

# APSOLUTNA GRAVIMETRIJA

## ABSOLUTE GRAVIMETRY

*Jusuf Topoljak, Džanina Omićević*

### SAŽETAK

*U radu je izložena problematika jedinica za ubrzanje sile teže, referentnih sistema za ubrzanje sile teže, da bi se nakon toga dao kratki osvrt na instrumente koji nam omogućuju apsolutno određivanje ubrzanja sile teže tj određivanje ubrzanja sile teže u punom iznosu. Od mnoštva danas na tržištu dostupnog instrumentarija prikazani su apsolutni gravimetri FG5, FG5L i A10.*

### ABSTRACT

*Abstract: The paper presents problems of gravity units, the reference system for the acceleration of gravity, that is then gave a brief overview of the instruments that allow us the absolute determination of gravity, ie the determination of gravity in the full amount. Among many instruments available on the market today, absolute gravimeters FG5, FG5L and A10 are shown.*

## 1. UVOD

Zadatak geodezije je izučavanje Zemlje kao planete i to izučavanje se nikada ne prekida, pa se slobodno može reći da se teorija, matematički aparat, instrumenti za mjerenje te teorija mjerenje i tehnologija njihove obrade stalno usavršavaju. Zahvaljujući sve većoj količini sve tačnijih mjerenih podataka i mogućnosti njihove brze i jedinstvene obrade uspijevamo:

- dobiti sve tačnije parametre oblika i dimenzija Zemlje i koordinate tačaka u njezinom prostoru,
- ponovljenim eksperimentom otkriti njihove male promjene sa vremenom,
- utvrditi da na rezultate mjerenja utiče čitav skup pojava vezanih za sastav, fiziku i dinamiku Zemlje

Na osnovu ovakvih rezultata naučnici drugih geonauka zaključuju o procesima i pojavama vezanim za Zemlju, njenu građu, osobine i život. Upravo zbog ovoga geodezija je postala nezaobilazan učesnik geodinamičkih naučnih projekata, bilo da se radi o istraživanjima globalnih, regionalnih ili tehnogenih pojava (Muminagić 1987). Imajući u vidu naprijed izloženu materiju jedna od oblasti kojom se geodezija detaljno bavi predstavlja i određivanje ubrzanja sile teže. Gravimetrijski podaci se koriste za analiziranje i praćenje aktivnosti vulkana jer se smatra da kombinacija relativnih i apsolutnih gravimetrijskih opažanja najkompletnije i najpouzdanje omogućava praćenje ovih pojava.

## 2. JEDINICE ZA UBRZANJE SILE TEŽE

Ubrzanje sile teže  $g$ , čiji se intenzitet ili gradijenti na Zemljinoj površini mjere, sadrži informacije o mjestu mjerenja, o rasporedu masa u Zemljinoj unutrašnjosti i, u slučaju ponovljenih mjerenja, o vremenskim varijacijama Zemljinog tijela (Bašić, 2006).

U SI sistemu jedinica za ubrzanje sile teže je  $\text{m/s}^2$ , a za komponente gradijenta ubrzanja sile teže  $1/\text{s}^2$ . U realizaciji praktičnih projekata koriste se manje jedinice, a to su:

$$1 \mu \text{ m/s}^2 = 10^{-6} \text{ m/s}^2 \text{ i } 1 \text{ n m/s}^2 = 10^{-9} \text{ m/s}^2$$

Iako se najčešće koriste ove službene jedinice u geodeziji i geofizici su se zadržale i stare jedinice:

$$1 \text{ mgal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2 \text{ i } 1 \mu \text{ gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2,$$

koje su izvedene od jedinice  $1 \text{ gal} = 1 \text{ c m/s}^2$ .

Važno je pomenuti da se u englesko-američkoj literaturi koristi jedinica  $1 \mu \text{ m/s}^2$  (jedinica za ubrzanje sile teže; engl. gravity unit).

Što se tiče metoda mjerenja ubrzanja sile teže može se reći da postoji apsolutni način (određuje se dužina i vrijeme) i relativni način (određuje se dužina ili vrijeme) mjerenja ubrzanja sile teže.

## 3. REFERENTNI SISTEMI ZA UBRZANJA SILE TEŽE

Glavni zadatak jednog referentnog sistema za ubrzanje sile teže je da ukloni tzv. datumske defekte koji se javljaju kod mjerenja ubrzanja sile teže (apsolutni nivo ubrzanja sile teže, kalibracioni parametri), kao i da omogući prepoznavanje grubih i sistematskih grešaka. Referentni sistem za ubrzanje sile teže realizovan je obično uz pomoć poznatih vrijednosti ubrzanja sile teže u tačkama koje čine taj sistem (Bašić 2006)

Uspostavljena su tri referentna sistema za silu teže:

- Bečki sistem za silu teže koji je uveden na 13. općoj konferenciji "Internationale Erdmessung", u Parizu 1900. godine i veže rezultate na vrijednost ubrzanja sile teže na referentnoj tački u Vojnogeografskom institutu u Beču, koja iznosi  $G=9,80876 \text{ m/s}^2$ .
- Potsdamski sistem za silu teže usvojen je na 16. općoj konferenciji "Internationale Erdmessung" u Londonu 1909. godine. Temelji se na apsolutnom određivanju vrijednosti ubrzanja sile teže na Geodetskom institutu u Potsdamu 1900. godine (Kuhar, 2001). Uvođenjem ovog sistema Bečki sistem je doživio korekciju od  $-0,00016 \text{ m/s}^2$ .
- Internacionalna gravimetrijska standardna mreža 1971 (IGSN71) je uvedena tokom održavanja XV. IUGG generalne skupštine u održane 1971. godine u Moskvi IUGG-rezolucijom br. 16.

### Apsolutno određivanje ubrzanja sile teže

Pod apsolutnim određivanjem ubrzanja sile teže podrazumijevamo određivanje ubrzanja sile teže u potpunom iznosu, a to se po teoretskim zahtjevima svodi na mjerenja dužine i vremena. Opaža se ustvari slobodno gibanje nekog senzora u polju sile teže Zemlje (Bašić, 2006).

Danas u svijetu mnoštvo firmi koje proizvode različite vrste i tipove uređaja za apsolutno određivanje ubrzanja sile teže nazvanih APSOLUTNI GRAVIMETRI.

Apsolutni gravimetri razvijani su početkom pedesetih godina prošlog milenija, a naravno i danas se sve više usavršavaju tako da omogućuju direktno određivanje vrijednosti sile teže s tačnošću od  $\pm 1 \dots \pm 10 \mu\text{gal}$  ( $\approx 10^{-9} \dots 10^{-8}$ ). Pri tome se opaža visina neke, u vakuumu slobodno gibajuće mase u zavisnosti od vremena. U narednom izlaganju će biti prikazani neki od mnogih danas na tržištu dostupnih apsolutnih gravimetara.

### 3.1. APSOLUTNI GRAVIMETAR FG5

Apsolutni gravimetar FG 5 (firma La-Coste Romberg) jedan je od u svijetu često korištenog gravimetra za apsolutno određivanje ubrzanja sile teže. Gravimetar je prikazan na sljedećim slikama:



Slika 1: Gravimetar FG5 (Forsberg i dr, 2005)

#### - Karakteristike gravimetra FG5 (URL1)

Karakteristike samog instrumenta su:

- automatsko registrovanje podataka,
- mogućnost obrade i čuvanja svih mjerenih podataka,
- mogućnost kontrolisanja uslova rada uključujući automatsko regulisanje barometrijskog pritiska i temperature,
- evidentiranje gravitacionih korekcija za plimu i oseku, kretanje polova i atmosfersko privlačenje,

- frekvencija stabilisana HeNe laserom,
- instrument snabdjeven rubidijumskim atomskim satom,
- instrument je snabdjeven jon-vakumskom pumpom kao i baterijom za napajanje instrumenta.

Tehnički podaci:

- Transportna težina: 320 kg u 6 kontejnera,
- Zapremina instrumenta sa pratećom opremom 1,5 m<sup>3</sup>,
- Površina koju zauzima instrument je oko 3 m<sup>2</sup>,
- Napajanje 110-240 V, 50-60 Hz,
- Potrebna električna snaga 500 W.

Mogućnost postizanja rezultata:

- tačnost 10 n m/s<sup>2</sup>,
- mogućnost rada pri temperaturama od 10° C do 30° C.

### - Princip rada

Apsolutni gravimetar FG5 koristi metodu slobodnog pada za apsolutno određivanje ubrzanja sile teže. Kod ovog načina apsolutnog određivanja ubrzanja sile teže objekat koji je slobodno padajuće tijelo postavljen je u vakuumsku komoru. Padanje slobodno padajućeg objekta je kontrolisano vrlo tačnim laserskim interferometrom koji mjeri dužinu.

Optičke granice obezbjeđuje interferometar koji vrlo precizno mjeri dužinu slobodno padajuće trajektorije. Kako je potrebno za apsolutno određivanje ubrzanja sile teže poznavati i vrijeme koliko je trajao slobodan pad u tu svrhu je u instrument ugrađen vrlo precizni atomski rubidijumski sat.

### - Primjena instrumenta

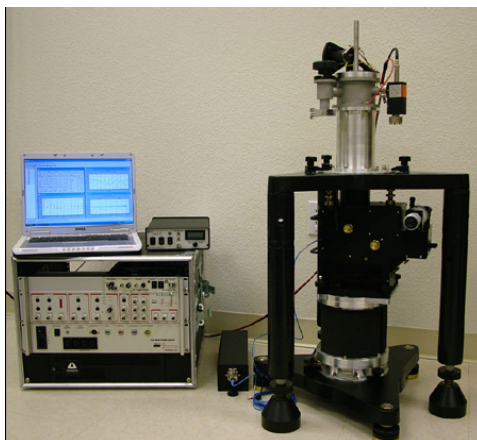
Obzirom da je za razna naučna istraživanja potrebno imati podatke o gravitacionom polju Zemlje odnosno podatak o vrijednosti ubrzanja sile teže na različitim mjestima na Zemljinoj površini ovaj instrument je našao vrlo veliku primjenu u različitim naučnim projektima:

- Otkrivanje i analiziranje vertikalnih pomjeranja Zemljine kore,
- Zajedničko verificiranje pomicanja zemljine kore sa GPS i VLBI tehnologijom ,
- Praćenje kretanja vulkanske aktivnosti,
- Analiziranje posljedica glečerskih tokova,
- Dizanje i spuštanje površine Zemlje,
- Praćenje plimskih uticaja na zemljinu površinu,
- Mogućnost analiziranja nivoa svjetskog mora kao i razmatranje problema globalnog zagrijavanja,
- referentne gravimetrijske stanice na cijeloj Zemljinoj površini radi prikupljanja i analiziranja gravimetrijskih podataka,
- pomoć pri razvijanju relativne gravimetrijske mreže kontrolnih tačaka,
- definiranje geoida na određenom dijelu Zemljine površine.

Činjenica da su mjerenja dobivena ovim gravimetrom vezana za apsolutne standarde iste mogu koristiti nacionalne i međunarodne laboratorije u cijelom svijetu i to je upravo razlog što apsolutni gravimetar FG5 ima veliku primjenu.

### 3.2. APSOLUTNI GRAVIMETAR FG5L

Apsolutni gravimetar FG5L prikazuje sljedeća slika



*Slika 2: Apsolutni gravimetar FG5L. (URL1)*

Karakteristike instrumenta su:

- jednostavan za rukovanje sa visokim stepenom automatike,
- pravilnog oblika,
- niska cijena,
- posjeduje softver za potrebne redukcije ubrzanja sile teže,
- poboljššan u mnogome u odnosu na apsolutni gravimetar FG5.

Tehničke karakteristike:

- tačnost 10  $\mu$ Gal,
- Napajanje 110-240 V, 50-60 Hz. (URL1)

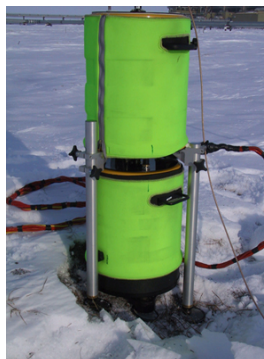
### 3.3. APSOLUTNI GRAVIMETAR A10

Apsolutni gravimetar A10 je apsolutni gravimetar prilagođen za brzo dobijanje podataka kao i jednostavno rukovanje. Odlikuje se visokom preciznosti, visokom tačnosti i jednostavan je za transport što ima za posljedicu da daje mogućnost primjene i korištenja u teškim uslovima, a posebno van gradskog područja i to na mjestima gdje su atmosferske prilike nepovoljne odnosno gdje je instrumenet izložen različitim uticajima kao što su sunčeva toplota, snijeg i vlaga.

Instrument je prikazan na sljedećim slikama kao i njegova primjena u različitim atmosferskim uslovima na različitim dijelovima zemljine površine.



A-10 apsolutni gravimeter korišten u Australiji, 2003. godine (+30C). (URL 1)



A-10 apsolutni gravimeter korišten na Aljasci, 2003. godine (-40C). (URL1)

*Slika 3: Gravimeter A10 u različitim uslovima*

#### - Karakteristike gravimetra A10

Karakteristike samog instrumenta su:

- jednostavan za rukovanje,
- pravilnog (cilindričnog) oblika,
- zastupljen visok nivo automatizacije u vežini segmenata rada,
- mogućnost kontrolisanja temperature pomoću senzora,
- koristi baterije za napajanje,
- idealan za rad pored ceste i to iz vozila ,
- sve potrebne popravke ubrzanja sile teže se mogu dobiti softverski.

Mogućnost postizanja rezultata

- tačnost 10  $\mu$ Gal,
- preciznost 15  $\mu$ Gal za 10 minuta mjerenja u mirnom položaju. (URL1)

Kao i ostali apsolutni gravimetri ovaj gravimeter koristi slobodnopadajuće tijelo u vakuumu, naravno uz mjerenje vremena slobodnog padanja kao i dužine putanje slobodno-padajućeg tijela. Instrument koristi precizni laser za mjerenje dužine i atomski sat za mjerenje vremena tako da se mjerene vrijednosti dobijaju u jedinicama SI sistema. Sve dobijene vrijednosti su visoke preciznosti jer je instrument ispitan u posebnim laboratorijama.

## 4. ZAKLJUČAK

Danas je vrlo značajno određivanje ubrzanja sile teže za potrebe geodezije i geofizike, kako u kontinentalnom tako i u teško pristupačnim područjima. Za rješavanje gravimetrijskih problema mogu svakako pomoći gravimetrijska mjerenja na morskome dnu i u bušotinama.

Premjer velikih područja može se izvesti instaliranjem gravimetara na pomičnim platformama (brod, helikopter, avion), kada treba računati sa znatnim poremećajnim ubrzanjima uslijed udaraca, kao i u inercijalnim ubrzanjima uslijed brzine gibanja.

U današnje vrijeme imamo razvijen instrumentarij koji nam omogućava brzo, jednostavno i naravno sa visokom tačnošću apsolutno određivanje vrijednosti ubrzanja sile teže.

## LITERATURA

D Agostino, G., Desogus, S., Germak, A., Oligirija, C., Quagliotti, D., Berrino, G., Corrado, G., d'Erico, V., Ricciardi, G. (2008): The new IMGC 02 transportable absolute gravimeter: measurement apparatus and applications in geophysics and volcanology, *Annals of geophysics*.

Bašić, T.: Fizikalna geodezija (skripta), Geodetski fakultet, Zagreb 2004.

Forsberg, R., Sideris, M.G., Shum, C.K. (2005): The gravity field and GGOS, *Journal of geodynamics*.

Kuhar, M. (2001): Geofizika, skripta, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana .

Muminagić, A. (1987): Viša geodezija II, Građevinski fakultet u Sarajevu.

Pálinkáš, V., Kostelecký, J. (2001): Absolute Gravimeter FG5 NO.215 at the geodetic observatory Pecný, 50 years of the Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography, Pecný.

[URL1]: Proizvođač gravimatar  
<http://www.lacostromberg.com/>  
(15.07.2006.)

### *Autori:*

#### ***Jusuf Topoljak, dipl.inž.geod.***

Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu  
Patriotske lige 30, 71000 Sarajevo  
Bosna i Hercegovina  
E-mail: jusuf\_topoljak@gf.unsa.ba

#### ***Mr.sc. Džanina Omićević, dipl.inž.geod.***

Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu  
Patriotske lige 30, 71000 Sarajevo  
Bosna i Hercegovina  
E-mail: dzanina\_omicevic@gf.unsa.ba