



LIETUVOS TERITORIJOS GRAVIMETRINIO ŽEMĖLAPIO TIKSLUMO VERTINIMAS

Rosita Birvydienė, Boleslovas Krikštaponis, Romuald Obuchovski, Eimuntas Paršeliūnas,
Petras Petroškevičius, Dominykas Šlikas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Geodezijos institutas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva
El. paštas gi@ap.vgtu.lt

Įteikta 2009 10 27; priimta 2010 01 05

Santrauka. Remiantis matavimų, atliktų Lietuvos gravimetrinio tinklo punktuose, duomenimis, įvertintas Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų gravimetrinio žemėlapio tikslumas. Vertinimui naudota 686 gravimetrinių punktų sunkio pagreičio reikšmės, kurių vidutinė kvadratinė paklaida neviršija 9 μ Gal. Nustatytos teritorijos, kuriose sunkio pagreitis, apskaičiuotas pagal žemėlapi, turi sistemingą paklaidą. Gautas vidutinis skirtumas tarp žemėlapyje taikomos Potsdamo sunkio sistemos ir IGSN 71 sistemos, apibrėžtos Lietuvos gravimetriniame tinkle atliktais absoliučiais gravimetriniais matavimais.

Reikšminiai žodžiai: gravimetrinis žemėlapis, gravimetrinių žemėlapių tikslumas, sunkio sistemos, gravimetriniai matavimai.

1. Įvadas

Sudarant geodezinius tinklus, nustatant geoido ir kvazigeoido formą, sprendžiant įvairius geodezinius, geofizinius, naudingųjų iškasenų paieškos, navigacijos, metrologijos bei kitus uždavinius būtina informacija apie gravitacijos lauką (Torge 1989; Petroškevičius 1995, 2004). Išsamios informacijos apie gravitacijos lauką teikia Bouguer sunkio anomalijų gravimetriniai žemėlapiai. Naudojant tokius žemėlapius sunkio pagreičiui nustatyti, svarbu žinoti ir kokių tikslumu gaunamos pagreičio reikšmės.

Lietuvoje įvairiems poreikiams naudojamas 1963–1976 m. išleistas gravimetrinis 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapis (Petroškevičius 1995, 2004), sudarytas remiantis 1951–1962 m. gravimetrinių matavimų duomenimis. Pagal gravimetrinių kontrolinių matavimų ir pirmosios klasės matavimų duomenis, gautus 1998–2001 m., buvo bandoma vertinti žemėlapio tikslumą (Petroškevičius, Paršeliūnas 1999; Sas-Uhrynowski *et al.* 2002), tačiau naujai išmatuotų gravimetrinių punktų skaičius (apie 50) buvo per mažas. 2007–2009 m. atlikus naujus gravimetrinius matavimus, sudarant antrosios klasės gravimetrinį tinklą (Paršeliūnas *et al.* 2008; Birvydienė *et al.* 2009) atsirado naujos galimybės gravimetrinį žemėlapiį įvertinti išsamiau.

Darbo tikslas – remiantis naujais gravimetriniais matavimais, atliktais nulinės, pirmosios ir antrosios klasės punktuose (iš viso 686 punktai) (Birvydienė *et al.* 2009; Mäkinen *et al.* 1995, 1996; Mäkinen, Petroškevičius

2003; Petroškevičius, Paršeliūnas 2003; Paršeliūnas, Petroškevičius 2007), įvertinti Lietuvos teritorijos gravimetrinio žemėlapio tikslumą bei sąsają tarp dabar taikomos sunkio sistemos, pagrįstos absoliučiais sunkio matavimais (Mäkinen, Petroškevičius 2003; Paršeliūnas, Petroškevičius 2007; Petroškevičius *et al.* 2005), ir anksčiau taikytos Potsdamo sunkio sistemos.

2. Gravimetriniai matavimai žemėlapiui sudaryti

Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapis sudarytas remiantis išsitiesinės gravimetrinės nuotraukos duomenimis (per 10 000 punktų). Gravimetrinius matavimus atliko Lietuvos geologijos ir geografijos institutas. Darbams vadovavo S. Blinstrubas ir A. Ražinskas (Petroškevičius 1995, 2004; Ražinskas 1959). Gravimetrinės nuotraukos darbai vykdyti 1954–1959 metais. Gravimetrinius matavimus Lietuvos teritorijoje taip pat atliko gamybinės organizacijos: trestas „Glavneftegeofizika“ 1951 m. (J. Fokšanskij); trestas „Mosneftegeofizika“ 1951–1952 m. (G. Čutkov); kontora (trestas) „Specgeofizika“ 1958–1962 m. (A. Faitelson).

Darant nuotrauką taikyta Potsdamo sunkio sistema. 1952–1962 m. sudarytas ir trečiosios klasės gravimetrinis tinklas, jungiantis 105 punktus (Petroškevičius 1995). Punktai išsidėstę tolygiai, išskyrus vakarinę Lietuvos dalį. Matavimai atlikti gravimetrais *ГAK-3M*, *ГAK-4M*, *ГAK-III*, *ГAK-7T*, *Worden*. Atliekant matavimus, atraminiais

laikyti Nr. 184 (I klasė, Vilnius), Nr. 386 (II klasė, Panevėžys), Nr. 378 (II klasė, Ryga), Nr. 384 (II klasė, Kaliningradas) gravimetriniai punktai. Taip pat naudoti punktai Daugpilyje ir Lydoje. Sunkio pagreičio nustatymo vidutinė kvadratinė paklaida neviršija 0,35 mGal.

Darant gravimetrinę nuotrauką sunkio pagreitis matuotas gravimetrais *CH-3*, *ΓKA*, *ΓAK-3M*, *ΓAK-4M*, *ΓKM*. Aukščiai nustatyti atliekant geometrinę arba barometrinių niveliavimą bei pagal topografinius žemėlapius. Aukščių paklaidos neviršija 2,5 m. Gravimetrinės nuotraukos punktų katalogas neišlikęs.

3. Bouguer anomalijų žemėlapis

Žemėlapis sudarytas ir išleistas 1963–1976 m. Žemėlapi parengė ir išleido kontora (trestas) „Specgeofizika“. Sudarant žemėlapi taikyta 1942 m. koordinacių sistema, Krasovskio elipsoidas bei Baltijos sistemos normaliniai aukščiai. Bouguer anomalijoms skaičiuoti taikytas Potsdamo sunkio sistemos sunkis, Helmerto normalusis sunkio laukas bei Žemės plutos tankis $\delta = 2,3 \text{ g/cm}^3$. Tenka pažymėti, kad Helmerto normalųjį sunkio lauką atitinkantis ekvipotencialinis elipsoidas tiksliai nesutampa su koordinatėms skaičiuoti taikytu Krasovskio elipsoidu.

Žemėlapyje Bouguer anomalijų laukas pavaizduotas izoanomalėmis, išvestomis kas 2 mGal. Taip pat pažymėti gravimetrinių matavimų taškai su Bouguer anomalijų reikšmėmis. Bouguer anomalijų vidutinės kvadratinės paklaidos neviršija 0,8 mGal.

Bouguer anomalijoms $(g_P - \gamma_H)_\delta$ skaičiuoti taikyta formulė

$$(g_P - \gamma_H)_\delta = g_P - \gamma_H^0 + 0,3086 H - 0,0419 \delta H, \quad (1)$$

čia g_P – Potsdamo sistemos sunkio pagreitis, išmatuotas Žemės paviršiaus taške; γ_H^0 – Helmerto normaliojo sunkio lauko pagreitis ekvipotencialinio elipsoido paviršiuje

$$\gamma_H^0 = 978\,030 (1 + 0,005\,302 \sin^2 B_{42} - 0,000\,007 \sin^2 2B_{42}) \text{ mGal}, \quad (2)$$

B_{42} – 1942 m. koordinacių sistemos geodezinė platumas; H – Žemės paviršiaus taško normalinis aukštis metrais.

4. Naujojo gravimetrinio tinklo matavimų duomenys

Gravimetrinio žemėlapiro tikslumui vertinti naudota naujojo gravimetrinio tinklo duomenys. Naujasis gravimetrinis pagrindas Lietuvoje pradėtas kurti 1994 m. atlikus absoliučiuosius sunkio pagreičio matavimus trijuose gravimetriniuose punktuose – VILNIUS, KLAIPĖDA ir PANEVĖŽYS (Mäkinen *et al.* 1995, 1996). Tai pirmieji absoliutieji balistiniai matavimai Lietuvoje. Jie buvo pakartoti 2002 m. (Mäkinen, Petroškevičius 2003). Matavimus atliko Jaakko Mäkinen (Suomijos geodezijos institutas) balistiniu gravimetru *JILAg-5*. Matuojant nustatytų absoliučiuoju sunkio pagreičio reikšmių paklaida – 5 μGal . Taigi Lietuvoje įtvirtinta nauja sunkio sistema, atitinkanti sistemą *IGSN 71*.

1998–2001 m. gravimetrais *LaCoste and Romberg* Lietuvoje sudarytas pirmosios klasės gravimetrinis tinklas. Tinklas jungia 49 punktus. 2007–2009 m. pirmosios klasės tinklas sutankintas antrosios klasės tinklu, atliekant matavimus automatiniais gravimetrais *Scintrex CG-5* (Paršeliūnas *et al.* 2008; Birvydienė *et al.* 2009). Tinklo punktų koordinatės nustatytos *GPS* metodu remiantis nuolat veikiančiu *LitPOS* tinklu (Paršeliūnas 2008). Normaliniai aukščiai skaičiuoti taikant Lietuvos teritorijos kvazigeoido modelį (Petroškevičius, Paršeliūnas 1995). Taigi šiandien Lietuvos atraminis gravimetrinis tinklas jungia 686 punktus, kuriuose sunkio pagreičio vidutinė kvadratinė paklaida neviršija 9 μGal (Birvydienė *et al.* 2009). Šių punktų sunkio pagreičio reikšmes panaudojome gravimetrinio žemėlapiro tikslumui įvertinti.

5. Žemėlapiro tikslumo įvertinimas

Gravimetrinio žemėlapiro tikslumui įvertinti, naujo gravimetrinio tinklo punktams apskaičiuotos 1942 m. sistemos koordinatės. Jos naudotos punktų padėčiai žemėlapyje nustatyti bei sunkio pagreičio reikšmėms pagal Bouguer anomalijas skaičiuoti. Bouguer anomalijų reikšmės gravimetrinio tinklo punktuose nustatytos pagal izoanomalės interpoliavimo būdu. Potsdamo sistemos sunkio pagreičiui g_P pagal Bouguer anomalijas skaičiuoti taikyta formulė (Petroškevičius 2004):

$$g_P = (g_P - \gamma_H) + \gamma_H^0 - 0,3086 H, \quad (3)$$

čia $(g_P - \gamma_H) = (g_P - \gamma_H)_\delta + 0,0419 \delta H$ – mišrioji sunkio anomalija laisvajame ore.

Sunkio pagreitis g_{Pz} , nustatytas Žemės paviršiaus taške (normalinis aukštis H_z), redukuojamas į tašką, kurio normalinis aukštis H , pagal formulę (Petroškevičius 2004):

$$g_P = g_{Pz} + dg. \quad (4)$$

Jeigu $H_z > H$, tai

$$dg = \Delta\gamma_H(h) - 2 \cdot 0,0419 \delta h, \quad (5)$$

čia $\Delta\gamma_H(h)$ – aukščio Helmerto normaliajame sunkio lauke pataisa:

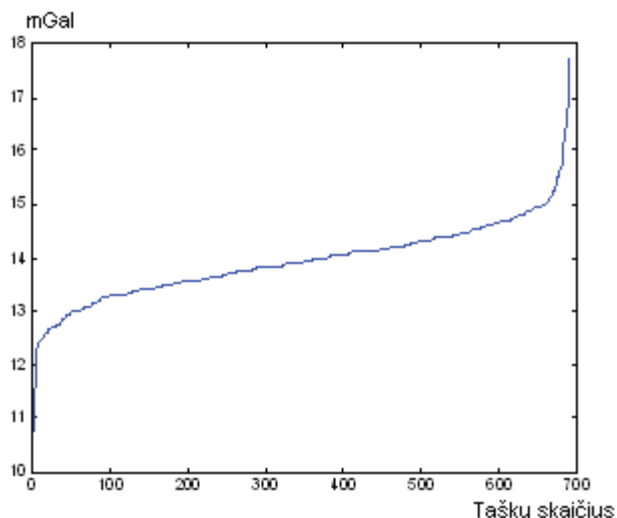
$$\Delta\gamma_H(h) = 0,30855(1 + 0,00071 \cos 2B_{42})h - 0,0723h^2 \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

$h = H_z - H$.

Jeigu $H_z < H$, tai

$$dg = -\Delta\gamma_H(h), \quad \text{čia } h = H - H_z.$$

Apskaičiuota sunkio reikšmių, nustatytų pagal gravimetrinį žemėlapi ir išmatuotų gravimetriniuose punktuose, skirtumai. Skirtumų reikšmių (Paršeliūnas 2008) kitimo ribos – nuo 10,743 mGal iki 17,755 mGal. Skirtumų, išdėstytų didėjančia tvarka, grafikas parodytas 1 paveiksle.



1 pav. Pagal žemėlapi nustatytų ir išmatuotų sunkio reikšmių skirtumų kitimas, mGal

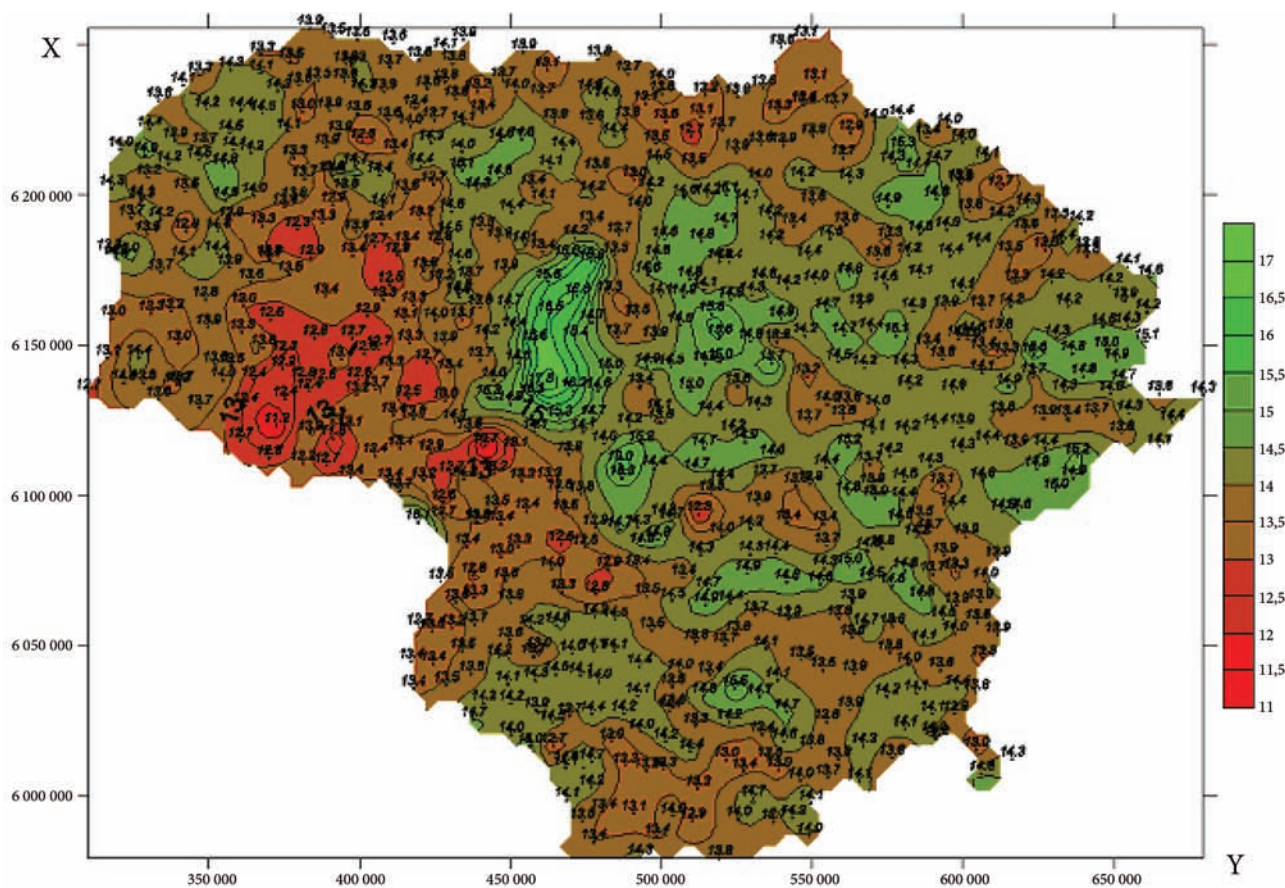
Fig. 1. Change of the differences between the measured and detected from the gravimetric map gravity accelerations, mGal

Taikant gravimetriniuose punktuose apskaičiuotas skirtumų reikšmes, sudarytas skaitmeninis sunkio pagreičio skirtumų modelis, kurio grafinė išraiška pateikta 2 paveiksle. Jame sunkio pagreičio skirtumai pavaizduoti izolinijomis, išvestomis kas 0,5 mGal.

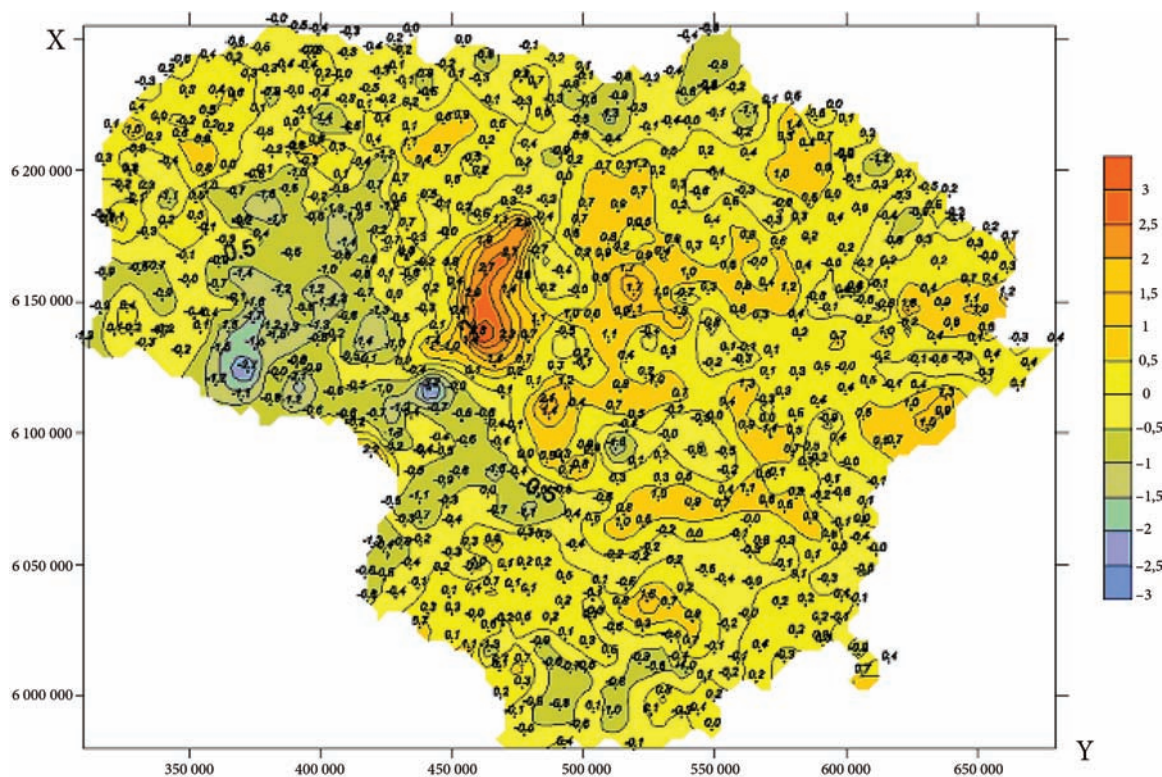
Pagal sudarytą skaitmeninį sunkio pagreičio skirtumų modelį nustatyta vidutinė sunkio skirtumų reikšmė – 13,930 mGal, t. y. vidutinis skirtumas tarp gravimetriniame žemėlapyje taikytos sunkio sistemos ir dabar priimtos sunkio sistemos. Eliminavus vidutinę reikšmę, skirtumai svyruoja nuo –3,185 mGal iki +3,827 mGal. Pagal Beselio formulę apskaičiuota skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida – 0,714 mGal. Atsižvelgiant į tai, kad sunkio pagreičio, išmatuoto gravimetriniuose punktuose, vidutinės kvadratinės paklaidos neviršija 0,009 mGal., galima daryti išvadą, kad sunkio pagreičio, nustatyto pagal gravimetrinį žemėlapi, vidutinė kvadratinė paklaida yra 0,7 mGal.

Taikant gravimetriniuose punktuose apskaičiuotas skirtumų reikšmes ir eliminavus vidutinę skirtumų reikšmę sudarytas skaitmeninis sunkio pagreičio skirtumų modelis, kurio grafinė išraiška pateikta 3 pav. Jame skirtumai pavaizduoti izolinijomis, išvestomis kas 0,5 mGal.

Analizuojant 3 pav. duomenis matyti, kad tam tikrose Lietuvos teritorijos vietose gravimetrinis žemėlapis turi sistemingąsias paklaidas. Pavyzdžiui, centrinėje Lietuvos dalyje išryškėja teigiamas skirtumas, siekiantis 3 mGal, o pietvakarinėje dalyje – neigiamas skirtumas, siekiantis –3 mGal. Šių skirtumų anomalijų priežastims nustatyti reikėtų atlikti išsamesnius tyrimus. Sudarytą skaitmeninį skirtumų modelį galima naudoti sunkio reikšmėms, apskaičiuotoms pagal žemėlapi, patikslinti.



2 pav. Sunkio pagreičio skirtumai
Fig. 2. Gravity acceleration differences



3 pav. Sunkio pagreičio skirtumai (eliminavus vidutinę skirtumų reikšmę), mGal

Fig. 3. Gravity acceleration differences (after eliminating average value of the differences), mGal

6. Išvados

1. Remiantis gravimetrinių matavimų, atliktų Lietuvos gravimetrinio tinklo nulinės, pirmosios ir antrosios klasės punktuose, rezultatais, nustatyta, kad sunkio pagreičio, gaunamo pagal Lietuvos teritorijos gravimetrinį Bouguer anomalijų 1:200 000 mastelio žemėlapi, vidutinė kvadratinė paklaida yra 0,7 mGal.
2. Skirtumai tarp sunkio reikšmių, nustatytų pagal gravimetrinį žemėlapi ir gautų atlikus gravimetrinius matavimus, kinta nuo 10,74 mGal iki 17,76 mGal. Sudarius skaitmeninį skirtumų modelį tampa akivaizdžios (Birvydienė *et al.* 2009) sunkio pagreičio, nustatomo pagal gravimetrinį žemėlapi, sistemingosios paklaidos, tad galima patikslinti sunkio pagreičio reikšmes.
3. Nustatyta, kad vidutinė skirtumo tarp žemėlapyje taikytos Potsdamo sunkio sistemos ir dabar taikomos IGSN 1971 sistemos, apibrėžtos atlikus absoliučiuosius sunkio matavimus, reikšmė yra 13,93 mGal.
4. Nustatyta, kad sunkio pagreičio, gaunamo pagal Lietuvos teritorijos gravimetrinį Bouguer anomalijų 1:200 000 mastelio žemėlapi, ir sunkio pagreičio, gauto valstybinio gravimetrinio tinklo punktuose, skirtumai svyruoja nuo $-3,185$ mGal iki $+3,827$ mGal (eliminavus vidutinę skirtumų reikšmę).

Literatūra

- Birvydienė, R.; Paršeliūnas, E.; Petroškevičius, P.; Obuchovski, R.; Šlikas, D.; Viskontas, P. 2009. Lietuvos gravimetrinio tinklo charakteristikos, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 35(4): 100–108. doi:10.3846/1392-1541.2009.35.131-136
- Mäkinen, J.; Petroškevičius, P.; Kazakevičius, S.; Stepanovienė, J. 1995. Lietuvos valstybinio gravimetrinio nulinės klasės tinklo sudarymas, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 22(2): 3–21.
- Mäkinen, J.; Petroškevičius, P.; Sildvee, H.; Kaminskis, J. 1996. Absolute-gravity measurements in Lithuania, Estonia, and Latvia in 1994–1995. European Geodysical Society, *Annals Geophysicae* 14(Supplement I): C231.
- Mäkinen, J.; Petroškevičius, P. 2003. Lietuvoje atliktų absoliutinių sunkio matavimų analizė, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 29(4): 99–105. ISSN 1392-1541.
- Paršeliūnas, E. 2008. LitPOS – a service for precise positioning in real time, in *The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2008): Selected papers (June 26–29, 2008 Vilnius, Lithuania)*, 379–383. doi:10.3846/isarc.20080626.379
- Paršeliūnas, E.; Petroškevičius, P.; Obuchovski, R. 2008. Analysis of gravimetric observations made by Scintrex CG-5, in *The 7th International Conference “Environmental Engineering”: Selected papers (22–23 May 2008, Vilnius, Lithuania)* 3: 1422–1428. ISBN 978-9955-28-265-5.

- Paršeliūnas, E.; Petroškevičius, P. 2007. Quality of Lithuanian National Gravimetric Network, *Harita Dergisi* 18: 388–392.
- Petroškevičius, P. 1995. Gravimetrinės medžiagos Lietuvos teritorijos geoidui nustatyti parengimas, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 22(2): 30–44.
- Petroškevičius, P.; Paršeliūnas, E. 1999. Lietuvos gravimetrinio pagrindo tyrimas ir tobulinimas, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 25(2): 73–82.
- Petroškevičius, P. 2004. *Gravitacijos lauko poveikis geodeziniam matavimams*. Vilnius: Technika. 290 p.
- Petroškevičius, P.; Paršeliūnas, E. 1995. Lietuvos teritorijos geoido skaičiavimas, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 22(2): 50–58.
- Petroškevičius, P.; Paršeliūnas, E. 2003. Lietuvos atraminio gravimetrinio tinklo statistika, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 29(2): 31–39.
- Petroškevičius, P.; Zakarevičius, A.; Parseliunas, E. 2005. Premises for Lithuanian gravity and height systems adoption, in *The 6th International Conference "Environmental Engineering": Selected papers (26–27 May 2005, Vilnius, Lithuania)* 2: 985–992. ISBN 9986-05-851-1.
- Ražinskas, A. 1959. Gravimetrinio atramos tinklo sudarymo ir išlyginimo klausimu, *Geofizika ir klimatologija* 10(1): 5–27.
- Sas-Uhrynowski, A.; Mroczek, S.; Sas, A.; Petroškevičius, P.; Obuchowski, R.; Rimkus, D. 2002. Establishment of Lithuanian national gravimetric first order network, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 28(3): 75–82.
- Torge, W. 1989. *Gravimetry*. Berlin; New York: de Gruyter. 465 p.

Rosita BIRVYDIENĖ. MSc, Geodetic Institute, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2744 703, Fax +370 5 2744 705, e-mail: rositaros@gmail.com

MSc at VGTU (2008).

Research interests: geoinformation systems, gravimetry.

Boleslovas KRIKŠTAPONIS. Assoc. Prof., Dr. Dept of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania Ph +370 5 2744 703, Fax +370 5 2744 705, e-mail: boleslovas.krikstaponis@vgtu.lt

Research interests: calibration of geodetic instruments, engineering geodesy.

Romuald OBUCHOVSKI. Dr. Geodetic Institute, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania, Ph +370 5 2744 703, Fax +370 5 2744 705, e-mail: romuald.obuchovski@gmail.com.

Doctor at VGTU (2005).

Research interests: graphs theory in geodesy, adjustment of geodetic networks, geoinformation systems, establishment of geodetic and gravimetric networks.

Eimuntas PARŠELIŪNAS. Assoc. Prof., Dr. Dept of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania Ph +370 5 2744 703, Fax +370 5 2744 705, e-mail: eimis@vgtu.lt.

Doctor (1992). Author of two teaching books and more than 50 scientific papers. Participated in many intern conferences.

Research interests: graphs theory in geodesy, adjustment of geodetic networks, geoinformation systems, establishment of geodetic and gravimetric networks.

Petras PETROŠKEVIČIUS. Doctor Habil, Professor. Dept of Geodesy and Cadastre. Vilnius Gediminas Technical University. Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2744 703, Fax +370 5 2744 705, e-mail: petras.petroškevičius@vgtu.lt.

Doctor Habil at VGTU (2000). Author of monography and more than 120 scientific papers.

Research interests: satellite movement theory, research on the Earth's gravity field, establishment of geodetic and gravimetric networks.

Dominykas ŠLIKAS. MSc, Dept of Geodesy and Cadastre. Vilnius Gediminas Technical University. Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2744 703, Fax +370 5 2744 705, e-mail: domasslikas@gmail.com

MSc at VGTU (2007).

Research interests: calibration of geodetic instruments, engineering geodesy.