

UDK 528.563.026.2:550.831:528.41(497.5)
Pregledni znanstveni članak

Prijedlog dopune gravimetrijske mreže 0. reda Republike Hrvatske

Marija REPANIĆ, Ilija GRGIĆ, Tomislav BAŠIĆ – Zagreb¹

SAŽETAK. U radu je dan prijedlog dopune gravimetrijske mreže 0. reda Republike Hrvatske. Dan je pregled važećih domaćih propisa i međunarodnih standarda relevantnih za uspostavu gravimetrijske mreže 0. reda, stabilizaciju apsolutnih gravimetrijskih točaka te uspostavu ECGN postaja. Analizirano je stanje postojeće gravimetrijske mreže 0. reda. Utvrđeno je da gravimetrijska mreža 0. reda obuhvaća nedovoljan broj (četiri) pouzdano određenih apsolutnih točaka koje zadovoljavaju međunarodne kriterije za stabilizaciju apsolutnih gravimetrijskih točaka. Također, apsolutna gravimetrijska mjerenja na točkama 0. reda obavljena su prije 13, odnosno 17 godina (ovisno o točki) pa je nužno što prije obaviti novu seriju apsolutnih mjerenja. Nadalje, dan je prijedlog dopune gravimetrijske mreže 0. reda s četiri (ili alternativno tri) nove točke (u Čakovcu, Zaboku, Gospiću i Splitu) i predložena je lokacija u Rovinju za premještanje postojeće točke u Puli. Prijedlogom za dopunu vodilo se računa da točke gravimetrijske mreže 0. reda ujedno posluže i za uspostavu nove horizontalne i vertikalne gravimetrijske kalibracijske baze, te da omogućue uspostavu jedne do dvije ECGN postaje na hrvatskom teritoriju.

Ključne riječi: gravimetrijske mreže, gravimetrijska mreža 0. reda, apsolutna gravimetrija, ECGN, gravimetrijska kalibracijska baza.

1. Uvod

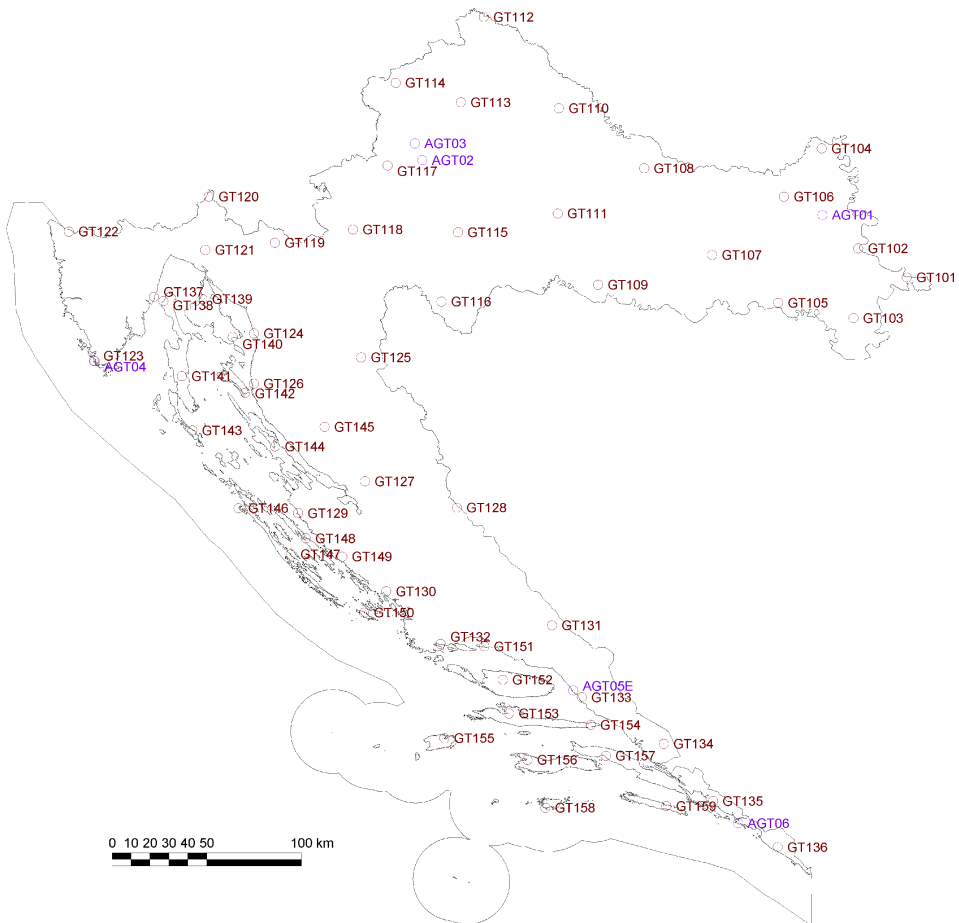
Sukladno Pravilniku o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova (Narodne novine 2009), osnovnu mrežu stalnih gravimetrijskih točaka geodetske osnove Republike Hrvatske čini gravimetrijska mreža 0., I., i II. reda. Nadalje, gravimetrijska mreža 0. reda služi kao osnova za razvijanje gravimetrijskih mreža nižih redova te omogućava sigurno održavanje gravimetrijskog datuma.

Osnovna gravimetrijska mreža Republike Hrvatske (u nastavku OGM) izvorno je obuhvaćala 6 točaka 0. reda, na kojima je ubrzanje sile teže određeno apsolutnim gravimetrijskim mjerenjima u razdoblju od 1996. do 2000. godine i 36 točaka

¹ mr. sc. Marija Repanić, Državna geodetska uprava, Gruška 20, HR-10000 Zagreb, e-mail: marija.repanic@dgu.hr, dr. sc. Ilija Grgić, Državna geodetska uprava, Gruška 20, HR-10000 Zagreb, e-mail: ilija.grgic@dgu.hr, prof. dr. sc. Tomislav Bašić, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: tomlislav.basic@geof.hr.

I. reda čije su vrijednosti ubrzanja sile teže određene 2003. godine na temelju vrijednosti točaka 0. reda i relativnih gravimetrijskih mjerenja OGM-a (Barišić i dr. 2008). Međutim, do sada je potpuno uništena jedna apsolutna gravimetrijska točka, dok su tri točke I. reda znatno oštećene. Dizajn OGM-a, odabir metoda mjerenja, izmjeru i izjednačenje mreže obavio je Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu za potrebe Državne geodetske uprave (u nastavku DGU), dok je određivanje položaja i visine točaka I. reda obavio Hrvatski geodetski institut (u nastavku HGI).

HGI je od 2007. do 2010. godine za potrebe DGU-a obavio proširenje OGM-a na značajnije otoke hrvatskog dijela Jadrana. Proširenje je obavljeno u tri faze, od kojih svaka pokriva određenu teritorijalnu cjelinu. Nakon proširenja OGM obuhvaća 6 točaka 0. reda te 59 točaka I. reda (slika 1). Dakle, proširenje uključuje 23 nove točke I. reda, od kojih je 18 točaka stabilizirano na otocima, jedna točka na poluotoku Pelješcu te 4 točke na kopnu.



Slika 1. Točke osnovne gravimetrijske mreže RH nakon proširenja na otoke.

HGI je 2008. godine započeo uspostavu gravimetrijske mreže II. reda na temelju Projekta uspostave gravimetrijske mreže II. Reda, izrađenog u HGI-u 2007. godine. Sukladno Projektu, mreža II. reda obuhvaćat će 206 novih točaka, koje će se relativnim gravimetrijskim mjerenjima povezati s postojećim točkama OGM-a. Nakon ukidanja HGI-a preuzeo ga je DGU 2010. godine, koji nastavlja radove na uspostavi gravimetrijske mreže II. reda.

Kao pripremu za novi ciklus apsolutne gravimetrijske izmjere gravimetrijske mreže 0. reda, HGI je 2010. godine za potrebe DGU-a izradio studiju o stanju i prijedlog za dopunu gravimetrijske mreže 0. reda i gravimetrijske kalibracijske baze Republike Hrvatske. Prijedlogom za dopunu vodilo se računa da točke gravimetrijske mreže ujedno posluže i za uspostavu nove horizontalne i vertikalne gravimetrijske kalibracijske baze, te da omogućuće uspostavu jedne do dvije postaje Europske kombinirane geodetske mreže (engl. *European Combined Geodetic Network* – ECGN) na hrvatskom teritoriju. U ovom radu dan je pregled činjenica relevantnih za dopunu gravimetrijske mreže 0. reda utvrđenih studijom.

2. Međunarodni standardi i važeći propisi RH

2.1. Gravimetrijska mreža 0. reda

Gravimetrijske mreže 0. reda, čije su točke u pravilu mjerene apsolutnim gravimetrima, definiraju datum državne mreže te služe za praćenje vremenskih promjena ubrzanja sile teže na temelju ponovljenih opažanja (Csapó i dr. 2003).

Pravilnikom o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova (Narodne novine 2009) utvrđeno je da je na gravimetrijskim točkama 0. reda potrebno provesti apsolutna gravimetrijska mjerenja najmanje jednom u 10 godina.

Ovisno o veličini teritorija i financijskim mogućnostima gustoća točaka gravimetrijskih mreža 0. reda razlikuje se od države do države. Prema Torgeu (1989) udaljenost između gravimetrijskih točaka 0. reda iznosi od 100 do 300 km. Treba imati na umu da je taj podatak bio aktualan prije više od 20 godina, te da danas europske države, sukladno svojim mogućnostima, teže većoj gustoći točaka 0. reda. Tako se npr. mađarska mreža 0. reda sastoji od 15 točaka mjerenih apsolutnim gravimetrima koje su međusobno udaljene 100 do 120 km, što osigurava gustoću od 1 točke na 6400 km² (Csapó i dr. 2003); slovenska od 6 točaka (Medved i dr. 2009), dakle s gustoćom od 1 točke na 3400 km²; švicarska se sastojala od 5 točaka do 2003. godine, kada su otpočeli radovi na reopažanju postojećih i uspostavi novih točaka 0. reda (Marti i dr. 2007).

2.2. Kriteriji za stabilizaciju apsolutnih gravimetrijskih točaka

Pravilnikom o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova (Narodne novine 2009) utvrđeno je da se točke 0. reda stabiliziraju u skladu s međunarodnim preporukama, te da ih je potrebno osigurati s najmanje 3 ekscentra.

Pri izboru lokacije apsolutne gravimetrijske točke treba poštovati sljedeće međunarodne kriterije (Torge 1989, IAG 2003):

- 1) Lokacija mora biti geološki i seizmički stabilna.
- 2) Lokacija mora biti hidrološki stabilna (male varijacije podzemnih voda, udaljene nekoliko kilometara od rijeka i obala).
- 3) Treba izbjegavati lokacije s visokom razinom umjetne mikroseizmike (uzrokovane strojevima, dizalicama, željeznicom ili frekventnim cestama).
- 4) Točku treba smjestiti na najnižem katu postojane zgrade. Zgrada mora biti starija od 10 godina, a veći građevinski radovi ne bi se trebali očekivati nekoliko idućih desetljeća.
- 5) Zgrada mora biti lako dostupna i pod nadzorom lokalne ispostave geodetske uprave ili znanstvene institucije.
- 6) Točka mora biti smještena u zasebnoj prostoriji s električnim priključkom (220 V, 1 kW), veličine najmanje 2×2 m, visine najmanje 2 m, s vratima minimalne širine 80 cm.
- 7) Potrebno je osigurati stabilnu podlogu za postavljanje instrumenta veličine 1×1 m, horizontalnu do 1 cm/m (po mogućnosti zasebni stup na živom kamenu ili direktno na stabilnim temeljima zgrade), bez ikakvih podnih obloga, udaljenu najmanje 60 cm od zidova.
- 8) Treba osigurati postojanu temperaturu u prostoriji između 15 i 25 °C, s maksimalnim promjenama od 1 °C/h i 5 °C/dan.
- 9) Preporuča se postavljanje pijezometra za mjerenje razine podzemnih voda u blizini točke.
- 10) Točku je potrebno povezati s državnom položajnom i visinskom mrežom.
- 11) Potrebno je obavljati lokalnu kontrolu relativnim gravimetrijskim vezama na ekscentrične točke, tj. točke osiguranja.

2.3. ECGN postaje

Europska kombinirana geodetska mreža (ECGN) trebala bi poslužiti kao realizacija europskoga kinematičkoga referentnog sustava (IAG 2003). ECGN mrežom bi se, kroz povezivanje prostornih i visinskih referentnih sustava s procjenom parametara Zemljina gravitacijskog polja, omogućilo povećanje točnosti referentnih sustava. ECGN mreža trebala bi objединiti vremenske serije prostornih, geometrijskih opažanja (GNSS, Galileo) s opažanjima i parametrima Zemljina gravitacijskog polja (ubrzanje sile teže, plimni valovi, utjecaj oceana) te dopunskim informacijama (meteorološkim i drugim podacima).

Na svim ECGN postajama kombiniraju se sljedeća mjerenja (IAG 2003):

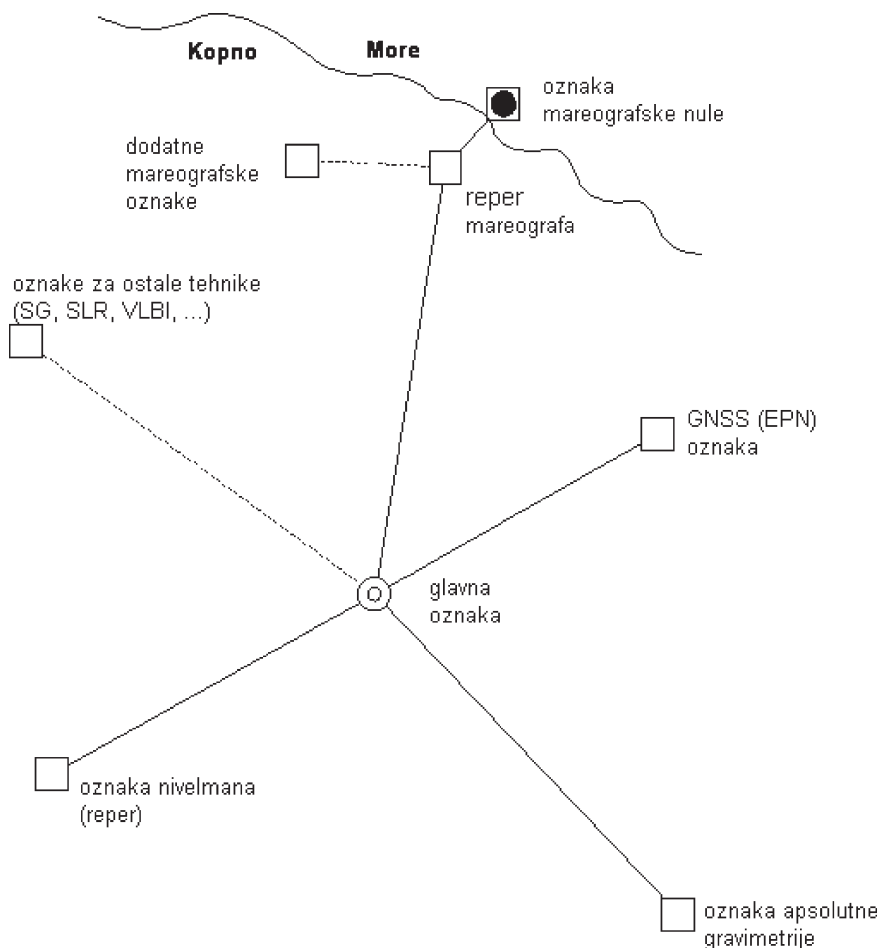
- određivanje položaja pomoću GNSS-a na 10^{-9} i bolje (permanentna mjerenja)
- ubrzanja sile teže apsolutnim gravimetrima na $0,01 \mu\text{ms}^{-2}$ (ponavljana mjerenja)
- fizikalne visine (nivelmanska veza na *European Vertical Reference System* – EVRS, tj. repere *United European Levelling Network* – UELN-a) na 1 mm/km (ponavljana mjerenja).

K tome, na nekim od ECGN postaja prikupljaju se i dodatni podaci:

- plimni valovi i promjene morske razine (permanentna mareografska mjerenja)
- visokofrekventne varijacije ubrzanja sile teže (permanentna opažanja supravodljivim gravimetrima)
- koncentracija vlage u atmosferi (permanentna mjerenja radiometrima).

Dopunski podaci uključuju ciklička opažanja veza između referentnih točaka lokalne mreže te permanentna mjerenja meteoroloških parametara i razine podzemnih voda.

Referentne točke različitih mjerenja na jednoj ECGN postaji čine lokalnu mrežu (slika 2). One se trebaju nalaziti u krugu od 1 km, a veze između njih trebaju se odrediti s preciznošću od 1 mm za sve tri prostorne komponente (IAG 2003, URL 1).



Slika 2. *Primjer lokalne mreže referentnih točaka različitih mjerenja ECGN postaje (prema URL 1).*

Apsolutne gravimetrijske točke koje su sastavni dio ECGN postaja moraju zadovoljiti međunarodne kriterije navedene u poglavlju 2.2. K tome, apsolutna gravimetrijska mjerenja moraju biti preciznosti od 0,02 do 0,05 μms^{-2} , moraju se ponavljati svakih 12 do 24 mjeseca, a apsolutni gravimetri kojima se obavljaju moraju biti uključeni u usporedbe apsolutnih gravimetara (IAG 2003).

GNSS točke moraju zadovoljiti kriterije za EPN (*EUREF Permanent Network*) postaje, a mareografska mjerenja standarde međunarodnih centara za morsku razinu, kao što su PSMSL (*Permanent Service for Mean Sea Level*), ESEAS (*European Sea Level Service*), itd.

U Republici Hrvatskoj za sada nije uspostavljena ni jedna ECGN postaja.

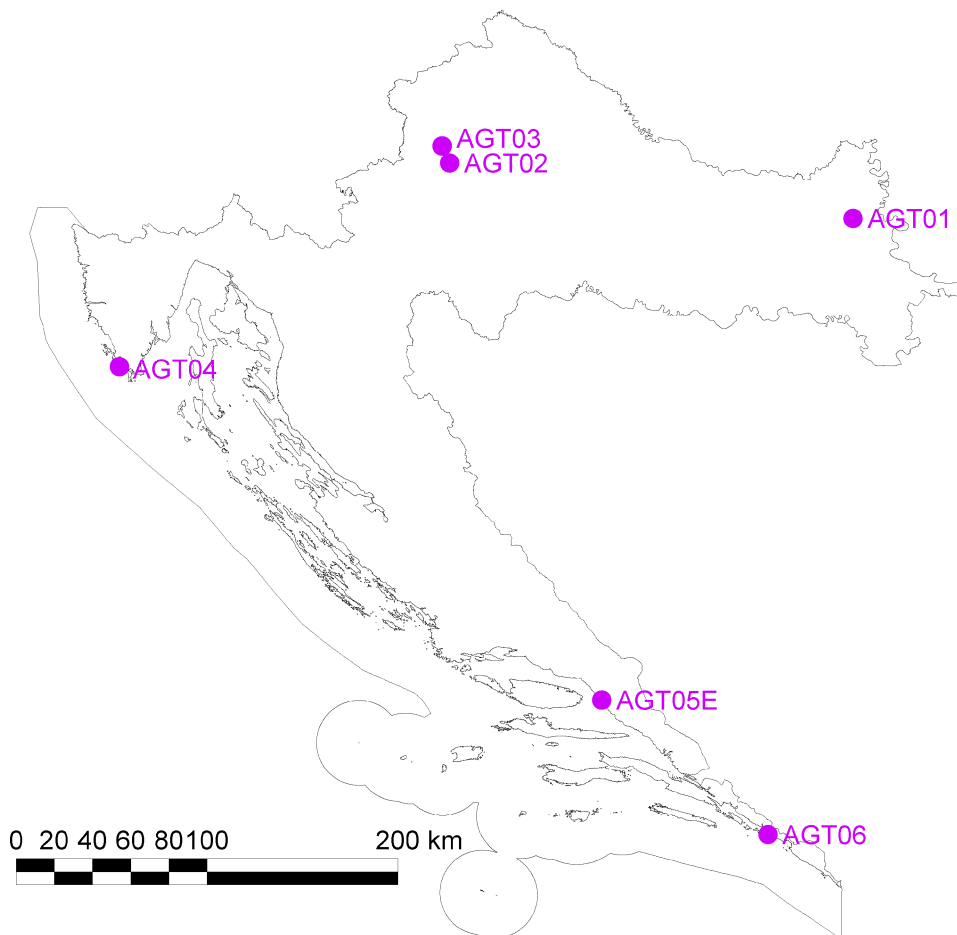
3. Stanje gravimetrijske mreže 0. reda RH

Gravimetrijska mreža 0. reda Republike Hrvatske (slika 3) sastoji se od 6 točaka: AGT01 (Osijek), AGT02 (Zagreb – Maksimir), AGT03 (Zagreb – Puntijarka), AGT04 (Pula), AGT05E (Makarska) i AGT06 (Dubrovnik) (Bašić i dr. 2006a). Treba napomenuti da je točka AGT05 (Makarska) na kojoj su obavljena mjerenja apsolutnim gravimetrom uništena preuređenjem atomskog skloništa hotela Bio-kovka pa je umjesto nje u gravimetrijsku mrežu 0. reda uključen njezin ekscentar AGT05E, na kojem nisu obavljena apsolutna mjerenja (Bašić i dr. 2006a). Vrijednost ubrzanja sile teže na toj točki određena je na temelju relativnih gravimetrijskih mjerenja izjednačenjem OGM-a, dakle na isti način kao i vrijednosti gravimetrijskih točaka I. reda. Tablica 1 sadrži podatke o točkama 0. reda.

Tablica 1. Koordinate i ubrzanje sile teže gravimetrijskih točaka 0. reda.

Broj točke	Ime točke	φ (HTRS96)	λ (HTRS96)	H (HVR571)	g (IGSN71)
				[m]	[μms^{-2}]
AGT01	Osijek	45°32'40".0410	18°43'43".0675	87.670	9 806 586.538
AGT02	Zagreb – Maksimir	45°49'38".4012	16°01'11".7829	144.767	9 806 622.590
AGT03	Zagreb – Puntijarka	45°54'26".3536	15°58'05".0613	987.689	9 805 104.397
AGT04	Pula	44°50'09".3538	13°50'20".9724	14.788	9 806 073.900
AGT05E	Makarska	43°17'30".9682	17°01'20".0872	8.101	9 804 058.59
AGT06	Dubrovnik	42°38'50".0928	18°04'44".0143	93.678	9 803 696.439

Apsolutna gravimetrijska mjerenja na gravimetrijskim točkama 0. reda u sklopu projekta Priključenje Republike Hrvatske na svjetsku apsolutnu gravimetrijsku mrežu obavili su 1996. godine stručnjaci tadašnjega njemačkog *Institut für Angewandte Geodäsie* (IfAG), danas *Bundesamt für Kartographie und Geodäsie* (BKG), a mjerenja u sklopu projekta *UNification of GRAvity systems in Central Europe* (UNIGRACE) stručnjaci francuskog *Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre* (EOST) i njemačkog BKG-a 1999. i 2000. godine (Barišić i dr. 2008). Od



Slika 3. Gravimetrijska mreža 0. reda Republike Hrvatske.

strane Republike Hrvatske projekte su vodili stručnjaci Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. U tablici 2 dan je pregled mjerenja i korišteni instrumentarij. Osim apsolutnih gravimetrijskih mjerenja, na točkama je obavljeno određivanje vertikalnih gradijenata ubrzanja sile teže relativnim gravimetrima, te povezivanje s ekscentričnim točkama (Hećimović 2004). Na žalost, podaci o relativnim vezama na ekscentrične točke nisu dostupni za sve točke.

U svrhu očuvanja od eventualnog uništenja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu je za potrebe DGU-a 2004. godine stabilizirao ekscentrične točke osiguranja za apsolutne gravimetrijske točke, i to po tri točke u Osijeku (AGT01), Zagrebu (zajedničke točke za AGT02 i AGT03), Puli (AGT04) i Dubrovniku (AGT06) (Bašić i dr. 2006b). Tijekom 2005. i 2006. godine obavljena je relativna gravimetrijska izmjera mikrogravimetrijskih mreža te povezivanje točaka osiguranja na državni položajni i visinski sustav (Bašić i dr. 2006c).

Tablica 2. *Apsolutna gravimetrijska mjerenja na gravimetrijskim točkama 0. reda (prema Barišić i dr. 2008).*

	1. mjerenje			2. mjerenje		
	Datum	Ustanova	Instrument	Datum	Ustanova	Instrument
AGT01	Kolovoz 2000.	BKG	FG5-101	Studeni 2000.	EOST	FG5-206
AGT02	Lipanj 1996.	IfAG	FG5-101	–	–	–
AGT03	Lipanj 1996.	IfAG	FG5-101	–	–	–
AGT04	Lipanj 1996.	IfAG	FG5-101	–	–	–
AGT05	Lipanj 1996.	IfAG	FG5-101	–	–	–
AGT06	Kolovoz 1999.	EOST	FG5-206	Travanj 2000.	BKG	FG5-101

Od šest točaka gravimetrijske mreže 0. reda (tablica 1), dvije točke ne zadovoljavaju kriterije za stabilizaciju apsolutnih gravimetrijskih točaka. Naime, prostorija u kojoj se nalazi točka AGT05E (Makarska) nema propisanu veličinu od minimalno 2×2 m pa u nju nije moguće smjestiti instrumentarij za apsolutna gravimetrijska mjerenja. Nadalje, točka AGT02 (Zagreb – Maksimir) smještena je u Opservatoriju Maksimir Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u prostoriji s pomičnim krovom, zbog čega je praktički nemoguće ostvariti zahtjeve za postojanom temperaturom. Upravo je zbog problema s temperaturom tijekom apsolutnih mjerenja 1996. godine, kao lokacija za apsolutnu gravimetrijsku točku u Zagrebu ipak izabrana stalna seizmička postaja „Puntijarka“ (Čolić i dr. 1997), tj. točka AGT03. Međutim, na točki AGT02 obavljena su kompletna opažanja u trajanju od puna 24 sata, kao i određivanje vertikalnoga gradijenta ubrzanja sile teže, ali (zbog problema s temperaturom) s manjom preciznošću u odnosu na ostale točke (ibid.). Ostale točke zadovoljavaju spomenute kriterije, ali kako se prostorijama u kojima su smještene služe različite pravne osobe, postoji opasnost da će u budućnosti pristup točkama AGT01, AGT04 i AGT06 biti otežan. K tome, kako se točka AGT04 nalazi u atomskom skloništu hotela Histria, dakle u objektu koji je u privatnom vlasništvu, postoji opasnost uništenja točke prenamjenom prostorije (što se dogodilo s točkom AGT05).

Prema tome, može se zaključiti da u Republici Hrvatskoj postoje četiri apsolutne gravimetrijske točke s pouzdano određenim vrijednostima ubrzanja sile teže, koje ujedno zadovoljavaju kriterije za stabilizaciju. To su: AGT01 (Osijek), AGT03 (Zagreb – Puntijarka), AGT04 (Pula) i AGT06 (Dubrovnik). Navedene točke međusobno su udaljene 200 – 400 km, a njihova gustoća odgovara jednoj točki na približno 14 000 km². Točke pokrivaju raspon ubrzanja sile teže od $2890 \mu\text{ms}^{-2}$ (s točkom AGT02 $2926 \mu\text{ms}^{-2}$), dok raspon gravimetrijskih točaka I. reda iznosi $4334 \mu\text{ms}^{-2}$. Apsolutna gravimetrijska mjerenja na točkama obavljena su prije 17, odnosno 13 godina (tablica 2).

Na temelju opisanog stanja gravimetrijske mreže 0. reda, mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- Gravimetrijska mreža 0. reda RH obuhvaća nedovoljan broj (četiri) pouzdano određenih apsolutnih točaka.
- Apsolutna gravimetrijska mjerenja na točkama 0. reda obavljena su prije 13, odnosno 17 godina pa je nužno što prije obaviti novu seriju apsolutnih mjerenja.

4. Prijedlog dopune gravimetrijske mreže 0. reda te ponovne izmjere

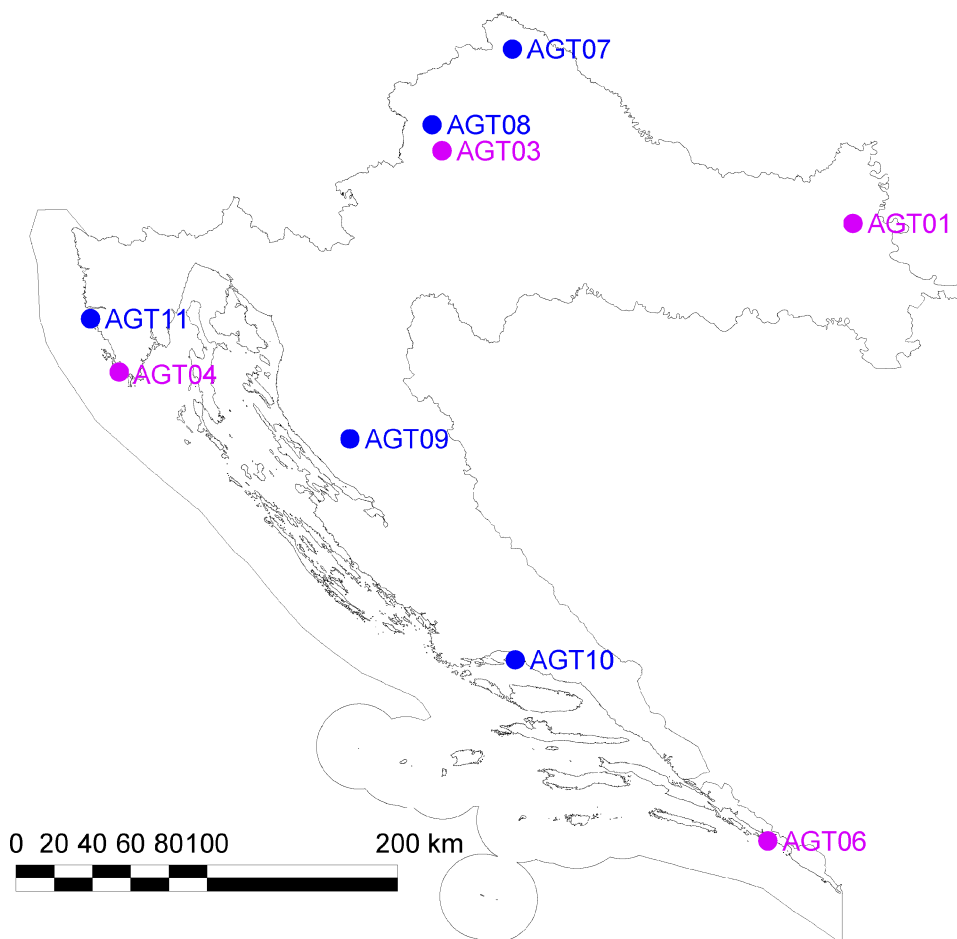
S obzirom na opisano stanje, treba što prije ponoviti mjerenja i dopuniti gravimetrijsku mrežu 0. reda RH novim apsolutnim točkama. Pritom treba voditi računa da novouspostavljene točke ujedno posluže i za uspostavu nove horizontalne i vertikalne gravimetrijske kalibracijske baze. Također, s obzirom na europski, ali i svjetski trend povezivanja u kombinirane kinematičke mreže, odnosno sustave, bilo bi dobro da apsolutne gravimetrijske točke ujedno posluže za uspostavu jedne do dvije ECGN postaje na teritoriju Republike Hrvatske.

4.1. Dopuna gravimetrijske mreže 0. reda

Nova gravimetrijska mreža 0. reda trebala bi obuhvaćati stare točke koje zadovoljavaju kriterije za stabilizaciju apsolutnih gravimetrijskih točaka. To su: AGT01 (Osijek), AGT03 (Zagreb – Puntijarka), AGT04 (Pula) i AGT06 (Dubrovnik). Međutim, kako se točka AGT04 nalazi u objektu koji je u privatnom vlasništvu, preporuča se točku premjestiti, a kao alternativa predložena je točka AGT11 u Rovinju. K tome, predložena je uspostava još četiri nove apsolutne gravimetrijske točke, i to AGT07 u Čakovcu, AGT08 u Zaboku, AGT09 u Gospiću i AGT10 u Splitu (slika 4, tablica 3). Za točku u Gospiću predložena je i rezervna lokacija. Približne koordinate i približne visine za novopredložene točke i rezervne lokacije (tablica 3) određene su pomoću topografskih karata mjerila 1:25 000 te pomoću obližnjih repera. Ubrzanje sile teže procijenjeno je na temelju ubrzanja sile teže točaka OGM-a koje imaju približno iste koordinate i visinu.

Tablica 3. (Približne) koordinate i (približno) ubrzanje sile teže na gravimetrijskim točkama 0. reda.

Broj točke	Ime točke	φ (HTRS96)	λ (HTRS96)	H (HVRS71)	g (IGSN71)
				[m]	[μms^{-2}]
AGT01	Osijek	45°32'40".0410	18°43'43".0675	87.670	9 806 586.538
AGT03	Zagreb – Puntijarka	45°54'26".3536	15°58'05".0613	987.689	9 805 104.397
AGT04	Pula	44°50'09".3538	13°50'20".9724	14.788	9 806 073.900
AGT06	Dubrovnik	42°38'50".0928	18°04'44".0143	93.678	9 803 696.439
AGT07	Čakovec	46°23'16"	16°26'20"	165	9 807 063
AGT08	Zabok	46°01'49"	15°54'35"	160	9 806 825
AGT09a	Gospić – DHMZ	44°33'02"	15°22'22"	560	9 804 070
AGT09b	Gospić – PUK	44°33'08"	15°22'40"	567	9 804 074
AGT10	Split	43°30'40"	16°26'17"	5	9 804 400
AGT11	Rovinj	45°04'53"	13°38'28"	15	9 806 260



Slika 4. Nova gravimetrijska mreža 0. reda Republike Hrvatske.

Sukladno prijedlogu, gravimetrijska mreža 0. reda sastojat će se od osam apsolutnih gravimetrijskih točaka. Dakle, u konačnu mrežu bit će uključena ili dosadašnja točka AGT04 u Puli ili novouspostavljena točka AGT11 u Rovinju. Udaljenost između točaka (bez točke AGT03) iznosit će od 58 do 209 km, a prosječno 160 km. Gustoća mreže odgovara jednoj točki na približno 7000 km². Točke će pokrivati raspon ubrzanja sile teže od približno 3370 μms^{-2} , dok raspon gravimetrijskih točaka I. reda iznosi 4334 μms^{-2} .

Novopredložene točke AGT07 (Čakovec) i AGT09 (Gospić) trebale bi biti krajnje točke nove horizontalne kalibracijske baze (uz mogućnost uključivanja i točke AGT10 u Splitu), a točka AGT08 (Zabok) bi, zajedno s postojećom točkom AGT03 (Zagreb – Puntijarka), trebala poslužiti uspostavi nove vertikalne kalibracijske baze. K tome bi točke AGT07 i AGT10 trebale omogućiti uspostavu ECGN postaja u Čakovcu i Splitu. Sve novopredložene točke nalaze se relativno blizu autoceste. U nastavku su ukratko izloženi razlozi za izbor predloženih lokacija.

4.1.1. Točka AGT07

Primarni razlog za izbor lokacije točke AGT07 u Čakovcu je uspostava ECGN postaje. Naime, uz točku AGT10 u Splitu, ni jedna druga točka novopredložene gravimetrijske mreže 0. reda nije pogodna za uspostavu ECGN postaje (osim točke AGT11 u Rovinju, kojom će se možda zamijeniti točka AGT04 u Puli). Postojeće apsolutne točke su ili udaljene mnogo više od 1 km, koliko je dopušteno kriterijima za uspostavu ECGN postaje, od postojeće permanentne GNSS postaje, ili u njihovoj široj okolini nema repera UELN-a. Iako je predložena lokacija točke AGT07 udaljena (zračno) samo 58 km od točke AGT08 u Zaboku (koja je pak nužna zbog uspostave kvalitetne vertikalne kalibracijske baze), pokazalo se potrebnim uspostaviti ovu dodatnu apsolutnu točku na sjeveru Republike Hrvatske. Izabrana je najsjevernija lokacija na kojoj je uspostavljena referentna GNSS postaja Hrvatskoga pozicijskog sustava CROPOS. Takav izbor lokacije osim što omogućuje uštedu na uspostavi ECGN postaje zbog postojeće referentne GNSS postaje, omogućuje i proširenje raspona ubrzanja sile teže gravimetrijske mreže 0. reda. Predložena lokacija nalazi se u zgradi Područnog ureda za katastar Čakovec, gdje je smještena i CROPOS-ova permanentna GNSS postaja.

Ako se naknadno ipak pokaže mogućim uspostaviti ECGN postaju na nekoj od ostalih točaka novopredložene gravimetrijske mreže 0. reda, treba razmisliti o opravdanosti uspostave ove apsolutne gravimetrijske točke.

4.1.2. Točka AGT08

Kako točka AGT02 Zagreb – Maksimir nije prikladna za apsolutna gravimetrijska mjerenja, trebalo je pronaći novu lokaciju za apsolutnu gravimetrijsku točku koja će, zajedno s točkom AGT03 Zagreb – Puntijarka, biti sastavni dio vertikalne kalibracijske baze. Pritom se, uz kriterije za stabilizaciju apsolutnih gravimetrijskih točaka, vodilo računa da se izborom lokacije ostvari primjereni raspon ubrzanja sile teže vertikalne kalibracijske baze, te da se ujedno pronađe lokacija koja je vremenski što bliža postojećoj točki AGT03. Kao prikladno rješenje pokazala se predložena lokacija u Zaboku. Predložena lokacija nalazi se u zgradi Područnog ureda za katastar Krapina, Ispostava Zabok, gdje je smještena i CROPOS-ova permanentna GNSS postaja. Kako se predložena lokacija nalazi u istoj zgradi gdje i CROPOS-ova permanentna GNSS postaja, postoji mogućnost da se nakon obnove Visinskoga referentnog sustava RH ostvare uvjeti za uspostavu ECGN postaje. Naime, ako se u blizini Zaboka uspostavi novi vlak nivelmana visoke točnosti, koji će biti uključen u UELN, uspostava ECGN postaje u Zaboku bit će puno isplativija od uspostave dodatne apsolutne gravimetrijske točke u Čakovcu.

4.1.3. Točka AGT09

Uspostava apsolutne točke u Gospiću pokazala se nužnom, ne samo da bi se ostvarila što homogenija pokrivenost teritorija RH apsolutnim gravimetrijskim točkama, nego da se omogući i uspostava horizontalne kalibracijske baze. Iako za sada blizu Gospića ne prolazi vlak nivelmana visoke točnosti, u Gospiću postoji permanentna GNSS postaja, pa postoji mogućnost da se u budućnosti (nakon obnove Visinskoga referentnog sustava RH) lokacija iskoristi za uspostavu ECGN postaje.

K tome, lokacija zadovoljava važan uvjet za uključenje u horizontalnu kalibracijsku bazu, a to je blizina autoceste. Predložena lokacija nalazi se u zgradi glavne meteorološke postaje u Gospiću, Državnoga hidrometeorološkog zavoda (DHMZ). Rezervna lokacija nalazi se u zgradi Područnog ureda za katastar Gospić, gdje je smještena i CROPOS-ova permanentna GNSS postaja. Prednost je dana zgradi DHMZ-a zbog pogodnije lokacije s obzirom na mikroseizmiku, ali i zbog toga što nije potrebno raditi dodatne građevinske zahvate.

4.1.4. Točka AGT10

Lokacija u Splitu za uspostavu apsolutne gravimetrijske točke izabrana je iz više razloga: kako bi se osigurala homogena pokrivenost teritorija RH apsolutnim točkama, zbog eventualnog uključanja u horizontalnu kalibracijsku bazu, te zato što je to idealna lokacija za uspostavu ECGN postaje. Naime, predložena lokacija apsolutne gravimetrijske točke u Splitu udaljena je samo 500 m od mareografa u splitskoj luci, na kojem se od 1956. godine kontinuirano bilježe mjerenja morske razine. K tome, 2004. godine na mareografu je u okviru projekta ESEAS-RI (*European Sea Level Service – Research Infrastructure*) instalirana permanentna GPS postaja (Mihanović i dr. 2004). Nadalje, u Splitu postoji i CROPOS-ova permanentna GNSS postaja na zgradi Područnog ureda za katastar Split, udaljena od mareografa oko 600 m. Međutim, sama zgrada Područnog ureda za katastar nepovoljna je za stabilizaciju apsolutne gravimetrijske točke jer se nalazi neposredno uz usjek željezničke pruge. Predložena lokacija nalazi se u atomskom skloništu franjevačkog samostana Gospe od Zdravlja.

4.1.5. Točka AGT11

Kako se točka AGT04 u Puli nalazi u objektu koji je u privatnom vlasništvu, preporučljivo ju je premjestiti zbog opasnosti od njezina uništenja prenamjenom prostorije. Za smještaj premještene točke AGT11 izabran je grad Rovinj jer se u njemu nalazi mareograf, a na kojem se od 1956. godine kontinuirano bilježe mjerenja morske razine. Predložena lokacija nalazi se u crkvi Majke Božje od Milosti.

4.2. Izmjera apsolutnih gravimetrijskih točaka

Apsolutna (i relativna) gravimetrijska mjerenja nužno je ciklički ponavljati zbog vremenskih promjena ubrzanja sile teže uzrokovanih geodinamičkim promjenama, kao što su tektonski pomaci i promjena rasporeda Zemljinih masa (Torge 1989). Razdoblje ponavljanja cikličke izmjere ovisi o geodinamici pojedinog područja. Pravilnikom o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova (Narodne novine 2009) utvrđeno je da je na gravimetrijskim točkama 0. reda potrebno provoditi apsolutna gravimetrijska mjerenja najmanje jednom u 10 godina. Međutim, kako u Hrvatskoj još nisu provedena istraživanja na temelju kojih bi se mogao donijeti zaključak o optimalnom intervalu cikličke izmjere ubrzanja sile teže, uputno bi bilo apsolutna gravimetrijska mjerenja ponavljati i češće, dok se ne dobije uvid u stabilnost vrijednosti ubrzanja sile teže na pojedinim lokacijama. S druge strane, na gravimetrijskim točkama u okviru ECGN postaja, apsolutna gravimetrijska mjerenja potrebno je ponavljati svakih 12 do 24 mjeseca (IAG 2003).

Kako u Republici Hrvatskoj ni jedna institucija ne posjeduje apsolutni gravimetar kojim bi se mogla obaviti potrebna mjerenja, izmjeru za sada mogu obaviti samo inozemne institucije koje nude usluge apsolutnih gravimetrijskih mjerenja.

4.3. Nastavak radova na dopuni gravimetrijske mreže 0. reda RH

Bez obzira hoće li se točka AGT04 u Puli zamijeniti točkom AGT11 u Rovinju ili ne, u predstojećem ciklusu izmjere gravimetrijske mreže 0. reda trebalo bi obaviti apsolutna mjerenja i na točki AGT04. Time bi se osigurao uvid u vremenske promjene ubrzanja sile teže na tom području u vremenskom razdoblju između dviju izmjera.

Prije same realizacije dopune gravimetrijske mreže 0. reda, trebalo bi odvagnuti koristi naspram troškova uspostave apsolutne gravimetrijske točke u Čakovcu. Naime, primarni razlog za uspostavu točke AGT07 u Čakovcu upravo je uspostava ECGN postaje. Ako bi se prilikom obnove visinskog sustava RH uspostavio vlak nivelmana visoke točnosti koji bi prolazio kroz Gospić te vlak u blizini Zaboka, ostvarili bi se uvjeti za uspostavu ECGN postaje u Gospiću, odnosno Zaboku. U tom bi slučaju jedina prednost uspostave apsolutne gravimetrijske točke u Čakovcu bila njezin krajnji sjeverni položaj i time veći raspon ubrzanja sile teže gravimetrijske mreže 0. reda i hrvatskih ECGN postaja. Međutim, treba imati na umu da će do uspostave novih vlakova nivelmana visoke točnosti i njihove obrade u okviru UELN mreže proći nekoliko godina.

Lokacije za uspostavu apsolutnih gravimetrijskih točaka predložene su na temelju položaja točaka i procijenjene vrijednosti ubrzanja sile teže. Pritom se vodilo računa da se točke nalaze što bliže autocestama te da su smještene ili u samim zgradama područnih ureda za katastar DGU-a, odnosno njihovim ispostavama, ili u zgradama drugih državnih institucija koje su u blizini područnih ureda DGU-a, a samim time i lako dostupne njihovim djelatnicima. Također, vodilo se računa o kriterijima za stabilizaciju apsolutnih točaka. Djelatnici Hrvatskoga geodetskog instituta obišli su predložene lokacije i utvrdili da su pogodne za izvođenje apsolutnih gravimetrijskih mjerenja. Potrebni zahvati na pojedinim lokacijama opisani su u studiji o stanju i prijedlogu za dopunu gravimetrijske mreže 0. reda i gravimetrijske kalibracijske baze Republike Hrvatske. Za predložene lokacije koje nisu u nadležnosti DGU-a potrebno je riješiti zakonski okvir s institucijama u čijim će se prostorijama nalaziti apsolutne gravimetrijske točke, što će osigurati i njihovu zaštitu od uništenja (eventualnom prenamjenom prostorije).

S obzirom na iznimnu važnost predloženih radova, visoke financijske zahtjeve i veliki vremenski interval ponavljanja mjerenja (osim za točke koje su uključene u ECGN postaje), treba pomno razmotriti karakteristike predloženih lokacija. Pritom bi za sve točke nove gravimetrijske mreže 0. reda, a pogotovo za novopredložene točke, trebalo zatražiti mišljenje Hrvatskoga geološkog instituta o stabilnosti lokacija.

Prije konačnog odabira lokacija sezonska stabilnost ubrzanja sile teže na predloženim lokacijama mogla bi se ispitati i relativnim gravimetrijskim mjerenjima u različitim godišnjim dobima. Naime, svaku predloženu lokaciju trebalo bi povezati s najmanje tri postojeće točke gravimetrijske osnove, i to nekoliko puta godišnje. Međutim, takvo ispitivanje ne bi dalo uvid u višegodišnju stabilnost ubrzanja sile teže.

Prije same apsolutne izmjere trebalo bi stabilizirati i ekscentre, tj. točke osiguranja za nove točke gravimetrijske mreže 0. reda. Također, trebalo bi u što kraćem roku od provođenja apsolutnih mjerenja obaviti povezivanje svih apsolutnih točaka s točkama osiguranja primjenom visokopreciznih relativnih mjerenja.

5. Zaključak

Gravimetrijska mreža 0. reda služi kao osnova za razvijanje gravimetrijskih mreža nižih redova te omogućava sigurno održavanje gravimetrijskog datuma. Na gravimetrijskim točkama 0. reda moraju se provesti apsolutna gravimetrijska mjerenja najmanje jednom u 10 godina. Kao pripremu za novi ciklus apsolutne gravimetrijske izmjere gravimetrijske mreže 0. reda, HGI je 2010. godine za potrebe DGU-a izradio studiju o stanju i prijedlog za dopunu gravimetrijske mreže 0. reda i gravimetrijske kalibracijske baze Republike Hrvatske. Studijom je utvrđeno da gravimetrijska mreža 0. reda obuhvaća nedovoljan broj (četiri) pouzdano određenih apsolutnih točaka te da su apsolutna gravimetrijska mjerenja obavljena na točkama 0. reda prije 13, odnosno 17 godina pa je nužno što prije obaviti novu seriju apsolutnih mjerenja. Prijedlogom za dopunu gravimetrijske mreže 0. reda predviđena je uspostava četiri nove apsolutne gravimetrijske točke, te premještanje jedne postojeće. Pritom se vodilo računa da točke gravimetrijske mreže ujedno posluže i za uspostavu nove horizontalne i vertikalne gravimetrijske kalibracijske baze, te da omogućće uspostavu jedne do dvije ECGN postaje. Uzimajući u obzir međunarodne kriterije za uspostavu apsolutnih gravimetrijskih točaka i ECGN postaja, te vodeći računa o uspostavi kvalitetne horizontalne i vertikalne kalibracijske baze, predložene su lokacije koje predstavljaju optimalno rješenje uz minimum financijskih ulaganja.

NAPOMENA. Rad je nastao na temelju istraživanja obavljenog u Hrvatskom geodetskom institutu i ne predstavlja službeni stav Državne geodetske uprave.

Literatura

- Barišić, B., Repanić, M., Grgić, I., Bašić, T., Liker, M., Lučić, M., Markovinović, D. (2008): Gravity measurements on the territory of the Republic of Croatia – past, current and future gravity networks, International symposium on Terrestrial gravimetry: Static and mobile measurements – symposium proceedings, Saint Petersburg, Russia.
- Bašić, T., Markovinović, D., Rezo, M. (2006a): Osnovna gravimetrijska mreža Republike Hrvatske, Geodetski list, 2, 73–91.
- Bašić, T., Rezo, M., Markovinović, D., (2006b): Projekt i stabilizacija točaka mikrogravimetrijskih mreža na pet apsolutnih gravimetrijskih točaka – I. faza, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2004./2005. godina, Državna geodetska uprava, Zagreb.
- Bašić, T., Markovinović, D., Rezo, M., (2006c): Mikrogravimetrijske mreže i projekt gravimetrijske mreže II. reda Republike Hrvatske, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2004./2005. godina, Državna geodetska uprava, Zagreb.

- Csapó, G., Kis, M., Völgyesi, L. (2003): Different adjustment methods for the Hungarian part of the unified European Gravity Network, 23. IUGG-ov generalni skup, 2003, Sapporo, Japan.
- Čolić, P. K., Pribičević, B., Špoljarić, D., Medak, D., Markovinović, D., Švehla, D., Lelas, N. (1997): Izvješće o radovima na projektu: Pripajanje Republike Hrvatske u svjetsku apsolutnu gravimetrijsku mrežu, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za geomatiku, Zagreb.
- Hećimović, Ž. (2004): Izvješće o podacima apsolutne gravimetrijske mreže Republike Hrvatske, drugo, ispravljeno izdanje, Hrvatski geodetski institut, Zagreb.
- IAG (2003): European Combined Geodetic Network (ECGN) – 1st call for participation – Implementation of the ECGN stations, IAG subcommission for Europe of the Commission X – Global and regional networks – EUREF and IAG subcommission for Europe of the international geoid and gravity commission – IGGC, http://www.bkg.bund.de/nn_162018/geodIS/ECGN/EN/Publications/_publications__node.html__nnn=true, (13. 7. 2012.).
- Marti, U., Richard, Ph., Olivier, R. (2007): The National Gravity Network LSN2004, Swiss National Report on the Geodetic Activities in the years 2003 to 2007, IUGG-ov generalni skup, Perugia.
- Medved, K. (2008): Osnovna gravimetrična mreža Republike Slovenije, magistarski rad, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Medved, K., Kuhar, M., Stopar, B., Koler, B. (2009): Izravnava opazovanj v osnovni gravimetrični mreži Republike Slovenije, Geodetski vestnik, 2, 223–238.
- Mihanović, H., Domijan, N., Leder, N., Čipić, S., Strinić, G., Gržetić, Z. (2004): CGPS Station collocated at Split tide gauge, prezentirano na Workshop on Observing and understanding sea level variations, St. Julians, Malta.
- Narodne novine (2009): Pravilnik o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova, 87.
- Torge, W. (1989): Gravimetry, de Gruyter, Berlin – New York.

Mrežne adrese

- URL 1: ECGN Standards for Local Ties (2003), http://www.bkg.bund.de/nn_162204/geodIS/ECGN/EN/GuidelinesForms/_guidelines-forms__node.html__nnn=true, (13. 7. 2012.).

Proposal of Zero Order Gravity Network of the Republic of Croatia Amendment

ABSTRACT. Proposal of Zero Order Gravity Network of the Republic of Croatia amendment is depicted in this paper. Overview on domestic regulations and international standards regarding zero order gravity networks, absolute station selection and ECGN station implementation is given. State of the present zero order gravity network is analysed. It is deduced that zero order gravity network comprises insufficient number (four) of accurately determined absolute stations that satisfy international criteria for absolute gravity station monumentation. In addition, absolute gravity measurements have been conducted 13 or 17 years ago (with respect to specific station). Accordingly, it is necessary to conduct new set of absolute measurements as soon as possible. Furthermore, a proposal of zero order gravity network amendment is given, by inclusion of four new stations (in Čakovec, Zabok, Gospić and Split) and allocation of station in Pula to Rovinj. Proposed new stations should also facilitate realisation of horizontal and vertical calibration lines as well as implementation of one or two ECGN station on Croatian territory.

Keywords: gravity networks, zero order gravity network, absolute gravimetry, ECGN, gravity calibration line.

Primljeno: 2013-07-04

Prihvaćeno: 2014-01-23