

Gravimetrijska mreža Republike Hrvatske

mr. sc. Danko Markovinović¹

1. Uvod

Fizikalna geodezija je znanost koja se bavi istraživanjem i opisivanjem Zemlje kao fizikalnog i geometrijskog tijela metodama fizike (Bašić, 2001). Stoga fizikalnu geodeziju ubrajamo u geofiziku, i to u fiziku Zemljina tijela ili geofiziku u užem smislu. Područje fizike Zemljina tijela se nadalje dijeli na: seizmologiju i strukturu Zemljine unutrašnjosti, geomagnetizam, fizikalnu geodeziju, fiziku kamenja te geodinamiku. Zadatak fizikalne geodezije, između ostalog, je proučavanje Zemljinog polja sile teže na i blizu Zemljine fizičke površine ili drugih neskih tijela.

2. Gravimetrija

Poseban dio fizikalne geodezije je gravimetrija. Zadatak gravimetrije je određivanje ubrzanja sile teže kao i gradijenta ubrzanja sile teže grad g . Intenzitet ili gradijent ubrzanja sile teže daje nam informacije o mjestu mjerenja, rasporedu masa u Zemljinoj unutrašnjosti te o vremenskim varijacijama Zemljinog tijela. Prezentacija dobivenih rezultata gravimetrijskim metodama ima velik značaj u proučavanju i definiranju fizikalnih parametara Zemlje, njezina oblika, dimenzija te polja sile teže, a također ima veliku važnost u geologiji, hidrologiji, seizmologiji, meteorologiji, vulka-

nologiji, aeronautici, fizici itd. Jedinica za ubrzanje sile teže u Systeme International d'Unites (SI) je ms^{-2} , a za komponente gradijenta ubrzanja sile teže s^{-2} (vidi URL 1). Prešutno je danas još uvijek u uporabi stara jedinica za ubrzanje sile teže mGal. Odnos između službenih i povijesnih jedinica je $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ (Torge, 1989).

Ubrzanje sile teže g , čiji se intezitet ili gradijenti mjere na Zemljinoj površini, sadrži informacije o mjestu mjerenja (primjena u geodeziji), o rasporedu masa u Zemljinoj unutrašnjosti (primjena u geofizici) te na osnovi ponovljenih mjerenja o vremenskim varijacijama Zemljina tijela (primjena u geodinamici).

Glavna svjetska geodetska organizacija je Međunarodna udruga za geodeziju i geofiziku (International Union of Geodesy and Geophysics – IUGG), koja se sastoji od sedam međunarodnih udruga, a obuhvaćaju područje geodezije, hidrologije, fizike oceana, vulkanologije i kemije Zemljine unutrašnjosti, geomagnetizma, meteorologije i atmosfere Zemlje te seizmologije i fizike Zemljine unutrašnjosti (vidi URL 2). Ova vrhovna udruga posvećena je razvoju, promicanju i širenju znanja o Zemljinu sustavu, njegovom svemirskom okruženju i promjenama uzrokovanih dinamičkim procesima. Jedna od pripadajućih članica je i Međuna-

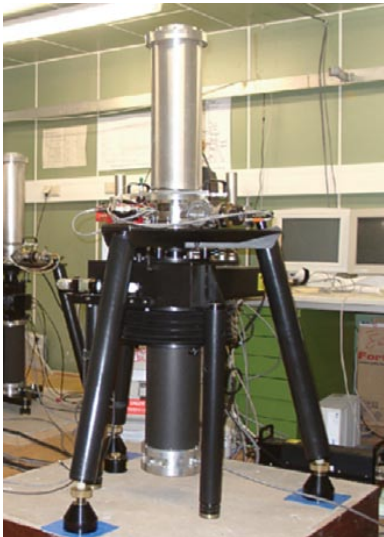
rodna udruga za geodeziju (International Association of Geodesy – IAG). Udruga IAG se sastoji od nekoliko komisija. Smjernice komisije II su praćenje i publiciranje svih važnijih podataka i rezultata vezanih uz terestričku, pomorsku i zračnu gravimetriju, zatim opažanje Zemljina polja sile teže putem satelitskih misija, modeliranje i praćenje vremenske promjenjivosti Zemljina polja sile teže te računanje geoida (vidi URL 3).

3. Gravimetrijska izmjera i instrumenti

U ovisnosti od mjesta i područja koje je potrebno obuhvatiti gravimetrijskom izmjerom, točnosti te korištene opreme i instrumentarija, razlikujemo terestričke, zračne i satelitske metode izmjere.

Terestrička metoda temelji se na uporabi apsolutnih, relativnih te superprovodljivih gravimetara. Apsolutni gravimetri su instrumenti koji određuju ubrzanje sile teže na osnovi mjerenja vremena i duljine, a kod relativnih gravimetara princip rada se temelji na opažanju ili vremena ili duljine. Tehnička izvedba modernih apsolutnih gravimetara temelji se na primjeni metode slobodnog pada. Danas se u svijetu koristi nekoliko modela apsolutnih gravimetara. Prvi apsolutni gravimetar napravljen u

[1] mr. sc. Danko Markovinović, dipl. ing. geod., Katedra za državnu izmjeru, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, e-mail: danko.markovinovic@geof.hr



Slika 1: Apsolutni gravimetar FG-5

više primjeraka 1985. godine bio je Jila-g, konstruiran od američkih stručnjaka Niebauer i Fallera na Joint Institute for Laboratory Astrophysics. Sljedeći gravimetar, proizveden 1993. godine na komercijalnoj osnovi, bio je FG-5 (Faller Gravimeter 5). To je danas jedan od najraširenijih i najtočnijih ($\pm 1-2 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$) apsolutnih gravimetara, gdje se standardi duljine i vremena određuju precizno pomoću lasera i rubidija (Niebauer i dr. 1995; Van Camp, 2003). Proizveden je u tvrtki Micro-g-Solutions, koja pored navedenog gravimetra proizvodi još i modele FG5-L i A-10. Model FG-5L je manji i jednostavniji za uporabu, a model A-10 trenutno je jedini apsolutni gravimetar koji se može koristiti u terenskoj izmjeri, izvan posebno zatvorenih i temperaturno kontroliranih prostorija (Micro-g Solutions, 2006). Ruski stručnjaci u Novosibirsku proizveli su apsolutni gravimetar Gabl (Gravimeter Absolute Ballistic Laser), gdje je trenutno model Gabl-E najtočniji ($\pm 2 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$). Apsolutni gravimetri koriste se kod uspostave osnovnih gravimetrijskih mreža, proučavanja i praćenja Zemljine rotacije, određivanja verti-

kalnih pomaka te pomaka vulkanskih masa, računanja geoida, proučavanja potresa, praćenja Zemljinih plimnih valova, meteorologiji itd.

Superprovodljivi gravimetar (engl. „Superconducting gravimeter“ - SG) je najosjetljiviji i najstabilniji gravimetar na svijetu. Ima točnost jednog dijela u $10-12$ ubrzanja sile teže, a koristi se za precizna mjerenja pomaka Zemljine kore, praćenje plimnih valova i dnevne rotacije Zemlje, kao i za kalibraciju apsolutnih gravimetara (Torge, 2001). Posljednjih nekoliko godina, proizvodnja relativnih gravimetara veže se za dvije tvrtke Scintrex i Lacoste&Romberg, koje su proizvele nekoliko tipova relativnih gravimetara. Tvrtka Lacoste&Romberg proizvela je modele D i G, a Scintrex je proizveo modele CG-3, CG-3M i najnoviji Autograv CG-5 čija je točnost $\pm 5 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ (Scintrex Limited, 2004). Mjerni sustav relativnog gravimetra Scintrex CG-5 Autograv zasniva se na kvarcnom elastičnom sustavu. Sila teža koja djeluje na testnu masu je uravnotežena pomoću opruge i male elektrostatske sile koja vraća testnu masu u početno stanje. Položaj testne mase, koji se određuje pomoću kapacitativnog mjernog pretvarača, mijenja se uslijed promjene iznosa ubrzanja sile teže.

Za potrebe pomorske izmjere, gravimetri se postavljaju u posebno konstruirane držače i komore, čija je prvenstvena zadaća zaštita relativnog gravimetra od nestabilnih mjernih uvjeta. Ta metoda izmjere manje je točna od terestričke izmjere, zahtjevnija je, sporija i izložena velikim izvorima pogrešaka mjerenja.

Zadatak satelitskih misija je dobivanje podatka o gravitacijskom i magnetskom

polju sile teže (Champ), zatim statičkog i dinamičkog modela gravitacijskog polja (Grace) te prikupljanje informacija Zemljina polja sile teže (Goce) metodama satelitske gradiometrije (Hećimović i Bašić, 2005).

4. Gravimetrijske mreže

Gravimetrijske mreže uspostavljaju se u svrhu određivanja vrijednosti ubrzanja sile teže na posebno stabiliziranim gravimetrijskim kontrolnim točkama. U ovisnosti od područja koje pokrivaju dijele se na: a) globalne gravimetrijske mreže kod kojih je udaljenost točaka od 100 do 1 000 km, a zadatak im je uspostava gravimetrijskih referentnih sustava; b) regionalne gravimetrijske mreže kod kojih je udaljenost između točaka od nekoliko km do približno 100 km, a osnovna namjena im je uspostava državnih gravimetrijskih mreža i c) lokalne odnosno mikrogravimetrijske mreže koje imaju međusobnu udaljenost točaka od nekoliko metara pa sve do nekoliko desetaka km, a zadaće su im prvenstveno geofizičke, geološke i geodinamičke prirode.

U slučaju izmjere na državnoj razini, moderna podjela gravimetrijskih mreža, s obzirom na korišteni instrumentarij, dijeli se na: a) apsolutne i b) relativne gravimetrijske mreže. Apsolutnu gravimetrijsku mrežu definiraju točke na kojima je vrijednost ubrzanja sile teže određena apsolutnim gravimetrima. Uobičajeno se nazivaju Gravimetrijskom mrežom 0. reda. Posebna pozornost kod apsolutnih mreža mora se obratiti odabiru lokacija u svrhu apsolutne izmjere. One moraju biti lako dostupne zatvorene



Slika 2: Relativni gravimetar Scintrex CG-5

prostorije s posebno stabiliziranom betonskom podlogom, s konstantnom temperaturom i tlakom, sa stalnim izvorom napajanja i bez bilo kakvih predviđenih budućih građevinskih zahvata u okolišu točke. S obzirom da je uspostava apsolutnih mreža dugotrajan, zahtjevan i skup proces, u svrhu očuvanja apsolutnih gravimetrijskih točaka i njihovih izmjerenih vrijednosti, za svaku apsolutnu točku mora se predvidjeti uspostava tri ekscentara. Točke ekscentara trebaju biti postavljene na udaljenosti od 500 m do 5 km, gdje se relativnom gravimetrijskom izmjerom, uobičajeno metodom zvijezde ili profila, uspostavljaju kontrolne relativne gravimetrijske veze. Na taj način na svakom ekscentru se precizno mjeri i određuje ubrzanje sile teže, s pripadajućim standardnim devijacijama. Uspostava ekscentara je primjer mikrogravimetrijske mreže.

Na gravimetrijsku mrežu 0. reda se naslanja gravimetrijska mreža I. reda. Definiraju se točke na kojima je ubrzanje sile teže određeno relativnim gravimetrijskim mjerenjima. Točke trebaju, koliko god je to moguće, pravilno pokriti teritorij neke

države. Moraju biti pristupačne, u blizini cesta, izvan područja utjecaja mikro-seizmike, u blizini repera nivelmana visoke točnosti u svrhu preciznog određivanja visinske komponente svake točke. Također, trebaju biti kvalitetno i trajno stabilizirane na mjestima gdje nema građevinskih radova, a gornja ploha gravimetrijske točke treba osigurati istovremeno postavljanje dva ili tri relativna gravimetra. Točke su uobičajeno stabilizirane betonskim stupovima 50 x 50 x 100 cm, uklesanim križem ili uklesanim kvadratom na stijeni s pripadajućim slovom GT, kao oznaci gravimetrijske točke (Bašić i dr. 2004; Markovinović, 2001).

Na gravimetrijsku mrežu I. reda, nastavlja se mreža II. reda, a po potrebi i nižih redova. Sve postavljene i definirane točke u gravimetrijskim mrežama moraju osigurati kvalitetno i pouzdano određivanje ubrzanja sile teže.

Također, važno je naglasiti da je gravimetrijski datum definiran direktno preko apsolutnih gravimetrijskih mjerenja, a realizacija gravimetrijskog referentnog sustava obavlja se putem relativnih gravimetrijskih mjerenja.

U svrhu kontrole, eliminiranja sustavnih pogrešaka i definiranja jedinstvenog mjerila gravimetrijske izmjere relativnog gravimetra potrebno je uspostaviti horizontalnu gravimetrijsku kalibracijsku bazu. Postavlja se u smjeru sjever-jug na teritoriju neke države. Obuhvaća točke gravimetrijske mreže 0. i I. reda, a po mogućnosti treba obuhvatiti točke s većim visinskim razmakom. Na početku i kraju baze trebaju se nalaziti apsolutne gravimetrijske točke (Bašić i dr. 2005).

5. Uspostava gravimetrijskih mreža u RH

Nakon osamostaljenja Republika Hrvatska morala je krenuti s definiranjem osnovnih gravimetrijskih radova od samog početka. To se odnosi na odabir lokacija i stabilizaciju točaka te na potrebna apsolutna i relativna gravimetrijska mjerenja u okviru Osnovne gravimetrijske mreže i računanje definitivnih vrijednosti ubrzanja sile teže na odabranim točkama 0. i I. reda.

U razdoblju od 1996. do 2000. godine, Republika Hrvatska uspostavila je Gravimetrijsku mrežu 0. reda. Definira je šest točaka (Osijek, Zagreb-Puntijarka, Zagreb-Maksimir, Pula, Makarska i Dubrovnik). Apsolutnim gravimetrijskim mjerenjima određene su vrijednosti ubrzanja sile teže uporabom apsolutnog gravimetra FG-5, od strane stručnjaka iz Njemačke (BKG) i Francuske (EOST). Nažalost, točka u Makarskoj je uništena te je obavezna njena ponovna uspostava na istoj ili rezervnoj lokaciji (Bašić i dr. 2001).

U svrhu očuvanja postojećih apsolutnih gravimetrijskih točaka za svaku apsolutnu točku uspostavljena su tri ekscentra. Relativnim gravimetrijskim mjerenjima 2005. i 2006. godine definirane su mikrogravimetrijske mreže na lokacijama apsolutnih točaka i na taj način pouzdano i precizno određene vrijednosti ubrzanja sile teže na ekscentričnim točkama.

Gravimetrijska mreža I. reda Republike Hrvatske sastoji se od 36 točaka postavljenih na kopnenom dijelu Republike Hrvatske. U razdoblju od lipnja do kolovoza 2003. godine obavljene su gravimetrijske veze uporabom 3 relativna gravimetra

i to dva Scintrex CG-3M te jednim Scintrex CG-5. Zastvoreno je ukupno 50 gravimetrijskih figura. Prosječna udaljenost između točaka je 53 km. Zajedničkim izjednačenjem 540 gravimetrijskih razlika ostvarenih sa sva tri relativna gravimetra dobivene su točne i pouzdane vrijednosti ubrzanja sile teže na točkama Gravimetrijske mreže I. reda.

Horizontalnu kalibracijsku bazu definira 11 gravimetrijskih točaka. Početak (Zagreb-Puntijarka) i kraj (Dubrovnik) čine apsolutne gravimetrijske točke, što daje posebnu težinu i kvalitetu uspostavljenoj horizontalnoj kalibracijskoj bazi.

6. Zaključak

Obavljena apsolutna gravimetrijska izmjera (6 točaka) i relativna gravimetrijska mjerenja u okviru mreže I. reda (36 točaka) omogućila su realizaciju IGSN71 (International Gravity Standardisation Network 1971) gravime-

trijskog referentnog sustava na području Republike Hrvatske, a predstavlja ga Hrvatska osnovna gravimetrijska mreža – HOGM. Uspostavljene Gravimetrijske mreže 0. i I. reda predstavljaju dobru osnovu za daljnje gravimetrijske radove te proučavanje Zemljina polja sile teže na teritoriju naše države.

Literatura

- Bašić, T. (2001): Fizikalna geodezija I. Skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

- Bašić, T., Markovinović, D., Rezo, M., Hećimović, Ž. (2001a): Studija stanja i prijedlog nove Osnovne gravimetrijske mreže Republike Hrvatske, Prijedlog projekta za DGU, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

- Bašić, T.; Markovinović, D.; Rezo, M. (2004): Tehničko izvješće o obavljenim radovima na projektu "Stabilizacije točaka mikrogravimetrijskih mreža na pet apsolutnih gravimetrijskih točaka I. faza"

Naručitelj projekta: Državna geodetska uprava Republike Hrvatske. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku, Zagreb, rujan 2004.

- Hećimović, Ž; Bašić, T. (2005): CHALLENGING Minisatellite Payload (CHAMP) satelitska misija. Geodetski list. God 59(82), broj 2, str. 129-147. Zagreb, lipanj 2005.

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

- Markovinović, D. (2001): Gravimetrijska mreža I. reda i kalibracijska baza Republike Hrvatske. Magistarski rad. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, str. 1-119, Zagreb

- Micro-g Solutions, Inc. (2006): A-10 Portable Gravimeter. User's Manual, January 2006.

- Niebauer, T., M., Sasagawa, G. S., Faller, J.E., Hilt, R., Klotting, F. (1995): A new generation of absolute gravimeters, Metrologia, Vol.32, 159-180.

- Scintrex Limited (2004): Scintrex CG-5. Short form manual, Canada, Concord, Ontario.

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

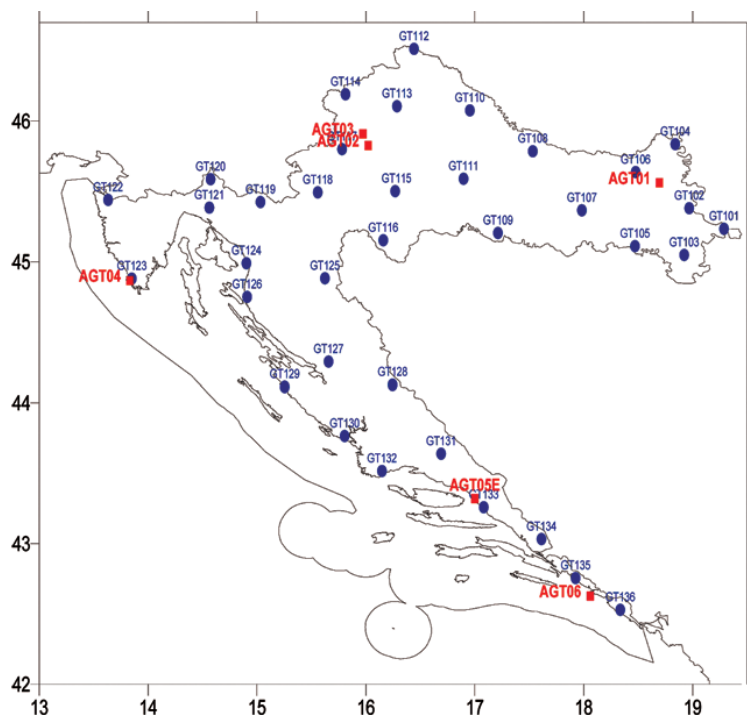
Torge, W. (2001): Geodesy. Walter de Gruyter, Berlin, New York.

- Van Camp, M. (2003): Tsoft Manual Ver. 2.0.8. Royal Observatory of Belgium, Bruxelles, Belgium.

URL 1: <http://www.bipm.fr/en/si/> (07.11.2006.)

URL 2: <http://www.iugg.org/> (07.11.2006.)

URL 3: <http://www.iag-aig.org/> (07.11.2006.) ■



Slika 3: Osnovna gravimetrijska mreža Republike Hrvatske