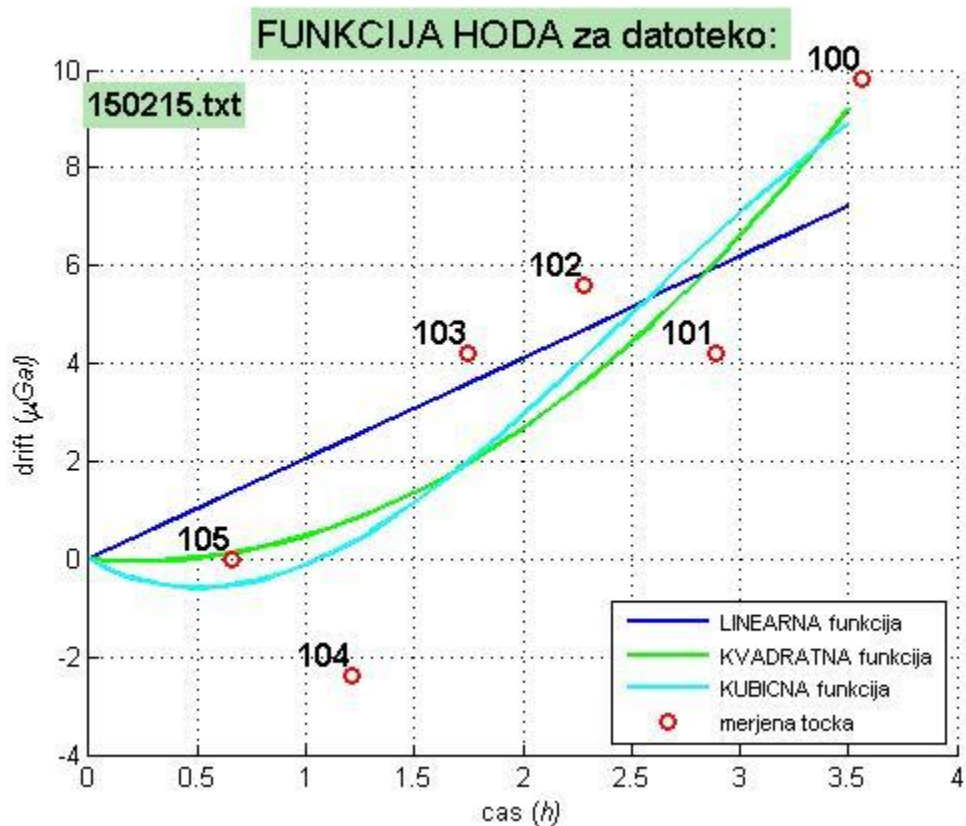
Preglednica 9: Meritve in popravki (kubična funkcija)

Točka	Odčitek gravimetra povprečje	Čas povprečje	PPZ ( $\mu\text{Gal}$ )	PZT ( $\mu\text{Gal}$ )	PD ( $\mu\text{Gal}$ )	Odčitev pop. ( $\mu\text{Gal}$ )
100	4900881.4	11:03:06	80.2	5.0	0.0	4900966.6
101	4900283.8	11:42:24	80.2	4.8	9.8	4900359.0
102	4898980.2	12:00:47	80.2	4.8	13.5	4899051.7
103	4897678.6	12:21:25	80.2	4.6	17.2	4897746.3
104	4896391.8	12:42:45	79.9	4.6	20.5	4896455.8
105	4895095.4	12:59:52	80.5	4.5	23.0	4895157.5
106	4893812.3	13:20:40	80.2	4.4	25.8	4893871.1
105	4895102.6	13:41:02	79.9	4.4	28.6	4895158.2
104	4896413.8	13:57:19	78.1	4.3	31.0	4896465.2
104	4897698.2	14:13:08	78.1	4.2	33.3	4897747.2
102	4899005.4	14:30:16	78.1	4.2	36.2	4899051.6
101	4900318.8	14:47:03	78.1	4.2	39.2	4900361.9
100	4900924.6	15:08:15	79.0	4.3	43.6	4900964.2

Preglednica 10: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti kubična funkcija)

Točka	Odčitek gravimetra povpr. ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. rel. ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. abs. ( $\mu\text{Gal}$ )
100	4900965.4	0.0	980615665.7
101	4900360.4	-605.0	980615060.7
102	4899051.6	-1913.8	980613751.9
103	4897746.7	-3218.7	980612447.0
104	4896460.5	-4504.9	980611160.8
105	4895157.8	-5807.6	980609858.1
106	4893871.1	-7094.3	980608571.4

## 9.1.2 Rezultati meritev z dne, 15.02.2015



Slika 14: Izris hoda instrumenta v programu Matlab za dan 15.2.2015

**Izračun hoda instrumenta:**

Preglednica 11: Meritve, ki so bile uporabljene za izračun hoda instrumenta:

Točka	Odčitek gravim.	Povprečen čas
100	4908649.8	9:53:43
101	4908045.6	10:18:18
102	4906734.6	10:37:58
103	4905434.6	10:55:59
104	4904152.0	11:12:38
105	4902846.6	11:28:49
105	4902846.6	12:08:31
104	4904149.6	12:25:24
103	4905438.8	12:40:44



<b>102</b>	4906740.2	12:54:57
<b>101</b>	4908049.8	13:11:30
<b>100</b>	4908659.6	13:27:33

Koeficienti funkcije hoda in njihove ocene natančnosti:

LINEARNA funkcija:

- $A = 2.059319$
- standardni odklon = +/- 2.584304 mikroGal

KVADRATNA funkcija:

- $A = -0.389507$ ,  $B = 0.862280$
- standardni odklon = +/- 2.131489 mikroGal

KUBIČNA funkcija:

- $A = -2.425244$ ,  $B = 2.654690$ ,  $C = -0.353571$
- standardni odklon = +/- 2.066246 mikroGal

### 9.1.2.1 Linearna funkcija

Preglednica 12: Meritve in popravki (linearna funkcija)

Točka	Odčitek gravim.	Čas povprečje	PPZ ( $\mu$ Gal)	PZT ( $\mu$ Gal)	PD ( $\mu$ Gal)	Odčitek pop. ( $\mu$ Gal)
<b>100</b>	4908649.8	9:53:43	78.7	1.0	0.0	4908729.5
<b>101</b>	4908045.6	10:18:18	80.2	0.9	0.8	4908125.9
<b>102</b>	4906734.6	10:37:58	79.6	0.9	1.5	4906813.6
<b>103</b>	4905434.6	10:55:59	79.9	0.9	2.1	4905513.3
<b>104</b>	4904152.0	11:12:38	79.3	0.9	2.7	4904229.5
<b>105</b>	4902846.6	11:28:49	80.5	1.0	3.3	4902924.8
<b>106</b>	4901559.7	11:49:04	79.3	0.9	4.0	4901636.0
<b>105</b>	4902846.6	12:08:31	79.3	0.8	4.6	4902922.1
<b>104</b>	4904149.6	12:25:24	79.3	0.8	5.2	4904224.5
<b>104</b>	4905438.8	12:40:44	79.0	0.8	5.7	4905512.9
<b>102</b>	4906740.2	12:54:57	79.0	0.7	6.2	4906813.7
<b>101</b>	4908049.8	13:11:30	79.0	0.7	6.8	4908122.7
<b>100</b>	4908659.6	13:27:33	78.4	0.7	7.3	4908731.4

Preglednica 13: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti (linearna funkcija)

Točka	Odčitek gravim. povprečje ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. rel. ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. abs. ( $\mu\text{Gal}$ )
100	4908730.4	0.0	980615665.7
101	4908124.3	-606.1	980615059.6
102	4906813.7	-1916.7	980613749.0
103	4905513.1	-3217.3	980612448.4
104	4904227.0	-4503.4	980611162.3
105	4902923.5	-5806.9	980609858.8
106	4901636.0	-7094.4	980608571.3

### 9.1.2.2 Kvadratna funkcija

Preglednica 14: Meritve in popravki (kvadratna funkcija)

Točka	Odčitek gravim.	Čas povprečje	PPZ ( $\mu\text{Gal}$ )	PZT ( $\mu\text{Gal}$ )	PD ( $\mu\text{Gal}$ )	Odčitek pop. ( $\mu\text{Gal}$ )
100	4908649.8	9:53:43	78.7	1.0	0.0	4908729.5
101	4908045.6	10:18:18	80.2	0.9	-0.0	4908126.8
102	4906734.6	10:37:58	79.6	0.9	0.2	4906815.0
103	4905434.6	10:55:59	79.9	0.9	0.5	4905514.9
104	4904152.0	11:12:38	79.3	0.9	1.0	4904231.2
105	4902846.6	11:28:49	80.5	1.0	1.5	4902926.6
106	4901559.7	11:49:04	79.3	0.9	2.4	4901637.5
105	4902846.6	12:08:31	79.3	0.8	3.5	4902923.3
104	4904149.6	12:25:24	79.3	0.8	4.5	4904225.2
104	4905438.8	12:40:44	79.0	0.8	5.6	4905513.0
102	4906740.2	12:54:57	79.0	0.7	6.7	4906813.3
101	4908049.8	13:11:30	79.0	0.7	8.1	4908121.4
100	4908659.6	13:27:33	78.4	0.7	9.6	4908729.1

Preglednica 15: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti (kvadratna funkcija)

Točka	Odčitek gravim. povprečje ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. rel. ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. abs. ( $\mu\text{Gal}$ )
100	4908729.3	0.0	980615665.7
101	4908124.1	-605.2	980615060.5
102	4906814.1	-1915.2	980613750.5
103	4905514.0	-3215.3	980612450.4
104	4904228.2	-4501.1	980611164.6

<b>105</b>	4902924.9	-5804.4	980609861.3
<b>106</b>	4901637.5	-7091.8	980608573.9

### 9.1.2.3 Kubična funkcija

Preglednica 16: Meritve in popravki (kubična funkcija)

Točka	Odčitek povprečje	Čas povprečje	PPZ ( $\mu\text{Gal}$ )	PZT ( $\mu\text{Gal}$ )	PD ( $\mu\text{Gal}$ )	Odčitek pop. ( $\mu\text{Gal}$ )
<b>100</b>	4908649.8	9:53:43	78.7	1.0	0.0	4908729.5
<b>101</b>	4908045.6	10:18:18	80.2	0.9	-0.6	4908127.3
<b>102</b>	4906734.6	10:37:58	79.6	0.9	-0.5	4906815.7
<b>103</b>	4905434.6	10:55:59	79.9	0.9	-0.1	4905515.5
<b>104</b>	4904152.0	11:12:38	79.3	0.9	0.6	4904231.6
<b>105</b>	4902846.6	11:28:49	80.5	1.0	1.4	4902926.7
<b>106</b>	4901559.7	11:49:04	79.3	0.9	2.6	4901637.3
<b>105</b>	4902846.6	12:08:31	79.3	0.8	3.9	4902922.8
<b>104</b>	4904149.6	12:25:24	79.3	0.8	5.1	4904224.6
<b>104</b>	4905438.8	12:40:44	79.0	0.8	6.2	4905512.4
<b>102</b>	4906740.2	12:54:57	79.0	0.7	7.2	4906812.8
<b>101</b>	4908049.8	13:11:30	79.0	0.7	8.2	4908121.3
<b>100</b>	4908659.6	13:27:33	78.4	0.7	9.1	4908729.6

Preglednica 17: Izračun relativnih in absolutnih vrednosti (kubična funkcija)

Točka	Odčitek gravim. povpr. ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. rel. ( $\mu\text{Gal}$ )	Grav. abs. ( $\mu\text{Gal}$ )
<b>100</b>	4908729.5	0.0	980615665.7
<b>101</b>	4908124.3	-605.2	980615060.5
<b>102</b>	4906814.2	-1915.3	980613750.4
<b>103</b>	4905514.0	-3215.6	980612450.1
<b>104</b>	4904228.1	-4501.4	980611164.3
<b>105</b>	4902924.8	-5804.8	980609860.9
<b>106</b>	4901637.3	-7092.3	980608573.4

## 9.2 Obdelava meritev v programu GravAP

### 9.2.1 Rezultati meritev z dne 30.12.2014

Preglednica 18: Preračunane absolutne vrednosti na dan, 30.12.2014 iz programa GravAP

Točka	Abs. vredn. grav. [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	Stand. dev. [ $\mu\text{m/s}^2$ ]
100	9806156.66	0.10
101	9806150.62	0.16
102	9806137.54	0.16
103	9806124.49	0.16
104	9806111.63	0.16
105	9806098.60	0.16
106	9806085.73	0.18

### 9.2.2 Rezultati meritev z dne 15.02.2015

Preglednica 19: Preračunane absolutne vrednosti na dan, 15.2.2015 iz programa GravAP

Točka	Abs. vredn. grav. [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	Stand. dev. [ $\mu\text{m/s}^2$ ]
100	9806156.66	0.10
101	9806150.59	0.16
102	9806137.49	0.16
103	9806124.48	0.16
104	9806111.62	0.16
105	9806098.58	0.16
106	9806085.71	0.18

## 9.3 Primerjava rezultatov programov Matlab in GravAP z dne 30.12.2014 in 15.2.2015

Podatke pridobljene iz obeh programov smo primerjali med seboj. Tako smo dobili razlike rezultatov in standardne deviacije le-teh. Prav tako smo računali vertikalni gradient s pomočjo višinskih razlik ter merjenih gravimetričnih vrednosti.

Naša absolutna referenčna točka je bila točka 100 z vrednostjo 980615665,7  $\mu\text{Gal}$ , na katero smo nato preračunali vse relativne meritve.

### 9.3.1 Primerjava rezultatov linearnega hoda 30.12.2014

Preglednica 20: Primerjava rezultatov linearnega hoda pridobljenih iz obeh programov na dan, 30.12.2014

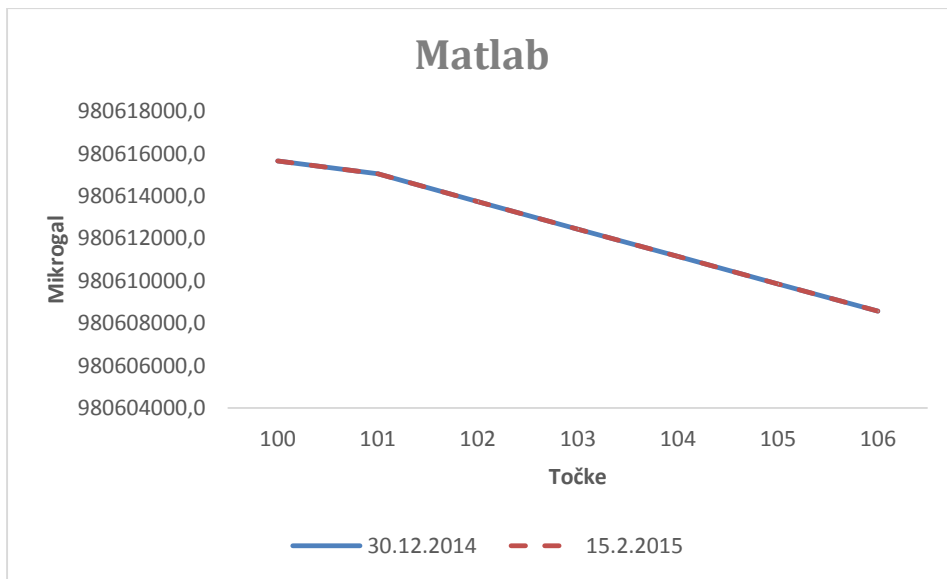
Točka	Grav. meritve Matlab [ $\mu$ Gal]	Grav. meritve GravAP (neizravnano) [ $\mu$ Gal]	Razlika Matlab - GravAP (neizravnano)	Grav. meritve GravAP (izravnano) [ $\mu$ Gal]	Razlika Matlab - GravAP (izravnano)
100	980615665,7	980615665,7	0,0	980615665,7	0,0
101	980615061,8	980615063,7	-1,9	980615062,0	-0,2
102	980613753,1	980613755,7	-2,6	980613754,0	-0,9
103	980612448,3	980612450,7	-2,4	980612449,0	-0,7
104	980611162,1	980611164,7	-2,6	980611163,0	-0,9
105	980609859,4	980609862,7	-3,3	980609860,0	-0,6
106	980608572,6	980608575,7	-3,1	980608573,0	-0,4
		<b>Std. dev.</b>	0,5		0,3

### 9.3.2 Primerjava rezultatov linearnega hoda 15.2.2015

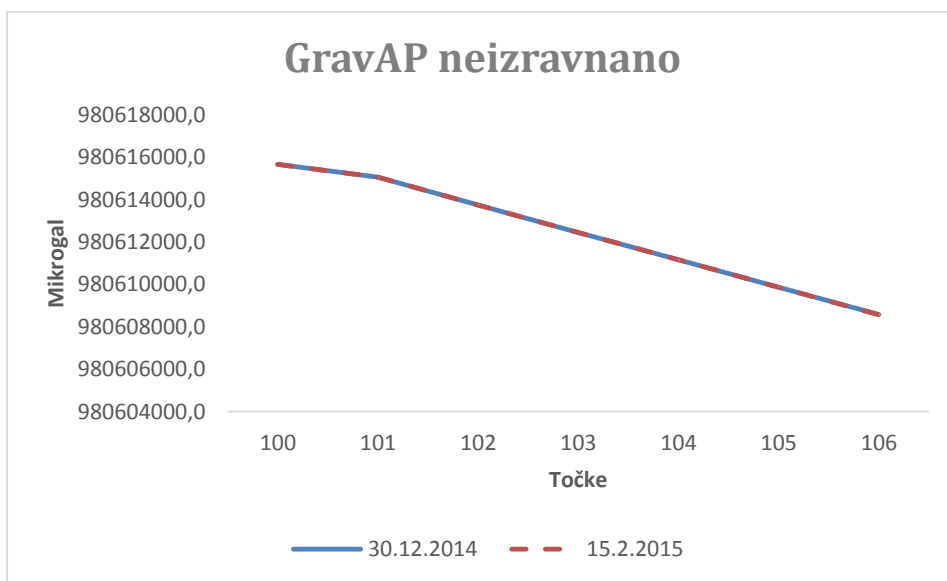
Preglednica 21: Primerjava rezultatov linearnega hoda pridobljenih iz obeh programov na dan, 15.2.2015

Točka	Grav. meritve Matlab [ $\mu$ Gal]	Grav. meritve GravAP (neizravnano) [ $\mu$ Gal]	Razlika GravAP (neizravnano) - Matlab	Grav. meritve GravAP (izravnano) [ $\mu$ Gal]	Razlika GravAP (izravnano) - Matlab
100	980615665,7	980615665,7	0,0	980615665,7	0,0
101	980615059,6	980615059,7	-0,1	980615059,0	0,6
102	980613749,0	980613749,7	-0,7	980613749,0	0,0
103	980612448,4	980612448,7	-0,3	980612448,0	0,4
104	980611162,3	980611162,7	-0,4	980611162,0	0,3
105	980609858,8	980609859,7	-0,9	980609858,0	0,8
106	980608571,3	980608571,7	-0,4	980608571,0	0,3
		<b>Std. dev.</b>	0,3		0,3

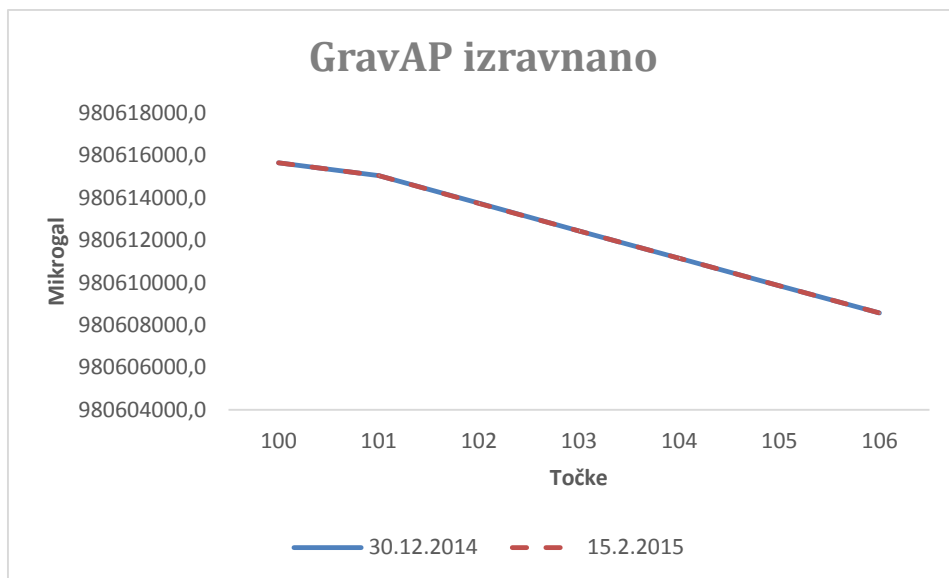
### 9.3.3 Primerjava rezultatov linearnega hoda



Grafikon 1: Primerjava rezultatov med dnevi pridobljenih iz programa Matlab



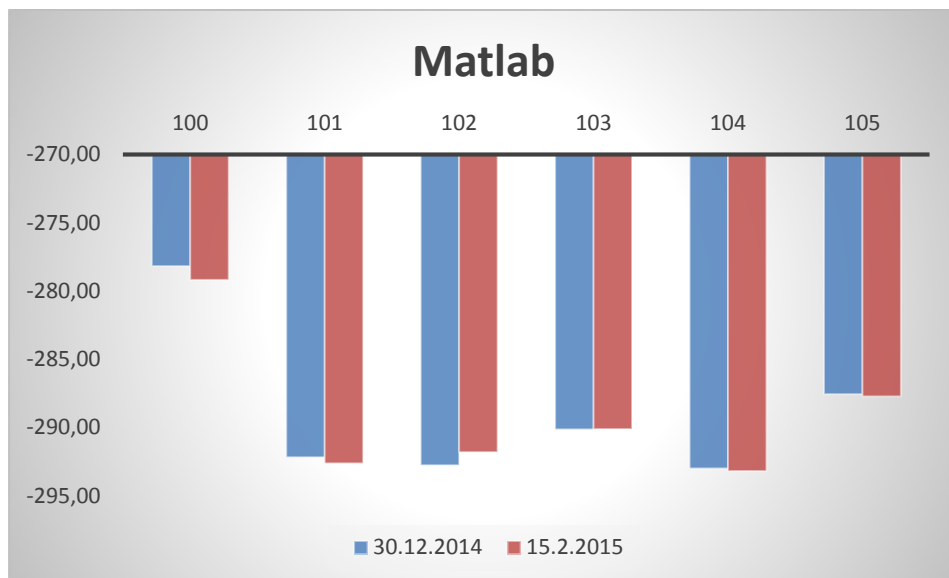
Grafikon 2: Primerjava med dnevi po rezultatih iz programa GravAP (neizravnano)



Grafikon 3: Primerjava med dnevi po rezultatih iz programa GravAP (izravnano)

Preglednica 22: Izračun vertikalnega gradienta s podatki programa Matlab

Razlike točk	$\Delta G$ 30.12.2014	$\Delta G$ 15.2.2015	$\Delta H$	Ver. grad. [ $\Delta G/\Delta H$ ] 30.12.2014	Ver. grad. [ $\Delta G/\Delta H$ ] 15.2.2015	Odstop. od povp. vredn. (30.12.2014)	Odstop. od povp. vredn. (brez 100, 30.12.2014)	Odstop. od povp. vredn. (15.2.2015)	Odstop. od povp. vredn. (brez 100, 15.2.2015)
101-100	-603,9	-606,1	2,171	-278,17	-279,18	-10,80		-9,92	
102-101	-1308,7	-1310,6	4,479	-292,19	-292,61	3,22	1,06	3,51	1,52
103-102	-1304,8	-1300,6	4,457	-292,75	-291,81	3,79	1,63	2,71	0,72
104-103	-1286,2	-1286,1	4,433	-290,14	-290,12	1,17	-0,99	1,02	-0,97
105-104	-1302,7	-1303,5	4,446	-293,00	-293,18	4,04	1,88	4,08	2,10
106-105	-1286,8	-1287,5	4,475	-287,55	-287,71	-1,41	-3,57	-1,39	-3,38
			<b>Povprečje</b>	-288,97	-289,10	<b>Std. dev.</b> 5,67	<b>Std. dev.</b> 2,29	<b>Std. dev.</b> 5,25	<b>Std. dev.</b> 2,21
			<b>Povprečje brez tč. 100</b>	-291,13	-291,09				

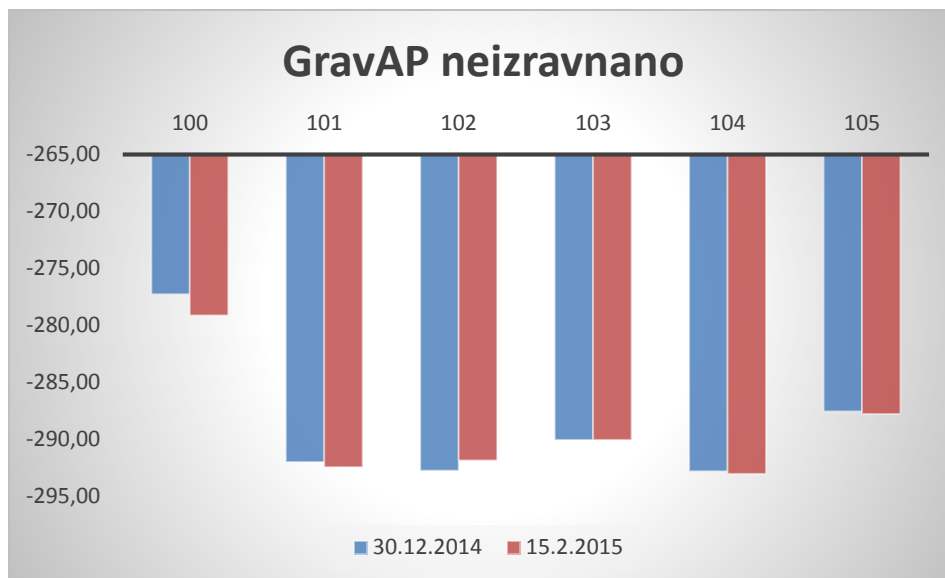


Grafikon 4: Primerjava vertikalnega gradienta z rezultati iz programa Matlab

Preglednica 23: Izračun vertikalnega gradienta s podatki programa GravAP (neizravnano)

Razlike točk	$\Delta G$ 30.12.2014	$\Delta G$ 15.2.2015	$\Delta H$	Ver. grad. [ $\Delta G/\Delta H$ ] 30.12.2014	Ver. grad. [ $\Delta G/\Delta H$ ] 15.2.2015	Odstop. od povp. vredn. (30.12.2014)	Odstop. od povp. vredn. (brez 100, 30.12.2014)	Odstop. od povp. vredn. (15.2.2015)	Odstop. od povp. vredn. (brez 100, 15.2.2015)
101-100	-602,0	-606,0	2,171	-277,29	-279,13	-11,49		-9,95	
102-101	-1308,0	-1310,0	4,479	-292,03	-292,48	3,25	0,96	3,39	1,40
103-102	-1305,0	-1301,0	4,457	-292,80	-291,90	4,02	1,72	2,82	0,83
104-103	-1286,0	-1286,0	4,433	-290,10	-290,10	1,32	-0,98	1,01	-0,98
105-104	-1302,0	-1303,0	4,446	-292,85	-293,07	4,07	1,77	3,99	2,00
106-105	-1287,0	-1288,0	4,475	-287,60	-287,82	-1,18	-3,48	-1,26	-3,25
			<b>Povprečje</b>	-288,78	-289,08	<b>Std. dev.</b> 5,97	<b>Std. dev.</b> 2,24	<b>Std. dev.</b> 5,23	<b>Std. dev.</b> 2,13
			<b>Povprečje brez tč. 100</b>	-291,07	-291,07				

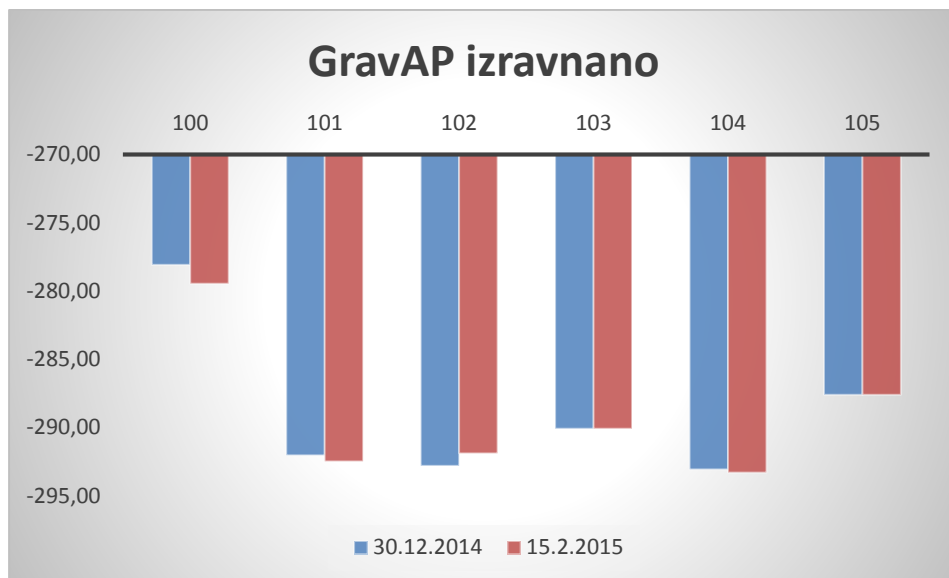




Grafikon 5: Primerjava vertikalnega gradienta z rezultati iz programa GravAP (neizravnano)

Preglednica 24: Izračun vertikalnega gradienta s podatki programa GravAP (izravnano)

Razlike točk	$\Delta G$ 30.12.2014	$\Delta G$ 15.2.2015	$\Delta H$	Ver. grad. [ $\Delta G/\Delta H$ ] 30.12.2014	Ver. grad. [ $\Delta G/\Delta H$ ] 15.2.2015	Odstop. od povp. vredn. (30.12.2014)	Odstop. od povp. vredn. (brez 100, 30.12.2014)	Odstop. od povp. vredn. (15.2.2015)	Odstop. od povp. vredn. (brez 100, 15.2.2015)
101-100	-603,7	-606,7	2,171	-278,07	-279,46	-10,87		-9,68	
102-101	-1308,0	-1310,0	4,479	-292,03	-292,48	3,08	0,91	3,34	1,40
103-102	-1305,0	-1301,0	4,457	-292,80	-291,90	3,85	1,68	2,76	0,83
104-103	-1286,0	-1286,0	4,433	-290,10	-290,10	1,15	-1,02	0,96	-0,98
105-104	-1303,0	-1304,0	4,446	-293,07	-293,30	4,13	1,95	4,16	2,22
106-105	-1287,0	-1287,0	4,475	-287,60	-287,60	-1,35	-3,52	-1,54	-3,48
			<b>Povprečje</b>	-288,94	-289,14	<b>Std. dev.</b> 5,70	<b>Std. dev.</b> 2,29	<b>Std. dev.</b> 5,16	<b>Std. dev.</b> 2,27
			<b>Povprečje brez tč. 100</b>	-291,12	-291,07				



Grafikon 6: Primerjava vertikalnega gradienta z rezultati iz programa GravAP (izravnano)

### 9.3.4 Primerjava linearnega hoda s kvadratnim z dne, 30.12.2014

Preglednica 25: Primerjava rezultatov linearnega hoda pridobljenih iz obeh programov na dan, 30.12.2014

Točka	Grav. meritve Matlab [ $\mu\text{Gal}$ ]	Grav. meritve GravAP (neizravnano) [ $\mu\text{Gal}$ ]	Razlika GravAP (neizravnano) - Matlab	Grav. meritve GravAP (izravnano) [ $\mu\text{Gal}$ ]	Razlika GravAP (izravnano) - Matlab
<b>100</b>	980615665,7	980615665,7	0,0	980615665,7	0,0
<b>101</b>	980615060,7	980615063,7	-3,0	980615062,0	-1,3
<b>102</b>	980613751,6	980613755,7	-4,1	980613754,0	-2,4
<b>103</b>	980612446,3	980612450,7	-4,4	980612449,0	-2,7
<b>104</b>	980611159,8	980611164,7	-4,9	980611163,0	-3,2
<b>105</b>	980609857,0	980609862,7	-5,7	980609860,0	-3,0
<b>106</b>	980608570,1	980608575,7	-5,6	980608573,0	-2,9
		<b>Std. dev.</b>	1,0		0,7

### 9.3.5 Primerjava linearnega hoda z kvadratnim z dne 15.2.2015

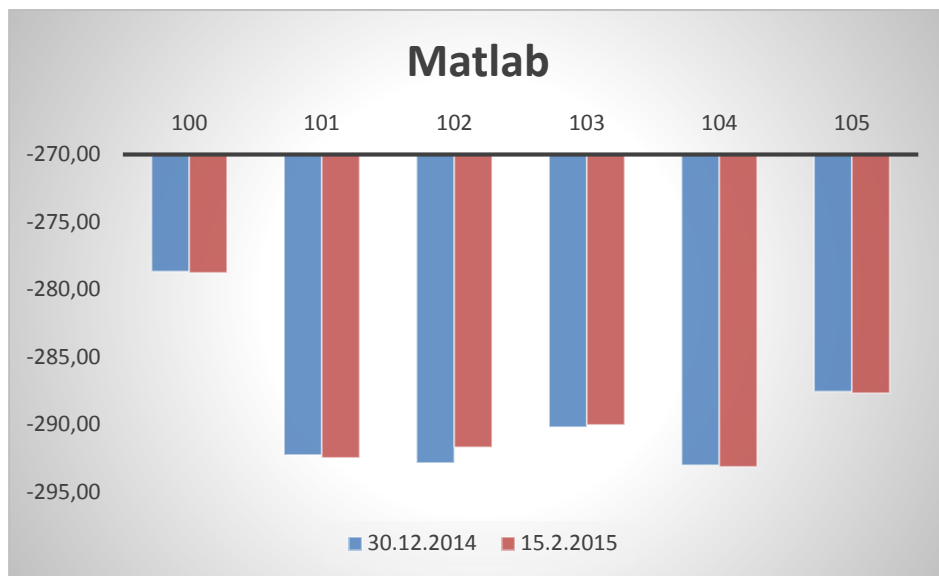
Preglednica 26: Primerjava rezultatov linearnega hoda pridobljenih iz obeh programov na dan, 15.2.2015

Točka	Grav. meritve Matlab [ $\mu$ Gal]	Grav. meritve GravAP (neizravnano) [ $\mu$ Gal]	Razlika GravAP (neizravnano) - Matlab	Grav. meritve GravAP (izravnano) [ $\mu$ Gal]	Razlika GravAP (izravnano) - Matlab
100	980615665,7	980615665,7	0,0	980615665,7	0,0
101	980615060,5	980615059,7	0,8	980615059,0	1,5
102	980613750,5	980613749,7	0,8	980613749,0	1,5
103	980612450,4	980612448,7	1,7	980612448,0	2,4
104	980611164,6	980611162,7	1,9	980611162,0	2,6
105	980609861,3	980609859,7	1,6	980609858,0	3,3
106	980608573,9	980608571,7	2,2	980608571,0	2,9
		<b>Std. dev.</b>	0,6		0,7

### 9.3.6 Izračun vertikalnega gradienta iz kvadratnega hoda iz programa Matlab

Preglednica 27: Izračun vertikalnega gradienta s podatki programa Matlab (kvadratni hod)

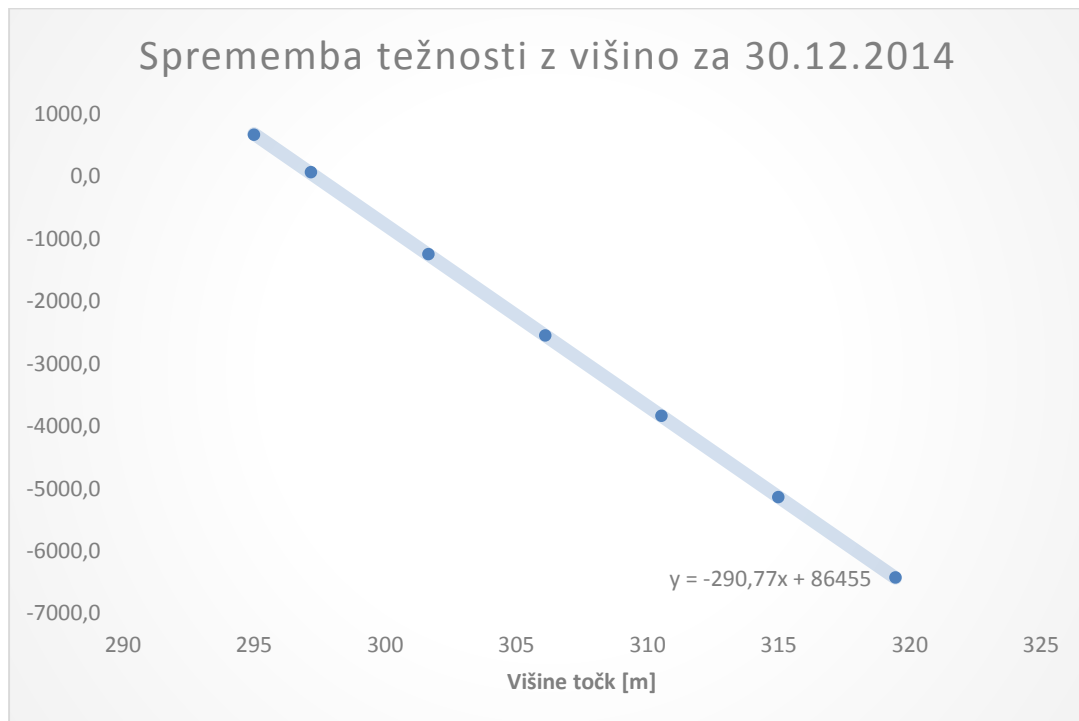
Razlike točk	$\Delta G$ 30.12.2014	$\Delta G$ 15.2.2015	$\Delta H$	Ver. grad. [ $\Delta G/\Delta H$ ] 30.12.2014	Ver. grad. [ $\Delta G/\Delta H$ ] 15.2.2015	Odstop. od povp. vredn. (30.12.2014)	Odstop. od povp. vredn. (brez 100, 30.12.2014)	Odstop. od povp. vredn. (15.2.2015)	Odstop. od povp. vredn. (brez 100, 15.2.2015)
101-100	-605,0	-605,2	2,171	-278,67	-278,77	-10,43		-10,20	
102-101	-1309,1	-1310,0	4,479	-292,28	-292,48	3,17	1,08	3,51	1,47
103-102	-1305,3	-1300,1	4,457	-292,87	-291,70	3,76	1,67	2,73	0,69
104-103	-1286,5	-1285,8	4,433	-290,21	-290,05	1,11	-0,98	1,08	-0,96
105-104	-1302,8	-1303,3	4,446	-293,03	-293,14	3,92	1,84	4,17	2,13
106-105	-1286,9	-1287,4	4,475	-287,58	-287,69	-1,53	-3,62	-1,28	-3,32
			<b>Povprečje</b>	-289,10	-288,97	<b>Std. dev.</b> 5,51	<b>Std. dev.</b> 2,31	<b>Std. dev.</b> 5,37	<b>Std. dev.</b> 2,19
			<b>Povprečje brez tč. 100</b>	-291,19	-291,01				



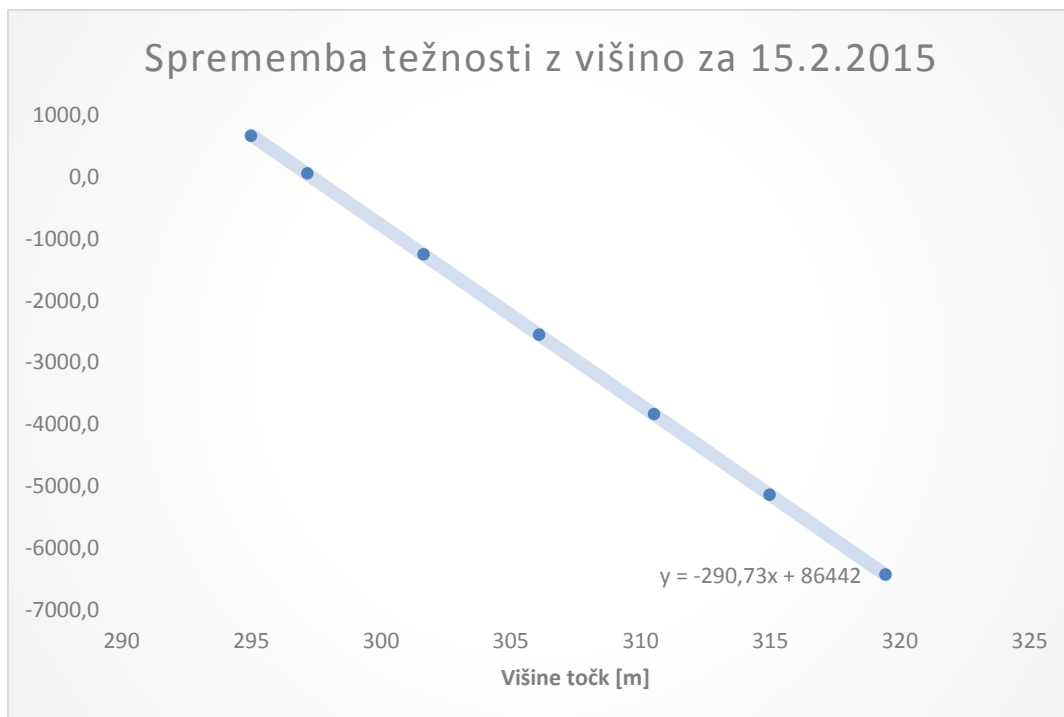
Grafikon 7: Primerjava vertikalnega gradienta z rezultati iz programa Matlab

#### 9.4 Sprememba težnosti med etažami

V tem delu smo predstavili spremembo težnosti z višino od začetne točke 100 do končne točke 106, na terasi stavbe FGG. V grafikonih 8 in 9 so podani rezultati izračuna.



Grafikon 8: Sprememba težnosti z višino na dan, 30.12.2014



Grafikon 9: Sprememba težnosti z višino na dan, 15.2.2015

Vidimo, da je sprememba težnosti linearna, zato smo tudi izračunali linearni trend. Vrednosti za oba dneva sta skoraj identična in, sicer  $-290,767459$  za prvi dan in  $-290,7302489$  za drugi dan. Koeficient korelacije izračuna za oba dneva je  $R^2$  je skoraj enak 1 (prvi dan  $R^2 = 0,99999$ , drugi dan  $R^2 = 0,99999$ ). Naklon premice nam poda tudi povprečni vertikalni gradient za višinsko razliko med kletjo in streho stavbe.

Preglednica 28: Sprememba težnosti z višino

Točka	H [m]	30.12.2014 [µGal]	15.2.2015 [µGal]
100	294,995	665,7	665,7
101	297,166	61,8	59,6
102	301,645	-1246,9	-1251,0
103	306,102	-2551,7	-2551,6
104	310,535	-3837,9	-3837,7
105	314,981	-5140,6	-5141,2
106	319,456	-6427,4	-6428,7

S temi izračuni smo potrdili našo začetno hipotezo in sicer, da je sprememba težnosti z višino linearna.

S tem je tudi sprememba težnosti v stavbi FGG linearna.

Rezultati so skladni z izračunanim vertikalnim gradientom med nadstropji (glej grafikone 1-3, preglednica 20-27). Odstopa samo gradient izračunan med točkama 100 in 101, saj je tu višinska razlika drugačna od ostalih.

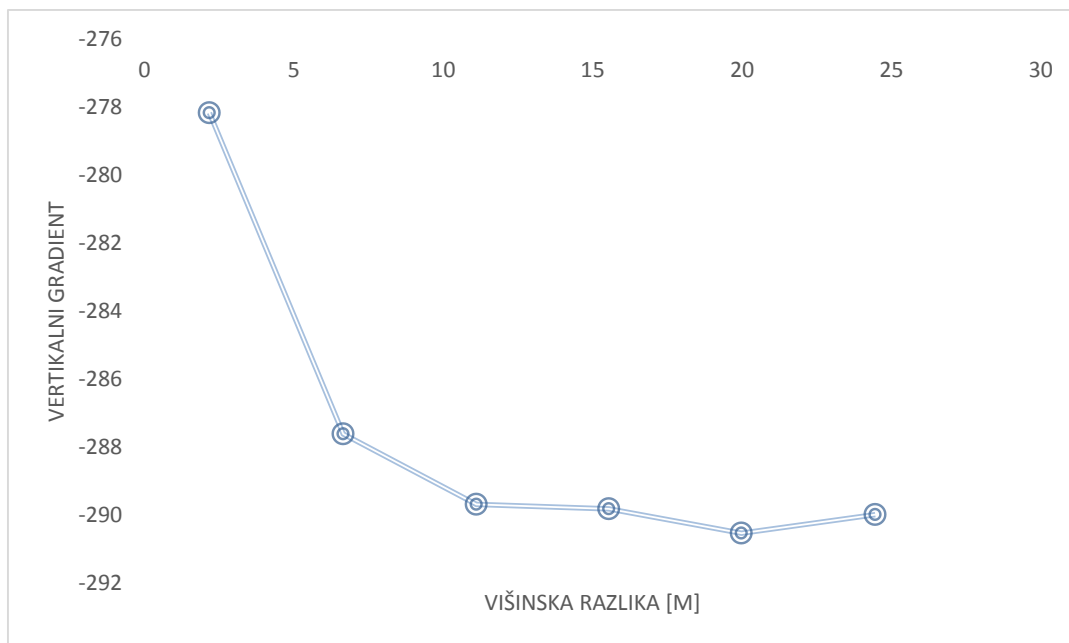
## 9.5 Sprememba gradienta z višino

Preglednica 29: Absolutni težnostni pospešek na točkah

Točka	H [m]	30.12.2014 [ $\mu$ Gal]	15.2.2015 [ $\mu$ Gal]
100	294,995	980615665,7	980615665,7
101	297,166	980615061,8	980615059,6
102	301,645	980613753,1	980613749,0
103	306,102	980612448,3	980612448,4
104	310,535	980611162,1	980611162,3
105	314,981	980609859,4	980609858,8
106	319,456	980608572,6	980608571,3

Preglednica 30: Sprememba vertikalnega gradienta z naraščanjem višine

Točka	Višinska razlika od začetke točke 100	Relativna razlika g (30.12.2014)	Relativni gradient (30.12.2014)	Relativna razlika g (15.2.2015)	Relativni gradient (15.2.2015)	Razlika vertikalnih gradientov
101	2,171	-603,9	-278,17	-606,1	-279,18	-1,01
102	6,65	-1912,6	-287,61	-1916,7	-288,23	-0,62
103	11,107	-3217,4	-289,67	-3217,3	-289,66	0,01
104	15,54	-4503,6	-289,81	-4503,4	-289,79	0,01
105	19,986	-5806,3	-290,52	-5806,9	-290,55	-0,03
106	24,461	-7093,1	-289,98	-7094,4	-290,03	-0,05
					<b>Std. dev.</b>	0,43



Grafikon 10: Sprememba vertikalnega gradienta z višino

Iz grafikona je razvidna sprememba gradienta z naraščajočo višino. Med točkama 100 in 101 je razlika največja, saj se tudi višinska razlika med njima najbolj razlikuje (2.171m), medtem ko je med ostalimi približno konstantna višinska razlika (približno 4,4m).

Prav tako točka 100 ni na isti vertikali kot so ostale točke. Do tega je prišlo, ker smo merili na drugem stopnišču, bolj oddaljenem od točke 100. Na tem stopnišču pa smo merili zato, ker je bilo bolj dostopno, z manj motečimi faktorji (pešci), kar pomeni da je tudi bolj stabilno. Tako smo na izbranem stopnišču tudi lažje napeli merski trak za geometrični nivelman.

## 9.6 Vertikalni gradient normalne težnosti

Ena izmed začetnih hipotez je bila tudi izračun vertikalnega gradienta normalne težnosti in primerjava le-tega z vertikalnim gradientom dejanske težnosti.

Vrednosti normalne težnosti vertikalnega gradienta smo poračunali s pomočjo enačbe (Somiglianna, 1929) (Torge, 2001):

$$\gamma_0 = \frac{a\gamma_a \cos^2 \varphi + b\gamma_b \sin^2 \varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} \quad (9.1)$$

Upoštevajoč zgornjo enačbo, lahko napišemo še en izraz za določitev vrednosti normalnega težnega pospeška na elipsoidu v odvisnosti od geodetske širine:

$$\gamma_0(\varphi) = \gamma_a \left( 1 + f^* \sin^2 \varphi - \frac{1}{4} f_4 \sin^2 2\varphi \right), \quad f_4 = \frac{1}{2} f^2 + \frac{5}{2} fm \quad (9.2)$$

pri čemer so:

- $f$         geometrična sploščenost elipsoida,
- $f^*$         težnostna sploščenost,
- $m$         pomožna okrajšava

Kočno dobimo vrednosti normalne težnosti na elipsoidni višini  $h$  (z upoštevanjem odvodov druge stopnje):

$$\gamma(\varphi, h) = \gamma_0 \left( 1 - \frac{2}{a} (1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi) h + \frac{3}{a^2} h^2 \right) \quad (9.3)$$

Na podlagi enačbe (9.2) je za izračun normalne težnosti na Geodetskem referenčnem sistemu 1980 (GRS 1980) podan izraz:

$$\gamma_0 = 9,780327 (1 + 0,0053024 \sin^2 \varphi - 0,0000058 \sin^2 2\varphi) \text{ ms}^{-2} \quad (9.4)$$



Prejšnji izraz nam poda vrednost normalne težnosti z natančnostjo  $1 \mu\text{ms}^{-2} = 0,1 \text{ mgal}$ . Povprečna vrednost težnosti v sistemu GRS 80 znaša:  $\gamma_{\text{pov}} = 9,797\ 645 \text{ ms}^{-2}$ . Vrednost normalne težnosti na elipsoidni višini v sistemu GRS 1980 se glasi (enačba 9.3) (Torge, 2001):

$$\gamma(\varphi, h) = \gamma_0 - 0,30877 \times 10^{-6}(1 - 0,00142 \times \sin^2 \varphi)h + 0,75 \times 10^{-12}h^2\text{ms}^{-2} \quad (9.5)$$

Preglednica 31: Primerjava vertikalnega gradienta normalne težnosti z vertikalnim gradientom dejanske težnosti

Razlike točk	$\Delta H$ [m]	Ver. grad. [ΔG/ΔH] 30.12.2014	Ver. grad. [ΔG/ΔH] 15.2.2015	Ver. grad. normalne težnosti [ΔG/ΔH]	Razlika normalne težnosti od dejanske (30.12.2014)	Razlika normalne težnosti od dejanske (15.2.2015)
101-100	2,171	-278,17	-279,18	-307,592	29,4218	28,4118
102-101	4,479	-292,19	-292,61	-307,592	15,4015	14,9815
103-102	4,457	-292,75	-291,81	-307,591	14,8412	15,7812
104-103	4,433	-290,14	-290,12	-307,591	17,4508	17,4708
105-104	4,446	-293	-293,18	-307,591	14,5905	14,4105
106-105	4,475	-287,55	-287,71	-307,59	20,0402	19,8802
	<b>Povprečje</b>	-288,97	-289,1	-307,591	18,621	18,491
	<b>Povprečje brez tč. 100</b>	-291,13	-291,09			

Iz tabele je razvidno, da se vertikalni gradient dejanske in normalne težnosti razlikujeta, s čimer smo zadostili tudi naši prvi hipotezi, kjer predpostavljamo, da se vertikalna gradienta razlikujeta med seboj.

## 10 ZAKLJUČEK

Diplomska naloga služi predstavitvi in postopku izračuna vertikalnega gradienta težnosti. Predstavili smo teoretični del meritev in uporabe merske opreme ter računalniškega programja potrebnega za izračun in obdelavo meritev. Zanimalo nas je tudi, kako se obnaša vertikalni gradient težnosti v masivni betonski stavbi.

Za naše meritve smo si izposodili relativni gravimeter Scintrex CG-3M, s katerim smo merili na 7 točkah v 7 nadstropjih v stavbi FGG. Za obdelavo podatkov smo uporabili dva programa in sicer program GravAP ter program spisan v okolju Matlab. Z njima smo pridobili rezultate kot so absolutne in relativne vrednosti težnega pospeška na točkah, povprečne vrednosti, vrednosti popravkov in druge.

Za vhodne podatke je bilo potrebno vnesti tudi nadmorske višine stojiščnih točk. Te višine smo pridobili z geometričnim nivelmanom.

Iz tabel vidimo, da se ne pojavljajo nikakršne posebnosti oz. nepričakovani dogodki. Rezultati hodov instrumenta za posamezne dneve se razlikujejo minimalno. Prav tako ni velikih odstopanj pri izračunih vertikalnega gradienta. Največja razlika je prav med točko 100 v kleti, ki je tudi naša referenčna ter točko 101 v pritličju. Do tega pride ker je med njima manjša višinska razlika kot med ostalimi. Prav tako, točka 100 ni na istem vertikalnu kot ostale točke. Prav zato smo v tabelah računali obe opciji, z vključeno točko 100 in brez nje.

Ena izmed začetnih hipotez je bila tudi, da dokažemo da je sprememba vertikalnega gradienta z višino linearna. Za oba dneva smo poračunali spremembo težnosti z višino (vertikalni gradient) in njegovo odvisnost od višine. Rezultati so razvidni iz grafikonov 8, 9 in 10. V grafikonih 8 in 9 se razločno vidi, da hipoteza drži in je sprememba težnosti z višino linearna. V grafikonu 10 pa vidimo, da so vertikalni gradienti med točkami z približno enako višinsko razliko tudi približno enaki. Izjema je le prva višinska razlika (med točkama 100 in 101), kjer je vrednost gradienta drugačna. Do tega je prišlo zaradi manjše višinske razlike, pa tudi zaradi različne okolice točk (točka 100 se nahaja v kleti, medtem ko se točka 101 nahaja v avli stavbe).

Druga začetna hipoteza pa pravi, da se vertikalni gradient normalne težnosti razlikuje od vertikalnega gradienta dejanske težnosti. S pomočjo izraza Somiglianna za izračun normalne težnosti, smo izračunali koliko znaša normalna težnost za našo geografsko širino na naših nadmorskih višinah. Iz tega smo nato izračunali vertikalni gradient normalne težnosti in tako dobili, da se rezultati razlikujejo od vertikalnega gradienta dejanske težnosti, s čimer lahko potrdimo našo drugo začetno hipotezo.

## VIRI

CG–3/3M Autograv, Avtomated gravity meter, Operator manual.

<http://scintrexltd.com/downloads/CG3.pdf> (Pridobljeno 16. 8. 2015)

Hećimović, Ž., Markovinović, D. 2003b. Kalibracija relativnih Scintrex CG-3M gravimetara HGI-1 i HGI-2. Geodetski list 3: 161-166.

Kladnik, R. 1974. Osnove fizike. Ljubljana, Državna založba Slovenije: str. 56-59.

Kuhar, M. 2007. Geofizika: Študijski pripomoček. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: str. 70-71.

Kuhar, M. 2011. Fizikalna geodezija: Študijski pripomoček. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: str. 122.

Lisec, A. 2002. Relativna Gravimetrična izmera in relativni gravimeter SCINTREX CG-3M. Geodetski vestnik 46, 4: 391-403.

Medved, K. 2001. Gravimetrične meritve za potrebe določitve geopotencialnih kot EUVN točk. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, (samozaložba K. Medved): 90 str.

Medved, K. 2008. Osnovna gravimetrična mreža Republike Slovenije. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo (samozaložba K. Medved): 120 str.

Schüler, T. 2000. Introduction to Gravimetry: Conducting and Processing Relative Gravity Surveys: A Brief Tutorial. Munich. Institute of Geodesy and Navigation, University FAF Munich

<http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Zalozba/RelGravTutorial.pdf> (Pridobljeno 16.8.2015)

Seigel, H.O. 1995. SCINTREX CG-3/3M Gravity Meter: Operator manual. Canada.

Seigel, H.O. 1995. A guide to high precision land gravimeter surveys.

<http://scintrexltd.com/downloads/GRAVGUID.pdf> (Pridobljeno 18.8.2015)

Torge, W. 1989. Gravimetry. Berlin, New York, W. de Gruyter: 465 str.

Torge, W. 2001. Geodesy. Berlin, New York, W. de Gruyter: 416 str.

Urek, D. 2005. Avtomatska obdelava in analiza testnih meritev z relativnim gravimetrom SCINTREX CG-3M. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, (samozaložba D. Urek): 106 str.

## **PRILOGE**

PRILOGA A: ZAPISNIK GRAVIMETRIČNIH MERITEV ZA DAN 30.12.2014

PRILOGA B: ZAPISNIK GRAVIMETRIČNIH MERITEV ZA DAN 15.2.2015

PRILOGA C: MERJENJE VIŠINSKIH RAZLIK MED TOČKAMI

PRILOGA D: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA GRAVAP ZA DAN 30.12.2014

PRILOGA E: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA GRAVAP ZA DAN 15.2.2015

PRILOGA F: REZULTATI LINEARNEGA HODA ZA DAN 30.12.2014

PRILOGA G: REZULTATI KVADRATNEGA HODA ZA DAN 30.12.2014

PRILOGA H: REZULTATI KUBIČNEGA HODA ZA DAN 30.12.2014

PRILOGA I: REZULTATI LINEARNEGA HODA ZA DAN 15.2.2015

PRILOGA J: REZULTATI KVADRATNEGA HODA ZA DAN 15.2.2015

PRILOGA K: REZULTATI KUBIČNEGA HODA ZA DAN 15.2.2015

PRILOGA A: ZAPISNIK GRAVIMETRIČNIH MERITEV ZA DAN 30.12.2014

ZAPISNIK GRAVIMETRIČNIH MERITEV

stran 1/2

Projekt: <u>V. GRADIENT V FGG</u>	Datum: <u>30.12.2014</u>	
Opazovalec: <u>KROVIH</u>	Št. opazovalca:	
Gravimeter SCINTREX CG-3M	S. N. gravimetra:	
Mode: FLD. GRAV <u>KCYCLING</u>		
READ TIME: <u>60</u>	CAL. AFTER: <u>12</u>	CYCLE TIME: <u>70</u>
Nr. of cycles: <u>5</u>	Seismic Filter: <u>DA</u> <u>NE</u>	Continous tilt corr.: <u>DA</u> <u>NE</u>
Auto reject: <u>DA</u> <u>NE</u>	Tide correction: <u>DA</u> <u>NE</u>	Auto repeat: <u>DA</u> <u>NE</u>
Auto record: <u>DA</u> <u>NE</u>	UTC(GMT) - krajevni čas: <u>0</u>	
Tlak zraka merjen z: <u>HM30 GURS NOV1</u>		Temperatura zraka merjena z:

Zap. štev.	Točka	Višina instr. [mm] + nad - pod	start / stop			$\phi$ [°]	$\lambda$ [°]	Odčitek na gravimetru [mGal]	Tlak [mbar]	Temp. [°C]
			h	m	s					
1.	100	461	11	05	30	46,05	14,50	<del>4920,880</del> 4920,882	994,9	21,3
2.	101	461						<del>4910,282</del>	994,0	21,2
3.	102	461	12	03	11			<del>4898,981</del>	993,5	21,2
4.	103	461	12	10	00			<del>4897,681</del>	992,5	22
5.	104	460	12	45	09			<del>4896,394</del>	991,8	22,3
6.	105	462	13	02	16			<del>4895,094</del>	990,9	22,1

Zap. št. č.	Točka	Višina instr. [mm] + nad - pod	start / stop			$\phi$ [°]	$\lambda$ [°]	Očitek na gravimetru [mGal]	Tlak [mbar]	Temp. [°C]
			h	m	s					
7.	106 strecha	461	13	19	21		4893,811	990,1	21,4	
8.	106 strecha	461	13	26	47		4893,809	990,0	20,5	
9.	105	460	13	43	26		4895,103	990,5	20,7	
10.	104	454	13	59	43		4896,416	990,8	21,4	
11.	103	454	14	15	30		4897,698	991,1	21,8	
12.	102	454	14	32	40		4899,008	991,7	21,5	
13.	101	454	14	49	28		4900,320	992,2	21,6	
14.	100	457	15	10	39		4900,924	992,5	21,2	

PRILOGA B: ZAPISNIK GRAVIMETRIČNIH MERITEV ZA DAN 15.2.2015

ZAPISNIK GRAVIMETRIČNIH MERITEV

stran 1/2

Projekt: V. GRADIENT V FGG		Datum: 15.2.2015	
Opazovalec: KREVIH		Št. opazovalca:	
Gravimeter SCINTREX CG-3M		S. N. gravimetra:	Mode: FLD. GRAV / CYCLING
READ TIME: 60	CAL. AFTER: 12	CYCLE TIME: 70	
Nr. of cycles: 5	Seismic Filter: (DA) NE	Continuous tilt corr.: (DA) NE	
Auto reject: (DA) NE	Tide correction: (DA) NE	Auto repeat: DA (NE)	
Auto record: (DA) NE	UTC(GMT) - krajevni čas: 0		
Tlak zraka merjen z: HM 30 GURS NOVI		Temperatura zraka merjena z:	

Zap. št.	Točka	Višina instr. [mm] + nad - pod	start / stop			φ [°]	λ [°]	Odklon na gravimetru [mGal]	Tlak [mbar]	Temp [°C]
			h	m	s					
1.	100	456				46,05	14,58	4904,615	981,5	22
					4902,650					
2.	101	461	10	20				4908,050	981,1	20,6
3.	102	459	10	40				4906,733	980,7	22,2
4.	103	460	10	58				4905,431	980,1	23,4
5.	104	458	11	15				4904,150	979,5	23,7
6.	105	462	11	31				4902,840	979,2	22,6

or. bar. s. merjen  
čas uca 5:55

Zap. štev.	Točka	Višina instr. [mm] + nad - pod	start / stop			$\phi$ [°]	$\lambda$ [°]	Očitek na gravimetru [mGal]	Tlak [mbar]	Temp [°C]
			h	m	s					
7.	106 STREPA	458	11	47			4901,567	978,5	20,7	
8.	106	458	11	55			4901,536	978,5	20,9	
9.	105	458	12	10			4902,844	978,8	22,0	
10.	104	458	12	27			4904,148	979,3	23,1	
11.	103	457	12	43			4905,436	979,8	24,3	
12.	102	457	12	57			4906,739	980,0	23,7	
13.	101	457	13	13			4908,049	980,5	22,7	
14.	100	455	13	29			4908,663	980,7	22,0	







**PRILOGA D: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA GRAVAP ZA DAN 30.12.2014**

**Single-Session                      Gravimetric                      Network                      Adjustment**

GravAP

---

Session: FGG 1. dan

Gravimeter: Scintrex CG-3M No. 10241

---

**List of Unknown Parameters**

Gravity meter's absolute offset: 1

Gravity meter's scaling factor: not estimated

Compensation of gravimeter drift: polynomial of order 1

Network stations to be adjusted: 7

Number	Station ID
1	100
2	101
3	102
4	103
5	104
6	105
7	106

---

**List of Observations**

Absolute gravity values: 1

Station ID	$g$ [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	$\sigma_g$ [ $\mu\text{m/s}^2$ ]
100	9806156.66	0.10

Relative gravity measurements: 13

Station ID	$g$ [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	$\sigma_g$ [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	$\delta g_{\text{corr}}$ [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	Time [h]
100	49009.68	0.12	0.00	11.05
101	49003.70	0.12	0.00	11.71

102	48990.67	0.12	0.00	12.01
103	48977.65	0.12	0.00	12.36
104	48964.77	0.12	0.00	12.71
105	48951.82	0.12	0.00	13.00
106	48938.98	0.12	0.00	13.34
105	48951.88	0.12	0.00	13.68
104	48964.97	0.12	0.00	13.96
103	48977.81	0.12	0.00	14.22
102	48990.88	0.12	0.00	14.50
101	49004.01	0.12	0.00	14.78
100	49010.08	0.12	0.00	15.14

---

## Results of Adjustment


Number of iterations: 2

Number of observations: 14

Number of parameters: 9

Degrees of freedom: 5


*Standard deviation of unit weight:*

Standard deviation à priori: 0.12  $\mu\text{m}/\text{s}^2$  

Standard deviation à posteriori: 0.03  $\mu\text{m}/\text{s}^2$

lowest level of confidence interval: 0.02  $\mu\text{m}/\text{s}^2$

highest level of confidence interval: 0.06  $\mu\text{m}/\text{s}^2$


 : Agreement of standard deviations à priori versus à posteriori is suspicious!

---

## Adjusted Parameters

Absolute offset:  $\Delta g = 9757146.98 \pm 0.14 \mu\text{m}/\text{s}^2$

Drift compensation:  $d_1 = -0.0983 \pm 0.0276 \mu\text{m}/\text{s}^2/\text{h}$

 : Parameter is not considered to be significant.

Adjusted points:

Station ID	g [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	$\sigma_g$ [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	Diagram
100	9806156.66	0.10	
101	9806150.62	0.16	
102	9806137.54	0.16	
103	9806124.49	0.16	
104	9806111.63	0.16	
105	9806098.60	0.16	
106	9806085.73	0.18	

### Adjusted Observations

Number	$L_{\text{adjusted}} \pm \sigma_L$ [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	v [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	Diagram	r		$\nabla_{\text{Obs}} \pm \sigma_{\nabla}$ [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	
<u>1</u>	9806156.66 $\pm$ 0.10	-0.00		0.00	↓	0.00 $\pm$ 99.99	■
<u>2</u>	49009.68 $\pm$ 0.10	-0.00		0.28	○	0.00 $\pm$ 0.23	■
<u>3</u>	49003.71 $\pm$ 0.09	0.00		0.37	○	-0.01 $\pm$ 0.20	■
<u>4</u>	48990.65 $\pm$ 0.09	-0.01		0.42	○	0.03 $\pm$ 0.19	■
<u>5</u>	48977.64 $\pm$ 0.09	-0.01		0.45	○	0.02 $\pm$ 0.18	■
<u>6</u>	48964.81 $\pm$ 0.09	0.04		0.48	○	-0.08 $\pm$ 0.17	■
<u>7</u>	48951.81 $\pm$ 0.09	-0.00		0.49	○	0.01 $\pm$ 0.17	■
<u>8</u>	48938.98 $\pm$ 0.12	0.00		0.00	↓	0.00 $\pm$ 99.99	■
<u>9</u>	48951.88 $\pm$ 0.09	0.00		0.49	○	-0.01 $\pm$ 0.17	■
<u>10</u>	48964.93 $\pm$ 0.09	-0.04		0.48	○	0.08 $\pm$ 0.17	■
<u>11</u>	48977.82 $\pm$ 0.09	0.01		0.45	○	-0.02 $\pm$ 0.18	■
<u>12</u>	48990.90 $\pm$ 0.09	0.01		0.42	○	-0.03 $\pm$ 0.19	■
<u>13</u>	49004.01 $\pm$ 0.09	-0.00		0.37	○	0.01 $\pm$ 0.20	■
<u>14</u>	49010.08 $\pm$ 0.10	0.00		0.28	○	-0.00 $\pm$ 0.23	■

(L: observation;  $\sigma$ : standard deviation; v: residual; r: redundancy;  $\nabla$ : outlier)

- ↓ observation is poorly controlled; redundancy is below 0.25
- ↑ observation is well-controlled; redundancy is above 0.75
- observation is moderately controlled; redundancy is between 0.25 and 0.75
- no blunder seems to be linked to this observation
- 🔴 this observation has been identified as an outlier

## PRILOGA E: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA GRAVAP ZA DAN 15.2.2015

**Single-Session**                      **Gravimetric**                      **Network**                      **Adjustment**

GravAP

---

Session: FGG 2. dan

Gravimeter: Scintrex CG-3M No. 10241

---

### List of Unknown Parameters

Gravity meter's absolute offset: 1

Gravity meter's scaling factor: not estimated

Compensation of gravimeter drift: polynomial of order 1

Network stations to be adjusted: 7

Number	Station ID
1	100
2	101
3	102
4	103
5	104
6	105
7	106

---

### List of Observations

Absolute gravity values: 1

Station ID	$g$ [ $\mu\text{m}/\text{s}^2$ ]	$\sigma_g$ [ $\mu\text{m}/\text{s}^2$ ]
100	9806156.66	0.10

Relative gravity measurements: 13

Station ID	$g$ [ $\mu\text{m}/\text{s}^2$ ]	$\sigma_g$ [ $\mu\text{m}/\text{s}^2$ ]	$\delta g_{\text{corr}}$ [ $\mu\text{m}/\text{s}^2$ ]	Time [h]
100	49087.29	0.12	0.00	9.90
101	49081.26	0.12	0.00	10.31

102	49068.15	0.12	0.00	10.63
103	49055.15	0.12	0.00	10.93
104	49042.32	0.12	0.00	11.21
105	49029.28	0.12	0.00	11.48
106	49016.40	0.12	0.00	11.82
105	49029.27	0.12	0.00	12.14
104	49042.30	0.12	0.00	12.42
103	49055.19	0.12	0.00	12.68
102	49068.20	0.12	0.00	12.92
101	49081.30	0.12	0.00	13.19
100	49087.39	0.12	0.00	13.46

---

## Results of Adjustment


Number of iterations: 2

Number of observations: 14

Number of parameters: 9

Degrees of freedom: 5


*Standard deviation of unit weight:*

Standard deviation à priori: 0.12  $\mu\text{m/s}^2$  

Standard deviation à posteriori: 0.02  $\mu\text{m/s}^2$

lowest level of confidence interval: 0.01  $\mu\text{m/s}^2$

highest level of confidence interval: 0.05  $\mu\text{m/s}^2$


 : Agreement of standard deviations à priori versus à posteriori is suspicious!

---

## Adjusted Parameters

Absolute offset:  $\Delta g = 9757069.35 \pm 0.14 \mu\text{m/s}^2$

Drift compensation:  $d_1 = -0.0198 \pm 0.0304 \mu\text{m/s}^2/\text{h}$  

 : Parameter is not considered to be significant.

Adjusted points:

Station ID	g [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	$\sigma_g$ [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	Diagram
100	9806156.66	0.10	
101	9806150.59	0.16	
102	9806137.49	0.16	
103	9806124.48	0.16	
104	9806111.62	0.16	
105	9806098.58	0.16	
106	9806085.71	0.18	

### Adjusted Observations

Number	$L_{\text{adjusted}} \pm \sigma_L$ [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	v [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	Diagram	r	$\nabla_{\text{Obs}} \pm \sigma_{\nabla}$ [ $\mu\text{m/s}^2$ ]	
<u>1</u>	9806156.66 $\pm$ 0.10	-0.00		0.00	$\downarrow$ 0.00 $\pm$ 99.99	■
<u>2</u>	49087.31 $\pm$ 0.10	0.02		0.30	$\circ$ -0.05 $\pm$ 0.22	■
<u>3</u>	49081.25 $\pm$ 0.10	-0.01		0.37	$\circ$ 0.03 $\pm$ 0.20	■
<u>4</u>	49068.15 $\pm$ 0.09	0.00		0.42	$\circ$ -0.01 $\pm$ 0.19	■
<u>5</u>	49055.15 $\pm$ 0.09	0.00		0.45	$\circ$ -0.00 $\pm$ 0.18	■
<u>6</u>	49042.30 $\pm$ 0.09	-0.02		0.48	$\circ$ 0.05 $\pm$ 0.17	■
<u>7</u>	49029.27 $\pm$ 0.09	-0.01		0.49	$\circ$ 0.02 $\pm$ 0.17	■
<u>8</u>	49016.40 $\pm$ 0.12	-0.00		0.00	$\downarrow$ 0.00 $\pm$ 99.99	■
<u>9</u>	49029.28 $\pm$ 0.09	0.01		0.49	$\circ$ -0.02 $\pm$ 0.17	■
<u>10</u>	49042.32 $\pm$ 0.09	0.02		0.48	$\circ$ -0.05 $\pm$ 0.17	■
<u>11</u>	49055.19 $\pm$ 0.09	-0.00		0.45	$\circ$ 0.00 $\pm$ 0.18	■
<u>12</u>	49068.20 $\pm$ 0.09	-0.00		0.42	$\circ$ 0.01 $\pm$ 0.19	■
<u>13</u>	49081.31 $\pm$ 0.10	0.01		0.37	$\circ$ -0.03 $\pm$ 0.20	■
<u>14</u>	49087.38 $\pm$ 0.10	-0.02		0.30	$\circ$ 0.05 $\pm$ 0.22	■

(L: observation;  $\sigma$ : standard deviation; v: residual; r: redundancy;  $\nabla$ : outlier)



- ↓ observation is poorly controlled; redundancy is below 0.25
- ↑ observation is well-controlled; redundancy is above 0.75
- observation is moderately controlled; redundancy is between 0.25 and 0.75
- no blunder seems to be linked to this observation
- 🔴 this observation has been identified as an outlier

**PRILOGA F: REZULTATI LINEARNEGA HODA ZA DAN 30.12.2014**

IZRACUN GRAVITACIJSKIH POSPEKOV

-----

1. tabela - MERITVE in POPRAVKI:

TOCKA	GRAV. (mikroGal)	GRAV.POV. (mikroGal)	CAS (h:m:s)	CAS POV. (h:m:s)	PPZ (mikroGal)	PZT (mikroGal)	PD (mikroGal)	GRAV.POV. (mikroGal)
100	4900882.0		11:00:42					
100	4900884.0		11:01:54					
100	4900880.0		11:03:06					
100	4900879.0		11:04:18					
100	4900882.0	4900881.4	11:05:30	11:03:06	80.2	5.0	0.0	4900966.6
101	4900286.0		11:39:60					
101	4900282.0		11:41:12					
101	4900286.0		11:42:24					
101	4900283.0		11:43:36					
101	4900282.0	4900283.8	11:44:48	11:42:24	80.2	4.8	7.2	4900361.6
102	4898978.0		11:58:23					

102	4898983.0		11:59:35					
102	4898977.0		12:00:47					
102	4898982.0		12:01:59					
102	4898981.0	4898980.2	12:03:11	12:00:47	80.2	4.8	10.6	4899054.7
.....								
103	4897680.0		12:19:01					
103	4897674.0		12:20:13					
103	4897679.0		12:21:25					
103	4897679.0		12:22:37					
103	4897681.0	4897678.6	12:23:49	12:21:25	80.2	4.6	14.3	4897749.1
.....								
104	4896392.0		12:40:21					
104	4896392.0		12:41:33					
104	4896391.0		12:42:45					
104	4896390.0		12:43:57					
104	4896394.0	4896391.8	12:45:09	12:42:45	79.9	4.6	18.2	4896458.1
.....								
105	4895094.0		12:57:28					
105	4895096.0		12:58:40					
105	4895094.0		12:59:52					
105	4895099.0		13:01:04					
105	4895094.0	4895095.4	13:02:16	12:59:52	80.5	4.5	21.4	4895159.0
.....								
106	4893816.0		13:14:33					

106	4893812.0		13:15:45					
106	4893812.0		13:16:57					
106	4893812.0		13:18:09					
106	4893811.0		13:19:21					
106	4893814.0		13:21:59					
106	4893818.0		13:23:11					
106	4893808.0		13:24:23					
106	4893811.0		13:25:35					
106	4893809.0	4893812.3	13:26:47	13:20:40	80.2	4.4	25.2	4893871.7
.....								
105	4895103.0		13:38:38					
105	4895103.0		13:39:50					
105	4895095.0		13:41:02					
105	4895109.0		13:42:14					
105	4895103.0	4895102.6	13:43:26	13:41:02	79.9	4.4	28.9	4895158.0
.....								
104	4896414.0		13:54:55					
104	4896410.0		13:56:07					
104	4896414.0		13:57:19					
104	4896415.0		13:58:31					
104	4896416.0	4896413.8	13:59:43	13:57:19	78.1	4.3	31.9	4896464.3
.....								
103	4897702.0		14:10:44					
103	4897698.0		14:11:56					

103	4897696.0		14:13:08					
103	4897697.0		14:14:20					
103	4897698.0	4897698.2	14:15:32	14:13:08	78.1	4.2	34.8	4897745.7

.....

102	4899011.0		14:27:52					
102	4899005.0		14:29:04					
102	4899003.0		14:30:16					
102	4899001.0		14:31:28					
102	4899007.0	4899005.4	14:32:40	14:30:16	78.1	4.2	37.9	4899049.8

.....

101	4900317.0		14:44:39					
101	4900318.0		14:45:51					
101	4900323.0		14:47:03					
101	4900316.0		14:48:15					
101	4900320.0	4900318.8	14:49:27	14:47:03	78.1	4.2	41.0	4900360.1

.....

100	4900927.0		15:05:51					
100	4900929.0		15:07:03					
100	4900922.0		15:08:15					
100	4900921.0		15:09:27					
100	4900924.0	4900924.6	15:10:39	15:08:15	79.0	4.3	44.9	4900963.0

.....

2. tabela - IZRACUN RELATIVNIH in ABSOLUTNIH VREDNOSTI g:

TOCKA	GRAV.POP.POV. (mikroGal)	GRAV.REL. (mikroGal)	GRAV.ABS. (mikroGal)	TOCKA
100	4900964.8	0.0	980615665.7	100
101	4900360.9	-603.9	980615061.8	101
102	4899052.2	-1912.6	980613753.1	102
103	4897747.4	-3217.4	980612448.3	103
104	4896461.2	-4503.6	980611162.1	104
105	4895158.5	-5806.3	980609859.4	105
106	4893871.7	-7093.1	980608572.6	106
..... 18:15:12 17.03.2015 .....				
..... PROGRAM IZDELALA MEDVED K&UREK D .....				

**PRILOGA G: REZULTATI KVADRATNEGA HODA ZA DAN 30.12.2014**

IZRACUN GRAVITACIJSKIH POSPEKOV

-----

1. tabela - MERITVE in POPRAVKI:

TOCKA	GRAV. (mikroGal)	GRAV.POV. (mikroGal)	CAS (h:m:s)	CAS POV. (h:m:s)	PPZ (mikroGal)	PZT (mikroGal)	PD (mikroGal)	GRAV.POP. (mikroGal)
100	4900882.0		11:00:42					
100	4900884.0		11:01:54					
100	4900880.0		11:03:06					
100	4900879.0		11:04:18					
100	4900882.0	4900881.4	11:05:30	11:03:06	80.2	5.0	0.0	4900966.6
101	4900286.0		11:39:60					
101	4900282.0		11:41:12					
101	4900286.0		11:42:24					
101	4900283.0		11:43:36					
101	4900282.0	4900283.8	11:44:48	11:42:24	80.2	4.8	8.3	4900360.5
102	4898978.0		11:58:23					
102	4898983.0		11:59:35					

102	4898977.0		12:00:47					
102	4898982.0		12:01:59					
102	4898981.0	4898980.2	12:03:11	12:00:47	80.2	4.8	12.0	4899053.3
.....								
103	4897680.0		12:19:01					
103	4897674.0		12:20:13					
103	4897679.0		12:21:25					
103	4897679.0		12:22:37					
103	4897681.0	4897678.6	12:23:49	12:21:25	80.2	4.6	15.9	4897747.5
.....								
104	4896392.0		12:40:21					
104	4896392.0		12:41:33					
104	4896391.0		12:42:45					
104	4896390.0		12:43:57					
104	4896394.0	4896391.8	12:45:09	12:42:45	79.9	4.6	19.9	4896456.4
.....								
105	4895094.0		12:57:28					
105	4895096.0		12:58:40					
105	4895094.0		12:59:52					
105	4895099.0		13:01:04					
105	4895094.0	4895095.4	13:02:16	12:59:52	80.5	4.5	23.0	4895157.5
.....								
106	4893816.0		13:14:33					
106	4893812.0		13:15:45					



106	4893812.0		13:16:57					
106	4893812.0		13:18:09					
106	4893811.0		13:19:21					
106	4893814.0		13:21:59					
106	4893818.0		13:23:11					
106	4893808.0		13:24:23					
106	4893811.0		13:25:35					
106	4893809.0	4893812.3	13:26:47	13:20:40	80.2	4.4	26.5	4893870.4
.....								
105	4895103.0		13:38:38					
105	4895103.0		13:39:50					
105	4895095.0		13:41:02					
105	4895109.0		13:42:14					
105	4895103.0	4895102.6	13:43:26	13:41:02	79.9	4.4	29.9	4895157.0
.....								
104	4896414.0		13:54:55					
104	4896410.0		13:56:07					
104	4896414.0		13:57:19					
104	4896415.0		13:58:31					
104	4896416.0	4896413.8	13:59:43	13:57:19	78.1	4.3	32.5	4896463.7
.....								
103	4897702.0		14:10:44					
103	4897698.0		14:11:56					
103	4897696.0		14:13:08					

103	4897697.0		14:14:20					
103	4897698.0	4897698.2	14:15:32	14:13:08	78.1	4.2	34.9	4897745.6
.....								
102	4899011.0		14:27:52					
102	4899005.0		14:29:04					
102	4899003.0		14:30:16					
102	4899001.0		14:31:28					
102	4899007.0	4899005.4	14:32:40	14:30:16	78.1	4.2	37.4	4899050.3
.....								
101	4900317.0		14:44:39					
101	4900318.0		14:45:51					
101	4900323.0		14:47:03					
101	4900316.0		14:48:15					
101	4900320.0	4900318.8	14:49:27	14:47:03	78.1	4.2	39.7	4900361.4
.....								
100	4900927.0		15:05:51					
100	4900929.0		15:07:03					
100	4900922.0		15:08:15					
100	4900921.0		15:09:27					
100	4900924.0	4900924.6	15:10:39	15:08:15	79.0	4.3	42.6	4900965.3
.....								

2. tabela - IZRACUN RELATIVNIH in ABSOLUTNIH VREDNOSTI g:

TOCKA	GRAV.POP.POV. (mikroGal)	GRAV.REL. (mikroGal)	GRAV.ABS. (mikroGal)	TOCKA
-------	-----------------------------	-------------------------	-------------------------	-------

100	4900966.0	0.0	980615665.7	100
-----	-----------	-----	-------------	-----

101	4900361.0	-605.0	980615060.7	101
-----	-----------	--------	-------------	-----

102	4899051.8	-1914.1	980613751.6	102
-----	-----------	---------	-------------	-----

103	4897746.6	-3219.4	980612446.3	103
-----	-----------	---------	-------------	-----

104	4896460.1	-4505.9	980611159.8	104
-----	-----------	---------	-------------	-----

105	4895157.2	-5808.7	980609857.0	105
-----	-----------	---------	-------------	-----

106	4893870.4	-7095.6	980608570.1	106
-----	-----------	---------	-------------	-----

..... 18:15:42 17.03.2015 .....

..... PROGRAM IZDELALA MEDVED K &UREK D.....

**PRILOGA H: REZULTATI KUBIČNEGA HODA ZA DAN 30.12.2014**

IZRACUN GRAVITACIJSKIH POSPESKOV

-----  
1. tabela - MERITVE in POPRAVKI:

TOCKA	GRAV. (mikroGal)	GRAV.POV. (mikroGal)	CAS (h:m:s)	CAS POV. (h:m:s)	PPZ (mikroGal)	PZT (mikroGal)	PD (mikroGal)	GRAV.POP. (mikroGal)
100	4900882.0		11:00:42					
100	4900884.0		11:01:54					
100	4900880.0		11:03:06					
100	4900879.0		11:04:18					
100	4900882.0	4900881.4	11:05:30	11:03:06	80.2	5.0	0.0	4900966.6
101	4900286.0		11:39:60					
101	4900282.0		11:41:12					
101	4900286.0		11:42:24					
101	4900283.0		11:43:36					
101	4900282.0	4900283.8	11:44:48	11:42:24	80.2	4.8	9.8	4900359.0
102	4898978.0		11:58:23					
102	4898983.0		11:59:35					

102	4898977.0		12:00:47					
102	4898982.0		12:01:59					
102	4898981.0	4898980.2	12:03:11	12:00:47	80.2	4.8	13.5	4899051.7
.....								
103	4897680.0		12:19:01					
103	4897674.0		12:20:13					
103	4897679.0		12:21:25					
103	4897679.0		12:22:37					
103	4897681.0	4897678.6	12:23:49	12:21:25	80.2	4.6	17.2	4897746.3
.....								
104	4896392.0		12:40:21					
104	4896392.0		12:41:33					
104	4896391.0		12:42:45					
104	4896390.0		12:43:57					
104	4896394.0	4896391.8	12:45:09	12:42:45	79.9	4.6	20.5	4896455.8
.....								
105	4895094.0		12:57:28					
105	4895096.0		12:58:40					
105	4895094.0		12:59:52					
105	4895099.0		13:01:04					
105	4895094.0	4895095.4	13:02:16	12:59:52	80.5	4.5	23.0	4895157.5
.....								
106	4893816.0		13:14:33					
106	4893812.0		13:15:45					

106	4893812.0		13:16:57					
106	4893812.0		13:18:09					
106	4893811.0		13:19:21					
106	4893814.0		13:21:59					
106	4893818.0		13:23:11					
106	4893808.0		13:24:23					
106	4893811.0		13:25:35					
106	4893809.0	4893812.3	13:26:47	13:20:40	80.2	4.4	25.8	4893871.1
.....								
105	4895103.0		13:38:38					
105	4895103.0		13:39:50					
105	4895095.0		13:41:02					
105	4895109.0		13:42:14					
105	4895103.0	4895102.6	13:43:26	13:41:02	79.9	4.4	28.6	4895158.2
.....								
104	4896414.0		13:54:55					
104	4896410.0		13:56:07					
104	4896414.0		13:57:19					
104	4896415.0		13:58:31					
104	4896416.0	4896413.8	13:59:43	13:57:19	78.1	4.3	31.0	4896465.2
.....								
103	4897702.0		14:10:44					
103	4897698.0		14:11:56					
103	4897696.0		14:13:08					

103	4897697.0		14:14:20					
103	4897698.0	4897698.2	14:15:32	14:13:08	78.1	4.2	33.3	4897747.2
.....								
102	4899011.0		14:27:52					
102	4899005.0		14:29:04					
102	4899003.0		14:30:16					
102	4899001.0		14:31:28					
102	4899007.0	4899005.4	14:32:40	14:30:16	78.1	4.2	36.2	4899051.6
.....								
101	4900317.0		14:44:39					
101	4900318.0		14:45:51					
101	4900323.0		14:47:03					
101	4900316.0		14:48:15					
101	4900320.0	4900318.8	14:49:27	14:47:03	78.1	4.2	39.2	4900361.9
.....								
100	4900927.0		15:05:51					
100	4900929.0		15:07:03					
100	4900922.0		15:08:15					
100	4900921.0		15:09:27					
100	4900924.0	4900924.6	15:10:39	15:08:15	79.0	4.3	43.6	4900964.2
.....								

2. tabela - IZRACUN RELATIVNIH in ABSOLUTNIH VREDNOSTI g:

TOCKA	GRAV.POP.POV. (mikroGal)	GRAV.REL. (mikroGal)	GRAV.ABS. (mikroGal)	TOCKA
-------	-----------------------------	-------------------------	-------------------------	-------

.....  
100      4900965.4            0.0      980615665.7      100  
.....

101      4900360.4            -605.0      980615060.7      101  
.....

102      4899051.6            -1913.8      980613751.9      102  
.....

103      4897746.7            -3218.7      980612447.0      103  
.....

104      4896460.5            -4504.9      980611160.8      104  
.....

105      4895157.8            -5807.6      980609858.1      105  
.....

106      4893871.1            -7094.3      980608571.4      106  
.....

..... 18:16:19    17.03.2015 .....

..... PROGRAM IZDELALA MEDVED K & UREK D .....



**PRILOGA I: REZULTATI LINEARNEGA HODA ZA DAN 15.2.2015**

IZRACUN GRAVITACIJSKIH POSPESKOV

-----

1. tabela - MERITVE in POPRAVKI:

TOCKA	GRAV. (mikroGal)	GRAV.POV. (mikroGal)	CAS (h:m:s)	CAS POV. (h:m:s)	PPZ (mikroGal)	PZT (mikroGal)	PD (mikroGal)	GRAV.POP. (mikroGal)
100	4908648.0		09:51:19					
100	4908652.0		09:52:31					
100	4908650.0		09:53:43					
100	4908649.0		09:54:55					
100	4908650.0	4908649.8	09:56:07	09:53:43	78.7	1.0	0.0	4908729.5
101	4908051.0		10:15:54					
101	4908043.0		10:17:06					
101	4908039.0		10:18:18					
101	4908045.0		10:19:30					
101	4908050.0	4908045.6	10:20:42	10:18:18	80.2	0.9	0.8	4908125.9
102	4906734.0		10:35:34					
102	4906733.0		10:36:46					

102	4906738.0		10:37:58					
102	4906735.0		10:39:10					
102	4906733.0	4906734.6	10:40:22	10:37:58	79.6	0.9	1.5	4906813.6
.....								
103	4905433.0		10:53:35					
103	4905440.0		10:54:47					
103	4905442.0		10:55:59					
103	4905427.0		10:57:11					
103	4905431.0	4905434.6	10:58:23	10:55:59	79.9	0.9	2.1	4905513.3
.....								
104	4904152.0		11:10:14					
104	4904152.0		11:11:26					
104	4904153.0		11:12:38					
104	4904153.0		11:13:50					
104	4904150.0	4904152.0	11:15:02	11:12:38	79.3	0.9	2.7	4904229.5
.....								
105	4902851.0		11:26:25					
105	4902844.0		11:27:37					
105	4902845.0		11:28:49					
105	4902851.0		11:30:01					
105	4902842.0	4902846.6	11:31:13	11:28:49	80.5	1.0	3.3	4902924.8
.....								
106	4901557.0		11:43:07					
106	4901562.0		11:44:19					

106	4901560.0		11:45:31					
106	4901560.0		11:46:43					
106	4901567.0		11:47:55					
106	4901558.0		11:50:12					
106	4901560.0		11:51:24					
106	4901556.0		11:52:36					
106	4901561.0		11:53:48					
106	4901556.0	4901559.7	11:54:60	11:49:04	79.3	0.9	4.0	4901636.0
.....								
105	4902843.0		12:06:07					
105	4902849.0		12:07:19					
105	4902845.0		12:08:31					
105	4902852.0		12:09:43					
105	4902844.0	4902846.6	12:10:55	12:08:31	79.3	0.8	4.6	4902922.1
.....								
104	4904149.0		12:22:60					
104	4904144.0		12:24:12					
104	4904154.0		12:25:24					
104	4904153.0		12:26:36					
104	4904148.0	4904149.6	12:27:48	12:25:24	79.3	0.8	5.2	4904224.5
.....								
103	4905437.0		12:38:20					
103	4905441.0		12:39:32					
103	4905442.0		12:40:44					

103	4905438.0		12:41:56					
103	4905436.0	4905438.8	12:43:08	12:40:44	79.0	0.8	5.7	4905512.9
.....								
102	4906737.0		12:52:33					
102	4906742.0		12:53:45					
102	4906744.0		12:54:57					
102	4906739.0		12:56:09					
102	4906739.0	4906740.2	12:57:21	12:54:57	79.0	0.7	6.2	4906813.7
.....								
101	4908050.0		13:09:06					
101	4908050.0		13:10:18					
101	4908051.0		13:11:30					
101	4908049.0		13:12:42					
101	4908049.0	4908049.8	13:13:54	13:11:30	79.0	0.7	6.8	4908122.7
.....								
100	4908657.0		13:25:09					
100	4908658.0		13:26:21					
100	4908657.0		13:27:33					
100	4908663.0		13:28:45					
100	4908663.0	4908659.6	13:29:57	13:27:33	78.4	0.7	7.3	4908731.4
.....								

2. tabela - IZRACUN RELATIVNIH in ABSOLUTNIH VREDNOSTI g:

TOCKA	GRAV.POP.POV. (mikroGal)	GRAV.REL. (mikroGal)	GRAV.ABS. (mikroGal)	TOCKA
-------	-----------------------------	-------------------------	-------------------------	-------

.....  
100      4908730.4            0.0      980615665.7      100  
.....

101      4908124.3            -606.1      980615059.6      101  
.....

102      4906813.7            -1916.7      980613749.0      102  
.....

103      4905513.1            -3217.3      980612448.4      103  
.....

104      4904227.0            -4503.4      980611162.3      104  
.....

105      4902923.5            -5806.9      980609858.8      105  
.....

106      4901636.0            -7094.4      980608571.3      106  
.....

..... 18:11:47    17.03.2015 .....

..... PROGRAM IZDELALA MEDVED K & UREK D .....

**PRILOGA J: REZULTATI KVADRATNEGA HODA ZA DAN 15.2.2015**

IZRACUN GRAVITACIJSKIH POSPEKOV

-----

1. tabela - MERITVE in POPRAVKI:

TOCKA	GRAV. (mikroGal)	GRAV.POV. (mikroGal)	CAS (h:m:s)	CAS POV. (h:m:s)	PPZ (mikroGal)	PZT (mikroGal)	PD (mikroGal)	GRAV.POP. (mikroGal)
100	4908648.0		09:51:19					
100	4908652.0		09:52:31					
100	4908650.0		09:53:43					
100	4908649.0		09:54:55					
100	4908650.0	4908649.8	09:56:07	09:53:43	78.7	1.0	0.0	4908729.5
101	4908051.0		10:15:54					
101	4908043.0		10:17:06					
101	4908039.0		10:18:18					
101	4908045.0		10:19:30					
101	4908050.0	4908045.6	10:20:42	10:18:18	80.2	0.9	-0.0	4908126.8
102	4906734.0		10:35:34					
102	4906733.0		10:36:46					

102	4906738.0		10:37:58					
102	4906735.0		10:39:10					
102	4906733.0	4906734.6	10:40:22	10:37:58	79.6	0.9	0.2	4906815.0
.....								
103	4905433.0		10:53:35					
103	4905440.0		10:54:47					
103	4905442.0		10:55:59					
103	4905427.0		10:57:11					
103	4905431.0	4905434.6	10:58:23	10:55:59	79.9	0.9	0.5	4905514.9
.....								
104	4904152.0		11:10:14					
104	4904152.0		11:11:26					
104	4904153.0		11:12:38					
104	4904153.0		11:13:50					
104	4904150.0	4904152.0	11:15:02	11:12:38	79.3	0.9	1.0	4904231.2
.....								
105	4902851.0		11:26:25					
105	4902844.0		11:27:37					
105	4902845.0		11:28:49					
105	4902851.0		11:30:01					
105	4902842.0	4902846.6	11:31:13	11:28:49	80.5	1.0	1.5	4902926.6
.....								
106	4901557.0		11:43:07					
106	4901562.0		11:44:19					

106	4901560.0		11:45:31					
106	4901560.0		11:46:43					
106	4901567.0		11:47:55					
106	4901558.0		11:50:12					
106	4901560.0		11:51:24					
106	4901556.0		11:52:36					
106	4901561.0		11:53:48					
106	4901556.0	4901559.7	11:54:60	11:49:04	79.3	0.9	2.4	4901637.5
.....								
105	4902843.0		12:06:07					
105	4902849.0		12:07:19					
105	4902845.0		12:08:31					
105	4902852.0		12:09:43					
105	4902844.0	4902846.6	12:10:55	12:08:31	79.3	0.8	3.5	4902923.3
.....								
104	4904149.0		12:22:60					
104	4904144.0		12:24:12					
104	4904154.0		12:25:24					
104	4904153.0		12:26:36					
104	4904148.0	4904149.6	12:27:48	12:25:24	79.3	0.8	4.5	4904225.2
.....								
103	4905437.0		12:38:20					
103	4905441.0		12:39:32					
103	4905442.0		12:40:44					



103	4905438.0		12:41:56					
103	4905436.0	4905438.8	12:43:08	12:40:44	79.0	0.8	5.6	4905513.0
.....								
102	4906737.0		12:52:33					
102	4906742.0		12:53:45					
102	4906744.0		12:54:57					
102	4906739.0		12:56:09					
102	4906739.0	4906740.2	12:57:21	12:54:57	79.0	0.7	6.7	4906813.3
.....								
101	4908050.0		13:09:06					
101	4908050.0		13:10:18					
101	4908051.0		13:11:30					
101	4908049.0		13:12:42					
101	4908049.0	4908049.8	13:13:54	13:11:30	79.0	0.7	8.1	4908121.4
.....								
100	4908657.0		13:25:09					
100	4908658.0		13:26:21					
100	4908657.0		13:27:33					
100	4908663.0		13:28:45					
100	4908663.0	4908659.6	13:29:57	13:27:33	78.4	0.7	9.6	4908729.1
.....								

2. tabela - IZRACUN RELATIVNIH in ABSOLUTNIH VREDNOSTI g:

TOCKA	GRAV.POP.POV. (mikroGal)	GRAV.REL. (mikroGal)	GRAV.ABS. (mikroGal)	TOCKA
-------	-----------------------------	-------------------------	-------------------------	-------

.....  
100      4908729.3            0.0      980615665.7      100  
.....

101      4908124.1            -605.2      980615060.5      101  
.....

102      4906814.1            -1915.2      980613750.5      102  
.....

103      4905514.0            -3215.3      980612450.4      103  
.....

104      4904228.2            -4501.1      980611164.6      104  
.....

105      4902924.9            -5804.4      980609861.3      105  
.....

106      4901637.5            -7091.8      980608573.9      106  
.....

..... 18:12:29    17.03.2015 .....

..... PROGRAM IZDELALA MEDVED K &UREK D .....

**PRILOGA K: REZULTATI KUBIČNEGA HODA ZA DAN 15.2.2015**

IZRACUN GRAVITACIJSKIH POSPESKOV

-----  
1. tabela - MERITVE in POPRAVKI:

TOCKA	GRAV. (mikroGal)	GRAV.POV. (mikroGal)	CAS (h:m:s)	CAS POV. (h:m:s)	PPZ (mikroGal)	PZT (mikroGal)	PD (mikroGal)	GRAV.POP. (mikroGal)
100	4908648.0		09:51:19					
100	4908652.0		09:52:31					
100	4908650.0		09:53:43					
100	4908649.0		09:54:55					
100	4908650.0	4908649.8	09:56:07	09:53:43	78.7	1.0	0.0	4908729.5
101	4908051.0		10:15:54					
101	4908043.0		10:17:06					
101	4908039.0		10:18:18					
101	4908045.0		10:19:30					
101	4908050.0	4908045.6	10:20:42	10:18:18	80.2	0.9	-0.6	4908127.3
102	4906734.0		10:35:34					
102	4906733.0		10:36:46					

102	4906738.0		10:37:58					
102	4906735.0		10:39:10					
102	4906733.0	4906734.6	10:40:22	10:37:58	79.6	0.9	-0.5	4906815.7
.....								
103	4905433.0		10:53:35					
103	4905440.0		10:54:47					
103	4905442.0		10:55:59					
103	4905427.0		10:57:11					
103	4905431.0	4905434.6	10:58:23	10:55:59	79.9	0.9	-0.1	4905515.5
.....								
104	4904152.0		11:10:14					
104	4904152.0		11:11:26					
104	4904153.0		11:12:38					
104	4904153.0		11:13:50					
104	4904150.0	4904152.0	11:15:02	11:12:38	79.3	0.9	0.6	4904231.6
.....								
105	4902851.0		11:26:25					
105	4902844.0		11:27:37					
105	4902845.0		11:28:49					
105	4902851.0		11:30:01					
105	4902842.0	4902846.6	11:31:13	11:28:49	80.5	1.0	1.4	4902926.7
.....								
106	4901557.0		11:43:07					
106	4901562.0		11:44:19					

106	4901560.0		11:45:31					
106	4901560.0		11:46:43					
106	4901567.0		11:47:55					
106	4901558.0		11:50:12					
106	4901560.0		11:51:24					
106	4901556.0		11:52:36					
106	4901561.0		11:53:48					
106	4901556.0	4901559.7	11:54:60	11:49:04	79.3	0.9	2.6	4901637.3
.....								
105	4902843.0		12:06:07					
105	4902849.0		12:07:19					
105	4902845.0		12:08:31					
105	4902852.0		12:09:43					
105	4902844.0	4902846.6	12:10:55	12:08:31	79.3	0.8	3.9	4902922.8
.....								
104	4904149.0		12:22:60					
104	4904144.0		12:24:12					
104	4904154.0		12:25:24					
104	4904153.0		12:26:36					
104	4904148.0	4904149.6	12:27:48	12:25:24	79.3	0.8	5.1	4904224.6
.....								
103	4905437.0		12:38:20					
103	4905441.0		12:39:32					
103	4905442.0		12:40:44					

103	4905438.0		12:41:56					
103	4905436.0	4905438.8	12:43:08	12:40:44	79.0	0.8	6.2	4905512.4
.....								
102	4906737.0		12:52:33					
102	4906742.0		12:53:45					
102	4906744.0		12:54:57					
102	4906739.0		12:56:09					
102	4906739.0	4906740.2	12:57:21	12:54:57	79.0	0.7	7.2	4906812.8
.....								
101	4908050.0		13:09:06					
101	4908050.0		13:10:18					
101	4908051.0		13:11:30					
101	4908049.0		13:12:42					
101	4908049.0	4908049.8	13:13:54	13:11:30	79.0	0.7	8.2	4908121.3
.....								
100	4908657.0		13:25:09					
100	4908658.0		13:26:21					
100	4908657.0		13:27:33					
100	4908663.0		13:28:45					
100	4908663.0	4908659.6	13:29:57	13:27:33	78.4	0.7	9.1	4908729.6
.....								

2. tabela - IZRACUN RELATIVNIH in ABSOLUTNIH VREDNOSTI g:

TOCKA	GRAV.POP.POV. (mikroGal)	GRAV.REL. (mikroGal)	GRAV.ABS. (mikroGal)	TOCKA
-------	-----------------------------	-------------------------	-------------------------	-------

100	4908729.5	0.0	980615665.7	100
-----	-----------	-----	-------------	-----

101	4908124.3	-605.2	980615060.5	101
-----	-----------	--------	-------------	-----

102	4906814.2	-1915.3	980613750.4	102
-----	-----------	---------	-------------	-----

103	4905514.0	-3215.6	980612450.1	103
-----	-----------	---------	-------------	-----

104	4904228.1	-4501.4	980611164.3	104
-----	-----------	---------	-------------	-----

105	4902924.8	-5804.8	980609860.9	105
-----	-----------	---------	-------------	-----

106	4901637.3	-7092.3	980608573.4	106
-----	-----------	---------	-------------	-----

..... 18:13:06 17.03.2015 .....

..... PROGRAM IZDELALA MEDVED K & UREK D .....