

RELATIVNA GRAVIMETRIČNA IZMERA IN RELATIVNI GRAVIMETER SCINTREX CG-3M

Anka Lisec, univ. dipl. inž. geod.*

Povzetek

Kombinacija terestričnih in satelitskih metod določevanja položaja točk je močno povezana s poznavanjem vpliva težnostnega polja. V članku je kratko opisan pomen izmere težnostnega pospeška za geodetsko izmero; sledi pregled gravimetrične izmere v Sloveniji. Poudarek članka je na predstavitvi relativne gravimetrične izmere in določitvi srednjih vrednosti na točki, upoštevajoč vplive na merjene vrednosti težnostnega pospeška. Velikosti parametrov relativnega gravimetra in vplivov na gravimetrična opazovanja so dane za relativni gravimeter Scintrex CG-3M, in sicer na osnovi testiranja parametrov relativnega gravimetra Scintrex CG-3M in praktične izmere v slovenskem Primorju.

Relative gravity surveys and relative gravimeter Scintrex CG-3M

391

Abstract

To combine the satellite and terrestrial measurement in geodesy, the influence of the gravity field on measurements has to be taken into account. In this paper the implications of gravity measurement for the Ordnance Survey are briefly annotated and the overview of the gravity measurements in Slovenia is given. The emphasis is on the presentation of the relative gravity measurement and determination of the mean values per station, applying corrections, reductions and cleaning the data set. The practical work is based on the relative gravity survey by the gravimeter Scintrex CG-3M in the south western part of Slovenia.

1. UVOD

Gravimetrični podatki, vrednosti težnostnega pospeška, imajo predvsem velik praktični pomen v geodeziji pri izračunu oblike geoida in seveda v geologiji ter geofiziki. Satelitske metode določevanja položaja točk so v zadnjih letih še povečale pomembnost poznavanja težnostnega polja Zemlje v geodeziji. Problematika gravimetričnih raziskav postaja vedno aktualnejša tudi s stališča mednarodnega sodelovanja, saj se danes srečujemo na eni strani s potrebo po

* FGG – oddelek za geodezijo, Ljubljana

zgoščevanju gravimetričnih mrež na nacionalni ravni, na drugi strani pa gre trend na tem področju v povezovanje obstoječih mrež v globalne mreže.

2. PREGLED DOSEDANJE GRAVIMETRIČNE IZMERE V SLOVENIJI

2.1 Gravimetrični referenčni sistemi

Mednarodno združenje za geodezijo in geofiziko IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) se že od vsega začetka prizadeva za referenčni gravimetrični sistem. Na konferenci IAG (International Association of Geodesy) v Londonu leta 1909 je bil uveden Potsdamski težnostni sistem, ki se je v praksi ohranil vse do leta 1971. Po letu 1950 se je zaradi nove tehnologije in novih metod gravimetričnih meritev razvila nova globalna mreža referenčnih točk, ki so jo na 15. skupščini IUGG v Moskvi leta 1971 poimenovali International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71), katere izhodišče predstavlja 10 absolutnih meritev na osmih točkah (Torge, 1998).

Za nadzorovanje trenutne spremembe težnosti v globalnem smislu in vzpostavitve kontrolnih točk regionalnih mrež se po letu 1983 vzpostavlja globalna gravimetrična mreža International Absolute Gravity Basestation Network, ki vsebuje 36 osnovnih točk z natančnostjo $\pm 1 \mu\text{Gal}$. V Evropi se vzpostavlja evropska gravimetrična mreža Unified European Gravity Network 1994 (EUGN94), ki bo z večjo homogenostjo dopolnila IGSN71. Dosežena natančnost v tej mreži je okoli $20 \mu\text{Gal}$.

2.2 Gravimetrična izmera v Sloveniji do leta 1990

Prva gravimetrična merjenja pri nas je izvajal Vojaškogeografski inštitut z Dunaja v letih 1887–1894 s Sterneckovim nihalom v okolici Trsta in Reke ter v letih 1910–1912 v dolini reke Drave. Do konca druge svetovne vojne so bile na območju Slovenije še izvedene gravimetrične meritve, katerih podatki pa se niso ohranili. Po drugi svetovni vojni so bile vzpostavljene različne gravimetrične mreže (Bilibajkić, 1979).

- Gravimetrična mreža I. reda je bila vzpostavljena v letih 1952 in 1953. Centralna točka mreže, ki jo je vzpostavil Vojnogeografski inštitut iz Beograda, je v Zemunu in je navezana na takratni standardni težnostni pospešek v Potsdamu prek točke v Parizu, katere vrednosti so bile leta 1967 popravljene glede na novo vrednost izhodiščne točke v Potsdamu. Podatkov o novih izmerah in korekcijah danes praktično ni mogoče dobiti, saj ima podatke gravimetrične mreže I. reda Vojnogeografski inštitut v Beogradu. Ena izmed gravimetričnih točk I. reda te mreže je sicer v Ljubljani, vendar je uničena oziroma v slabem stanju.

- Gravimetrično mrežo II. reda je na slovenskem ozemlju postavil Geološki zavod Ljubljana leta 1957 vzdolž nivelamanov visoke natančnosti z navezavo na gravimetrično mrežo I. reda.
- Osnovno gravimetrično mrežo SFRJ je vzpostavila Zvezna geodetska uprava v letih 1964 in 1967, kjer je bilo 32 točk na ozemlju Slovenije, razen nekaj izjem pa položaji teh točk niso znani.
- Regionalne in lokalne gravimetrične meritve je med leti 1952 in 1990 na območju Slovenije izvajal Geološki zavod Slovenije z gravimetrom Worden št. 117, predvsem za potrebe raziskav v zvezi z nafto in plinom v severovzhodni Sloveniji.

Večina točk gravimetrične mreže I. reda in osnovne gravimetrične mreže so uničene, ohranjene točke pa se lahko uporabijo za primerjalne meritve. Omeniti velja Regionalno gravimetrično karto Slovenije merila 1 : 100 000 iz leta 1967, na kateri je vključenih približno 2 800 gravimetričnih točk. Na osnovi nove izmere bi sicer lahko ovrednotili stare vrednosti, reinterpretacija teh meritev pa je težavna, saj niso dane lokacije točk. Lokacijo točk je mogoče dobiti le iz omenjenih kart merila 1 : 100 000, na katerih bi znašala natančnost približno ± 200 m, kar predstavlja razmeroma veliko napako pri določitvi težnostnega pospeška. Problem predstavlja tudi navezava meritev na razne bazne točke takratne gravimetrične mreže; prav tako ni dana natančnost izmerjene težnosti.

2.3 Gravimetrična izmera v Sloveniji po letu 1990

Po letu 1990 je bilo v Sloveniji v sodelovanju z Mednarodno komisijo za gravimetrijo (IGC), Slovenskim združenjem za geofiziko in geodezijo (SZGG) ter Geodetsko upravo Republike Slovenije (GURS) stabilizirano šest absolutnih gravimetričnih točk: Bogenšperk, Gotenica, Areh, Socerb, Sevnica in Kluže. Prve absolutne gravimetrične meritve je izvedel Inštitut za uporabno geodezijo iz Frankfurta (IfAG) 30. maja in 3. junija leta 1996. Metrološki inštitut iz Torina G. Colonnetti je izvedel nadaljnje absolutne gravimetrične meritve, in sicer med 9. in 16. julijem 1996 (Bogenšperk, Areh, Gotenica) ter med 13. in 22. novembrom 1996 (Sevnica, Socerb, Kluže). V okviru projekta UNIGRACE je Finski geodetski inštitut izvedel med 9. in 11. decembrom 1998 meritve na točkah Bogenšperk in Gotenica. Absolutne meritve na Bogenšperku so bile ponovno izvedene med 23. in 27. majem 2000, izvedel inštitut BEV z Dunaja (Medved, 2001).

V Sloveniji se vzpostavlja nova kalibracijska baza za relativne gravimetre, ki jo predstavljajo tri absolutne točke Gotenica – Bogenšperk – Sevnica. Prve relativne meritve na tej bazi so bile izvedene z instrumentoma proizvajalca La Cost&Romberg LCR G-55 in Scintrex CG-3M.

3. RELATIVNA GRAVIMETRIČNA IZMERA

V Sloveniji imamo danes šest absolutnih gravimetričnih točk, ki predstavljajo izhodišče za nadaljnjo gravimetrično izmero. Na osnovi relativne gravimetrične izmere in z navezavo na eno izmed absolutnih točk lahko določimo vrednost težnostnega pospeška za poljubno točko. V geodeziji potrebujemo med drugim vrednosti težnostnega pospeška na točkah nivelmanskih linij, saj potrebujemo za določitev geopotencialnih kot, ki se danes uporabljajo v višinskih sistemih, vrednost težnostnega pospeška. Analiza višinskih sistemov na osnovi nivelmanske izmere v kombinaciji z gravimetrično izmero je bil namreč glavni namen mojega diplomskega dela.

3.1 Predhodna priprava na opazovanja

Za vsak instrument moramo poznati kalibracijsko funkcijo, ki je določena bodisi z laboratorijskimi meritvami bodisi z meritvami na gravimetričnih kalibracijskih bazah. Prav tako moramo poznati občutljivost instrumenta na temperaturne, tlačne spremembe ter druge zunanje vplive (magnetno polje, tresljaji). Pred terensko izmero moramo relativni gravimeter vedno preveriti za vpliv temperaturnega popravka, periodično testirati libele in periodično določiti dolgoročni hod instrumenta. Na osnovi teh podatkov lahko vnaprej ocenimo natančnosti meritev.

3.2 Popravki instrumenta in vplivi na opazovanja

Na merilni sistem instrumenta vplivajo različni moteči dejavniki. Z ustrezno konstrukcijo gravimetrov je njihov vpliv ustrezno zmanjšan, vendar se kljub temu pojavijo različni pogreški.

- Pogrešek čitanja je posledica nezanesljive določitve ničelnega položaja in očitve odčitka na merilni skali.
- Pogrešek kalibracijske funkcije (0,001–0,01 mGal za težnostne razlike od 1 do 200 mGal).
- Pogrešek horizontiranja je odvisen od natančnosti libel in natančnosti horizontiranja (pri napaki $10''$ je pogrešek manjši od 0,002 mGal).
- Dolgoročni hod instrumenta je posledica staranja vzmeti, temperaturnih sprememb in sprememb pritiska, zato se časovno spreminja ničelni odčitek. Novemu instrumentu je treba pogosteje določevati dolgoročni hod, medtem ko se sčasoma vrednost dolgoročnega hoda manjša in ustali pri neki vrednosti.
- Kratkoročni hod instrumenta je posledica tresljajev med transportom instrumenta. Pri izračunu se upošteva tako, da na osnovi znanih koeficientov polinoma funkcije časa določimo popravek za vrednost vpliva kratkoročnega hoda. Koeficienti polinoma se določijo s ponavljanjem meritev na referenčnih točkah. Ponavljanja naj bi bila časovno

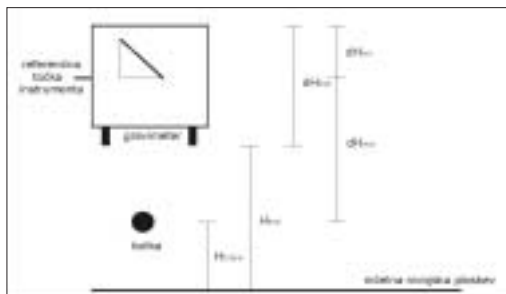
enakomerno razporejena, metoda pa je odvisna od zahtevane natančnosti in hoda instrumenta (velikost, linearna ali nelinearna funkcija). Poznamo več metod merjenj: metoda razlik s takojšnjo kontrolno meritvijo (1-2-1-2), metoda zvezd s povezavami na centralno točko (1-2-1-3-1-4), metoda korakov z najmanj trikratnim zaporednim merjenjem na posamezni točki (1-2-1-2-3-2-4-3) in metoda profilov z večkratnim merjenjem na posamezni točki profila (1-2-3-4 ... 4-3-2-1) (Schüler, 1999).

- Vpliv transporta se pojavi kljub upoštevanju popravkov kratkoročnega hoda instrumenta, saj ta popravek s funkcijo polinoma le približno odpravi vpliv transporta. Pomembno je, da je instrument pri transportu ustrezno zaščiten.
- Vpliv zračnega tlaka določimo z laboratorijskimi meritvami, vendar so ti vplivi pri hermetično zaprtih sistemih zanemarljivo majhni (za Scintrex CG-3M manj od $0,15 \mu\text{Gal/kPa}$).
- Vpliv magnetnega polja lahko modeliramo z linearno funkcijo (za Scintrex CG-3M manj od $1 \mu\text{Gal/Gauss}$).
- Vpliv tresljajev, ki so posledica lokalnih motenj, vetra, transporta, je lahko različno velik. Vpliv zmanjšamo s primernim izborom opazovališč (na trdni geološki osnovi ne v bližini prometnic), zaščito proti vetru, večkratnimi meritvami in pazljivostjo pri transportu.

3.3 Popravki opazovanj

Nekatere zunanje vplive danes gravimetri že avtomatično upoštevajo, prav tako se avtomatično lahko upoštevajo različni vplivi, katerih parametre lahko predhodno določimo. Kljub avtomatizaciji moramo biti pozorni pri določevanju popravkov zaradi zunanjih vplivov na meritev.

- Popravki instrumenta predstavljajo temperaturni popravek, popravek hoda instrumenta, popravek nehorizontalnosti instrumenta ipd.
- Višinska redukcija predstavlja popravek težnostnega pospeška z gradientom težnostnega pospeška na višino točke. Gradient znaša $-0,3086 \text{ mGal}$, če ni drugače določeno. Višinska redukcija se določi, kot kaže slika $dH_{\text{red}} = H_{\text{Inst}} + dH_{\text{Inst}} - dH_{\text{ref}} - H_{\text{točke}}$ (Slika 1).



*Slika 1:
Določitev višine za
določitev višinske
redukcije težnostnega
pospeška*

- Redukcijo zračnega tlaka moramo upoštevati, ko zračni tlak p odstopa od standardnega tlaka (pri natančnih izmerah ob nestabilnem vremenu), kjer je (Schüler, 1999):
- $p_n = 1013,25 [hPa] \cdot \left(1 - \frac{0,0065 [m^{-1}] \cdot H [m]}{288,15} \right)^{5,2559}$; H je nadmorska višina točke. (1)
- Če niso merjene lokalne vrednosti gradienta, se prevzame vrednost gradienta normalnega težnostnega pospeška $-0,3086$ mGal/m.
- Plimovanje Zemlje je posledica spreminjanja vsote privlačnih sil Lune in Sonca, ki delujeta na Zemljo. Položaj Zemlje glede na Luno in Sonce se namreč nenehno spreminja in ker Zemlja ni absolutno čvrsto telo, nastanejo plimski valovi. Vpliv plimovanja Zemlje na težnost se določi kot funkcija geografske širine, geografske dolžine ter časa (UTC) in ima red velikosti nekaj μ Gal, zato se mora upoštevati pri vsaki gravimetrični izmeri. Popravek plimovanja Zemlje se vedno upošteva ob koncu meritve, določi pa se na osnovi izbranega modela plimovanja Zemlje.
- Popravek zaradi plimovanja oceanov pri meritvah ponavadi zanemarimo. Upoštevamo ga le pri najnatančnejših meritvah in opazovanjih ob obali poleg globokega morja, kjer lahko vpliv plimovanja doseže vrednost $\delta g_{\text{PLIM}} = 0,02$ mGal/m spremembe nivoja morske gladine (Medved, 2001).
- Vpliv spremembe nivoja podtalnice in površinskih voda je ocenjen kot $\delta g_{\text{POD}} = 0,04192$ mGal/m (Medved, 2001).
- Popravek zaradi vpliva gibanja polov se nanaša na dolgoročne vplive zaradi spremembe trenutnega položaja pola glede na referenčni srednji pol in ga lahko pri nekajurnih lokalnih relativnih meritvah zanemarimo. Vrednost redukcije je odvisna od kotne hitrosti Zemlje ($\omega = 2\pi/\text{dan}$), radija Zemlje ($R = 6,371$ km), geografskih koordinat opazovališča φ in λ , koordinat trenutnega položaja pola glede na referenčni srednji pol x in y v ločnih sekundah in gravimetričnega amplitudnega faktorja δ_{POL} (Schüler, 1999):
- $\delta g_{\text{POL}} = \delta_{\text{POL}} \cdot \omega_{\text{Zemlje}}^2 \cdot R \cdot \sin 2\varphi \cdot (x \cdot \cos \lambda - y \cdot \sin \lambda)$. (2)

4. RELATIVNA GRAVIMETRIČNA IZMERA

Praktično delo z relativnim gravimetrom, ki sem ga izvedla v okviru diplomske naloge (Lisec, 2002), bi lahko opredelili v dveh sklopih:

- testiranje in določevanje parametrov relativnega gravimetra Scintrex CG-3M in
- gravimetrična izmera na točkah:
 - mestne nivelmanske mreže Koper; namen izmere je določitev višinske mreže v neposredni okolici mareografa v Kopru (Slika 2), ki

bi ga lahko vključili v mrežo mareografov za spremljanje nivoja morja in določitev vertikalnega datuma višinske mreže Evrope;

- testne nivelmanske zanke Izola-Maliža, v okviru katere sem analizirala in primerjala različne višinske sisteme.



*Slika 2:
Mareograf Koper*



*Slika 3:
Relativni gravimeter
Scintrex CG-3M*

4.1 Relativni gravimeter Scintrex

Scintrex CG-3M (Slika 3) je relativni gravimeter, s katerim lahko relativno hitro določimo relativni težnostni pospešek na določeni točki – celo v časovnem intervalu znotraj ene minute. Konstrukcija gravimetra omogoča

enostavno merjenje na terenu, saj so v enem ohišju združeni gravimetrični senzor, nadzorni mehanizmi s programsko opremo in baterije. Instrument deluje brez ponovnega zagona v razponu nad 7000 mGal z natančnostjo 5 μ Gal. Visoka vzdržljivost notranje baterije omogoča nemotene meritve v okoli 12 ur.

Gravimetrični senzor je sestavljen iz kremenčeve vzmeti z utežjo, katere položaj se zazna s kondenzatorjem. Gravitacijska sila na utež je uravnotežena 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 analogno-digitalni pretvornik periodično preklaplja na kalibracijsko napetost; pogostost preklapljanja predhodno določi operater. Povprečna vrednost meritev se določi iz posameznih sekundnih čitanj, ko se izločijo vrednosti s prevelikim odstopanjem na osnovi statističnih algoritmov.

Nadzorni mehanizem vsebuje tipkovnico, LCD z 80 znaki, mikroprocesor in spominsko enoto, ki 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 Zemlje in popravek nehorizontalnosti instrumenta. Vpliv temperaturne spremembe in plimovanja Zemlje se vedno upošteva ob koncu meritev, medtem ko se hod instrumenta lahko upošteva ob vsakem odčitku ali le ob koncu meritve (registracije).

Parametri instrumenta, ki jih je treba periodično določiti oziroma preveriti:

- parameter temperaturne kompenzacije,
- dolgoročni hod instrumenta,
- popravek libel.

4.1.1 Parametri gravimetra, vplivi na opazovanja

Kalibracijska konstanta

Scintrex testira in kalibrira vse svoje instrumente na kalibracijski bazi v Kanadi od kraja Orangeville do 70 km severno oddaljenega Toronta. Bazna linija ima dve absolutni gravimetrični točki, pri kalibraciji instrumentov CG-3M pa vključuje pet točk z razponom težnosti okoli 106 mGal. Za določitev linearne kalibracijske funkcije, kalibracijskega faktorja, se opravijo meritve dvakrat na vsaki točki. Po opravljenih meritvah na vseh

točkah (šestdesetsekundno čitanje) v smeri 1-2-3-4-5 in nazaj, ko se avtomatično upošteva vpliv plimovanja Zemlje, se z računalniškim programom določi kalibracijska funkcija.

Temperaturni popravek

Vpliv temperature na opazovanja praviloma ne sme biti problematičen. Merilni sistem (gravimetrični senzor, temperaturni senzor in elektronske libele) je namreč 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 (10^{-5} °C), ki zaznava temperaturne spremembe. Te so praviloma manjše od 1 m°C. Sprememba temperature se prek digitalnega pretvornika določi v mK in je zapisana tudi v izhodni datoteki ter je osnova za izračun temperaturnega popravka.

Z upoštevanjem temperaturnega popravka je vpliv temperaturnih sprememb manjši od 5 μ 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 °C in +45 °C. Običajno se v gravimetru vzdržuje temperatura okoli 59 °C. Temperaturno kompenzacijo je treba preverjati periodično na terenski izmeri in pred meritvami za določevanje hoda instrumenta.

Popravek libel

Pri meritvah lahko upoštevamo popravek nehorizontalnosti instrumenta neprekinjeno med meritvami (vsako sekundo) ali pa le ob odčitavanju – ob koncu meritev, če je instrument na relativno stabilnem terenu. Popravki zaradi nehorizontalnosti se lahko med meritvami upoštevajo do nagiba ± 200 ločnih sekund.

Ničelni položaj libel in občutljivost libel moramo periodično preverjati, in sicer približno enkrat na dva meseca.

Hod instrumenta

Relativni gravimeter Scintrex CG-3M je znan po nizki vrednosti hoda instrumenta. Njegova vzmet je kremenčeva in je v stabilnem okolju zaščitena pred velikimi vplivi temperaturnih in tlačnih sprememb. Pri novem gravimetru znaša hod okoli 0,5 mGal na dan, sčasoma pa se hod zmanjša in pade celo pod 0,2 mGal 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 (128 dni). Hod gravimetra se določi na osnovi periodične registracije relativnega težnostnega pospeška (24 h) na točki, ki je stabilna, v njeni okolici pa ni navzočih lokalnih tresljajev.

4.1.2 Določitev dolgoročnega hoda

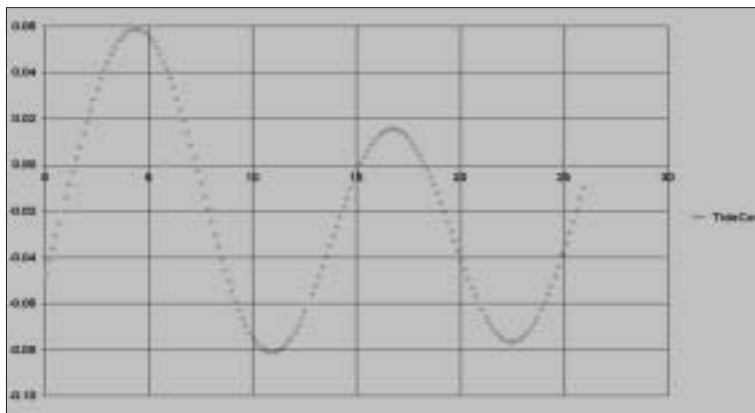
Opazovanja za določitev dolgoročnega hoda instrumenta so bila opravljena v kletnih prostorih Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. V mojem primeru vrednosti težnostnega pospeška za vpliv plimovanja Zemlje niso bile popravljene s programom gravimetra, saj je bil imel program dovoljenje za uporabo le do leta 2000. Hod instrumenta sem zato določevala tako, da sem opazovanim vrednostim 24-urne neprekinjene registracije, popravljenim za vpliv nehorizontalnosti gravimetra ter temperaturnega popravka, določila vpliv plimovanja Zemlje z računalniškim programom GravMaster podjetja GeoTools (Demo različica).

V okviru diplomske naloge (Lisec, 2002) je bil določen dolgoročni hod instrumenta v juliju, septembru in novembru 2001:

- HOD = 0,117mGal/dan (3.-4. julij 2001),
- HOD = 0,15 mGal/dan (4.-5. september 2001),
- HOD = 0,145 mGal/dan (23.-25. november 2001).

Meritve za določitev dolgoročnega hoda instrumenta so bile lep primer za določevanje vpliva plimovanja Zemlje na gravimetrične meritve – rezultati kažejo, da je treba pri gravimetričnih meritvah upoštevati ta vpliv, saj popravek opazovanj znaša tudi do desetinke miligala (Slika 4).

Slika 4:
Vpliv plimovanja Zemlje
[mGal] v odvisnosti od
časa (9. 9.–5. 9.
2001) (GravMaster,
GeoTools)

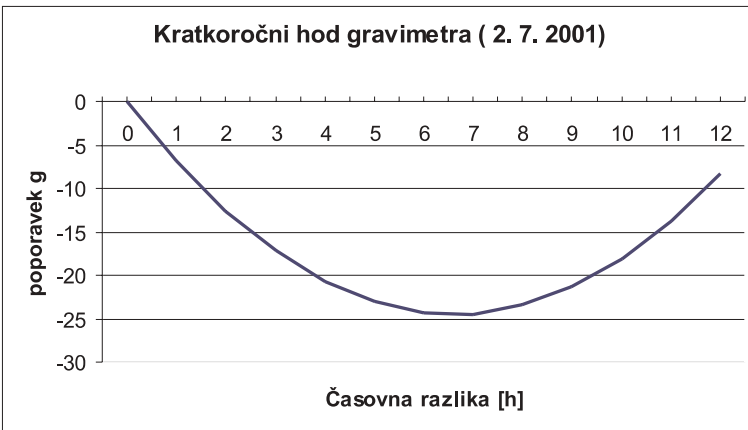


4.1.3 Relativna gravimetrična izmera

V mesecu 2001 (2. 7. 2001 in 5. 7. 2001) so bile izvedene relativne gravimetrične meritve težnega pospeška z relativnim gravimetrom Scintrex CG-3M na točkah mestne nivelmanske mreže v Kopru in nivelmanske zanke Izola-Maliža.

Na točkah smo izvajali meritve z dvojno registracijo, v časovnem zamiku 2–3 minut, in sicer na vsaki točki dvakrat v večjem časovnem intervalu (do 8 ur). Merjene vrednosti, popravljene za vpliv nehorizontalnosti gravimetra ter temperaturnega popravka so bile naknadno korigirane za vpliv plimovanja Zemlje in višine instrumenta s programom GravMaster (Geotools – Demo različica), dvojnimi meritvam pa so bile določene srednje vrednosti. Redukcija meritev na višino opazovane točke je bila izvedena z vertikalnim gradientom nad površjem Zemlje $-0,3086 \text{ mGal/m}$.

Za določitev funkcije kratkoročnega hoda sem izbrala točke, kjer smo drugo opazovanje izvajali v večjem časovnem intervalu in na podlagi opazovanih vrednosti, popravljenih za vpliv plimovanja Zemlje in višinske redukcije, določila funkcijo kratkoročnega hoda instrumenta, ki nastane zaradi lokalnih vplivov, transporta ipd. Če pogledamo funkcijo kratkoročnega hoda instrumenta za opazovanja 2. 7. 2002, ki je bila določena na osnovi izravnave po metodi najmanjših kvadratov, vidimo, da smo kratkoročni hod aproksimirali s kvadratno funkcijo hod = $-7,4096t + 0,5597t^2$ (Slika 5).



Slika 5:
Graf kratkoročnega hoda gravimetra za 2. 7. 2001 [μGal]

Izračun absolutnih vrednosti težnostnega pospeška na reperjih se nanaša na izhodiščno točko 5486. Vrednost težnostnega pospeška na točki 5486 je prevzeta iz predhodne izmere (Medved, 2001), določena z relativnimi meritvami težnostnega pospeška (Scintrex CG-3M) in navezavo na absolutno gravimetrično točko Socerb.

Na nekaterih točkah testne zanke Izola-Malija so bile že izvajane meritve težnostnega pospeška, in sicer v okviru projekta EUVN z relativnim gravimetrom La Coste-Romberg (Ruess, BEV) in v okviru diplomske naloge z relativnim gravimetrom Scintrex CG-3M (Medved, 2001). Natančnost relativnega gravimetra La Coste-Romberg je $\pm 10\text{--}30 \mu\text{Gal}$, relativnega gravimetra Scintrex pa prav tako $\pm 10\text{--}30 \mu\text{Gal}$ (Dichtl, 2000). Ob primerjavi rezultatov teh meritev ugotovimo, da so opazovanja med seboj primerljiva, saj so odstopanja v mejah navedenih natančnosti instrumentov.

5. ZAKLJUČEK

V Sloveniji imamo na voljo relativni gravimetrični instrument Scintrex CG-3M. Glede na to, da imamo pri nas določene absolutne gravimetrične točke, v praksi pa se vse bolj kaže potreba po relevantnih podatkih težnostnega polja, sem v okviru diplomske naloge poskusila med drugim opisati potrebne postopke pri delu s tem gravimetrom.

Poleg potrebnega rednega vzdrževanja in določevanja parametrov je treba za nadaljnje delo priskrbeti ustrezno programsko opremo za upoštevanje vplivov na opazovanja, za kar bi zadostovala že ustrezna nadgradnja notranje programske opreme instrumenta, pa tudi programsko opremo, s katero bi lahko določili nadaljnje redukcije težnostnega pospeška, kot so topografski popravki in popravki zaradi vpliva izostazije na osnovi poznanega digitalnega modela reliefa, gostot mas zemeljske skorje in izostatskih kart. Instrument Scintrex sicer omogoča avtomatsko redukcijo meritev za vpliv plimovanja Zemlje, vendar notranji program z datumom 2000 ni več uporaben in potrebuje nadgradnjo.

6. ZAHVALA

Za pomoč pri diplomskem delu, del katerega je bil predstavljen v tem članku, se zahvaljujem mentorju, doc. dr. Božu Kolerju za pomoč pri praktičnemu delu in koristne nasvete, somentorju, asist. dr. Miranu Kuharju za vse napotke pri izdelavi naloge ter Geodetski upravi Republike Slovenije, lastnici relativnega gravimetra Scintrex CG-3M.

Literatura

Brezigar, A., Stopar, R., Gravity data of Slovenia, Report. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana 1993

Bilibajkić, P., Mladenović, M., Mujagić, S., Rimac, I., Tolmač za gravimetrično karto SFR Jugoslavije – Bougerove anomalije – 1 : 500 000. Beograd 1979, str. 7–50

Dichtl, G., Gravimetrie, Vorlesungsmanuskript. IAPG - TUM, München 2000

Graf, A., Gravimeter – Meßprinzipen, Aufbau, Meßtechnik. Bayerische Akademie der Wissenschaften, München, 1957

Lisec, A., Analiza višinskih sistemov na osnovi nivelmanske in relativne gravimetrične izmere nivelmanske zanke Malija, diplomska naloga. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana 2002

Medved, K., Gravimetrične meritve za potrebe določitve geopotencialnih kot EUVN točk, diplomska naloga. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana 2001

Ruess, D., Schwereberechnungen im ortometrischen Höhensystem Österreichs, 7. Internationale Alpengravimetrie-Kolloquium, Wien, 1996

Schüler, T., Conducting and Processing Relative Gravity Surveys. A Brief Tutorial, München, 1999.

Stopar, R., Predlogi za relativizacijo aplikativnih gravimetričnih raziskav v Republiki Sloveniji, poročilo. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana, 1994

Torge, W., 100 Jahre Schwerereferenznetze – Klassische und moderne Konzeption. ZfV, Heft 11, 1998, str. 355–362

Torge, W., Die Schweremessungen der Landesvermessung. ZfV, Heft 11, 1998, str. 355 –362

Wahr, J. Geodesy and Gravimetry. University of Colorado – Department of Physics, Boulder 1996

CG-3/3M Gravity Meter, User Guide. Scintrex Limited, Concord – Ontario, 1997

Recenzenta: Božo Koler, Miran Kuhar

Prispelo v objavo: 2002-08-26