

MATAVIMŲ SCINTREX CG-5 GRAVIMETRAIS ANALIZĖ

Petras Petroškevičius¹, Rosita Birvydienė², Romuald Obuchovski³, Eimuntas Paršeliūnas⁴Geodezijos institutas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, LietuvaEl. paštas: ¹petras.petroskevicius@vgtu.lt; ²rosita.birvydiene@vgtu.lt (corresponding author);
³gi@vgtu.lt; ⁴eimis@vgtu.lt

Įteikta 2011 11 15; priimta 2011 11 21

Santrauka. Atlikti keturių *Scintrex CG-5* gravimetrų tyrimai. Remiantis gravimetrinės bazės, įrengtos Lietuvos teritorijoje, matavimų duomenimis, nustatyta gravimetrų kalibravimo koeficientai ir jų kitimo pobūdis. Atlikti sunkio pagreičio vertikaliojo gradiento aštuonių aukštų pastate tyrimai. Laboratorinėmis sąlygomis nustatytas gravimetrų paros nulio slinkties kitimo diapazonas. Atlikti gravimetrų nulio slinkties matavimų metu tyrimai.

Reikšminiai žodžiai: gravimetriniai matavimai, gravimetras, kalibravimo koeficientas, nulio slinkstis.

1. Įvadas

Gravimetrinių matavimų duomenys teikia vertingos informacijos apie Žemės sunkio lauką. Ši informacija svarbi atliekant nuodugnius geoido ir kvazigeoido tyrimus (Krynski, Lyszkowicz 2007; Paršeliūnas *et al.* 2010a). Šiuos paviršius nustatant tiksliau yra prielaidos didinti Žemės paviršiaus taškų aukščių nustatymo tikslumą (Mäkinen *et al.* 2006; Petroškevičius *et al.* 2008). Gravimetriniai duomenys svarbūs sprendžiant ne tik geodezinius, bet ir geofizinius, geodinaminis bei navigacijos uždavinius (Zakarevičius *et al.* 2008).

Naujų galimybių, atliekant gravimetrinius matavimus, teikia automatiniai kvarciniai gravimetrai (Birvydienė *et al.* 2009; Paršeliūnas *et al.* 2008, 2010b), todėl svarbu šiuos gravimetrus tirti toliau. Darbo tikslas – pateikti matavimų duomenų, gautų, atliekant tyrimus gravimetrais *Scintrex CG-5*, analizę.

2. Gravimetrinės bazės matavimų analizė

Siekiant įvertinti automatinių gravimetrų veikimą 2007–2011 m., keturiais gravimetrais *Scintrex CG-5* atlikti matavimai gravimetrinėje bazėje EIŠIŠKĖS, VILNIUS, PANEVĖŽYS, SALOČIAI (1 pav.).

Bazės ilgis 270 km, sunkio prieaugis tarp kraštinių bazės punktų 201 mGal. Bazės punktai VILNIUS ir PANEVĖŽYS, esantys pastatų apatiniuose aukštuose, priklauso nulinės klasės gravimetriniam tinklui, kurio punktuose 1994 ir 2002 m. atlikti absoliutieji sunkio pagreičio matavimai balistiniu gravimetru *JILAg-5* (Mäkinen, Petroškevičius 2003). Pagreitis šiuose punktuose žinomas 5 μ Gal tikslumu. Kiti

du punktai – EIŠIŠKĖS ir SALOČIAI įrengti lauke. Jie priklauso pirmosios klasės gravimetriniam tinklui, kurio matavimai atlikti 1998–2001 m. gravimetrais *La-Coste and Romberg* (Paršeliūnas, Petroškevičius 2007). Sunkio pagreičio šiuose punktuose paklaida neviršija 10 μ Gal. Bazės punktai išsidėstę dienovidinio kryptimi ir įrengti prie gero kelio, todėl patogūs gravimetriniams baziniams matavimams atlikti.

Per ketverius metus keturiais gravimetrais *Scintrex CG-5* atlikta 12 gravimetrinės bazės matavimų. 2007–2009 m. – po du bazinius matavimus (Birvydienė *et al.* 2009; Paršeliūnas *et al.* 2010b) – prieš ir po matavimų, atliekamų sudarant Lietuvos antrosios klasės gravimetrinį tinklą. Matavimai punktuose vyko šia seka: VILNIUS, PANEVĖŽYS, SALOČIAI, PANEVĖŽYS, VILNIUS, EIŠIŠKĖS, VILNIUS. Kiekviename punkte buvo atliekama po 20 ciklų 55 s trukmės matavimų. Vieno matavimų reiso trukmė 12 valandų.

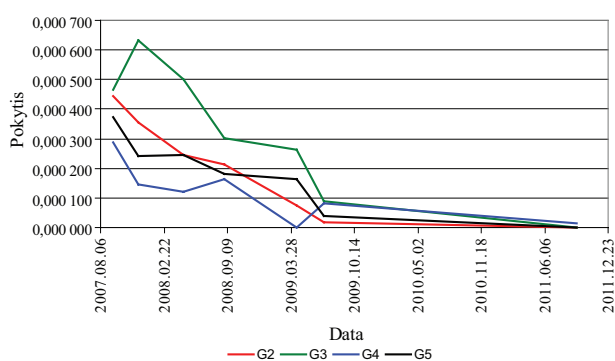
Matavimų rezultatai apdoroti taikant *GRAVSOFT* programų paketo procedūras. Nustatyti kiekvieno reiso gravimetrų kalibravimo koeficientai. Koeficientų vidutinė kvadratinė paklaida neviršija 0,000 059.

Keturių gravimetrų vidutinės kalibravimo koeficientų reikšmės pateiktos 1 lentelėje (2007-12-04 ir 2011-09-16 atlikta po vieną bazinį matavimą). Gravimetrų kalibravimo koeficientų kitimo pobūdis akivazdus iš 2 paveikslų.

Iš 1 lentelėje pateiktų rezultatų matyti, kad G2 ir G4 gravimetrų kalibravimo koeficientų reikšmės didesnės už vienetą, o G3 ir G5 gravimetrų – mažesnės. Didžiausias nuokrypis nuo vieneto G2 gravimetro (0,013).



1 pav. Gravimetrinės bazės punktai
 Fig. 1. The points of gravimetric calibration base



2 pav. Kalibravimo koeficientų kitimas
 Fig. 2. The changes of the linear scale coefficients

1 lentelė. Vidutinės kalibravimo koeficientų reikšmės

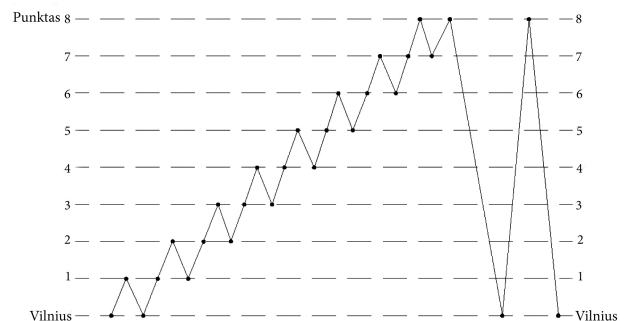
Table 1. Mean values of the linear scale coefficients

Data	G2	G3	G4	G5
2007-09-14–18	1,013 514	0,999 441	1,000 458	0,999 981
2007-12-04	1,013 427	0,999 607	1,000 315	0,999 847
2008-04-24–25	1,013 316	0,999 478	1,000 291	0,999 852
2008-08-27–09-02	1,013 284	0,999 277	1,000 334	0,999 787
2009-04-15–16	1,013 144	0,999 238	1,000 171	0,999 771
2009-07-09–10	1,013 086	0,999 064	1,000 251	0,999 646
2011-09-16	1,013 070	0,998 975	1,000 184	0,999 606

Per tiriamąjį laikotarpį gravimetrų kalibravimo koeficientų reikšmės turi tendenciją mažėti. Didžiausias trečiojo gravimetro kalibravimo koeficientų reikšmių kitimo diapazonas – 0,000 632. Gravimetrų kalibravimo koeficientų kitimas panašaus pobūdžio (koreliacijos tarp G2 ir G3 koeficientas yra 0,8826, tarp G2 ir G4 – 0,8819, tarp G2 ir G5 – 0,9413).

3. Sunkio pagreičio vertikaliojo gradiento tyrimas

Vilniaus Gedimino technikos universiteto pastate, kurio rūsyje esančioje Gravimetrijos laboratorijoje įrengtas absoliučiuųjų sunkio matavimų punktas VILNIUS, 2011 m. vasario 18 d. atlikti vertikaliojo sunkio pagreičio gradiento kitimo tyrimai. Gravimetrais *Scintrex CG-5* matuota kiekviename pastato aukšte pagal 3 paveiksle parodytą schemą.



3 pav. Gravimetrinių matavimų schema
 Fig. 3. The scheme of gravimetric measurements

Matavimai pradėti ir baigti punkte VILNIUS. Kiekviename punkte atlikta po 10 ciklų 55 s trukmės matavimų. Apdorojant matavimų duomenis, *GRAVSOFT* programų paketo procedūroms naudotos gravimetrų kalibravimo koeficientų reikšmės, interpoliuotos matavimų momentui. 2 lentelėje pateiktos sunkio pagreičio reikšmės, kiekvienu gravimetru nustatytose punktuose, esančiuose skirtinguose pastato aukštuose.

Sunkio pagreičio vidutinė kvadratinė paklaida punktuose neviršija 5 μ Gal, vieno matavimo paklaida – 7 μ Gal. Vertinant tikslumą pagal dvigubųjų matavimų skirtumus vieno matavimo vidutinė matavimo paklaida neviršija 9 μ Gal.

2 lentelė. Sunkio pagreitis, mGal**Table 2.** The gravity acceleration mGal

Punktas	G2	G3	G4	G5	G2345
1	981 458,670	981 458,676	981 458,671	981 458,671	981 458,670
2	981 457,687	981 457,696	981 457,691	981 457,689	981 457,689
3	981 456,705	981 456,709	981 456,708	981 456,706	981 456,706
4	981 455,726	981 455,732	981 455,728	981 455,727	981 455,727
5	981 454,736	981 454,742	981 454,739	981 454,736	981 454,738
6	981 453,757	981 453,770	981 453,762	981 453,757	981 453,762
7	981 452,762	981 452,780	981 452,762	981 452,761	981 452,767
8	981 451,812	981 451,833	981 451,810	981 451,809	981 451,817

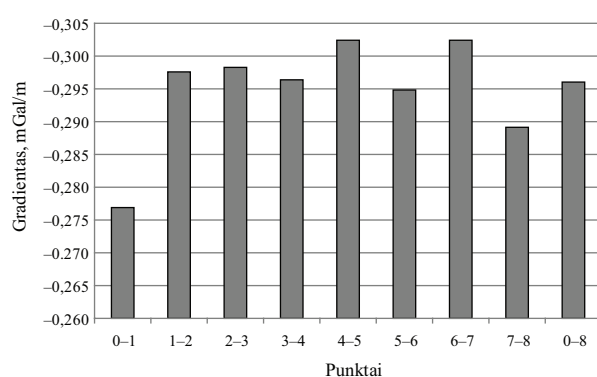
Paskutiniame 2 lentelės stulpelyje pateiktos sunkio pagreičio reikšmės atlikus bendrąjį visų matavimų rezultatų apdorojimą. Sunkio pagreičio punktuose paklaida, atlikus bendrąjį matavimų rezultatų išlyginimą, 1 μ Gal, vieno matavimo paklaida 6 μ Gal.

Sunkio pagreičio vertikaliojo gradiento skaičiavimo rezultatai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Sunkio pagreičio vertikalūs gradientas**Table 3.** The vertical gradient of the gravity acceleration

Punktai	Sunkio pagreičio skirtumas, mGal	Aukščių skirtumas, m	Gradientas, mGal/m
VILNIUS – 1	-0,416	1,502	-0,277
1 – 2	-0,981	3,297	-0,298
2 – 3	-0,983	3,295	-0,298
3 – 4	-0,979	3,303	-0,296
4 – 5	-0,989	3,270	-0,302
5 – 6	-0,976	3,310	-0,295
6 – 7	-0,995	3,291	-0,302
7 – 8	-0,950	3,286	-0,289
8 – VILNIUS	-7,269	24,554	-0,296

Sunkio pagreičio vertikaliojo gradiento kaita tarp pastato aukštų pavaizduota 4 paveiksle. Analizuojant tyrimų rezultatus matyti, kad sunkio pagreičio vertikalūs gradientas kinta nuo $-0,277$ iki $-0,302$ mGal/m. Siekiant palyginti, galima pažymėti, kad normaliojo sunkio lauko vertikalūs gradientas yra $-0,3085$ mGal/m. Skaičiavimai rodo, kad nustatant sunkio pagreitį punkte, esančiame aštuntajame pastato aukšte, pagal punkto VILNIUS sunkio pagreitį ir minėtąjį vertikalųjį gradientą, gaunama klaida, lygi 306 μ Gal. Pagreičiui redukuoti taikant vertikalųjį gradientą, lygų $-0,2880$ mGal/m, nustatyta pačiame punkte VILNIUS (Mäkinen et al. 2003), gaunama klaida, lygi 197 μ Gal. Taigi taikant punkte išmatuotą vertikalųjį gradientą paklaida sumažėjo 1,5 karto. Tyrimų duomenys rodo, kad, siekiant atlikti tikslų sunkio pagreičio redukavimą, būtini išsamūs sunkio gradientų tyrimai.

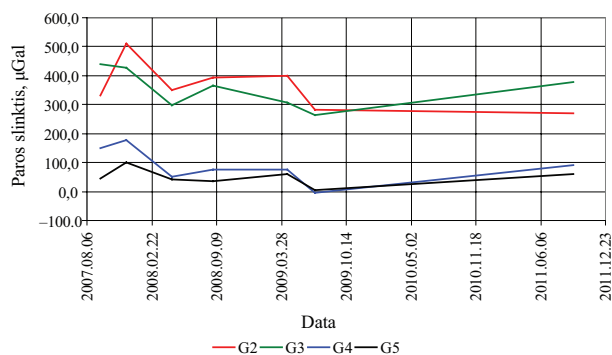
**4 pav.** Sunkio pagreičio vertikaliojo gradiento kaita**Fig. 4.** The changes of vertical gradient of gravity acceleration**4. Gravimetrų nulio slinkties tyrimai**

Nagrinėjama gravimetrų tyrimų laikotarpiu atlikti gravimetrų laboratoriniai nulio slinkties tyrimai. Remtasi gravimetrinių matavimų punkte VILNIUS duomenimis. Vidutinės gravimetrų paros nulio slinkties pateikiamos 4 lentelėje.

4 lentelė. Gravimetrų paros nulio slinkties, μ Gal**Table 4.** The changes of the daily zero drift μ Gal

Data	G2	G3	G4	G5
2007-09-14-18	333,3	439,0	148,3	46,1
2007-12-04	510,7	427,2	178,0	99,0
2008-04-24-25	349,8	298,1	52,0	41,1
2008-08-27-09-02	394,3	364,5	75,8	36,0
2009-04-15-16	400,5	308,6	75,7	61,8
2009-07-09-10	283,3	263,9	-4,0	5,4
2011-09-16	270,4	376,9	90,6	59,2

Didesnė nulio slinkties G2 ir G3 gravimetrų. G2 gravimetro nulio slinkties buvo padidėjusi net iki 510 μ Gal per parą. Mažesnė nulio slinkties G4 ir G5 gravimetrų. Gravimetrų paros nulio slinkties kitimas pavaizduotas 5 paveiksle.

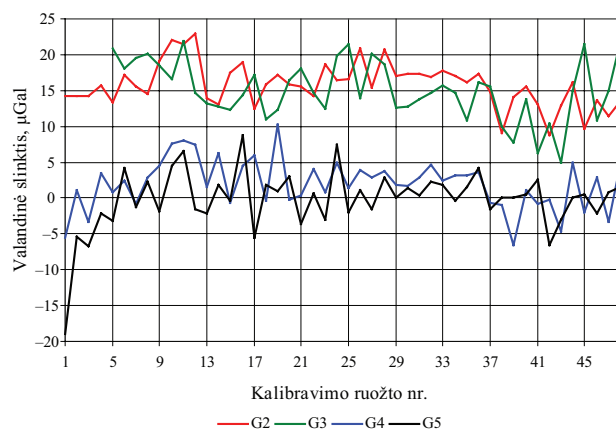


5 pav. Gravimetrų paros nulio slinkties kitimas, µGal

Fig. 5. The changes of the gravimeters daily zero drift µGal

Iš grafikų (5 pav.) matyti, kad G2 gravimetro nulio slinkties kitimo diapazonas didžiausias (240 µGal). Gravimetrų paros nulio slinkties kitimas panašaus pobūdžio (koreliacijos tarp G5 ir G4 koeficientas yra 0,8363, tarp G5 ir G3 – 0,6400, tarp G5 ir G2 – 0,7250). Pirmuoju tyrimų laikotarpiu (2007–2009 m.), kai buvo atliekami gravimetrinio antrosios klasės tinklo matavimai, gravimetrų laboratorinė nulio slinktis turėjo tendenciją mažėti. Per tolesnį laikotarpį trijų gravimetrų nulio slinktis didėjo.

Atlikti gravimetrų nulio slinkties matavimų metu tyrimai. Remtasi gravimetrų kalibravimo matavimų duomenimis. Nulio slinkties skaičiuotos pagal matavimų punktuose VILNIUS ir PANEVĖŽYS duomenis. Gravimetrų valandinės nulio slinkties kalibravimo laikotarpiu pateiktos 6 paveiksle.

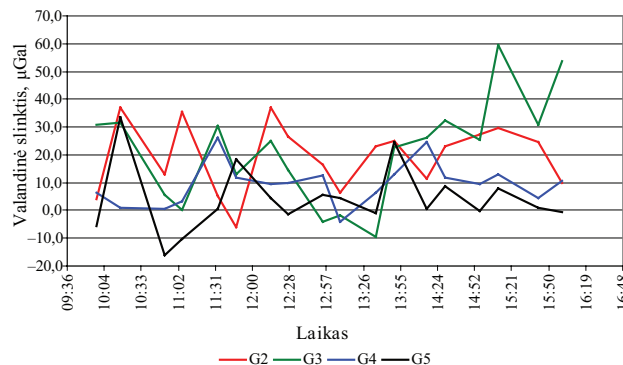


6 pav. Gravimetrų valandinės nulio slinkties, µGal, kalibravimo laikotarpiu

Fig. 6. The zero drift in between the field observations during calibration, µGal

G2 ir G3 gravimetrų nulio slinkties siekia 23 µGal/h, o G4 ir G5 – neviršija 10 µGal/h (išskyrus G5 vieną atvejį). Valandinės nulio slinkties svyravimas matavimų metu daugeliu atvejų neviršija 10 µGal.

Išsamūs gravimetro nulio slinkties tyrimai atlikti naudojant matavimų sunkio vertikaliajam gradientui nustatyti duomenis. Nulio slinkties matavimų metu kitimas parodytas 7 paveiksle.

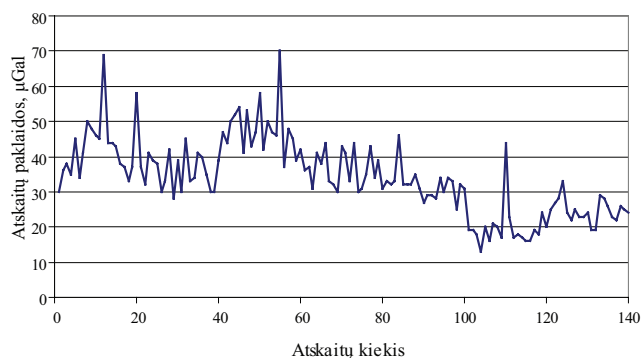


7 pav. Gravimetrų nulio slinkties gradiento matavimų metu

Fig. 7. The zero drift in between the vertical gradient observations

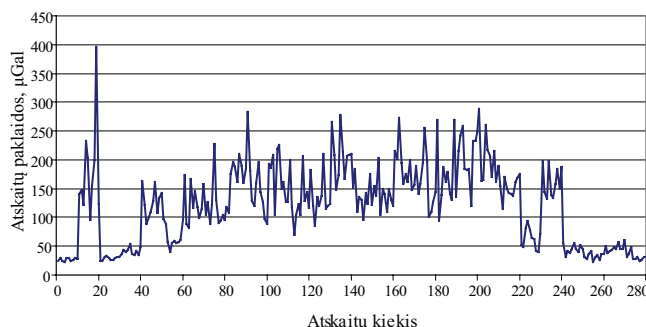
Analizuojant grafikus matyti, kad valandinės nulio slinkties svyravimas matavimų metu daugeliu atvejų neviršija 30 µGal. Analizuojant valandinę slinktį gradiento matavimo metu, nustatyta, kad G2, G3, G4 ir G5 gravimetrų slinktį medianos yra atitinkamai 23,0, 25,2, 9,7, 0,9. Tai patvirtina, kad G2 ir G3 gravimetrų valandinės slinkties yra didesnės nei G4 ir G5 gravimetrų. Taigi, matuojant pastate, gravimetrų nulio slinkties svyravimas padidėja iki 3 kartų.

Matavimų sąlygoms kalibravimo ir gradiento matavimų metu palyginti pateiktos G2 gravimetro atskaitų paklaidos (8 ir 9 pav.).



8 pav. G2 gravimetro atskaitų paklaidos kalibravimo metu

Fig. 8. The standard deviations of the readings during calibration of the gravimeter G2



9 pav. G2 gravimetro atskaitų paklaidos gradiento matavimų metu

Fig. 9. The standard deviations of the readings during observations of vertical gradient of the gravimeter G2

Analizuojant paklaidų grafikus matyti, kad mažiausios paklaidos nustatytos absoliučiuju matavimų punktuose, kurie įtvirtinti betoniniais stulpais. Blogiausios matavimų sąlygos pastate. Vidutinė matavimų gravimetrinės bazės punktuose paklaida 34 μGal , matavimų pastate – 122 μGal .

5. Išvados

Remiantis gravimetrinės bazės matavimų rezultatais nustatyti gravimetrų *Scintrex CG-5* kalibravimo koeficientai, kurių reikšmių vidutinė kvadratinė paklaida neviršija 0,000 059. Didžiausias kalibravimo koeficiento nuokrypis nuo vieneto 0,013. Nustatyta, kad per ketverių metų laikotarpį gravimetrų kalibravimo koeficientų reikšmės turėjo tendenciją mažėti. Didžiausias kalibravimo koeficiento kitimo diapazonas 0,000 632.

Atlikti sunkio pagreičio vertikaliojo gradiento aštuonių aukštų pastate tyrimai. Gauta, kad sunkio pagreičio vertikalusis gradientas svyruoja nuo $-0,277$ iki $-0,302$ mGal/m . Taigi, norint atlikti tikslų sunkio pagreičio redukavimą, būtini nuodugnūs sunkio gradientų tyrimai.

Nustatyta, kad per ketverių metų laikotarpį laboratorinėmis sąlygomis tiriamų gravimetrų paros nulinio slinkties diapazonas buvo nuo $-4,0$ iki $510,7$ μGal . Didžiausias gravimetro paros nulinio slinkties per nagrinėjamą laikotarpį pokytis 240,3 μGal . Gravimetrų nulinio slinkties kitimas yra panašaus pobūdžio.

Atliekant matavimus kalibravimo bazėje, gravimetrų valandinės nulinio slinkties svyravimas daugeliu atvejų neviršija 10 μGal , o matavimų pastate metu – 30 μGal .

Literatūra

- Birvydienė, R.; Obuchovski, R.; Paršeliūnas, E.; Petroškevičius, P.; Šlikas, D.; Viskontas, P. 2009. Lietuvos gravimetrinio tinklo charakteristikos, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 35(4): 131–136. doi:10.3846/1392-1541.2009.35.131-136
- Krynski, J.; Lyszkowicz, A. 2007. Centimetre quasigeoid modeling in Poland using heterogeneous data, *Harita Dergisi* 18: 37–42. ISSN 1300-5790.
- Mäkinen, J.; Lilje, M.; Agren, J., et al. 2006. Regional Adjustment of Precise Levellings around the Baltic, *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*. Band 38, *EUREF Publication* 15: 171–183. ISSN-1436-3445.
- 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.; Marozas, L.; Petroškevičius, P.; Zakarevičius, A.; Stankūnas, J.; Aksamitauskas, V. Č. 2010a. Formalization of the observations of the sea level variations using XML data schemas and scalable vector graphics format, *Journal of Vibroengineering* 12: 659–665. ISSN 1392-8716.
- Paršeliūnas, E.; Petroškevičius, P. 2007. Quality of Lithuanian national gravimetric network, *Harita Dergisi* 18: 388–392. ISSN 1300-5790.
- Paršeliūnas, E.; Obuchovski, R.; Birvydienė, R.; Petroškevičius, P.; Zakarevičius, A.; Aksamitauskas, V. Č.; Rybokas, M. 2010b. Some issues of the national gravimetric network development in Lithuania, *Journal of Vibroengineering* 12: 685–690. ISSN 1392-8716.
- 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, vol. 3. May 22–23, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1422–1428.
- Petroškevičius, P.; Popovas, D.; Krikštaponis, B.; Putrimas, R.; Būga, A.; Obuchovski, R. 2008. Estimation of gravity field non-homogeneity and variation for the vertical network observations, in *The 7th International Conference "Environmental Engineering"*: Selected papers, vol. 3. May 22–23, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1439–1445.
- Zakarevičius, A.; Paršeliūnas, E.; Šliaupa, S.; Stanionis, A.; Stephenson, R. 2008. Horizontal deformations of the Earth's crust in the Baltic region from GPS data, in *The 7th International Conference "Environmental Engineering"*: Selected papers, vol. 3. Ed. by Čygas, D.; Froehner, K. D. May 22–23, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1503–1507.

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

Author of 1 monograph and more than 120 scientific publications. Participated in many intern conferences.

Research interests: determination of Earth satellites orbits, research of Earth gravity field by means of satellite geodesy and gravimetric methods, establishment of geodetic and gravimetric networks.

Rosita BIRVYDIENĖ. PhD student at the Department of Geodesy and Cadastre. Vilnius Gediminas Technical University. Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705, e-mail: rosita.birvydiene@vgtu.lt.

MSc at VGTU (2008).

Research interests: gravimetry, establishment of gravimetric networks.

Romuald OBUCHOVSKI. Dr at Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University. Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705, 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 at the Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705, e-mail: eimis@vgtu.lt.

Doctor of Science (1992).

The author of two teaching books and more than 50 scientific papers. Participated in a number of international conferences.

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