

Izračun osnovne gravimetrične mreže Slovenije

K. Medved¹, B. Koler², M. Kuhar²

Povzetek

V prispevku je predstavljen izračun nove osnovne gravimetrične mreže Slovenije, ki je bila izmerjena leta 2006. Prikazani so popravki, ki so bili upoštevani pri obdelavi merjenih vrednosti. Izravnava mreže je izvedena v dveh fazah. V prvi fazi je kot prosta mreža izravnana mreža 0. reda, v drugi fazi pa je izravnana mreža 1. reda. Podane so vrednosti težnih pospeškov na posameznih točkah gravimetrične mreže. Izvedena je tudi primerjava s starim Potsdamskim datumom, v katerem so bile opravljene vse predhodne gravimetrične meritve v Sloveniji. Nova gravimetrična mreža predstavlja kvalitetno osnovo za vse nadaljne gravimetrične meritve.

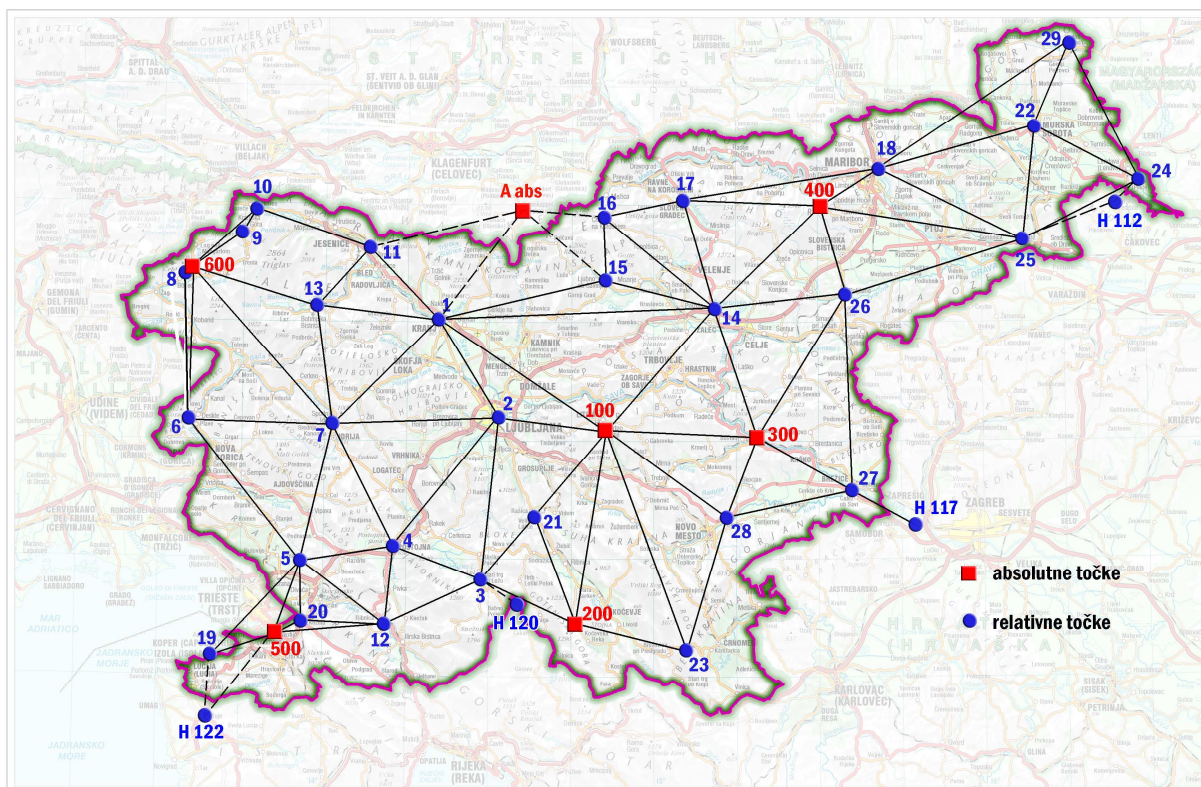
Uvod

Nov gravimetrični sistem Slovenije temelji na mednarodnem referenčnem gravimetričnem sistemu IGSN 71 (International Gravity Standardization Network 1971). Realizacijo gravimetričnega sistema – gravimetrični datum Republike Slovenije predstavljajo vrednosti težnosti na 6 absolutnih točkah gravimetrične mreže 0. reda in 29 točkah gravimetrične mreže 1. reda. Absolutne gravimetrične točke so bile stabilizirane leta 1995, izmere težnosti z absolutnimi gravimetričnimi meritvami pa so bile opravljene od leta 1996 do 2000.

Gravimetrična mreža 1. reda je sestavljena iz 29 relativnih točk. Vključenih je 17 ohranjenih gravimetričnih točk osnovne gravimetrične mreže Jugoslavije, dodatno pa je bilo stabiliziranih 12 novih točk. Mrežo sestavlja 39 gravimetričnih likov. Na sliki 1 je prikazana izmerjena gravimetrična mreža. V izmero so bile vključene tudi točke onstran meja Slovenije: ekscenter avstrijske absolutne točke in štiri hrvaške relativne točke. S tem je bila dosežena večja homogenost naše gravimetrične mreže ter je bila izvedena navezava na gravimetrične mreže sosednjih držav (Avstrija in Hrvaška).

¹ Geodetska uprava RS, Zemljemerska 12, 1000 Ljubljana

² UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana



Slika 1: Osnovna gravimetrična mreža Republike Slovenije z navezavami na sosednje države

Mreža je bila izmerjena konec leta 2006. Meritve so se izvajale z dvema relativnima gravimetroma SCINTREX CG-3M. Uporabljena je bila metoda izmere zvezda in metoda profilov z vsakodnevnim zapiranjem likov. Vsaka stranica mreže je bila izmerjena vsaj dvakrat.

Obdelava merjenih količin

Obdelava podatkov opazovanj pomeni izračun ustreznih popravkov in redukcij, ki jih izračunamo za vsako točko in za vsak dan opazovanj. Relativni gravimeter Scintrex CG-3M omogoča uporabo nekaterih redukcij v realnem času, kot so: popravek za nehorizontalnost gravimetra, popravek zaradi temperaturne spremembe senzorja in redukcija za spremembo merila čitanja gravimetra glede na kalibracijsko konstanto (Scintrex Limited, 1995). Naknadno pa smo upoštevali naslednje popravke oz. redukcije opazovanj (Torge, 1989): popravek zaradi plimovanja trdne Zemlje, popravek zaradi gibanja Zemljinih polov, redukcija izmerjene vrednosti težnega pospeška z nivoja senzorja instrumenta na nivo točke oz. redukcija za višino instrumenta, popravek zaradi vpliva atmosferskega tlaka in redukcija opazovanj za dnevni hod instrumenta.

Popravek zaradi plimovanja trdne Zemlje

Za izračun popravkov plimovanja trde Zemlje smo uporabili Bergerjeve popravke (Micro-g 1995). Bergerjevi popravki se določijo na podlagi ne-harmonične metode izračuna plimnega potenciala. Izhajajo iz enačb, ki jih je leta 1969 izpeljal Jonathan Berger (Micro-g, 1995),

kasneje pa so jih večkrat izboljšali različni avtorji³, predvsem z uporabo novejšega astronomskega almanaha. Plimni potencial se izračuna glede na koordinate točke v odvisnosti od časa, pri čemer se odštejeta vpliva Sonca in Lune. Pri izračunu se ne upošteva vpliv gibanja oceanov.

Popravek zaradi gibanja Zemljinih polov

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

$$\Delta g_{\text{pol}}(t) = -1,16 \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin 2\phi \cdot (x(t) \cdot \cos \lambda - y(t) \cdot \sin \lambda) \quad [\text{ms}^{-2}] \quad (1)$$

kjer je ω kotna hitrost Zemlje ($2\pi/\text{dan}$), R radij Zemlje, ϕ , λ geografski koordinati opazovališča, $x(t)$, $y(t)$ koordinati trenutnega položaja pola glede na CIO – podatki so dostopni v elektronskem biltenu International Earth Rotation Service (IERS) oziroma na medmrežju na URL naslovu: <http://hpiers.obspm.fr/eoppc/bul/bulb/>

Redukcija za višino instrumenta

Redukcijo odčitka instrumenta na nivo točke izračunamo z enačbo:

$$r_i'(t) = r_i(t) + \left(\frac{\partial g}{\partial H} \right)_P h_i \quad (2)$$

kjer so $r_i(t)$ – odčitek gravimetra v trenutku t ,

$\left(\frac{\partial g}{\partial H} \right)_P$ – vertikalni gradient sile teže v opazovališču P in h_i izmerjena višina instrumenta.

Dejanski vertikalni gradient težnega pospeška poznamo samo na točkah, kjer je neposredno določen z meritvami. Na točkah, kjer ni določen, se uporabi vertikalni gradient normalnega težnega pospeška, ki znaša: 0,3086 mGal/m.

Popravek zaradi vpliva atmosferskega tlaka

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

$$\Delta g_p = 0,30 \cdot (p - p_n) \quad (3)$$

$$p_n = 1013,25 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \cdot H}{288,15} \right)^{5,2559} \quad (4)$$

kjer je:

p . . . merjeni zračni tlak na stojišču v hPa,

p_n . . . izračunani normalni zračni tlak na stojišču v hPa,

³ J.C. Harrison, J. Levine, K. Young, D. Agnew, G. Sasagawa in J. Gschwind

H . . . nadmorska višina gravimetrične točke v metrih.

Redukcija opazovanj za dnevni hod instrumenta

Vplivi na elastičnost in dolžino vzmeti, kot so spreminjanje temperature in pritiska v notranjosti instrumenta, staranje vzmeti ter razni tresljaji, povzročajo, da gravimeter tekom časa spremeni ničelni odčitek. Ta pojav imenujemo hod (angl. *drift*) instrumenta. Izračunan s polinomom čim manjše stopnje, ki se najbolje prilega določenim vrednostim hoda na posameznih točkah. Iz polinoma lahko izračunamo popravek hoda Δg_D v času t_i po enačbi (Torge, 1989) :

$$\Delta g_D = d_1(t_i - t_0) + d_2(t_i - t_0)^2 + d_3(t_i - t_0)^3 \dots \quad (5)$$

pri čemer so:

t_0 . . . referenčni (začetni) čas merjenja,

d_1, d_2, d_3 . . . koeficienti polinoma.

Na osnovi izkušenj, ki smo jih pridobili s testnimim meritvami izvedenimi leta 2005 (Koler in sod., 2006b) in izkušenj drugih uporabnikov gravimetrov Scintrex kažejo, da linearna funkcija hoda zadošča v večini primerov.

Kalibracija gravimetra

Rezultati merjenja z gravimetrom se izražajo v različnih enotah njegove merilne naprave (čutila). Da bi te enote lahko pretvorili v enote težnega pospeška, je potrebno opraviti kalibracijo gravimetra. Kalibracija je torej postopek določevanja t. i. kalibracijske funkcije, ki omogoča omenjeno pretvorbo merskih enot.

Pred izvedbo meritev gravimetrične mreže 1. reda je bila izvedena kalibracija obeh uporabljenih instrumentov. Kalibracija je bila izvedena za oba instrumenta hkrati, in sicer na hrvaški kalibracijski bazi med točkama Zagreb–Maksimir in Zagreb–Puntijarka (Bašić, Markovinović, 2002). Kalibracija obeh instrumentov je bila izvedena tudi po končanih meritvah gravimetrične mreže 1. reda. Različne vrednosti kalibracijskih faktorjev pridobljenih pred in po izmeri gravimetrične mreže, smo upoštevali pri končni obdelavi podatkov izmere.

Izravnava gravimetrične mreže

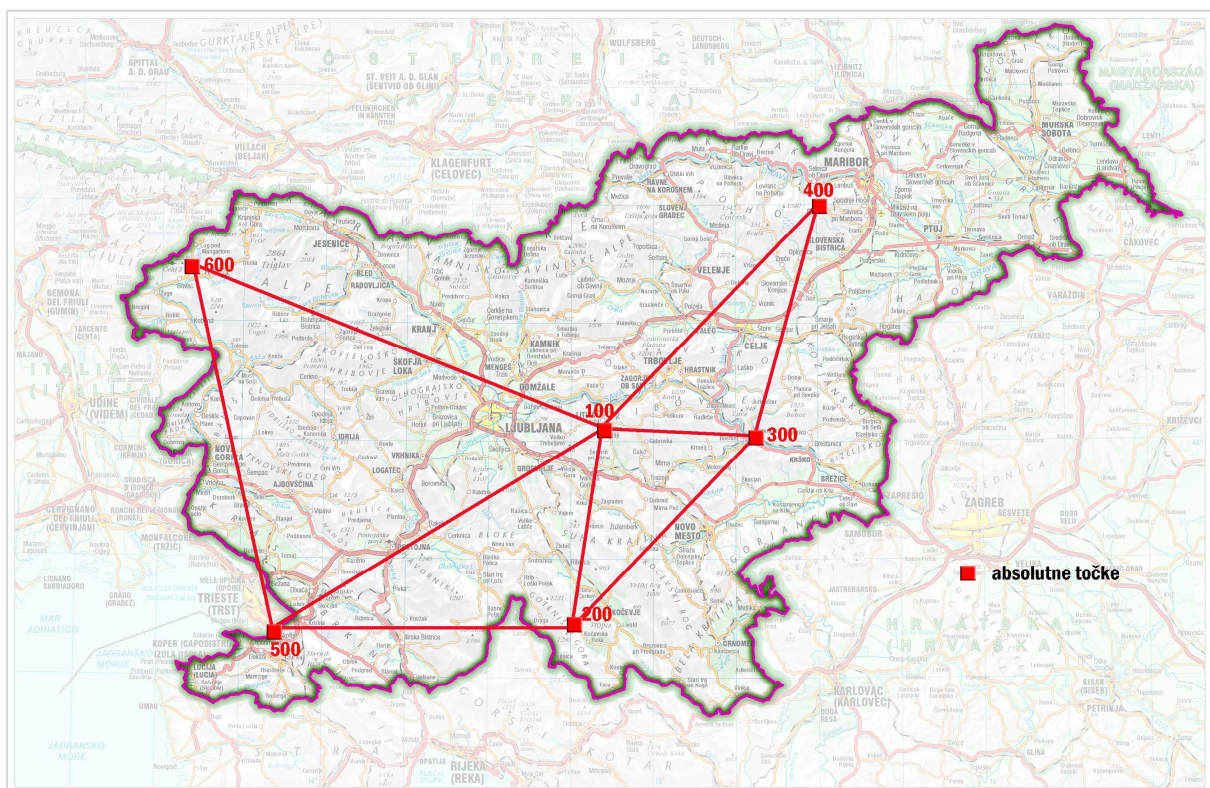
Pri izravnavi gravimetrične mreže smo uporabili metodo posredne izravnave, ki je identična izravnavi meritev v 1D mreži (npr. višinska mreža). Vsa opazovanja smo pred izravnavo ustrezno "popravili". Samo izravnavo mreže smo izvedli v dveh korakih:

1. izravnava opazovanj v mreži 0. reda
2. izravnava opazovanj v mreži 1. reda

Izravnava opazovanj v mreži 0. reda

Pri obdelavi podatkov gravimetričnih opazovanj je običaj, da se v izravnavi absolutne točke privzamejo kot dane. Znano je dejstvo, da je po opravljeni stabilizaciji v letu 1995 na točkah AGT 300 (Sevnica) in AGT 500 (Kluže) prišlo do sprememb v njihovi neposredni okolici. Na obeh točkah so oskrbovalci objektov, v katerih ležijo točke, dvignili nivo tlaka. V Sevnici je dodatna plast debela približno 15 cm, v Klužah pa okoli 10 cm. S tem se je dejansko spremenila tudi vrednost težnega pospeška na točki. Poleg tega je med meritvami na absolutnih gravimetričnih točkah in meritvami, opravljenih v gravimetrični mreži 1. reda minilo, 10 let.

Zato smo pri izmeri gravimetrične mreže 1. reda Slovenije z relativnimi gravimetričnimi meritvami direktno povezali tudi posamezne absolutne gravimetrične točke (Slika 2). Izmerjenih je bilo 9 direktnih povezav med točkami. S tem smo pridobili možnost analize gravimetričnega datuma in kontrole določitve absolutnih vrednosti težnostnih pospeškov. Prav tako je s temi povezavami omogočena analiza sprememb oziroma možnost primerjave danih vrednosti z merjenimi vrednostmi težnega pospeška.



Slika 2: Merjene povezave med absolutnimi točkami

Na podlagi navedenega smo se odločili, da relativne meritve med absolutnimi točkami izravnamo kot opazovanja v prosti mreži. Izravnane vrednosti težnosti absolutnih točk potem uvedemo v izravnavo opazovanj v celotni mreži (mreža 1. reda) kot dane količine.

Izravnavo opazovanj v mreži smo opravili s posredno izravnavo s pogoji med neznankami. V model imamo poleg opazovanj vključene tudi neznanke in numerične konstante. V model uvedemo t. i. psevdopazovanja, ki predstavljajo vezi med neznankami. Vrednosti neznank ali funkcije med neznankami, ki jih v izravnavi predstavimo kot opazovanja, lahko določimo na podlagi približnih vrednosti neznank, ki jih moramo poznati v obdelavi, ali na podlagi predhodno izvedene izravnave, ki je potekala na podlagi istega matematičnega modela z drugimi opazovanji (Vaniček in Krakiwsky, 1986 cit. po Sterle, 2007).

Torej pri izravnavi opazovanj v mreži absolutnih točk uvedemo merjene vrednosti težnih pospeškov vseh točk kot opazovanja. Te vrednosti so sedaj t. i. "psevdopazovanja". Za vsako

vedeno vrednost težnega pospeška - opazovanja, uvedemo ustrezno enačbo popravkov (Niemeier, 2002).

Glede na dejstvo, da je na točki AGT 100 izvedenih največ absolutnih meritev (4 meritve) ji pripišemo najmanjšo a priori oceno natančnosti (3 μGal). Točkam AGT 300 in AGT 600, glede na spremenjeni nivo tlaka pripišemo največjo oceno natančnosti (8 μGal), ostalim točkam AGT 200, AGT 400 in AGT 500 pa vmesno vrednost (5 μGal). Za a priori natančnost opazovanj prevzamemo 15 μGal (a posteriori ocena vrednosti standardnega odklona izravnave proste mreže 0. reda z obema instrumentoma). Opravili smo tudi analizo vplivov različnih utežnih sistemov na rezultate izravnave (uteži so bile določene na podlagi časa potovanja med točkami, razdalje med točkami, natančnosti posamezne meritve, temperaturne spremembe med meritvami, na podlagi razlik izmerjene težnosti med instrumentoma, opravili pa smo tudi izravnavo z enakimi utežmi opazovanj...). Iz opravljene analize rezultatov smo ugotovili, da izbira uteži ne vpliva bistveno na končne rezultate izravnave. Razlike so minimalne. Za končno izravnavo smo izbrali model, kjer so uteži vseh opazovanj enake. Izbira temelji na dejstvu, da so bile vse meritve opravljene z istima instrumentoma, v približno enakih pogojih, postopki izmere so bili vedno enaki, operaterji pa so bili enako usposobljeni in izkušeni.

Rezultati izravnave so zbrani v Preglednici 1.

Preglednica 1: Merjene vrednosti težnosti, popravki izravnave, izravnane vrednosti težnosti in ocena natančnosti na absolutnih točkah

Točka	Merjen g [μGal]	Popravki [μGal]	Izravnani g [μGal]	σ_i [μGal]
AGT 100	980593537,5	-3,2	980593534,3	2,6
AGT 200	980506829,5	-9,9	980506819,6	4,0
AGT 300	980641076,5	22,7	980641099,2	5,1
AGT 400	980483762,9	-1,8	980483761,1	4,3
AGT 500	980558575,1	2,9	980558578,0	4,0
AGT 600	980545846,5	22,7	980545869,2	5,6

Iz Preglednice 1 vidimo, da so največji popravki merjenih absolutnih vrednosti na točkah AGT 300 (22,7 μGal) in AGT 600 (22,7 μGal), kjer je bil dodan nov tlak.

Izravnava opazovanj v mreži 1. reda

Pred izravnavo mreže 1. reda definiramo a priori datum, ki ga predstavljajo izravnane vrednosti težnih pospeškov mreže 0. reda. Prevzete vrednosti absolutnih točk tako predstavljajo rezultati izravnave s psevdopazovanji (prosta mreža 0. reda).

Pri izravnavi mreže 1. reda smo uporabili pristop upoštevanja razlik merjenih vrednosti težnega pospeška med dvema sosednjima točkama kot opazovanja. Ker sta bila med meritvami uporabljena dva instrumenta (oznaka SGU1 in HG11) nam to omogoča izvedbo treh neodvisnih izravnav. V prvih dveh so vhodne podatke predstavljale razlike težnih pospeškov med dvema točkama dobljenih z vsakim instrumentom posebej, v tretji izravnavi pa so podatki meritev obeh instrumentov skupaj. Za uteži merjenih razlik težnega pospeška smo prevzeli vrednost 1.

Za primerjavo natančnosti meritev obeh instrumentov smo izvedli prosto izravnavo mreže (vključenih 36 točk, danih 0 točk) z upoštevanjem minimalnega števila vezi. Tako pridobimo a posteriori oceno natančnosti (referenčni standardni odklon) za posamezni instrument. Za

instrument SGU1 znaša $\hat{\sigma}_{o(SGU1)} = 7,7 \mu\text{Gal}$ in za instrument HGI1 je $\hat{\sigma}_{o(HGI1)} = 7,2 \mu\text{Gal}$. Ocenjena natančnost prosto izravnane mreže za oba instrumenta skupaj je $\hat{\sigma}_{o(SGU1+HGI1)} = 9,5 \mu\text{Gal}$.

Izvedli smo še izravnavo s fiksnimi absolutnimi točkami. V izravnavo smo vključili 36 točk, od tega je 6 danih (dane točke so izravnane vrednosti absolutnih točk v mreži 0. reda). V tem primeru je a posteriori ocena natančnosti izravnave za instrument SGU1 $\hat{\sigma}_{o(SGU1)} = 10,5 \mu\text{Gal}$ in za instrument HGI1 $\hat{\sigma}_{o(HGI1)} = 9,2 \mu\text{Gal}$. V primeru izravnave z obema instrumentoma skupaj je a-posteriori ocena natančnosti izravnave $\hat{\sigma}_{o(SGU1+HGI1)} = 10,05 \mu\text{Gal}$.

Končne vrednosti težnosti na relativnih gravimetričnih točkah smo pridobili z izravnavo opazovanj v celotni mreži. Upoštevali smo opazovanja z obema gravimetroma, brez navezav na gravimetrične točke v Republiki Hrvaški. Točko v Avstriji (1-212-10) smo vključili v izravnavo zaradi večje homogenosti mreže. Za a priori oceno natančnosti meritev smo prevzeli $\sigma_0 = 9,5 \mu\text{Gal}$ (a posteriori ocena vrednosti standardnega odklona izravnave proste mreže 1. reda z obema instrumentoma). Končne izravnane vrednosti težnosti (g) na relativnih točkah z ustreznimi standardnimi odkloni (σ) so podane v Preglednici 2. Podatki o pospešku sile teže so definirani v gravimetričnem referenčnem sistemu IGSN71 (International Gravity Standardization Network 1971).

Preglednica 2: Izravnane vrednosti težnega pospeška na gravimetričnih točkah 1. reda

Točka	g [μGal]	σ [μGal]	Točka	g [μGal]	σ [μGal]
GT 1	980592041,9	3,3	GT 16	980588023,2	4,6
GT 2	980593070,2	3,7	GT 17	980629788,8	4,1
GT 3	980532983,9	3,8	GT 18	980670802,7	4,4
GT 4	980535512,4	3,9	GT 19	980661903,8	5,3
GT 5	980573175,3	3,4	GT 20	980547740,3	4,6
GT 6	980630947,7	4,1	GT 21	980551034,7	4,3
GT 7	980594108,2	3,3	GT 22	980716218,7	5,6
GT 8	980567041,4	5,4	GT 23	980545389,6	4,3
GT 9	980355043,5	5,6	GT 24	980716163,0	6,2
GT 10	980515974,8	4,8	GT 25	980695159,1	4,4
GT 11	980560125,2	4,5	GT 26	980658581,2	3,5
GT 12	980554333,4	3,8	GT 27	980662145,0	4,5
GT 13	980566860,7	4,1	GT 28	980647775,8	3,9
GT 14	980625540,3	3,0	GT 29	980711506,8	6,2
GT 15	980614196,0	4,6	1-212-10	980514966,4	4,7

V Preglednici 3 so zbrane globalne ocene natančnosti gravimetrične mreže 1. reda.

Preglednica 3: A priori in a posteriori ocene natančnosti gravimetrične mreže 1. reda

	Instrument SGU1 [μGal]	Instrument HGI1 [μGal]	Oba Instrumenta [μGal]	Opomba
a priori			$\sigma_0 = 9, 2$	Iz razlik dvojnih meritev
	$\sigma_{f(SLO)} = 7,4$	$\sigma_{f(HR)} = 7,7$		Iz zapiranja gravimetričnih likov

a posteriori	$\hat{\sigma}_{0(SLO)} = 7,7$	$\hat{\sigma}_{0(HR)} = 7,2$	$\hat{\sigma}_{0(SLO+HR)} = 9,5$	Prosta izravnava
	$\hat{\sigma}_{p(SLO)} = 10,5$	$\hat{\sigma}_{p(HR)} = 9,2$	$\hat{\sigma}_{p(SLO+HR)} = 10,3$	Izravnava s fiksnimi danimi točkami

Primerjava s Potsdamskim datumom

Ko so se leta 1967 izvajale meritve na točkah Osnovne gravimetrične mreže Jugoslavije, je bil v veljavi Potsdamski težnostni sistem. Meritve v gravimetrični mreži Slovenije so bile izvedene v sistemu IGSN71. Če so bila merjenja in obdelava meritev v obeh sistemih izvedena korektno, naj bi med vrednostmi med obema sistemoma prihajalo do konstantne razlike. Razlika je lahko posledica napak v izračunih, različnega merskega postopka, natančnosti instrumentarija in morebitnih sprememb težnostnega polja ali višin točk. V Preglednici 4 so podani težnostni pospeški na merjenih točkah iz leta 2006 v sistemu IGSN71, težnostni pospeški na ohranjenih gravimetričnih točkah iz leta 1967 v Potsdamskem sistemu ter razlika med njimi. Gravimetrični podatki iz leta 1967 so v viru (topografije točk) podani v enoti mGal, na 2 decimalki natančno.

Preglednica 4: Primerjava vrednosti g med sistemom IGSN71 in Potsdamskim sistemom

Točka	Stara oznaka	IGSN 71 [mGal]	POTSDAM [mGal]	Razlika [mGal]
GT 1	1	980592,0445	980607,01	14,97
GT 2	2	980593,0719	980608,13	15,06
GT 4	4	980535,5147	980550,70	15,19
GT 5	348	980573,1785	980588,19	15,01
GT 6	6	980630,9538	980645,65	14,70
GT 8	8	980567,0491	980581,89	14,84
GT 9	9	980355,0518	980370,54	15,49
GT 10	10	980515,9822	980531,08	15,10
GT 11	11	980560,1297	980575,16	15,03
GT 12	12	980554,3356	980569,43	15,09
GT 15	35	980614,1982	980629,09	14,89
GT 16	37	980588,025	980602,92	14,89
GT 19	19	980661,9066	980676,85	14,94
GT 20	20	980547,7429	980562,84	15,10
GT 22	44	980716,2192	980730,86	14,64
GT 23	23	980545,3884	980560,74	15,35
				povp. = 15,02

Vidimo, da je povprečna razlika med sistemoma + 15,02 mGal. V splošnem velja, da je bil med sistemom IGSN71 in Potsdamskim sistemom izmerjen zamik + 14 mGal. Naknadne meritve na območju bivše Jugoslavije, ki so bile izvedene v Beogradu in Zagrebu, so pokazale zamik v velikosti 15,13 mGal do 15,10 mGal (Zbornik instituta za geodezijo, 1984). S testnimi meritvami na območju Slovenije⁴, izvedenimi v letu 2005, je bil določen zamik v velikosti 15,1 mGal (Urek, 2005). Naše meritve navedene razlike potrjujejo.

⁴ meritve so bile izvedene na reperjih nivelmana visoke natančnosti (II. NVN) in nekaterih točkah osnovne gravimetrične mreže

Zaključek

Osnovno gravimetrično mrežo Slovenije tvori 35 točk, 6 absolutnih točk mreže 0. reda in 29 relativnih točk 1. reda. Določitev vrednosti težnega pospeška na točkah 1. reda smo opravili z gravimetričnimi meritvami, ki smo jih izvedli v 42 delovnih dneh konec leta 2006. Meritve smo izvajali z dvema relativnima gravimetroma tipa Scintrex CG-3M.

Obdelavo podatkov opazovanj smo opravili z izračunom ustreznih popravkov in redukcij merjenih vrednosti težnega pospeška. Iz popravljenih vrednosti težnosti na posameznih točkah smo izračunali razlike težnih pospeškov, ki smo jih obravnavali kot opazovanja. Ta smo izravnali v mreži po metodi posrednih opazovanj. Da bi upoštevali vse prostorske in časovne spremembe na absolutnih točkah, ki so se zgodile od njihove stabilizacije in izmere v letih 1995 in 1996, smo najprej izravnali opazovanja med samimi absolutnimi točkami. Izravnavo smo opravili po metodi posrednih opazovanj in to kot prosto mrežo. Na ta način smo pridobili nove vrednosti težnega pospeška na absolutnih točkah, ki smo jih potem obravnavali kot dane vrednosti v izravnavi opazovanj v celotni mreži.

Menimo, da so sama opazovanja opravljena z natančnostjo, ki ustreza meritvam za določitev gravimetričnih mrež. Na to kažejo referenčni standardni odkloni v izravnavi celotne mreže z upoštevanjem minimalnega števila vezi (v primeru skupne izravnave meritev obeh instrumentov smo dobili vrednost: $\hat{\sigma}_{o(SGU_1+HGI_1)} = 9,5 \mu\text{Gal}$). To je hkrati tudi ocenjena natančnost opravljenih meritev.

Končne vrednosti težnosti na relativnih točkah gravimetrične mreže 1. reda smo pridobili z izravnavo opazovanj v celotni mreži. Upoštevali smo opazovanja z obema gravimetroma. Ocenjena natančnost določitve posameznih točk se giblje med 3,0 μGal in 6,2 μGal . Doseženo natančnost ocenjujemo kot zelo dobro, saj so bile to prve relativne gravimetrične meritve v Sloveniji, izvedene po več desetletjih.

V splošnem so meritve v osnovni gravimetrični mreži Republike Slovenije opravljene kvalitetno in vrednosti težnega pospeška so določene z ustrežno natančnostjo. Priporočljivo bi bilo gravimetrična opazovanja v mreži po nekaj letih ponoviti, saj bi tako pridobili tudi vpogled v morebitne časovne spremembe težnega pospeška. Pred tem pa bi bilo vsekakor potrebno ponovno izvesti absolutne meritve na vseh točkah mreže 0. reda, saj so meritve stare že več kot 10 let. Poleg tega je na nekaterih točkah prišlo tudi do sprememb, ki vplivajo na težnostni pospešek. Na osnovi rezultatov izmere in dosežene natančnosti lahko zaključimo, da smo z novo osnovno gravimetrično mrežo Republike Slovenije pridobili kvalitetno osnovo za vse nadaljne gravimetrične meritve na območju Slovenije.

Literatura

- Hećimović, Ž., Markovinović, D., 2003b. Kalibracija relativnih Scintrex CG-3M gravimetara HGI-1 i HGI-2. Geodetski list 3: 161-166, Zagreb.
- Koler, B., Medved, K., Kuhar, M., 2006b. Project of the new gravimetric network and test survey in Slovenia. Contributions to Geophysics and Geodesy 2006. Special issue, 36: 31-41.
- Micro-g Solutions, 1995. FG5 Software Manual OLIVIA/RERPLAY Version 2.2, Erie, Colorado. , <http://www.microglacoste.com/software.htm>
- Niemeier, W., 2002. Ausgleichungsrechnung. Učbenik. Berlin, New York.
- Scintrex Limited, 1995. CG-3/3M Autograv Automated Gravity meter. Operation manual. Scintrex Limited, Ontario, Canada.
- Schüler, T., 2000. Conducting and Processing Relative Gravity Surveys. University FAF Munich, Institute of Geodesy and Navigation, Germany.

- Sterle O., 2007. Združevanje klasičnih geodetskih in GNSS-opazovanj v geodinamičnih raziskavah. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Podiplomski študij geodezije: 118 str.
- Torge, W., 1989. Gravimetry. Učbenik. Berlin - New York, Walter de Gruyten.
- Torge W., 2001. Geodesy. Učbenik. Berlin - New York, Walter de Gruyten.
- Urek, D., 2005. Avtomatska obdelava in analiza testnih meritev z relativnim gravimetrom SCINTREX CG-3M. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer: 106 str.
- Zbornik instituta za geodeziju, 1984. Studija o stanju dosadašnjih radova na astro-geodetskoj mreži SFRJ sa predlogom mera za dalje radove. Beograd, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet: 97 str.