



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Eliza Ivanovskaja

SUNKIO ANOMALIJŲ NUSTATYMO TYRIMAS IR ĮVERTINIMAS
GRAVITY ANOMALY MEASUREMENT ANALYSIS AND EVALUATION

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Geografinės informacinės sistemos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2017

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas



(Parašas)

Jūratė Sužiedelytė-Visockienė

(Vardas, pavardė)

2017-05-23

(Data)

Eliza Ivanovskaja

SUNKIO ANOMALIJŲ NUSTATYMO TYRIMAS IR ĮVERTINIMAS
GRAVITY ANOMALY MEASUREMENT ANALYSIS AND EVALUATION

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Geografinės informacinės sistemos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Romuald Obuchovski

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)



(Parašas)

2017.05.23

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)



(Parašas)

2017-05-23

(Data)

Vilnius, 2017

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Bendroji inžinerija studijų kryptis

Geodezija ir kartografija studijų programa, valstybinis
kodas 621H14003

Geografinės informacinės sistemos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas


(Parašas)

Jūratė Sužiedelytė-Visockienė

(Vardas, pavardė)

2015 10 27

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei) Elizai Ivanovskajai.

Baigiamojo darbo tema: Sunkio anomalijų nustatymo tyrimas ir įvertinimas, patvirtinta 2017 m.
kovo 17 d. dekanų potvarkiu Nr. 87ap.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2017 m. gegužės 29 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Ištirti galimus sunkio anomalijų nustatymo būdus Lietuvos teritorijoje ir įvertinti jų tikslumą.

Duomenys: gravimetrinių matavimų duomenys, Lietuvos gravimetrinio pagrindo duomenys,
Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapių duomenys.

Aiškinamasis raštas: Sunkio lauko tyrimų analizė. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis
gravimetrinių matavimų duomenimis. Anomalijų nustatymas remiantis Lietuvos teritorijos Bouguer
anomalijų žemėlapiu, Lietuvos gravimetrinio pagrindo tinklų ir pasaulinių gravitacijos lauko
modelių duomenimis. Bendrosios išvados.

Brėžiniai: tyrimų rezultatų grafikai.

Vadovas


.....
(Parašas)

doc. dr. Romuald Obuchovski

.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau


.....
(Parašas)

Eliza Ivanovskaja

.....
(Vardas, pavardė)

2015 10 27

.....
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Geodezijos ir kadastro katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-....-....

Antrosios pakopos studijų **Geodezijos ir kartografijos** programos magistro baigiamasis darbas 4 (geografinės informacinės sistemos)

Pavadinimas **Sunkio anomalijų nustatymo tyrimas ir įvertinimas**
Autorius **Eliza Ivanovskaja**
Vadovas **Romuald Obuchovski**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Sunkio anomalijų nustatymas sudaro galimybę gauti tikslesnę ir detalesnę informaciją apie Žemės sunkio lauką ir jo pakitimus. Ši informacija būtina atliekant geodezinius, geodinaminius, geofizinius, navigacinius bei kitus mokslinius tyrimus. Ji aktuali ir Lietuvoje atliekamiems moksliniams ir praktiniams geodeziniam darbams. Tikslėjant geodeziniam matavimams aktualus ir sunkio anomalijų nustatymo tikslumas. Todėl svarbu ištirti galimus sunkio anomalijų nustatymo būdus Lietuvos teritorijoje ir įvertinti jų tikslumą. Tuo tikslu atlikta sunkio lauko tyrimų analizė, atliktas geodezinio vertikaliojo tinklo linijos Vilnius-Molėtai-Kuktiškės gravimetrinių matavimų duomenų apdorojimas ir sunkio anomalijų skaičiavimas. Šios linijos Bouguer anomalijų reikšmių ir kitais darbe tiriamais būdais nustatytų Bouguer anomalijų reikšmių skirtumų vidurkis ir vidutinė kvadratinė paklaida laikomi tikslumo rodikliais. Bouguer anomalijos nustatytos remiantis skaitmeniniais žemėlapiais, sudarytais ArcGIS ArcMap programoje iš Lietuvos teritorijos 1:200 000 Bouguer anomalijų žemėlapių duomenų, Lietuvos gravimetrio pagrindo duomenų, pasaulinių gravitacinio lauko modelių taškų tinklo duomenų ir nustatytos pasaulinių gravitacinio lauko modelių skaičiuoklėje. Nustatyta, kad artimiausios gravimetriškai išmatuotoms Bouguer anomalijų reikšmėms yra Bouguer anomalijų reikšmės, nustatytos iš Lietuvos 1:200 000 Bouguer anomalijų žemėlapių ir EGM2008 modelio skaičiuoklės. Apskaičiuotas skirtumų tarp išmatuotų ir nustatytų iš Bouguer anomalijų žemėlapių reikšmių vidurkis 0,212 mGal, vidutinė kvadratinė paklaida 1,019 mGal. Apskaičiuotas skirtumų tarp išmatuotų ir nustatytų iš EGM2008 modelio skaičiuoklės Bouguer anomalijų vidurkis 0,394 mGal, vidutinė kvadratinė paklaida 0,837 mGal.

Darbą sudaro šios dalys: įvadas, 3 skyriai, bendrosios išvados ir literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 72 p. be priedų, 54 paveikslai, 7 lentelės ir 91 biografinių šaltinių.

Prasminiai žodžiai: Bouguer anomalija, pasaulinis gravitacinio lauko modelis, gravimetrinis žemėlapis, geodezinis vertikalusis tinklas.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Geodesy and Cadastre

ISBN ISSN
Copies No.
Date-....-....

Master Degree **Studies Geodesy and Cartography** study programme Master Graduation
Thesis 4 (Geographic Information System)

Title **Gravity Anomaly Measurement Analysis and Evaluation**
Author **Eliza Ivanovskaja**
Academic supervisor **Romuald Obuchovski**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

Measurement of gravity anomalies gives precise and more detail information about Earths gravity field and its changes. This information is needed in geodesy, geophysics, navigation and other scientific research. It is also relevant in scientific and practical geodesy in Lithuania. The more precise geodesical measurements, the more important measurements of gravity anomalies become. It is important to investigate possible methods of gravity anomaly measurements and it is accuracy in Lithuania. To do that we measured gravity field analysis, gravimetric measurement data processing of geodetic vertical network line of Vilnius–Molėtai–Kuktiškės and measurements of gravity anomalies. Bouguer anomaly difference between the average values of network line of Vilnius–Molėtai–Kuktiškės and its root mean square error are precision indicators. Bouguer anomalies where determined on the basis of ArcGIS ArcMap software 1:200 000 of Lithuanias territory Bouguer anomalies map data also from Lithuanias gravimetrical base data, global gravity field models of network data points and everything was set on global gravity field model spreadsheet. It was determined that results of gravimetrically measured Bouguer anomalies were closest to those of Lithuanias 1:200 000 Bouguer anomaly map and EGM2008 models spreadsheet. The mean difference between measured and determined average value of Bouguer anomalies map was 0,212 mGal, root mean square error was 1,019 mGal. The difference between measured and determined Bouger anomaly values from EGM2008 model spreadsheet was 0,394 mGal, root mean square error was 0,837 mGal.

Structure: introduction, 3 chapters, conclusions and references.

Thesis consists of 72 pages of text without appendixes, 54 pictures, 7 tables, 91 bibliographical entries.

Keywords: Bouguer anomaly, global gravity field model, gravity map, geodetic vertical network.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo
2 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Eliza Ivanovskaja, 20112391

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Geodezija ir kartografija, GISmf-15

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2017 m. gegužės 23 d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Sunkio anomalijų nustatymo tyrimas ir įvertinimas“ patvirtintas 2017 m. kovo 17 d. dekanų potvarkiu Nr. 87ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Regina Žukienė. Mano darbo vadovas doc. dr. Romuald Obuchovski.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Eliza Ivanovskaja

(Vardas ir pavardė)

TURINYS

IVADAS.....	12
1. SUNKIO LAUKO TYRIMŲ ANALIZĖ.....	14
1.1. Sunkio lauko teikiamos informacijos poreikis	14
1.2. Sunkio lauko tyrimų apžvalga.....	16
1.3. Antžeminių gravimetrinių matavimų vystymosi apžvalga.....	18
1.4. Palydovinių sistemų, tiriančių gravitacijos lauką vystymosi, apžvalga	24
1.5. Lietuvos teritorijos gravimetrinės medžiagos apžvalga	30
2. SUNKIO ANOMALIJŲ NUSTATYMAS, REMIANTIS GRAVIMETRINIŲ MATAVIMŲ DUOMENIMIS	34
2.1. Gravimetrinių matavimų duomenų apdorojimas.....	34
2.2. Sunkio anomalijų nustatymas.....	40
2.2.1. <i>Sunkio anomalijų skaičiavimo algoritmai</i>	40
2.2.2. <i>Sunkio anomalijų skaičiavimas</i>	41
3. ANOMALIJŲ NUSTATYMAS, REMIANTIS LIETUVOS TERITORIJOS BOUGUER ANOMALIJŲ ŽEMĖLAPIO, LIETUVOS GRAVIMETRINIO PAGRINDO TINKLŲ IR PASAULINIŲ GRAVITACIJOS LAUKO MODELIŲ DUOMENIMIS	45
3.1 Lietuvos teritorijos gravimetrinės medžiagos duomenų bazės sudarymas.....	45
3.2. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis Bouguer anomalijų žemėlapiu duomenimis	52
3.3. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis Lietuvos gravimetrinio pagrindo duomenimis	54
3.4. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis pasaulinių sunkio lauko modelių skaičiuokle	55
3.4.1. <i>Sunkio anomalijų nustatymas remiantis EGM2008 modelio skaičiuokle</i>	56
3.4.2. <i>Sunkio anomalijų nustatymas remiantis EIGEN-6C4 modelio skaičiuokle</i>	57
3.4.3. <i>Sunkio anomalijų nustatymas remiantis GGM05C modelio skaičiuokle</i>	58
3.5. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis pasaulinių gravitacinio lauko modelių žemėlapiu	59
3.5.1. <i>Sunkio anomalijų nustatymas remiantis EGM2008 modelio žemėlapiu</i>	59
3.5.2. <i>Sunkio anomalijų nustatymas remiantis EIGEN-6C4 modelio žemėlapiu</i>	61
3.5.3. <i>Sunkio anomalijų nustatymas remiantis GGM05C modelio žemėlapiu</i>	62
BENDROSIOS IŠVADOS	65
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	66
PRIEDAI	73

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Statiniai gravimetrai: a) Worden ir b) LaCoste & Romberg (Lacoste and Rhomberg gravity meter 2017; Technical equipment 2017).....	20
1.2 pav. Tarptautinis sunkio norminis tinklas 1971 (Wilmes <i>et al.</i> 2010).....	21
1.3 pav. Absoliutiniai gravimetrai: a) FG5 ir b) JILA g-6 (Conrad Observatory – Trafelberg 2017; FG5-X Absolute Gravimeter 2014).....	21
1.4 pav. a) superlaidus gravimetras OSG ir b) lauko absoliutinis gravimetras A10 (Gravity 2017; Superconducting Gravity Sensors 2015).....	22
1.5 pav. a) gravimetras Scintrex CG-5 ir b) jo ekranas su valdymo mygtukais (Гравиметр CG-5 AutoGrav 2016; CG-5 Scintrex Autograv System 2006).....	23
1.6 pav. a) palydovas LAGEOS ir b) jame esanti plokštelė (Now 40, NASA's LAGEOS Set the Bar for Studies of Earth 2016)	26
1.7 pav. CHAMP (CHAMP, Picture Gallery 2000)	27
1.8 pav. GRACE (First GRACE follow-on satellite completes construction 2017).....	28
1.9 pav. GOCE (GOCE in orbit 2009).....	29
1.10 pav. Lietuvos gravimetriniai tinklai (Birvydienė <i>et al.</i> 2009 interpretacija).....	33
2.1 pav. Gravimetro nr. 185 balandžio 23 d. nesutvarkyta matavimo duomenų rinkmena (sudaryta autorias).....	35
2.2 pav. Gravimetų nr. 182 ir nr. 185 balandžio 23 d. sutvarkyta matavimo duomenų rinkmena (sudaryta autorias)	35
2.3 pav. Gravimetrinių punktų duomenų rinkmena (sudaryta autorias)	35
2.4 pav. CGREDU.INP rinkmena (sudaryta autorias)	36
2.5 pav. 25-0423.dat rinkmena (sudaryta autorias).....	36
2.6 pav. GRREDU.INP rinkmena (sudaryta autorias)	37
2.7 pav. 25-0423r.dat rinkmena (sudaryta autorias)	37
2.8 pav. GRADJ.INP rinkmena (sudaryta autorias).....	38
2.9 pav. 25-0423.RES rinkmenos langas (sudaryta autorias)	38
2.10 pav. 25-0423.TIE rinkmenos langas (sudaryta autorias)	39
2.11 pav. 25-0423.TYN rinkmenos langas (sudaryta autorias)	40
2.12 pav. Programos pagrindinis meniu langas (sudaryta autorias).....	42
2.13 pav. Forma „Skaičiavimai“ (sudaryta autorias)	42
2.14 pav. „Sunkio pagreitis Žemės paviršiuje ir anomalijos“ forma, skirta duomenis įvesti ranka (sudaryta autorias)	42
2.15 pav. „Sunkio pagreitis Žemės paviršiuje ir anomalijos“ forma, skirta duomenis įvesti iš duomenų bazės (sudaryta autorias).....	43

2.16 pav. Duomenų analizės forma ir paieškos rezultatai (sudaryta autoriaus).....	44
2.17 pav. Sunkio anomalijų kitimas linijoje Vilnius–Molėtai–Kuktiškės (sudaryta autoriaus)	44
3.1 pav. Lietuvos gravimetrinio pagrindo duomenys *.xls formato rinkmenoje (sudaryta autoriaus)	45
3.2 pav. Lietuvos 1:200 000 Bouguer anomalijų žemėlapiu duomenys *.dat rinkmenoje (sudaryta autoriaus).....	46
3.3 pav. Pasaulinio modelio GGM05C duomenys *.gdf rinkmenoje (sudaryta autoriaus)	46
3.4 pav. Lietuvos teritorijos gravimetrinių duomenų duomenų bazės koncepcinis modelis (sudaryta autoriaus).....	47
3.5 pav. Sluoksnio EGIGEN-6C4 duomenys ArcMap aplinkoje (sudaryta autoriaus)	50
3.6 pav. Duomenų bazės „Lietuvos teritorijos gravimetriniai duomenys“ struktūros ir duomenų pavyzdys ArcMap aplinkoje (sudaryta autoriaus).....	51
3.7 pav. Skaitmeninis Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu fragmentas (sudaryta autoriaus)	52
3.8 pav. Skaitmeninio Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autoriaus).....	53
3.9 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų iš Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų skaitmenio žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autoriaus).....	53
3.10 pav. Lietuvos gravimetrinio pagrindo Bouguer anomalijų reikšmių skaitmeninio žemėlapiu fragmentas (sudaryta autoriaus)	54
3.11 pav. Skaitmeninio Lietuvos gravimetrinio pagrindo Bouguer anomalijų žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autoriaus).....	55
3.12 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų iš Lietuvos gravimetrinio pagrindo duomenų žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių kitimo linijoje grafikas (sudaryta autoriaus)	55
3.13 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų EGM2008 modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	56
3.14 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų EGM2008 modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	57
3.15 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų EIGEN-6C4 modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	57
3.16 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų EIGEN-6C4 modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	58
3.17 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų GGM05C modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	58

3.18 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų GGM05C modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	59
3.19 pav. EGM2008 modelio Bouguer anomalijų žemėlapis (sudaryta autoriaus)	59
3.20 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš EGM2008 modelio žemėlapis Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	60
3.21 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų iš EGM2008 modelio žemėlapis Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	60
3.22 pav. EIGEN-6C4 modelio Bouguer anomalijų žemėlapis (sudaryta autoriaus)	61
3.23 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš EIGEN-6C4 modelio žemėlapis Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	62
3.24 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų iš EIGEN-6C4 modelio žemėlapis Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	62
3.25 pav. GGM05C modelio Bouguer anomalijų žemėlapis (sudaryta autoriaus)	63
3.26 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš GGM05C modelio žemėlapis Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	63
3.27 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų iš GGM05C modelio žemėlapis Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės).....	64

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. 4-2 linijos gravimetro vieno matavimo paklaidos (sudaryta autoriaus)	39
2.2 lentelė. Abiejų gravimetų vieno matavimo vidutinės kvadratinės paklaidos (sudaryta autoriaus)	39
3.1 lentelė. Sluoksnio LT_GRAV_PGR_1952 bendra informacija (sudaryta autoriaus).....	48
3.2 lentelė. Sluoksnyje LT_GRAV_PGR_1952 kaupiama atributinė informacija (sudaryta autoriaus)	48
3.3 lentelė. Sluoksnio LT_GRAV_PGR_1994 bendra informacija (sudaryta autoriaus)	48
3.4 lentelė. Sluoksnyje LT_GRAV_PGR_1994 kaupiama atributinė informacija (sudaryta autoriaus)	49
3.5 lentelė. Sluoksnio BOUGUER_200LT bendra informacija (sudaryta autoriaus).....	49
3.6 lentelė. Sluoksnyje BOUGUER_200LT kaupiama atributinė informacija (sudaryta autoriaus)	49
3.7 lentelė. Skirtingais būdais nustatytų sunkio anomalijų tikslumas, mGal (sudaryta autoriaus)...	64

IVADAS

Problemos formulavimas. Geodeziniai matavimai atliekami Žemės sunkio lauke, kuris yra nevienalytis. Sunkis Žemės paviršiaus taškuose yra nepastovus tiek savo reikšme, tiek kryptimi. Prieš apdorojant tikslių geodezinių matavimų duomenis, pirmiausia juos reikia redukuoti į priimtą koordinatų ir sunkio sistemą tam tikrai epochai. Tam tikslui reikalinga informacija apie sunkio lauką. Didėjantis geodezinių ir gravimetrinių matavimų tikslumas, naujų kosminės geodezijos ir geodezinės astronomijos metodų taikymas reikalauja detalesnės ir tikslesnės informacijos apie sunkio lauką ir jo pakitimus laiko bėgyje. Atliekant sunkio lauko tyrimus jis dalomas į normalinį sunkio lauką, kuris užsiduodamas, ir anomalinį, kuris išreiškia realaus sunkio lauko nukrypimą nuo normalinio. Anomalinis sunkio laukas apibūdinamas sunkio anomalijomis. Anomalijų yra keletas rūšių priklausomai nuo to, kokios pataisos yra įvedamos į realųjį ir normalųjį sunkį. Geodezijoje dažniausiai reikalingos sunkio anomalijos laisvajame ore, tačiau šių anomalijų negalima interpoliuoti, todėl naudojamos Bouguer anomalijos, kuriose pašalinta begalinio tarpinio sluoksnio trauka. Anomalijoms skaičiuoti yra naudojamos sunkio pagreičio reikšmės, gautos gravimetriniais matavimais, taip pat anomalijos nustatomos iš Bouguer anomalijų žemėlapių ir pasaulinių gravitacinio lauko modelių. Todėl būtina ištirti Lietuvos teritorijoje Bouguer anomalijų nustatymą skirtingais metodais ir jį įvertinti.

Temos aktualumas. Sunkio anomalijų nustatymas sudaro galimybę gauti tikslesnę ir detalesnę informaciją apie Žemės sunkio lauką ir jo pakitimus. Žemės sunkio lauką sudaro besisukantis Žemės kūnas, turintis nevienodą tankį. Kūno kiekvieno taško vertikalės yra antilygiagrečios tiesės, o ekvipotencialiniai paviršiai nėra plokštumos. Į tai būtina atsižvelgti atliekant geodezinius, geodinaminius, geofizinius, navigacinius bei kitus mokslinius tyrimus. Gravimetrinių matavimų duomenys naudojami normaliniams aukščiams, gravimetriniam vertikalės nuokrypiui ir geopotencialiniams skaičiams nustatyti, geoido ir kvazigeoido formai patikslinti. Jie aktualūs ir Lietuvoje atliekamiems moksliniams ir praktiniams geodeziniais darbams: kuriant šiuolaikinį geodezinį pagrindą, sudarant geodezinį vertikalųjį tinklą, atliekant gravitacijos lauko tyrimus, sprendžiant geodezinių koordinatų ir aukščių sistemos priėmimo problemas, atliekant Lietuvos teritorijos geodinaminius ir kitus tyrimus. Tikslėjant geodeziniais matavimams aktualus ir sunkio anomalijų nustatymo tikslumas. Todėl svarbu ištirti galimus sunkio anomalijų nustatymo būdus Lietuvos teritorijoje ir įvertinti jų tikslumą.

Tyrimo objektas. Magistrinio darbo tyrimų objektas – sunkio anomalijų nevienalytiškumas. Eksperimento objektas – Lietuvos teritorijos sunkio anomalijos.

Tyrimo tikslas. Ištirti galimus sunkio anomalijų nustatymo būdus Lietuvos teritorijoje ir įvertinti jų tikslumą.

Uždaviniai. Tyrimo tikslui pasiekti reikia spręsti šiuos uždavinius:

1. Atlikti gravimetrinę medžiagą teikiančių antžeminių ir palydovinių sistemų matavimų vystymosi ir Lietuvos teritorijoje sukauptos gravimetinės medžiagos apžvalgą.
2. Atlikti gravimetrinių matavimų geodezinio vertikaliojo tinklo linijoje 4–2 duomenų apdorojimą ir apskaičiuoti sunkio anomalijas.
3. Ištirti Bouguer anomalijų, nustatytų remiantis skaitmeniniu modeliu, sudarytu naudojant Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu duomenis, tikslumą.
4. Ištirti Bouguer anomalijų, nustatytų remiantis skaitmeniniu modeliu, sudarytu naudojant Lietuvos gravimetrinių tinklų duomenis, tikslumą.
5. Ištirti Bouguer anomalijų, nustatytų pasaulinių gravimetrinių modelių skaičiuoklėje, tikslumą.
6. Ištirti Bouguer anomalijų, nustatytų remiantis skaitmeniniu modeliu, sudarytu naudojant pasaulinių gravimetrinių modelių taškų tinklo duomenis, tikslumą.

Tyrimo metodai. Magistriniame darbe atliekami teoriniai ir eksperimentiniai Bouguer anomalijų nustatymo tyrimai taikant anomalinio laukų potencialo teoriją, gravimetrinius matavimus, GIS technologijas.

Temos naujumas. Atlikta gravimetrinės medžiagos gavimo būdų analizė, ištirtas sunkio anomalijų nustatymo tikslumas, remiantis skaitmeniniais modeliais, sudarytais naudojant Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu duomenis, Lietuvos gravimetrinių tinklų duomenis, pasaulinių gravitacinio lauko modelių taškų tinklo duomenis, bei anomalijų, nustatytų pasaulinių gravitacinio lauko modelių skaičiuoklėje, tikslumas.

Darbo struktūra. Baigiamąjį darbą sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, literatūros šaltinių sąrašas ir priedai. Darbo apimtis yra 72 puslapiai, neskaitant priedų, tekste panaudota 11 numeruotų formulų, 54 paveikslų ir 7 lentelės. Rašant baigiamąjį darbą naudotas 91 literatūros šaltinis.

Darbo rezultatų aprobavimas. 2017 kovo 24 d. Gedimino technikos universitete vykusiai 20-ajai Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijai „Mokslas – Lietuvos ateitis“ (Civilinė inžinerija ir geodezija) buvo parengtas mokslinis straipsnis ir skaitytas pranešimas tema: „Geopotencialo modelio EGM2008 Lietuvos teritorijoje tikslumo vertinimas“.

1. SUNKIO LAUKO TYRIMŲ ANALIZĖ

Šiame skyriuje analizuojamas sunkio lauko teikiamos informacijos poreikis įvairiose mokslo srityse, analizuojami sunkio lauko tyrimų ypatumai, nustatymo metodai, analizuojamas antžeminių gravimetrinių matavimų vystymasis nuo antikos iki šių dienų, absoliutinių ir santykinų gravimetrų vystymasis, detaliau apžvelgtas automatinis kvarcinis gravimetras Scintrex CG-5, naudotas analizuojamos vertikalio tinklo linijos Vilnius–Molėtai–Kuktiškės punktų matavimams. Skyriuje taip pat analizuojamas kosminių tyrimų pritaikymas geodezijos srityje, palydovai, teikiantys duomenis apie gravitacijos lauką, ir Lietuvos teritorijos gravimetrinė medžiaga.

1.1. Sunkio lauko teikiamos informacijos poreikis

Sunkis ir jo sąvoka nuo antikos iki šių dienų vis dar tikslinami. Dar antikos laikais graikų filosofas Aristotelis teigė, kad Visata padalinta į dvi dalis: žemiškąją ir dangiškąją. Jis teigė, kad visi kūnai grįžta į savo pirminę buvimo vietą. Akmuo krenta ant žemės, nes jo pirminė vieta yra Žemės centras. Ugnis liepsnoja į viršų, nes jos pirminė vieta – Mėnulio centras. Aristotelio teorija ilgą laiką buvo laikoma teisinga, kol apie 1600 m. Galilėjas Galilėjus, analizuodamas laisvąjį kritimą, padarė išvadą, kad visi kūnai, esantys vakuume, krenta vienodu greičiu ir pagreičiu. Ši G. Galilėjaus teorija padėjo pagrindą Izaoko Niutono visuotinės traukos dėsniai, kuriame teigiama, kad visi kūnai veikia vienas kitą jėga, kurios modulis tiesiogiai proporcingas jų masių sandaugai ir atvirkščiai proporcingas atstumo tarp jų kvadratui. Šią teoriją I. Niutonas suformulavo 1687 m. savo veikale „*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*“. Ji plačiai taikoma iki šių dienų, nors yra žinomi ir jos trūkumai. Teorija negalioja, kai gravitacija yra ypač stipri arba kai objektas juda greičiu, artimu šviesos greičiui. Albertas Einšteinas 1915 m. bendrojoje reliatyvumo teorijoje papildė Niutono teoriją. Joje teigiama, kad masyvūs kūnai, tokie kaip planetos, iškreipia aplink save erdvėlaikį. Taip pat joje minima, kad gravitacija nėra jėga, tai erdvės savybė.

Sunkio sąvoka tikslinama iki šių dienų, tačiau jo dydį šiuolaikinėmis technologijomis galima nustatyti bet kuriame taške.

Informacija apie sunkio lauką naudojama daugelyje gamtos ir inžinerinių mokslo sričių, tokių kaip: meteorologijoje, fizikoje, geodezijoje, geofizikoje, geodinamikoje, navigacijoje, kosmonautikoje, taip pat taikoma statybos inžinerijoje, archeologijoje, kasyboje (Torge 1989; Vitushkin 2011).

Fizikoje sunkio pagreitis reikalingas nustatant jėgos vienetą bei jos išvestinius dydžius. Jėga tarptautinėje vienetų sistemoje SI matuojama niutonais. Vienas niutonas lygus tokiai jėgai, kuri, veikdama 1 kg masės kūną, suteikia jam 1 m/s^2 pagreitį. Tokie dydžiai, kaip slėgis, darbas, galia, yra išvestiniai jėgos dydžiai. Todėl informacija apie sunkį juos nustatant taip pat reikalinga (Groten 2004; Navarro, Acoleyen 2007).

Įvairios mokslo laboratorijos ir kompanijos, atliekančios atitinkamus matavimus arba gaminančios tam skirtą specialią įrangą, naudoja sunkio duomenis. Gravitacijos konstanta G , kuri nusako tarp kūnų esančios gravitacinės traukos jėgą, naudojama laboratorijose, kai uolienu tankis lyginamas su gravimetriniais matavimais arba naudojami geofiziniai modeliai, sudaryti iš tankio reikšmių (Navarro, Acoleyen 2007).

Geofizikoje kietoji Žemė ir kiti dangaus kūnai tiriami fizikiniais metodais, o gauti rezultatai naudojami statiniams ir dinaminiais Žemės modeliams sudaryti. Šių modelių sudarymui naudojami duomenys apie išcentrinį sunkio pagreitį, apskaičiuotą gravimetriniu metodu. Taip pat žinant, kad simetrinės sferinės Žemės gravitacija priklauso nuo bendros jos masės, skaičiavimams būtini duomenys ir apie išorinį sunkio lauką, kuris suteikia informaciją apie atsitiktinius masių tankio pasikeitimus (Chambers, Schröter 2011; Panet *et al.* 2013; Rummel *et al.* 2011; Torge 1989).

Geodezija ir gravimetrija labai glaudžiai susijusios mokslo šakos. Geodezijoje naudojamos aukščių sistemos, kurioms sudaryti naudojama informacija apie sunkį. Geodeziniuose matavimuose ir inžineriniuose tyrinėjimuose naudojami aukščiai, kurie nustatomi atsižvelgiant į sunkio lauką. Aukščiams, gaunamiems geometriniu niveliavimu, įvedamos sunkio pataisos (Boyarsky *et al.* 2010; Bouman 2011; Klees, Prutkin 2010; Lyszkowicz 2002).

Taikomoji gravimetrija tyrinėja išorinę Žemės plutą iki 10 km gylio. Ją pasitelkiant ieškoma naudingųjų iškasenų, dujų, naftos, rūdų ir kt.

Globalinės padėties nustatymo sistemomis gaunami 0,01–0,1 m tikslumo (atstumams nuo kelių iki šimto kilometrų ir daugiau) elipsoidiniai aukščiai. Norint naudoti globalinės padėties nustatymo sistemų metodus kartu su normaliniais aukščiais, reikia nustatyti geoidą atitinkamu tikslumu. Geoido tikslumo didinimui būtina tobulinti vietinio sunkio lauko aproksimavimo metodus (Vajda *et al.* 2010; Vermeer, Kollo 2007). Įprastai yra pasirenkamas pasaulinis geopotencialo modelis, kuris tiksliausiai atitinka vietinį sunkio lauką (Amos, Featherstone 2003; Krynski, Kloch-Glowka 2009; Liker *et al.* 2010). Pasauliniai geopotencialo modeliai, priklausomai nuo to, kokie duomenys naudojami jiems sudaryti, būna kelių variantų (Ellmann, Jürgenson 2008; Erol *et al.* 2009; Petrovskaya, Vershkov 2011). Modelis gali būti gautas naudojant judėjimo orbitų elementų duomenis, naudojant sausumos, jūrų gravimetrinių matavimų duomenis ar šių duomenų kombinacijas. Modeliai sudaryti naudojant tik dirbtinių žemės palydovų judėjimo orbitų elementų duomenis yra mažo tikslumo (Amos, Featherstone 2003; Erol *et al.* 2009; Farahani *et al.* 2013; Reguzzoni, Sansò 2011).

Pasaulinis sunkio laukas reikalingas uždaviniams, apimantiems didelius Žemės paviršiaus regionus, spręsti bei vietinio sunkio lauko aproksimavimui. Žemės sunkio lauko aproksimavimas atliekamas nustatant geoidą, kvazigeoidą, dirbtinių Žemės palydovų orbitas, jis yra reikalingas geofizikos ir geodinamikos uždavinių modeliavimui. Sudaromi pasauliniai sunkio lauko modeliai

aprašomi trikdančiojo potencialo sferinių harmonikų eilutėmis (Ellmann 2010; Li 2005; Najafi-Alamdary *et al.* 2012). Harmonikų koeficientai nustatomi mažiausiųjų kvadratų metodu arba visų duomenų integravimu. Integraliniu metodu integruojamos viso Žemės paviršiaus sunkio anomalijos. Taip pat šis metodas reikalauja išankstinių paruošiamųjų darbų, tokių kaip altimetrinių geoido aukščių perskaičiavimas į sunkio anomalijas ir jų interpoliavimas (Šprlák, Novák 2014; Torge 1989). Pasauliniai sunkio lauko modeliai daugeliui uždavinių suteikia pakankamo tikslumo informaciją apie aukščio anomalijas, tačiau geodezinių uždavinių sprendimui sunkio vertikalės nuokrypio paklaida yra per didelė (Hirt *et al.* 2012; Rummel *et al.* 2011; Schall *et al.* 2014).

Vietinė sunkio lauko sistema naudojama sudaryti geodezinius tinklus, geodeziniais ir inžineriniams tyrinėjimams, taikomajai geofizikai ir geodinamikai. (Paršeliūnas *et al.* 2010; Zakarevičius *et al.* 2010).

Informaciją apie sunkio lauko pokyčius teikia sunkio anomalijos. Sudaromi pasauliniai modeliai, kuo tiksliau atitinkantys išorinio sunkio lauko modelį. Šiems modeliams sudaryti naudojamos Bouguer anomalijos, nes anomalijų laisvame ore, dėl jų greito kitimo ir priklausomybės nuo aukščio, negalima interpoliuoti (Vaníček *et al.* 2004). Nustatant Bouguer anomaliją įvertinamas begalinis tarpinis sluoksnis ir, jei reikalinga, įvedamos reljefo ir atmosferos pataisos. Lokaliai šios anomalijos nepriklauso nuo topografijos, tačiau pastebimi ryškūs skirtumai tarp topografinės ir batimetrinės sandaros. Globaliu požiūriu, Bouguer anomalijos kinta ribose iki 600 mGal (Tziavos *et al.* 2009).

Žemės sunkio laukas reikalingas balistiniams skaičiavimams, taikomajam modeliavimui. Koordinatinių ir aukščių sistemų sudarymui taip pat reikalinga informacija apie sunkį. Visų minėtų uždavinių sprendimams būtina tikslesnė ir detalesnė informacija apie sunkio lauką (Ellmann 2010; Torge 1989; Vajda *et al.* 2010).

1.2. Sunkio lauko tyrimų apžvalga

Sunkio lauko tyrimai yra tiesiogiai susiję su Žemės formos nustatymu. Žemės rutuliškumo idėją iškėlė senovės graikai: Pitagoras (VI a. pr. m. e.) ir Aristotelis (IV a. pr. m. e.). Žemės rutulio apytikslius matmenis apie 240 pr. m. e. nustatė Eratostenas. Skriejimo aplink Saulę idėją III a. pr. m. e. iškėlė A. Samarietis. Įsigalėjus pasaulio geocentrinei sistemai, iki XVI amžiaus Žemė laikyta centriniu Visatos kūnu. Kad Žemė yra planeta, skriejanti aplink Saulę (Heliocentrinė sistema), 1515 m. įrodė Mikalojus Kopernikas. Ir tik 1687 m. I. Niutonas iškėlė teoriją, kad Žemė yra elipsoido formos. Nuo to laikmečio iki dabar Žemės forma nuolatos tikslinama naudojant pagalbinį paviršių – elipsoidą, kurio parametrai pasirenkami. Turint tokį paviršių žinomos taškų koordinatės vieningoje sistemoje bei sunkio lauko reikšmė kiekviename taške.

Sunkio laukas laikui bėgant keičiasi dėl Žemės polių judėjimo, dangaus kūnų judėjimo, gruntinio vandens lygio svyravimų, grunto drėgmės ir atmosferos slėgio pasikeitimų, geodinaminių ir technogeninių procesų. Atliekant matavimus nedideliame plote Žemės sunkio laukas priimamas kaip vienalytis sunkio laukas, kurio vertikalės, nurodančios sunkio kryptį, kiekviename taške yra lygiagrečios tiesės, o lygio paviršiai – lygiagrečios plokštumos. Žinant vertikalės kryptį kiekviename taške gaunamas geoido paviršius.

Kaip jau minėta aukščiau, Žemė yra nevienalytis kūnas ir jo sunkio laukas yra nevienalytis. Analizuojant sunkio lauko nevienalytiškumą sunkio laukas dalinamas į dvi dalis – normalinį ir anomalinį. Išskiriami trys sunkio lauko komponentai: traukos laukas, išcentrinės jėgos laukas ir sunkio laukas.

Sunkio lauką geriausiai apibūdina sunkio potencialas W , kuris yra lygus traukos jėgos V ir išcentrinės jėgos Q potencialų sumai. Sunkio potencialas skaidomas į normalinį U ir trikdymo, arba anomalinį T , potencialus. Reikėtų vardo Stoksas 1849 m. savo teoremoje įrodė, kad normalinį lauką sukuria sukimosi elipsoidas, kuris sutampa su ekvipotencialiniu paviršiumi. O žinant kūno masę M , jo kampinį sukimosi greitį ω ir išorinio ekvipotencialinio paviršiaus formą, sunkio potencialas gali būti nustatomas išorinėje aplinkoje ir ekvipotencialiniame paviršiuje.

Žemės sunkio laukas dažnai apibūdinamas sunkio anomalijomis (skirtumas tarp realios sunkio reikšmės, gaunamos atlikus matavimus, ir paskaičiuotos normalinės reikšmės). Nustatant normalinių aukščių skirtumus, kvazigeoido aukščius, sprendžiant kitus geodezinius uždavinius reikalingos sunkio anomalijos laisvajame ore (Boyarsky *et al.* 2010). Tačiau šių anomalijų negalima interpoliuoti, nes jos labai greitai kinta ir didžiąja dalimi priklauso nuo reljefo. Todėl interpoliacijai naudojamos Bouguer anomalijos, gaunamos eliminuojant begalinio tarpinio sluoksnio, kuris išreiškia Žemės masės, esančios tarp geoido ir Žemės paviršiaus, trauką (Janak, Vaniček 2005).

Kuriami Bouguer anomalijų žemėlapiai. Žemėlapyje anomalijos išreiškiamos izonamalėmis t. y. linijomis, kurios jungia Žemės paviršiaus taškus su vienoda Bouguer anomalijos reikšme. Rytų Europoje didžioji dalis šių žemėlapių sudaryti naudojant Helmerto normalųjį sunkio lauką, Potsdamo sunkio sistemą ir 1942 m. koordinačių sistemą. Todėl, jeigu sunkio anomalijų skaičiavimo formulės yra pritaikytos GRS 80 normaliajam sunkio laukui ir IGSN 71 sunkio pagreičio sistemai būtinas redukavimas (Petroškevičius 2000). Skaičiuojant Bouguer anomaliją dažniausiai naudojama Žemės plutos tankio reikšmė $2,67 \text{ g/cm}^3$. Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapis sudarytas naudojant Helmerto normalųjį sunkio lauką ir Žemės plutos tankį lygų $2,3 \text{ g/cm}^3$ (Šliaupa *et al.* 2005).

Žemės gravitacijos lauko tyrimai atliekami gravimetriniais, astronominės geodezijos ir kosminės geodezijos metodais. Kosminės geodezijos metode naudojami palydovai, kurių orbitos plokštuma eina per žemės masės centrą. Kosminės geodezijos metodu nustatomos geocentrinės

koordinatės, geoido ir elipsoido parametrai, taip pat nustatomos pagrindinė Žemės inercinė ir momentinė sukimosi ašys. Mėnulio lazerinės lokacijos būdu nustatomas Žemės sukimosi greitis, Mėnulio orbitos elementai, reflektoriaus koordinatės ir Žemės masės centro persislinkimas. Ilgos bazės interferometrai suteikia galimybę nustatyti polių judėjimą, bazės tarp radioteleskopų ilgį, radijo šaltinio koordinates, precesijos, nutacijos parametrus. Kosminės geodezijos priemonėmis nustatomi Žemės sukimosi netolygumai. Geoido žinojimas leidžia nustatyti taškų aukščius kosminės geodezijos metodais nenaudojant niveliacijos, tačiau kosminės geodezijos metodu negalima gauti tokios detalios informacijos apie Žemės sunkio lauką, kaip gravimetriniu metodu, todėl jis yra derinamas su kitais metodais (Birvydienė 2014).

1.3. Antžeminių gravimetrinių matavimų vystymosi apžvalga

Gravimetrija yra geofizikos šaka, matuojanti įvairių žemės paviršiaus taškų laisvojo kritimo pagreitį, tirianti jo matavimo metodus ir instrumentus. Pagrindinis gravimetrijos uždavinys yra nustatyti Žemės sunkio lauką pagal sunkio pagreičio matavimus Žemės paviršiuje ir arti jo. Sunkio pagreičio matavimai tapo tyrimų objektu nuo antikos laikų. Graikų filosofas Aristotelis, apibendrinęs praktinę stebėjimų patirtį, teigė, kad kūnas krinta tuo greičiau, kuo didesnė jo masė. Tik 1583 m. šį teiginį paneigė italų mokslininkas G. Galilėjus. Po jo atliktų bandymų buvo suformuluota pagrindinė išvada, atskleidžianti laisvojo kritimo pagreičio esmę: visų laisvai krintančių kūnų pagreitis yra vienodas. SI sistemoje pagreičio matavimo vienetai yra metras sekundei kvadratu (m/s^2), tačiau gravimetrijoje naudojami galai (Gal).

Sunkio pagreitis priklauso nuo Žemės masių išsidėstymo ir Žemės sukimosi greičio apie savo ašį. Bėgant laikui masių išsidėstymas ir Žemės sukimosi greitis keičiasi, todėl kinta ir gravitacijos laukas. Šiems pokyčiams nustatyti būtina kartoti sunkio pagreičio matavimus, kuriuos galima atlikti stebint daugybę fizikinių reiškinių: kūno kritimą; svyruoklės svyravimus; įtemptos stygos, su prikabinta mase, skersinių svyravimų dažnį; kūnų deformaciją, kuriuos nuolatos veikia apkrova; skysčio pakilimą kapiliare ir kitus. Šiuolaikiniai sunkio jėgos matavimai atliekami labai dideliu tikslumu ir tik maža dalis iš išvardintų fizikinių reiškinių yra naudojami tam tikslumui pasiekti. Antžeminiai ir šachtiniai matavimai atliekami 0,001 mGal, jūros dugno 0,05 mGal, aerogravimetriniai matavimui 1 mGal tikslumu (Юзефович, Огородова 1980; Огородова 2010).

Sunkio pagreičio matavimai pagal nustatymo metodą skirstomi į dvi grupes: dinaminį ir statinį. Dinaminio metodo metu stebimas kūno judėjimas gravitacijos lauke, juo nustatoma absoliuti sunkio pagreičio reikšmė. Statinio metodo metu nustatoma santykinė sunkio pagreičio reikšmė – sunkio pagreičio prieaugiai atraminių punktų atžvilgiu. Ši reikšmė gaunama stebint pastovios masės kūno pusiausvyrą, kurį veikia sunkio ir kompensuojanti jėgos. Šiuo metu dažniausiai naudojamas statinis sunkio pagreičio nustatymo metodas. Prietaisai, naudojami sunkio pagreičio nustatymui, vadinami

statiniais gravimetrais arba gravimetrais (Birvydienė *et al.* 2009; Jiang *et al.* 2012; Petroškevičius 2004; Юзефович, Огородова 1980).

Gravimetriniai matavimai ir jų poreikis išaugo per paskutiniuosius du šimtmečius, kuomet sparčiai vystėsi technologijos ir didėjo jų tikslumas. Borda ir Cassinis 1792 m. pirmą kartą atliko gravimetrinius matavimus naudodami 3,8 m vielinę svyruoklę su platinos rutuliu. Matuojant svyravimo laiką ir svyruoklės ilgį, pasiektas 10 mGal tikslumas. Nuo to laiko gravimetriniai matavimai tapo aktualūs ir geodezijos srityje (Torge 1989).

XIX a. pabaigoje gravimetriniai duomenys buvo naudojami geodezinių ir astronominių duomenų redukavimui į jūros lygį, vertikalės nuokrypio interpoliavimui, Žemės formos ir išorinio sunkio lauko nustatymui. Informacijos poreikis apie sunkio lauką skatino gravimetrijos vystymąsi.

H. Kateris 1818 m. sukūrė pirmąsias apverčiamas svyruokles. Pirmųjų apverčiamų svyruoklių tikslumas siekė 35 mGal. 1862–1884 m. šiomis svyruoklėmis (1 m ir 0,5 m ilgio) buvo atliktas pirmas didesnis matavimų projektas „Mitteleuropäische Gradmessung“. Projekto metu buvo išmatuotos absoliutinės sunkio pagreičio reikšmės 122 punktuose 10 mGal tikslumu (Torge 1989).

XIX a. pirmoje pusėje, atliekant santykinius matavimus svyruoklėmis, buvo nustatyta, kad santykiniai matavimai yra tikslesni nei absoliutiniai, jų tikslumas siekė 5 mGal. Išstobulėjus santykiniams matavimams 1912 m. gravimetrinių punktų skaičius jau siekė 2000 (Birvydienė 2014).

Santykiniams sunkio matavimams atlikti reikalingas absoliutinis aukšto tikslumo atraminis pagrindas. Pirmas toks referencinis pagrindas, pavadinimu „Vienna Gravity System“, buvo sukurtas 1891 m. Pagrindo matavimus svyruoklėmis atliko J. von Oppolzeris.

F. Kuhnenas ir P. Furtwangleris 1898–1904 m. atliko matavimus su patobulintomis apverčiamomis svyruoklėmis ir gavo tiksliausią pasaulyje sunkio reikšmę, lygią 981274 ± 3 mGal. Ši reikšmė buvo patvirtinta ir priimta pasauliniu mastu išeities tašku. Ja remiantis 1909 m. Tarptautinė geodezijos asociacija pristatė naują Potsdamo sunkio sistemą, kuri buvo naudojama iki 1971 metų (Krynski 2012).

XX a. naujų technologijų išradimas, tokių kaip: invaro ar kvarco svyruoklės, laiko signalai, vakuumo kameros, fotografinis duomenų užrašymas, leido nustatyti sunkį 1 mGal tikslumu. Tobulinant R. von Sternecko svyruokles buvo didinamas svyruoklių skaičius, kuris pasiekė iki 4. Matavimai naudojant šias svyruokles sutrumpėjo nuo 12–24 val. XIX a. pab. iki 1–6 val. 1930 m., tačiau išliko labai brangūs ir atimantys daug laiko (Birvydienė 2014).

Pirmieji statiniai gravimetrai buvo pradėti naudoti 1930 m. Jie veikė kūno pusiausvyrą veikiančios sunkio jėgos ir kompensuojančios jėgos principu. Matavimų statiniais gravimetrais punkte trukmė sumažėjo iki 10–30 min., tikslumas pasiekė 0,2–0,5 mGal. Toliau tobulinant jų konstrukciją, atsiradus kvarciniams gravimetrams, tikslumas išaugo iki 0,1 mGal. Pritaikius

temperatūros stabilizavimo technologiją apie 1950 m. sunkio matavimų tikslumas jau siekė 0,01 mGal. Pirmieji tokie gravimetrai buvo Worden ir LaCoste & Romberg (1.1 pav.) (Юзефович, Огородова 1980).



a)



b)

1.1 pav. Statiniai gravimetrai: a) Worden ir b) LaCoste & Romberg (Lacoste and Rhomberg gravity meter 2017; Technical equipment 2017)

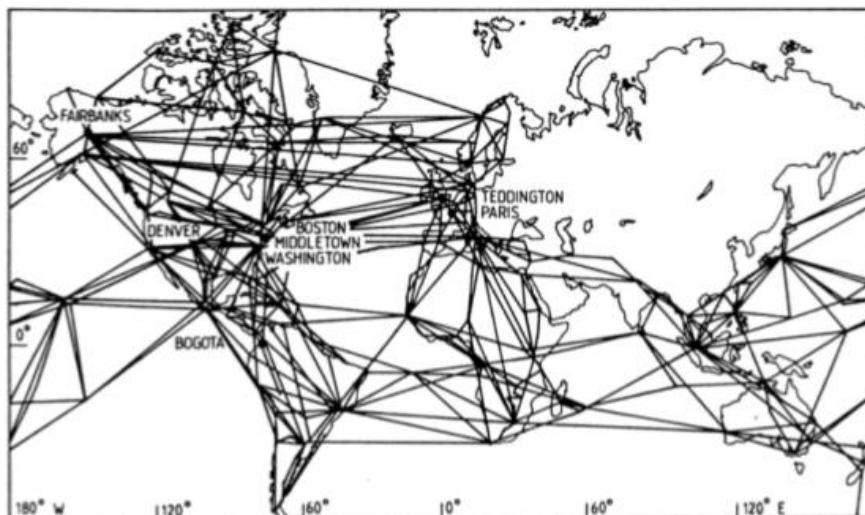
Pirmi gravimetriniai tinklai įrengti XIX a. pabaigoje – XX a. pradžioje matuojant santykiniais svyruokliniais gravimetrais ir susieti su absoliutiniu Potsdamo punktu. Tinklo ryšys su absoliutiniu sunkio punktu užtikrino sunkio kontrolę. Vėliau šie tinklai buvo tankinami naudojant statinius gravimetrus. Tuo metu punktai buvo žymimi postamentais (Krynski 2011).

A. Sakuma 1951 m. Prancuzijoje sukūrė pirmąjį stacionarų absoliutinį gravimetrą, paremtą kūno laisvuju kritimu. A. H. Cookas 1965 m. sukonstravo „kilimo ir kritimo“ gravimetrą nacionalinėje fizikos laboratorijoje Tedingtone. Šių gravimetrų tikslumas buvo kiek mažesnis nei santykinų gravimetrų. Pirmąjį mobilųjį laisvojo kritimo gravimetrą sukūrė J. A. Hammondas ir J. E. Falleris 1968–1969 m. Konektikute, JAV (Torge 1989). Šio gravimetro tikslumas buvo toks pats kaip ir tiksliausių to meto stacionariųjų gravimetrų.

Vis plačiau naudojant gravimetrinius matavimus reikėjo priimti sunkio sistemą, pritaikytą naudoti pasauliniu mastu. Po daugiau nei dviejų dešimtmečių trukusio tarptautinio bendradarbiavimo buvo priimtas pasaulinis sunkio tinklas, pavadintas Tarptautiniu sunkio norminiu tinklu 1971 (IGSN71) (1.2 pav.). Tinklo sudarymo darbus kontroliavo Tarptautinės geodezijos ir geofizikos sąjungos (IUGG) Tarptautinė geodezijos asociacija (IAG) (Petroškevičius *et al.* 2014).

IGSN71 sunkio pagrindas sudarytas iš 10-ties absoliutinių matavimų, iš kurių 8 matavimai atlikti J. A. Hammondo ir J. E. Fallerio mobiliu laisvojo kritimo gravimetru ir 2 matavimai A.

Sakumos stacionariu prietaisais. Tinklą sudarė 1854 punktai, kurių tikslumas siekė 0,01–0,1 mGal. 1971 m. vykusioje XV IUGG Generalinėje asamblėjoje buvo nuspręsta pakeisti Potsdamo sunkio sistemą į IGSN71, įvedant 14 mGal pataisą (Petroškevičius *et al.* 2014, Wziontek 2015).



1.2 pav. Tarptautinis sunkio norminis tinklas 1971 (Wilmes *et al.* 2010)

XX a. paskutiniaisiais dešimtmečiais buvo tobulinami balistiniai gravimetrai. J. E. Falleris, kūręs JILA gravimetrus, 1993 m. sukūrė mobilųjį gravimetrą FG5. Šis gravimetras, skirtas naudoti laboratorijose, jo tikslumas 1 μ Gal. FG5 tapo vienas populiariausių balistinių gravimetų, pranokusių santykinius gravimetrus (1.3 pav.) (Sasagawa *et al.* 1995).



a)



b)

1.3 pav. Absoliutiniai gravimetrai: a) FG5 ir b) JILA g-6 (Conrad Observatory – Trafelberg 2017; FG5-X Absolute Gravimeter 2014)

San Diego, 1960 m. pabaigoje, buvo sukurtas superlaidus gravimetras SG (1.4 pav.). Šis gravimetras ypatingas tuo, kad turi didelį laidumą labai žemoje temperatūroje, tai reiškia, kad sukuriamas pastovus elektromagnetinis laukas. Esat pastoviam elektromagnetiniam laukui kūnas išlieka pusiausvyros būsenoje. Šis prietaisas, pasikeitus superlaidaus kūno pusiausvyrai, išmatuoja ją ir kompensuoja elektrostatiškai. Patys pirmieji superlaidūs gravimetrai buvo labai brangūs ir dideli. Šiuolaikiniai superlaidūs gravimetrai yra mobilūs ir ekonomiški.



a)



b)

1.4 pav. a) superlaidus gravimetras OSG ir b) lauko absoliutinis gravimetras A10 (Gravity 2017; Superconducting Gravity Sensors 2015)

Superlaidus gravimetras SG pasižymi stabilumu (slinktis neviršija $0,01 \mu\text{Gal}/\text{m}$) ir tikslumu ($0,01 \mu\text{Gal}$) (Krynski 2012; Warburton *et al.* 2010). Dėl šių dviejų savybių gravimetrai naudojami tirti ilgo periodo potvynio efektą, stebėti polių judėjimą ir tektoninius procesus, naudojami absoliutinių gravimetru reguliavimui ir palydovinių sunkio misijų kalibravimui.

2003 m. J. A. Fallerio grupė sukūrė kilnojamąjį balistinį (laisvojo kritimo) gravimetą A10, kurio tikslumas siekia kelis mikrogalus (1.4 pav.). Naudojant A10 gravimetą sunkis nustatomas matavimų metu. Darbas su gravimetru užtrunka apie 1 val. Taip pat jis yra nebrangus, tai parodo jo praktiškumą ir pritaikymą atliekant matavimus su daug stočių.

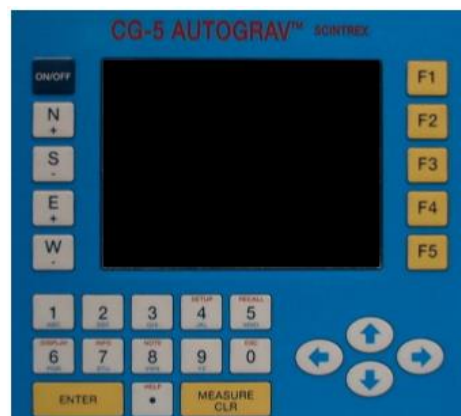
Remiantis naujausių tyrimų rezultatais manoma, kad absoliutiniai, kieto kūno laisvojo kritimo principu grįsti, gravimetrai bus pakeisti gravimetrais su 107 „šaltais“ Rb atomais. Pirmasis absoliutinis šaltų atomų gravimetras buvo sukurtas Paryžiuje. Šio gravimetro tikslumas laboratorijose nustatytas $1\text{--}4 \mu\text{Gal}$. Atominiai gravimetrai gali būti naudojami atliekant matavimus ore, laivuose ar kosmose (Min-Kang 2015).

Absoliutinio sunkio matavimų tikslumo padidėjimas išplėtė sunkio tyrimų aktualumą ir naudą įvairiose mokslo srityse. Dabar gravimetriniai duomenys naudojami Žemės sunkio lauko ir geoido modeliavimui, Žemės potvynių stebėjimui ir modeliavimui, vertikalių plutos judesių nustatymui, palydovinių sunkio misijų kalibravimui, Žemės sunkio lauko laikinųjų variacijų ir polių judėjimo stebėjimui, integruotų geodezinių tinklų palaikymui.

Nors absoliutinių gravimetru pritaikymas padidėjo, tačiau dažniau yra naudojami santykiniai gravimetrai, ypač tinklų sutankinimui. Ilgą laiką plačiai naudojami buvo mechaniniai astatiniai spyruokliniai gravimetrai LaCoste & Romberg, vėliau juos pakeitė automatiniai kvarciniai gravimetrai Scintrex CG (1.5 pav.) .



a)



b)

1.5 pav. a) gravimetras Scintrex CG-5 ir b) jo ekranas su valdymo mygtukais (Гравиметр CG-5 AutoGrav 2016; CG-5 Scintrex Autograv System 2006)

Scintrex CG – kvarcinis, automatizuotas, mikroprocesoriumi pagrįstas gravimetras. Prietaisas labai jautrus ir tikslus, jo matavimo diapazonas didesnis nei 8000 mGal. Prietaisas lengvas, rezultatai gaunami 0,001 mGal tikslumu, kas leidžia prietaisą plačiai naudoti matavimams sausumoje, naudingų iškasenų žvalgybai, vulkanologijai, naftos ir dujų žvalgybai, regioniniams gravitaciniams tyrimams, detaliems lauko tyrimams, geologiniam kartografavimui, inžineriniams darbams, geodezijoje (CG-5 Scintrex Autograv System 2006).

Šio automatinio gravimetro sistemos jautrusis elementas grįstas lydyto kvarco tampriąja sistema, kuriai būdingas tvirtumas ir tamprumas. Kūnas, veikiamas gravitacijos jėgos, yra subalansuojamas spyruoklės ir santykinai mažos elektrostatinės atkuriamosios jėgos. Prietaise naudojamas automatinis grįžtamasis kontūras, kuriame kondensatorių plokštelės sukuria elektromagnetinę jėgą, kuri grąžina kūną į nulio padėtį. Kūno padėtis, kuri yra nuolatos veikiamas

gravitacijos, stebima slinkties daviklio. Jėgos grįžtamasis ryšis, kuris yra santykinės sunkio jėgos vertės atskaitymo matas, yra konvertuojamas į skaitmeninį signalą, o tuomet perduodamas į prietaiso duomenų kaupimo sistemą apdorojimui, saugojimui ir pateikimui ekrane (CG-5 Scintrex Autograv System 2006).

Scintrex CG-5 gravimetre automatiškai atliekamas kompensavimas ir korekcija. Iš įmontuoto posvyrio daviklio nuolat gaunami duomenys, taip gravimetras automatiškai kompensuoja matavimus dėl posvyrio. Remiantis vartotojo įvestais duomenimis apie geografinę padėtį ir laiko juostą, gravimetras automatiškai skaičiuoja pataisą dėl potvynių kiekvienam matavimui realiu laiku. Prietaise yra automatinis triukšmo slopinimas bei seisminių triukšmų pašalinimas. Nuo išorinių poveikių apsaugo amortizatoriai. Kaip bebūtų, būtina stebėti prietaiso paleidimą, jo nulinį slinktį, nes ji kinta netolygiai (CG-5 Scintrex Autograv System 2006). Šio tipo gravimetrais atlikti darbe naudojamos geodezinio vertikaliojo tinklo linijos Vilnius-Molėtai-Kuktiškės punktų matavimai.

1.4. Palydovinių sistemų, tiriančių gravitacijos lauką vystymosi, apžvalga

Erdvės tyrimas prasidėjo ne 1957 m. spalio 4 d., kai Sovietų Sąjungoje buvo paleistas pirmasis palydovas, o 1609 metais, kuomet G. Galilėjus nukreipė pirmąjį teleskopą į žvaigždėtą dangų. Ateinančius porą šimtmečių astronomai tyrė Saulės sistemą. Baigiantis XVII amžiui, mokslininkai bandė išmatuoti atstumus iki parinktų žvaigždžių, naudojant trianguliacijos metodą, ilgio vienetu imdami atstumą tarp Saulės ir Žemės, o Žemės ilgį kaip bazę. Deja, ta bazė nebuvo gerai išmatuota, o atstumas tarp Saulės ir Žemės buvo žinomas tik kelių šimtų kilometrų tikslumu.

Kai dar niekas rimtai apie dirbtinius palydovus negalvojo, astronomai ir geodezininkai svarstė, kaip sujungti triangulacijų tinklus, atskirtus vandenynų. Suomis Y. Vaisala 1921 m. aprašė metodą, kaip matuoti naudojant apšviestus balionus, t. y. tą šviesų tašką (balioną) fotografuoti žvaigždžių fone.

Suomijos mokslininkas Bonsdorffas 1943 m. išvystė Lenkijos astronomo T. Banachievičiaus 1927 m. surastą metodą – atstumų matavimą per vandenynus. Metodas išbandytas 1945–1955 metais. Tikslumas siekė 80 metrų. Metodas pagrįstas Saulės fotografavimu iš trijų stočių (dviejų žinomų ir vienos ieškomos), esančių skirtinguose žemynuose, ir garsinio filmo įrašymu, kuriame fiksuojami stočių signalai bei chronometro tiksėjimas, užtemimui prasidedant ir baigiantis.

W. Markovičius 1950 m. išrado Mėnulio kamerą. Fotografuojant mėnulį žvaigždžių fone iš observatorijų, esančių skirtinguose žemynuose, buvo randamas atstumas, o iš jo apskaičiuojamas Mėnulio pasislinkimas. Praktikoje metodas yra keblus tiek stebėjimų, tiek skaičiavimų metu, kadangi Mėnulis gali pasislinkti ir dėl kitų nežinomų priežasčių – ne vien dėl stoties pasisukimo aplink Žemės centrą, o nežinomųjų išskyrimui reikia daug stebėjimų (Geodezija erdvės trylime 2017).

Kaip šviesos šaltiniai vietoje Mėnulio naudotos ir raketos, tačiau pastebėti metodo trūkumai: raketų trumpas amžius ir didelis atstumas, kuriam įveikti reikia labai aukštai iššauti raketą, arba atlikti stebėjimus arti horizonto.

Suomis Y. Vaisalas 1949 metais pasiūlė naudoti žvaigždžių foną taip bent dalinai išvengiant refrakcijos keblumų, be to, gaunamos kryptys, kurios yra nepriklausomos nuo Žemės masių pasiskirstymo. Tačiau nebeužtenka trijų dimensijų, reikia naudoti ketvirtąją dimensiją – laiką. Apibrėžti laiką, turint radijo priemones bei didelio preciziškumo laikrodžius, nėra didelė problema, tačiau kyla sunkumų kada mėginama suderinti žemės ir palydovo judesius. Žemė sukasi aplink savo ašį 1700 km/val., o palydovai skrieja vidutiniškai apie 29000 km/val. greičiu. Be to, žemės judėjimas nėra tiksliai žinomas, dėl duomenų trūkumo.

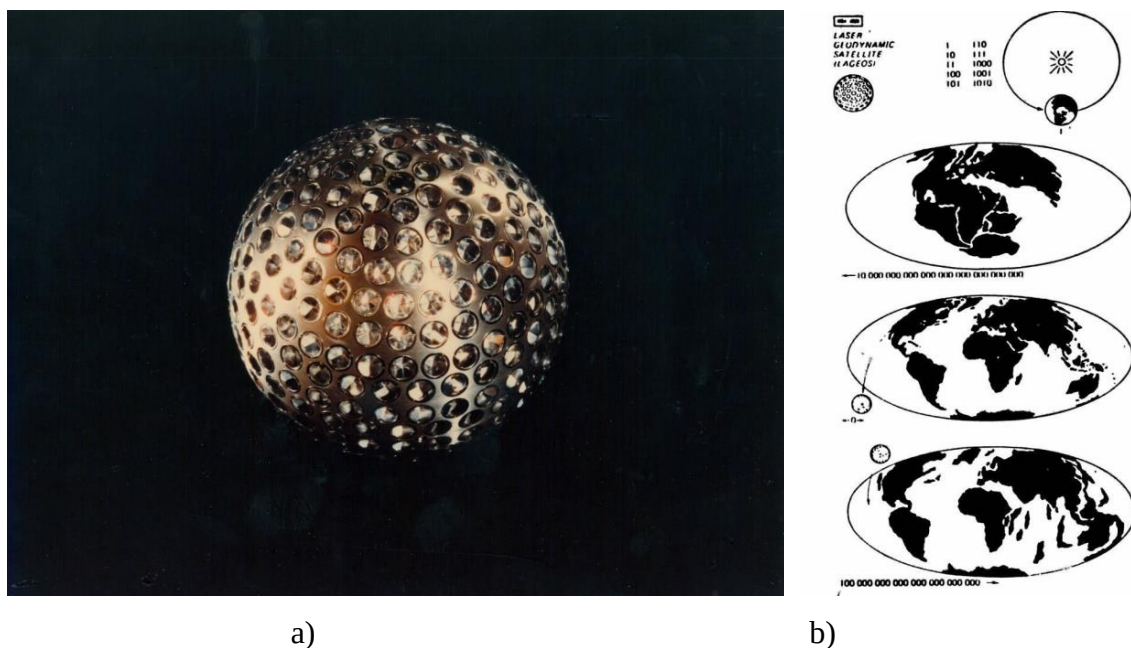
Kilus mintims apie dirbtinius palydovus, raketos pasitarnavo jų iškėlimui į erdvę. DP gali būti išmesti taip, kad skriėtų aplink Saulę (heliocentriniai) ar aplink Mėnulį (selenocentriniai). Dauguma palydovų skrieja aplink Žemę. Po pirmojo palydovo iškėlimo praėjo jau beveik šeši dešimtmečiai. DP skaičius išaugo labai sparčiai, šiuo metu jų yra virš 20 000.

Pagrindinė DP paskirtis yra nešti tyrimo aparatus už atmosferos ribų. Palydovas gali būti panaudojamas erdvėje kaip šviesos šaltinis trianguliacijoje arba kaip masė žemės traukos lauke, analizuojant orbitos trikdymus. Kai palydovo orbita yra nustatyta, jis gali būti naudojamas kaip atraminis matavimo taškas, kurio pozicija yra žinoma kaip laiko funkcija. Pagal atstumų kitimus ar kampinius matavimo duomenis galima nustatyti stebėjimo stočių pozicijas toje pat sistemoje, kurioje nustatyta orbita (Geodezija erdvės tryime 2017).

Dirbtiniai žemės palydovai, naudojami geodezijoje, turi būti sferinės formos, didelio lyginamojo svorio, atmosferos pasipriešinimo efektui sumažinti. Energijai gauti jie turi būti aprūpinti saulės baterijomis. Jų orbita turi būti apskritiminė. Inklinacija turi būti nemažesnė nei 50°, kad DP galėtų būti stebimas iš daugelio kraštų, amžius nemažesnis nei metai. Palydovų orbitų precizija priklauso nuo DP paleidimo tikslumo ir nuo galimybės ją koreguoti. Radiacijai išvengti DP orbitos turi būti 1000 km aukštyje. Žemų altitudžių, apie 480 km, orbitos naudojamos meteorologiniams tyrimams, jose atmosferos pasipriešinimas nėra ignoruojamas. Gravitacijos lauko anomalijų efektai yra didesni negu aukštų altitudžių orbitose. Orbitų aukštis nėra pastovus dėl 21,5 km žemės iškilimo palei ekvatorių, nežiūrint lokalinių aukščio kitimų.

Vieni iš svarbiausių geodezinių palydovų yra LAGEOS ir LAGEOS II (angl. Laser Geodynamics Satellite). Palydovai pagaminti ir paleisti NASA mokslininkų. Jie skirti geodinaminių procesų ir gravitacinio lauko tyrimams, šiuo metu tarnauja kaip matavimo taškai erdvėje. Šie palydovai yra pasyvūs, jie atspindi lazerio spindulius, išsiųstus iš Žemės. Dėka šių palydovų išsidėstymo jų padėtis nustatoma labai tiksliai. Abu palydovai yra 60 cm skersmens rutuliai, pagaminti iš kieto žalvario ir sveriantys apie 400 kg. LAGEOS ir LAGEOS II yra daug mažiau

veikiami atmosferos nei kiti palydovai, kadangi juose mažai ertmių ir jie pagaminti iš didelio tankio žalvario. Juose nėra elektros įrenginių, variklių, maitinimo šaltinių, taip pat nėra feromagnetinių elementų, kurie slopina magnetinio lauko poveikį palydovų judėjimui. Kiekvieno palydovo aliuminiame apvalkale yra tolygiai išdėstyti 426 kampiniai reflektoriai, iš kurių 422 užpildyti lydytu kvarcu ir 4 germaniumi (1.6 pav) (Bianco *et al.* 2001; Caporali *et al.* 1990; Gegout, Cazenava 1991; LAGEOS-1, -2 2012).



1.6 pav. a) palydovas LAGEOS ir b) jame esanti plokštelė (Now 40, NASA's LAGEOS Set the Bar for Studies of Earth 2016)

LAGEOS paleistas 1976 m. gegužės 4 d. į beveik apskritą orbitą (ekscentricitetas 0,0045) su posvyriu $109,84^\circ$, perigėjumi 5860 km ir žvaigždiniu periodu 225 min. LAGEOS II paleistas 1992 m. spalio 22 d., jo orbita taip pat beveik apvali (ekscentriškumas 0,0135), perigėjus ir apsisukimo periodas, atitinkamai 5620 km ir 223 min., artimi pirmojo palydovo parametrų. Tik skirtumas tarp jų tas, kad antrasis palydovas sukasi Žemės sukimosi kryptimi, o pirmasis priešingai jos kryptimi (Andrés 2004; LAGEOS-1, -2 2012).

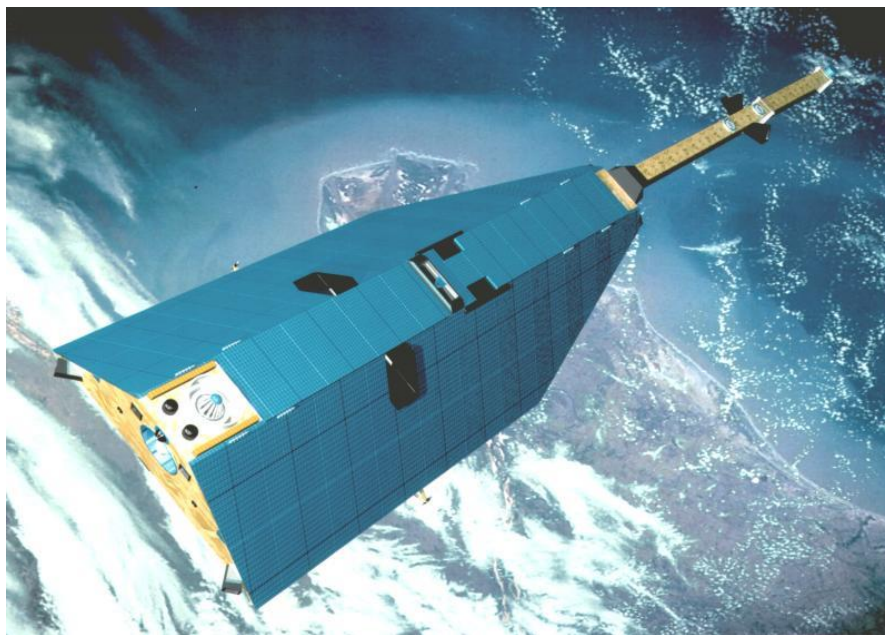
Palydovų lazerinė lokacija atliekama iš kelių dešimčių Tarptautinių lazerinės lokacijos (angl. International Laser Ranging Service) stočių, esančių pasaulio observatorijose. Naudojant 11-kos metų stebėjimo rezultatus buvo apskaičiuota, kad palydovų orbita pasislenka per metus 2 m Žemės sukimosi kryptimi. Yra manoma, kad palydovas LAGEOS, judantis savo orbita, esančia 5860 km aukštyje, galės gyvuoti dar apie 8 milijonus metų. Šio palydovo viduje yra 10x18 cm dydžio nerūdijančio plieno plokštelė su išgraviruotu ant jos C. E. Sagano sukurtu laišku tolimiems palikuonims. Jame pavaizduotas LAGEOS palydovas, taip pat aprašyti skaičiai nuo 1 iki 10

dvejtainėje sistemoje ir schema, vaizduojanti Žemės judėjimą aplink Saulę (1.6 pav.) (LAGEOS-1, -2 2012).

Mokslui ribų nėra, atsakius į vienus klausimus visuomet atsiranda kiti. Kaip keisis srovės pasaulio vandenynuose, jei Žemės atšilimas, kaip manoma, vyks ir toliau? Koks Žemės reljefas tose vietose, kurios nuo paskutinio ledynmečio laikų iki šiol yra padengtos labai storu ledo sluoksniu? Ar yra neatrastų naftos telkinių, gruntinio vandens sankaupų ir sluoksnių, turtingų mineralais? Kas yra „aukštai“ arba „žemai“? Į visus šiuos klausimus geologams, geodezininkams, inžinieriams, okeanografams ir klimato tyrėjams atsakyti reikalingi tikslūs viso Žemės rutulio gravitacinio lauko matavimai. Tuo tikslu buvo sukurti palydovai CHAMP, GRACE, vėliau GOCE, tiriantys Žemės gravitacijos lauką.

CHAMP (angl. Challenging Mini-Satellite Payload) – tai mažas Vokietijoje sukurtas palydovas, paleistas iš Rusijos kosmodromo į orbitą 2000 m. liepos 15 d. Pagrindinė jo paskirtis – matuoti magnetinio ir gravimetrinio Žemės lauko parametrus 5 metų laikotarpyje. Palydovas savo misiją baigė 2010 rugsėjo 19 d., tai dvigubai ilgesnis laiko tarpas nei buvo tikėtasi (1.7 pav.).

CHAMP išsiskyrė savo korpuse įmontuotais daugiafunkciais įrenginiais (magnetometru, žvaigždžių jutikliu, GPS imtuvu, lazerio šviesos reflektoriumi ir jonų judesių matuokliu), kurie tiksliai nustatė jo padėtį orbitoje. GPS imtuvas, įmontuotas palydove, matavo navigacinių kosminių aparatų prislopintus radijo signalus, kurie teikė galimybę matuoti atmosferos temperatūrą, drėgmę ir vandens garų kiekį. Šio palydovo svoris 500 kg (Hajj *et al.* 2004; Weigelt *et al.* 2013).



1.7 pav. CHAMP (CHAMP, Picture Gallery 2000)

Palydovai GRACE (angl. Gravity Recovery and Climate Experiment) 2002 kovo 12 d. iš kosmodromo Rusijoje iškelti balistine raketa „Rokot“ (1.8 pav.). Pagrindinė šių palydovų misija yra

Žemės gravitacinio lauko ir jo pakitimų, dėl klimato pokyčių, tyrimas. GRACE kartografuoja gravitacinį lauką, fiksuodamas dviejų identiškų palydovų tarpusavio padėtį. Šie palydovai yra 2 m pločio ir 3 m ilgio, sveria 475 kg. Jie skrieja aplink Žemę 500 km aukštyje, nutolę vienas nuo kito per 200–400 km. Jų trajektorija poliarinė, kerta Šiaurės ir Pietų ašigalių zonas. Palydovai nuolatos keičiasi radijo signalais mikrobangų diapazone, tai leidžia mikrometro tikslumu nustatyti atstumą tarp jų. Jų judėjimas ir orientacija registruojama GPS imtuvais, akseletometrais ir žvaigždžių jutikliais. Palydovai per mėnesį apskrieja visą Žemės rutulį, tai suteikia galimybę stebėti natūralų masių judėjimą (Chen *et al.* 2006; Swenson 2002; Wahr *et al.* 1998).



1.8 pav. GRACE (First GRACE follow-on satellite completes construction 2017)

Pagal šio palydovo sukauptus duomenis buvo sudarytas Žemės gravitacinio lauko žemėlapis. Panaudojus 2002–2005 m. stebėjimų duomenis buvo įrodytas greitas Grenlandijos ledynų tirpsmas. 2006 m. mokslininkų komanda, vadovaujama Ralph von Freso ir Laramie Pottso, pagal GRACE duomenis Antarktidoje pastebėjo geologinį 480 km pločio darinį – Vilksso Žemės kraterį. Atradėjai pastebėjo masės koncentracijos anomaliją; ištyrę duomenis detaliau, priėjo išvadą, kad ją sukėlė milžiniško meteorito smūgis (Chen *et al.* 2011; Velicogna *et al.* 2014; von Frese *et al.* 2009).

Planuojama 2018 metais paleisti du naujus Grace-FO palydovus, kurie leis atlikti matavimus didesniu tikslumu. Grace-FO palydovuose bus išbandytas naujas Vokietijos ir Amerikos bendradarbiavimo produktas – lazerinė interferometrija. Grace-FO palydovai bus paleisti kartu, maždaug 220 km atstumu vienas nuo kito, į 500 km aukščio poliarinę orbitą. Po penkerių metų Grace-FO misijos bus sukaupti duomenys apie Žemės gravitacinį lauką kas 30 dienų. Taip pat kiekvienas palydovas teiks 200 temperatūros paskirstymo profilius ir vandens garų kiekį

atmosferoje bei jonosferoje per parą (First GRACE Follow-On Satellite Completes Construction 2016; Wei 2014).

GOCE (angl. Gravity Field and steady-state Ocean Circulation Explorer) – tai ESA (angl. European Space Agency) projekto gravimetrinio lauko tyrimams sukurtas palydovas (1.9 pav.), paleistas į orbitą 2009 metų kovo 17 dieną. Nors buvo planuota, kad GOCE orbitoje suksis tik pusantrų metų, tačiau dėl mažo Saulės aktyvumo jo turimų degalų pakako beveik trigubai ilgesniam laikui. Palydovas 2013 m. lapkritį sudegė atmosferoje. Jis buvo aštuonkampio formos, 5 m ilgio ir 1 m pločio (Drinkwater *et al.* 2003, 2007; GOCE 2012).



1.9 pav. GOCE (GOCE in orbit 2009)

GOCE palydovas Žemės gravitacinį lauką matavo dviem būdais. Didesniu nei 500 km atstumu matavimai atliekami palydove įmontuotu GPS imtuvu, kuris nustato GOCE palydovo padėtį. Remiantis tuo, kaip tam tikrose vietose Žemės gravitacinis laukas veikia GOCE kryptį, apskaičiuojami gravitacinio lauko skirtumai. Esant mažesniam atstumui (nuo 100 km iki 500 km) gradiometras gravitacinio lauko skirtumus matuoja $0,00001 \text{ m/s}^2$ tikslumu. Gravitacinis gradiometras sunkio jėgą matuoja skrydžio, horizontaliomis ir vertikalėmis skrydžio kryptimis. Gradiometrą sudaro dėžutės su laisvai kabančiais metalo kubeliais elektriniame lauke. Palydovui skriejant aplink Žemę, nedideli Žemės gravitacinio lauko skirtumai priverčia kubelius tolti arba artėti vienas kito atžvilgiu. Tuo tarpu elektrinis laukas ne didesnius kaip 0,1 nanometro judesius koreguoja, todėl kubeliai nepajuda. Elektrinio lauko stiprio pokyčiai yra Žemės gravitacinio lauko skirtumų matas. Žemės gravitacinis laukas silpsta tolstant nuo Žemės, todėl, norint išmatuoti nežymius gravitacinio lauko skirtumus, palydovas GOCE skrieja aplink Žemę apie 260 kilometrų

aukštyje virš jos paviršiaus. Palydovo judėjimas apibūdinamas kaip nuolatinis laisvasis kritimas, kadangi GOCE palydove yra įmontuotas jonų variklis, kompensuojantis oro pasipriešinimą. Taip pat palydove yra žvaigždės fotografuojanti kamera, kuri lygina nuotraukas su labai tiksliai žvaigždžių žemėlapiu. Pagal gautus duomenis jonų variklis išlaiko tinkamą palydovo skridimo kryptį (Drinkwater *et al.* 2003, 2007; GOCE 2012; GOCE mission milestones 2017).

ESA 2010 m. birželio 29 d. pavošino pirmuosius Žemės gravitacijos lauko modelius, sudarytus remiantis GOCE palydovo duomenimis. Neatsižvelgiant į tai, kad modeliai buvo sudaryti tik pagal dviejų mėnesių stebėjimo duomenis, gauti rezultatai tikslumu viršijo visus ankstesnius modelius, sudarytus remiantis kelerių metų stebėjimo duomenis, netgi GRACE (GOCE mission milestones 2017; Migliaccio 2010).

1.5. Lietuvos teritorijos gravimetrinės medžiagos apžvalga

Pirmuosius sunkio matavimus Lietuvoje atliko Vilniaus universiteto profesorius J. Sniadeckis dar XIX a. pradžioje. Prieškario metais (1930–1934 m.) sunkio pagreitis svyrųokliu metodu buvo nustatytas pirmos eilės trianguliacijos tinkle, 35 punktuose. Matavimus atliko profesorius K. Šlezevičius keturių svyrųoklių Sterneck prietaisu. Matavimų tikslumas siekė 3 mGal. Matavimai sieti su Kaune esančiu pagrindiniu gravimetriniu punktu, kurio sunkis nustatytas remiantis Potsdamo sistema. Pokario laikotarpiu pirmieji sunkio lauko matavimai atlikti 1947 metais. Nuo 1954 m. pradėta daryti ištisinė Lietuvos gravimetrinė nuotrauka, Lietuvos mokslų akademijos Geologijos ir geografijos instituto iniciatyva. Darbai baigti 1959 metais (Petroškevičius 2004).

Antrosios klasės tinklas sudarytas iš 21 punkto, atstumas tarp jų apie 50–70 km. Tinklui sudaryti naudoti atraminiai punktai Vilniuje ir Klaipėdoje, kurie nustatyti Rygoje esančiu pirmosios klasės punkto atžvilgiu. Didžioji dalis punktų įrengti oro uostuose. Matavimams atlikti naudoti kvarciniai ir metaliniai gravimetrai: Worden, ГΑΓ-1, ГКИИД, ГМТ-1. Sunkio pagreitis nustatytas su vidutine kvadratine paklaida 0,2 mGal. Trečiosios klasės tinklas sudarytas iš 105 punktų. Tinklui sudaryti naudoti atraminiai punktai, esantys Vilniuje, Panevėžyje, Rygoje, Daugpilyje, Lydoje ir Kaliningrade. Punktai išsidėstę tolygiai, išskyrus vakarinę Lietuvos dalį. Jie įtvirtinti metaliniais vamzdžiais arba sutapdinti su kilometrinių ar telefono stulpais, riboženkliais, trianguliacijos punktais ir kitais objektais. Matavimai atlikti gravimetrais ГAK-3M, ГAK-4M, ГAK-ПТ, ГAK-7Т, Worden. Sunkio pagreičio vidutinė kvadratinė paklaida neviršijo 0,35 mGal. Dauguma šių punktų sunaikinti. Informacija apie tinklus surinkta iš gravimetrinių punktų katalogų. Kataloguose sunkio pagreičio reikšmės pateiktos Potsdamo sistemoje, koordinatės – 1942 m. koordinatės sistemoje, aukščiai – Baltijos aukščių sistemoje. Taip pat pateiktos sunkio laisvajame ore ir Bouguer anomalijos. Bouguer anomalijoms skaičiuoti naudotas Žemės plutos tankis $2,3 \text{ g/cm}^3$ (Petroškevičius 1995, Petroškevičius, Paršeliūnas 1999).

1951–1962 metais sudaryta ištisinė gravimetrinė nuotrauka. Nuotraukai sudaryti buvo naudota daugiau nei 10 000 punktų. Šios nuotraukos gravimetrinių punktų katalogų nerasta. Surasta tik dalis šio žemėlapių priedų, kuriuose pateikiamos sunkio anomalijos laisvajame ore ir gravimetrinių punktų aukščiai. Juose nurodyti vykdytojai, darbų atlikimo laikas, naudoti prietaisai. Sunkio pagreitis matuotas gravimetrais CH-3, ГКА, ГАК-3М, ГАК-4М, ГKM atraminių punktų nr. 184 (I klasė, Vilnius), nr. 386 (II klasė, Panevėžys), nr. 378 (II klasė, Ryga), nr. 384 (II klasė, Kaliningradas) atžvilgiu. Aukščiai nustatyti geometriniu arba barometriniu niveliavimu bei naudojant topografinius žemėlapius, paklaidos neviršija 2,5 m. Bouguer anomalijų vidutinės kvadratinės paklaidos neviršija 0,8 mGal. Pagal ištisinę gravimetrinę nuotrauką 1963–1976 metais buvo sudarytas Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio gravimetrinis Bouguer anomalijų žemėlapis. Žemėlapyje pateikiami punktai su Bouguer anomalijų reikšmėmis, izoanomalės prastos kas 2 mGal (Petroškevičius 2004).

Gravimetrinė nuotrauka Baltijos jūroje 1968–1970 m. padaryta 80 km ruože pagal jūros krantą. Matavimai atlikti Jūros geologijos ir geofizikos mokslinio tyrimo instituto. Punktų tankis 2×4 km. Matavimai atlikti ГДК-ЭМТ ir ГАК-7ДТ dugniniais gravimetrais. Naudoti du atraminiai antrosios klasės punktai: nr. 384 Kaliningrade ir nr. 383 Klaipėdoje. Išmatuoto gylio vidutinė kvadratinė paklaida yra 0,5 m, koordinačių – 32 m. Gravimetrinių matavimų vidutinė kvadratinė paklaida 0,32 mGal. Sudarytas gravimetrinių punktų katalogas (Petroškevičius 2004).

Kuršių marių gravimetrinė nuotrauka atlikta 1973–1974 m. Matavimus atliko Geologijos vadybos Naftos paieškų tarnyba, ГАК-4М, ГДК, ГРК gravimetrais. Gravimetrai buvo nuleidžiami ant marių dugno arba statomi virš vandens ant stovo. Nuotraukos taškai išdėstyti 1000×1000 m arba 500×1000 m atstumais. Gravimetrinių punktų koordinatės nustatytos sankirtų metodu 30 m tikslumu, gyliai nustatyti 10 cm tikslumu. Mariose esančių taškų sunkio pagreitis nustatytas 0,15 mGal tikslumu. Sudarytas gravimetrinių punktų katalogas (Petroškevičius 1995, Petroškevičius, Paršeliūnas 1999).

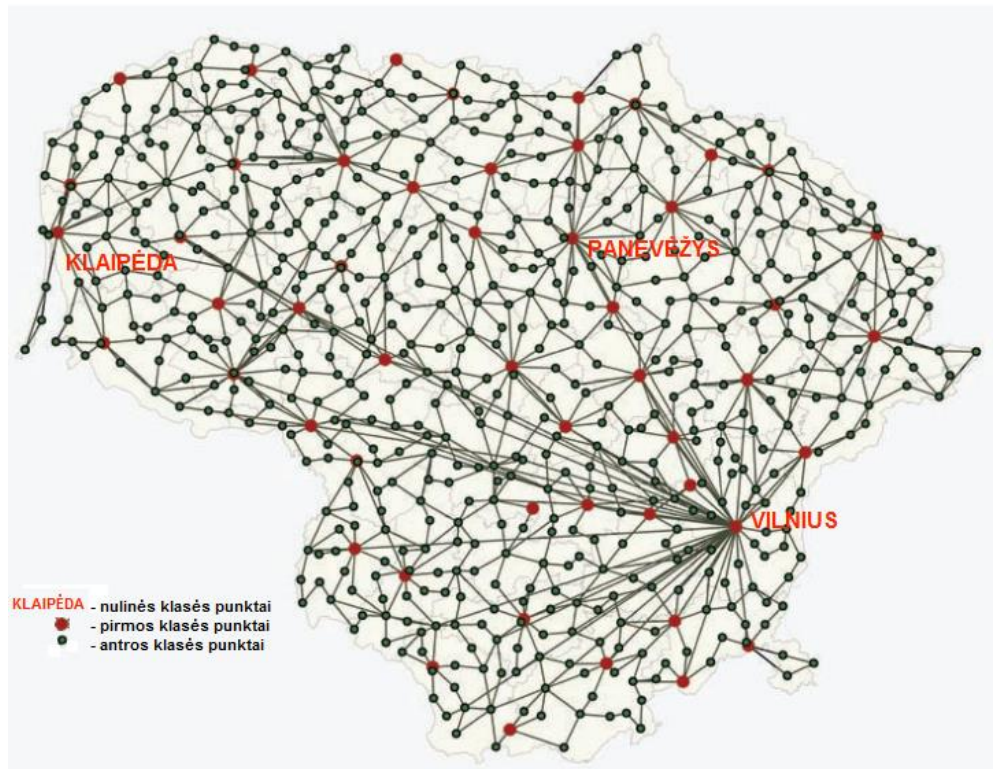
Svyruokliniu santykiniu metodu 1976–1983 m. nustatyti pirmosios klasės gravimetriniai punktai Vilniuje ir Klaipėdoje, tikslumas 0,03 mGal (Petroškevičius, Paršeliūnas 1999).

Bendradarbiaujant su Danijos specialistais 1998 m. įvertinti turimi gravimetriniai duomenys. Atlikti sunkio pagreičio matavimai 64 punktuose, iš kurių 12 yra antrosios klasės punktai. Punktai matuoti dviem LaCoste & Romberg gravimetrais. Didžiausi skirtumai tarp apskaičiuotų ir išmatuotų sunkio pagreičio reikšmių: +0,98 mGal ir –1,88 mGal, vidutinė 0,002 mGal. Pagal gravimetrinį žemėlapią nustatyto sunkio pagreičio vidutinė kvadratinė paklaida lygi 0,61 mGal. Didžiausias skirtumas tarp sunkio pagreičio reikšmių antrosios klasės punktuose, gautų 1968 m. ir 1998 m., yra 0,242 mGal. Vidutinė skirtumo reikšmė – 0,082 mGal. Sunkio pagreičio, nustatyto 1968 m., vidutinė kvadratinė paklaida 0,11 mGal (Petroškevičius 2004).

Naujas Lietuvos gravimetrinis pagrindas, atitinkantis šių dienų reikalavimus, pradėtas kurti 1994 m. sudarant nulinės klasės gravimetrinį tinklą (Paršeliūnas, Petroškevičius 2007; Petroškevičius, Paršeliūnas 2003). Šiame tinkle yra trys gravimetriniai punktai – VILNIUS, KLAIPĖDA ir PANEVĖŽYS, įrengti pastatų apatinių aukštų patalpose (1.10 pav.). Nulinės klasės gravimetrinių punktų ženklas – 2 m įgilintas gelžbetoninis stulpas. Juose pirmą kartą atlikti absoliutiniai sunkio pagreičio matavimai. Darbus padėjo atlikti Suomijos geodezijos instituto specialistai. Matavimams naudotas iš Suomijos atvežtas balistinis gravimetras JILAg-5, pagamintas Jungtinėse Amerikos Valstijose. Sunkio pagreitis nustatytas 5–7 μGal tikslumu (Mäkinen, Petroškevičius 2003; Paršeliūnas, Petroškevičius 2007). Tuo pačiu balistiniu gravimetru JILAg-5, 2002 metais buvo atlikti pakartotiniai sunkio pagreičio matavimai punktuose VILNIUS, KLAIPĖDA, PANEVĖŽYS. Apdorojant matavimų duomenis atsižvelgta į Mėnulio ir Saulės poveikį, Žemės polių judėjimą ir atmosferos trauką (Birvydienė *et al.* 2009). Įvertinus tikslumą, gauta, kad sunkio pagreičio, nustatyto gravimetriniuose nulinės klasės punktuose VILNIUS, KLAIPĖDA, PANEVĖŽYS 1994 m. ir 2002 m., sunkio pagreičio paklaida yra 5 μGal . Skirtingų metų matavimo rezultatų skirtumas atitinka matavimų tikslumo ribas. Absoliutinius sunkio pagreičio matavimus reikalinga kartoti kas 5 metus (Birvydienė *et al.* 2009; Mäkinen, Petroškevičius 2003).

Bendradarbiaujant su Varšuvos Geodezijos ir kartografijos instituto bei JAV Nacionalinės vaizdų ir kartografavimo agentūros specialistais 1998–2001 metais sudarytas gravimetrinis pirmos klasės tinklas. Tinklas jungia 48 gravimetrinius punktus (1.10 pav.). Tolygiai išsidėsčiusius punktus sieja geri keliai, atstumas tarp punktų – 50 km. Punktų vietos parinktos taip, kad punktas tiktų ne tik sunkio pagreičiui matuoti, bet ir niveliuoti. Į gravimetrinį tinklą įjungta Šiaulių GPS stotis bei pirmosios klasės GPS punktas PILIUONA (Petroškevičius, Paršeliūnas 2003; Petroškevičius 2004; Skeivalas *et al.* 2008).

Tinkle suprojektuota 112 stygų. Sudarytos 62 figūros, iš kurių 48 trimis kraštinėmis, o likusios – keturiomis. Kiekviena styga matuota po tris kartus, trimis–šešiais gravimetrais. Matavimams naudoti Varšuvos geodezijos ir kartografijos instituto gravimetrai G-1012, G-1036, G-1078, G-1084 bei JAV nacionalinės vaizdų ir kartografavimo agentūros (NIMA) gravimetrai G-191, G-192, G-193. Nustatytų sunkio pagreičio skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida neviršija 5 μGal . Didžioji dalis punktų įrengti prie bažnyčių, pažymėti į pastatų pamatus ar laiptus įbetonuota marke. Punkto vietą nurodo prie pastato sienos pritvirtinta gravimetrinio punkto informacinė lentelė. Pastovumo kontrolei, netoliese nuo gravimetrinių punktų, įrengti sieniniai reperiai. Normalinis punktų aukštis nustatytas niveliuojant nuo artimiausių reperių, koordinatės – pagal topografinius žemėlapius M 1:10 000, o punktų, kurie sutampa su GPS punktais, koordinatės gautos GPS metodu. Koordinatės apskaičiuotos LKS 94 sistemoje (Petroškevičius, Paršeliūnas 2003; Petroškevičius 2004).



1.10 pav. Lietuvos gravimetriniai tinklai (Birvydienė *et al.* 2009 interpretacija)

Sutankinant nulinės bei pirmosios klasės tinklus 2007–2009 metais buvo įtvirtinti nauji 635 punktai, sudarantys antrosios klasės gravimetrinį tinklą (1.10 pav.). Į tinklą įtraukti gravimetriniai punktai įrengti prie 25 nuolat veikiančių GPS stočių. Vidutinis atstumas tarp punktų – 10 km. Projektuojant buvo atsižvelgta į punktų vietų tinkamumą geodeziniais ir gravimetriniams matavimams. Dauguma punktų įrengti prie bažnyčių bei įtvirtinti tokiu pat būdu kaip ir pirmosios klasės tinkle. Gravimetriniai punktai koordinuoti GPS metodu, remiantis LITPOS nuolat veikiančių stočių tinklu. Tinklo matavimai atlikti keturiais gravimetrais Scintrex CG-5, kurių numeriai 182, 183, 184 ir 185. Pirmajame matavimų sezone buvo atliekami 10 ciklų po 55 s matavimus. Antrojo matavimų sezono pradžioje kartais buvo pastebėti didesni atskaitų pakitimai punkte pradėjus matavimus, todėl buvo pereita prie dviejų matavimų po 5 ciklus. Matavimų rezultatų apdorojimas atliktas GRAVSOF programų paketo procedūromis. Pirmuoju etapu skaičiuota redukuotosios atskaitos, o antruoju – atliktas išlyginimas. Pradiniam matavimų rezultatų apdorojimui buvo taikomos kalibravimo koeficientų reikšmės, nustatytos prieš matavimų sezoną. Atliekant galutinį matavimų rezultatų apdorojimą, taikytos matavimų sezono vidutinės kalibravimo koeficientų reikšmės. Sudaryto naujo Lietuvos gravimetrinio tinklo punktų sunkio pagreičio vidutinė kvadratinė paklaida apskaičiuota pagal dvigubųjų matavimų skirtumus ir gauta 6,3 μGal . Išlygintųjų sunkio pagreičio reikšmių vidutinė kvadratinė paklaida – 3 μGal . Vieno matavimo paklaida – 5 μGal (Birvydienė *et al.* 2009, 2010).

2. SUNKIO ANOMALIJŲ NUSTATYMAS, REMIANTIS GRAVIMETRINIŲ MATAVIMŲ DUOMENIMIS

Magistro baigiamajame darbe tiriamas sunkio anomalijų nustatymo tikslumas, remiantis skaitmeniniais modeliais, sudarytais naudojant Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapių duomenis, Lietuvos gravimetrinių tinklų duomenis, pasaulinių gravimetrinių modelių taškų tinklo duomenis ir anomalijų, nustatytų pasaulinių gravimetrinių modelių skaičiuoklėje, geodezinio vertikaliojo tinklo 4–2 (Vilnius–Molėtai–Kuktiškės) linijos punktų Bouguer anomalijų reikšmių atžvilgiu. Šiame skyriuje apžvelgtas gravimetrikšai išmatuotos geodezinio vertikaliojo tinklo 4–2 (Vilnius–Molėtai–Kuktiškės) linijos duomenų apdorojimas.

2.1. Gravimetrinių matavimų duomenų apdorojimas

Geodezinio vertikaliojo tinklo 4–2 (Vilnius–Molėtai–Kuktiškės) linijos sunkio pagreičio matavimų duomenys gauti iš Vilniaus Gedimino technikos universiteto Geodezijos instituto. Analizuojami matavimai atlikti 2015 metais balandžio 23 d. ir rugpjūčio 4, 6, 7 dienomis geodezinio vertikaliojo tinklo 4–2 linijoje, kuri yra rytinėje Lietuvos dalyje. Linijos ilgis – apie 92 km. Matavimų metu keturiais reisais išmatuota 80 punktų. Pirmo reiso (2015 04 23) metu išmatuotas 21 punktas, antro reiso (2015 08 04) – 23 punktai, trečio reiso (2015 08 06) – 13 punktų ir ketvirto reiso (2015 08 07) metu išmatuoti 23 punktai. Kiekviename punkte buvo atliekama po 10 ciklų 55 s trukmės matavimų, dviem gravimetrais Scintrex CG-5 nr. 182 ir nr. 185 arba nr. 183 ir nr. 184. Linijos gravimetrinių matavimų schema vaizduojama A priede.

Toliau aptarsime, kaip apdoroti 2015 m. balandžio 23 d. gravimetrais nr. 182 ir nr. 185 matuotų punktų duomenys. Analogiškai atlikti veiksmai ir su kitų dienų matavimų duomenimis.

Atlikus matavimus, duomenys iš gravimetro atminties perkeliama į kompiuterį, kuriame jie yra apdorojami (2.1 pav.). Matavimų apdorojimas atliktas GRAVSOFT programa, kuri sukurta bendradarbiaujant Danijos Geodezijos ir Geofizikos institutams. Prieš atliekant matavimo duomenų apdorojimą matavimo duomenys turi būti sutvarkyti taip, kad tiktų GRAVSOFT programos nuskaitymui. Duomenys turi būti atskirti tarpu, realių skaičių dešimtainė dalis atkirta tašku.

Sutvarkius duomenis, kuriamos *.txt ir *.doc formatų rinkmenos. Tai yra, 25-0423.txt (gravimetrų nr. 182 ir nr. 185 balandžio 23 d. matavimo duomenys) (2.2 pav.) ir koord2015.dat (gravimetrinių punktų duomenys) duomenų rinkmenos.

Line	Raw Data:	NO
0.0005		
----	----	----
LAT	LONG	ALT
----	----	----
GRAV	SD	TILT
----	----	----
TEMP	TIDE	DUR
----	----	----
REJ	TIME	DEC
----	----	----
TIME+DATE	TERRAIN	DATE
----	----	----
54.7210846	25.3373337	147.7570
3670.975	0.054	1.5
-8.2	-3.50	-0.078
55	0 05:23:42	42085.22443
0.0000	2015/04/23	
54.7210846	25.3373337	147.7570
3670.987	0.068	1.7
-8.4	-3.50	-0.078
55	0 05:24:47	42085.22518
0.0000	2015/04/23	
54.7210846	25.3373337	147.7570
3670.993	0.042	2.2
-7.9	-3.50	-0.078
55	0 05:25:47	42085.22588
0.0000	2015/04/23	
54.7210846	25.3373337	147.7570
3670.996	0.061	2.7
-7.1	-3.51	-0.078
55	0 05:26:47	42085.22657
0.0000	2015/04/23	
54.7210846	25.3373337	147.7570
3670.998	0.059	3.0
-6.5	-3.52	-0.078
55	0 05:27:48	42085.22727
0.0000	2015/04/23	
54.7210846	25.3373337	147.7570
3671.005	0.045	4.1
-5.5	-3.63	-0.078
55	0 05:32:54	42085.23081
0.0000	2015/04/23	
54.7210846	25.3373337	147.7570
3671.006	0.062	3.9
-5.5	-3.66	-0.078
55	0 05:33:59	42085.23156
0.0000	2015/04/23	
54.7210846	25.3373337	147.7570
3671.008	0.053	3.8
-5.5	-3.68	-0.077
55	0 05:34:59	42085.23226
0.0000	2015/04/23	
54.7210846	25.3373337	147.7570
3671.012	0.079	3.6
-5.6	-3.69	-0.077
55	0 05:35:59	42085.23295
0.0000	2015/04/23	

2.1 pav. Gravimetro nr. 185 balandžio 23 d. nesutvarkyta matavimo duomenų rinkmena (sudaryta autoriaus)

#	G-182
24	
73001,25321,4484,4613,5430,8840,6874,5241,421,4215,1531,7791,7268,25322,7744,73012,3751,7666,25323,8207,9096,	
3022,9877,73015	
54.7210846	25.3373337 147.7570 5388.690 0.049 -3.6 -6.9 -8.99 -0.078 55 0 05 31 54 42085.23012 0.0000 2015 04 23
54.7210846	25.3373337 147.7570 5388.688 0.066 -3.6 -7.0 -9.00 -0.078 55 0 05 32 59 42085.23087 0.0000 2015 04 23
54.7210846	25.3373337 147.7570 5388.686 0.056 -3.6 -7.2 -9.02 -0.078 55 0 05 33 59 42085.23156 0.0000 2015 04 23
54.7210846	25.3373337 147.7570 5388.685 0.084 -3.7 -7.4 -9.04 -0.077 55 0 05 34 59 42085.23226 0.0000 2015 04 23
54.7210846	25.3373337 147.7570 5388.684 0.066 -3.7 -7.6 -9.05 -0.077 55 0 05 36 00 42085.23296 0.0000 2015 04 23

2.2 pav. Gravimetrų nr. 182 ir nr. 185 balandžio 23 d. sutvarkyta matavimo duomenų rinkmena (sudaryta autoriaus)

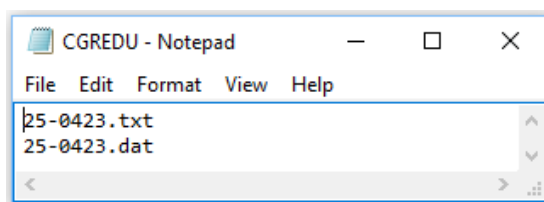
Pirmoje 25-0423.txt rinkmenos eilutėje surenkamas pirmo gravimetro numeris, antroje – matuotų punktų skaičius, trečioje – punktų kodai, atskirti kableliais, ketvirtoje ir kitose eilutėse – kiekvieno punkto matavimo duomenys (platuma, ilguma, aukštis, atskaita, pataisa, pataisos dėl polinkio pagal X ir Y ašis, pataisa dėl temperatūros pokyčių, pataisa dėl Menulio ir Saulės traukos, matavimo laiko intervalas, atmestų matavimų skaičius, laikas, laikas paromis, žemės pataisa, data), po pirmo gravimetro duomenimis ta pačia tvarka rašomi antro gravimetro duomenys.

Gravimetrinių punktų duomenų rinkmenoje koord2015.dat yra suvedami punktų kodai, platumos, ilgumos, aukščiai ir jų pavadinimai (2.3 pav.).

#	G-182
24	
73001,25321,4484,4613,5430,8840,6874,5241,421,4215,1531,7791,7268,25322,7744,73012,3751,7666,25323,8207,9096,	
3022,9877,73015	
54.7210846	25.3373337 147.7570 5388.690 0.049 -3.6 -6.9 -8.99 -0.078 55 0 05 31 54 42085.23012 0.0000 2015 04 23
54.7210846	25.3373337 147.7570 5388.688 0.066 -3.6 -7.0 -9.00 -0.078 55 0 05 32 59 42085.23087 0.0000 2015 04 23
54.7210846	25.3373337 147.7570 5388.686 0.056 -3.6 -7.2 -9.02 -0.078 55 0 05 33 59 42085.23156 0.0000 2015 04 23
54.7210846	25.3373337 147.7570 5388.685 0.084 -3.7 -7.4 -9.04 -0.077 55 0 05 34 59 42085.23226 0.0000 2015 04 23
54.7210846	25.3373337 147.7570 5388.684 0.066 -3.7 -7.6 -9.05 -0.077 55 0 05 36 00 42085.23296 0.0000 2015 04 23

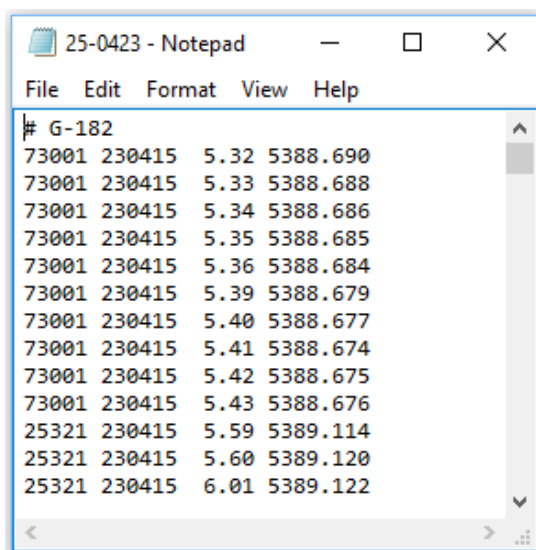
2.3 pav. Gravimetrinių punktų duomenų rinkmena (sudaryta autoriaus)

Kai rinkmenos yra paruoštos, duomenys apdorojami naudojant GRAVSOFT programos CG2RED.EXE procedūrą. Tačiau prieš paleidžiant programą, reikia jau esančioje CGREDU.INP (2.4 pav.) rinkmenoje suvesti nurodymus programai.



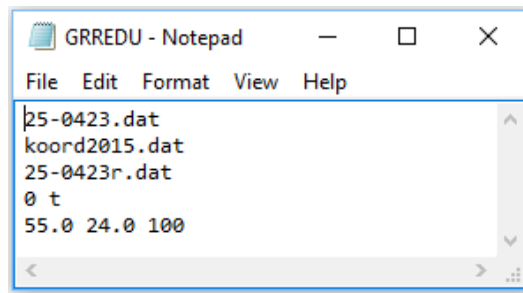
2.4 pav. CGREDU.INP rinkmena (sudaryta autoriaus)

CGREDU.INP rinkmenos pirmoje eilutėje suvedamas rinkmenos, iš kurios bus imami duomenys skaičiavimui, pavadinimas (25-0423.txt), antroje eilutėje suvedamas rinkmenos, kuri bus sukurta po programos paleidimo, pavadinimas (25-0423.dat). Po apdorojimo, 25-0423.dat rezultatų rinkmenoje lieka šie duomenys: punkto kodas, matavimo data, pasaulinis laikas ir gravimetro atskaita (2.5 pav.). Taip baigiamas duomenų paruošimas.



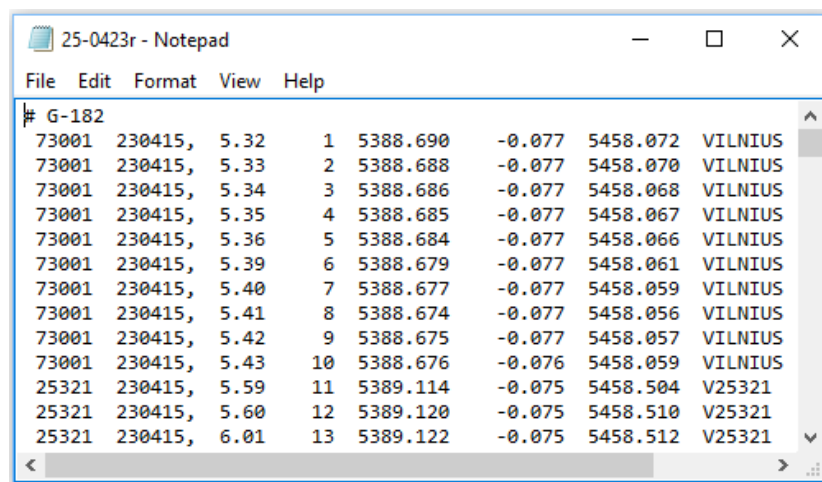
2.5 pav. 25-0423.dat rinkmena (sudaryta autoriaus)

Apdorotus matavimo duomenis naudojame redukuojant gravimetro atskaitas, t. y. išreiškiant jas miligalais. Redukavimo metu gravimetro atskaita yra dauginama iš kalibravimo koeficiento ir pridedama Mėnulio ir Saulės pataisa. Tai atliekama naudojant GRAVSOFT programinio paketo GRED2015.exe programą. Nurodymai programai surašomi GRREDU.INP rinkmenoje (2.6 pav.).



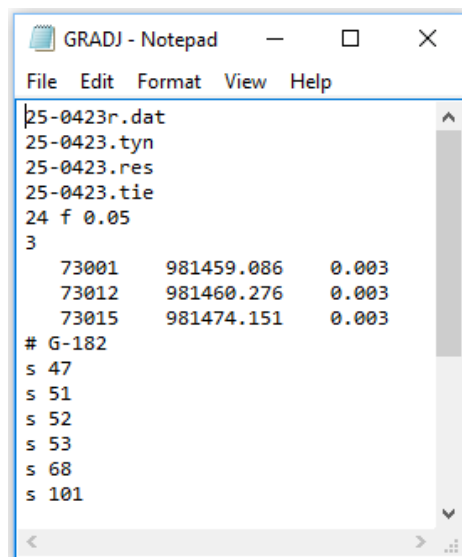
2.6 pav. GRREDU.INP rinkmena (sudaryta autoriaus)

Pirmoje ir antroje GRREDU.INP rinkmenos eilutėje nurodomi skaičiavimams naudojamų rinkmenų pavadinimai: apdorotų duomenų bei gravimetrinių punktų duomenų rinkmenos. Trečioje eilutėje nurodomas redukuotų atskaitų rinkmenos pavadinimas (25-0423r.dat). Atlikus redukavimą, redukuotų atskaitų rinkmenoje pateikiami šie duomenys: kodas, data, pasaulinis laikas, eilės numeris, gravimetro atskaita, Mėnulio ir Saulės poveikio paklaida, redukuota atskaita ir punkto pavadinimas (2.7 pav.).



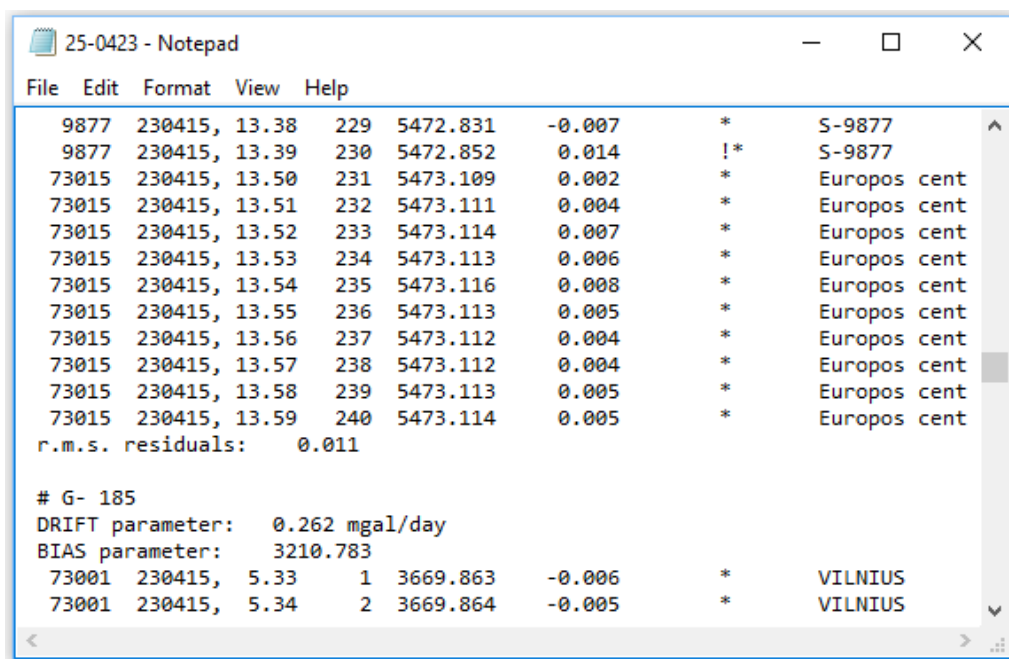
2.7 pav. 25-0423r.dat rinkmena (sudaryta autoriaus)

Toliau atliekamas matavimo rezultatų išlyginimas. Gravimetrų matavimo rezultatų išlyginimas atliekamas programinio paketo GRAVSOFT GRADJ.EXE programa. Nurodymai programai surašomi GRADJ.INP rinkmenoje (2.8 pav.). Šios rinkmenos pirmoje eilutėje rašomas rinkmenos, iš kurios bus imami redukuoti duomenys, pavadinimas, 2–4 eilutėse nurodomos *.res, *.tie, *.tyn formatų rinkmenos, kuriose bus saugomi skaičiavimų rezultatai. Šeštoje eilutėje nurodomas atraminių punktų skaičius. Kitose eilutėse suvedami atraminių punktų kodai, sunkio pagreičiai ir jų paklaidos. Taip pat GRADJ.INP rinkmenoje yra galimybė suvesti matavimo eilutės numerį, kurio nenorime, kad naudotų skaičiavimų metu (pvz.: suvedę „s 47“ nurodome, kad devyniasdešimt trečia matavimo eilutė nebūtų įtraukta į išlyginimo skaičiavimus).



2.8 pav. GRADJ.INP rinkmena (sudaryta autoriaus)

Išlyginus matavimo rezultatus, kaip jau minėta, gauname *.res, *.tie, *.tyn formatų rinkmenas. Rinkmenoje *.res pateikiamos matavimo paklaidos ir nurodomi šauktukai ties didelėmis jų reikšmėmis, taip pat pateikta vieno matavimo paklaida (2.9 pav.).



2.9 pav. 25-0423.RES rinkmenos langas (sudaryta autoriaus)

Visų 4–2 linijos matavimo dienų kiekvieno gravimetro matavimų rezultatų vieno matavimo paklaidos svyravo 0,007–0,012 mGal intervale ir jos pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. 4-2 linijos gravimetro vieno matavimo paklaidos (sudaryta autoriaus)

Data	Gravimetro nr.	Paklaida, mGal
2015 04 23	182	0,011
2015 04 23	185	0,012
2015 08 04	183	0,009
2015 08 04	184	0,011
2015 08 06	183	0,004
2015 08 06	184	0,005
2015 08 07	183	0,007
2015 08 07	184	0,007

*.tie formato rinkmenoje pateikiami sunkio pagreičio prieaugių ir pataisų reikšmės (2.10 pav.).

from/to	inst	time	m.betw.	dt(hr)	dif	v
4484 25321	G- 182	230415, 6.21	0	0.2	0.814	0.000
4484 4613	G- 182	230415, 6.38	0	0.1	-2.261	0.003
4613 5430	G- 182	230415, 6.55	0	0.1	-1.208	-0.008
5430 8840	G- 182	230415, 7.12	0	0.1	-2.139	-0.027
6874 8840	G- 182	230415, 7.31	0	0.2	-1.849	0.008
5241 6874	G- 182	230415, 7.51	0	0.2	-1.934	-0.013
421 5241	G- 182	230415, 8.13	0	0.2	-1.402	0.017
421 4215	G- 182	230415, 8.32	0	0.2	-2.207	-0.013
1531 4215	G- 182	230415, 9.26	0	0.8	1.192	0.001
1531 7791	G- 182	230415, 9.44	0	0.1	0.355	-0.005
7268 7791	G- 182	230415, 10.04	0	0.2	-0.750	0.009
7268 25322	G- 182	230415, 10.26	0	0.2	5.031	0.029

2.10 pav. 25-0423.TIE rinkmenos langas (sudaryta autoriaus)

Rinkmenoje *.tyl pateikiamos gravimetro sunkio pagreičio reikšmės tinklo punktuose, jų tikslumo įverčiai ir vieno matavimo vidutinė kvadratinė paklaida (2.11 pav.). Gautas abiejų gravimetrų vieno matavimo vidutinės kvadratinės paklaidos svyravo 0,004–0,012 mGal intervale (2.2 lentelė). Išlygintų sunkio reikšmių vidutinės kvadratinės paklaidos už keturias dienas neviršijo 0,006 mGal. B priede pateikta 4–2 linijos punktų sunkio pagreičio ir jų paklaidų reikšmių lentelė.

2.2 lentelė. Abiejų gravimetrų vieno matavimo vidutinės kvadratinės paklaidos (sudaryta autoriaus)

Data	Gravimetrų nr.	Paklaida, mGal
2015 04 23	182, 185	0,012
2015 08 04	183, 184	0,011
2015 08 06	183, 184	0,004
2015 08 07	183, 184	0,007

#	stat	fix g	sigma	adj g	v
73001		981459.086	0.005	981459.086	0.000
73012		981460.276	0.003	981460.276	0.000
73015		981474.151	0.003	981474.151	0.000
					VILNIUS
					Didzioji Rie
					Europos cent
=== Adjusted new gravity values and standard deviations ===					
421		981458.412	0.004		V-0421
1531		981455.018	0.004		S-1531
3022		981472.767	0.004		V-3022
3751		981465.369	0.004		V-3751
4215		981456.216	0.004		V-4215
4484		981458.800	0.005		V-4484
4613		981456.535	0.005		V-4613
5241		981456.995	0.005		V-5241
5430		981455.333	0.005		V-5430
6874		981455.075	0.005		V-6874
7268		981456.134	0.004		V-7268
7666		981465.644	0.004		V-7666
7744		981463.929	0.004		V-7744
7791		981455.376	0.004		V-7791
8207		981471.469	0.004		S-8207
8840		981453.220	0.005		V-8840
9096		981471.524	0.004		S-9096
9877		981473.884	0.004		S-9877
25321		981459.617	0.006		V25321
25322		981461.133	0.004		V25322
25323		981466.683	0.004		V25323
=== Statistics of adjustment ===					
Adjustment observations: 463					
Stations: 24, total unknowns: 29					
SIGMA (single reading at apriori weighting): 0.012					

2.11 pav. 25-0423.TYN rinkmenos langas (sudaryta autoriaus)

2.2. Sunkio anomalijų nustatymas

2.2.1. Sunkio anomalijų skaičiavimo algoritmai

Sunkio pagreičio redukavimo į Žemės paviršių algoritmai. Daugumos gravimetrinių, geodezinių tinklų punktų aukštis nesutampa su Žemės paviršiumi, todėl ties punkto marke nustatyta sunkio pagreičio reikšmė redukuojama į Žemės paviršių. Tam tikslui naudojamos formulės (Petroškevičius 2000, 2004):

$$g_z = g + dg, \quad (2.1)$$

čia g_z – sunkio pagreitis Žemės paviršiuje; g – sunkio pagreitis punkto markės aukštyje; dg – pataisa dėl Žemės paviršiaus H_z ir punkto H normalinių aukščių skirtumo.

Jeigu $H_z > H$, tai

$$dg = -\Delta\gamma_{80}(h) + 2\Delta g_{\delta}(h), \quad (2.2)$$

$$h = H_z - H, \quad (2.3)$$

$$\Delta\gamma_{80}(h) = 0,30877(1 - 0,00142\sin^2 B_{94})h - 0,75 \cdot 10^{-7} h^2, \quad (2.4)$$

čia $\Delta\gamma$ – aukščio pataisa GRS 80 normaliajame lauke, mGal (h , metrais); B – LKS 94 sistemos geodezinė platuma.

$$\Delta g_{\delta}(h) = 2\pi G\delta h, \quad (2.5)$$

čia $\Delta g_{\delta}(h)$ – begalinio tarpinio sluoksnio pataisa; $G = 6,67259 \cdot 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}$ – gravitacijos konstanta; δ – Žemės plutos tankis.

Jeigu $H_z < H$, tai

$$dg = \Delta\gamma_{80}(h), \quad (2.6)$$

$$h = H - H_z. \quad (2.7)$$

Mišrios anomalijos laisvajame ore skaičiavimo algoritmai. Mišrioji anomalija laisvajame ore skaičiuojama pagal formulę (Petroškevičius 2000, 2004):

$$(g - \gamma_{80})_z = g_z - \gamma_{80}^0 + \Delta\gamma_{80}(H_z) + \Delta g_a(H_z), \quad (2.8)$$

čia γ_0 – normaliojo sunkio lauko GRS 80 pagreitis.

$$\gamma_{80}^0 = \gamma_{80e}^0 \frac{1 + k_{80} \sin^2 B_{94}}{\sqrt{1 - e_{80}^2 \sin^2 B_{94}}}, \quad (2.9)$$

čia $\gamma_{80e}^0 = 978032,67715$ mGal, $e_{80}^2 = 0,00669438002290$, $k_{80} = 0,001931851353$ – normaliojo sunkio lauko GRS 80 parametrai; B_{94} – LKS 94 sistemos geodezinė platuma.

$$\Delta g_a(H_z) = 0,874 - 0,99 \cdot 10^{-4} H_z + 0,356 \cdot 10^{-8} H_z^2, \quad (2.10)$$

– atmosferos traukos pataisa, mGal.

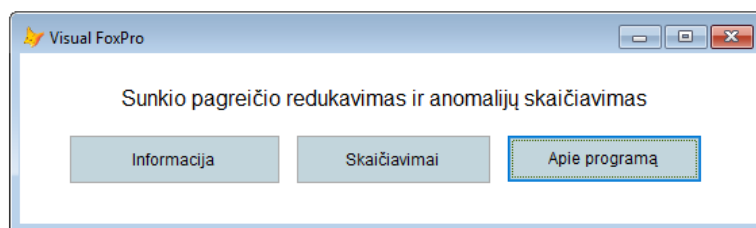
Bouguer anomalijos skaičiavimo algoritmai. Bouguer anomalija gravimetrinio punkto Žemės paviršiuje skaičiuojama pagal formulę (Petroškevičius 2000, 2004):

$$(g - \gamma_{80})_{\text{B}} = (g - \gamma_{80})_z - \Delta g_{\delta}(H_z). \quad (2.11)$$

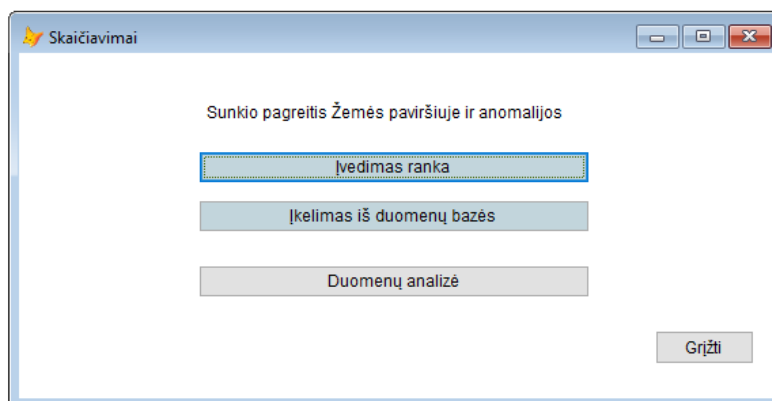
Taikant šias formules ir vidutinį Žemės plutos tankį $\delta = 2,67$ g/cm³, darbe paskaičiuotos anomalijos.

2.2.2. Sunkio anomalijų skaičiavimas

Sunkio anomalijos Vilnius–Molėtai–Kuktiškės linijoje apskaičiuotos naudojant *Microsoft Visual FoxPro 9.0* programinėje įrangoje autoriaus sukurtą skaičiavimų programą. Programos pagrindiniame meniu yra trys nuorodos į atskiras tris formas (2.12 pav.): skaičiavimai, informacija, apie programą. „Informacija“ formoje pateikta informacija, kas ir koku tikslu sukūrė programą. „Skaičiavimai“ formoje yra trys nuorodos į (2.13 pav.): sunkio pagreičio redukavimo į Žemės paviršių ir anomalijų skaičiavimo, įkeliant duomenis iš duomenų bazės, forma; tų pačių skaičiavimų forma skirta įvesti duomenis ranka; duomenų analizės forma. „Apie programą“ formoje pateikti algoritmai, pagal kuriuos redukuojamas sunkio pagreitis ir skaičiuojamos sunkio anomalijos.



2.12 pav. Programos pagrindinis meniu langas (sudaryta autoriaus)



2.13 pav. Forma „Skaičiavimai“ (sudaryta autoriaus)

Formose, kuriose skaičiavimai atliekami įvedant duomenis ranka, yra nurodomos konstantos, kurios naudojamos skaičiavimų metu. Jas galima keisti prieš skaičiavimus. Taip pat yra duomenų įvedimo bei skaičiavimų ir rezultatų langai. Skaičiavimų ir rezultatų lange, paspaudus mygtuką „Skaičiuoti“, rezultatas išvedamas į šalia esantį lauką (2.14 pav.).

Gravitacijos konstanta, $G =$ 0.000000000667260
Vidutinis Žemės plutos tankis = 2670
Normaliojo sunkio lauko GRS 80 parametrai:
 $\gamma =$ 978032.67715
 $e =$ 0.0066943800290
 $k =$ 0.001931851353

Įveskite duomenis

$B =$ 54.71502778
 $H_g =$ 125.376
 $H_z =$ 125.38
 $g_{34} =$ 981459.617

Skaičiavimai ir rezultatai

Sunkio pagreitis žemės paviršiuje, $g_z =$	Skaičiuoti	981459.6157
Sunkio pagreičio gravimetro aukštyje ir Žemės paviršiuje skirtumas, $g_{34} - g_z =$	Skaičiuoti	1.2
Mišrioji anomalija laisvame ore, žemės paviršiuje $(g - \gamma)z =$	Skaičiuoti	16.0327
Bouguer anomalija žemės paviršiuje, $(g - \gamma)dz =$	Skaičiuoti	1.9976

2.14 pav. „Sunkio pagreitis Žemės paviršiuje ir anomalijos“ forma, skirta duomenis įvesti ranka (sudaryta autoriaus)

Formose, kuriose pradiniai duomenys įkeliami iš duomenų bazės, taip pat nurodomos konstantos, naudojamos skaičiavimų metu. Formoje yra pagrindinė komanda „Pasirinkite duomenų bazę“, skirta duomenų įvedimui ir skaičiavimui. Pasirinkus bazę, duomenys, esantys joje, pateikiami lentelėje, esančioje žemiau. Skaičiavimų rezultatus galima pamatyti paspaudus lango *Rezultatai* mygtuką „Rezultatai“, tuomet atsiveria naujas langas su mėlynai paryškintais rezultatais. Rezultatus galima išsaugoti *.txt, *.xls ir *.dbf formatais. Rezultatai išsaugomi pasirinkus norimą formatą „Išsaugojimas“ lange ir paspaudus mygtuką „Išsaugoti“. Paieškos lange, apskaičiavus visus duomenis, galima įvesti punkto kodo numerį ir greta esančiuose laukeliuose bus pateikta informacija apie jį (2.15 pav.).

Sunkio pagreitis Žemės paviršiuje ir anomalijos

Pasirinkite duomenų bazę Grižti

Kodas	B	Hg	Hz	G34
25321	54.71502778	125.376	125.38	981459.617
4484	54.72780000	132.602	132.60	981458.800
4613	54.72948889	141.598	141.60	981456.535
5430	54.73154954	150.606	150.61	981455.333
8840	54.73733454	163.452	163.45	981453.220
6874	54.74030953	157.470	157.47	981455.075
5241	54.74551111	151.414	151.41	981456.995
4215	54.74907778	148.461	148.46	981458.412
4215	54.75157500	156.871	156.87	981456.216
1531	54.75635583	164.971	164.91	981455.018

Redukuotas sunkio pagreitis ir sunkio anomalijos

Kodas	B	Hg	Hz	g34	gž	gg	dglo	dgB80
25321	54.71502778	125.376	125.38	981459.617	981459.617	0	16.034	1.999
4484	54.72780000	132.602	132.60	981458.800	981458.801	-1	16.352	1.509
4613	54.72948889	141.598	141.60	981456.535	981456.535	0	16.717	0.867
5430	54.73154954	150.606	150.61	981455.333	981455.333	0	18.117	1.258
8840	54.73733454	163.452	163.45	981453.220	981453.221	-1	19.470	1.174
6874	54.74030953	157.470	157.47	981455.075	981455.075	0	19.226	1.599
5241	54.74551111	151.414	151.41	981456.995	981456.996	-1	18.834	1.886
4215	54.74907778	148.461	148.46	981458.412	981458.412	0	19.036	2.417
4215	54.75157500	156.871	156.87	981456.216	981456.216	0	19.220	1.660
1531	54.75635583	164.971	164.91	981455.018	981455.037	-19	20.111	1.651

Skaičiavimų rezultatai

Sunkio pagreitis žemės paviršiuje, gž =
 Sunkio pagreičio gravimetro aukštyje ir žemės paviršiuje skirtumas, g34-gž =
 Mišrioji anomalija laisvame ore, žemės paviršiuje (g-y)ž =
 Bouguer anomalija žemės paviršiuje, (g-y)dž =

Visi rezultatai

Rezultatai **Išsaugojimas** **Paieška**

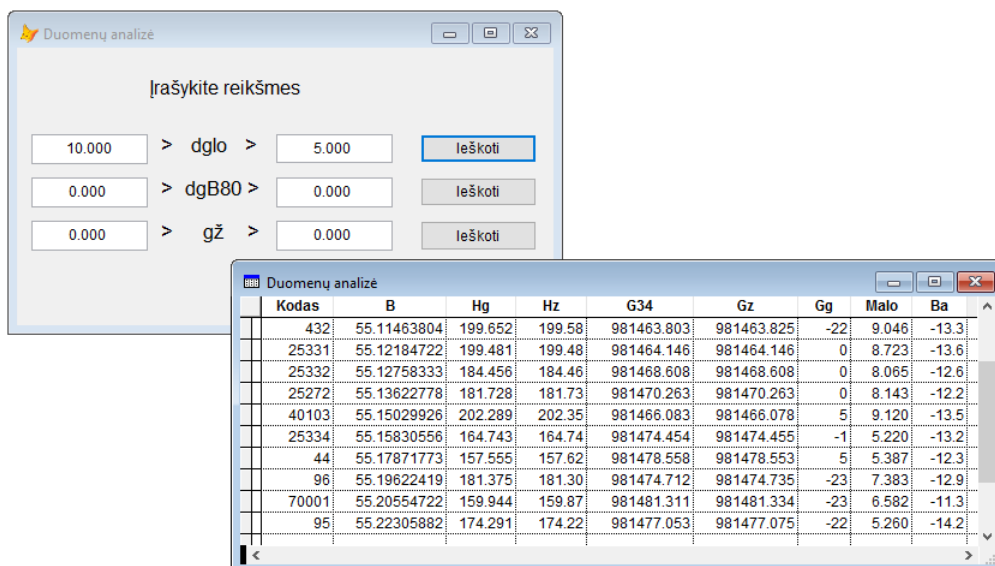
Įveskite punkto kodą Ieškoti

B = 54.71502778
 Hg = 125.376
 Hz = 125.38
 g34 = 981459.617
 gž = 981459.617
 dglo = 16.034
 dgB80 = 1.999

2.15 pav. „Sunkio pagreitis Žemės paviršiuje ir anomalijos“ forma, skirta duomenis įvesti iš duomenų bazės (sudaryta autoriaus)

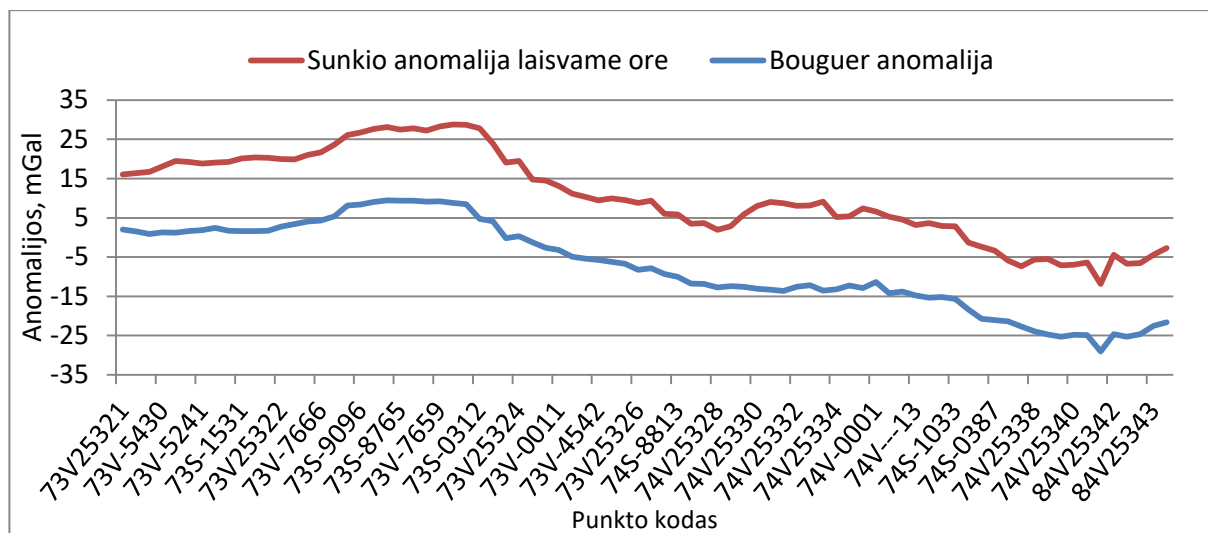
Duomenų analizės formoje nurodžius dominančių dydžių intervalus, kuriuos norime, kad tenkintų analizuojami punktai, ir paspaudus mygtuką „Ieškoti“ atsiveria langas, kuriame pateikiami punktai, tenkinantys nurodytą sąlygą (2.16 pav.)

Apskaičiavus punktų sunkio pagreitį Žemės paviršiuje, mišriąją sunkio anomaliją laisvame ore ir Bouguer anomalijas Žemės paviršiui rezultatai išsaugomi *.xls formatu. Rezultatai pateikti C priede. Apžvelgiant gautus rezultatus sunkio anomalijų laisvame ore reikšmės svyravo intervale nuo -11,83 mGal iki +28,77 mGal. Bouguer anomalijos svyravo intervale nuo -29,07 mGal iki +9,47 mGal.



2.16 pav. Duomenų analizės forma ir paieškos rezultatai (sudaryta autoriaus)

2.17 grafike matome sunkio anomalijų reikšmių pasiskirstymą linijoje Vilnius–Molėtai–Kuktiškės. Galima pastebėti, kad sunkio laukas yra nevienalytis, skirtumas tarp normalinio sunkio lauko ir realaus kiekviename punkte vis kitoks. Taip pat pastebime, kad Bouguer anomalija yra apie 18 mGal mažesnė už anomaliją laisvame ore. Bouguer anomalijų reikšmės kinta tolygiau lyginant su anomalija laisvame ore.



2.17 pav. Sunkio anomalijų kitimas linijoje Vilnius–Molėtai–Kuktiškės (sudaryta autoriaus)

3. ANOMALIJŲ NUSTATYMAS, REMIANTIS LIETUVOS TERITORIJOS BOUGUER ANOMALIJŲ ŽEMĖLAPIO, LIETUVOS GRAVIMETRINIO PAGRINDO TINKLŲ IR PASAULINIŲ GRAVITACIJOS LAUKO MODELIŲ DUOMENIMIS

Šiame skyriuje atliktas anomalijų nustatymo pagal Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu, Lietuvos gravimetrinio pagrindo tinklų ir pasaulinių gravitacinio lauko modelių Bouguer anomalijų duomenis, sukurtus skaitmeninius žemėlapius, tyrimas ir tikslumo įvertinimas, remiantis gravimetriškai išmatuotos geodezinio vertikaliojo tinklo linijos 4–2 (Vilnius–Molėtai–Kuktiškės) punktų Bouguer anomalijų duomenimis. Prieš tai visa gravimetinė medžiaga sutvarkyta ir perkelta į sukurta Lietuvos teritorijos gravimetrinių duomenų bazę patogiam duomenų naudojimui.

3.1 Lietuvos teritorijos gravimetrinės medžiagos duomenų bazės sudarymas

Darbe analizuojami naujojo (nuo 1944 m. iki šių dienų) Lietuvos gravimetrinio pagrindo, Lietuvos teritorijos 1:200 000 Bouguer anomalijų žemėlapiu ir trijų EGM2008, EIGEN-6C4, GGM05C pasaulinių gravitacinio lauko modelių duomenys. Šie duomenys buvo surinkti iš skirtingų šaltinių, skirtingu formatu su skirtingu kiekiu duomenų juose. Iš Vilniaus Gedimino technikos universiteto Geodezijos instituto Lietuvos gravimetrinio pagrindo duomenys gauti *.xls formato rinkmenoje, joje pateikti 686-ių punktų duomenys ir informacija apie punkto kodą, punkto pavadinimą, pavadinimą angliškai, punkto elipsoidines koordinates (platumą, ilgumą, platumos ir ilgumos laipsnių, minučių, sekundžių sveikąsias dalis) LKS-94 koordinatų sistemoje, punkto elipsoidines koordinates (platumą, ilgumą) 1942 metų koordinatų sistemoje, punkto normalinį aukštį, elipsoidinį aukštį, sunkio pagreitį, anomaliją laisvame ore, Bouguer anomaliją ir kt. (3.1 pav.).

GRAVIM_viskas [Compatibility Mode] - Microsoft Excel

FileHomeInsertPage LayoutFormulasDataReviewViewAdd-Ins

Paste

Clipboard

Arial10

B*I*U

Font

Alignment

Number

General

Conditional Formatting

Format as Table

Cell Styles

Styles

Insert

Delete

Format

Cells

Sort & Find & Filter & Select

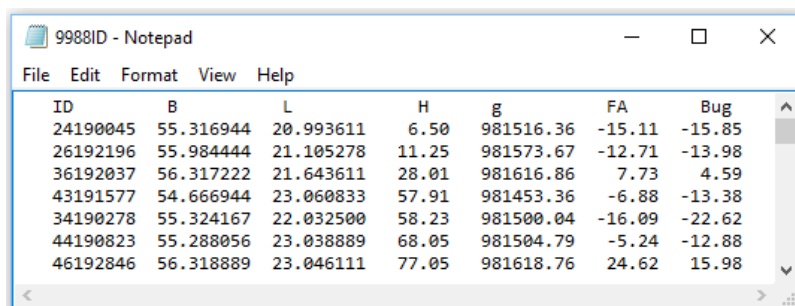
Editing

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
	kodas	Punkto kodas	Punktas	Pavadinim	EN	Klase	BL	BM	BS	94B	LL	LM	LS	94L	X	Y	Hn
1	24	24G-SILT	SILT	Silute GPS	2	55	20	30,994	55,341943	21	27	59,706	21,466585	6136993,61	339308,61	3,51	
2	25	25G-KRTN	KRTN	Kretinga GPS	2	55	53	17,342	55,888151	21	14	44,446	21,245679	6198300,03	327713,38	27,60	
3	34	34G-TAUR	TAUR	Taurage GPS	2	55	15	7,675	55,252132	22	17	8,937	22,285816	6125413,76	391018,73	35,41	
4	35	35G-RIET	RIET	Rietavas GPS	2	55	43	47,747	55,729930	21	55	41,463	21,928184	6179202,51	369870,08	118,30	
5	36	36G-MAZK	MAZK	Mazeikiai GPS	2	56	18	51,974	56,314437	22	18	30,880	22,308578	6243610,64	395352,69	67,05	
6	43	43G-SAKI	SAKI	Sakiai GPS	2	54	57	6,685	54,951857	23	2	55,233	23,048676	6091066,68	439061,11	52,20	
7	45	45G-KELM	KELM	Kelme GPS	2	55	37	42,103	55,628362	22	55	50,030	22,930564	6166470,80	432650,93	139,56	
8	51	51G-VEIS	VEIS	Veisiejai GPS	2	54	5	38,422	54,094006	23	42	16,361	23,704545	5995220,53	480672,87	124,77	
9	52	52G-MRJM	MRJM	Marijampole GPS	2	54	34	22,687	54,572969	23	22	9,356	23,369266	6048666,32	459217,59	67,61	
10	53	53G-KAUN	KAUN	Kaunas GPS	2	54	54	22,212	54,906170	23	58	44,539	23,979039	6085567,76	498655,73	88,10	
11	54	54G-KEDN	KEDN	Kedainiai GPS	2	55	15	27,028	55,257508	23	59	39,042	23,994178	6124672,43	499629,91	45,81	

Sheet1

3.1 pav. Lietuvos gravimetrinio pagrindo duomenys *.xls formato rinkmenoje (sudaryta autoriaus)

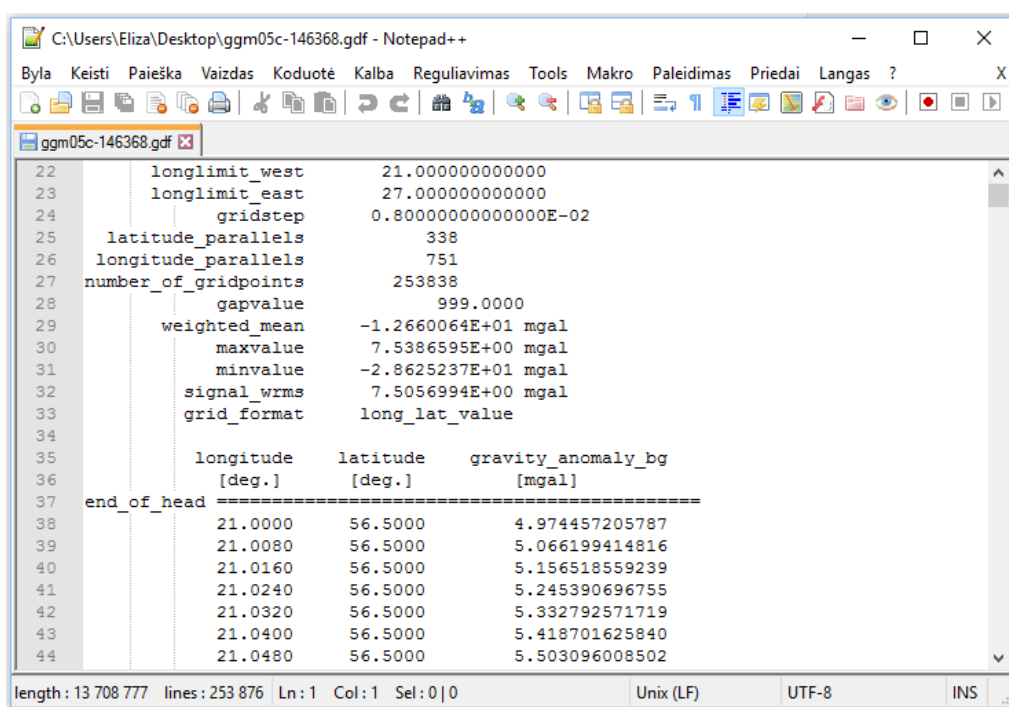
Bouguer anomalijų žemėlapiu duomenys *.dat formato rinkmenoje taip pat gauti iš Geodezijos instituto. Jame pateikti 9988-ių punktų kodai, punktų ilguma ir platumas LKS-94 koordinatės sistemoje, normalinis aukštis, sunkio pagreitis, mišrioji anomalija laisvame ore ir Bouguer anomalija (3.2 pav.).



ID	B	L	H	g	FA	Bug
24190045	55.316944	20.993611	6.50	981516.36	-15.11	-15.85
26192196	55.984444	21.105278	11.25	981573.67	-12.71	-13.98
36192037	56.317222	21.643611	28.01	981616.86	7.73	4.59
43191577	54.666944	23.060833	57.91	981453.36	-6.88	-13.38
34190278	55.324167	22.032500	58.23	981500.04	-16.09	-22.62
44190823	55.288056	23.038889	68.05	981504.79	-5.24	-12.88
46192846	56.318889	23.046111	77.05	981618.76	24.62	15.98

3.2 pav. Lietuvos 1:200 000 Bouguer anomalijų žemėlapiu duomenys *.dat rinkmenoje (sudaryta autoriaus)

Pasaolinių modelių duomenys parsisiųsti iš Jungtinių Amerikos Valstijų Krašto apsaugos ministerijos Nacionalinės geožvalgybos agentūros (angl. National Geospatial-Intelligence Agency – NGA) tinklalapio *.gdf formatu. Tai 253838-ių taškų elipsoidinės koordinatės (platumas ir ilgumas) WGS84 koordinatės sistemoje, bei Bouguer anomalijų reikšmės. Taip pat šioje rinkmenoje pateikiama informacija apie patį modelį ir atsiųstus duomenis (koku žingsniu jie atsiųsti, kokiose ribose išsidėstę taškai, kiek jų pakliūna į tą ribą, minimali ir maksimali anomalijų reikšmė ir kt.) (3.3 pav.).

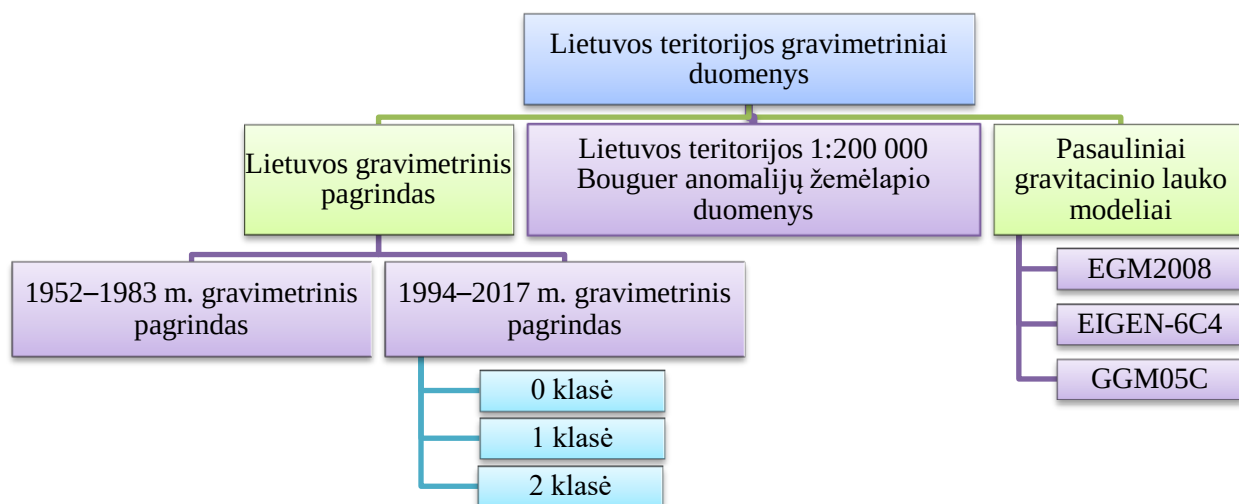


longitude	latitude	gravity_anomaly_bg
[deg.]	[deg.]	[mgal]
21.0000	56.5000	4.974457205787
21.0080	56.5000	5.066199414816
21.0160	56.5000	5.156518559239
21.0240	56.5000	5.245390696755
21.0320	56.5000	5.332792571719
21.0400	56.5000	5.418701625840
21.0480	56.5000	5.503096008502

3.3 pav. Pasaulinio modelio GGM05C duomenys *.gdf rinkmenoje (sudaryta autoriaus)

Patogiam surinktų duomenų valdymui ir naudojimui magistrinio darbo rengimo procese nuspręsta sukurti erdvinį duomenų bazę, t. y., atrinkti ir į duomenų bazę perkelti tik tuos duomenis, kurie reikalingi Bouguer anomalijų žemėlapių kūrimui, ir juos išsaugoti vieningoje projektinėje LKS-94 koordinatų sistemoje.

Duomenų bazės kūrimui pasirinkta ESRI kompanijos ArcGIS for Desktop programinė įranga. Išanalizavus duomenis ir ArcGIS duomenų bazių kūrimo principus bei atsižvelgus į darbo tikslus, sukurtas Lietuvos teritorijos gravimetrinių duomenų duomenų bazės koncepcinis modelis (3.4 pav.).



3.4 pav. Lietuvos teritorijos gravimetrinių duomenų duomenų bazės koncepcinis modelis (sudaryta autoriaus)

Kaip parodyta koncepciniame duomenų bazės „Lietuvos teritorijos gravimetriniai duomenys“ modelyje, duomenys turėtų būti sukaupiti 6 skirtinguose sluoksniuose:

1. 1952–1983 m. gravimetrinis pagrindas,
2. 1994–2017 m. gravimetrinis pagrindas,
3. Lietuvos teritorijos 1:200 000 Bouguer anomalijų žemėlapių duomenys,
4. EGM2008,
5. EIGEN-6C4,
6. GGM05C.

Papildomai numatyta, kad skirtingų metų gravimetrinio pagrindo duomenys yra saugomi duomenų rinkinyje (ang. Feature data set) „Lietuvos gravimetrinis pagrindas“, o EGM2008 EIGEN-6C4 ir GGM05C – „Pasauliniai gravitacinio lauko modeliai“. Sluoksnio „1994–2017 m. gravimetrinis pagrindas“ objektams apibūdinti naudojami klasifikatoriai, skirti nurodyti gravimetrinio punkto klasę.

Atsižvelgiant į sukauptus duomenis, projektuojant duomenų bazę numatyta, kad erdviniai objektai saugomi vektoriniu duomenų modeliu, informacija apie objektus pateikiant atributinėse lentelėse.

Atsižvelgiant į koncepcinį modelį magistrinio darbo metu sukurta duomenų bazės struktūra pateikta žemiau.

Grupės „Lietuvos gravimetrinis pagrindas“:

1952–1983 m. Lietuvos teritorijos gravimetrinio pagrindo objektai saugomi sluoksnyje LT_GRAV_PGR_1952, kurio struktūra pateikta 3.1 ir 3.2 lentelėse.

3.1 lentelė. Sluoksnio LT_GRAV_PGR_1952 bendra informacija (sudaryta autoriaus)

Sluoksnio pavadinimas	Duomenų tipas	Pastabos
LT_GRAV_PGR_1952	Taškinis	Sluoksnyje saugoma informacija apie 1952–1983 m. Lietuvos teritorijos gravimetrinio pagrindo 127-is punktus (1, 2, 3 klasės). Sunkis pateikiamas IGSN71 sistemoje. Anomalijos skaičiuotos su vidutiniu Žemės plutos tankiu $2,67 \text{ g/cm}^3$. Detalesnė informacija apie pagrindą pateikta 1.5 poskyryje.

3.2 lentelė. Sluoksnyje LT_GRAV_PGR_1952 kaupiama atributinė informacija (sudaryta autoriaus)

Atributinis laukas	Tipas	Kaupiami duomenys
Kodas	20, tekstas	Kodas
g	Dvigubas tikslumas	Sunkio pagreičio reikšmė, mGal
ALO	Dvigubas tikslumas	Mišrioji anomalija laisvame ore (Žemės paviršiuje), mGal
ABU	Dvigubas tikslumas	Bouguer anomalija (Žemės paviršiuje), mGal

1994–2017 m. Lietuvos teritorijos gravimetrinio pagrindo objektai saugomi sluoksnyje LT_GRAV_PGR_1994, kurio struktūra pateikta 3.3 ir 3.4 lentelėse.

3.3 lentelė. Sluoksnio LT_GRAV_PGR_1994 bendra informacija (sudaryta autoriaus)

Sluoksnio pavadinimas	Duomenų tipas	Pastabos
LT_GRAV_PGR_1994	Taškinis	Sluoksnyje saugoma informacija apie naujojo 1994–2017 m. Lietuvos teritorijos gravimetrinio pagrindo 686-is punktus (0, 1, 2 klasės). Sunkis pateikiamas IGSN71 sistemoje. Anomalijos skaičiuotos su vidutiniu Žemės plutos tankiu $2,67 \text{ g/cm}^3$. Detalesnė informacija apie pagrindą pateikta 1.5 poskyryje.

3.4 lentelė. Sluoksnyje LT_GRAV_PGR_1994 kaupiama atributinė informacija (sudaryta autoriaus)

Atributinis laukas	Tipas	Kaupiami duomenys
Kodas	20, tekstas	Punkto kodas
Klase	Dvigubas tikslumas	Punkto klasė. Galimos reikšmės (klasifikatorius): 0 – 0 klasė 1 – 1 klasė 2 – 2 klasė
g	Dvigubas tikslumas	Sunkio pagreičio reikšmė, mGal
ALO	Dvigubas tikslumas	Mišrioji anomalija laisvame ore (Žemės paviršiuje), mGal
ABU	Dvigubas tikslumas	Bouguer anomalija (Žemės paviršiuje), mGal

Duomenys, vaizduojantys Lietuvos teritorijos 1:200 000 Bouguer anomalijų žemėlapiu duomenis, saugomi viename sluoksnyje *BOUGUER_200LT*, kurio struktūra pateikta 3.5 ir 3.6 lentelėje.

3.5 lentelė. Sluoksniu BOUGUER_200LT bendra informacija (sudaryta autoriaus)

Sluoksniu pavadinimas	Duomenų tipas	Pastabos
BOUGUER_200LT	Taškinis	Sluoksnyje saugoma informacija apie Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu 9988-ių punktų duomenis. Sunkis pateikiamas IGSN71 sistemoje, naudotas vidutinis Žemės plutos tankis 2,67 g/cm ³ .

3.6 lentelė. Sluoksnyje BOUGUER_200LT kaupiama atributinė informacija (sudaryta autoriaus)

Laukas	Tipas	Kaupiami duomenys
Kodas	20, tekstas	Kodas
g	Dvigubas tikslumas	Sunkio pagreičio reikšmė, mGal
ALO	Dvigubas tikslumas	Mišrioji anomalija laisvame ore (Žemės paviršiuje), mGal
ABU	Dvigubas tikslumas	Bouguer anomalija (Žemės paviršiuje), mGal

Grupės „Pasauliniai gravitacinio lauko modeliai“ klasės EGM2008 duomenys saugomi sluoksnyje EGM2008, klasės GGM05C – sluoksnyje GGM05C, o EIGEN6C4 – sluoksnyje EIGEN6C4. Šių trijų sluoksnių struktūra yra vienoda:

- duomenų tipas – taškinis,
- dvigubo tikslumo atributinis laukas „ABU“, kuriame kaupiamos Bouguer anomalijų reikšmės Žemės paviršiuje miligalais, skaičiuotos su vidutinis Žemės plutos tankiu lygiu 2,67 g/cm³.

EGM2008 sluoksnyje saugomas žemės gravitacinio lauko modelio EGM2008 (angl. Earth Gravitational Model 2008) duomenų fragmentas, dengiantis Lietuvos teritoriją, t. y., 144684 taškų debesis, pasiskirstęs 0,008° žingsniu. EGM2008 yra oficialus Žemės gravitacinis modelis, kurį sudarė Jungtinių Amerikos Valstijų Nacionalinės agentūros (angl. National Geospatial Intelligence Agency – NGA) Gynybos departamentas. Modelis yra išsamus sferinių harmonikų koeficientų rinkinys iki 2190-ojo laipsnio. EGM2008 modelis apima detalią sunkio anomalijos informaciją su 5x5 minučių rezoliucija. Šiam modeliui sudaryti naudoti Grace palydovinės sistemos duomenys, altimetriniai duomenys, sunkio anomalijų duomenys, apskaičiuoti remiantis PGM2007B (PGM2007A variantas) modeliu ir dinaminės topografijos vandenyno modeliu (DOT) (Pavlis et al. 2012).

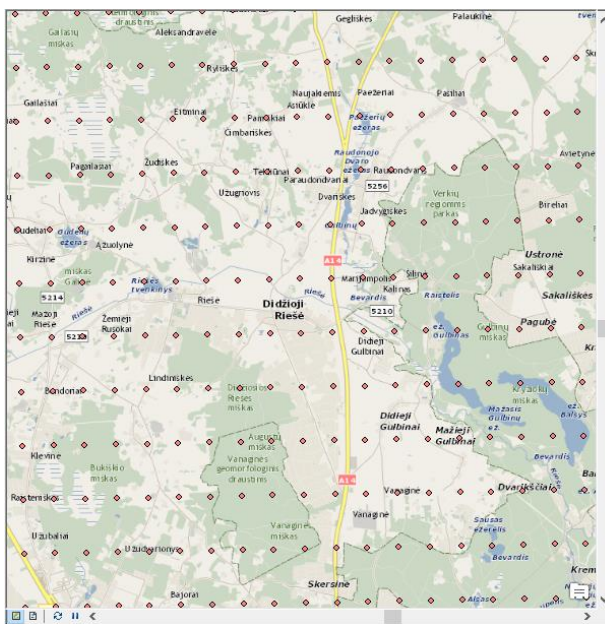
Modelyje naudojamos konstantos, jungiančios referencinį elipsoidą ir normalinį gravitacijos lauką (Pavlis et al. 2012):

$a=6378137,00$ m (didžioji WGS 84 elipsoido pusašė);

$\alpha=1/298,257223563$ (WGS 84 elipsoido paplokštumas);

$GM=3,986004418 \cdot 10^{14}$ m³s⁻² (geocentrinė gravitacijos konstanta);

$\omega=7292115 \cdot 10^{-11}$ rad/s (kampinis Žemės sukimosi greitis).



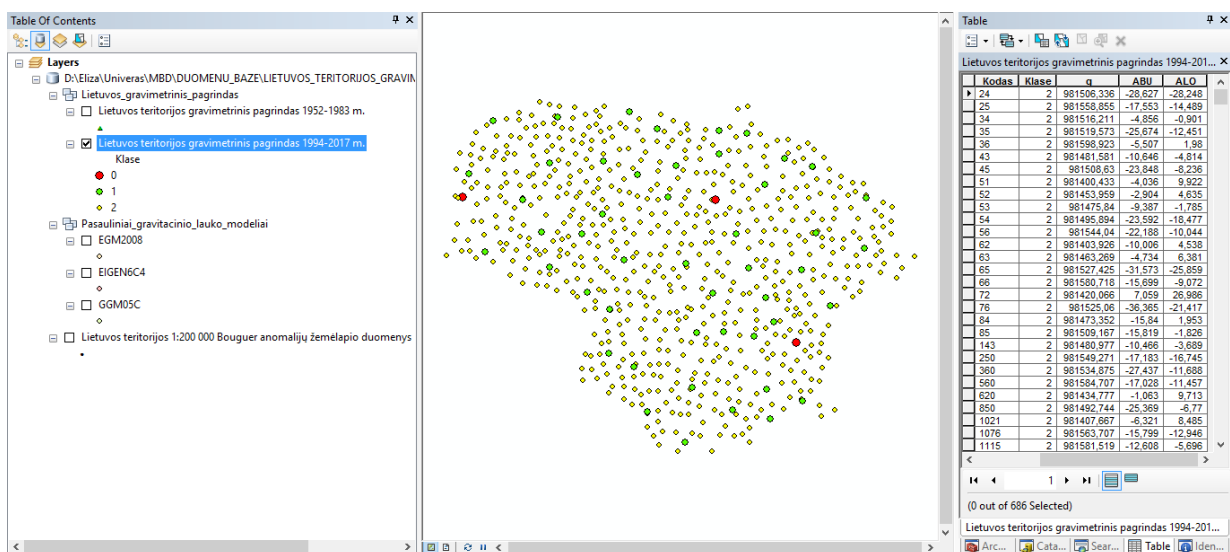
3.5 pav. Sluoksnio EGM2008 duomenys ArcMap aplinkoje (sudaryta autoriaus)

IGEN-6C4 sluoksnyje saugomas kombinuoto žemės gravitacinio lauko modelio fragmentas Lietuvos teritorijai, t. y., 144684 taškų debesis, pasiskirstęs 0,008° žingsniu. Žemės gravitacinio lauko modelis EIGEN-6C4 yra Pasaulinių Žemės Modelių Tarptautinio Centro (angl. International Centre for Global Earth Models – ICGEM) 2014 metais sukurtas modelis. EIGEN-6C4 yra dviejų paeiliui sukurtų EIGEN-6C2 ir EIGEN-6C3 modelių tyrimų galutinis rezultatas. Rezultate gautas

modelis su pilnu harmonikų koeficientų rinkiniu iki 2190-ojo laipsnio. Modelio tikslumas priklauso nuo harmonikų koeficientų nustatymo klaidų ir nuo sferinių harmonikų kiekį nusakančio laipsnio didumo. Dėl harmonikų koeficientų rinkinio didumo Žemės gravitacinio lauko EIGEN-6C4 modelis pranašesnis už EIGEN-6C2 ir EIGEN-6C3 modelius ir yra lyginamas su EGM2008 modeliu. Šiame modelyje yra naudojami Goce, Grace, Lageos palydovinių sistemų duomenys, taip pat gravimetriniai ir altimetriniai duomenys (EIGEN-6C4 2014; Маркович 2015). EIGEN-6C4 modelis apima išsamią 2x2 minučių rezoliucijos sunkio anomalijų informaciją ir naudoja tas pačias konstantas, jungiančias referencinį elipsoidą su normaliniu gravitaciniu lauku, kaip ir EIGEN-6C2, EIGEN-6C, GGM05C ir EGM2008 modeliai (Маркович 2015).

GGM05C sluoksnyje saugomas statinio, kombinuoto žemės gravitacinio lauko modelio fragmentas Lietuvos teritorijai, t. y., 144684 taškų debesis, pasiskirstęs 0,008° žingsniu. Modelį 2016 metais sudarė Kosmoso tyrimų centras, esantis Ostino Teksaso universitete (JAV). GGM05C (angl. The Combination Global Gravity Model) vadinamas kombinuotu pasauliniu gravitacijos modeliu. Šis modelis sudarytas kombinuojant Grace ir Goce palydovinių sistemų bei sausumos gravitacinius duomenis. Modelio sferinės harmonikos išskleistos iki 360-to laipsnio. Naudotos 2x2 minučių skiriamosios gebos anomalijos (Odalović *et al.* 2015; Ries 2016).

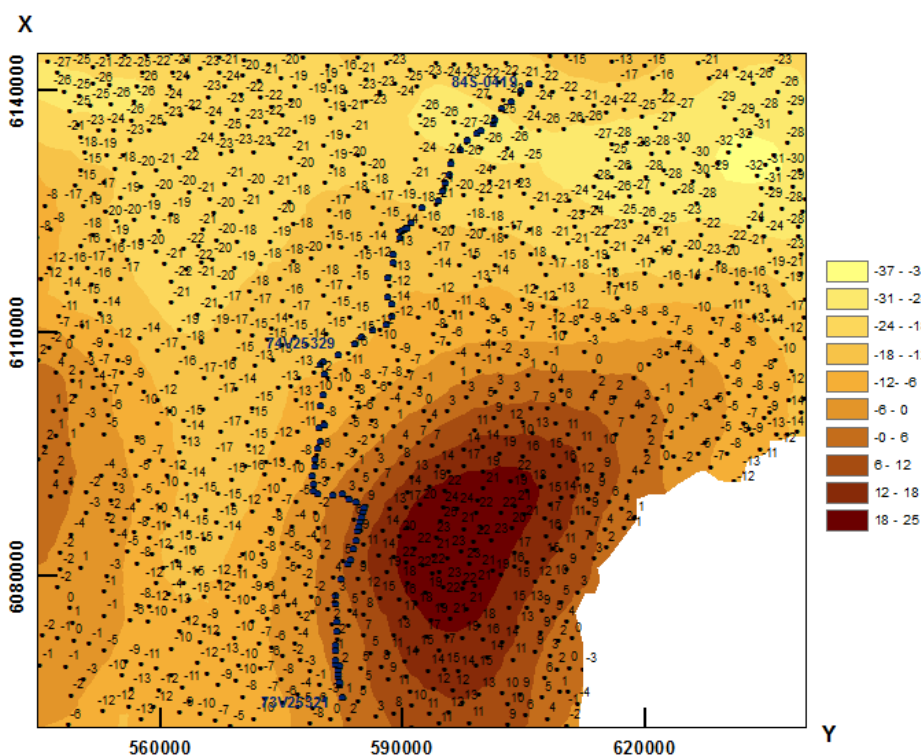
3.6 paveiksle vaizduojama sukurta „Lietuvos teritorijos gravimetriniai duomenys“ duomenų bazės struktūra ir joje saugomų duomenų pavyzdys ArcGIS ArcMap aplinkoje. Paveikslo kairėje pusėje esančioje skiltyje „Table Of Contents“ pavaizduoti objektų rinkiniai, juose saugomi sluoksniai bei erdviniai objektų sutartiniai ženklai. Centrinėje dalyje vaizduojami Lietuvos teritorijos gravimetrinio pagrindo 1994–2017 duomenys (sluoksnis LT_GRAV_PGR_1994). Paveikslo dešinėje, „Table“ skiltyje, pateikiamas minėto sluoksnio atributinės lentelės pavyzdys.



3.6 pav. Duomenų bazės „Lietuvos teritorijos gravimetriniai duomenys“ struktūros ir duomenų pavyzdys ArcMap aplinkoje (sudaryta autoriaus)

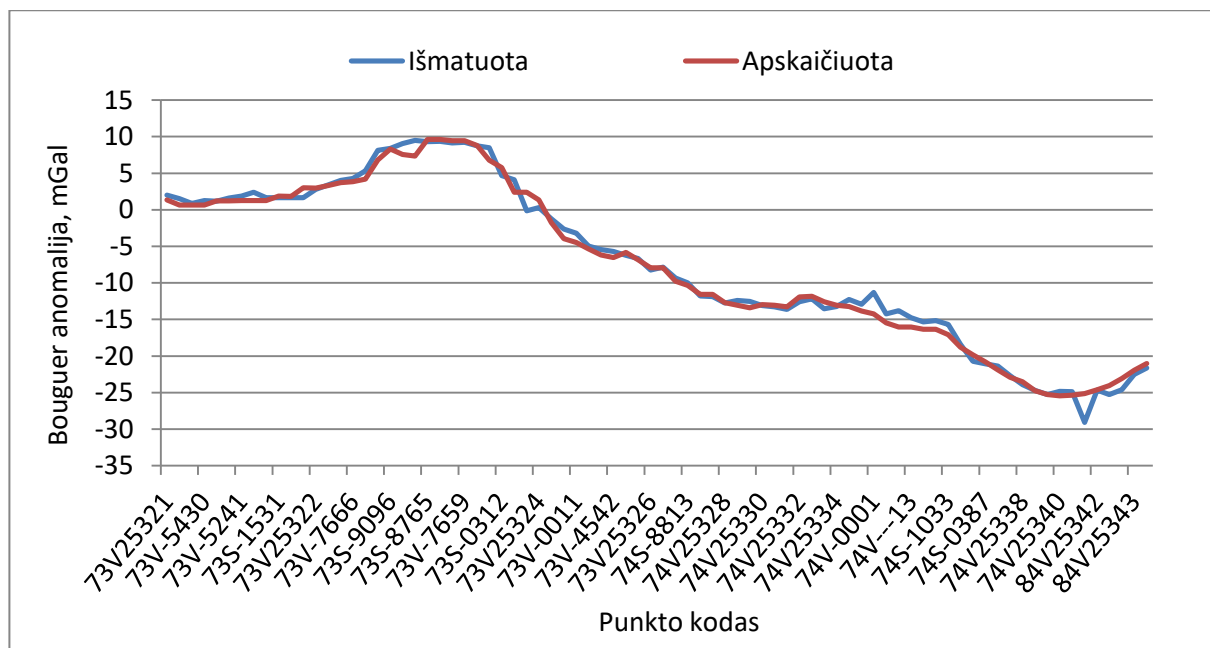
3.2. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis Bouguer anomalijų žemėlapiu duomenimis

Remiantis sukurtoje „Lietuvos teritorijos gravimetriniai duomenys“ duomenų bazėje esančiais Lietuvos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu duomenimis, sudarytas skaitmeninis šio žemėlapiu variantas. Žemėlapis sudarytas ArcMap aplinkoje, taškų interpoliacijai naudotas normalusis kriginio (angl. Ordinary Kriging) metodas. Pusvariacijai modeliuoti pasirinkta sferos funkcija. Žemėlapiu ląstelės dydis 1000x1000 m, ieškomų taškų skaičius 12 (toliau darbe pateikti skaitmeniniai žemėlapiai sudaryti pagal tuos pačius modelio kūrimo parametrus). 3.7 paveiksle vaizduojamame žemėlapyje matome, kaip tankiai yra pasiskirstę Lietuvos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu punktai apie gravimetriškai išmatuotos geodezinio vertikaliojo tinklo 4–2 (Vilnius–Molėtai–Kuktišės) linijos punktus.



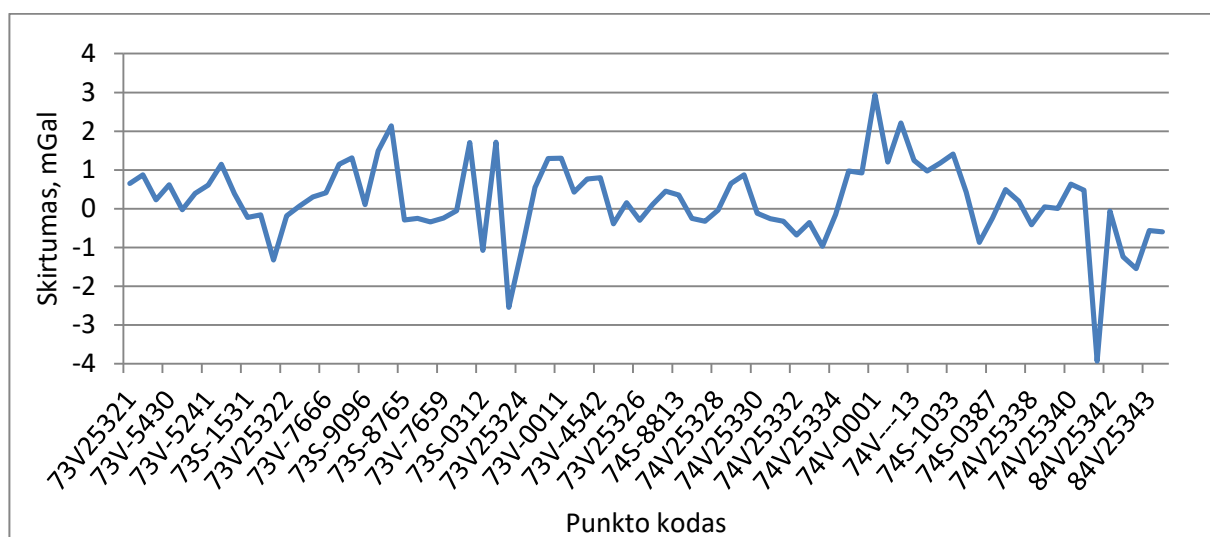
3.7 pav. Skaitmeninis Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu fragmentas (sudaryta autoriaus)

Skaitmeninio Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmės vertikaliojo tinklo 4–2 linijos punktuose nustatytos ArcMap aplinkoje naudojant *Extract Values to Points* funkciją. Nustatytų reikšmių intervalas nuo -25,45 mGal iki +9,62 mGal. Gravimetriškai išmatuotų 4–2 linijos punktų Bouguer anomalijų reikšmių intervalas nuo -29,07 mGal iki +9,47 mGal. 3.8 paveikslo grafike vaizduojamas šių reikšmių kitimas Vilnius–Molėtai–Kuktiškė linijoje. Mėlyna kreivė vaizduoja gravimetriškai išmatuotų, raudona – apskaičiuotų iš žemėlapiu 4-2 linijos punktų reikšmių kitimą.



3.8 pav. Skaitmeninio Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autoriaus)

Skirtumų intervalas tarp graivmetriškai išmatuotų ir iš žemėlapiu nustatytų Bouguer anomalijų reikšmių nuo -3,94 mGal iki +2,94 mGal (3.9 pav.). Skirtumų vidurkis 0,212 mGal. Vidutinė kvadratinė paklaida 1,019 mGal. Mažiausias nuokrypis 0,002 mGal gautas 74V25339 punkte. Lentelė su išmatuotomis ir apskaičiuotomis iš žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmėmis bei jų skirtumais pateikta D priede.

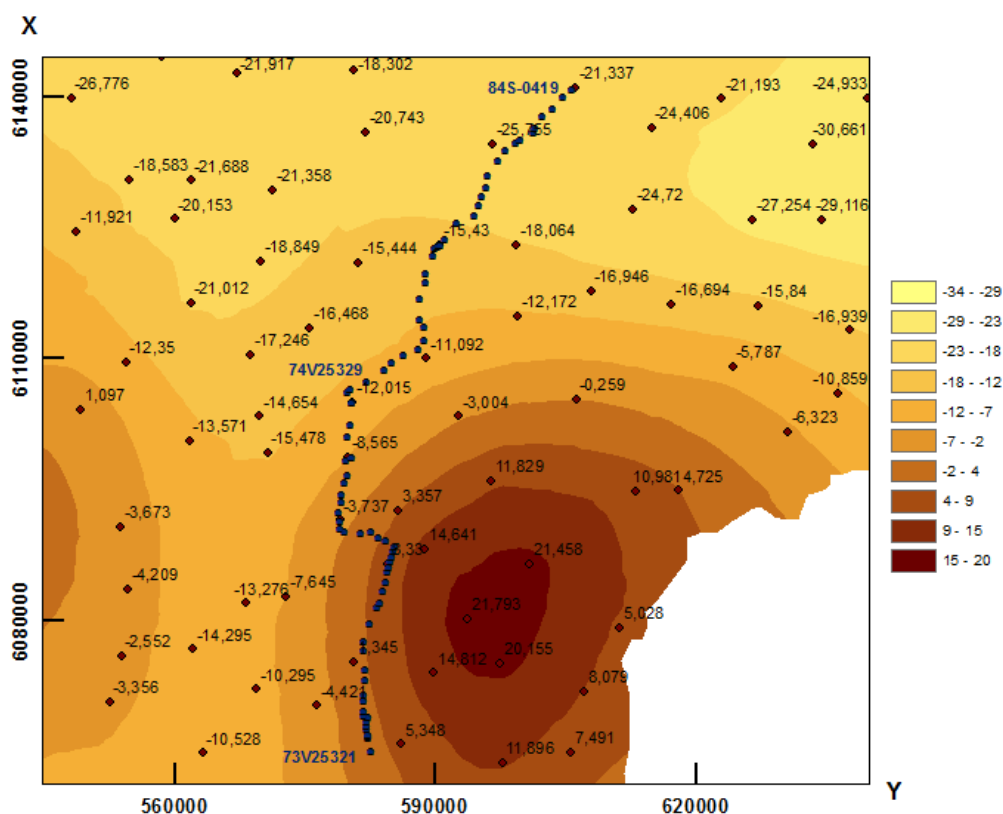


3.9 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų iš Lietuvos teritorijos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų skaitmenio žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autoriaus)

3.3. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis Lietuvos gravimetrinio pagrindo duomenimis

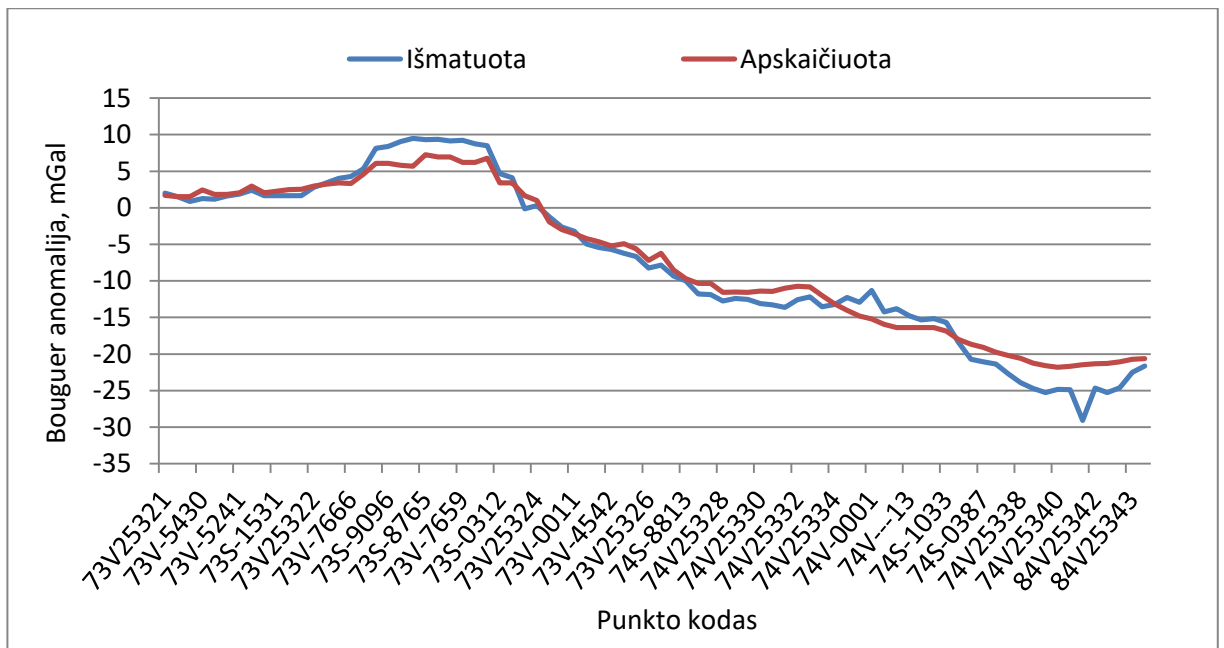
Remiantis sukurtoje „Lietuvos teritorijos gravimetriniai duomenys“ duomenų bazėje esančiais Lietuvos gravimetrinio pagrindo nulinės, pirmos ir antros klasės punktų Bouguer anomalijų duomenimis, sudarytas skaitmeninis žemėlapis. Skaitmeninio Lietuvos teritorijos žemėlapio fragmentas vaizduojamas 3.10 paveiksle. Jame matome, kad Lietuvos gravimetrinio pagrindo punktų pasiskirstymas daug retesnis negu Lietuvos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapio punktų.

Nustatytos Lietuvos gravimetrinio pagrindo Bouguer anomalijų žemėlapio reikšmės Vilnius–Molėtai–Kuktiškės linijos punktuose. Gautos reikšmės pasiskirstė intervale nuo -21,82 mGal iki +7,25 mGal (3.11 pav.).

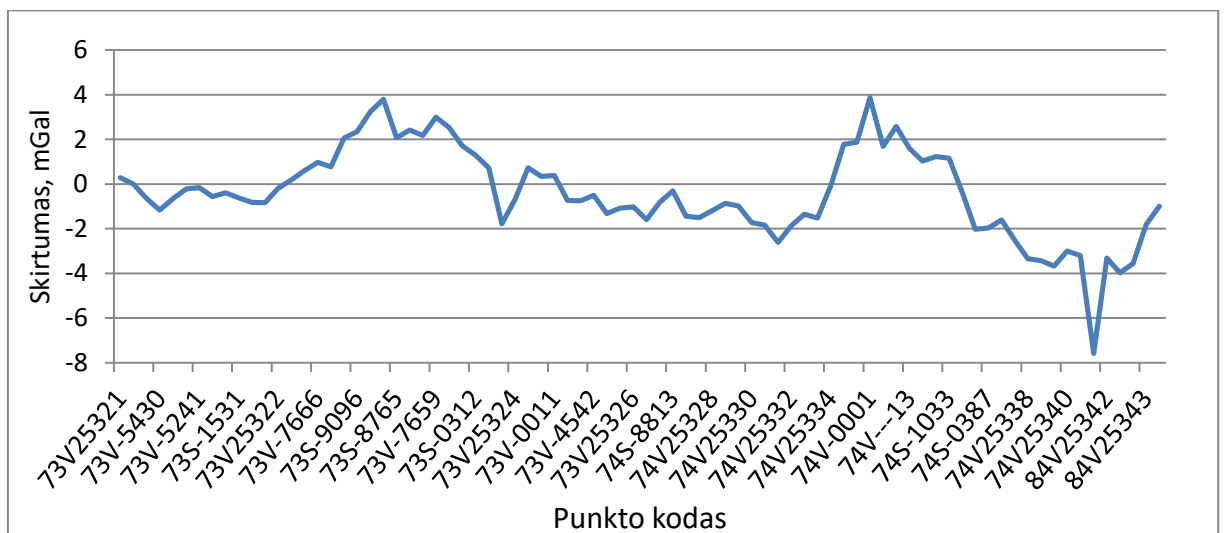


3.10 pav. Lietuvos gravimetrinio pagrindo Bouguer anomalijų reikšmių skaitmeninio žemėlapio fragmentas (sudaryta autoriaus)

Apskaičiuotų skirtumų tarp gravimetriškai išmatuotų ir iš žemėlapio nustatytų Bouguer anomalijų reikšmių intervalas nuo -7,59 mGal iki +3,87 mGal (3.12 pav.). Apskaičiuotas skirtumų vidurkis lygus -0,397 mGal, vidutinė kvadratinė paklaida lygi 4,015 mGal. Mažiausias nustatytas nuokrypis 0,001 mGal gautas 73V-4484 punkte. Lentelė su išmatuotomis ir apskaičiuotomis iš žemėlapio Bouguer anomalijų reikšmėmis bei jų skirtumais pateikta E priede.



3.11 pav. Skaitmeninio Lietuvos gravimetrinio pagrindo Bouguer anomalijų žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autoriaus)



3.12 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų iš Lietuvos gravimetrinio pagrindo duomenų žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių linijoje grafikas (sudaryta autoriaus)

3.4. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis pasaulinių sunkio lauko modelių skaičiuokle

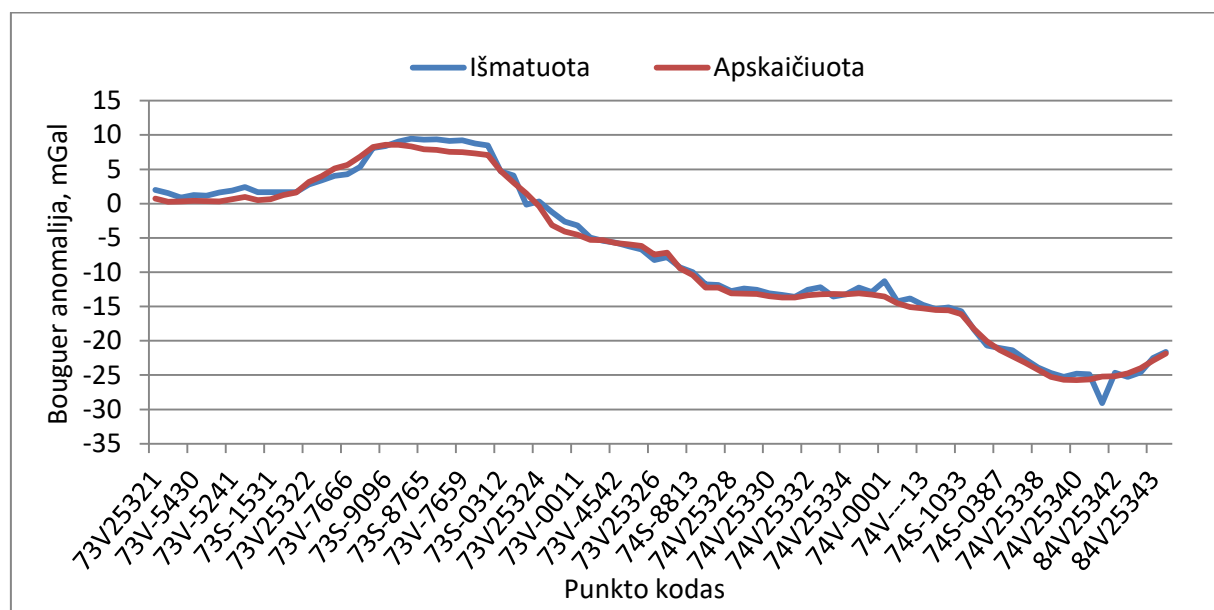
Bouguer anomalijų nustatymas remiantis EGM2008, EIGEN-6C4 ir GGM05C pasauliniais sunkio lauko modeliais bei tikslumo įvertinimas buvo atlikas dviem būdais. Pirmuoju atveju Bouguer anomalija buvo apskaičiuota atskirai kiekvienam geodezinio vertikaliojo tinklo 4–2 linijos taškui, užsiduodant Jungtinių Amerikos Valstijų Krašto apsaugos ministerijos Nacionalinės geožvalgybos agentūros (angl. National Geospatial-Intelligence Agency – NGA) tinklalapio modelių skaičiuoklėje taško elipsoidines koordinates ir elipsoidinį aukštį. Antruoju atveju tame

pačiame tinklalapyje esančioje skaičiuoklėje užsiduodant Lietuvos teritorijos ribas ir taškų tinklo tankumą (pasirinktas 0,008°, didžiausias leistinas nustatytoje teritorijoje) atsiųstas taškų tinklas su šių taškų Bouguer anomalijų reikšmėmis. Atsiųsti duomenys sutvarkyti ir išsaugoti „Lietuvos teritorijos gravimetriniai duomenys“ duomanų bazėje, kaip aprašyta 3.3 poskyryje. Iš šių duomenų sudarytas skaitmeninis Bouguer anomalijų žemėlapis ir apskaičiuotos reikšmės 4–2 linijos punktuose. Abiem atvejais gautos Bouguer anomalijų reikšmės vertintos gravimetriškai išmatuotų vertikaliojo tinklo 4–2 linojos punktų Bouguer anomalijų reikšmių atžvilgiu.

Tinklalapio skaičiuoklėje apskaičiuotos EGM2008, EIGEN6C4 ir GGM05M modelių Bouguer anomalijų reikšmės vertikaliojo tinklo linijos punktuose ir skirtumai tarp apskaičiuotų bei gravimetraiškai išmatuotų reikšmių linijoje pateikti F priede.

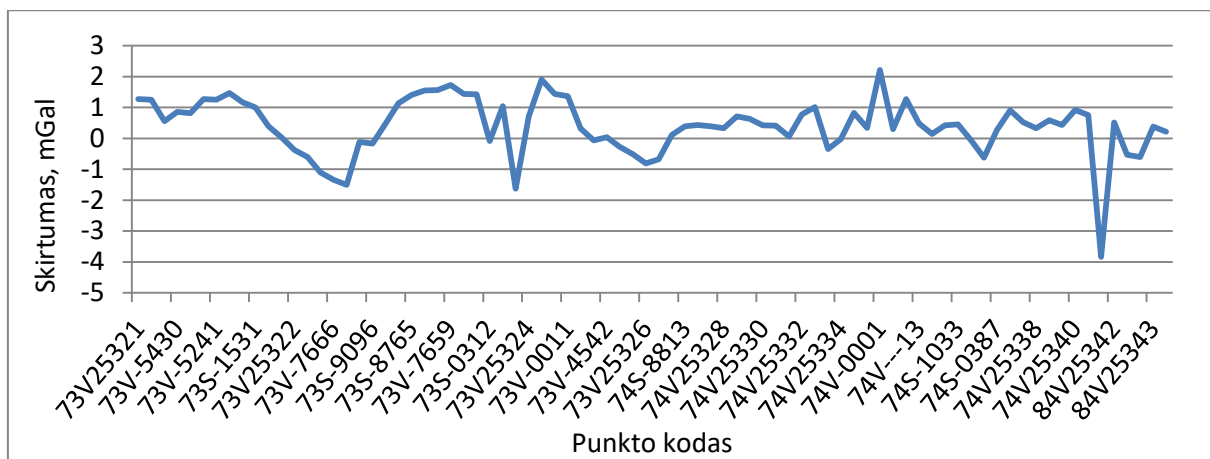
3.4.1. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis EGM2008 modelio skaičiuokle

EGM2008 modelio Bouguer anomalijų reikšmių 4–2 linijos punktuose intervalas nuo -25,74 mGal iki +8,58 mGal. Bouguer anomalijų kitimą linijoje matome 3.13 paveiksle.



3.13 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų EGM2008 modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)

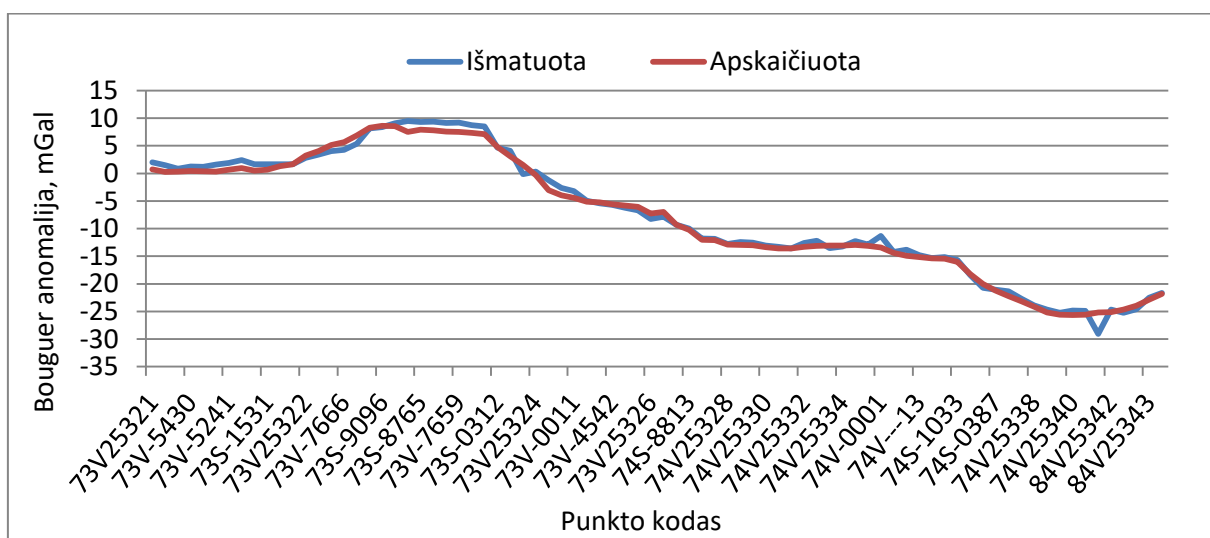
Skirtumų intervalas tarp išmatuotų ir apskaičiuotų reikšmių nuo -3,84 mGal iki +2,20 mGal (3.14 pav.). Skirtumų vidurkis 0,394 mGal, o vidutinė kvadratinė paklaida 0,837 mGal. Mažiausias nuokrypis gautas 74V25334 punkte, kuris lygus 0,023 mGal.



3.14 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų EGM2008 modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)

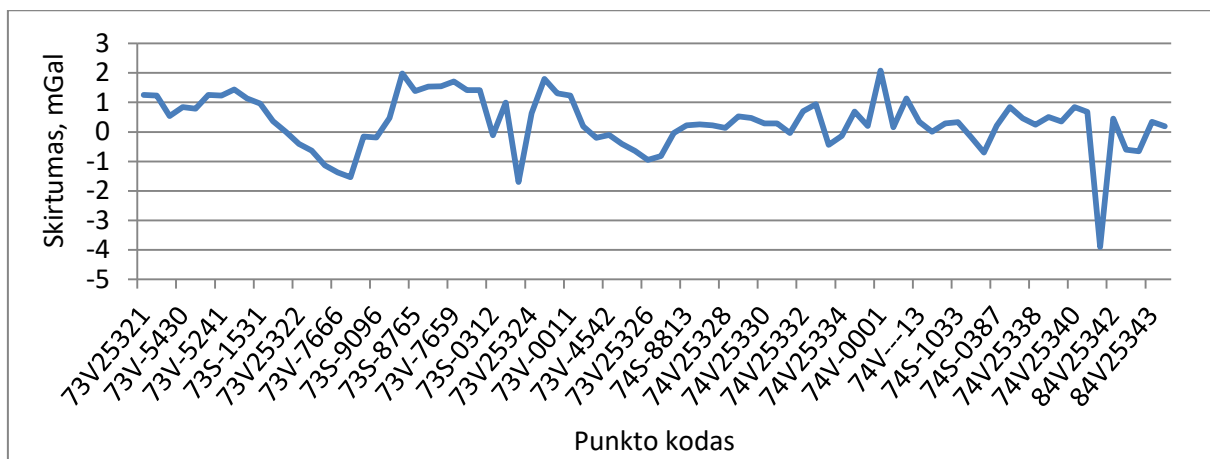
3.4.2. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis EIGEN-6C4 modelio skaičiuokle

Vilnius–Molėtai–Kuktiškės linijos punktų Bouguer anomalijų reikšmių, apskaičiuotų EIGEN-6C4 modelio skaičiuoklėje, intervalas nuo -25,66 mGal iki +8,59 mGal (3.15 pav.).



3.15 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų EIGEN-6C4 modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)

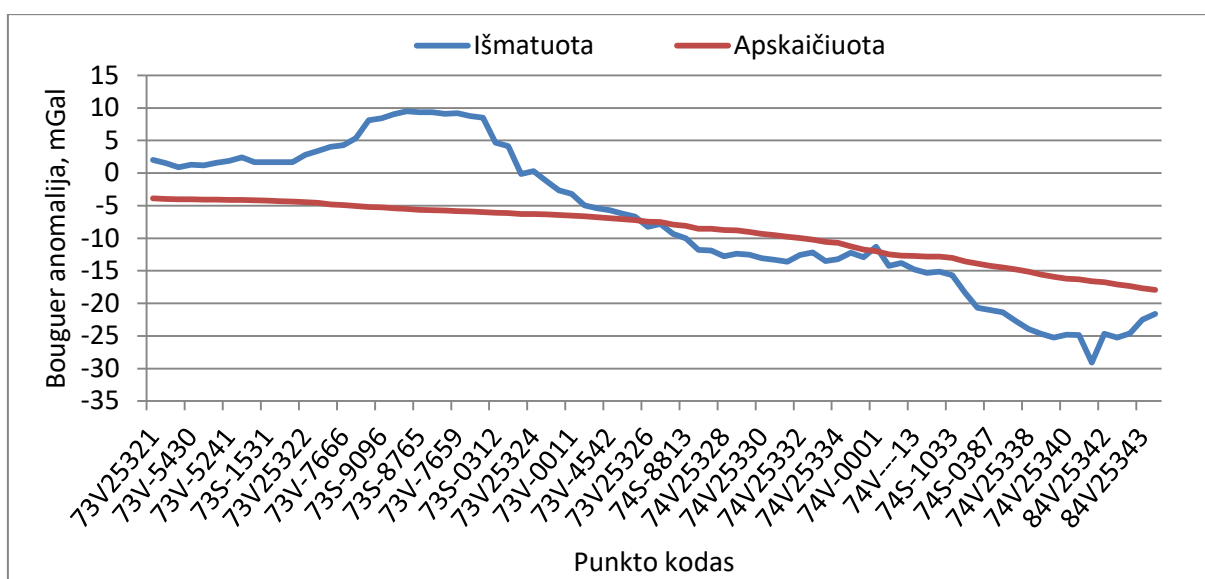
Apskaičiuotų ir gravimetraiškai nustatytų reikšmių skirtumai pasiskirstė intervale nuo -3,90 mGal iki +2,08 mGal (3.16 pav.). Mažiausias nuokrypis 0,002 mGal gautas 73V-7268 punkte. Skirtumų vidurkis lygus 0,326 mGal. Skirtumų kvadratinė paklaida lygi 0,874 mGal.



3.16 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų EIGEN-6C4 modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)

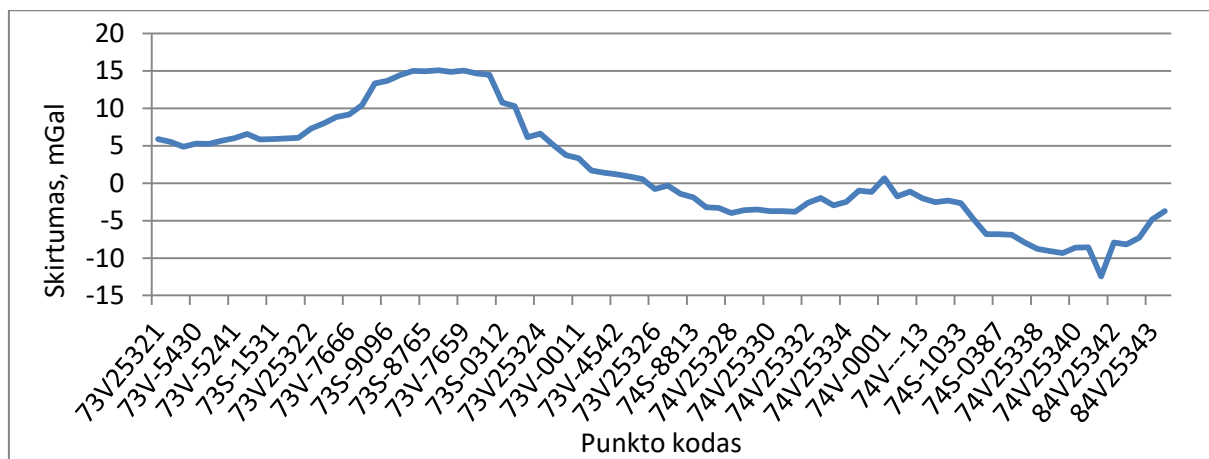
3.4.3. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis GGM05C modelio skaičiuokle

Linijos punktų Bouguer anomalijų reikšmės, išskaičiuotos iš GGM05C modelio, pasiskirstė intervale nuo -17,92 mGal iki -3,88 mGal (3.17 pav.).



3.17 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų GGM05C modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)

Skirtumų intervalas tarp išmatuotų ir apskaičiuotų reikšmių nuo -12,45 mGal, iki +15,06 mGal (3.18 pav.). Skirtumų vidurkis lygus 1,63 mGal. Skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida 53,366 mGal. Mažiausias nuokrypis nustatytas punkte 73S-3537, kuris lygus 0,311 mGal.

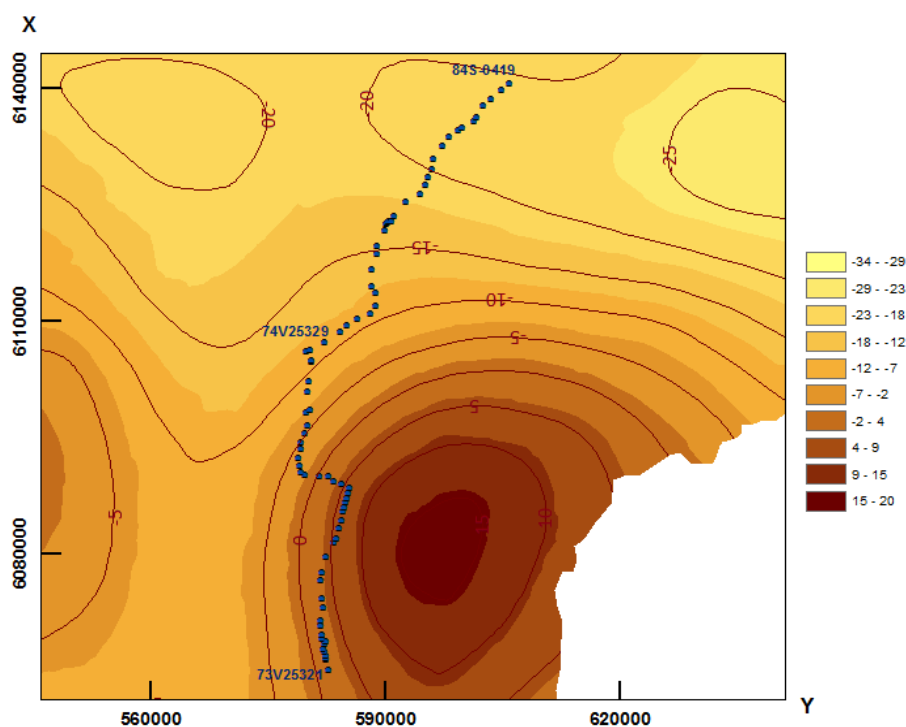


3.18 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų GGM05C modelio skaičiuoklėje Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)

3.5. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis pasaulinių gravitacinio lauko modelių žemėlapiais

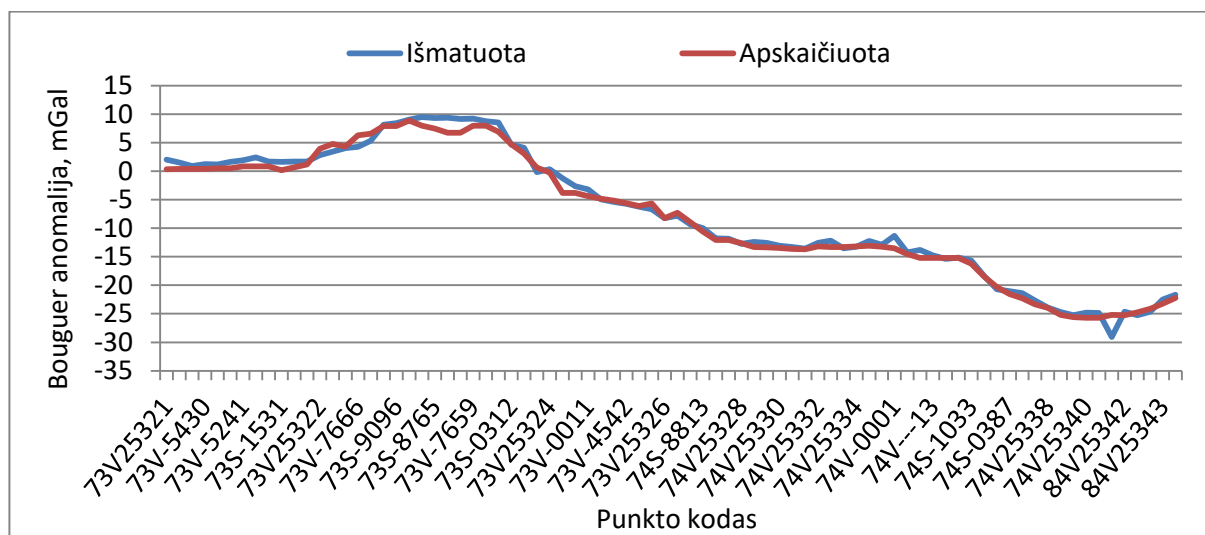
3.5.1. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis EGM2008 modelio žemėlapiu

Remiantis sukurtoje „Lietuvos teritorijos gravimetriniai duomenys“ duomenų bazėje esančiais EGM2008 modelio fragmento Bouguer anomalijų duomenimis, sudarytas Lietuvos teritorijos Bouguer anomalijų skaitmeninis žemėlapis. Žemėlapyje izoanomalės praveistos kas 5 mGal. 3.19 paveiksle vaizduojamas Lietuvos teritorijos Bouguer anomalijų žemėlapių fragmentas. Jame mėlynais taškais vaizduojamas 4–2 (Vilnius–Molėtai–Kuktiškės) linijos punktų išdėstymas.



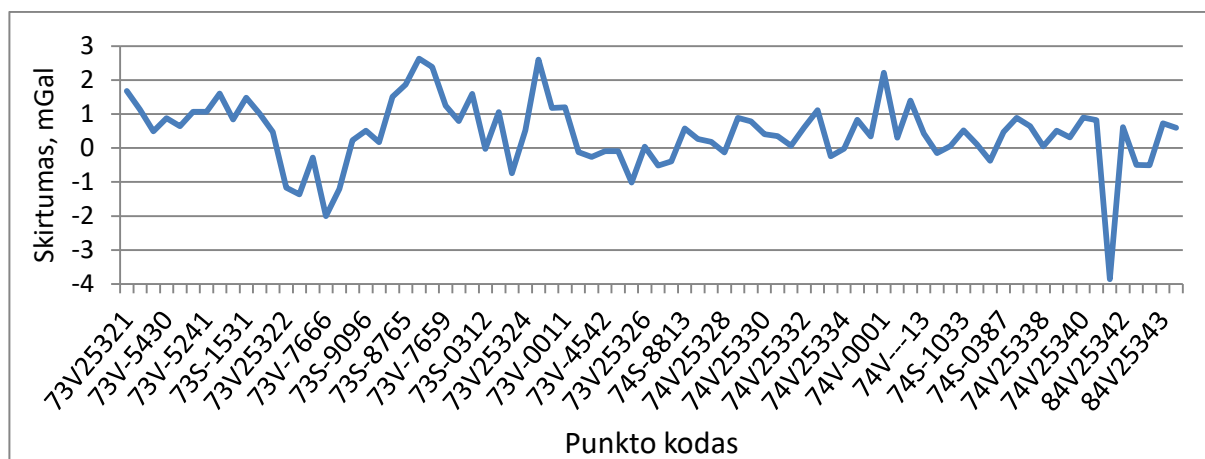
3.19 pav. EGM2008 modelio Bouguer anomalijų žemėlapis (sudaryta autoriaus)

Naudojant EGM2008 modelio žemėlapi nustatytos Bouguer anomalijų reikšmės geodezinio vertikaliojo tinklo 4–2 linijos punktuose. 3.20 paveiksle vaizduojama gravimetriškai išmatuotų punktų Bouguer anomalijų reikšmių ir iš EGM2008 modelio žemėlapio nustatytų reikšmių 4–2 linijoje kitimas. Iš žemėlapio nustatytų Bouguer anomalijų reikšmių intervalas nuo -25,71 mGal iki +8,88 mGal.



3.20 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš EGM2008 modelio žemėlapio Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)

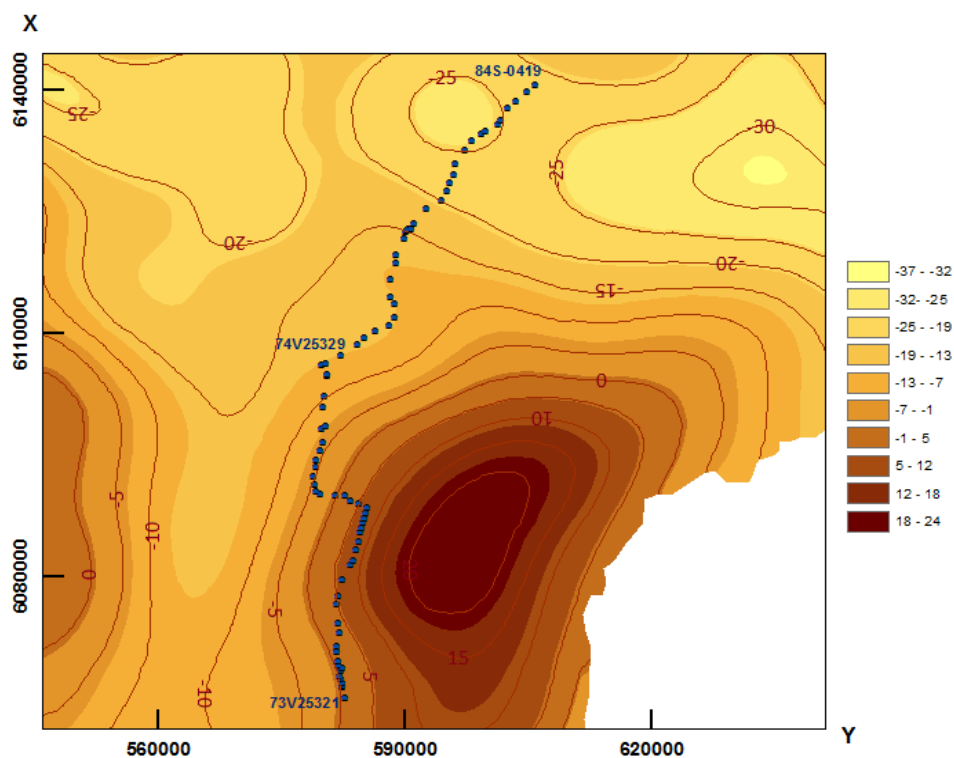
Skirtumų reikšmių tarp gravimetriškai išmatuotų ir nustatytų iš žemėlapio punktų intervalas nuo -3,86 mGal iki +2,63 mGal (3.21 pav.). Mažiausias apskaičiuotas nuokrypis, esantis 74V25334 punkte, lygus 0,012 mGal. Skirtumų vidurkis 0,435 mGal, skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida 0,970 mGal. G priedo lentelėje pateiktos visos 4–2 linijos punktų reikšmės, nustatytos iš EGM2008 žemėlapio ir skirtumų reikšmės tarp gravimetriškai išmatuotų ir nustatytų iš žemėlapio punktų.



3.21 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų iš EGM2008 modelio žemėlapio Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)

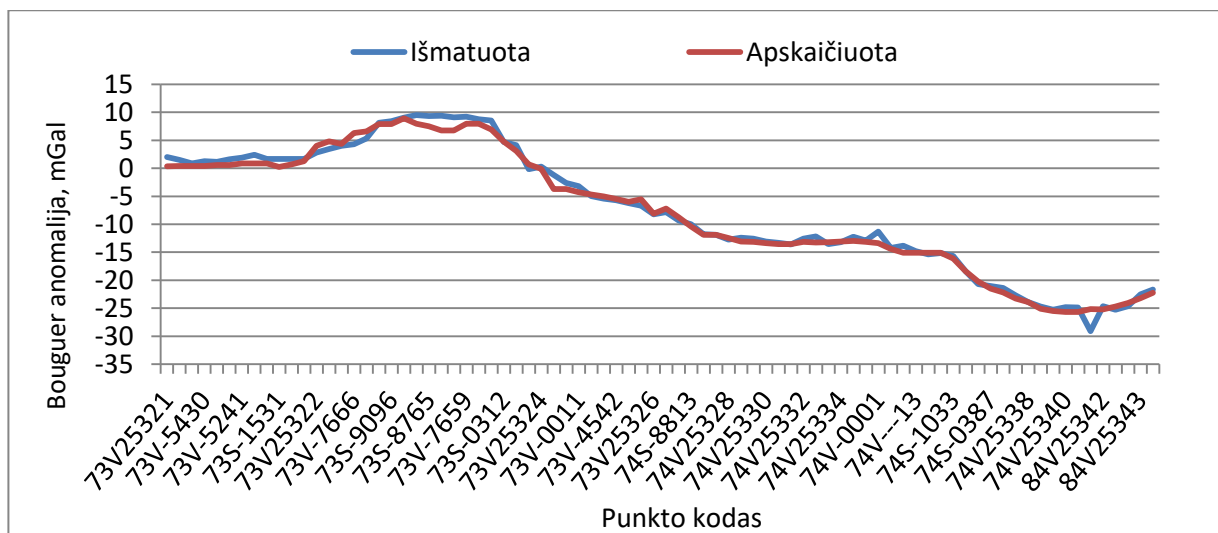
3.5.2. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis EIGEN-6C4 modelio žemėlapiu

Remiantis sukurtoje „Lietuvos teritorijos gravimetriniai duomenys“ duomenų bazėje esančiais EIGEN-6C4 modelio fragmento duomenimis sudarytas Lietuvos teritorijos Bouguer anomalijų skaitmeninis žemėlapis. Jame izoanomalės praveistos kas 5 mGal. Šio žemėlapio fragmentas pateiktas 3.22 paveiksle.

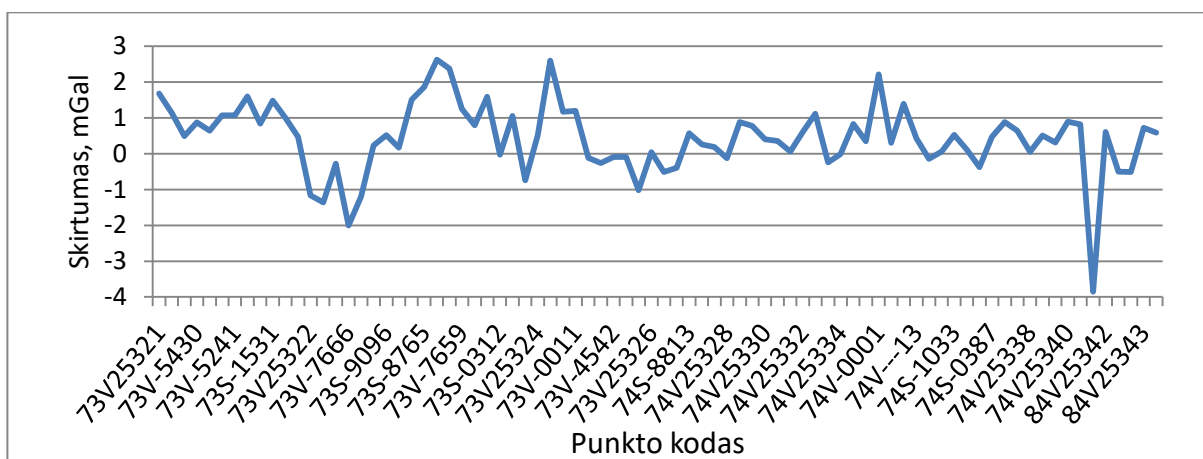


Iš EIGEN-6C4 modelio žemėlapio nustatytos Bouguer anomalijų reikšmės geodezinio vertikaliojo tinklo 4–2 linijos punktuose. 3.23 paveiksle vaizduojama gravimetriškai išmatuotų punktų Bouguer anomalijų reikšmių ir iš EIGEN-6C4 modelio žemėlapio nustatytų reikšmių 4–2 linijoje kitimas. Iš žemėlapio nustatytų linijos punktų reikšmių intervalas nuo -25,64 mGal iki +8,89 mGal.

Skirtumų reikšmių tarp gravimetriškai išmatuotų ir nustatytų iš žemėlapio punktų intervalas nuo -3,915 iki +2,611 mGal, šių reikšmių kitimo grafikas pateiktas 3.24 paveiksle. Mažiausias apskaičiuotas nuokrypis esantis 74V20216 punkte lygus 0,003 mGal. Skirtumų vidurkis 0,357 mGal, skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida 0,987 mGal. Visos 4–2 linijos punktų reikšmės nustatytos iš EIGEN-6C4 žemėlapio ir šių reikšmių skirtumai tarp gravimetriškai išmatuotų pateikti H priede.



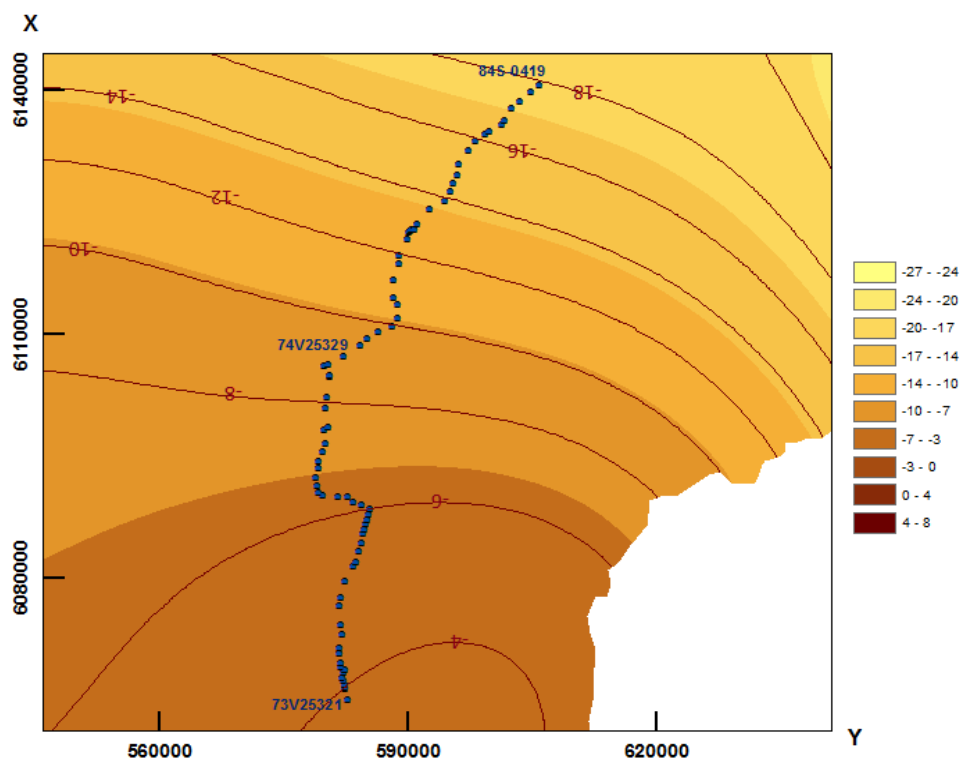
3.23 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš EIGEN-6C4 modelio žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)



3.24 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų iš EIGEN-6C4 modelio žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)

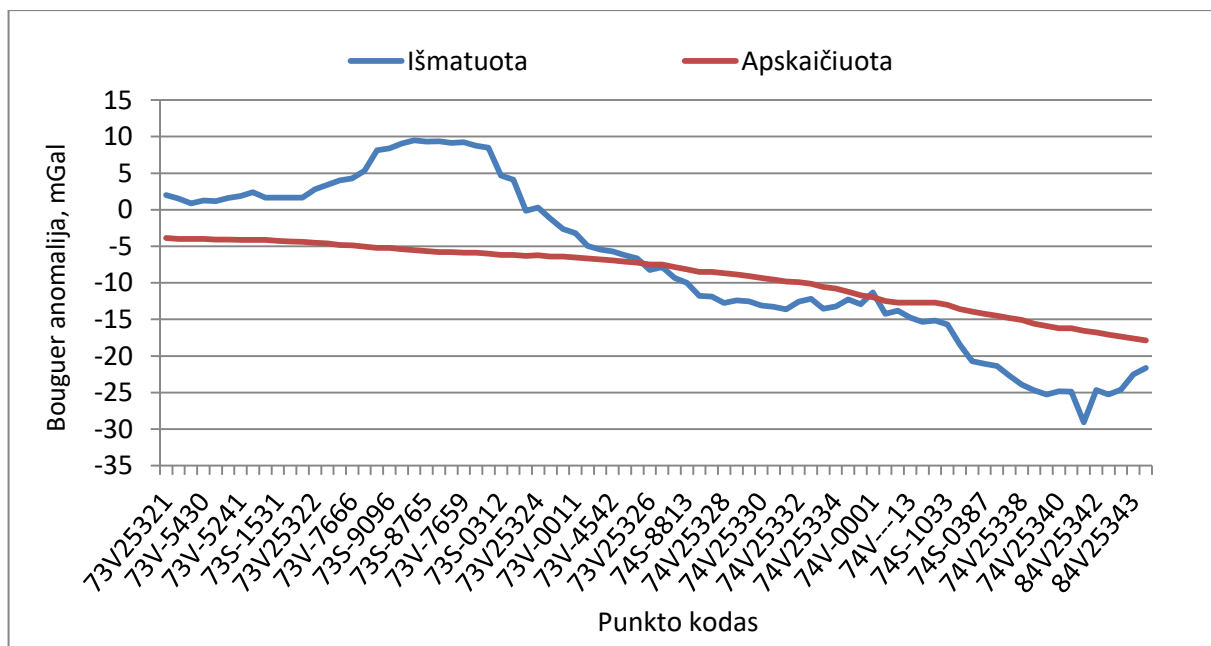
3.5.3. Sunkio anomalijų nustatymas remiantis GGM05C modelio žemėlapiu

Remiantis sukurtoje „Lietuvos teritorijos gravimetriniai duomenys“ duomenų bazėje esančiais GGM05C modelio fragmento Bouguer anomalijų duomenimis, sudarytas skaitmeninis žemėlapis. GGM05C modelio Lietuvos teritorijos Bouguer anomalijų žemėlapių fragmentas vaizduojamas 3.25 paveiksle. Izoanomalės žemėlapyje išvestos kas 2 mGal.



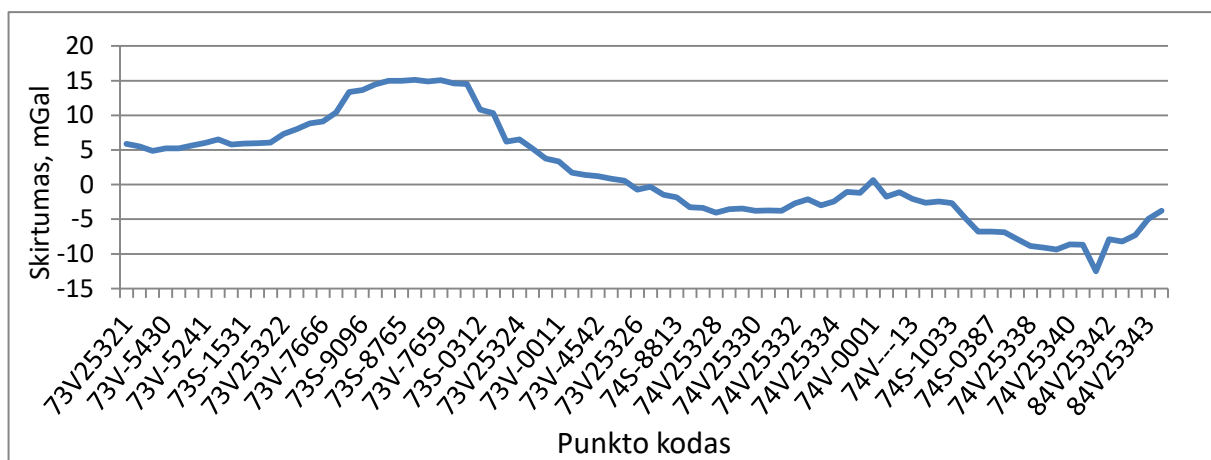
3.25 pav. GGM05C modelio Bouguer anomalijų žemėlapis (sudaryta autoriaus)

Naudojant geopotencialo modelio GGM05C žemėlapi, nustatytos Bouguer anomalijų reikšmės 4-2 linijos punktuose. Reikšmės pasiskirstė intervale nuo -17,86 mGal iki -3,88 mGal. Šių ir gravimetriškai išmatuotų punktų reikšmių kitimas 4-2 linijoje vaizduojamas 3.26 paveiksle.



3.26 pav. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš GGM05C modelio žemėlapi Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)

Apskaičiuoti skirtumai tarp Bouguer anomalijų, nustatytų gravimetriniais matavimais ir išskaičiuotų iš GGM05C modelio žemėlapiu. Skirtumų reikšmės kito ribose nuo -12,52 mGal iki +15,13 mGal (3.27 pav.).



3.27 pav. Skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų iš GGM05C modelio žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių linijoje kitimo grafikas (sudaryta autorės)

Skirtumų vidurkis 1,622 mGal, skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida 53,559 mGal. Mažiausias apskaičiuotas nuokrypis, esantis 73S-3537 puke, lygus 0,315 mGal. Visos 4–2 linijos punktų reikšmės nustatytos iš žemėlapiu ir šių reikšmių skirtumai, tarp gravimetriškai išmatuotų, pateikti I priede.

3.7 lentelėje yra pateikti visų darbe tirtų Bouguer anomalijų nustatymo būdų tikslumai. Paryškintieji skaičiai simbolizuoja geriausius rezultatus tam tikroje skiltyje. Skirtumų intervalas [-3,84; +2,22] tarp gravimetriškai išmatuotų reikšmių ir EGM2008 modelio skaičiuoklėje nustatytų reikšmių yra mažiausias. Mažiausias skirtumų vidurkis yra reikšmių nustatytų iš Bouguer anomalijų žemėlapiu, o mažiausia vidutinė kvadratinė paklaida EGM2008 skaičiuoklėje nustatytų reikšmių. Mažiausias Bouguer anomalijos reikšmės nuokrypis nuo gravimetriškai išmatuotos reikšmės punkte gautas nustatant reikšmes iš Lietuvos gravimetrinio pagrindo žemėlapiu.

3.7 lentelė. Skirtingais būdais nustatytų sunkio anomalijų tikslumas, mGal (sudaryta autoriaus)

Duomenys	Intervalas	Vidurkis	Vid. kvad. paklaida	Mažiausias nuokrypis
Bouguer anomalijų žemėlapiu	-3,94 – +2,94	0,212	1,019	0,002
Lietuvos gravimetrinio pagrindo	-7,59 – +3,87	-0,397	4,015	0,001
EGM2008 modelio skaičiuoklės	-3,84 – +2,22	0,394	0,837	0,023
EIGEN-6C4 modelio skaičiuoklės	-3,99 – +2,08	0,326	0,874	0,002
GGM05C modelio skaičiuoklės	-12,45 – +15,06	1,626	53,366	0,311
EGM2008 modelio žemėlapiu	-3,86 – +2,63	0,435	0,970	0,012
EIGEN-6C4 modelio žemėlapiu	-3,92 – +2,61	0,357	0,987	0,003
GGM05C modelio žemėlapiu	-12,52 – +15,13	1,622	53,559	0,315

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Darbe išanalizuotas sunkio lauko teikiamos informacijos poreikis ir sunkio lauko tyrimų ypatumai. Išnagrinėtas antžeminių gravimetrinių matavimų ir palydovų, tiriančių gravitacijos lauką, vystymasis. Išanalizuota Lietuvos teritorijos gravimetrinė medžiaga.
2. Atliktas gravimetrinių matavimų, geodezinio vertikaliojo tinklo 4–2 (Vilnius–Molėtai–Kuktiškės) linijoje apdorojimas. Nustatytos vieno matavimo vidutinės kvadratinės paklaidos neviršijo 0,012 mGal. Apskaičiuotos geodezinio vertikaliojo tinklo 4–2 linijos Bouguer anomalijos pasiskirstė nuo -29,07 mGal iki +9,47 mGal intervale.
3. Nustatytos Bouguer anomalijų reikšmės 4–2 linijos punktuose iš skaitmeninio žemėlapiu, sudaryto remiantis Lietuvos 1:200 000 Bouguer anomalijų žemėlapiu duomenimis. Apskaičiuotas skirtumų tarp išmatuotų ir nustatytų iš žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių vidurkis 0,212 mGal, vidutinė kvadratinė paklaida 1,019 mGal.
4. Nustatytos Bouguer anomalijų reikšmės 4–2 linijos punktuose iš skaitmeninio žemėlapiu, sudaryto remiantis Lietuvos gravimetrinio pagrindo tinklų duomenimis. Apskaičiuotas skirtumų tarp išmatuotų ir nustatytų iš žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių vidurkis 0,397 mGal, vidutinė kvadratinė paklaida 4,015 mGal.
5. Nustatytos Bouguer anomalijų reikšmės 4–2 linijos punktuose iš pasaulinių gravitacinio lauko EGM2008, EIGEN-6C4 ir GGM05C modelių skaičiuoklių. Apskaičiuoti skirtumai tarp išmatuotų ir nustatytų iš EGM2008, EIGEN-6C4 ir GGM05C modelių skaičiuoklės Bouguer anomalijų reikšmių vidurkiai ir vidutinės kvadratinės paklaidos. EGM2008 modelio skirtumų vidurkis 0,394 mGal, vidutinė kvadratinė paklaida 0,837 mGal. EIGEN-6C4 modelio skirtumų vidurkis 0,326 mGal, vidutinė kvadratinė paklaida 0,874 mGal. GGM05C modelio skirtumų vidurkis 1,626 mGal, vidutinė kvadratinė paklaida 53,366 mGal.
6. Nustatytos Bouguer anomalijų reikšmės 4–2 linijos punktuose iš skaitmeninio žemėlapiu, sudaryto remiantis EGM2008, EIGEN-6C4 ir GGM05C modelių taškų tinklo duomenimis. Apskaičiuoti skirtumų tarp išmatuotų ir nustatytų iš EGM2008, EIGEN-6C4 ir GGM05C modelių žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių vidurkiai ir vidutinės kvadratinės paklaidos. EGM2008 modelio skirtumų vidurkis 0,435 mGal, vidutinė kvadratinė paklaida 0,970 mGal. EIGEN-6C4 modelio skirtumų vidurkis 0,357 mGal, vidutinė kvadratinė paklaida 0,987 mGal. GGM05C modelio skirtumų vidurkis 1,622 mGal, vidutinė kvadratinė paklaida 53,599 mGal.
7. Nustatyta, kad artimiausios išmatuotoms Bouguer anomalijų reikšmėms yra Bouguer anomalijų reikšmės, nustatytos iš Lietuvos 1:200 000 Bouguer anomalijų žemėlapiu ir EGM2008 modelio skaičiuoklės.

LITERATŪRA IR ŠALTINIAI

- Amos, M. J.; Featherstone, W. E. 2003. Comparisons of recent global geopotential models with terrestrial gravity field data over New Zealand and Australia. *Geomatics Research Australasia*, 1–19.
- Andrés, J. I.; Noomen, R.; Bianco, G.; Currie, D. G.; Otsubo, T. 2004. Spin axis behavior of the LAGEOS satellites. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 109(B6). doi:10.1029/2003JB002692
- Bianco, G.; Chersich, M.; Devoti, R.; Luceri, V.; Selden, M. 2001. Measurement of LAGEOS-2 Rotation by Satellite Laser Ranging Observations. *Geophysical Research Letters*, 28(10), 2113–2116. doi:10.1029/2000GL012435
- Birvydienė, R. 2014. *Sunkio lauko nevienalytiškumo tyrimų metodikos tobulinimas*. Vilnius: Technika. 61–86 p.
- Birvydienė, R.; Krikštaponis, B.; Obuchovski, R.; Paršeliūnas, E. K.; Petroškevičius, P.; Šlikas, D. 2010. Lietuvos teritorijos gravimetrinio žemėlapių tikslumo vertinimas, *Geodezija ir kartografija*. 36(1): 20–24. ISSN 1392–1541.
- Birvydienė, R.; Obuchovski, R.; Paršeliūnas, E.; Petroškevičius, P.; Šlikas, D.; Viskontas, P. 2009. Lietuvos gravimetrinio tinklo charakteristikos, *Geodezija ir kartografija*. 35(4): 131–136. ISSN 1392–1541.
- Boyarsky, E. A.; Afanasyeva, L. V.; Koneshov, V. N.; Rozhkov, Y. E. 2010. On calculation of the vertical deflection and the geoid undulation from gravity anomalies. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 46(6), 538–543. doi:10.1134/S106935131006008X
- Bouman, J. 2011. Relation between geoidal undulation, deflection of the vertical and vertical gravity gradient revisited. *Journal of Geodesy*, 86(4), 287–304. doi:10.1007/s00190-011-0520-9
- Caporali, A.; Cenci, A.; Fermi, M. 1990. Study of the high-frequency structure of polar motion derived from LAGEOS ranging data. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 95(B7), 10965–10972. doi:10.1029/JB095iB07p10965
- CG-5 Scintrex Autograv System [interaktyvus] 2006. [žiūrėta 2016 m. lapkričio 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.scintrexltd.com/documents/CG5.v2.manual.pdf>
- Chambers, D. P.; Schröter, J. 2011. Measuring ocean mass variability from satellite gravimetry. *Journal of Geodynamics*, 52(5), 333–343. doi:10.1016/j.jog.2011.04.004
- CHAMP, Picture Gallery [interaktyvus] 2000. [žiūrėta 2017 m. sausio 19 d.]. Prieiga per internetą: http://op.gfz-potsdam.de/champ/more/gallery_CHAMP.html
- Chen, J. L.; Wilson, C. R.; Seo, K.W. 2006. Optimized smoothing of Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) time-variable gravity observations. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 111, B06408. doi:10.1029/2005JB004064

Conrad Observatory – Trafelberg [interaktyvus] 2017. [žiūrėta 2017 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.oegk-geodesy.at/austria/archives-2009-trafelberg.html>

Drinkwater, M. R.; Floberghagen, R.; Haagmans, R.; Muzi, D.; Popescu, A. 2003. GOCE: ESA's first Earth Explorer Core mission. In Beutler, G.B., Drinkwater M., Rummel R., and von Steiger R. (Eds.), *Earth Gravity Field from Space - from Sensors to Earth Sciences. In the Space Sciences Series of ISSI*, Vol. 18, 419-432, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, ISBN: 1-4020-1408-2.

Drinkwater, M. R.; Haagmans, R.; Muzi, D.; Popescu, A.; Floberghagen, R.; Kern, M.; Fehringer, M. 2007. The GOCE gravity mission: ESA's first core explorer. In *International GOCE User Workshop*, Frascati, Italy, ESA SP-627.

EIGEN-6C4 [interaktyvus] 2014. [žiūrėta 2017 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą: <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/documents/Foerste-et-al-EIGEN-6C4.pdf>

Ellmann, A. 2010. Considerations on the further improvements of regional geoid modeling over the Baltic countries. *Geodesy and Cartography*, 36(1), 5–15. doi:10.3846/gc.2010.01

Ellmann, A.; Jürgenson, H. 2008. Evaluation of a grace-based combined geopotential model over the Baltic countries. *Geodesy and Cartography*, 34(2), 35–44. doi:10.3846/1392-1541.2008.34.3544

Erol, B.; Sideris, M. G.; Celik, R. N. 2009. Comparison of Global Geopotential Models from the CHAMP and GRACE missions for Regional Geoid Modelling in Turkey. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 53, 419–441.

Farahani, H. H.; Ditmar, P.; Klees, R.; Liu, X.; Zhao, Q.; Guo, J. 2013. The static gravity field model DGM-1S from GRACE and GOCE data: computation, validation and an analysis of GOCE mission's added value. *Journal of Geodesy*, 87(9), 843–867. doi:10.1007/s00190-013-0650-3

FG5-X Absolute Gravimeter [interaktyvus] 2014. [žiūrėta 2017 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.microglacoste.com/fg5x.php>

First GRACE Follow-On Satellite Completes Construction [interaktyvus] 2016. [žiūrėta 2017 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą: <https://gracefo.jpl.nasa.gov/news/30/first-grace-follow-on-satellite-completes-construction/>

Gegout, P.; Cazenave, A. 1991. Geodynamic parameters derived from 7 years of laser data on Lageos. *Geophysical Research Letters*, 18(9), 1739–1742. doi:10.1029/91GL01801

Geodezija erdvės tryime. [interaktyvus] 2017. [žiūrėta 2017 m. vasario 11 d.]. http://www.aidai.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=8339:fi&catid=460:4-nr&Itemid=527

GOCE [interaktyvus] 2012. [žiūrėta 2017 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą: https://ilrs.cddis.eosdis.nasa.gov/missions/satellite_missions/current_missions/goce_general.html

GOCE in orbit [interaktyvus] 2009. [žiūrėta 2017 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2009/05/GOCE_in_orbit

GOCE mission milestones [interaktyvus] 2017. [žiūrėta 2017 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/GOCE/Milestones

Gravity [interaktyvus] 2017. [žiūrėta 2017 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: http://www.scintrexltd.com/internal.php?storeCategoryID=1&subcatID=9&s_page=Gravity

Groten, E. 2004. Fundamental Parameters and Current (2004) Best Estimates of the Parameters of Common Relevance to Astronomy, Geodesy, and Geodynamics. *Journal of Geodesy* Vol. 77, 724–731. doi:10.1007/s00190-003-0373-y

Hajj, G. A.; Ao, C. O.; Iijima, B. A.; Kuang, D.; Kursinski, E. R.; Mannucci, A. J.; Meehan, T. K.; Romans, L. J.; de la Torre Juarez, M.; Yunck, T. P. 2004. CHAMP and SAC-C atmospheric occultation results and intercomparisons. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres*, 109, D06109. doi:10.1029/2003JD003909.

Hirt, C.; Kuhn, M.; Featherstone, W. E.; Göttl, F. 2012. Topographic/isostatic evaluation of newgeneration GOCE gravity field models. *Journal of Geophysical Research*, 117(B5), B05407. doi:10.1029/2011JB008878

Janak, J.; Vaniček, P. 2005. Mean free-air gravity anomalies in the mountains. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 49, 31–42.

Jiang, Z.; Pálinkáš, V.; Francis, O.; Jousset, P.; Mäkinen, J.; Merlet, S.; Lequin, D. 2012. Relative Gravity Measurement Campaign during the 8th International Comparison of Absolute Gravimeters (2009). *Metrologia*, 49(1), 95–107. doi:10.1088/0026-1394/49/1/014

Klees, R.; Prutkin, I. 2010. The combination of GNSS-levelling data and gravimetric (quasi-) geoid heights in the presence of noise. *Journal of Geodesy*, 84(12), 731–749. doi:10.1007/s00190010-0406-2

Krynski, J. 2011. Polish National Report on geodesy 2007–2010. *International Union Of Geodesy And Geophysics*: Melbourne, Australia, 28 June–7 July, 2011.

Krynski, J. 2012. Gravimetry for geodesy and geodynamics – brief historical review. *Reports on Geodesy*, 92(1), 69–86.

Krynski, J.; Kloch-Glowka, G. 2009. Evaluation of the Performance of the New EGM2008 Global Geopotential Model over Poland. *Geoinformation Issues*, 1(1), 7–17.

Lacoste and Rhomberg gravity meter [interaktyvus] 2017. [žiūrėta 2017 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://sr-suematsu.com/jigyoku/profile/fig126/>

LAGEOS-1, -2 [interaktyvus] 2012. [žiūrėta 2017 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą: https://ilrs.cddis.eosdis.nasa.gov/missions/satellite_missions/current_missions/lag1_general.html

- Li, J. 2005. Integral formulas for computing the disturbing potential, gravity anomaly and the deflection of the vertical from the second-order radial gradient of the disturbing potential. *Journal of Geodesy*, 79(1–3), 64–70. doi:10.1007/s00190-005-0443-4
- Liker, M.; Lučić, M.; Barišić, B.; Repanic, M.; Grgić, I.; Bašić, T. 2010. Analysis of Recent Global Geopotential Models Over the Croatian Territory. *Gravity, Geoid and Earth Observation, International Association of Geodesy Symposia*, 135, 283–288. doi:10.1007/978-3-642-10634-7
- Lyszkowicz, A. 2002. Modern height determination techniques. *Geodezija ir Kartografija / Geodesy and Cartography*, XXVIII(3), 95–98.
- Mäkinen, J.; Petroškevičius, P. 2003. Lietuvoje atliktų absoliutinių sunkio matavimų analizė. *Geodezija ir kartografija*, XXIX t., nr. 4. ISSN 1392-1541. Vilnius: Technika, 99-105 p.
- Migliaccio F., Reguzzoni, M.; Sanso, F.; Tscherning, C.C.; Veicherts, M. 2010. GOCE data analysis: the space-wise approach and the first space-wise gravity field model. Presented at the *ESA Living Planet Symposium*, June 27 - July 2, Bergen, Norway, ISBN 978-92-9221-250-6, ESA SP-686.
- Min-Kang, Z.; Xiao-Chun, D.; Le-Le, C.; Qin, L.; Yao-Yao, X.; Zhong-Kun, H. 2015. Micro-Gal level gravity measurement with cold atom interferometry. *Chinese Physical Society*, 24(5). doi:10.1088/1674-1056/24/5/050401
- Najafi-Alamdary, M.; Ardalan, A.; Emadi, S. R. 2012. Ellipsoidal Neumann geodetic boundary values problem based on surface gravity disturbances: case study of Iran. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 56(2012). doi:10.1007/s11200-010-0098-3
- Navarro, I.; Acoleyen, K. V. 2007. $f(R)$ actions, cosmic acceleration and local tests of gravity. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2007(02), 022–022. doi:10.1088/14757516/2007/02/022
- Odalović, O.; Joksimović, D.; Grekulović, S.; Todorović-Drakul, M.; Popović, J. 2015. Evaluation of normal heights by the means of global navigation satellite systems and global geopotential model. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 95(4), 103-124. doi: 10.2298/GSGD1504103O
- Panet, I.; Flury, J.; Biancale, R.; Gruber, T.; Johannessen, J.; Broeke, M. R.; Thomas, M. 2013. Earth System Mass Transport Mission (e.motion): A Concept for Future Earth Gravity Field Measurements from Space. *Surveys in Geophysics*, 34, 141–163. doi:10.1007/s10712-012-9209-8
- Paršeliūnas, E.; Obuchovski, R.; Birvydienė, R.; Petroškevičius, P.; Zakarevičius, A.; Aksamitauskas, V. Č.; Rybokas, M. 2010. Some issues of the national gravimetric network development in Lithuania, *Journal of vibroengineering*. 12(4): 683–688. ISSN 1392–8716 (ISI Web of Science).

- Paršeliūnas, E.; Petroškevičius, P. 2007. Quality of Lithuanian National Gravimetric Network. *Harita Dergisi: Proceedings of the 1st International Symposium of the International Gravity Field Service*. Ankara : Harita Genel Komutanlığı, (18), 388–392.
- Pavlis, N. K.; Holmes, S. A.; Kenyon, S. C.; Factor, J. K. 2012. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008), *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117, B04406. doi: 10.1029/2011JB008916
- Petroškevičius, P. 1995. Gravimetrinės medžiagos Lietuvos teritorijos geoidui nustatyti parengimas. *Geodezija ir kartografija*, Nr. 2 (22). ISSN 1392–1541. Vilnius, 30–44 p.
- Petroškevičius, P. 2000. Sunkio anomalijų ir pagreičio redukavimas. *Geodezija ir kartografija*, XXVI t., Nr. 4. ISSN 1392–1541. Vilnius: Technika, 167-170 p.
- Petroškevičius, P. 2004. *Gravitacijos lauko poveikis geodeziniam matavimams*. Vilnius „Technika“. 290 p.
- Petroškevičius, P.; Paršeliūnas, E. 2003. Lietuvos atraminio gravimetrinio tinklo statistika. *Geodezija Ir Kartografija / Geodesy and Cartography*, XXIX(2), 31–39.
- Petroškevičius, P.; Paršeliūnas, E.; Birvydienė, R.; Popovas, D.; Obuchovski, R.; Papsienė, L. 2014. Analiza kakovosti nacionalne gravimetrične mreže v Litvi. *Geodetski vestnik*, 58(04), 746–755. doi:10.15292/geodetski-vestnik.2014.04.746-755
- Petroškevičius, P.; Paršeliūnas, E. 1999. Lietuvos gravimetrinio pagrindo tyrimas ir tobulinimas. *Geodezija ir kartografija*, XXV t. nr. 2. ISSN 1392–1541. Vilnius: Technika, 73-82 p.
- Petrovskaya, M. S.; Vershkov, A. N. 2011. Basic equations for constructing geopotential models from the gravitational potential derivatives of the first and second orders in the terrestrial reference frame. *Journal of Geodesy*. doi:10.1007/s00190-011-0535-2
- Reguzzoni, M.; Sansò, F. 2011. On the combination of high-resolution and satellite-only global gravity models. *Journal of Geodesy*, 86(6), 393–408. doi:10.1007/s00190-011-0526-3
- Ries, J.; Bettadpur, S.; Eanes, R.; Kang, Z.; Ko, U.; McCullough, C.; Nagel, P.; Pie, N.; Poole, S.; Richter, T.; Save, H.; Tapley, B. 2016. The Combined Gravity Model GGM05C. *GFZ Data Services*. <http://doi.org/10.5880/icgem.2016.002>
- Rummel, R.; Horwath, M.; Yi, W.; Albertella, A.; Bosch, W.; Haagmans, R. 2011. GOCE, Satellite Gravimetry and Antarctic Mass Transports. *Surveys in Geophysics*, 32, 643–657. doi:10.1007/s10712-011-9115-5
- Sasagawa, G. S.; Klopping, F.; Niebauer, T. M.; Faller, J. E.; Hilt, R. L. 1995. Intracomparison tests of the FG5 absolute gravity meters. *Geophysical Research Letters*, 22(4), 461–464. doi:10.1029/94GL03045

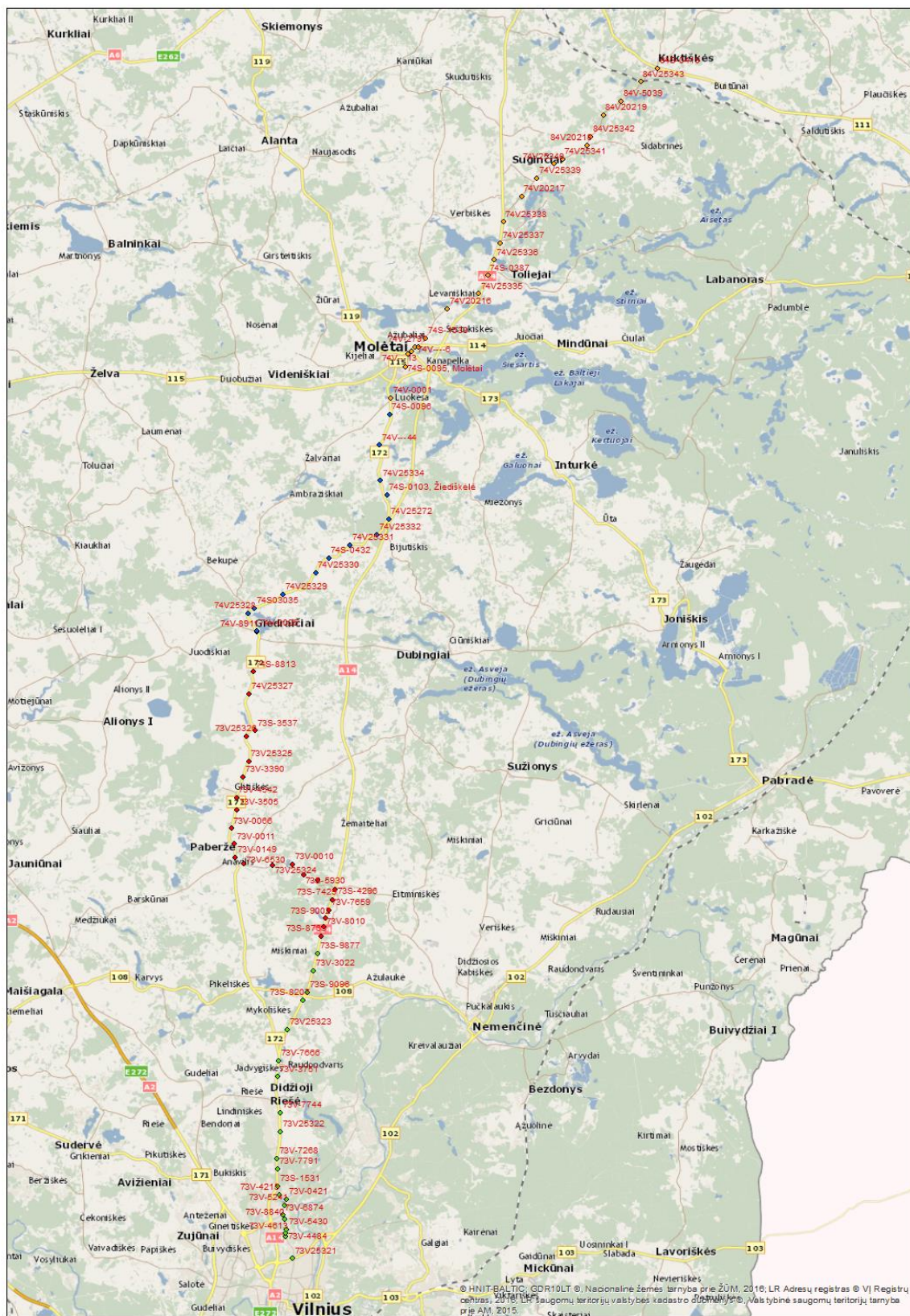
- Schall, J.; Eicker, A.; Kusche, J. 2014. The ITG-Goce02 gravity field model from GOCE orbit and gradiometer data based on the short arc approach. *Journal of Geodesy*, 88(4), 403–409. doi:10.1007/s00190-014-0691-2
- Skeivalas, J.; Petroškevičius, P.; Obuchovski, R.; Zigmantienė, E. 2008. Gravimetrinių tinklų išlyginimas, taikant skirtingus išlyginimo modelius. *Geodesy and Cartography*, 34(2), 45–49. doi:10.3846/1392-1541.2008.34.45
- Superconducting Gravity Sensors* [interaktyvus] 2015. [žiūrėta 2017 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.gwrinstruments.com/iosg-superconducting-gravity-meters.html>
- Swenson, S.; Wahr, J. 2002. Methods for inferring regional surface-mass anomalies from Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) measurements of time-variable gravity. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 107(B9), 2193. doi:10.1029/2001JB000576
- Šliaupa, S.; Dėnas, Ž.; Korabliova, L. 2005. Bouguer anomalijų žemėlapių patikslinimas GIS priemonėmis. *Geodezija Ir Kartografija / Geodesy and Cartography*, XXXI(2), 41–46.
- Šprlák, M.; Novák, P. 2014. Integral transformations of deflections of the vertical onto satellite-tosatellite tracking and gradiometric data. *Journal of Geodesy*, 88(7), 643–657. doi:10.1007/s00190014-0711-2
- Technical equipment* [interaktyvus] 2017. [žiūrėta 2017 m. sausio 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.geo.uni-hamburg.de/en/geophysik/forschung/ausstattung.html>
- Torge, W. 1989. *Gravimetry*. Berlin; New York: W. de Gruyter. 465 p.
- Tziavos, I. N.; Vergos, G. S.; Grigoriadis, V. N. 2009. Investigation of topographic reductions and aliasing effects on gravity and the geoid over Greece based on various digital terrain models. *Surveys in Geophysics*, 31(1), 23–67. doi:10.1007/s10712-009-9085-z
- Vajda, P.; Vaníček, P.; Novák, P.; Tenzer, R.; Ellmann, A.; Meurers, B. 2010. On Ambiguities in Definitions and Applications of Bouguer Gravity Anomaly. *Gravity, Geoid and Earth Observation, International Association of Geodesy Symposia*, 135, 19–24. doi:10.1007/978-3-642-10634-7
- Vaníček, P.; Tenzer, R.; Sjöberg, L. E.; Martinec, Z.; Featherstone, W. E. 2004. New views of the spherical Bouguer gravity anomaly. *Geophysical Journal International*, 159, 460–472. doi:10.1111/j.1365-246X.2004.02435.x
- Velicogna, I.; Sutterley, T. C.; van den Broeke, M. R. 2014. Regional acceleration in ice mass loss from Greenland and Antarctica using GRACE time-variable gravity data. *Geophysical Research Letters*, 119, 8130–8137. doi:10.1002/2014GL061052
- Vermeer, M.; Kollo, K. 2007. Geoid precision from limited-area gravimetric surveys. *Geodezija Ir Kartografija / Geodesy and Cartography*, XXXIII(1), 3–8.
- Vitushkin, L. 2011. Measurement standards in gravimetry. *Gyroscopy and Navigation*, 2(3), 184–191. doi:10.1134/S2075108711030126

- von Frese, R. R. B.; Potts, L. V.; Wells, S. B.; Leftwich, T. E.; Kim, H. R.; Kim, J. W.; Golynsky, A. V.; Hernandez, O.; Gaya-Piqué, L. R. 2009. GRACE gravity evidence for an impact basin in Wilkes Land, Antarctica. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10, Q02014. doi:10.1029/2008GC002149
- Wahr, J.; Molenaar, M.; Bryan, F. 1998. Time variability of the Earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 1103(B12), 30205–30229. doi:10.1029/98JB02844.
- Warburton, R. J.; Pillai, H.; Reineman, R. C. 2010. Initial Results With The New Gwr Igravtm Superconducting Gravity Meter. In *IAG SYMPOSIUM on Terrestrial Gravimetry: Static And Mobile Measurements (TG-SMM2010)*, 22-25 June 2010, Saint Petersburg, Russia. 1–10 p.
- Wei, Z.; Hou-Tse, H.; Min, Z.; Mei-Juan, Y. 2014. Precise Recovery of the Earth's Gravitational Field by Grace Follow-On Satellite Gravity Gradiometry Method. *Chinese Journal of Geophysics*, 57, 269–279. doi:10.1002/cjg2.20102
- Weigelt, M.; Dam, T.; Jäggi, A.; Prange, L.; Tourian, M. J.; Keller, W.; Sneeuw, N. 2013. Time-variable gravity signal in Greenland revealed by high-low satellite-to-satellite tracking, *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 118(7), 3848–3859. doi:10.1002/jgrb.50283
- Wilmes, H.; Wziontek, H.; Falk, R.; Ihde, J.; Bonvalot, S.; Forsberg, R.; Kenyon, S.; Vitushkin, L. 2010. Establishment of a Global Absolute Gravity Network. In *IAG SYMPOSIUM on Terrestrial Gravimetry: Static And Mobile Measurements (TG-SMM-2010)*, 22-25 June 2010, St. Petersburg, Russia. 1–18 p.
- Wziontek, H.; Falk, R.; Wilmes, H. 2015. The absolute gravity reference system and its contribution to geoid determination. In *EUREF SYMPOSIUM on Tutorial Height and Gravity*, 2 June 2015, Leipzig, Germany. 1–47 p.
- Zakarevičius, A.; Stanionis, A.; Levinskaite, D. 2010. Lietuvos teritorijos žemės plutos deformacijų ir seismotektoninio potencialo ryšys. *Geodesy and Cartography*, 36(4), 139–145. doi:10.3846/gc.2010.22
- Гравиметр CG-5 AutoGrav* [interaktyvus] 2016. [žiūrėta 2017 m. sausio 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://geocentr-msk.ru/content/view/441/137>
- Маркович, К. И. 2015. Анализ новейшей глобальной гравитационной модели Земли EIGEN-6С4 по геодезическим и гравиметрическим данным применительно к Полоцкому геодинамическому профилю. *Вестник Полоцкого государственного университета, Серия F*, 8, 190-193, УДК 528.21
- Огородова, Л. В. 2010. *Нормальное поле и определение аномального потенциала*, Москва: МИИГАиК, 105 p.
- Юзефович, А. П.; Огородова, Л. В. 1980. *Гравиметрия*. Москва: Недра, 320 p.

PRIEDAI

A priedas. Geodezinio vertikaliojo tinklo 4–2 (Vilnius–Molėtai–Kuktiškės) linijos schema.

Schemoje žaliais taškais vaizduojami punktai matuoti balandžio 23 dieną, raudonais – liepos 4 dieną, mėlynais – liepos 6 dieną, oranžiniais – liepos 8 dieną matuoti taškai.



B priedas. 4–2 linijos punktų sunkio pagreičio reikšmių ir jų vidutinių kvadratinių paklaidų lentelė

Eil. nr.	Punkto kodas	g, mGal	m _g , mGal
2015-04-23			
1	421	981458,412	0,004
2	1531	981455,018	0,004
3	3022	981472,767	0,004
4	3751	981465,369	0,004
5	4215	981456,216	0,004
6	4484	981458,8	0,005
7	4613	981456,535	0,005
8	5241	981456,995	0,005
9	5430	981455,333	0,005
10	6874	981455,075	0,005
11	7268	981456,134	0,004
12	7666	981465,644	0,004
13	7744	981463,929	0,004
14	7791	981455,376	0,004
15	8207	981471,469	0,004
16	8840	981453,22	0,005
17	9096	981471,524	0,004
18	9877	981473,884	0,004
19	25321	981459,617	0,006
20	25322	981461,133	0,004
21	25323	981466,683	0,004
2015-08-04			
22	149	981469,064	0,003
22	312	981464,844	0,004
24	3390	981471,11	0,003
25	3505	981471,03	0,003
26	3537	981469,941	0,003
27	4296	981473,275	0,004
28	4542	981472,415	0,003
29	5930	981470,202	0,004
30	6530	981472,276	0,003
31	7429	981473,335	0,004
32	7659	981474,877	0,004
33	8010	981475,401	0,005
34	8765	981475,433	0,005
35	8813	981473,017	0,004
36	8911	981474,153	0,004
37	9002	981476,081	0,004
38	25324	981468,171	0,003
39	25325	981471,423	0,003

B priedo lentelės tęsinys

Eil. nr.	Punkto kodas	g, mGal	m _g , mGal
2015-08-04			
40	25326	981469,56	0,003
41	25327	981473,622	0,003
42	30010	981467,648	0,004
43	30011	981470,656	0,003
44	30066	981470,117	0,003
2015-08-06			
45	44	981478,558	0,002
46	96	981474,712	0,003
47	432	981463,803	0,002
48	3035	981474,817	0,003
49	25272	981470,263	0,002
50	25328	981475,161	0,003
51	25329	981469,753	0,002
52	25330	981465,534	0,002
53	25331	981464,146	0,002
54	25332	981468,608	0,002
55	25334	981474,454	0,002
56	40025	981473,701	0,003
57	40103	981466,083	0,002
2015-08-07			
58	95	981477,053	0,003
59	387	981477,818	0,002
60	413	981480,044	0,003
61	419	981484,804	0,003
62	746	981477,771	0,003
63	1033	981478,664	0,002
64	2797	981479,696	0,002
65	4080	981480,189	0,003
66	5039	981481,761	0,003
67	20216	981480,015	0,002
68	20217	981475,233	0,002
69	20218	981476,764	0,003
70	20219	981479,722	0,003
71	25335	981476,19	0,002
72	25336	981482,112	0,002
73	25337	981481,785	0,002
74	25338	981476,471	0,002
75	25339	981477,454	0,002
76	25340	981479,052	0,003
77	25341	981478,089	0,003
78	25342	981476,309	0,003
79	25343	981484,874	0,003
80	70001	981481,311	0,003

C priedas. 4–2 linijos sunkio pagreičių Žemės paviršiuje, mišriosios anomalijos laisvame ore ir Bouguer anomalijų reikšmių lentelė

C.1 lentelėje įvesti pažymėjimai: B – LKS 94 sistemos geodezinė platuma, metrais; Hg – gravimetro normalinis aukštis; Hz – Žemės paviršiaus aukštis; g34 – sunkio pagreitis gravimetro aukštyje; gz – sunkio pagreitis Žemės paviršiuje; gg – sunkio pagreičio gravimetro aukštyje ir žemės lygyje punkte skirtumas; dglo – mišrioji anomalija laisvame ore (Žemės paviršiuje); dgB80 – Bouguer anomalija (Žemės paviršiuje), apskaičiuota su Žemės plutos tankiu lygiu $2,67 \text{ g/cm}^3$.

Kodas	B	Hg	Hz	g34	gz	gg	dglo	dgB80
25321	54,71503	125,376	125,38	981459,617	981459,617	0	16,034	1,999
4484	54,7278	132,602	132,6	981458,8	981458,801	-1	16,352	1,509
4613	54,72949	141,598	141,6	981456,535	981456,535	0	16,717	0,867
5430	54,73155	150,606	150,61	981455,333	981455,333	0	18,117	1,258
8840	54,73733	163,452	163,45	981453,22	981453,221	-1	19,47	1,174
6874	54,74031	157,47	157,47	981455,075	981455,075	0	19,226	1,599
5241	54,74551	151,414	151,41	981456,995	981456,996	-1	18,834	1,886
421	54,74908	148,461	148,46	981458,412	981458,412	0	19,036	2,417
4215	54,75158	156,871	156,87	981456,216	981456,216	0	19,22	1,660
1531	54,75636	164,971	164,91	981455,018	981455,037	-19	20,111	1,651
7791	54,76645	167,547	167,48	981455,376	981455,397	-21	20,402	1,654
7268	54,77239	166,346	166,28	981456,134	981456,154	-20	20,282	1,668
25322	54,78754	153,23	153,23	981461,133	981461,133	0	19,942	2,789
7744	54,79839	146,856	146,86	981463,929	981463,929	0	19,847	3,407
3751	54,8191	151,639	151,57	981465,369	981465,39	-21	20,993	4,026
7666	54,82812	155,425	155,43	981465,644	981465,644	0	21,666	4,267
25323	54,84593	163,359	163,36	981466,683	981466,683	0	23,631	5,344
8207	54,86237	160,246	160,18	981471,469	981471,489	-20	26,053	8,123
9096	54,86705	163,443	163,38	981471,524	981471,543	-19	26,695	8,406
3022	54,87925	165,716	165,65	981472,767	981472,787	-20	27,597	9,055
9877	54,88908	166,392	166,32	981473,884	981473,906	-22	28,084	9,466
8765	54,899	162,087	162,01	981475,433	981475,457	-24	27,46	9,325
8010	54,90402	164,503	164,8	981475,401	981475,376	25	27,811	9,363
9002	54,90893	162,043	161,97	981476,081	981476,104	-23	27,247	9,116
7659	54,9137	170,732	170,66	981474,877	981474,899	-22	28,316	9,212
7429	54,91963	178,845	178,77	981473,335	981473,358	-23	28,77	8,759
4296	54,92553	180,388	180,31	981473,275	981473,299	-24	28,682	8,499
312	54,93094	206,252	206,25	981464,844	981464,845	-1	27,766	4,678
5930	54,93398	177,363	177,29	981470,202	981470,225	-23	23,957	4,111
30010	54,94024	171,453	171,45	981467,648	981467,649	-1	19,047	-0,145
25324	54,93967	170,876	170,88	981468,171	981468,171	0	19,441	0,313
6530	54,94115	142,787	142,71	981472,276	981472,3	-24	14,758	-1,217
149	54,94485	153,515	153,52	981469,064	981469,064	0	14,54	-2,645
30011	54,95246	145,939	145,94	981470,656	981470,656	0	13,146	-3,191
30066	54,96136	143,621	143,62	981470,117	981470,117	0	11,133	-4,944
3505	54,97175	141,032	140,96	981471,03	981471,052	-22	10,362	-5,417
4542	54,97891	135,598	135,6	981472,415	981472,415	0	9,462	-5,717
3390	54,99064	144,699	144,62	981471,11	981471,134	-24	9,964	-6,225

C priedo lentelės tęsinys

Kodas	B	Hg	Hz	g34	gz	gg	dglo	dgB80
25325	54,99948	144,656	144,58	981471,423	981471,446	-23	9,511	-6,674
25326	55,01371	152,405	152,41	981469,56	981469,56	0	8,826	-8,235
3537	55,0169	153,873	153,8	981469,941	981469,964	-23	9,387	-7,829
25327	55,03804	136,785	136,79	981473,622	981473,622	0	6,000	-9,313
8813	55,05054	141,682	141,61	981473,017	981473,039	-22	5,84	-10,012
8911	55,07342	136,793	136,8	981474,153	981474,152	1	3,522	-11,792
40025	55,07395	138,937	138,94	981473,701	981473,701	0	3,685	-11,868
25328	55,08409	131,391	131,39	981475,161	981475,161	0	1,954	-12,753
3035	55,08685	136,077	136	981474,817	981474,841	-24	2,821	-12,403
25329	55,09436	164,403	164,4	981469,753	981469,754	-1	5,852	-12,551
25330	55,10632	188,319	188,32	981465,534	981465,534	0	7,991	-13,090
432	55,11464	199,652	199,58	981463,803	981463,825	-22	9,046	-13,295
25331	55,12185	199,481	199,48	981464,146	981464,146	0	8,723	-13,607
25332	55,12758	184,456	184,46	981468,608	981468,608	0	8,065	-12,583
25272	55,13623	181,728	181,73	981470,263	981470,263	0	8,143	-12,199
40103	55,1503	202,289	202,35	981466,083	981466,078	5	9,12	-13,531
25334	55,15831	164,743	164,74	981474,454	981474,455	-1	5,22	-13,221
44	55,17872	157,555	157,62	981478,558	981478,553	5	5,387	-12,257
96	55,19622	181,375	181,3	981474,712	981474,735	-23	7,383	-12,911
70001	55,20555	159,944	159,87	981481,311	981481,334	-23	6,582	-11,314
95	55,22306	174,291	174,22	981477,053	981477,075	-22	5,26	-14,242
4080	55,23038	163,726	163,73	981480,189	981480,189	0	4,518	-13,810
413	55,23198	160,207	160,21	981480,044	981480,044	0	3,151	-14,782
746	55,23415	169,819	169,82	981477,771	981477,771	0	3,658	-15,352
2797	55,23415	161,055	161,06	981479,696	981479,696	0	2,881	-15,148
1033	55,2391	165,694	165,62	981478,664	981478,687	-23	2,858	-15,682
20216	55,25572	152,273	152,2	981480,015	981480,038	-23	-1,341	-18,378
25335	55,26388	163,473	163,47	981476,19	981476,191	-1	-2,405	-20,704
387	55,27421	157,843	157,77	981477,818	981477,841	-23	-3,39	-21,051
25336	55,28305	138,166	138,17	981482,112	981482,112	0	-5,913	-21,380
25337	55,29252	137,249	137,25	981481,785	981481,785	0	-7,327	-22,691
25338	55,30467	163,324	163,32	981476,471	981476,472	-1	-5,632	-23,914
20217	55,31892	171,835	171,76	981475,233	981475,256	-23	-5,455	-24,682
25339	55,32926	162,071	162,07	981477,454	981477,454	0	-7,122	-25,264
25340	55,33711	159,595	159,6	981479,052	981479,052	0	-6,952	-24,817
25341	55,33958	165,213	165,21	981478,089	981478,09	-1	-6,393	-24,887
20218	55,34747	154,053	153,98	981476,764	981476,787	-23	-11,83	-29,065
25342	55,35218	180,894	180,89	981476,309	981476,31	-1	-4,407	-24,655
20219	55,36442	165,646	165,57	981479,722	981479,745	-23	-6,733	-25,267
5039	55,37203	161,86	161,79	981481,761	981481,783	-22	-6,507	-24,618
25343	55,38298	161,464	161,46	981484,874	981484,875	-1	-4,444	-22,517
419	55,39051	169,504	169,43	981484,804	981484,827	-23	-2,673	-21,639

D priedas. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš skaitmeninio Lietuvos 1:200 000 mastelio Bouguer anomalijų žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių ir jų skirtumų linijos punktuose lentelė

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal		Skirtumas, mGal
	Išmatuota	Apskaičiuota	
73V25321	1,999	1,351	0,648
73V-4484	1,509	0,639	0,870
73V-4613	0,867	0,639	0,228
73V-5430	1,258	0,639	0,619
73V-8840	1,174	1,205	-0,031
73V-6874	1,599	1,205	0,394
73V-5241	1,886	1,273	0,613
73V-0421	2,417	1,273	1,144
73V-4215	1,660	1,273	0,387
73S-1531	1,651	1,872	-0,221
73V-7791	1,654	1,813	-0,159
73V-7268	1,668	2,991	-1,323
73V25322	2,789	2,969	-0,180
73V-7744	3,407	3,333	0,074
73V-3751	4,026	3,726	0,300
73V-7666	4,267	3,860	0,407
73V25323	5,344	4,196	1,148
73S-8207	8,123	6,808	1,315
73S-9096	8,406	8,301	0,105
73V-3022	9,055	7,559	1,496
73S-9877	9,466	7,332	2,134
73S-8765	9,325	9,616	-0,291
73V-8010	9,363	9,616	-0,253
73S-9002	9,116	9,457	-0,341
73V-7659	9,212	9,457	-0,245
73S-7429	8,759	8,807	-0,048
73S-4296	8,499	6,789	1,710
73S-0312	4,678	5,752	-1,074
73S-5930	4,111	2,398	1,713
73V-0010	-0,145	2,398	-2,543
73V25324	0,313	1,354	-1,041
73V-6530	-1,217	-1,768	0,551
73V-0149	-2,645	-3,940	1,295
73V-0011	-3,191	-4,492	1,301
73V-0066	-4,944	-5,369	0,425
73V-3505	-5,417	-6,184	0,767
73V-4542	-5,717	-6,517	0,800
73V-3390	-6,225	-5,837	-0,388
73V25325	-6,674	-6,827	0,153
73V25326	-8,235	-7,937	-0,298
73S-3537	-7,829	-7,937	0,108
74V25327	-9,313	-9,764	0,451

D priedo lentelės tęsinys

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal		Skirtumas, mGal
	Išmatuota	Apskaičiuota	
74S-8813	-10,012	-10,362	0,350
74V-8911	-11,792	-11,545	-0,247
74V-0025	-11,868	-11,545	-0,323
74V25328	-12,753	-12,715	-0,038
74S03035	-12,403	-13,054	0,651
74V25329	-12,551	-13,424	0,873
74V25330	-13,090	-12,976	-0,114
74S-0432	-13,295	-13,038	-0,257
74V25331	-13,607	-13,279	-0,328
74V25332	-12,583	-11,903	-0,680
74V25272	-12,199	-11,838	-0,361
74S-0103	-13,531	-12,559	-0,972
74V25334	-13,221	-13,069	-0,152
74V---44	-12,257	-13,228	0,971
74S-0096	-12,911	-13,837	0,926
74V-0001	-11,314	-14,254	2,940
74S-0095	-14,242	-15,445	1,203
74V-4080	-13,810	-16,024	2,214
74V---13	-14,782	-16,024	1,242
74V----6	-15,352	-16,326	0,974
74V-2797	-15,148	-16,326	1,178
74S-1033	-15,682	-17,092	1,410
74V20216	-18,378	-18,809	0,431
74V25335	-20,704	-19,831	-0,873
74S-0387	-21,051	-20,809	-0,242
74V25336	-21,380	-21,876	0,496
74V25337	-22,691	-22,885	0,194
74V25338	-23,914	-23,500	-0,414
74V20217	-24,682	-24,726	0,044
74V25339	-25,264	-25,266	0,002
74V25340	-24,817	-25,447	0,630
74V25341	-24,887	-25,368	0,481
84V20218	-29,065	-25,128	-3,937
84V25342	-24,655	-24,595	-0,060
84V20219	-25,267	-24,025	-1,242
84V-5039	-24,618	-23,072	-1,546
84V25343	-22,517	-21,954	-0,563
84S-0419	-21,639	-21,041	-0,598

E priedas. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš skaitmeninio Lietuvos gravimetrinio pagrindo Bouguer anomalijų žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių ir jų skirtumų linijos punktuose lentelė

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal		Skirtumas, mGal
	Išmatuota	Apskaičiuota	
73V25321	1,999	1,714	0,285
73V-4484	1,509	1,510	-0,001
73V-4613	0,867	1,510	-0,643
73V-5430	1,258	2,426	-1,168
73V-8840	1,174	1,817	-0,643
73V-6874	1,599	1,817	-0,218
73V-5241	1,886	2,050	-0,164
73V-0421	2,417	2,980	-0,563
73V-4215	1,660	2,050	-0,390
73S-1531	1,651	2,264	-0,613
73V-7791	1,654	2,480	-0,826
73V-7268	1,668	2,508	-0,840
73V25322	2,789	2,981	-0,192
73V-7744	3,407	3,225	0,182
73V-3751	4,026	3,423	0,603
73V-7666	4,267	3,298	0,969
73V25323	5,344	4,570	0,774
73S-8207	8,123	6,062	2,061
73S-9096	8,406	6,062	2,344
73V-3022	9,055	5,813	3,242
73S-9877	9,466	5,674	3,792
73S-8765	9,325	7,246	2,079
73V-8010	9,363	6,936	2,427
73S-9002	9,116	6,936	2,180
73V-7659	9,212	6,219	2,993
73S-7429	8,759	6,219	2,540
73S-4296	8,499	6,783	1,716
73S-0312	4,678	3,388	1,290
73S-5930	4,111	3,388	0,723
73V-0010	-0,145	1,632	-1,777
73V25324	0,313	1,004	-0,691
73V-6530	-1,217	-1,940	0,723
73V-0149	-2,645	-2,981	0,336
73V-0011	-3,191	-3,570	0,379
73V-0066	-4,944	-4,209	-0,735
73V-3505	-5,417	-4,665	-0,752
73V-4542	-5,717	-5,217	-0,500
73V-3390	-6,225	-4,898	-1,327
73V25325	-6,674	-5,593	-1,081
73V25326	-8,235	-7,208	-1,027
73S-3537	-7,829	-6,232	-1,597

E priedo lentelės tęsinys

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal		Skirtumas, mGal
	Išmatuota	Apskaičiuota	
74V25327	-9,313	-8,497	-0,816
74S-8813	-10,012	-9,706	-0,306
74V-8911	-11,792	-10,357	-1,435
74V-0025	-11,868	-10,357	-1,511
74V25328	-12,753	-11,561	-1,192
74S03035	-12,403	-11,534	-0,869
74V25329	-12,551	-11,573	-0,978
74V25330	-13,090	-11,371	-1,719
74S-0432	-13,295	-11,454	-1,841
74V25331	-13,607	-10,994	-2,613
74V25332	-12,583	-10,720	-1,863
74V25272	-12,199	-10,842	-1,357
74S-0103	-13,531	-12,012	-1,519
74V25334	-13,221	-13,126	-0,095
74V---44	-12,257	-14,028	1,771
74S-0096	-12,911	-14,794	1,883
74V-0001	-11,314	-15,184	3,870
74S-0095	-14,242	-15,937	1,695
74V-4080	-13,810	-16,386	2,576
74V---13	-14,782	-16,386	1,604
74V----6	-15,352	-16,377	1,025
74V-2797	-15,148	-16,377	1,229
74S-1033	-15,682	-16,843	1,161
74V20216	-18,378	-18,017	-0,361
74V25335	-20,704	-18,674	-2,030
74S-0387	-21,051	-19,090	-1,961
74V25336	-21,380	-19,767	-1,613
74V25337	-22,691	-20,177	-2,514
74V25338	-23,914	-20,566	-3,348
74V20217	-24,682	-21,254	-3,428
74V25339	-25,264	-21,592	-3,672
74V25340	-24,817	-21,815	-3,002
74V25341	-24,887	-21,683	-3,204
84V20218	-29,065	-21,471	-7,594
84V25342	-24,655	-21,342	-3,313
84V20219	-25,267	-21,296	-3,971
84V-5039	-24,618	-21,056	-3,562
84V25343	-22,517	-20,709	-1,808
84S-0419	-21,639	-20,642	-0,997

F priedas. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš pasaulinių gravitacinių laukų EGM2008, EIGEN-6C4 ir GGM05C modelių skaičiuoklių Bouguer anomalijų ir jų skirtumų linijos punktuose reikšmių lentelė

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal				Skirtumas tarp išmatuotos ir atsiųstos, mGal		
	Išmatuota	Atsiųsta iš tinklalapio			EGM2008	EIGEN-6C4	GGM05C
		EGM2008	EIGEN-6C4	GGM05C			
73V25321	1,999	0,730	0,745	-3,880	1,269	1,254	5,879
73V-4484	1,509	0,259	0,28	-3,991	1,250	1,229	5,500
73V-4613	0,867	0,310	0,333	-4,002	0,557	0,534	4,869
73V-5430	1,258	0,396	0,416	-4,015	0,862	0,842	5,273
73V-8840	1,174	0,361	0,386	-4,064	0,813	0,788	5,238
73V-6874	1,599	0,323	0,346	-4,092	1,276	1,253	5,691
73V-5241	1,886	0,633	0,658	-4,127	1,253	1,228	6,013
73V-0421	2,417	0,949	0,974	-4,147	1,468	1,443	6,564
73V-4215	1,66	0,494	0,521	-4,192	1,166	1,139	5,852
73S-1531	1,651	0,644	0,694	-4,233	1,007	0,957	5,884
73V-7791	1,654	1,261	1,292	-4,317	0,393	0,362	5,971
73V-7268	1,668	1,636	1,67	-4,369	0,032	-0,002	6,037
73V25322	2,789	3,164	3,198	-4,490	-0,375	-0,409	7,279
73V-7744	3,407	4,010	4,038	-4,591	-0,603	-0,631	7,998
73V-3751	4,026	5,131	5,163	-4,800	-1,105	-1,137	8,826
73V-7666	4,267	5,611	5,642	-4,889	-1,344	-1,375	9,156
73V25323	5,344	6,849	6,879	-5,054	-1,505	-1,535	10,398
73S-8207	8,123	8,240	8,28	-5,203	-0,117	-0,157	13,326
73S-9096	8,406	8,579	8,591	-5,248	-0,173	-0,185	13,654
73V-3022	9,055	8,566	8,579	-5,386	0,489	0,476	14,441
73S-9877	9,466	8,325	7,486	-5,505	1,141	1,98	14,971
73S-8765	9,325	7,922	7,937	-5,630	1,403	1,388	14,955
73V-8010	9,363	7,814	7,825	-5,694	1,549	1,538	15,057
73S-9002	9,116	7,556	7,568	-5,761	1,560	1,548	14,877
73V-7659	9,212	7,486	7,496	-5,823	1,726	1,716	15,035
73S-7429	8,759	7,326	7,336	-5,904	1,433	1,423	14,663
73S-4296	8,499	7,075	7,082	-5,988	1,424	1,417	14,487
73S-0312	4,678	4,760	4,789	-6,092	-0,082	-0,111	10,770
73S-5930	4,111	3,070	3,116	-6,157	1,041	0,995	10,268
73V-0010	-0,145	1,489	1,551	-6,265	-1,634	-1,696	6,120
73V25324	0,313	-0,404	-0,322	-6,284	0,717	0,635	6,597
73V-6530	-1,217	-3,125	-3,012	-6,348	1,908	1,795	5,131
73V-0149	-2,645	-4,078	-3,95	-6,412	1,433	1,305	3,767
73V-0011	-3,191	-4,557	-4,428	-6,520	1,366	1,237	3,329
73V-0066	-4,944	-5,267	-5,13	-6,652	0,323	0,186	1,708
73V-3505	-5,417	-5,354	-5,219	-6,800	-0,063	-0,198	1,383
73V-3390	-6,225	-5,950	-5,815	-7,087	-0,275	-0,41	0,862
73V-4542	-5,717	-5,754	-5,613	-6,908	0,037	-0,104	1,191

F priedo lentelės tęsinys

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal				Skirtumas tarp išmatuotos ir atsiųstos, mGal		
	Išmatuota	Atsiųsta iš tinklalapio					
		EGM2008	EIGEN-6C4	GGM05C	EGM2008	EIGEN-6C4	GGM05C
73V25325	-6,674	-6,159	-6,024	-7,227	-0,515	-0,65	0,553
73V25326	-8,235	-7,425	-7,281	-7,464	-0,810	-0,954	-0,771
73S-3537	-7,829	-7,147	-7,008	-7,518	-0,682	-0,821	-0,311
74V25327	-9,313	-9,429	-9,274	-7,887	0,116	-0,039	-1,426
74S-8813	-10,012	-10,400	-10,24	-8,117	0,388	0,228	-1,895
74V-8911	-11,792	-12,225	-12,051	-8,554	0,433	0,259	-3,238
74V-0025	-11,868	-12,262	-12,088	-8,565	0,394	0,22	-3,303
74V25328	-12,753	-13,080	-12,89	-8,749	0,327	0,137	-4,004
74S03035	-12,403	-13,118	-12,932	-8,815	0,715	0,529	-3,588
74V25329	-12,551	-13,182	-13,022	-9,019	0,631	0,471	-3,532
74V25330	-13,09	-13,513	-13,382	-9,339	0,423	0,292	-3,751
74S-0432	-13,295	-13,709	-13,586	-9,554	0,414	0,291	-3,741
74V25331	-13,607	-13,671	-13,569	-9,771	0,064	-0,038	-3,836
74V25332	-12,583	-13,362	-13,286	-9,978	0,779	0,703	-2,605
74V25272	-12,199	-13,209	-13,136	-10,219	1,010	0,937	-1,980
74S-0103	-13,531	-13,184	-13,093	-10,558	-0,347	-0,438	-2,973
74V25334	-13,221	-13,198	-13,091	-10,733	-0,023	-0,13	-2,488
74V---44	-12,257	-13,079	-12,949	-11,241	0,822	0,692	-1,016
74S-0096	-12,911	-13,246	-13,11	-11,724	0,335	0,199	-1,187
74V-0001	-11,314	-13,534	-13,392	-11,970	2,220	2,078	0,656
74S-0095	-14,242	-14,535	-14,397	-12,485	0,293	0,155	-1,757
74V-4080	-13,81	-15,082	-14,942	-12,690	1,272	1,132	-1,120
74V---13	-14,782	-15,264	-15,127	-12,748	0,482	0,345	-2,034
74V----6	-15,352	-15,495	-15,362	-12,820	0,143	0,01	-2,532
74V-2797	-15,148	-15,569	-15,441	-12,837	0,421	0,293	-2,311
74S-1033	-15,682	-16,135	-16,012	-12,998	0,453	0,33	-2,684
74V20216	-18,378	-18,309	-18,204	-13,542	-0,069	-0,174	-4,836
74V25335	-20,704	-20,080	-20,009	-13,906	-0,624	-0,695	-6,798
74S-0387	-21,051	-21,327	-21,26	-14,227	0,276	0,209	-6,824
74V25336	-21,38	-22,288	-22,22	-14,495	0,908	0,84	-6,885
74V25337	-22,691	-23,221	-23,151	-14,778	0,530	0,46	-7,913
74V25338	-23,914	-24,240	-24,159	-15,119	0,326	0,245	-8,795
74V20217	-24,682	-25,270	-25,189	-15,582	0,588	0,507	-9,100
74V25339	-25,264	-25,699	-25,617	-15,922	0,435	0,353	-9,342
74V25340	-24,817	-25,737	-25,66	-16,203	0,920	0,843	-8,614
74V25341	-24,887	-25,641	-25,568	-16,305	0,754	0,681	-8,582
84V20218	-29,065	-25,228	-25,167	-16,613	-3,837	-3,898	-12,452
84V25342	-24,655	-25,169	-25,106	-16,746	0,514	0,451	-7,909
84V20219	-25,267	-24,730	-24,669	-17,099	-0,537	-0,598	-8,168
84V-5039	-24,618	-24,012	-23,963	-17,353	-0,606	-0,655	-7,265
84V25343	-22,517	-22,898	-22,864	-17,683	0,381	0,347	-4,834
84S-0419	-21,639	-21,849	-21,828	-17,915	0,210	0,189	-3,724

G priedas. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš skaitmeninio EGM2008 modelio žemėlapiu Bouguer anomalijų reikšmių ir jų skirtumų punktuose lentelė

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal		Skirtumas, mGal
	Išmatuota	Apskaičiuota	
73V25321	1,999	0,320	1,679
73V-4484	1,509	0,378	1,131
73V-4613	0,867	0,378	0,489
73V-5430	1,258	0,378	0,880
73V-8840	1,174	0,528	0,646
73V-6874	1,599	0,528	1,071
73V-5241	1,886	0,817	1,069
73V-0421	2,417	0,817	1,600
73V-4215	1,660	0,817	0,843
73S-1531	1,651	0,168	1,483
73V-7791	1,654	0,647	1,007
73V-7268	1,668	1,198	0,470
73V25322	2,789	3,952	-1,163
73V-7744	3,407	4,769	-1,362
73V-3751	4,026	4,304	-0,278
73V-7666	4,267	6,269	-2,002
73V25323	5,344	6,546	-1,202
73S-8207	8,123	7,892	0,231
73S-9096	8,406	7,892	0,514
73V-3022	9,055	8,883	0,172
73S-9877	9,466	7,958	1,508
73S-8765	9,325	7,461	1,864
73V-8010	9,363	6,734	2,629
73S-9002	9,116	6,734	2,382
73V-7659	9,212	7,962	1,250
73S-7429	8,759	7,962	0,797
73S-4296	8,499	6,907	1,592
73S-0312	4,678	4,706	-0,028
73S-5930	4,111	3,055	1,056
73V-0010	-0,145	0,600	-0,745
73V25324	0,313	-0,204	0,517
73V-6530	-1,217	-3,821	2,604
73V-0149	-2,645	-3,821	1,176
73V-0011	-3,191	-4,387	1,196
73V-0066	-4,944	-4,825	-0,119
73V-3505	-5,417	-5,158	-0,259
73V-4542	-5,717	-5,629	-0,088
73V-3390	-6,225	-6,132	-0,093
73V25325	-6,674	-5,656	-1,018
73V25326	-8,235	-8,276	0,041
73S-3537	-7,829	-7,315	-0,514
74V25327	-9,313	-8,918	-0,395

G priedo lentelės tęsinys

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal		Skirtumas, mGal
	Išmatuota	Apskaičiuota	
74S-8813	-10,012	-10,585	0,573
74V-8911	-11,792	-12,054	0,262
74V-0025	-11,868	-12,054	0,186
74V25328	-12,753	-12,628	-0,125
74S03035	-12,403	-13,287	0,884
74V25329	-12,551	-13,332	0,781
74V25330	-13,090	-13,494	0,404
74S-0432	-13,295	-13,650	0,355
74V25331	-13,607	-13,672	0,065
74V25332	-12,583	-13,192	0,609
74V25272	-12,199	-13,316	1,117
74S-0103	-13,531	-13,285	-0,246
74V25334	-13,221	-13,209	-0,012
74V---44	-12,257	-13,087	0,830
74S-0096	-12,911	-13,255	0,344
74V-0001	-11,314	-13,529	2,215
74S-0095	-14,242	-14,550	0,308
74V-4080	-13,810	-15,207	1,397
74V---13	-14,782	-15,207	0,425
74V----6	-15,352	-15,207	-0,145
74V-2797	-15,148	-15,207	0,059
74S-1033	-15,682	-16,206	0,524
74V20216	-18,378	-18,481	0,103
74V25335	-20,704	-20,328	-0,376
74S-0387	-21,051	-21,525	0,474
74V25336	-21,380	-22,266	0,886
74V25337	-22,691	-23,330	0,639
74V25338	-23,914	-23,968	0,054
74V20217	-24,682	-25,191	0,509
74V25339	-25,264	-25,576	0,312
74V25340	-24,817	-25,713	0,896
74V25341	-24,887	-25,713	0,826
84V20218	-29,065	-25,210	-3,855
84V25342	-24,655	-25,266	0,611
84V20219	-25,267	-24,769	-0,498
84V-5039	-24,618	-24,111	-0,507
84V25343	-22,517	-23,241	0,724
84S-0419	-21,639	-22,233	0,594

H priedas. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš skaitmeninio EIGEN-6C4 modelio Bouguer anomalijų reikšmių ir jų skirtumų linijos punktuose lentelė

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal		Skirtumas, mGal
	Išmatuota	Apskaičiuota	
73V25321	1,999	0,335	1,664
73V-4484	1,509	0,399	1,110
73V-4613	0,867	0,399	0,468
73V-5430	1,258	0,399	0,859
73V-8840	1,174	0,552	0,622
73V-6874	1,599	0,552	1,047
73V-5241	1,886	0,842	1,044
73V-0421	2,417	0,842	1,575
73V-4215	1,660	0,842	0,818
73S-1531	1,651	0,204	1,447
73V-7791	1,654	0,683	0,971
73V-7268	1,668	1,233	0,435
73V25322	2,789	3,979	-1,190
73V-7744	3,407	4,797	-1,390
73V-3751	4,026	4,338	-0,312
73V-7666	4,267	6,295	-2,028
73V25323	5,344	6,571	-1,227
73S-8207	8,123	7,909	0,214
73S-9096	8,406	7,909	0,497
73V-3022	9,055	8,893	0,162
73S-9877	9,466	7,967	1,499
73S-8765	9,325	7,475	1,850
73V-8010	9,363	6,752	2,611
73S-9002	9,116	6,752	2,364
73V-7659	9,212	7,972	1,240
73S-7429	8,759	7,972	0,787
73S-4296	8,499	6,919	1,580
73S-0312	4,678	4,739	-0,061
73S-5930	4,111	3,104	1,007
73V-0010	-0,145	0,671	-0,816
73V25324	0,313	-0,121	0,434
73V-6530	-1,217	-3,700	2,483
73V-0149	-2,645	-3,700	1,055
73V-0011	-3,191	-4,262	1,071
73V-0066	-4,944	-4,696	-0,248
73V-3505	-5,417	-5,025	-0,392
73V-4542	-5,717	-5,492	-0,225
73V-3390	-6,225	-5,991	-0,234
73V25325	-6,674	-5,525	-1,149
73V25326	-8,235	-8,125	-0,110
73S-3537	-7,829	-7,177	-0,652
74V25327	-9,313	-8,770	-0,543

G priedo lentelės tęsinys

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal		Skirtumas, mGal
	Išmatuota	Apskaičiuota	
74S-8813	-10,012	-10,425	0,413
74V-8911	-11,792	-11,880	0,088
74V-0025	-11,868	-11,880	0,012
74V25328	-12,753	-12,446	-0,307
74S03035	-12,403	-13,099	0,696
74V25329	-12,551	-13,171	0,620
74V25330	-13,090	-13,364	0,274
74S-0432	-13,295	-13,532	0,237
74V25331	-13,607	-13,566	-0,041
74V25332	-12,583	-13,124	0,541
74V25272	-12,199	-13,238	1,039
74S-0103	-13,531	-13,188	-0,343
74V25334	-13,221	-13,101	-0,120
74V---44	-12,257	-12,959	0,702
74S-0096	-12,911	-13,131	0,220
74V-0001	-11,314	-13,394	2,080
74S-0095	-14,242	-14,423	0,181
74V-4080	-13,810	-15,076	1,266
74V---13	-14,782	-15,076	0,294
74V----6	-15,352	-15,076	-0,276
74V-2797	-15,148	-15,076	-0,072
74S-1033	-15,682	-16,089	0,407
74V20216	-18,378	-18,375	-0,003
74V25335	-20,704	-20,255	-0,449
74S-0387	-21,051	-21,463	0,412
74V25336	-21,380	-22,195	0,815
74V25337	-22,691	-23,268	0,577
74V25338	-23,914	-23,895	-0,019
74V20217	-24,682	-25,112	0,430
74V25339	-25,264	-25,498	0,234
74V25340	-24,817	-25,636	0,819
74V25341	-24,887	-25,636	0,749
84V20218	-29,065	-25,150	-3,915
84V25342	-24,655	-25,197	0,542
84V20219	-25,267	-24,708	-0,559
84V-5039	-24,618	-24,060	-0,558
84V25343	-22,517	-23,200	0,683
84S-0419	-21,639	-22,206	0,567

I priedas. Išmatuotų ir apskaičiuotų iš skaitmeninio GGM05C modelio Bouguer anomalijų reikšmių ir jų skirtumų linijos punktuose lentelė

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal		Skirtumas, mGal
	Išmatuota	Apskaičiuota	
73V25321	1,999	-3,875	5,874
73V-4484	1,509	-3,996	5,505
73V-4613	0,867	-3,996	4,863
73V-5430	1,258	-3,996	5,254
73V-8840	1,174	-4,062	5,236
73V-6874	1,599	-4,062	5,661
73V-5241	1,886	-4,131	6,017
73V-0421	2,417	-4,131	6,548
73V-4215	1,660	-4,131	5,791
73S-1531	1,651	-4,258	5,909
73V-7791	1,654	-4,332	5,986
73V-7268	1,668	-4,408	6,076
73V25322	2,789	-4,512	7,301
73V-7744	3,407	-4,593	8,000
73V-3751	4,026	-4,821	8,847
73V-7666	4,267	-4,864	9,131
73V25323	5,344	-5,059	10,403
73S-8207	8,123	-5,224	13,347
73S-9096	8,406	-5,224	13,630
73V-3022	9,055	-5,402	14,457
73S-9877	9,466	-5,520	14,986
73S-8765	9,325	-5,642	14,967
73V-8010	9,363	-5,767	15,130
73S-9002	9,116	-5,767	14,883
73V-7659	9,212	-5,869	15,081
73S-7429	8,759	-5,869	14,628
73S-4296	8,499	-6,003	14,502
73S-0312	4,678	-6,163	10,841
73S-5930	4,111	-6,186	10,297
73V-0010	-0,145	-6,335	6,190
73V25324	0,313	-6,233	6,546
73V-6530	-1,217	-6,408	5,191
73V-0149	-2,645	-6,408	3,763
73V-0011	-3,191	-6,536	3,345
73V-0066	-4,944	-6,668	1,724
73V-3505	-5,417	-6,804	1,387
73V-4542	-5,717	-6,942	1,225
73V-3390	-6,225	-7,084	0,859
73V25325	-6,674	-7,220	0,546
73V25326	-8,235	-7,515	-0,720
73S-3537	-7,829	-7,514	-0,315
74V25327	-9,313	-7,830	-1,483

I priedo lentelės tęsinys

Punkto kodas	Bouguer anomalija, mGal		Skirtumas, mGal
	Išmatuota	Apskaičiuota	
74S-8813	-10,012	-8,162	-1,850
74V-8911	-11,792	-8,505	-3,287
74V-0025	-11,868	-8,505	-3,363
74V25328	-12,753	-8,681	-4,072
74S03035	-12,403	-8,848	-3,555
74V25329	-12,551	-9,083	-3,468
74V25330	-13,090	-9,334	-3,756
74S-0432	-13,295	-9,568	-3,727
74V25331	-13,607	-9,811	-3,796
74V25332	-12,583	-9,885	-2,698
74V25272	-12,199	-10,102	-2,097
74S-0103	-13,531	-10,544	-2,987
74V25334	-13,221	-10,766	-2,455
74V---44	-12,257	-11,201	-1,056
74S-0096	-12,911	-11,717	-1,194
74V-0001	-11,314	-11,952	0,638
74S-0095	-14,242	-12,487	-1,755
74V-4080	-13,810	-12,725	-1,085
74V---13	-14,782	-12,725	-2,057
74V----6	-15,352	-12,725	-2,627
74V-2797	-15,148	-12,725	-2,423
74S-1033	-15,682	-13,029	-2,653
74V20216	-18,378	-13,564	-4,814
74V25335	-20,704	-13,941	-6,763
74S-0387	-21,051	-14,254	-6,797
74V25336	-21,380	-14,500	-6,880
74V25337	-22,691	-14,812	-7,879
74V25338	-23,914	-15,055	-8,859
74V20217	-24,682	-15,602	-9,080
74V25339	-25,264	-15,898	-9,366
74V25340	-24,817	-16,191	-8,626
74V25341	-24,887	-16,191	-8,696
84V20218	-29,065	-16,550	-12,515
84V25342	-24,655	-16,775	-7,880
84V20219	-25,267	-17,060	-8,207
84V-5039	-24,618	-17,336	-7,282
84V25343	-22,517	-17,605	-4,912
84S-0419	-21,639	-17,864	-3,775