

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Rūta PUZIENĖ

VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ ĮTAKOS NIVELIACIJOS TINKLAMS VERTINIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
MATAVIMŲ INŽINERIJA (10T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2009

Disertacija rengta 2003–2009 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete

Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Algimantas Zakarevičius (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, matavimų inžinerija – 10T)

Mokslinis konsultantas

Habil. dr. Saulius Šliaupa (Geologijos ir geografijos institutas, fiziniai mokslai, geologija – 05P)

VGTU leidyklos TECHNIKA 1704-M mokslo literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-9955-28-525-0

© Puzienė, R., 2009
rutapu@delfi.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Rūta PUZIENĖ

**EVALUATION OF THE IMPACT
OF VERTICAL MOVEMENTS
OF THE EARTH'S CRUST ON LEVELLING
NETWORKS**

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
MEASUREMENT ENGINEERING (10T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2009

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2003–2009

Scientific Supervisor

Prof Dr Habil Algimantas Zakarevičius (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Measurement Engineering – 10T)

Consultant

Dr Habil Saulius Šliaupa (Institute of Geology and Geography, Physical Sciences, Geology – 05P)

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjama dabartinių žemės plutos judesių įtaka niveliacijos matavimams ir niveliacijos tinklams. Pateikiami teorinių ir praktinių eksperimentų tyrimo rezultatai.

Darbo tikslas – ištirti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaką niveliavimo matavimo rezultatams ir niveliacijos tinklams, parengti jų vertinimo metodiką sudarant ir eksploatuojant šiuos tinklus.

Tyrimų objektas – Lietuvos teritorijos niveliacijos tinklai ir jų matavimų duomenys.

Siekiant įgyvendinti tyrimų tikslą, išspręsti šie uždaviniai: 1) siekiant pagerinti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modelius, patobulinti jų sąsają su teritorijos georodikliais vertinimo metodika; 2) teoriškai pagrįsta ir parengta dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakos niveliacijos matavimams ir niveliacijos tinklams vertinimo metodika; 3) parengta išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, metodika; 4) atlikti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modelių tobulinimo galimybių, taikant skirtingas georodiklių grupes, tyrimai; parengtos rekomendacijos prognozės modeliams taikyti; 5) taikant parengtas metodikas ir rekomendacijas, atlikti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakos, sudarant ir eksploatuojant Lietuvos niveliacijos tinklus, tyrimai ir vertinimas; 6) apibendrinus teorinius ir eksperimentinius tyrimus, parengtos rekomendacijos vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakai vertinti, sudarant ir eksploatuojant niveliacijos tinklus.

Taikant siūlomą metodiką niveliacijos matavimų rezultatams redukuoti, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, sumažinama sistemingųjų paklaidų, priklausančių nuo vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio niveliavimo darbų laikotarpiu, įtaka niveliacijos tinklo paklaidoms.

Po dešimties tinklo eksploatavimo metų apie 70 proc. Lietuvos pirmosios klasės niveliacijos tinklo netenkina tikslumo reikalavimų. Tai rodo, kad vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikis niveliacijos tinklams viršija geodezinių matavimų paklaidas ir jį būtina įvertinti sudarant bei eksploatuojant niveliacijos bei vertikaliuosius geodezinius tinklus.

Disertacijos tema perskaityta 16 pranešimų Lietuvos bei kitų šalių konferencijose, paskelbta 14 mokslinių straipsnių bei publikacijų: 2 – straipsniai Mokslinės informacijos instituto duomenų bazėse referuojamuose leidiniuose, 6 – straipsniai periodiniuose recenzuojamuose leidiniuose, įtrauktuose į LMT patvirtintas tarptautines duomenų bazes, 2 – straipsniai recenzuojamose tarptautinių konferencijų medžiagose, 4 – straipsniai kitose tarptautinių ir respublikinių konferencijų medžiagose.

Abstract

The thesis presents the analysis of the impact of the recent vertical movements of the Earth's crust on the measurements of levelling as well as levelling networks submitting the results of theoretical research and practical observations.

The aim of the work is to investigate the impact on the results of measurements in terms of levelling and levelling networks, to work out the methodology for their evaluation to be applied in compiling and maintaining of these networks.

The objectivity of the experiments deals with the levelling networks of Lithuania and data received.

The following tasks were solved: 1) there was perfected the methodological approach for the evaluation of the forecasting models in terms of geoindexes of the territory with intention to improve the forecasting.; 2) there was theoretically grounded as well as worked out the methodology for the evaluation of the impact of the recent vertical movements of the Earth's crust on the measurements of levelling and on levelling networks; 3) there was derived the methodology of reduction of differences of measured altitudes, taking into account the selected moment of time; 4) there were made investigations on the possibilities of upgrading the models of forecasting by applying diverse groups of geoindexes; the recommendations were prepared how to use the models of forecasting; 5) while applying the proposed methods and recommendations there were carried out the experiments and evaluation of the impact of the recent vertical movements of the Earth's crust on the levelling networks of Lithuania; 6) after summarizing the theoretical and experimental investigations made, there were derived the recommendations for the evaluation of the impact of the vertical movements of the Earth's crust on levelling networks.

By applying the proposed methodology targeted to reduce the results of measurements of levelling and taking into consideration the selected moment of time, there was achieved the decrease of the impact of systematic errors on the errors of levelling network, which depend on the impact of the vertical movements of the Earth's crust during the period of levelling procedure.

Based on the topicality of the research, the author participated at the conferences in Lithuania and other countries with 16 reports, there were published 14 scientific articles and publications, namely 2 articles are stored in the data bases of the Institute of Scientific Information, 6 articles were published in the international reviewed periodicals, 2 articles in the reviewed international conference material, 4 articles appeared as the material of other international and local conferences.

Turinys

IVADAS.....	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Tyrimų objektas.....	3
Darbo tikslas.....	3
Darbo uždaviniai.....	3
Tyrimų metodika.....	3
Darbo mokslinis naujumas.....	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė.....	4
Ginamieji teiginiai.....	4
Darbo rezultatų aprobavimas.....	5
Disertacijos struktūra.....	5
1. DABARTINIŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ BEI JŲ ĮTAKOS GE- ODEZINIAMS TINKLAMS TYRIMŲ ANALIZĖ	6
1.1. Žemės plutos geologinės sandaros ypatumai.....	7
1.2. Dabartinių žemės plutos judesių tyrimų bei jų įtakos geodeziniam tinklams vertinimo galimybės ir ypatumai.....	11
1.3. Vertikaliųjų žemės plutos judesių vertinimo, sudarant niveliacijos tinklus Lietuvos teritorijoje, galimybės.....	25
1.4. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas.....	30
2. DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ ĮTAKOS NIV- ELIACIJOS TINKLAMS VERTINIMO METODIKOS TOBULINIMAS.....	32
2.1. Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių nustatymas pagal tikslųjų niveliacijų matavimų rezultatus.....	33

2.2. Išmatuotų dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių sąsąją su teritorijos georodikliais vertinimas.....	34
2.3. Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaka niveliacijos tinklams.....	40
2.4. Išmatuotų aukščių skirtumų redukavimas, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą.....	47
2.4.1. Niveliacijos matavimų apdorojimo technologinė seka.....	48
2.4.2. Išmatuotų aukščių skirtumų redukavimas niveliacijos linijoje esant kartotiniams matavimams.....	53
2.4.3. Išmatuotų aukščių skirtumų redukavimas niveliacijos linijoje neturint kartotinių matavimų.....	55
2.5. Antrojo skyriaus išvados.....	57
3. DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ PROGNOZĖS MODELIŲ TOBULINIMAS	58
3.1. Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių sąsąją su georodikliais tyrimas Lietuvos teritorijoje.....	59
3.2. Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių sąsąją su skirtingomis georodiklių grupėmis tyrimas.....	68
3.3. Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modelių kokybės priklausomybė nuo taikomų georodiklių grupių.....	83
3.4. Trečiojo skyriaus išvados.....	94
4. DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ ĮTAKA SUDARANT LIETUVOS NIVELIACIJOS TINKLUS	96
4.1. Dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos įtakos vertinimas eksploatuojant niveliacijos tinklus.....	96
4.2. Tyrimai niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda.....	102
4.2.1. Išmatuotų aukščių skirtumų redukavimas taikant skirtingas georodiklių grupes.....	104
4.2.2. Išmatuotų aukščių skirtumų redukavimas atsižvelgiant į kompleksinės koreliacinės analizės rezultatus.....	112
4.3. Tyrimai niveliacijos poligone Jonava–Zarasai–Turmantas–Vilnius–Jonava.....	120
4.4. Tyrimai niveliacijos poligone Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava.....	133
4.5. Ketvirtąjo skyriaus išvados.....	149
BENDROSIOS IŠVADOS.....	151
LITERATŪROS SĄRAŠAS	153
AUTORIAUS PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS.....	163

Contents

Introduction.....	1
Topicality of the problem.....	1
Actuality of research.....	2
Objective of research.....	3
Aim of research.....	3
Tasks of research.....	3
Methodology of research.....	3
Scientific novelty.....	4
Practical value.....	4
Defended propositions.....	4
Approval of research.....	5
Structure of research.....	5
1. ANALYSIS OF THE RESEARCH ON THE RECENT VERTICAL MOVEMENTS OF THE EARTH'S CRUST AS WELL AS ON THEIR IM- PACT ON GEODETIC NETWORK	6
1.1. Peculiarities of the Earth's crust geology structure.....	7
1.2. Evaluation of possibilities and peculiarities of the research of the recent vertical movements of the Earth's crust and their impact on geodetic networks.....	11

1.3. Possibilities of evaluation of the vertical movements of the Earth's crust for compiling levelling networks in the territory of Lithuania.....	25
1.4. Conclusions of chapter 1 and formulation of tasks for research.....	30
2. UPGRADING OF THE METHODOLOGY FOR THE EVALUATION OF THE IMPACT OF THE RECENT VERTICAL MOVEMENTS OF THE EARTH'S CRUST ON THE NETWORK OF LEVELLING.....	32
2.1. Determining the recent vertical movements of the Earth's crust according to the results of precise measurements of levellings	33
2.2. Evaluation of measured recent vertical movements of the Earth's crust relationship with geoindexes of the territory.....	34
2.3. Impact of the recent vertical movements of the Earth's crust on levelling networks.....	40
2.4. Reduction of differences of measured altitudes taking into account the selected moment of time.....	47
2.4.1. Technological sequence of processing the measurements of levellings.....	48
2.4.2. Reduction of differences of measured altitudes in the levelling line in terms of repeated measurements.....	53
2.4.3. Reduction of differences of measured altitudes in the levelling line with no repeated measurements available.....	55
2.5. Conclusions of chapter 2.....	57
3. UPGRADING OF THE MODELS OF FORECASTING IN RESPECT TO RECENT VERTICAL MOVEMENTS OF THE EARTH'S CRUST	58
3.1. Investigation of the recent vertical movements of the Earth's crust relationship with geoindexes for the territory of Lithuania.....	59
3.2. Investigation of the recent vertical movements of the Earth's crust relationship with diverse groups of geoindexes.....	68
3.3. Quality dependance of forecasting models of the recent vertical movements of the Earth's crust on the applied groups of geoindexes.....	83
3.4. Conclusions of chapter 3.....	94
4. THE RESEARCH OF THE IMPACT OF THE RECENT VERTICAL MOVEMENTS OF THE EARTH'S CRUST ON COMPILING THE NETWORK OF LEVELLING FOR LITHUANIA	96
4.1. Evaluation of the impact of the recent vertical movements of the Earth's crust for the maintenance of levelling networks.....	96
4.2. Investigations in levelling line of Mikytai–Šilutė–Klaipėda.....	102
4.2.1. Reduction of differences of measured altitudes by means of diverse groups of geoindexes.....	104

4.2.2. Reduction of differences of measured altitudes in respect to the results of complex correlation analysis.....	112
4.3. Investigations in levelling polygon of Jonava–Zarasai–Turmantas–Vilnius–Jonava.....	120
4.4. Investigation in levelling polygon of Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava.....	133
4.5. Conclusions of chapter 4.....	149
GENERAL CONCLUSIONS.....	151
REFERENCES	153
PUBLICATIONS OF AUTHOR RELATED TO THE TOPIC OF DISSERTATION REFERENCES.....	163

Ivadas

PROBLEMOS FORMULAVIMAS

Žemės pluta, kurios viršutinėje dalyje įrengiami geodeziniai ženklai, pasižymi nepertraukiamai vykstančiais vertikaliais ir horizontaliais judesiais. Einant laikui dėl žemės plutos judesių geodeziniai ženklai keičia erdvinę padėtį ir praranda reikalingą tikslumą, kuris buvo sudarius tinklą, todėl po tam tikro laiko geodezinis tinklas nebeatitinka reikiamo tikslumo.

Geodezinių tinklų tinkamumo eksploatuoti laikotarpį lemia ne tik tinklo, kaip inžinerinio įrenginio, fizinis susidėvėjimas, bet ir vykstantys dabartiniai geodinaminiai procesai, jų intensyvumas. Todėl, norint užtikrinti reikiamą geodezinių tinklų tikslumą, numatyti techniškai pagrįstus eksploatavimo laikotarpius, tinklų jų atnaujinimą, reikalingos detalios žinios apie šiuo metu vykstančius dabartinius žemės plutos judesius bei metodikos, kaip šiuos procesus įvertinti sprendžiant geodezinių tinklų eksploatavimo bei sudarymo klausimus. Sprendžiant šią problemą, reikia įvertinti abipusį ryšį tarp žemės plutos judesių ir geodezinių matavimų.

Geodeziniai matavimai iki šiol yra pagrindinis būdas įvertinti skaitmeninius dabartinių žemės plutos judesių rodiklius. Tačiau jau geodezinių matavimų metu matavimų rezultatus veikia žemės plutos judesiai, kurie pasireiškia kaip sistemos matavimų paklaidos. Todėl tobulinant matavimų ir matavimų apdoro-

jimo technologijas, reikia įvertinti dabartinius žemės plutos judesius. Tai galima pasiekti per tam tikrą laikotarpį atliktų matavimų rezultatus redukuojant, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą. Dabartinius geodinaminius procesus taip pat reikia įvertinti ir nustatant sąsajas tarp koordinacių ir aukščių sistemų, nustatant geoido modelius.

Minėtiems uždaviniams spręsti reikalinga patikima, matavimais paremta informacija apie dabartinius žemės plutos judesius, kokybiški dabartinių geodinaminių procesų prognozės modeliai.

Įvertinant šiuolaikinę dabartinių geodinaminių procesų tyrimų būklę ir turimų rezultatų patikimumą, geodezinių tinklų kartotinių matavimų būklę, yra realios mokslinės ir praktinės sąlygos įvertinti vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaką niveliacijos matavimų duomenims ir niveliacijos tinklams. Įvertinti horizontaliųjų žemės plutos judesių įtaką planimetriniams tinklams šiuo metu nėra nepakankamų techninių galimybių, nes ankstesni trianguliacijos ir kitų geodezinių tinklų matavimai nebuvo pakankamai tikslūs. Šiuo metu taikomų kosminės geodezijos metodais atliekamų matavimų tikslumas yra pakankamas, kad būtų galima patikimai nustatyti horizontaliųjų žemės plutos judesių savybes, tačiau, turint omenyje, kad patikimam žemės plutos judesių savybių nustatymui reikia kelių kartotinių matavimų bei, atsižvelgiant į nedidelius judesių greičius, tokiems įvertinimams reikiamos praktinės galimybės bus po artimiausio dešimtmečio. Todėl šiame darbe, nagrinėdami dabartinių geodinaminių procesų įtaką geodeziniais matavimams ir geodeziniais tinklams, apsiribosime niveliacijos tinklais.

DARBO AKTUALUMAS

Einant laikui geodeziniai ženklai dėl vykstančių geodinaminių procesų keičia savo aukščius, mažėja niveliacijos tinklų tikslumas. Niveliacijos matavimų rezultatai naudojami įvairiems uždaviniams spręsti, todėl labai svarbu, jog matavimų rezultatai atitiktų keliamus tikslumo reikalavimus. Kadangi, einant laikui, dėl vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio įtakos tinklai pradeda nebetenkinėti tikslumo reikalavimų, reikia, siekiant kokybiškų duomenų, atlikti kartotinius matavimus. Todėl svarbu nustatyti kartotinių matavimų periodiškumą.

Atliekami niveliacijos tinklo matavimai tęsiasi tam tikrą laikotarpį. Todėl matavimų rezultatus veikia sistemingosios paklaidos, atsiradusios dėl vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio. Svarbu įvertinti šį poveikį, apskaičiuojant pataisas dėl dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio į niveliacijų matavimo rezultatus, matavimų rezultatus redukuoti, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą.

TYRIMŲ OBJEKTAS

Dabartinių žemės plutos judesių įtaka niveliacijos matavimų rezultatams ir niveliacijos tinklams. Eksperimento objektas – Lietuvos teritorijos niveliacijos tinklai ir jų matavimų duomenys.

DARBO TIKSLAS

Ištirti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaką niveliacijos matavimų rezultatams ir niveliacijos tinklams, parengti jų vertinimo metodiką, sudarant ir eksploatuojant niveliacijos tinklus.

DARBO UŽDAVINIAI

Darbo tikslui pasiekti darbe reikia spręsti šiuos uždavinius:

1. Patobulinti vertikaliųjų žemės plutos judesių sąsają su teritorijos georodikliais vertinimo metodiką.
2. Atlikti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modelių tobulinimo tyrimus, taikant skirtingų georodiklių grupes.
3. Teoriškai pagrįsti ir parengti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakos niveliacijos matavimams ir niveliacijos tinklams vertinimo metodiką bei atlikti jos taikymo tyrimus.
4. Parengti metodiką niveliacijos matavimų rezultatams redukuoti, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą bei atlikti jos taikymo tyrimus.
5. Ištirti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaką Lietuvos niveliacijos tinklams.

TYRIMŲ METODIKA

Teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai, taikant sisteminės analizės principus, matematinius statistinius vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozavimo ir jų įtakos matavimo rezultatams vertinimo metodus.

DARBO MOKSLINIS NAUJUMAS

Disertaciniame darbe gauti nauji rezultatai:

1. Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaka išmatuotiems aukščių skirtumams ir niveliacijos tinklų tikslumo kaitai, einant laikui, vertinimo metodika.
2. Patobulinta vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių prognozavimo metodika, atsižvelgiant į teritorijos georodiklių ir jų grupių informatyvumą.
3. Išmatuotų aukščių skirtumų redukavimas, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, taikant patobulintus vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modelius.

DARBO REZULTATŲ PRAKTINĖ REIKŠMĖ

Taikant parengtą išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą metodiką, eliminuojamos dėl vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio niveliacijos tinklo matavimų laikotarpiu atsirandančios sistemosios matavimų paklaidos; dėl to padidėja niveliacijos tinklo tikslumas.

Taikant parengtą vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakos niveliacijos tinklams vertinimo metodiką, galima pagrįstai planuoti niveliacijos tinklų kartotinius matavimus.

GINAMIEJI TEIGINIAI

1. Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakos, einant laikui, vertinimas, sudarant ir eksploatuojant niveliacijos tinklus.
2. Patobulintų vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modelių taikymas, sudarant niveliacijos tinklus; tyrimo rezultatai.
3. Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio Lietuvos niveliacijos tinklui tyrimo rezultatai.
4. Rekomendacijos vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikiui sumažinti eksploatuojant ir sudarant Lietuvos niveliacijos tinklus.

DARBO REZULTATŲ APROBAVIMAS

Disertacijos tema išspausdinta 14 mokslinių publikacijų: du – straipsniai publikuoti tarptautinių konferencijų leidiniuose (Thomson ISI Proceedings) (Zakarevičius *et al.* 2005, 2008); šeši – tarptautinėse duomenų bazėse referuojamuose žurnaluose (Puzienė 2009; Zakarevičius *et al.* 2005; Zakarevičius, Puzienė 2005; Zakarevičius, Puzienė 2008; Zakarevičius, Puzienė 2009; Zakarevičius *et al.* 2009), du – recenzuojamose tarptautinių konferencijų medžiagose (Пузене, Закарявичюс 2004; Zakarevičius *et al.* 2005), keturi – respublikinės konferencijos medžiagoje (Anikėnienė, Puzienė 2006; Puzienė 2004; Puzienė 2005; Puzienė 2006).

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti šešiolikoje mokslinių konferencijų Lietuvoje ir užsienyje:

- Jaunųjų mokslininkų konferencijoje „*Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities*“ 2004, 2005, 2006, 2009 m., Vilniuje;
- Jaunųjų mokslininkų konferencijoje „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“ 2009 m., Vilniuje;
- Tarptautinėje mokslinėje metodinėje konferencijoje „*Žemės naudojimas ir žemėtvarka*“ 2004 m. Vilniuje;
- Tarptautinėse konferencijose „*Environmental Engineering*“ 2005 ir 2008 m., Vilniuje;
- Tarptautinėje konferencijoje „*Modern technologies, Education and professional practice in geodesy and related fields*“ 2005, Bulgarijoje (Sofijoje).
- Respublikinėse mokslo konferencijose „*Civilinė inžinerija ir geodezija*“ 2002, 2003, 2004, 2005, 2008, 2009 m., Vilniuje.
- Respublikinėje mokslinėje – praktinėje konferencijoje „*Matavimų inžinerija ir GIS*“ 2006 m., Kaune

DISERTACIJOS STRUKTŪRA

Disertaciją sudaro keturi skyriai, įvadas, ir rezultatų apibendrinimas.

Darbo apimtis – 166 puslapiai, tekste panaudotos 63 numeruotos formulės, 68 paveikslai ir 40 lentelių. Rašant disertaciją naudotasi 174 literatūros šaltiniais.

Dabartinių žemės plutos judesių bei jų įtakos geodeziniam tinklams tyrimų analizė

Skyriuje apžvelgiama geologinė žemės sandara, nagrinėjama dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių tyrimai jų būklė bei plėtra, taip pat aptarta dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių tyrimai taikant jų horizontaliuosius gradientus. Apžvelgta žemės plutos judesių poveikio eksploatuojamiems niveliacijos tinklams tyrimai, niveliacijos matavimų redukavimo, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, taikymo ypatumai.

1.1. ŽEMĖS PLUTOS GEOLOGINĖS SANDAROS YPATUMAI

Įrodyta (Buchmann, Connolly 2007; Langbein 2003; Mizoue 1967; Юн *et al.* 2009; Šliaupa, S. *et al.* 2005), kad dabartiniai žemės plutos judesiai yra ankstesnių geologinių periodų tektoninių judesių, turėjusių lemiamą įtaką žemės plutos geologinei sandarai, tęsinys. Dėl tos priežasties ir dabartiniai žemės plutos judesiai neabejotinai yra susiję su žemės plutos geologine sandara. Todėl tiriant bei

prognozuojant dabartinę tektoninę teritorijų aktyvumą, reikia taikyti ne tik geodezinių matavimų rezultatus, bet įvertinti ir teritorijos geologinės sandaros ypatumus (Юн *et al.* 2009; Уломов 2004; Mrlina 2000; Li *et al.* 2001; Харченко 2009; Langbein 2003; Howle *et al.* 2003; Battaglia *et al.* 2003a, 2003b; Cloeting *et al.* 2005). Priklausomai nuo tiriamos teritorijos, geologinė Žemės sandara skiriasi, vykstant Žemės evoliucijai, veikiant įvairioms sąlygoms, formavosi mūsų planetos paviršius, kuris taip pat nebuvo stabilus.

Iš geologinių tyrimų žinome, kad visais laikais būta žemės plutos judesių. Jau senovėje žmonėms teko susidurti su žemės plutos judesiais. Kol nebuvo mokslinių tyrimų ir šio gamtinio reiškinio išaiškinimo, žmonės šį reiškinį aiškino pasitelkdami mitologiją. Vystantis mokslui, ypač pastarąjį šimtmetį, kartu su technikos raida pradėta domėtis tikrosiomis šio reiškinio priežastimis.

Tobulėjant geologinėms žinioms apie žemę, jos kilmę, sandarą, taikant įvairius tyrimo metodus, geologijoje išskirti trys pagrindiniai giluminės Žemės sandaros sluoksniai: branduolys, mantija bei žemės pluta (Жарков 1978; Рингвуд 1981; Войткевич 1988). Pagal seisminių bangų sklaidimą išskirtos dvi sritys – Mocho sritis (6–80 km gylis), kur išilginių ir skersinių seisminių bangų greičiai išauga bei Gutenbergo sritis (2900 km), kur išilginių seisminių bangų greitis staigia sumažėja (nuo 13,6 iki 8,0 km/s). Pagal šias dvi sritis Žemės giluminė sandara išskiriama į Žemės plutą bei mantiją ir branduolį (Жарков 1978; Рингвуд 1981; Войткевич 1988).

Žemės plutą sudaro magminės, nuosėdinės bei metamorfinės kilmės dariniai. Tiek vandenynų dugne, tiek žemynuose išskiriama plotai, pasižymintys stipriais ir silpnais tektoniniais procesais. Žemynuose išskiriamos platformos, pasižyminčios lėto pobūdžio tektoniniais procesais, kuriose savo ruožtu išskiriami skydai – tektoninių judesių atžvilgiu dideliu stabilumu pasižymintys dariniai. Ryškūs tektoniniai procesai stebimi palyginti jauno amžiaus kalnų masyvuose. Vandenynuose taip pat išskiriamos stabilios sritys – okeaninės platformos bei aktyvios tektonikos sritys (Белоусов, Павленкова 1985; Беляевский 1981; Павленкова 1983; Хаин 1983).

Žemės pluta – tai lyg išorinis Žemės apvalkalas, kurio apatinė riba – Mocho sritis. Pagal ryškiai pastebimą seisminių bangų sklaidimo kaitą Žemės plutoje išskiriamos ribos, skiriančios šiuos du darinius (einant iš apačios į viršų):

1. Konrado – išskiria bazaltinį bei aukščiau esantį granitinį Žemės plutos sluoksnius.

2. Viršutinė – kuri savo ruožtu skiria granitinį sluoksnį nuo nuosėdinės Žemės plutos dangos sluoksnio.

Granitiniu vadinamas Žemės plutos sluoksnis, kuris 50 % sudarytas iš granitų, o 40 % sudaro gneisai bei kt. tipo uolienos. Bazaltiniu vadinamas Žemės plutos sluoksnis pagal cheminę sudėtį bei seisminių bangų sklaidimo greitį artimas bazaltinio tipo uolienoms.

Žemyninio tipo Žemės pluta skiriasi nuo okeaninio tipo Žemės plutos. Kontinentinio tipo Žemės plutai būdingas apie 30–80 km storis; ją sudaro bazaltinis, granitinis bei nuosėdinis sluoksniai. Okeaninio tipo Žemės pluta plonesnė (apie 6–15 km) ir neturi granitinio sluoksnio.

Žemės pluta formavosi milijardus metų, einant laikui veikė įvairūs skirtingo pobūdžio veiksniai. Dėl to Žemės tektoninės raidos periodai skaidomi į ciklus. Tektoniniai ciklai (etapai) – tai ilgi Žemės geologinės raidos istorijos periodai (daugiau kaip 100 mln. metų), charakterizuojami tam tikra tektoninių ir bendrų geologinių įvykių seka. Nuosėdinės dangos struktūriniai kompleksai – tai geologijoje išskiriami megaciklai, kurių vyksmo trukmė – šimtai milijonų metų. Europoje, iš dalies ir Šiaurės Amerikoje bei Azijoje nustatyti šie ciklai: gotinis-dalslandinis, baikalinis, kaledoninis, hercyninis, kimerinis alpinis. Kiekvienas šių nuosėdinės dangos kompleksų pasižymi jiems būdingomis savybėmis, susidariusiomis jų formavimosi metu veikiant tam tikriems tektoniniams procesams, jiems būdingais tektoniniais lūžiais (Motuza, Vėjelytė 2005; Suveizdis 2003; Šliaupa, A. 2003; Šliaupa, S. 1997).

Šio darbo eksperimentinis tyrimų objektas – Lietuvos teritorija. Todėl detaliau išnagrinėsime šios teritorijos geologinius ypatumus.

Lietuva yra senosios – prekambrinės Rytų Europos platformos šiaurės vakarinėje dalyje. Joje, priklausomai nuo geografinės padėties, Žemės nuosėdinės dangos savybės gana skirtingos. Įvairiose struktūrinėse tektoninėse ir facijų zonose kristalinio pamato paviršiaus gylis, reljefo formos, lūžiai ir jų kryptys yra gana skirtingi. Išskiriamos trys didelės struktūrų grupės, kurios atitinka tris svarbiausius jų raidos etapus: archėjaus protezojaus gneisų – magmatitų masyvai ir blokai, ankstyvojo protezojaus raukšlėtosios zonos, po raukšlėjimosi susidarę intruziniai masyvai ir Hoglando vulkaninių uolienų grabenosinklinos (Paškevičius 1994, 1997). Prekambrinės Rytų Europos platformos pamatas galutinai konsoliduotas Karelijos geotektoninio ciklo metu, ankstyvojo protezojaus pabaigoje. Ant raukšlėtų perkristalizuotų uolienų slūgso nuosėdinė storemė, kuri Baltijos pradžioje prasideda vėndro sluoksniu ir baigiasi kvartero nuogulomis. Ši nuosėdinė storemė susidarė veikiama tektoninių judesių, formuojantis Žemės plutos struktūroms. Todėl pagal sluoksnių storį, facijas, geologinio pjūvio stratigrafinį pilnumą, kristalinio pamato paviršiaus reljefą, nuosėdinės dangos slūgsojimo sąlygas rytinės Baltijos kraštuose skiriami tokie struktūriniai tektoniniai elementai: Baltijos sineklizė, Baltarusijos – Mozūrijos anteklizė, Latvijos balnas ir Baltijos skydo pietinis šlaitas (Paškevičius 1994, 1997; Suveizdis 2003).

Baltijos sineklizė sudaro netaisyklingą pailgą geldą – muldą. Jos ilgis apie 700 km, plotis apie 500 km. Kristalinio pamato paviršius nelygus, sudarytas iš metamorfinių – magminių uolienų. Nuosėdinės dangos geologinis pjūvis stratigrafiniu požiūriu palyginti pilnas, pagal tektoninių ciklų raidą sineklizėje galima

išskirti šiuos struktūrinius farmacinius kompleksus: baikalinį, kaledoninį, hercininį, alpinį.

Baltarusijos – Mozūrijos anteklizė. Didelė teigiama vakarinės Rytų Europos platformos dalies struktūra. Ji netaisyklingos trikampio formos, kurios pagrindas – apie 500 km, o trikampio viršūnės aukštis – apie 400 km. Pamatas susideda iš archėjaus ir protezojaus metamorfinių ir magminių uolienų. Nuosėdinė danga susideda iš baikalinio, kaledoninio, hercininio, alpinio kompleksų. Nuosėdinėje dangoje yra didelės apimties stratigrafinių pertraukų.

Latvijos balnas – skersinė persmauka, skirianti Baltijos sineklizę vakaruose nuo Maskvos sineklizės rytuose. Ji nesudaro savarankiškos struktūros, o tik atidalija dvi minėtas sineklizes. Ji platumine kryptimi turi 250–300 km plotį. Balne paplitusios vėdo – viršutinio devono amžiaus uolienos. Jos sudaro baikalinį, kaledoninį, hercininį kompleksus. Didžiausias sluoksnių storis – paskutiniame komplekse (Paškevičius 1994, 1997; Suveizdis 2003).

Nuosėdinės dangos struktūriniai kompleksai ir jos struktūriniai tektoniniai elementai Pabaltijyje sudėtingi, nes nuosėdinė danga pagal sudėtį, amžių, stratigrafinį pilnumą nevienalytė, joje yra daug sedimentacinių pertraukų, stratigrafinių spragų, esama kampinės nedarnos. Nuosėdinėje stovime yra palaidotų ir dabartinių tektoninių struktūrų, o tai komplikuoja jų geologinę sandarą (Paškevičius 1994, 1997; Suveizdis 1967, 2003).

Lietuvoje išskirti baikalinis, kaledoninis, hercininis, alpinis struktūriniai kompleksai. Aiškiausias ir pilniausias yra kaledoninis struktūrinis kompleksas. Apatinę jo ribą nusako apatinio ir vidurinio kambro Lyvių ir Aisčių, Deimenos serijų sluoksniai, slūgsantys esant kampinei nedarnai ant Baltijos serijos arba ant archejaus – protezojaus amžiaus nelygaus kristalinio pamato paviršius. Viršutinė komplekso riba siejama su stratigrafine pertrauka ir nedarna tarp Stoniškių svitos ir Viešvilės serijos (Baltrūnas *et al.* 2007; Paškevičius 1994, 1997; Suveizdis 2003).

Siluro aukštas susideda iš molingai karbonatinės jūrinės nuosėdinės formacijos, kurios storis: nuo 12 m Latvijos balne iki 1260 m Baltijos sineklizėje. Ši formacija susidarė svarbiausios Pabaltijyje kaledoninės struktūros – Baltijos sineklizės formavimosi pradžioje.

Hercininis struktūrinis kompleksas – nepilnas. Jame galime išskirti terigenines – karbonatinės apatinio devono – apatinio karbono formacijas. Apatinę ribą rodo stratigrafinė spraga apatiniame devone tarp Gargždų ir Viešvilės serijų, o viršutinę – labai didelės apimties stratigrafinė spraga, esanti tarp apatinio karbono ir viršutinio permio. Maksimalus kompleksio storis ŠV Lietuvoje ir PV Latvijoje, kur jis, stratigrafiniu atžvilgiu, pilniausias (1000 m) Rytų kryptimi storis gerokai sumažėjęs, didelė jo dalis denuduota.

Alpinis struktūrinis kompleksas apima didelį stratigrafinį intervalą nuo viršutinio permio iki neogeno imtinai. Bendras kompleksio storis – daugiau kaip

1400 m. Jo sudėtis ir struktūra formaciniu požiūriu įvairi. Pagal tai jis dalijamas į keletą aukštų: ankstyvasis kimerinis, vėlyvasis kimerinis, laramininis, postlaramininis. Sudėtinga alpinio struktūrinio komplekso sandara, įvairi aukštų ir poaukščių sudėtis, susidarymas rodo, jog jis formavosi daugybės tektoninių fazių metu (Paškevičius 1994, 1997; Suveizdis 2003).

Matyti, jog Lietuvoje ir jai gretimose teritorijose Žemės plutos sandara labai įvairi, todėl, teigiant, kad dabartiniai tektoniniai procesai yra susiję su ankstesniais teritorijos tektoniniais aktyvumais, šiuolaikinis teritorijos tektoninis aktyvumas gali būti labai įvairus, sudėtingas.

Tektoniniai procesai nepertraukiamai vyksta nuo seniausių iki šių laikų. Vienos Žemės plutos teritorijos grimzta, kitos kyla. Šie procesai labiau pradėti tyrinėti tik atsiradus tiksliesiems geodeziniais matavimams. Pirmieji bandymai stebėti vertikaliuosius žemės plutos judesius atlikti maždaug prieš kelis šimtus metų. Iš pradžių tai buvo paprasti stebėjimai, darant žymes, įrantas ant jūrų, ežerų pakrantėse esančių uolų. Vėliau, tobulėjant technologijoms, atsirandant vis naujų, pasižyminčių didesniu tikslumu prietaisų, buvo pradėti daryti vis tikslesni matavimai, tobulėjo vertikaliųjų žemės plutos judesių nustatymo metodikos. Šiais laikais vienas iš būdų nustatyti vertikaliuosius žemės plutos judesius – tiksliosios niveliacijos (tiksliosioms niveliacijoms priskiriamos tos niveliacijos, kurių vieno kilometro niveliacijos ėjimo išmatuotų aukščių skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida $M \leq 1,0$ mm). Jų pagrindu sudaromi vertikaliųjų žemės plutos judesių žemėlapiai. Vertikaliuosius žemės plutos judesius svarbu stebėti palei geležinkelių linijas, dujotiekių bei naftotiekių, stambių inžinerinių statinių, hidro bei atominių elektrinių. Šalyse, kuriose stebimi itin aktyvūs tektoniniai procesai, tam tikrose vietose įrengta eilė specialių geodinaminių poligonų, kur sistemingai atliekami tikslųjų niveliacijų matavimai (NVS šalyse prie Taškento, Ašchabado miestų, Garmo kaimo Tadžikistane, Kolos pusiasalyje; Italijoje, Japonijoje, JAV ir kt.).

Pastąčius Ignalinos atominę elektrinę, ypač padidėjo žemės plutos judesių tyrimų aktualumas. Kadangi statant elektrinę nebuvo padaryta išsamių tos vietovės seisminio aktyvumo tyrimų taip pat vietovėje nebuvo geodinaminio poligono, kuriame, atliekant kartotinius matavimus, būtų stebimi ir analizuojami žemės plutos judesiai, 1989 m. buvo įrengtas geodinaminio monitorinio poligonas. Jį sudaro precizinės niveliacijos tinklas su 114 reperių, jo plotas – 110 km². Šiame poligone kartotinių niveliacijų matavimais gauti rezultatai nagrinėti autorių: J. Česnauskienės, S. Kazakevičiaus, R. Ramanausko, A. Stanionio, S. Šliaupos, A. Zakarevičiaus (Zakarevičius 1994b; Zakarevičius 1997; Zakarevičius, Ramanauskas 1985; Česnauskienė, Aleknienė 2001; Česnauskienė 2002).

Žemės plutos judesiai skirstomi į senuosius tektoninius judesius bei neotektoninius Žemės plutos judesius, kurių pradžia – prieš 40 mln. metų (oligocenas – holocenas) ir dėl kurių susiformavo dabartinis Žemės reljefas. Į juos įeina dabar-

tiniai tektoniniai judesiai nuo holoceno iki šių laikų (Gudelis 1973; Николаев 1988; Никонов 1977).

Lietuvoje patys pirmieji geologiniai tyrimai pradėti XVIII a., apsiriboję druskų klodų, mineralinių šaltinių ir pan. tyrimais. Apie tektoninę sąrangą plačiau susimąstyta apie XX a. pradžią. Pagrindinis dėmesys buvo skiriamas naujų iškasenų paieškoms, kvartero stovymės tyrimams ir kt. Einant laikui buvo daromi geologiniai gręžiniai, nuo pavienių gręžinių prieita iki sisteminio jų darymo visoje Lietuvos Respublikos teritorijoje, daugėjo žinių apie Lietuvos tektoninę sąrangą. Buvo sudarinėjami geologiniai Lietuvos teritorijos žemėlapiai. Septintajame dešimtmetyje turint vis daugiau žinių apie Lietuvos geologiją, geofiziką, didesnis dėmesys buvo skiriamas lokalių struktūrų analizei. 1968 metais buvo sudarytas bei išleistas E. Kuzik parengtas 1:500 000 mastelio Pabaltijo kristalinio pamato reljefo žemėlapis. Įvairūs autoriai pradėjo išskirti struktūrinius aukštus, buvo sudaryta Pabaltijo tektoninės stratifikacijos schema, išskiriant struktūrinius kompleksus (Šliaupa, S. 1997).

Didžiausias dėmesys žemės plutos judesiams buvo skiriamas seismiškai aktyviuose regionuose, bet po įvykusių žemės drebėjimų susidomėta procesais, vykstančiais anksčiau laikytose aseismiškose teritorijose.

1.2. DABARTINIŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ TYRIMŲ BEI JŲ ĮTAKOS GEODEZINIAMS TINKLAMS VERTINIMO GALIMYBĖS IR YPATUMAI

Dar visai neseniai didžiausias dėmesys žemės plutos judesiams buvo skiriamas tose vietovėse, kuriose vyksta aktyvūs seisminiai procesai. Buvo manoma, kad platforminės sritys yra aseismiškos, ir žemės plutos judesių tyrimai šiuose regionuose turi tik mokslinę reikšmę. Seisminiai stebėjimai buvo vykdomi Altajaus, Baikalo regionuose, Kamčiatkoje, Sachaline, Kurilų salose, Kaukaze, Japonijos salose, JAV seismiškai aktyviuose regionuose ir pan. Tačiau regionuose, kurie, kai buvo manoma, yra aseismiški, įvyko šie užfiksuoti žemės drebėjimai: 1976 m. spalio 25 d. Osmusarės žemės drebėjimas (6 – 7 balai), 1977 m. Rumunijoje įvykęs žemės drebėjimas, kuris buvo juntamas ir Lietuvoje (apie 4 balai) (Ilginytė, Suveizdis 1994), žemės drebėjimai Baltarusijoje, įvykę 1978, 1983, 1985 metais (4 – 5 balai), 2004 m. spalio 21 d. Kaliningrado srityje, Laduškino vietovėje (židiny 10 km gylyje) įvykęs 4,4 balo žemės drebėjimas, kurio antrasis smūgis įvyko Primorsko mieste (5 balai). Buvo ir trečiasis, silpnesnis seisminis smūgis (Šliaupa, S. *et al.* 2005; Никонов, Энман 2007; Pačėsa *et al.* 2004). Pastarasis seisminis įvykis buvo netikėtas, sykėlęs ryškų makroseisminį efektą. Šis regionas buvo laikomas seismiškai nepavojingu ir jame jokie stebėjimai ne-

buvo atliekami. Po žemės drebėjimo buvo atlikta daug stebėjimų šioje vietovėje ir priimtas sprendimas čia atlikti seisminių monitoringą (Арефьев 2007). Lietuvos teritorijai, kaip ir kitoms, nepasižyminčioms dideliu ir aktyviu teisingumu sritims, kyla pavojus iš seismiškai aktyvių sričių. Stiprių žemės drebėjimų rezonansinės bangos iš šių sričių gali sukelti rezonansinius drebėjimus, kurių intensyvumas gali siekti apie 4 balus (pagal MSK-64 skalę) (1999 m. Turkijoje įvykus žemės drebėjimui, rezonansinių seisminių įvykių magnitudė Lietuvoje siekė 3,5 balus (pagal Richterio skalę)) (Ilgintė 2001).

Tačiau žemės plutos judesiai vyksta ne tik dėl žemės drebėjimų, taip pat vyksta ir lėtas periodinis vykstantis procesas (Schwartz, 2007).

Vertikaliesiems žemės plutos judesiams tirti, be geologinių metodų, galima taikyti ir geodezinius metodus. Geodezinius metodais gaunamos dabartinių vertikalųjų ir horizontaliųjų žemės plutos judesių charakteristikos seismiškai aktyviuose regionuose arba prie strategiškai svarbių objektų (atominės elektrinės, dujotiekiai, naftotiekiai ir kt.). Šiuose regionuose įrengiami geodinaminiai poligonai, kuriuose periodiškai atliekami matavimai. Apie visoje šalies teritorijoje vykstančius geodinaminis procesus galima spręsti pasitelkus kartotinių geodezinių matavimų duomenis. Dar visai neseniai šiems tyrimams atlikti buvo taikomi tik tikslųjų niveliacijų matavimų rezultatai, tačiau, tobulėjant technologijoms, šiems tyrimams atlikti pasitelkiami ir GPS matavimų duomenys. Geodinaminių procesų tyrimas ir modeliavimas taikomas autorių darbuose (Takeo *et al.* 1999; Gamal, Teruyuki 2006; Sabadini 2007; Zakarevičius *et al.* 2005) aprašytuose tyrimuose. Kartais geodinaminiai procesai modeliuojami pasitelkus abiem geodeziniais metodais gautus matavimų duomenis (Langbein 2003; Battaglia *et al.* 2003a; Battaglia *et al.* 2003b; Newman *et al.* 2005; Howle *et al.* 2003; Mrlina 2000).

Kalifornijoje esančiam, Long Caldera slėnyje, Casa Diablo vietovėje, vyksta žemės drebėjimai, aktyvūs geoterminiai procesai, pastatytos juos išnaudojančios elektrinės, todėl čia vykdomi pastovūs geodinaminių procesų stebėjimai, yra nutiesti niveliacijos tinklai, kuriuose atliekami kartotiniai matavimai bei įrengtose GPS stotyse vykdomi nuolatiniai stebėjimai. Taikant abu duomenų šaltinius, vykdomas platus geodinaminių procesų stebėjimas bei modeliavimas, aprašytas (Langbein 2003; Battaglia *et al.* 2003a; Battaglia *et al.* 2003b; Newman 2005; Howle *et al.* 2003; Mrlina 2000) autorių darbuose.

Europoje taip pat yra seismiškai aktyvių zonų. Didelio stiprumo žemės drebėjimai kartais supurto Italiją, padarydami daug žalos bei pareikalaudami žmonių aukų, pvz., 1980 m. lapkričio 23 d. Lucanos žemės drebėjimas (Amoruso *et al.* 2005). Šiose regionuose taip pat yra įrengti niveliacijos tinklai, kuriuose matavimai atliekami daug dažniau nei krašto tinkluose (Demoulin 2004). Italijoje vykdomi žemės paviršiaus sėdimo intensyvumo stebėjimas Venecijos pakrantės rajone (Tosi *et al.* 2006), atliekami pastovūs vertikalųjų žemės plutos judesių

stebėjimai siekiant prognozuoti Vezuvijaus išsiveržimus (Berrino 1998), Pantelerijos vulkaninėje saloje (Bonaccorso, Mattia 2000). Taip pat tyrimais bandoma suprasti santykį tarp didelių ir epizodinių žemės plutos deformacijų ir jų šaltinių mechanizmų (Lanari *et al.* 2004). Autoriai apžvelgia Campi Flegrei kalderoje vykstantį žemės paviršiaus deformavimą, siekiama atlikti paviršiaus deformacijų studijas bei jų šaltinių modeliavimą.

Iš tikslųjų niveliacijų matavimų rezultatų gauti duomenys gali būti veikiami ir netektoninės kilmės priežasčių, tokių kaip gruntinio vandens lygio sezoninių svyravimų (Demoulin 2004), antropogeninės kilmės priežasčių (Zakarevičius 1994; Tosi *et al.* 2006). Todėl labai svarbu, taikant įvairias metodikas, nagrinėtas darbuose (Demoulin 2004; Zakarevičius 1994a; 2003; Amoruso *et al.* 2005 ir kt.), išskirti tektoninės bei netektoninės kilmės poveikį matavimų rezultatams. Specifiniuose regionuose dėl tam tikrų priežasčių svarbu atskirti šias dedamąsias, pavyzdžiui, prie Venecijos miesto esančios jūros pakrantės sėdimas iš dalies sukeltas tektoninės kilmės priežasčių, o iš dalies antropogeninės veiklos (požeminių vandenų eksploatavimo), todėl, nustačius bei įvardijus antropogeninės veiklos dedamąją, situaciją galima būtų šiek tiek keisti, siekiant išvengti dar didesnio miesto grimzdimo į jūrą (Tosi *et al.* 2006).

Iš tyrimų rezultatų pastebima, jog dabartiniams vertikaliesiems žemės plutos judesiams būdingos inversijos, žemės pluta tam tikrais periodais tai leidžiasi, tai kyla (Amoruso 2005; Battaglia *et al.* 2003; Fukahata *et al.* 1996; Gottsmann *et al.* 2006; Юн *et al.* 2009; Lanari *et al.* 2004; Langbein 2003; Mizoue 1967; Mrlina 2000; Nielsen, Bayer 2003).

Norint geriau ištirti geodeziniais matavimais gautus dabartinius vertikaliuosius Žemės plutos judesius, atskirti tektoninės kilmės dedamąją, taikomos įvairios metodikos, atsižvelgiama į vietovės geologinę sąrangą, lūžius. Siekiama nustatyti ryšį tarp dabartinių žemės plutos judesių bei jų paveldimumą iš ankstesniais geologiniais periodais vykusių judesių. Tai leidžia nustatyti ne tik žemės plutos vystymosi tendencijas, bet ir išspręsti įvairius kitus klausimus, susijusius su šiuolaikiniais tektoniniais judesiais bei seismotektonika (Behncke *et al.* 2006; Demoulin 2004; Langbein 2003; Battaglia *et al.* 2003a; Battaglia *et al.* 2003b; Newman 2005; Howle *et al.* 2003; Amoruso *et al.* 2005; Tosi *et al.* 2006; Bonaccorso 2002; Bonaccorso, Mattia 2000; Lanari *et al.* 2004; Zakarevičius 1994, 2003; Юн *et al.* 2009 ir kt.).

Lietuvoje pirmieji dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių sistemingi tyrimai pradėti apie 1955 metus, pirmieji geodeziniais metodais vertikaliuosius žemės plutos judesius tyrė V. Gudelis, J. Liesis (Gudelis 1955; Лесис 1960, 1962, 1963; Лесис, Гуделис 1961). Tuo laiku autoriai tyrimams naudojo turimų niveliacijų duomenis. Tačiau niveliacijos buvo atliekamos skirtingu laiku, kartotos nevienodais laiko tarpais, todėl gauti rezultatai turi tam tikrų trūkumų (Liesis 1962). Dėl dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio į niveliacijos

linijas skirtingais laikotarpiais išmatuoti aukščiau bus veikiami atsiradusių paklaidų, todėl, siekiant išvengti šios įtakos, jungiant skirtingu laiku išmatuotų niveliacijų rezultatus, reikia juos redukuoti į vieną tam tikrą pasirinktą laiko momentą (Kääriäinen 1966; Mierlo 1983; Zakarevičius 2007).

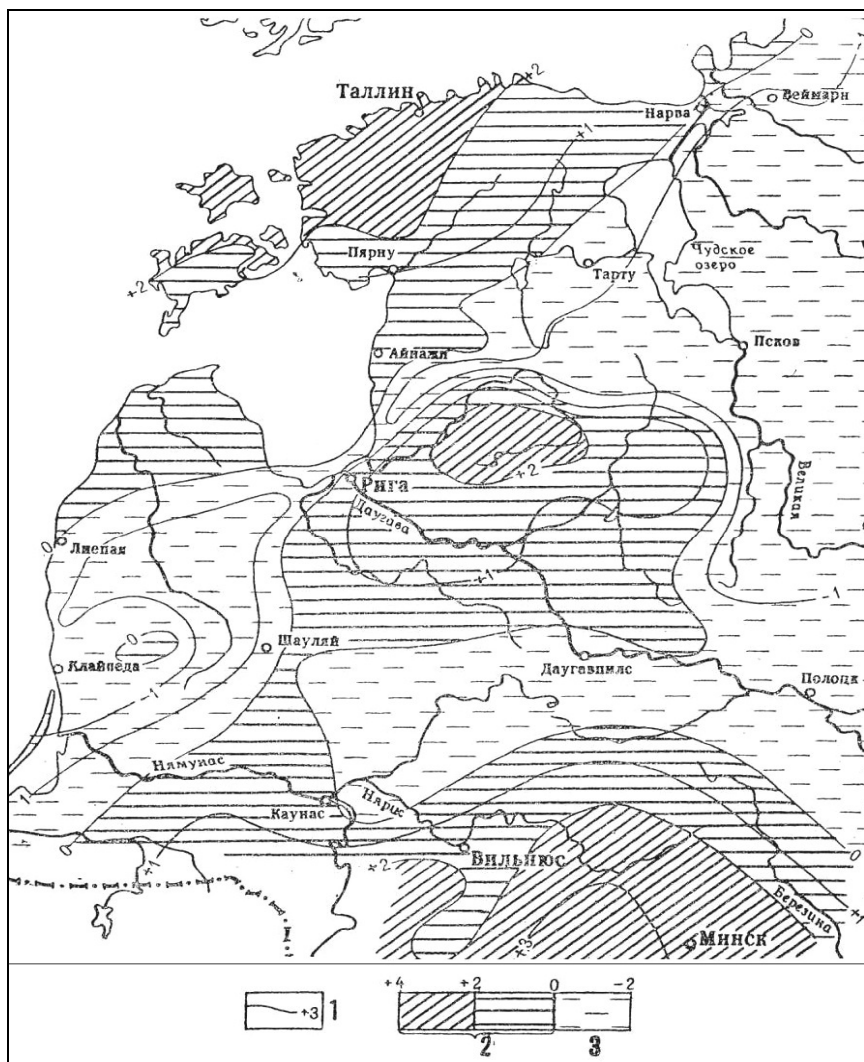
Turint tiksliųjų niveliacijų matavimų duomenis, taikant įvairias tyrimo metodikas atsiranda galimybė nustatyti dabartinius vertikaliuosius žemės plutos judesius bei juos prognozuoti. Tyrimais nustačius skaitines dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių reikšmes, šiuos judesius galima grafiškai atvaizduoti sudarant dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių žemėlapius.

Kadangi didžiausias dėmesys vertikaliųjų žemės plutos judesių tyrimų pradžioje buvo skiriamas teritorijoms, pasižyminčiomis dideliu tektoniniu aktyvumu, todėl jau XX a. pradžioje Japonijoje pagal kartotinių tiksliųjų niveliacijų rezultatus buvo sudarytas vertikaliųjų žemės plutos judesių žemėlapis (pagal 1900–1928 m. laikotarpį išmatuotus Žemės plutos judesius) (Miyabe 1952), atlikti išsamūs matavimais gautų rezultatų tyrimai, taip pat apskaičiuojant vertikaliųjų žemės plutos judesių gradientus, siekiant ištirti regionus, kuriuose vyksta didelė dabartinių žemės plutos judesių greičių kaita (Mizoue 1967).

Europoje pirmieji vertikaliųjų žemės plutos judesių žemėlapiai pagal kartotinių niveliacijų duomenis buvo sudaryti Apšerono pusiasaliui (naudoti 1910/12–1928 metų niveliacijos duomenys) (Bregman 1947), Suomijos, Nyderlandų teritorijoms (Kääriäinen 1953; Edelman 1954), Sovietų Sąjungos europinės dalies žemėlapis (Труды ЦНИИГАиК 1958; Мещеряков 1958), patikslintą Sovietų Sąjungos europinės dalies žemėlapių publikavo V. Matckova (Матцкова 1963).

Naudojant niveliacijos matavimų duomenis sudarytas ir 1998 metais publikotas vertikaliųjų žemės plutos judesių planas Suomijos teritorijai (Määkinen, Saaranen 1998). Po tam tikro laikotarpio naudojant niveliacijos bei GPS matavimais gautus duomenis, sudarytas bei 2006 m. publikuotas vertikaliųjų žemės plutos judesių žemėlapis Skandinavijos teritorijai (Vestøl 2006). Remiantis šalių, esančių apie Baltijos jūrą niveliacijos matavimų rezultatais (naudojant ir vientiso Europos niveliacijos tinklo (UELN) duomenis), sudarytas bei 2005 publikuotas vertikaliųjų žemės plutos judesių žemėlapis Baltijos regionui (Määkinen *et al.* 2005).

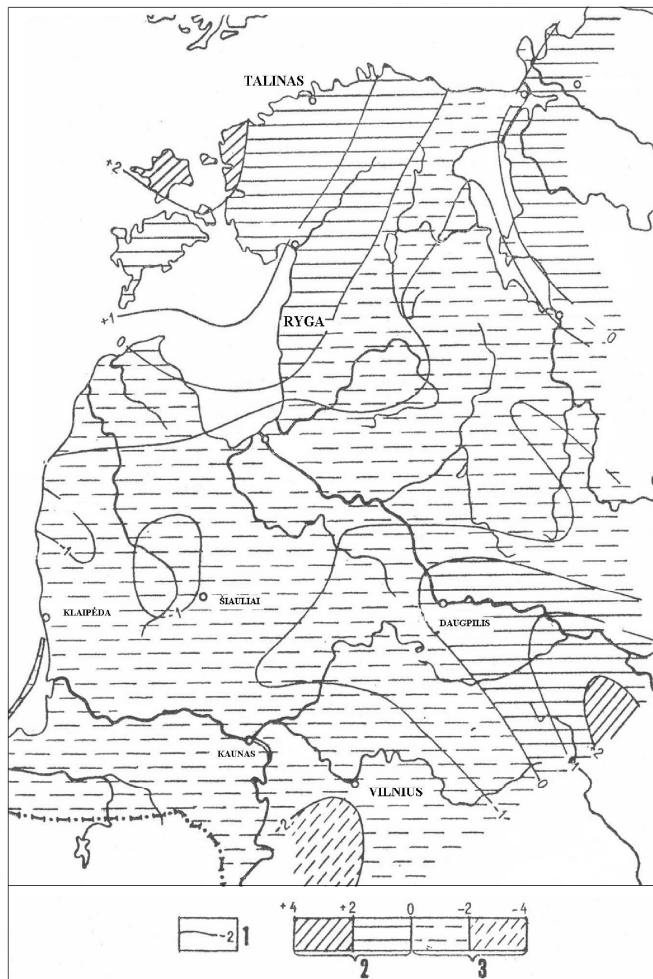
Pirmasis Lietuvos Respublikos teritoriją apimantis vertikaliųjų žemės plutos judesių žemėlapis sudarytas 1958 m. Tai buvo europinės Sovietų Sąjungos teritorijos dalies vertikaliųjų Žemės plutos judesių žemėlapis (Труды ЦНИИГАиК 1958). Pietinei bei šiaurinei Pabaltijo teritorijoms 1960 m. buvo sudaryti detalūs žemėlapiai (Zhelnin 1960a; Лесис 1960). 1963 metais V. Matckovos (Матцкова 1963) sudarytas patikslintas europinės Sovietų Sąjungos dalies žemėlapis. Pirmasis Pabaltijo teritorijai vertikaliųjų žemės plutos judesių greičius grafiškai izolinijomis pavaizdavo J. Randjarv (1.1 pav) (Пандярв 1968).



1.1 pav. Pabaltijo teritorijos vertikaliųjų žemės plutos judesių greičiai (mm/m.)
(Рандярв 1968)

Fig. 1.1. Velocities of the vertical movements of the Earth's crust in the territory of the Baltic countries (mm/m.) (Рандярв 1968)

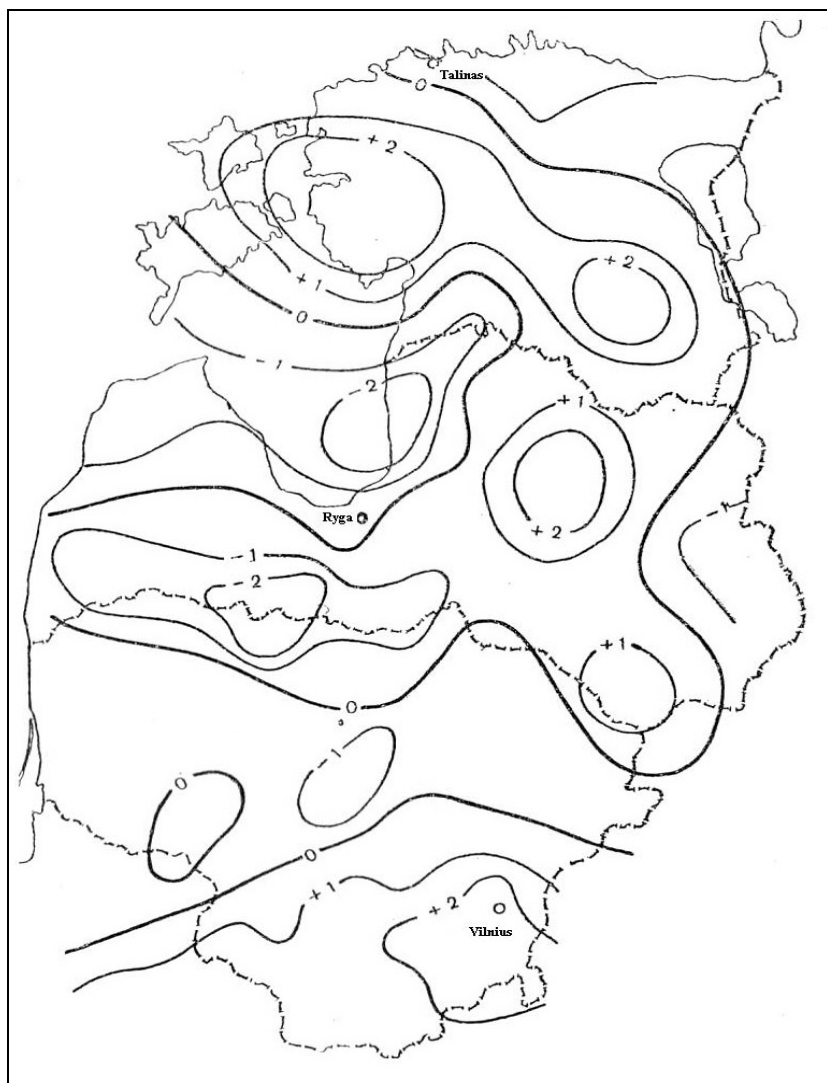
1973 m. tas pats autorius sudarė antrąjį Pabaltijo teritorijos vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių planą (Рандярв 1975) (1.2 pav.).



1.2 pav. Pabaltijos teritorijos vertikalųjų žemės plutos judesių greičių (mm/m.) planas (Рандяров 1975)

Fig. 1.2. Plan of the velocities of the vertical movements of the Earth's crust in the territory of the Baltic countries (mm/m.) (Рандяров 1975)

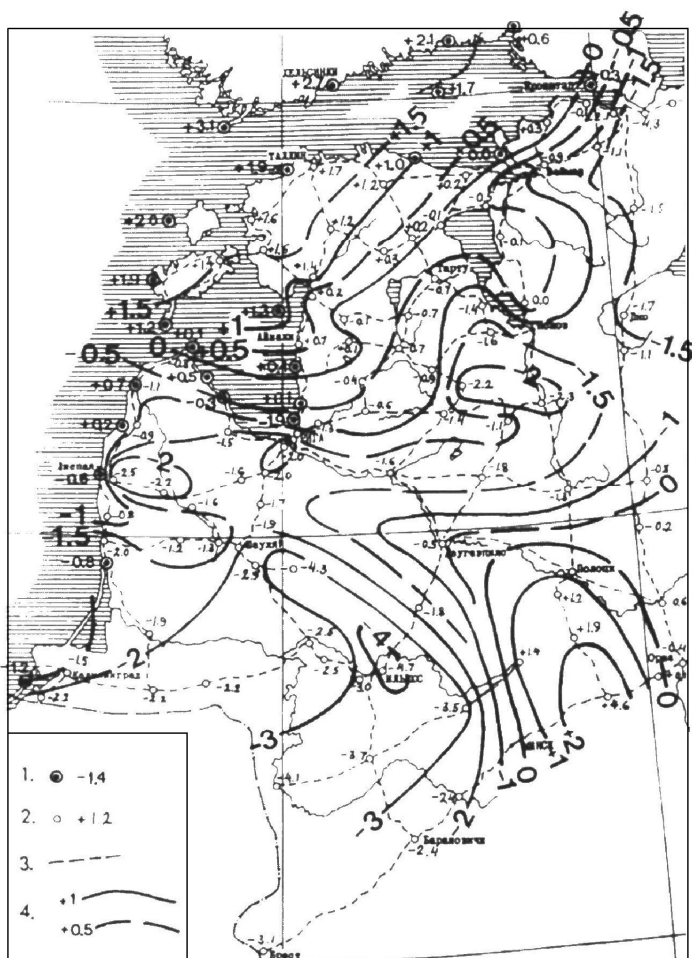
1973 m. sudarytas Rytų Europos vertikalųjų žemės plutos judesių žemėlapis (red. J. Meščiarekovas). Remiantis Pabaltijos teritorijai paties sudarytu geopotencialinio lauko žemėlapiu, A. Ražinskas nustatė vertikalųjų žemės plutos judesių skaitines reikšmes Pabaltijos teritorijai ir jas grafiškai atvaizdavo izolinijomis (1.3 pav.) (Ражинскас 1975).



1.3 pav. Pabaltijo teritorijos vertikalieji žemės plutos judesiai (mm/m.)
(Ражинскас 1975)

Fig. 1.3. Vertical movements of the Earth's crust in the territory of the Baltic countries (mm/m.) (Ражинскас 1975)

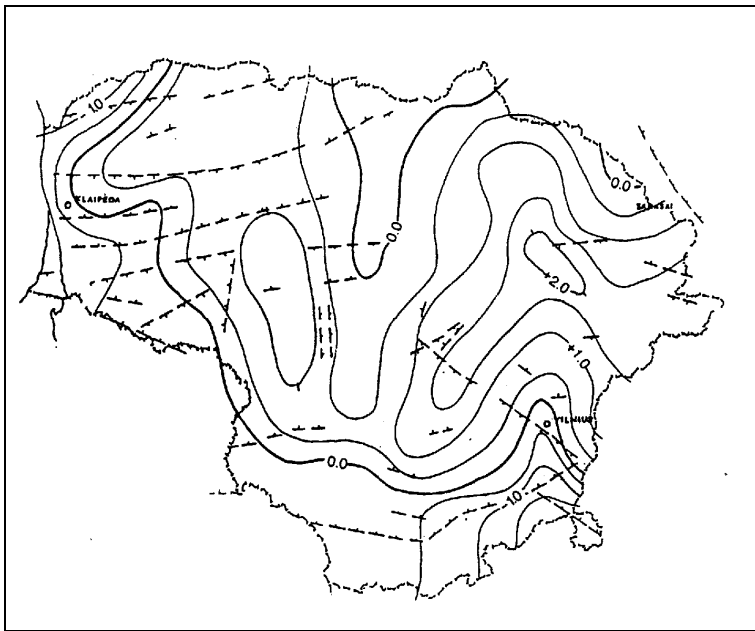
1993 m. J. Randjarvas publikavo savo 1975 m. sudaryto plano papildytą bei pageduotą variantą (1.4 pav.) (Рандярв 1993).



1.4 pav. Pabaltijo teritorijos vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių (mm/m.) planas (Рандяров 1993)

Fig. 1.4. Plan of the velocities of the vertical movements of the Earth's crust in the territory of the Baltic countries (mm/m.) (Рандяров 1993)

Lietuvos Respublikos teritorijos vertikaliųjų žemės plutos judesių schemą sudarė A. Zakarevičius. Autorius tyrimams taikė matematinius statistinius metodus, į vieną sistemą buvo sujungti geodeziniais matavimais gauti rezultatai bei svarbiausios teritorijos geologinės charakteristikos. Pagal regresinį modelį prognozuotas vertikaliųjų žemės plutos judesių fonas grafiškai pavaizduotas 1.5 paveiksle (Zakarevičius 1994).

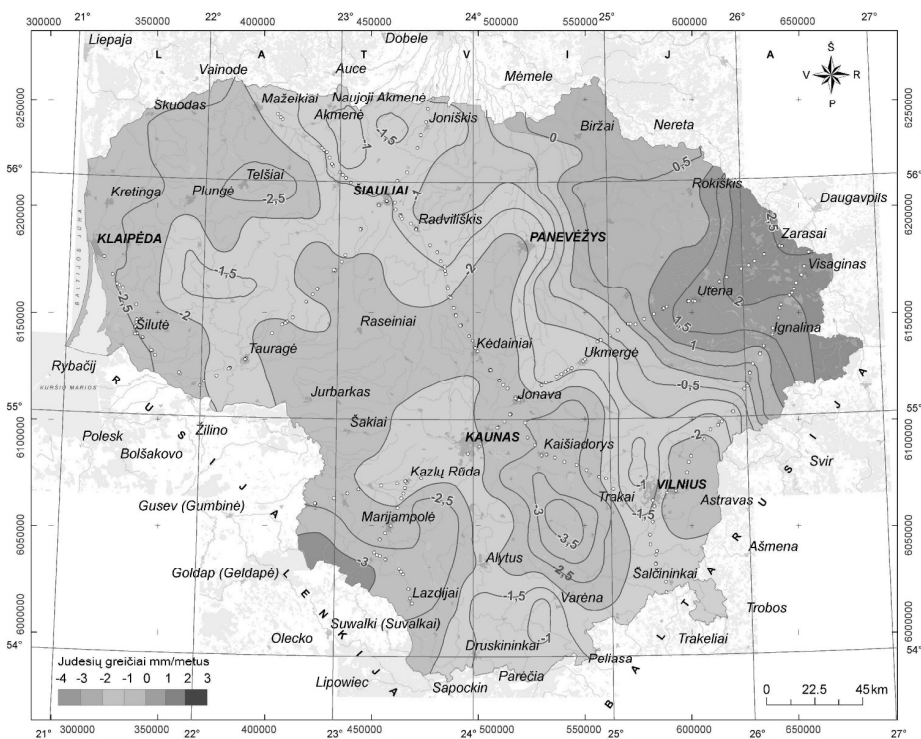


1.5 pav. Lietuvos Respublikos teritorijos vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozuotas tektoninis fonas (judesių greičiai, mm/m.) (Zakarevičius 1994)

Fig. 1.5. Forecasted tectonic background of the vertical movements of the Earth's crust in the territory of the Republic of Lithuania (movement velocities, mm/m.) (Zakarevičius 1994)

2008 m. publikuotas A. Zakarevičiaus, S. Šliaupos bei A. Anikėnienės sudarytas Lietuvos teritorijos vertikaliųjų žemės plutos judesių žemėlapis. Siekiant prisijungti prie vientiso Europos niveliacijos tinklo Lietuvoje 1998–2006 m. pradėta turimų niveliacijos duomenų sisteminimas, darbų planavimas bei nauji matavimai. Naudojant niveliacijų duomenis iš laikotarpio tarp dviejų paskutinių matavimų bei iš Geologijos tarnybos skaitmeninės duomenų bazės gautus duomenis, pritaikius matematinės statistinės analizės metodus sudarytas vertikaliųjų žemės plutos judesių žemėlapis (1.6 pav.) (Anikėnienė 2008; Zakarevičius *et al.* 2009).

Seismogeodinamikoje nemažą reikšmę turi žemės plutos judesių gradientų nustatymas, jie priskiriami tiems kriterijams, kurie charakterizuoja kontrastingą bei diferencijuotą šių judesių pobūdį. Padidėjusios gradientų skaitinės reikšmės bei jų krypties laike kaita, ypač seismiškai aktyviuose rajonuose, naudojamas kaip išpėjimas apie galimą žemės drebėjimą bei išskiria tuo metu aktyvius žemės plutos lūžius (Уломов 2004; Юн *et al.* 2009).



1.6 pav. Lietuvos Respublikos teritorijos vertikaliųjų žemės plutos judesių žemėlapis (Zakarevičius *et al.* 2008)

Fig. 1.6. Map of the vertical movements of the Earth's crust regarding the territory of the Republic of Lithuania (Zakarevičius *et al.* 2008)

Žemės plutos vertikalieji poslinkiai yra laiko funkcijos. Šių funkcijų išvestinės pagal laiko kintamąją, apskaičiuotos tam tikram laiko momentui, yra vertikaliųjų žemės plutos judesių greičiai tuo laiko momentu (judesių gradientai pagal laiko skalę). Vertikaliųjų judesių greičius tam tikroje teritorijoje galima išreikšti kaip plokštuminių koordinatinių funkcijas. Šios funkcijos dalinės išvestinės pagal plokštumines koordinatas, apskaičiuotos vidutinės geometrinės reikšmės tam tikruose taškuose su žinomomis koordinatėmis, yra vertikaliųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų reikšmės. Jos apibūdina judesių greičių kaitos spartą keičiantis taško padėčiai teritorijoje (Грачев *et al.* 2000; Mizoue 1967; Zakarevičius 1976, 2007).

Atliekamų šiame darbe tyrimų pagrindinis tikslas – įvertinti dabartinių geodinaminių procesų įtaką sudarant vertikaliuosius geodezinius tinklus. Kadangi vertikaliųjų geodezinių tinklų niveliacijos ėjimų linijos išsidėsčiusios tam tikroje

teritorijoje, mums svarbu įvertinti, kaip kinta dabartinių geodinaminių procesų savybės niveliacijos linijose. Todėl aktualu ištirti vertikalinių žemės plutos judesių greičių horizontalinių gradientų kaitą teritorijoje bei atskirose linijose.

Tuometinės Sovietų Sąjungos teritorijos vertikalinių žemės plutos judesių gradientų žemėlapius savo laiku sudarė M.V. Gzovskis, N.I. Nikolajevs (Гзовский 1967; Николаев, Шенкарёва 1967), horizontalinių žemės plutos judesių gradientų žemėlapių pirmasis Sovietų Sąjungoje sudarė V.I. Ulomovas (Уломов 1973). Tiriant seismogeodinamiką, didelį vaidmenį vaidina žemės plutos lūžių dislokacijos vietų, vertikalinių bei horizontalinių žemės plutos judesių gradientų žemėlapių sugretinimas. Šis palyginimas padeda išaiškinti seismiškai aktyvius lūžius (Уломов 2004).

Be gradientų žemėlapių, apimančių visą šalies dalį, dar sudaromi atskirų seismiškai aktyvių teritorijų gradientų žemėlapiai. Sudarytas ir Taškento miesto (Uzbekija) bei jo apylinkių žemėlapis. Po 1966 m. čia įvykusio žemės drebėjimo buvo įrengtas geodinaminis poligonas, kuriame sistemingai atliekami niveliacijos matavimai. Pagal matavimais gautus duomenis buvo sudarytas vertikalinių žemės plutos judesių žemėlapis bei, siekiant išskirti seismiškai aktyvias vietas, apskaičiuotos šios vietovės vertikalinių žemės plutos judesių gradientų reikšmės (Юн *et al.* 2009). Tiriant šiaurės Eurazijos litosferos paviršiaus deformacijų charakteristikas, greta kitų tyrimų, sudarytas ir gradientų modulių žemėlapis šiaurės Eurazijai (Грачёв *et al.* 2000).

Dabartiniai vertikalieji žemės plutos judesiai atspindi platforminės kilmės poslinkius, o šių judesių gradientų didesnis intensyvumas pastebimas palyginti siaurose zonose, daugiausia prie platformų kraštų bei lūžių vietose. Todėl gradientai apskaičiuojami bei gradientų žemėlapiai sudaromi siekiant išryškinti seismiškai aktyvius lūžius bei pavojingas zonas (Jaboyedoff *et al.* 2003; Li *et al.* 2001). Atliekant geologinių duomenų, žemės plutos vertikalinių judesių bei jų gradientų sugretinimą galima atlikti tiriamos teritorijos seismoaktyvumo analizę, taip pat juos taikyti atliekant dabartinių tektoninių procesų įtakos vertinimą geodeziniais matavimais.

Siekiant turėti informaciją apie gresiantį seisminį pavojų, Centrinėje Azijoje esančiam seismiškai aktyvaus Turan bloko teritorijai sudarytas vertikalinių judesių gradientų žemėlapis (Jaboyedoff *et al.* 2005). Siekiant nustatyti platformas bei aktyvius lūžius Kinijos teritorijoje, šios šalies teritorijoje išskirtos esamos platformos, lūžiai. Pagal tikslių niveliacijų, matuotų 1950, 1960, 1970, 1980 m., duomenis sudarytas Kinijos Liaudies Respublikos teritorijos vertikalinių žemės plutos judesių žemėlapis. Apskaičiuoti šių judesių gradientai bei, atsižvelgiant į jų skaitinių reikšmių kaitą, gretinant su jau turimais duomenimis, analizuojamas teritorijos seisminis aktyvumas (Li *et al.* 2001). Tiriant Krymo geodinamiką išskirta seismogeninė zona, susieta su dauguma ten vykstančių žė-

mės drebėjimų, išilgai kurios nustatytos didelės vertikalųjų žemės plutos gradientų skaitinės reikšmės (Юдин 1995).

Teritorijos geologiniai rodikliai bei tai teritorijai apskaičiuoti gradientai taip pat naudojami ieškant naudingųjų iškasenų. Tektoninės įtampos iš esmės paklūsta Archimedo dėsniai. Žemės pluta, mantiją, netgi branduolį sudaro skirtingo tankio uolienos. Medžiagos diferencijavimasis pagal tankį vyksta dėl žemės sukimosi pagal savo ašį, Saulę ir galaktikos centrą. Žemės plutos tankio padidėjimas susijęs su molingų uolienu, naftos, dujų ir kt. sancaupomis. Naftos sancaupoms būdinga tam tikros Žemės paviršiaus charakteristikos ir, lyginant su dujų sancaupomis, palyginti mažos žemės plutos judesių gradientų skaitinės reikšmės (Харченко, Бедина 2007). V. Drozdovo darbe pateikta statistinės priklausomybės Stavropolio kraštui tarp naftos ir dujų klodų bei vertikalųjų žemės plutos judesių gradientų (Дроздов 2002), todėl gradientų žemėlapiams sudaromi ne tik žemės plutos seisminiam aktyvumui tirti, bet ir geologinių iškasenų turtingose vietovėse naudingųjų iškasenų paieškos tikslais.

Kadangi geodeziniai ženklai įrengti žemės paviršiuje, jie yra veikiami vertikalųjų žemės plutos judesių. Einant metams dėl vertikalųjų Žemės plutos judesių didėja aukščių skirtumų paklaidos, todėl po tam tikro laiko niveliacijų tinklai nebeatitinka jiems keliamų tikslumo reikalavimų. Siekiant to išvengti siūloma atlikti naujus niveliacijų trasų matavimus (Kääriäinen 1966; Zakarevičius 1976).

Vertikalųjų žemės plutos judesių greičių reikšmių žinojimas svarbus ir dėl šios priežasties – atliekant tikslias niveliacijas matavimai užtrunka ne vienerius metus, dėl geodinaminių procesų įtakos gaunami nevienodo tikslumo matavimų rezultatai. Jungiant skirtingais metais išmatuotas niveliacijos linijas į tinklą, atliekant matavimais gautų rezultatų apdorojimą siekiant išvengti paklaidų, atsirandančių dėl geodinaminių procesų įtakos, reikia apskaičiuoti atitinkamas pataisas, redukuojant matavimais gautus rezultatus, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą. Siekiant juos redukuoti, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, siūloma matavimų rezultatams apskaičiuoti pataisas dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio. Nors, atliekant geodinaminių procesų tyrimus, aukščių redukavimas į pasirinktą laikotarpį lyg ir nėra reikalingas tiesiogiai, tačiau pagėdautinas – aukščiai redukuojami į vieną laikotarpį. Tai padeda išvengti geodinaminių procesų įtakos, kuri ypač aktuali rajonuose, pasižyminčiuose didelio intensyvumo geodinaminiais procesais (pvz., Apšeronos pusiasalyje ir kt.). Redukavus matavimų rezultatus, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, atsiranda galimybė sudaryti reperių aukščių katalogą vienam pasirinktam laiko momentui. Bulgarių geodezininkai pasiūlė metodiką, kuri leidžia išskirti greičių komponentę, kartu nustatant vertikalųjų Žemės plutos judesių greičius ir reperių aukščius, naudojant polinomą (*Геодезические методы...* 1985). Savas metodikas šioms pataisoms skaičiuoti pasiūlė dar keletas autorių, kuriose, taikant sudėtingesnes ar paprastesnes metodikas, siūloma atlikti niveliacijos matavimais gautų rezultatų

redukavimą, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą (Mierlo 1983, Kääriäinen 1966; Zakarevičius 1976, 1994, 2007). Tačiau kol kas šioje srityje nėra atlikta daug tyrimų, matavimais gautų rezultatų redukavimas į pasirinktą laiko momentą apdorojant niveliacijos matavimų rezultatus kol kas dar nėra plačiai taikomas ir šioje srityje reikėtų atlikti metodikų tobulinimą bei daugiau tyrimų.

Dauguma vertikaliųjų Žemės plutos judesių įtakos vertinimo niveliacijos matavimų rezultatams metodikų kompleksiskai sprendžia ir vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių bei pagreičių nustatymo klausimus (*Геодезические методы...* 1985; Mierlo 1983). Tokius tyrimus galima atlikti tik stacionariuose geodinaminiuose poligonuose, kuriuose yra atlikta daug kartotinių matavimų (ne mažiau kaip 5 ciklai) (*Геодезические методы...* 1985; Mierlo 1983) bei matavimai atlikti pagal tas pačias linijas, niveliuojant tuos pačius geodezinius ženklus.

Tokie metodai įvertinti geodinaminių procesų įtaką niveliavimo rezultatams sudarant krašto niveliacijos tinklus praktiškai negali būti pritaikyti. Čia turime ribotą matavimų skaičių linijose, atliekant kartotinius matavimus niveliuojama tik dalis geodezinių ženklų. Skirtingu laiku atliekant matavimus niveliuojami skirtingi ženklai. Sudarant tinklus suprojektuotos naujos niveliacijos linijos, kuriose kartotinių matavimų nėra.

Dėl nepakankamai detalių duomenų apie dabartinius geodinaminius procesus, nustatytų iš geodezinių matavimų bei nepakankamai teoriškai pagrįsto šių duomenų geotektoninio interpretavimo, sudarant geodezinius krašto tinklus, geodinaminių procesų vertinimas iki šiol taikomas ribotai.

Detaliausiai dabartinių geodinaminių procesų vertinimas buvo nagrinėtas ir praktiškai taikytas sudarant Suomijos niveliacijos tinklą (Kääriäinen 1966).

Pirmoji visą kraštą apimanti niveliacija Suomijoje 1892–1910 m. atlikta Valsybinio vandens ir kelių nacionalinio departamento. Niveliacijos tinklą sudarė 11 poligonų, niveliacijos linijų ilgis buvo 5182 km. Tinklo atšakos jungėsi su Rusijos bei Švedijos tinklo atšakomis. Šia niveliacija gauti vienodus reikalavimus tenkinantys niveliacijos matavimai visoje šalyje. 1911–1913 m. buvo papildomai nutiestos linijos bei atlikti pirmosios klasės niveliacijos matavimai, apskaičiuoti punktų aukščiai. Pirmosios niveliacijos linijos išmatuotos su vidutine paklaida, lygia $\pm 1,23\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$, kai leidžiama yra $\pm 1,29\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ paklaida (Kääriäinen 1966).

Prireikus atliekant jūros lygio stebėjimus, taip pat geologiniais tyrimais nustatyta, jog krašto teritorijoje vyksta Žemės plutos judesiai, dėl kurių kai kurių geodezinių ženklų aukščiai pakito net keletu decimetrų. Likusių geodezinių ženklų aukščiai taip pat kito, nors ir ne taip nedaug. Dėl šios priežasties anksčiau atliktos niveliacijos matavimų rezultatai nebetenkino jų tikslumui keliamų reikalavimų. Todėl atsirado poreikis atlikti naujus geodezinius matavimus. Atlikti krašto tinklą kartotines niveliacijas pavesta Geodezijos institutui 1933 m. Nive-

liacijos vykdytos 1935–1955 m., niveliacijos linijos sujungtos į 18 poligonų. Niveliacijos linijų ilgis siekia 6237 km, iš kurių 1944 m. 490 km atiteko Sovietų Sąjungai. Vėlesniais metais niveliacijos vykdytos Laplandijoje. Siekiant išvengti geodinaminių procesų įtakos į matavimais gautus rezultatus, atliekant matavimų apdorojimą, matavimų rezultatai buvo redukuoti į pasirinktą laiko momentą.

Pagal pirmosios ir antrosios niveliacijos aukščių skirtumų nesutapimus apskaičiuoti niveliacijos judesių sąlyginiai greičiai tarp gretimų reperų (mm/m.), išmatuoti aukščių skirtumai perskaičiuoti į geopotencialinių skaičių skirtumus. Judesių greičiai taip pat išreikšti geopotencialiniais skaičiais. Po to pirmosios niveliacijos metu matavimų rezultatai redukuoti į 1900 metus, o antrosios – į 1944 metus. Turint redukuotus duomenis, antrą kartą atliekamas tinklo išlyginimas. Sulyginus abiejų niveliacijų redukuotų ir išlygintų tinklų rezultatus, apskaičiuoti vertikalųjų žemės plutos judesių greičiai išreikšti geopotencialiniais skaičiais.

Turint nustatytus geopotencialinių skaičių pokyčius dėl vertikalųjų žemės plutos judesių, geodezinių ženklų aukščiai redukuoti į 1960 metus. Tokiu būdu antrosios Suomijos krašto niveliacijos matavimų rezultatai redukuoti į 1960 metus.

Autoriai pripažįsta, jog ši redukavimo į pasirinktus metus metodika turi trūkumų, į skaičiavimus įneša nemažai painiavos, tačiau kol šiai metodikai nėra pasiūlyta alternatyvios redukavimo metodikos, siūloma ją taikyti.

Nustačius vertikalųjų žemės plutos judesių reikšmes, išlyginus tinklą, atlikus matavimais gautų rezultatų redukavimą į pasirinktus metus, sudarytas vertikalųjų žemės plutos judesių žemėlapis Suomijos teritorijai bei Suomijos vertikalusis tinklas sujungtas su Europos vertikaliojo tinklu.

Suomijoje pritaikyta išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo į pasirinktus metus metodiką tik labai ribotai galima taikyti mūsų krašto išmatuotų aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktus metus dėl šių priežasčių:

- Suomijoje atliekant kartotinius niveliacijos matavimus, buvo užniveliuotai didžioji dalis tų pačių geodezinių ženklų, naudotos tos pačios niveliacijos linijos. Tuo tarpu Lietuvoje didelė dalis geodezinių ženklų neišliko, niveliacijos linijos buvo sunaikintos. Todėl turime labai nedaug kartotinių niveliuotų reperų.
- Taikant Suomijoje naudotą metodiką, niveliacijos linijas skaidant į atkarpas, jų galiniams geodeziniais ženklams keliami ypač dideli stabilumo reikalavimai, rinktasi pamatinėse uolienose įtvirtinti geodeziniai ženklai. Lietuvoje stora Žemės plutos nuosėdinė danga, čia geodeziniai ženklai įtvirtinti jos paviršiuje, todėl metodikos keliamų stabilumo reikalavimų netenkina.

Atsižvelgiant į aprašytus E. Kääriäinen (Kääriäinen 1966) minėtus šios metodikos trūkumus bei, darant prielaidą, jog ne visos valstybės turi tokią gerą kaip Suomijos niveliacijos tinklų būklę, kai išlikę labai daug geodezinių ženklų, atlikti kartotiniai niveliacijos matavimai bei yra galimybė geodezinius ženklus įrengti

pamatinėse uolienose, yra poreikis sudaryti niveliacijos matavimų redukavimui į pasirinktą laiko momentą metodiką, tinkamą teritorijoms su stora nuosėdine žemės plutos danga, bei ne visose niveliacijos linijose turint kartotinius matavimus, kai kur išlikus nedaug kartotinai niveliuotų reperų.

1.3. VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ VERTINIMO, SUDARANT NIVELIACIJOS TINKLUS LIETUVOS TERITORIJOJE, GALIMYBĖS

Patikimai įvertinti vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaką sudarant geodezinius tinklus, galima tik turint detalias žinias apie vykstančius nagrinėjamoje teritorijoje dabartinius geodinaminius procesus, mokslškai pagrįstas metodikas, būdus jiems nustatyti bei technines galimybes moksliniams sprendimams įvykdyti.

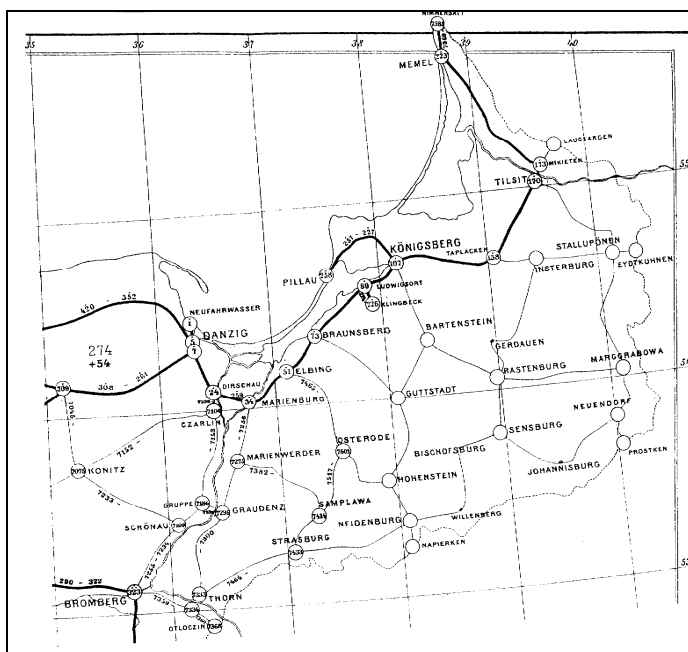
Iš šio darbo 1.2 poskyryje pateiktos mokslinės literatūros analizės matome, kad Lietuvoje paskelbta daug mokslinių publikacijų teoriniais dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių nustatymo bei interpretavimo klausimais. Pateiktos naujos metodikos, kuriomis remiantis parengti vertikaliųjų judesių prognozės modeliai bei vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių žemėlapiai. Šie žemėlapiai patikimai atspindi bendrąsias vertikaliųjų žemės plutos judesių Lietuvos teritorijoje savybes. Todėl galima teigti, kad yra pakankamas mokslinis pasirengimas ir įdirbis šiems klausimams spręsti. Tačiau įvertinant dabartinių geodinaminių procesų įtaką konkreitiems niveliacijos matavimams, sudarant vertikaliuosius geodezinius tinklus, redukuoti matavimų rezultatams, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, dažnai reikia detalesnių žinių apie žemės plutos judesius konkrečiose niveliacijų linijose. Todėl reikia turimas žinias detalizuoti, papildyti. Tam būtini patikimi ir pakankamai detalūs geodeziniai matavimai, t. y. turi būti reikiamos techninės galimybės šiems uždaviniams išspręsti.

Pasirinkus šiame darbe nagrinėjamos temos eksperimentiniu objektu Lietuvos teritoriją, disertaciniame darbe išnagrinėsime numatytų klausimų analizės technines galimybes.

Seniausi Lietuvos teritorijoje daryti niveliaciniai matavimai minimi rašytiniuose šaltiniuose atlikti 1804–1905 m. Jie vykdėti Nemuno slėniu tarp Kauno ir Gardino. Darbus atliko ir organizavo Rusijos bei Prūsijos šalių specialistų komisija (Kazakevičius 1998a, 1998b; Kolupaila 1925). 1823–1824 m. buvo niveliuojama Kurtuvėnų slėnis, vėliau, einant metams, buvo atliekamos ir kitos niveliacijos. Tačiau tuo laiku geodeziniai ženklai buvo menkai įtvirtinti, todėl palaipsniui išnyko. Tai buvo pavieniai matavimai, taikyti inžineriniams tikslams ir negali būti taikomi teritorijos tektoninio aktyvumo tyrimams.

Carinės Rusijos topografijos skyrius XIX a. pabaigoje sudarė didelį niveliacijos tinklą, apimantį vakarinę dalį, į kurio sudėtį įėjo ir Lietuva. Šios niveliacijos pėdsakų galima aptikti iki šiol, dauguma niveliacijos linijų ėjo naujai nutiestais geležinkeliais. Buvo pasiektas gana geras rezultatų tikslumas, paklaida sudarė $\pm 2,2$ mm/km (Kazakevičius 1998a, 1998b; Kolupaila 1926).

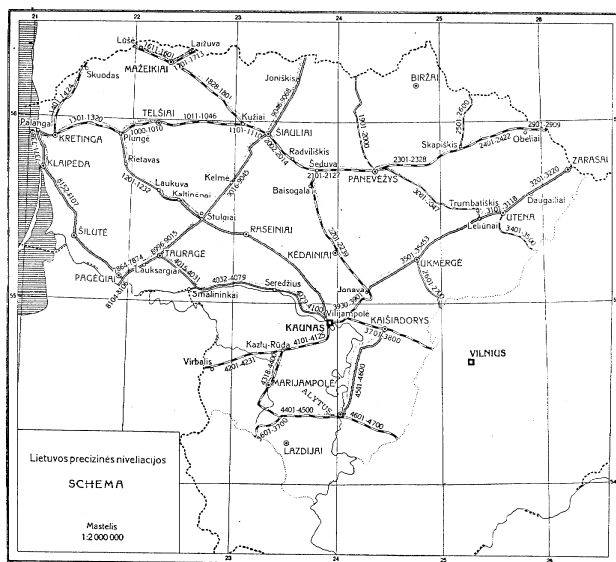
Klaipėdos krašte, valdomame vokiečių, XIX a. pabaigoje buvo sudarytas tankus precizinės niveliacijos tinklas, kurio nemažai ženklų išliko iki šiol. Niveliuojant buvo pasiektas 1,37 mm/km tikslumas (Kazakevičius 1998a, 1998b; Butrimas 1934). Prūsijos niveliacijos tinklo dalis, ėjusi per okupuotą Lietuvos teritoriją, pateikta 1.7 paveiksle.



1.7 pav. Prūsijos niveliacijos tinklo dalis
Fig. 1.7. Part of levelling network of Prussia

1918 m. Lietuvai atgavus nepriklausomybę, iš pradžių niveliacijos buvo atliekamos tik inžineriniams poreikiams tenkinti. Buvo išlikę labai nedaug geodezinių ženklų. 1924 m. Lietuva pasirašė tarptautinę konvenciją dėl Baltijos geodezinės komisijos įsteigimo, išpareigodama sujungti Vokietijos ir Latvijos niveliacijas. Buvo suprojektuotas precizinės niveliacijos tinklas. Šio tinklo sudarymo darbai pradėti 1930 m. ir vykdyti iki 1942 m. Vidutinė atsitiktinė kvadrati-

nė paklaida siekė $\pm 0,27$ mm/km, o sisteminė – apie $\pm 0,10$ mm/km (Kazakevičius 1999, Ratautas 1937).



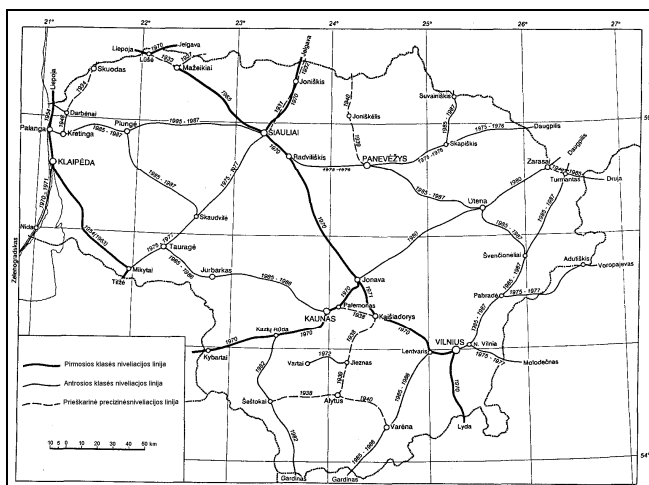
1.8 pav. Tarpukario Lietuvos precizinės niveliacijos tinklas

Fig. 1.8. Precision levelling network of Interwar period of Lithuania

Lenkų okupuotame Vilniaus krašte niveliacija buvo daroma 1930–1936 metais. Iki karo spėta užbaigti matavimus, išlyginti tinklą bei išleisti altitudžių katalogą, vidutinė kvadratinė niveliavimo paklaida yra $\pm 0,45$ mm/km (Kazakevičius 1998a, 1998b; Kolupaila 1940).

Po Antrojo pasaulinio karo, Sovietų Sąjungai okupavus Lietuvos Respubliką, aktyviai pradėta rūpintis niveliacijos tinklais, siekiant turėti okupuotųjų valstybių geodezinį aukščių pagrindą. Kariškiams buvo reikalingas užimtų teritorijų topografinis žemėlapis, taip pat šių duomenų reikėjo inžineriniams uždaviniams spręsti. Lietuvos precizinės niveliacijos tinklai buvo sistemingai rekonstruojami, sujungiant juos su Sovietų Sąjungos niveliacijos tinklais. 1948 metais buvo atlikti pirmosios bei antrosios niveliacijos tinklų matavimo darbai. Pirmosios klasės niveliacijos linija Jelgava – Baranovičiai pratęsiama iki Rygos, kur jungiasi su tos pačios klasės linija, einančia per Taliną Leningrado link. Su Bresto–Minsko–Viazmos linija Barančiuose sujungtas pietinis linijos galas, taip sudarytą poligoną susiejant su pirmosios klasės niveliacijos linija Leningradas–Maskva–Sevastopolis. Taip užbaigtas Sovietų Sąjungos vakarinio pakraščio pirmosios bei antrosios klasių niveliacijos tinklų rekonstravimas ir sisteminimas.

1954–1968 m. pradėtas pirmosios klasės tinklo tankinimas. Naujai niveliuojamos pirmosios klasės linijos buvo vedamos anksčiau niveliuotų antrosios klasės linijų trasomis. Nutiestos naujos niveliacijos linijos, einančios senų linijų trasomis: niveliacijos linija, jungianti Jonavą–Černiachovską–Liepoją, Šiaulius–Kūžius–Mažeikius (Kazakevičius 1999). Iki sovietinės okupacijos pabaigos sudarytas pagrindinis niveliacijos tinklas grafiškai atvaizduotas 1.9 paveiksle.



1.9 pav. Iki sovietmečio pabaigos Lietuvos teritorijoje sudarytas pagrindinis niveliacijos tinklas

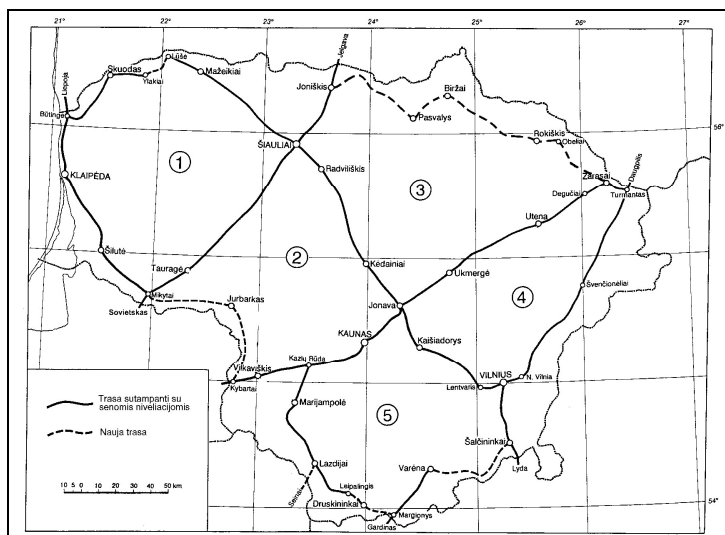
Fig. 1.9. The main levelling network of the territory of Lithuania compiled before the end of the Soviet Union

Lietuvai atgavus nepriklausomybę atsirado siekis įsijungti į Europą, todėl kilo klausimų dėl pradinių geodezinių atraminių sistemų bei tinklų, kartografinių projekcijų, lietuviškų topografinių žemėlapių kūrimo (Žalnierukas 1999). Vakarų Europoje savo ruožtu savoms reikmėms buvo suprojektuotas vientisas Europos niveliacijos tinklas (angl. *The United European Levelling Network – UELN*), jo kūrimas pradėtas 1955 m. atraminiu tašku imant Amsterdamo mariografą. Pirmą kartą tinklas išlygintas 1960 m. bei pavadintas UELN – 55. Vėlesniais metais Europos valstybėse buvo atlikta kartotinių niveliacijų ir galutinai tinklas išlygintas 1986 m., o rezultatai paskelbti kaip UELN – 73/86 (Ernsperger *et al.* 1986; Klug 1994).

Po EUREF simpoziumo, įvykusio Varšuvoje 1994 m., metu vientisas Europos niveliacijos tinklas plečiamas kaip UELN – 95 (Lang, Sacher 1995, 1996, 1997; Sacher *et al.* 1998, 1999). Pasiūlyta tinklą plėsti iki Juodosios jūros vakarų pakrantės, apjuosiant Baltijos jūrą. Vadovaujantis Bad Neuenahr-Ahrweiler (Vo-

kietija) 1998 m. įvykusio simpoziumo nutarimu, šiam tikslui pasiekti imta rengti ir Lietuvos niveliacijos duomenis. Duomenų parengimas, niveliacijos tinklų plėtos poreikis, jau esamų precizinės niveliacijos tinklų duomenų analizė pateikiama kai kuriuose darbuose (Paršeliūnas *et al.* 2000; Petroškevičius, Paršeliūnas 1998; Kumetaitis *et al.* 1994; Jucevičiūtė *et al.* 2003).

Vertikalusis valstybinis geodezinis pirmosios klasės niveliacijos tinklas Lietuvoje pradėtas kurti 1998 m. Atlikta esančių vertikaliųjų geodezinių tinklų analizė, punktų tinkamumo matavimams analizė, suprojektuoti bei įrengti nauji geodeziniai ženklai, numatytos trasos, kuriomis bus atliekami matavimai, suprojektuotos bei paklotos naujos niveliacijos linijos, atlikti matavimai. Darbai baigti 2006 m., matavimus atliko VGTU Geodezijos institutas. Niveliacijos tinklas (1.10 pav.) sujungtas į penkis poligonus. Darbų rezultatai pateikti Geodezijos instituto mokslo darbų ataskaitose, niveliacijos tinklo sutankinimo, atnaujinimo, apdorojimo problemas nagrinėjo R. Putrimas, B. Krikštaponis, E. Paršeliūnas, P. Petroškevičius, J. Skeivalas, J. Stepanovienė, A. Zakarevičius ir kt. autoriai.



1.10 pav. 1998–2006 m. Lietuvos teritorijoje sudarytas pirmosios klasės vertikalusis geodezinis tinklas

Fig. 1.10. First class vertical geodetic network compiled in the territory of Lithuania during 1998–2006

Dabartinis Lietuvoje esantis vertikalusis tinklas atitinka šiuolaikinius tikslumo reikalavimus bei europietiškus standartus. Naudojantis šio tinklo matavimų duomenimis galima atlikti vertikaliųjų žemės plutos judesių tyrimą ir prognozavimą.

1.4. PIRMOJO SKYRIAUS IŠVADOS IR DISERTACIJOS UŽDAVINIŲ FORMULAVIMAS

Iš atliktos mokslinės literatūros analizės galima daryti išvadas:

1. Paskelbtose mokslinėse publikacijose didelis dėmesys skiriamas dabartinių žemės plutos judesių tyrimams geodeziniais metodais, dažnai nustatant tik faktinius judesių parametrus, bet nepakankamai dėmesio skiriant geotektoniniam rezultatų interpretavimui.

2. Kompleksiniai tyrimai, kai geodeziniai matavimai papildomi tiriamųjų teritorijų georodikliais ir, remiantis geodeziniais matavimais bei georodikliais, sudaromi vertikaliųjų judesių prognozės matematiniai modeliai, intensyviau pradėti taikyti paskutiniajame dešimtmetyje. Daug tokių darbų paskelbė Lietuvos mokslininkai.

3. Dabartinių žemės plutos judesių įtakos geodezinių tinklų eksploatavimui, geodeziniais matavimams ir jų vertinimo, sudarant geodezinius tinklus, tyrimai nepakankamai išsamūs. Dažniausiai apsiribojama tik bendraisiais samprotavimais, bet ne gilesniu moksliniu bei praktiniu jų įvertinimu.

4. Įvertinant dabartinių geodinaminių procesų tyrimų būklę ir turimų rezultatų patikimumą, yra realios mokslinės ir praktinės sąlygos įvertinti vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaką niveliacijos tinklams. Todėl tolesniuose tyrimuose nagrinėsime vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaką geodeziniais tinklams ir jų matavimų rezultatus.

5. Skelbtos rekomendacijos ir metodikos geodinaminiais procesams įvertinti, atliekant geodezinius matavimus, dažniausia parengtos tiems atvejams, kai kartotiniai matavimai atliekami pagal tas pačias linijas, kartotinai niveliuojami tie patys geodeziniai ženklai. Tokias metodikas beveik išimtinai galima taikyti tik geodinaminiuose poligonuose.

6. Skelbtose metodikose netaikomi vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modeliai, judesių rodikliai įvertinami tik tiesiogiai pagal geodezinius matavimus. Todėl tokios metodikos sunkiai pritaikomos sudarant didelių teritorijų niveliacijos tinklus, kur niveliacijos linijose yra tik dalis kartotinai niveliuotų geodezinių ženklų, o kai kurios linijos suprojektuotos naujai ir jose kartotinių matavimų nėra.

7. Detaliausiai išnagrinėta ir praktiškai įvertinta vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaka sudarant Suomijos niveliacijos tinklą 1935–1955 m.

8. Suomijos 1935–1955 metais sudarytas niveliacijos tinklas, lyginant su kitų teritorijų (pvz., Lietuvos) niveliacijos tinklais turi tam tikrų ypatumų. Čia niveliacijos linijos sutampa su ankstesnės 1892–1910 metų niveliacijos linijomis ir didžioji geodezinių ženklų dalis sutapo su anksčiau niveliuotais ženklais. Daugumam ženklų įtvirtinti uolienose. Todėl šiuo atveju vertikaliųjų žemės plutos judesių vertinimą buvo galima atlikti be vertikaliųjų prognozės modelių.

9. Suomijoje taikyta vertikaliųjų žemės plutos judesių vertinimo, sudarant niveliacijos tinklą, metodika ypatinga tuo, kad pataisos buvo skaičiuojamos ne išmatuotiems aukščių skirtumams, bet išmatuotų aukščių skirtumų geopotencialiniams skaičiams. Mūsų nuomone, griežtesnis matavimų teorijos požiūriu sprendimas – pataisas skaičiuoti išmatuotiems aukščių skirtumams, t. y. tiesioginių matavimų rezultatams, o ne perskaičiuotiems į geopotencialinius skaičius. Tam reikia tam tikrų papildomų duomenų apie žemės masių tankius, kurie nustatyti taip pat su paklaidomis bei taikant tam tikras hipotezes.

10. Suomijoje taikyta keliapakopė vertikaliųjų žemės plutos judesių nustatymo metodika pagrįsta daugeliu skaičiavimo procedūrų bei komplikuoja praktinę naudojimą.

11. Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių vertinimo, sudarant geodezinius tinklus, nepakankamai išsamius tyrimus mokslo publikacijose iš dalies galima paaiškinti patikimų ir detalių vertikaliųjų žemės plutos judesių skaitinių charakteristikų, patikimų judesių prognozės modelių trūkumu.

12. Išnagrinėjus vertikaliųjų žemės plutos judesių tyrimų Lietuvoje teorinius pasiekimus ir praktinius tyrimų rezultatus bei mokslines ir technines galimybes įvertinti Lietuvos teritorijoje dabartinius žemės plutos judesius, galima teigti, kad Lietuvos teritorija yra tinkamas objektas atlikti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių vertinimo, sudarant geodezinius tinklus, tyrimus.

13. Įvertinant mokslinėje literatūroje nepakankamai išnagrinėtus klausimus reikia, žinant darbo tikslą, išspręsti šiuos uždavinius:

- Siekiant pagerinti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modelius, patobulinti jų sąsają su teritorijos georodikliais vertinimą.
- Teoriškai pagrįsti ir parengti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakos niveliacijos matavimams ir niveliacijos tinklams vertinimo metodiką.
- Parengti išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo į pasirinktą laiko momentą metodiką.
- Atlikti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modelių tobulinimo, taikant skirtingų georodiklių grupes, tyrimus.
- Atlikti dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakos, sudarant ir eksploatuojant Lietuvos niveliacijos tinklus, tyrimus.
- Apibendrinti tyrimų rezultatus ir parengti rekomendacijas vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakai vertinti, sudarant ir eksploatuojant niveliacijos (vertikaliuosius geodezinius) tinklus.

Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakos niveliacijos tinklams vertinimo metodikos tobulinimas

Skyriuje pateikiamos dabartinių išmatuotų vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių nustatymo, judesių greičių bei georodiklių sąsajų tyrimo metodikos. Pateikiama vertikaliųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų skaičiavimo metodika, vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio į niveliacijos tinklų eksploatavimą tyrimo metodika bei skirtingais metais išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, siekiant išvengti geodinaminių procesų įtakos į matavimų rezultatus, metodika.

Skyriaus tematika atlikti tyrimai paskelbti autoriaus straipsniuose bei tarptautinių, respublikinių konferencijų medžiagoje (Anikėnienė, Puzienė 2006; Puzienė 2004, 2005, 2006, 2009; Zakarevičius et al. 2005, 2008, 2009; Zakarevičius, Puzienė 2005, 2008, 2009; Пузене, Закарявичюс 2004).

2.1. DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ NUSTATYMAS PAGAL TIKSLIŲJŲ NIVELIACIJŲ MATAVIMŲ REZULTATUS

Vertikalieji žemės plutos judesiai geodeziniais metodais nustatomi pagal tikslųjų niveliacijų kartotinių matavimų rezultatus. Vertikalieji žemės plutos greičiai niveliacijos linijoje skaičiuojami pradinio tos linijos taško atžvilgiu arba susiejami viename tinkle vieno kurio pradinio taško atžvilgiu. Taikant kartotinių niveliacijų matavimų rezultatus vertikaliesiems žemės plutos judesiams skaičiuoti galima naudoti niveliacijos ženklų aukščius bei tarp gretimų punktų išmatuotus aukščių skirtumus. Pirmasis metodas turi nemažai trūkumų: niveliacijos matavimų rezultatai turi būti apdoroti toje pačioje aukščių ir sunkio sistemoje, taip pat nemažas papildomų paklaidų šaltinis yra reperių aukščio nustatymo atžvilgiu pasirinktų pradinių taškų paklaidos. Pradinių taškų aukščius gali labai paveikti paklaidos dėl Žemės plutos judesių. Kadangi Lietuvos teritorijoje niveliacijos atliktos tarpukario, okupacijos laikotarpiais, taip pat Lietuvai atgavus nepriklausomybę, jų rezultatai buvo apdorojami skirtingose aukščių sistemose. Išlyginant naujus niveliacijos ėjimus jie buvo susiejami su ankstesnių niveliacijų metu nustatytais ženklų aukščiais, neįvertinant šiems ženkliams vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio. Dėl minėtų šio metodo taikymo trūkumų, jis tyrimuose nenaudotas.

Vertikaliųjų žemės plutos judesiams skaičiuoti naudojant tarp geodezinių ženklų išmatuotuosius tiesiogiai ir neredukuotus į geopotencialinių aukščių sistemą aukščių skirtumus, išvengiama minėto metodo neigiamų savybių įtakos. Vertikalieji žemės plutos judesių greičiai skaičiuojami pagal formulę:

$$v_{ij} = \frac{h_{ij}'' - h_{ij}'}{\Delta t}, \quad (2.1)$$

čia: h_{ij}' , h_{ij}'' – pirmojo bei antrojo matavimų metu išmatuoti aukščių skirtumai tarp i ir j geodezinių ženklų, Δt – laiko tarpas tarp kartotinių niveliacijų.

Pagal niveliacijos linijos matavimų rezultatus apskaičiuoti vertikalieji žemės plutos greičiai pradinio linijos punkto atžvilgiu skaičiuojami pagal šią formulę:

$$v_k = \sum_{i=1}^k v_{i-1,i}, \quad (2.2)$$

čia $i = 0, 1, \dots, k$ – geodezinių punktų numeriai.

Siekiant išvengti aukščių paklaidų perdavimo nuo pradinių punktų taip pat kitų pirmojo metodo trūkumų įtakos, vertikalųjų žemės plutos judesių greičiams skaičiuoti naudojami tiesiogiai išmatuoti, neredukuoti į jokią geopotencialinių

aukščių sistemą niveliacijos tinklo duomenys. Jeigu niveliacijos tinklas ir išlygintas dalimis, pvz., išlyginti atskiri ėjimai, priimant pradiniais ankstesnių niveliacijos ženklų aukščius, norint išvengti pradinių taškų aukščių paklaidų dėl vykstančių vertikalųjų žemės plutos judesių, reikšmėms skaičiuoti reikia naudoti neišlygintus aukščių skirtumus. Šiuo atveju tyrimams atlikti galima naudoti įvairiais – tiek tarpukario, tiek sovietų okupacijos, tiek nepriklausomybės – laikotarpiais atliktų niveliacijos matavimų rezultatus.

Norint susieti atskirose kartotinės niveliacijos linijose apskaičiuotus pradinio linijos taško atžvilgiu vertikalųjų žemės plutos judesių greičius į vieną sistemą ir juos nustatyti pradinio pasirinkto taško atžvilgiu, sudaromi vertikalųjų judesių greičių poligonai, kurie išlyginami.

2.2. IŠMATUOTŲ DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ SĄSAJŲ SU TERITORIJOS GEORODIKLIAIS VERTINIMAS

Geodeziniais metodais išmatuotieji žemės paviršiaus judesiai – bendros gamtinės sistemos būvio parametrai. Jie atspindi žemės sluoksniuose vykstančius procesus. Norint detaliau ištirti vertikalųjų žemės judesių bei georodiklių (georodikliai – teritorijos geologinės charakteristikos) sąsajas, atliekami kompleksiniai tyrimai, bendrai analizuojant dabartinių žemės plutos judesių geodezinių matavimų duomenis su teritorijos georodikliais.

Išmatuotųjų dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių ryšių su teritorijos georodikliais pradinis vertinimas atliktas apskaičiuojant išmatuotų vertikalųjų žemės plutos judesių reikšmių ir teritoriją apibūdinančių georodiklių skaitmeninių reikšmių koreliacijos koeficientus (Дрейпер, Смит 1986; Родионов 1981)

$$r_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{\sigma_{ii} \cdot \sigma_{jj}}}, \quad (2.3)$$

čia: σ_{ij} – kovariacinės matricos elementai; σ_{ii}, σ_{jj} – atsitiktinių dydžių dispersijos.

Visų rodiklių tarpusavio matematinės statistinės sąveikos apibūdinamos koreliacijos koeficientų matrica (Длин 1975; Крамбейн, Грейбил 1969).

Kadangi išmatuoti vertikalieji žemės plutos judesiai yra su tam tikromis matavimų paklaidomis, taip pat jų savybės gali keistis ir einant laikui, apskaičiuotos koreliacijos koeficientų reikšmės tarp skirtingais laiko tarpais išmatuotų žemės plutos judesių ir tų pačių geologinių rodiklių yra skirtingos. Patikrai, ar apskaičiuotų koreliacijos koeficientų reikšmės gali būti su tam tikra tikimybe priskiriamos bendrai koreliacinei erdvei, t. y. ar pagal atskirų laiko tarpų vertikalųjų

judesių reikšmių imtis apskaičiuoti koreliacijos koeficientai su geologiniais rodikliais gali būti su tam tikra tikimybe laikomi tapačiais, taikyta statistika (Видуев, Кондра 1969; Крамбейн, Грейбил 1969):

$$V = \sum_{i=1}^s z_i^2 (n_i - 3) + \frac{\left(\sum_{i=1}^s z_i (n_i - 3) \right)^2}{\sum_{i=1}^s (n_i - 3)}, \quad (2.4)$$

čia:

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}, \quad (2.5)$$

r – koreliacijos koeficiento reikšmė; n_i – koreliacijos koeficientui skaičiuoti naudotų duomenų porų imtis; s – lyginamų koreliacijos koeficientų skaičius.

Hipotezė, kad visi koreliacijos koeficientai yra iš vienos koreliacinės erdvės, t. y. kad nesutapimai priklauso nuo jų nustatymo paklaidų, o judesių savybių pokyčiai neturi lemiamos reikšmės, su tikimybe $p = 1 - q$ imama, kai (Видуев, Кондра 1969):

$$\chi^2 \leq \chi_q^2, \quad (2.6)$$

čia χ_q^2 – Pirsono skirstinio šaknis esant patikimumo lygmeniui q ir $k = s - 1$ laisvės laipsniams.

Jeigu hipotezė apie koreliacijos koeficientų tapatumą priimama, bendra koreliacinės aibės Fišerio transformacijos reikšmė skaičiuojama taip (Видуев, Кондра 1969; Крамбейн, Грейбил 1969):

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^s z_i (n_i - 3)}{\sum_{i=1}^s (n_i - 3)}. \quad (2.7)$$

Apibendrinta visai lyginamų koreliacijos koeficientų aibei $\bar{r}$ reikšmė nustatoma iš (2.5) funkcijos, pagal apskaičiuoto (2.7) koeficiento $\bar{z}$ reikšmę, t. y. apskaičiuojama skaitmeniniais metodais sprendžiant lygtį (Видуев, Кондра 1969; Крамбейн, Грейбил 1969):

$$\bar{z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+\bar{r}}{1-\bar{r}}. \quad (2.8)$$

Tačiau apskaičiuotieji koreliacinės matricos elementai rodo ne tik rezultatinio rodiklio, gauto išmatavus vertikaliuosius žemės plutos judesius, sąveiką su teritorijos geologiniais rodikliais, bet ir geologinių rodiklių tarpusavio sąveikas. Bet koks rodiklis teikia daugiau informacijos apie matavimo rezultato variacijas, jei jo koreliacijos su matavimo rezultato rodikliu koeficientas didesnis. Tačiau daugiau informacijos apie matavimo rodiklį bendroje rodiklių sistemoje teiks tas rodiklis, kuris mažiau koreliuoja su kitais rodiklių sistemos elementais. Rodiklių tarpusavio priklausomybė lemia tai, kad jie neteikia visos informacijos apie rezultatą. Idealus atvejis būtų naudoti tokius rodiklius, kurie su rezultatinio rodiklio turėtų stiprią koreliaciją, bet tarpusavyje būtų statistiškai nepriklausomi. Tačiau dabartiniai žemės plutos judesiai ir geologiniai rodikliai yra vientisos gamtinės sistemos elementai, pasireiškiantys kaip sudėtingi geodinaminės sistemos posistemai. Tarp jų dažniausia yra priklausomybė ir idealusis atvejis neįmanomas. Todėl reikia įvertinti priklausomų rodiklių sistemų informatyvumą bei kompleksiskumą.

Nustatytieji ar išmatuotieji žemės plutos judesiai (rezultatinis rodiklis) bei teritorijos geologiniai rodikliai veiksniai) matematiniu statistiniu požiūriu sudaro vientisą kompleksą, todėl labiausiai nukrypstantiems nuo vientisojo komplekso rodikliams taikoma kompleksinė koreliacinė analizė.

Nagrinėjamų rodiklių grupės kompleksiskumo skaitmeninis rodiklis yra vidinės kompleksinės koreliacijos koeficientas (Длин 1975):

$$R_V = \frac{2 \sum_{i \neq j} |r_{ij}|}{m(m-1)}, \quad (2.9)$$

čia: i – koreliacinės matricos eilutės numeris; j – matricos stulpelio numeris; m – kompleksą sudarančių rodiklių skaičius. Jeigu $R_V \geq 0,5$ – galima teigti, kad rodikliai sudaro statistiškai pagrįstą vieningą kompleksą.

Labiausiai nukrypstantiems nuo vieningo komplekso rodikliams nustatyti skaičiuojami grupinės koreliacijos koeficientai (Длин 1975):

$$r_{j_0} = \frac{\sum_{i \neq j_0} |r_{j_0 i}|}{m-1}, \quad (2.10)$$

čia j_0 – rodiklio, kuriam skaičiuojamas grupinės koreliacijos koeficiento numeris.

Rodikliai, kurių koeficientai žymi silpniausią grupinę koreliaciją, tyrimo metu eliminuojami, siekiant nustatyti rodiklių grupę, kurios grupinės koreliacijos sąsajos stipriausios. Siekiamas gauti rezultatas – nemažinant arba nedaug mažinant bendrąją informacijos kiekį apie nagrinėjamą reiškinį, gauti mažesnės apimties rodiklių kompleksą, gana gerai atspindintį nagrinėjamą procesą.

Atliekant tolesnę analizę rodiklių grupių informatyvumui įvertinti taikomas Helvigo (Hellwig) metodas (Hellwig 1969). Rodiklių kombinacijoje S k -tojo požymio informatyvumas yra (Hellwig 1969):

$$h_{k_s} = \frac{r_{0k}^2}{1 + \sum_{i \neq j, i \neq k} |r_{ik}| + \sum_{i \neq j, i \neq k} |r_{kj}|}. \quad (2.11)$$

Visos požymių kombinacijos S informatyvumas bus:

$$H_S = \sum_k h_{k_s}. \quad (2.12)$$

Požymių kombinacijos informatyvumo rodiklis H_S visuomet bus $0 \leq H_S \leq 1$. Kuo H_S reikšmė artimesnė vienetui, tuo informatyvesnė tiriamoji požymių kombinacija. Tačiau rodiklis H_S apibūdina ne absoliutų informacijos kiekį, o informacijos kiekių santykius, esant įvairioms rodiklių kombinacijoms.

Koreliacijos koeficientų grupės visų galimų porų tiriamų charakteristikų analizė – įprastinė procedūra gautiems rezultatams vertinti. Siekiant geriau sugretinti pagal koreliacinės analizės rezultatus nustatytas statistines priklausomybes tarp vertikaliųjų žemės paviršiaus judesių greičių bei teritorijos geologinių rodiklių bei atvaizduoti priklausomybių struktūrą pagal apskaičiuotas koreliacines matricas, sudaromi koreliacijos grafai (Крамбейн, Грейбил 1969).

Sudarant minėtąsias diagramas, imama koreliacinė nagrinėjamų rodiklių matrica, atitinkamam rodikliui braižomas apskritimas su rodiklio pavadinimu. Šie apskritimai, priklausomai nuo jų tarpusavio koreliacijos stiprumo, sujungiami atitinkamai pažymėtomis atkarpomis. Sutarta, kad jei $-0,4 \leq r \leq 0,4$, tuomet laikoma, jog koreliacinio ryšio nėra arba jis labai silpnas. Jei $0,4 \leq r \leq 0,7$ arba $-0,7 \leq r \leq -0,4$, vidutinio stiprumo ryšiai, o jei $0,7 \leq r \leq 1$ arba $-1 \leq r \leq -0,7$, tuomet rodikliai pasižymi stipriais koreliaciniais tarpusavio ryšiais (Крамбейн, Грейбил 1969).

Priežastiniams ryšiams tarp dabartinių žemės plutos judesių greičių ir teritorijos georodiklių nustatyti, judesių prognozės pagal georodiklius galimybėms įvertinti bei teritorijos tektoninio fono prognozei sudaryti taikomam regresinė analizė (Дрейпер, Смит 1986). Regresiniai prognozės modeliai taikomi ir išmatuotų vertikaliųjų judesių reikšmėms glotninti, siekiant iš dalies tikimybiškai eliminuoti atsitiktinių priežasčių sukeltas smulkias anomalijas bei sumažinti atsitiktinių matavimo paklaidų įtaką, išryškinti bendruosius judesių dėsningumus (trendą). Norint nustatyti vertikaliųjų žemės plutos judesių ir georodiklių priklausomybes bei sudaryti regresinius judesių prognozės modelius, regresinėje analizėje priklausomu kintamuoju imama vertikaliųjų judesių greičiai, o nepriklausomais – georodikliai (tiesinės daugianarės regresijos atveju) bei geodezinio

ženklų atstumas nuo pradinio niveliacijos linijos punkto (polinominės regresijos atveju). Regresinė analizė – tai vienas iš tinkamaisių metodų lokalioms atsitiktinių priežasčių lemiamoms anomalijoms eliminuoti, priežastiniams ryšiams tarp dabartinių žemės plutos judesių greičių ir teritorijos georodiklių nustatyti, judesių prognozės pagal georodiklius galimybėms įvertinti bei teritorijos tektoninio fono prognozei sudaryti.

Sudaromos tiesinės regresijos lygtys (Дрейпер, Смит 1986):

$$V = X\beta + \varepsilon, \quad (2.13)$$

čia: V – išmatuotų dabartinių vertikalųjų žemės paviršiaus judesių reikšmių vektorius; X – teritorijos georodiklių skaitmeninių reikšmių matrica; β – modelio parametrų vektorius, ε – atsitiktinių paklaidų vektorius.

Modelio (2.13) parametrai nustatomi mažiausiųjų kvadratų metodu.

Matricine forma parašoma (Дрейпер, Смит 1986):

$$V = X\beta, \quad (2.14)$$

čia:

$$V = (v_1 v_2 \dots v_n)^T. \quad (2.15)$$

$$\beta = (\beta_0 \beta_1 \dots \beta_m)^T, \quad (2.16)$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}, \quad (2.17)$$

čia: x_{ij} – teritoriją apibūdinančių rodiklių reikšmės; m – rodiklių skaičius; n – pakartotinai užniveliuotų geodezinių ženklų skaičius.

Prognozės modelį (2.14) galima parašyti taip (Дрейпер, Смит 1986):

$$V = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon. \quad (2.18)$$

Regresijos modelio atitiktis matavimo rezultatams tikrinamas taikant šiuos regresijos tinkamumo rodiklius: determinacijos koeficientą R^2 bei Fišerio statistiką (Дрейпер, Смит 1986).

Hipotezė, kad regresinis modelis matematiniu statistiniu požiūriu adekvatus matavimo rezultatas su tikimybe $p = 1 - q$, imama tuomet, kai $F \geq F_{q(k_1, k_2)}$ čia q – patikimumo lygmuo, laisvės laipsniai $k_1 = m - 1$, $k_2 = n - m - 2$.

Regresinis modelis tuo efektyvesnis, kuo determinacijos koeficientas artimesnis vienetui ir kuo didesnė jo apatinė pasikliautinumo intervalo riba. Determinacijos koeficiento apatinė pasikliautinumo intervalo riba apskaičiuojama iš formulės (Дрейпер, Смит 1986):

$$R_{\min}^2 = R^2(m) - 2 \sqrt{\frac{2m(n-m-1)}{(n-1)(n^2-1)}} (1 - R^2(m)) \quad (2.19)$$

Kadangi nuosėdinė danga formavosi veikiant tęstiniais geologiniams procesams, tarp skirtingų geologinių rodiklių gali būti žymi koreliacinė priklausomybė, t. y. tarp priežastinių gali atsirasti rodiklių multikolinearumo sąlyga. Tokiu atveju, nesumažinant arba labai nedaug sumažinant modelio adekvatumą bei patikimumą, galima sumažinti regresijos lygtyje priežastinių rodiklių skaičių. Regresijos lygtyje paliekamiems rodikliams atrinkti galima taikyti atvirkstinę žingsninę regresiją, paeiliui eliminuojant iš lygties prognozuojamiems pagal regresijos lygtį rezultatams mažiausią įtaką turintį priežastinį rodiklį. Nustatyti, kuris kintamasis turi mažiausią įtaką, skaičiuojama statistika (Дрейпер, Смит 1986; Видуев, Кондра 1969):

$$F' = \frac{(s'_R - s_0)(n-m-1)}{s_R(m-1)}, \quad (2.20)$$

čia: s_0 – išmatuotų vertikalųjų žemės plutos judesių nuokrypių nuo jų vidurkių kvadratų suma; s_R – regresiniu modeliu su visais kintamaisiais aprašytų vertikalųjų judesių greičių nuokrypių nuo jų vidurkių kvadratų suma; s'_R – regresiniu modeliu be tikrinamojo rodiklio aprašytų vertikalųjų judesių nuokrypių nuo jų vidurkių kvadratų suma. Eliminuojamas tas kintamasis, kurio apskaičiuota F' reikšmė mažiausia. Eliminuojant kitus kintamuosius procedūros kartojamos.

Georodiklių reikšmės taip pat dažnai pasitaiko iškreiptos įvairių atsitiktinių trikdžių, nesusijusių su bendrais jų formavimosi dėsningumais. Todėl, nustatant priklausomybes tarp geodeziniais metodais išmatuotų dabartinių žemės plutos judesių ir georodiklių, rekomenduojama jų reikšmes filtruoti, taikant matematinius statistinius metodus, taip nustatant bendrąjį rodiklių kaitos trendą. Tokius filtravimus galima atlikti rodiklius aproksimuojant pagal polinominės regresijos modelius. Atliekant analizę taikyti iki trečiojo laipsnio polinomi, nes bendrieji rodiklių kaitos dėsningumai linijose nėra labai sudėtingi.

$$v_i = \beta_0 + \beta_1 S_i + \beta_2 S_i^2 + \beta_3 S_i^3 + \dots + \beta_m S_i^m, \quad (2.21)$$

čia: v_i – m -tojo laipsnio polinomu sugltoninto rodiklio reikšmė; S_i – taško atstumas nuo linijos pradžios; β_j ($j = 2, \dots, m$) – regresinio modelio parametrai. Tos

rodiklių reikšmės, kurios nepatenka į aproksimuotojo rodiklio trendo 95 % pasikliautinumo intervalą, eliminuojamos.

2.3. DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ ĮTAKA NIVELIACIJOS TINKLAMS

Vertikalieji žemės plutos judesiai – nepertraukiamai vykstantis gamtinis procesas. Priklausomai nuo teritorijos, jų intensyvumas bei kryptis yvareikia skirtingi.

Niveliacijos tinklo ženklai įtvirtinti žemės paviršiuje, todėl juos tiesiogiai veikia vykstantys geodinaminiai procesai. Dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio matavimų rezultatus veikia papildomos paklaidos, mažinančios matavimais gautų rezultatų tikslumą. Taip pat, atliekant niveliacijos tinklų matavimus, dažnai skirtingos linijos išmatuojamos nevienais metais, tarp skirtingų linijų matavimų būna kelerių metų tarpas, todėl jungiant linijas į poligonus, naudojami skirtingu laiku išmatuoti rezultatai. Siekiant išvengti vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio matavimų rezultatams, reikia juos redukuoti, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, apskaičiuojant atitinkamas pataisas.

Į vertikalios žemės plutos judesius galima žiūrėti kaip į nepertraukiamai tam tikroje teritorijoje vykstantį fizinį reiškinį. Jei turimą teritoriją (plokštumą) suskaidytume į taškus, gautume skaliarinių dydžių aibę. Ši erdvės dalis sudarys skaliarinį lauką (Копн Г., Копн Т. 1970). Kiekviename šio lauko taške atitinkamas skaliarinis dydis apibūdins tam tikrą fizinį reiškinį, vykstantį tame taške tam tikru laiko momentu, mūsų atveju – vertikalios žemės plutos judesius. Laikysime, kad šis skaliarinis dydis kinta tik tuo atveju, kai pereinama iš vieno lauko taško į kitą jo tašką. Tuo atveju skaliarinis dydis bus erdvės, kurioje kinta laukas, taško funkcija (Zakarevičius 1976, 1994).

Vietovėje vykstančius vertikalios žemės paviršiaus poslinkius galima aprašyti trijų nepriklausomų kintamųjų funkcija:

$$h = f(x, y, t), \quad (2.22)$$

čia: h – vertikalieji žemės paviršiaus poslinkiai; x, y – stačiakampės koordinatės; t – laikotarpis tarp pakartotų niveliacijų.

Teigiant, kad laikotarpiu tarp kartotinių matavimų vertikalųjų žemės paviršiaus judesių kryptis ir greitis nesikeitė, diferencijuodami (2.22) formulę skaliarinio lauko kintamuoju t , gauname vertikalųjų judesių greičių skaliarinį lauką

$$v = f(x, y), \quad (2.23)$$

kuris yra plokštuminių koordinatų funkcija.

Šį lauką galima atvaizduoti izolinijomis, t. y. sudaryti vertikalųjų žemės paviršiaus judesių greičių žemėlapi.

Diferencijuodami skaliarinio lauko (2.23) funkciją plokštuminių koordinatėms x, y atžvilgiu, gauname horizontaliųjų greičių gradientų modulių funkciją (Корн Г., Корн Т. 1970):

$$|gradV| = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right)^2}. \quad (2.24)$$

Skaičiuodami pagal (2.24) formulę, gausime vertikalųjų žemės paviršiaus judesių horizontaliųjų greičių gradientų modulių reikšmes konkrečiuose taškuose, kuriuos galima vaizduoti grafiškai, sudarant planus ar žemėlapius. Kai judesių greičiai išreiškiami mm/m., o koordinatės – kilometrais, greičių horizontaliųjų gradientų dimensijos gaunamos (mm/m.)km.

Neturint vertikalųjų žemės paviršiaus judesių greičių skaliarinio lauko funkcijos (2.24) analitinės išraiškos, o turint tik lauką, atvaizduotą grafiškai (vertikalųjų žemės paviršiaus judesių greičių žemėlapi), arba skaitmenines reikšmes taškuose, judesių greičių horizontaliųjų gradientų reikšmes (2.24) galima apskaičiuoti taikant skaitmeninius diferencijavimo metodus (Zakarevičius 1976, 1994a; Уломов 2004). Padarius prielaidą, jog vertikalųjų žemės plutos judesių kaita tarp izolinių V_i ir V_{i+1} ir atstumo tarp jų $D_{i,i+1}$ yra tiesinio pobūdžio, gradiento skaitinės reikšmės skaičiuojamos taikant šią formulę (Уломов 2004):

$$|gradV| = \frac{(V_{i+1} - V_i)}{D_{i,i+1}}. \quad (2.25)$$

Vertikalųjų žemės paviršiaus judesių įtaką niveliacijos tinklo tikslumo kaitai einant laikui galima apskaičiuoti pagal judesių greičių horizontaliųjų gradientų reikšmes ir laiką, praėjusį po tinklo sudarymo.

Po t metų niveliacijos tinklo eksploatavimo, išmatuotų aukščių skirtumų sistemosios paklaidos 1 km niveliacijos ėjimo pasiektą absoliutines reikšmes m_δ :

$$m_\delta = |gradV| \cdot t, \quad (2.26)$$

čia: m_δ – aukščių skirtumo paklaida dėl vertikalųjų žemės paviršiaus judesių, t – laikas, metais po matavimų (Zakarevičius 1976, 1994a).

Vertikalieji žemės plutos judesiai einant laikui išmatuotus aukščių skirtumus veikia pagal tuos pačius dėsningumus, kaip sistemosios matavimo paklaidos. Įvertinant atsitiktines matavimų paklaidas bei sistemosias matavimų paklaidas, suminė niveliacijos ėjimo išmatuotų aukščių skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida bus (Гайдаев 1969)

$$M = \sqrt{Lm_{\Delta}^2 + L^2m_{\delta}^2}, \quad (2.27)$$

čia: L – niveliacijos ėjimo ilgis, km; m_{Δ}, m_{δ} – vieno kilometro niveliacijos ėjimo atsitiktinės ir sistemingosios matavimo paklaidų reikšmės.

Sistemosios paklaidos visada turi būti mažesnės nei atsitiktinės matavimų paklaidos (Skeivalas 2001), t. y.

$$m_{\delta} = km_{\Delta}, \quad (2.28)$$

čia: k – koeficientas, priklausantis nuo sąlygos, apibūdinančios, kokią dalį atsitiktinės paklaidos gali sudaryti didžiausia leistina vieno kilometro niveliacijos ėjimo sistemingosios paklaidos reikšmė. Matavimų teorijoje (Vekteris *et al.* 2000) įprasta taikyti $k = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{5}\right)$ ribose. Tuomet sistemingąsias paklaidas galima eliminuoti.

Iš (2.27), (2.28) gauname

$$M = \sqrt{Lm_{\Delta}^2 + L^2k^2m_{\Delta}^2}. \quad (2.29)$$

Imdami sąlygą, kad L km ilgio niveliacijos ėjime suminės paklaidos ir jos sistemingosios dalies sando santykio reikšmė q , iš (2.29) galime parašyti:

$$\frac{(Lm_{\Delta}^2 + k^2L^2m_{\Delta}^2)}{(k^2L^2m_{\Delta}^2)} = q^2 \quad (2.30)$$

Išsprendę (2.30) lygtį L atžvilgiu, gauname:

$$L = \frac{1}{k^2(q^2 - 1)}. \quad (2.31)$$

Faktinė koeficiento k reikšmė niveliacijos ėjimui, įvertinus vertikalųjų judesių greičių horizontaliuosius gradientus, praėjus t metų nuo niveliavimo bus

$$k = \frac{|gradV| \cdot t}{m_{\Delta}}. \quad (2.32)$$

Atsižvelgiant į (2.26), galima parašyti

$$k = \frac{m_{\delta}}{m_{\Delta}}. \quad (2.33)$$

Iš (2.31) lygties, paėmus koeficientų k ir q reikšmes, galima apskaičiuoti didžiausią niveliacijos ėjimo ilgį, kuriame sistemingąsias matavimų paklaidas ga-

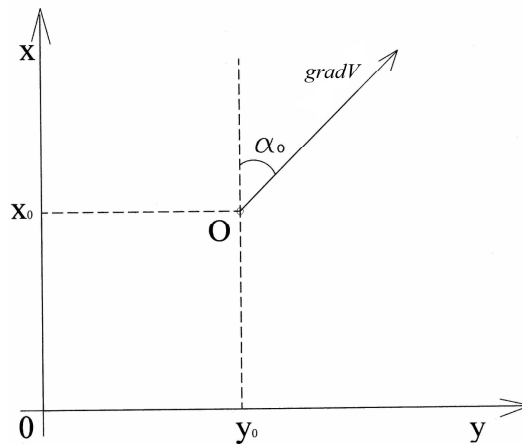
lima ignoruoti. Pavyzdžiui, pirmosios klasės niveliavimo $m_{\Delta} = 0,5$ mm/km sisteminės paklaidos sandas niveliacijos ėjime gali sudaryti vieną trečiąją bendrosios paklaidos dalį, vidutinė gradiento reikšmė niveliacijos ėjime $|gradV| = 0,02$ mm/km·m po niveliacijos matavimų praėjus $t = 4$ metų laikotarpiui; tuomet $q = 3$, $k = 0,16$. Laikantis šių sąlygų, iš 2.31 formulės apskaičiuotas didžiausias niveliacijos ėjimo ilgis, kuriame, apdorojant matavimo rezultatus, nebūtina įvertinti vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio, bus $L = 4,9$ km. Vadinasi, šiuo atveju, apdorojant matavimo rezultatus, niveliacijos ėjime būtina įvertinti dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio atsirandančias paklaidas, jei niveliacijos ėjimo ilgis didesnis už 5 km.

Taške $O(x_0, y_0)$ apskaičiuoto gradiento krypties kampas (direkcinis kampas) bus (2.1 pav.):

$$\alpha_0 = \arctg \frac{\frac{\partial f(x, y)_0}{\partial y}}{\frac{\partial f(x, y)_0}{\partial x}}, \quad (2.34)$$

čia: $\frac{\partial f(x, y)_0}{\partial x}$, $\frac{\partial f(x, y)_0}{\partial y}$ – vertikalųjų judesių greičių skaliarinio lauko (2.23)

išvestinės, apskaičiuotos taške O su koordinatėmis x_0, y_0 .



2.1 pav. Gradiento kryptis
Fig. 2.1. Direction of the gradient

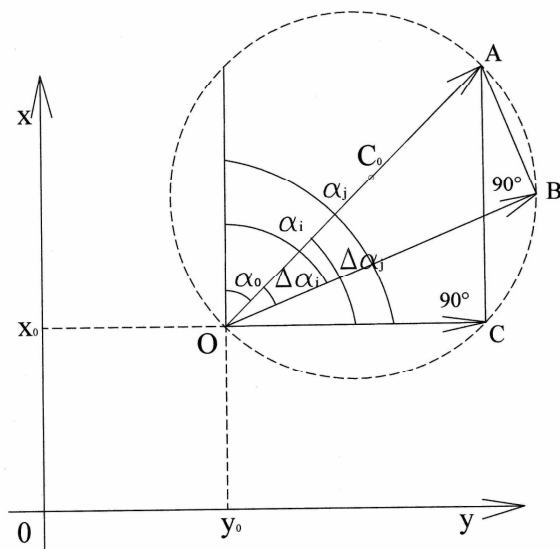
Didžiausią poveikį išmatuotiems aukščių skirtumams vertikalieji žemės plutos judesiai daro gradiento kryptimi α_0 .

Kokia nors kita kryptimi α_i vertikalųjų žemės plutos judesių įtaka išmatuotiems aukščių skirtumams priklausys nuo gradiento dėmens šia kryptimi reikšmės, kuri lygi gradiento reikšmės projekcijai į šią kryptį. Iš 2.1 paveikslo matyti, kad kryptių OA

$$\text{grad}V_{\alpha_i} = \text{grad}V \cdot \cos(\alpha_i - \alpha_0). \quad (2.35)$$

Išnagrinėsime, kaip kinta gradiento vertikalųjų žemės plutos judesių greičių horizontaliojo gradiento dėmuo keičiantis kryptiai α_i .

Išnagrinėkime, kokia gradiento dėmens kaita, kintant kryptiai α .



2.2 pav. Gradiento projekcijos į kryptis
Fig. 2.2. Projections of gradients towards directions

Kryptimi OB gradiento dėmens reikšmė bus:

$$\text{grad}V_{\alpha_j} = \text{grad}V \cdot \cos(\alpha_j - \alpha_0). \quad (2.36)$$

Kampai ABO ir ACO yra lygūs 90° . Žinant, kad apskritimo įbrėžtinio kampo reikšmė yra lygi pusei lanko, į kurį remiasi kampą sudarančios kraštinės, galima daryti išvadą, kad šiuos kampus sudarančios kraštinės remiasi į apskritimo skersme-

nį. Šio apskritimo skersmuo yra atkarpa AB, kurios reikšmė lygi $gradV$ moduliui $|gradV|$. Tokį apskritimą gausime jo centrą C_0 paėmę atkarpos OA viduryje.

Vadinasi, skaliarinio greičio lauko funkcijos išvestinė turės didžiausią reikšmę, kai ši funkcija kis gradiento kryptimi ir išvestinės reikšmė bus lygi gradiento moduliui. Išvestinės reikšmė bus lygi nuliui, kai ši funkcija kis statmena gradientui kryptimi. Keičiantis kryptčiai, išvestinės reikšmė kis nuo didžiausios iki mažiausios proporcingai kampo nuo 0° iki 90° kitimui.

Geodezijoje iš daugelio tyrimų nustatyta (Seto *et al.* 1999; Menzel 1999; Wehmann 1999; Lilje, Eriksson 1999; Csepregi 1999; Mäkinen, Saaranen 1999; Villadsen 1999a, 1999b; Kasser 1999; Ellmann *et al.* 1999; Kääriäinen 1999; Busics 1999), kad tikslioje niveliacijoje sistemingosios matavimo paklaidų reikšmės, esant kokybiškiems matavimams, sudaro apie 10 % atsitiktinių matavimų paklaidų, t. y. šiuo atveju koeficientas $k \approx 0,1$.

Geodezijoje įprasta, kad išmatuotų dydžių funkcijose, jeigu vieno iš dviejų paklaidų šaltinių įtaka nusakoma vidutine kvadratine paklauda, nevirsijiančia 1/3 dalies vidutinės kvadratinės paklaidos, apibūdinančios suminį tikslumą, tai įvertinant matavimų tikslumą ši paklaidų šaltinių galima ignoruoti (Гайдаев 1969). Laikantis šios sąlygos, koeficiento (2.30) reikšmė būtų $q \approx 3$, o niveliacijos matavimai neatitiktų tikslumo reikalavimų, atsižvelgiant į (2.26, 2.28), po

$$t \geq \frac{M}{3|gradV|} \quad (2.37)$$

metų.

Vieno kilometro ėjimo atsitiktinių vidutinių kvadratinų paklaidų reikšmė tiksliosiose krašto niveliacijose vidutiniškai yra $m_{\Delta} = 0,5\text{mm}$ (Seto *et al.* 1999; Menzel 1999; Wehmann 1999; Lilje, Eriksson 1999; Csepregi 1999; Mäkinen, Saaranen 1999; Villadsen 1999a, 1999b; Kasser 1999; Ellmann 1999; Kääriäinen 1999; Busics 1999; GKTR 2.12.01.:2001 Lietuvos valstybinis... 2001).

Taikant 2.26, 2.27, 2.28, 2.30 formules galima apskaičiuoti, kokios išmatuotųjų aukščių skirtumų paklaidos dėl vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos bus po tam tikro laikotarpio ir, atsižvelgiant į atitinkamai niveliacijos klasei taikomus tikslumo reikalavimus, tyrimo metu nustatyti, kokios niveliacijos linijos bei kiek procentų Lietuvos teritorijoje esančio vertikaliojo tinklo po tam tikro laikotarpio nebeatitiks tikslumo reikalavimų.

Sudarant geodezinius tinklus arba atliekant kartotinius matavimus darbai trunka kelerius metus. Dėl nepertraukiamai vykstančių geodinaminių procesų kinta Žemės taškų aukštis, todėl skirtingu metu atlikus matavimus net tuose pačiuose taškuose gaunamos skirtingos aukščių skaitinės reikšmės. Siekiant iš-

vengti geodinaminės kilmės poveikio matavimų rezultatams, reikia taikyti atitinkamas pataisas, matavimų rezultatus redukuojant į pasirinktą laiko momentą.

Siekiant apskaičiuoti šias dėl vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos atsiradusias matavimų rezultatų pataisas, reikia žinoti tiriamos teritorijos arba teritorijos palei niveliacijos trasas vertikalųjų žemės plutos judesių greičių arba greičių gradientų modelius. Skaičiuojant geodinamines pataisas, reikia naudoti ir pačių naujausių niveliacijų rezultatus, nes tyrimais nustatyta, jog einant laikui kinta vertikalųjų žemės plutos judesių pobūdis, kinta ne tik judesių greitis, bet ir kryptis (Amoruso 2005; Battaglia *et al.* 2003; Fukahata *et al.* 1996; Gottsmann *et al.* 2006; Юн *et al.* 2009; Lanari *et al.* 2004; Langbein 2003; Mizoue 1967; Mrlina 2000; Nielsen, Bayer 2003). O paskutinių matavimų rezultatams įtakos turi dabartiniai tektoniniai procesai, todėl šie duomenys tinkami tų procesų charakteristikoms nustatyti, kurios savo ruožtu taikant atvirkštinę sąsają, naudojamos šių matavimų pataisoms apskaičiuoti.

Nors pataisoms dėl vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos skaičiuoti galima naudoti tiek vertikalųjų judesių greičių žemėlapius, kur greičiai nustatomi interpoliuojant, tiek naudojant kartotinių geodezinių matavimų niveliacijos linijose duomenis, šis būdas yra daug patikimesnis, nes vertikalųjų greičių žemėlapiuose duomenys labai generalizuoti. Todėl pataisoms skaičiuoti rekomenduojama taikyti šį metodą.

Kai turime ne vieną kartą niveliuotose niveliacijos linijose kartotinai užniveliuotus reperius, galime rasti greičių gradientų ar greičių tose linijose empirines funkcijas. Horizontalųjų judesių greičių gradientai ir išmatuotųjų dydžių pataisos nepriklauso nuo judesių absoliučiuoju greičių reikšmių, o tik nuo greičių toje atkarpoje, kurios pataisa skaičiuojama, reikšmių skirtumų, t. y. nuo greičių gradientų reikšmių, kurios taip pat nesusijusios su absoliučiomis greičių reikšmėmis. Todėl sąlyginius greičius niveliacijos linijose galima skaičiuoti, nulinę greičių reikšmę sutapatinus su pradinės niveliacijos linijos tašku. Taikant šią metodiką, sąlyginių greičių bei pataisų skaičiavimas tiesiogiai susijęs tik su toje trasoje atliktais matavimais. Kitose linijose atlikti matavimai bei greičių nustatymo paklaidos pradinių laikomų punktų atžvilgiu neturi įtakos paklaidų skaičiavimui. Greičių funkcijos pavidalas pavienėse ir palyginti neilgose niveliacijos linijose yra paprastesnis ir tiksliau aprašomas polinominiais regresiniais modeliais, lygties parametrus įvedant pagal matavimų rezultatus. Taip pat niveliacijos linijos, nutiestos skirtingose Lietuvos vietose, pasižyminčios skirtinga geologine sąranga, nuo kurios priklauso tektoniniai procesai (Lietuvos geologija 1994), tad dėl šios priežasties taip pat naudinga kiekvienai niveliacijos tinklo linijai sudaryti atskiras lygtis.

Siekiant eliminuoti atsitiktinių priežasčių nulemtas anomalijas bei nustatyti bendruosius dėsningumus, atliekant išmatuotų vertikalųjų žemės plutos judesių tyrimą, galima taikyti regresinę analizę (2.13–2.21). Kaip jau minėta 2.2 posky-

ryje, nagrinėjant atskirose niveliacijų linijose išmatuotus vertikaliosius žemės plutos judesius, tinkamiausias tiesinis modelis (2.13–2.18), kuriame priklauso- mas kintamasis yra vertikalųjų judesių greitis, o nepriklausomi – georodikliai arba daugianaris regresinis modelis (2.21), kuriame priklauso- mas kintamasis yra vertikalųjų judesių greitis, aprašytas šiuo modeliu, o nepriklausomas kintama- sis – S (geodezinio ženklų atstumas nuo niveliacijos linijos pradinio taško).

Turint vertikalųjų judesių greičių daugianarius regresinius modelius (2.21) arba greičių gradientų modelius

$$\text{grad}(v) = F'_S(S) = f(S) \quad (2.38)$$

tarp taškų i ir j išmatuotų aukščių skirtumų h_{ij} pataisos, kai atstumai nuo pradinio linijos taško S_i ir S_j , skaičiuojami pagal formules (Zakarevičius 2007):

$$\delta h_{ij} = (T_0 - T) [F(S_j) - F(S_i)] \quad (2.39)$$

arba

$$\delta h_{ij} = \frac{(T_0 - T)}{S_j - S_i} \int_{S_i}^{S_j} f(S) ds, \quad (2.40)$$

čia: T_0 – laiko momentas, į kurį redukuojami matavimų rezultatai; T – nivelia- vimo laiko momentas; S_j , S_i – atstumai nuo niveliacijos linijos pradžios iki geodezinių ženklų i , j .

Kai pradžioje sudaromas vertikalųjų judesių greičių gradientų modelis, greičių modelį galima sudaryti gradientų modelį integruojant pagal kintamąjį S . Integravimo konstantos reikšmė apskaičiuojama atsižvelgiant į sąlygą, jog lini- jos pradiniam taške vertikalųjų judesių greičiai lygūs nuliui ar kitai žinomai greičių reikšmei.

2.4. IŠMATUOTŲ AUKŠČIŲ SKIRTUMŲ REDUKAVIMAS, ATSIŽVELGIANT Į PASIRINKTĄ LAIKO MOMENTĄ

Kaip matyti iš 1.2, 2.2 poskyrių, niveliacijos matavimais gautus rezultatus veikia geodinaminiai procesai. Atliekant niveliacijos matavimus, darbai užsitęsia tam tikrą laikotarpį, kartais net kelerius metus, todėl, siekiant išvengti vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos, matavimais gautus rezultatus reikia redukuoti į pasi-

rinktą laiko momentą, į niveliacijos rezultatų apdorojimą įvedant pataisų dėl geodinaminių procesų taikymo metodiką.

Projektuojant geodezinius tinklus dažnai susiduriama su situacija, kai šalies teritorijoje jau yra anksčiau paklotos niveliacijos linijos, kuriose buvo atliekami kartotiniai geodeziniai matavimai. Kartais, ypač po tam tikrų istorijos kataklizmų, šalyje būna išlikę tik tam tikri anksčiau buvusio tinklo fragmentai. Numačius atkurti geodezinius tinklus, taip pat projektuojant naujas linijas, susiduriame su situacija, kai ne visose niveliacijos linijose turime kartotinius geodezinius matavimus. Jungiant linijas, gali atsitikti taip, jog į poligono sudėtį įeis sudaryta niveliacijos linija, kurioje anksčiau nebuvo atlikti matavimai. Todėl pataisoms dėl geodinaminių procesų aukščių skirtumams skaičiuoti sudaryti du algoritmai – kai poligoną sudaro niveliacijos linijos, kuriose atlikti kartotiniai matavimai bei kai į poligoną įeina niveliacijos linija ar linijos, kuriose nėra atlikta kartotinių matavimų. Lietuvos teritorijos pavyzdžiu atliktas tyrimas, pasirinkus du atitinkamus poligonus, pataisoms aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktą laiko momentą skaičiuoti naudojant du skirtingus algoritmus.

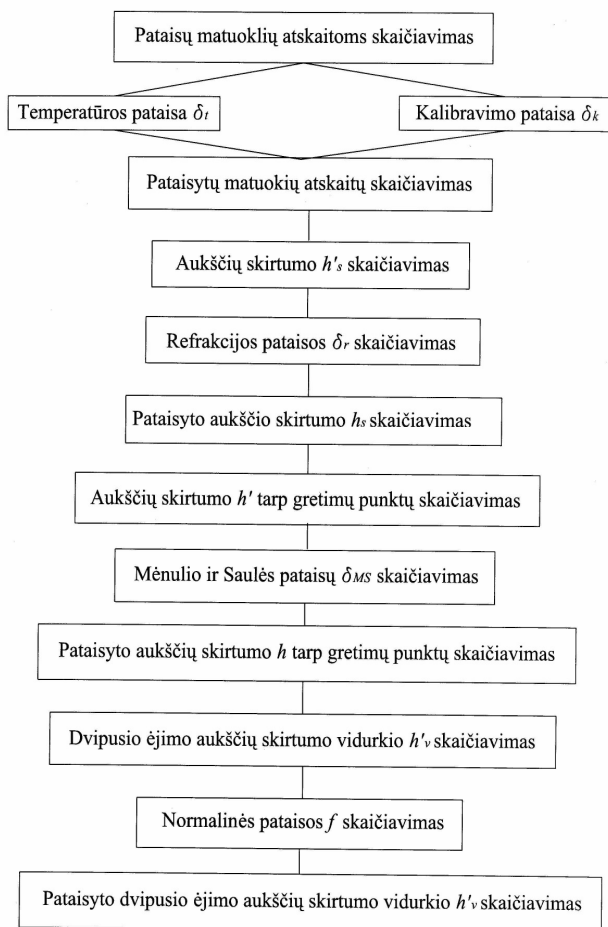
2.4.1. NIVELIACIJOS MATAVIMŲ APDOROJIMO TECHNOLOGINĖ SEKA

Atliekant geodezinius matavimus, gaunamos tam tikros išmatuotų dydžių vertės, kurios skiriasi nuo tikrųjų verčių. Taip atsitinka dėl matuotojo klaidų, prietaisų netobulumo, aplinkos poveikio ir kt. Siekiant kiek galima labiau išmatuotąsias dydžių vertes priartinti prie tikrųjų jų verčių, apdorojant matavimų rezultatus, skaičiuojamos atitinkamos pataisos (Skeivalas 1995, 2001; GKTR 2.12.01.:2001 Lietuvos valstybinis... 2001). Apdorojant tiksliųjų niveliacijų matavimų duomenis, matavimams naudojant šiuolaikinius prietaisus, pradinis duomenų apdorojimas atliekamas atitinkamais programiniais paketais, įeinančiais į nivelių komplektaciją. Tačiau šiuose programiniuose paketuose nenumatyti reikiamų pataisų skaičiavimai, todėl, tęsiant matavimo duomenų apdorojimą, skaičiuojamos atitinkamos pataisos. Pataisų matavimais gautiems rezultatams skaičiavimo eiga grafiškai pavaizduota 2.3 paveiksle (*Lietuvos gravimetrinio...* 1998).

Kaip matome iš 2.3 paveikslo, išmatuotiems aukščių skirtumams tarp gretimų reperų skaičiuojamos temperatūros, komparavimo, refrakcijos, Mėnulio bei Saulės, normalinės pataisos.

Matuoklės matavimų metu yra veikiamos aplinkos temperatūros. Dėl atitinkamos temperatūros poveikio kūnai plečiasi arba traukiasi. Veikiant aplikos temperatūrai, matuoklės taip pat plečiasi arba traukiasi, kinta atstumai tarp žymenų matuoklėse. Siekiant iš matavimų rezultatų eliminuoti įtaką dėl temperatūros poveikio, matuoklių atskaitos, atsižvelgiant į oro temperatūrą, redukuotos į ma-

tuoklių komparavimo temperatūrą $+20^{\circ}\text{C}$. Tam tikslui skaičiuojamos pataisos dėl temperatūros.



2.3 pav. Pataisų įvedimo į išmatuotą aukščių skirtumą eiga

Fig. 2.3. Sequence of the corrections made, concerning the differences of the measured altitudes

Pataisa dėl temperatūros skaičiuojama (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$\delta_t = a_m \cdot \frac{\alpha}{3}, \quad (2.41)$$

čia: a_m – atskaita matuoklėje; α – matuoklės trijų metrų intervalo temperatūrinės priklausomybės lygtis (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$\alpha = k_1(t_m - 20^\circ) + k_2, \quad (2.42)$$

čia: k_1 ir k_2 – matuoklės ilgio temperatūrinės priklausomybės lygties koeficientai, t_m – matuoklės invarinės juostelės temperatūra (laipsniais, Celsijaus skalėje) niveliuojant. Lygties (2.42 formulė) narys t_m skaičiuojamas (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$t_m = t_0 + 6^\circ, \text{ kai } t_0 > 25^\circ; \quad (2.43)$$

$$t_m = t_0 + 4^\circ, \text{ kai } t_0 > 20^\circ; \quad (2.44)$$

$$t_m = t_0 + 2^\circ, \text{ kai } t_0 > 15^\circ; \quad (2.45)$$

$$t_m = t_0, \text{ kai } t_0 < 15^\circ; \quad (2.46)$$

čia t_0 – oro temperatūra.

Taip pat matuoklių atskaitoms pataisyti skaičiuojamos matuoklių komparavimo pataisos (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$\delta_k = k_3 a_m + k_4, \quad (2.47)$$

čia: k_3 ir k_4 – matuoklės komparavimo lygties koeficientai, a_m – atskaita matuoklėje.

Skaičiuojami aukščių skirtumai stotyje (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$h'_s = (a_m + \delta_t^a + \delta_k^a) - (p_m + \delta_t^p + \delta_k^p), \quad (2.48)$$

čia: a_m ir p_m – atskaitos atgalinėje ir priekinėje matuoklėse; δ_t^a , δ_t^p – temperatūros pataisos atgalinės ir priekinės matuoklės atskaitoms; δ_k^a , δ_k^p – komparavimo pataisos atgalinės ir priekinės matuoklės atskaitoms.

Apskaičiuotiems aukščių skirtumams stotyje pataisyti skaičiuojamos refrakcijos pataisos (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$\delta_R = A \Delta t S^2 h'_s, \quad (2.49)$$

čia: A – koeficientas; Δt – temperatūrų, išmatuotų Z_1 ir Z_2 aikščiuose virš žemės paviršiaus, skirtumas, laipsniais; S – vizavimo spindulio ilgis; h'_s – aukščių skirtumas stotyje.

Koeficientas A skaičiuojamas iš formulės (Borre 1990):

$$A = \frac{4,76 \cdot 10^{-4}}{Z_2^c - Z_1^c} \left\{ \frac{p^{c+1} - a^{c+1}}{c+1} - Z_0^c(p-a) \right\}, \quad (2.50)$$

čia: Z_1, Z_2 – temperatūros matavimo aukštis virš žemės paviršiaus; c – koeficientas; a, p – atgalinės ir priekinės matuoklių atskaitos pataisytos temperatūros ir kalibravimo pataisomis; Z_0 – nivelyro aukštis.

Skaiciuojamas aukščių skirtumas stotyje, pataisytas refrakcijos pataisa (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$h_s = h'_s + \delta_R. \quad (2.51)$$

Randamas aukščių skirtumas h' tarp gretimų punktų.

Kadangi Žemė yra veikiamą Mėnulio ir Saulės, dėl jų poveikio vyksta potvyniai ir atoslūgiai, kinta sunkio jėgos pagreitis, vertikalės kryptis, lygio paviršių padėtis. Ši kaita vyksta periodiškai, atskiri jos elementai turi pusės paros, paros, mėnesio, metų bei kt. periodus. Mėnulio ir Saulės pataisos δ_{MS} aukščių skirtumams skaičiuotos pagal formulę (Lietuvos gravimetrinio... 1998)

$$\delta_{MS} = \delta_M + \delta_S, \quad (2.52)$$

čia: δ_M – Mėnulio pataisa; δ_S – Saulės pataisa. Jos atitinkamai skaičiuojamos (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$\delta_M = 0,068S \sin 2z_M \cos(A_M - A), \quad (2.53)$$

$$\delta_S = 0,032S \sin 2z_S \cos(A_S - A), \quad (2.54)$$

čia: S – atstumas kilometrais tarp vertikaliojo tinklo punktų; z_M ir z_S – Mėnulio bei Saulės zenitiniai nuotoliai; A_M ir A_S – Mėnulio bei Saulės azimutai; A – krypties tarp tinklo punktų azimutas.

Skaiciuojami pataisyti aukščių skirtumai (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$h = h' + \delta_{MS}. \quad (2.55)$$

Toliau skaičiuojamas tiesioginio ir atgalinio ėjimų aukščių skirtumo vidurkis h'_v .

Lietuvoje naudojama normalinių aukščių sistema, kurioje taškų aukštis išreiškiamas formule (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$H = \frac{W_0 - W_A}{\gamma_v}, \quad (2.56)$$

čia: W_0, W_A – sunkio jėgos potencialai pradiniam taške O ir taške A, kurio aukštis nustatomas; γ_v – vidutinė normalinė sunkio jėga (pagreitis) atkarpoje tarp taškų. Potencialų skirtumas gali būti nustatytas susiejant taškus su niveliavimo ėjimu ir atlikus gravimetrinius matavimus.

Norint pereiti į normalinių aukščių sistemą, išmatuotiems aukščių skirtumams skaičiuojamos normalinės pataisos f (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$f = -\frac{1}{\gamma_v}(\gamma_{0k} - \gamma_{0i})H_v + \frac{1}{\gamma_v}(g - \gamma)_v h_{ik}, \quad (2.57)$$

čia: $\gamma_v = 980\,000$ mgal; γ_{0i}, γ_{0k} – normalinė sunkio jėga punktuose ties elipsoido paviršiumi, skaičiuojama iš formulės (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$\gamma_0 = 978030 \left(1 + 0,005302 \sin^2 B - 0,000007 \sin^2 2B \right), \quad (2.58)$$

čia: B – geodezinė platumą; H_v – punktų i, k vidutinis aukštis, metrais; $(g - \gamma)_v$ – punktų i, k vidutinė sunkio jėgos anomalija; h_{ik} – išmatuotas aukščių skirtumas; $g - \gamma = \Delta g_B + KH$ (skaičiuojama ties kiekvienu reperiu); Δg_B – Bouger anomalija; $K = 0,0418\delta$, $\delta = 2,3 \text{ g/cm}^3$ – tankis, naudotas skaičiuojant Bouger anomaliją.

Skaičiuojami normaline pataisa pataisyti aukščių skirtumai (galutiniai arba normaliniai aukščių skirtumai) (Lietuvos gravimetrinio... 1998):

$$h_v = h'_v + f. \quad (2.59)$$

Turint šiuos aukščių skirtumus, pradiniu imant kurio nors niveliacijos linijos punkto normalinį aukštį H , apskaičiuojami visų niveliacijos liniją sudarančių geodezinių punktų normaliniai aukščiai. Siekiant išvengti matavimų rezultatuose esančių atsitiktinių bei sistemintųjų paklaidų, tinklas išlyginamas.

Išnagrinėjus gamyboje taikomą (Lietuvos gravimetrinio... 1998) ir aprobuotą vertikaliojo geodezinio tinklo sudarymo reglamente (GKTR 2.12.01.:2001 Lietuvos valstybinis... 2001) niveliacijos matavimo technologinę schemą, matome, kad nenumatytas dabartinių geodinaminių procesų vertinimas. Kadangi tinklo matavimai užtrunka keletą ar net keliolika metų, dėl nepertraukiamai vykstančių geodinaminių procesų jau sudarant tinklą dalį matavimų veikia sistemingosios paklaidos. Neįvertinus geodinaminių procesų įtakos, galutinio matavimų apdorojimo metu (išlyginant tinklą), aukščių skirtumų matavimo rezultatai neatitinka faktinės fizinės padėties. Todėl reikalingi metodai ir būdai, kaip įvertinti dabartinių žemės plutos judesių įtaką bei ją sumažinti, redukuojant matavimus, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, papildant niveliacijos matavimų apdorojimo technologinę schemą.

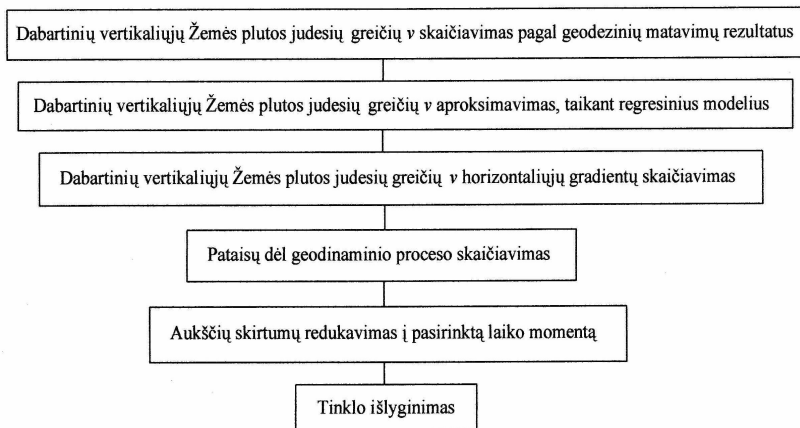
2.4.2. IŠMATUOTŲ AUKŠČIŲ SKIRTUMŲ REDUKAVIMAS, ATSIŽVELGIANT Į PASIRINKTĄ LAIKO MOMENTĄ, NIVELIACIJOS LINIJOJE ESANT KARTOTINIAMS MATAVIMAMS

Niveliacijos linijoje esant kartotiniams matavimams, galimi du būdai įvertinti vertikaliuosius žemės plutos judesius, redukuojant matavimų duomenis, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą:

1. Vertikaliųjų žemės plutos judesių greičius niveliacijos linijoje įvertinant tik pagal geodezinių matavimų duomenis.
2. Kai vertikaliųjų žemės plutos judesių greičiai niveliacijos linijose prognozuojami pagal tai linijai sudarytą, remiantis geodeziniais matavimais ir georodikliais, regresinį modelį.

Pirmuoju atveju vertikaliųjų žemės plutos judesių greičiai apskaičiuojami pagal kartotinių niveliacijų rezultatus (2.1, 2.2). Siekiant eliminuoti lokalias atsitiktines anomalijas ir nustatyti apibendrintą žemės plutos judesių tendą nagrinėjamoje linijoje, išmatuoti judesiai glotninami, taikant polinominį modelį (2.21). Turint šį modelį (2.21), išmatuoti aukščių skirtumai redukuojami į pasirinktą laiko momentą pataisoms skaičiuoti taikant 2.39 formulę.

Ši niveliacijos linijos matavimų rezultatų redukavimo į pasirinktą laiko momentą schema vaizduojama 2.4 paveiksle.



2.4 pav. Išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą pagal geodezinių matavimų duomenis schema

Fig. 2.4. Diagram on the reduction of differences of measured altitudes in respect to the selected moment of time following the data of geodetic measurements

Šią išmatuotų niveliacijos duomenų redukavimo į pasirinktą laiko momentą metodiką būtų rekomenduojama taikyti tuomet, kai niveliacijos linijoje yra daug tolygiai išsidėsčiusių kartotinai niveliuotų geodezinių ženklų.

Antruoju atveju, turint išmatuotus vertikaliuosius žemės plutos judesius (2.1, 2.2) bei georodiklių reikšmes tose vietose, kuriose įrengti geodeziniai ženklai, vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių prognozei nagrinėjamose linijose sudaromas regresinis modelis (2.13–2.18).

Tuomet vertikaliųjų judesių greičių horizontaliųjų gradientų modelis (2.25) niveliavimo linijoje sudaromas taikant skaitmeninį diferencijavimą

$$\text{grad}v_{i,i+1} = \frac{v_{i+1} - v_i}{S_{i+1} - S_i}, \quad (2.60)$$

čia: $v_{i,i+1}$ – gradiento reikšmė atkarpoje tarp geodezinių ženklų; v_i, v_{i+1} – vertikaliųjų judesių greičių reikšmės taškuose i ir $i+1$; S_i, S_{i+1} – taškų i ir $i+1$ atstumai nuo niveliacijos linijos pradžios taško; i ir $i+1$ – geodeziniai ženklai, tarp kurių išmatuotam aukščių skirtumui skaičiuojamos pataisos. Pataisos išmatuotiems aukščių skirtumams, atsižvelgiant į (2.39) ir (2.60), bus:

$$\delta_{h_{i,i+1}} = (T_0 - T) \cdot \text{grad}v_{i,i+1}. \quad (2.61)$$

Šią išmatuoto aukščių skirtumo redukavimo į pasirinktą laiko momentą metodiką rekomenduojama taikyti tuomet, kai niveliacijos linijose kartotinai niveliuoti geodeziniai ženklai išsidėstę netolygiai, atliekant naujas niveliacijas įrengta daug naujų ženklų.

Kai pagal vertikaliųjų judesių prognozės modelį (2.13–2.18), nustatytas vertikaliųjų judesių grafikas labai sudėtingas, turinti daugybę nedidelių anomalijų, norint išryškinti svarbiausias vertikaliųjų judesių tendencijas, prognozuotus judesius rekomenduojama glotninti polinominiu modeliu (2.21). Tuomet pataisos dėl vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio išmatuotiems aukščių skirtumams, taikant sudarytą polinominį modelį (2.21), skaičiuojamos kaip ir pirmuoju atveju.

Redukuojant išmatuotus aukščių skirtumus į pasirinktą laiko momentą, galima naudotis ir sudarytais vertikaliųjų žemės plutos judesių žemėlapiais, turint vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių žemėlapi kaip plokštuminių koordinatčių funkciją (2.22) $v = f(x_i, y_i)$. Tuomet vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių horizontalusis gradientas tarp geodezinių ženklų i ir j , kurių koordinatės (x_i, y_i) ir (x_j, y_j) bus

$$\text{grad}v_{ij} = \frac{f(x_j, y_j) - f(x_i, y_i)}{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}}. \quad (2.62)$$

Turint vertikalųjų žemės plutos judesių greičių žemėlapi grafine forma, judesių greičių reikšmės atitinkamuose taškuose galima nustatyti grafinio interpolavimo būdu, o atstumą išmatuoti.

Turint vertikalųjų žemės plutos judesių žemėlapio regresinį modelį (2.13–2.18), (2.61) formulei reikalingas judesių greičių reikšmės, galima nustatyti žinant georodiklių reikšmės taškuose i ir j . Vertikalųjų judesių greičių reikšmės apskaičiuojamos taikant (2.18) formulę.

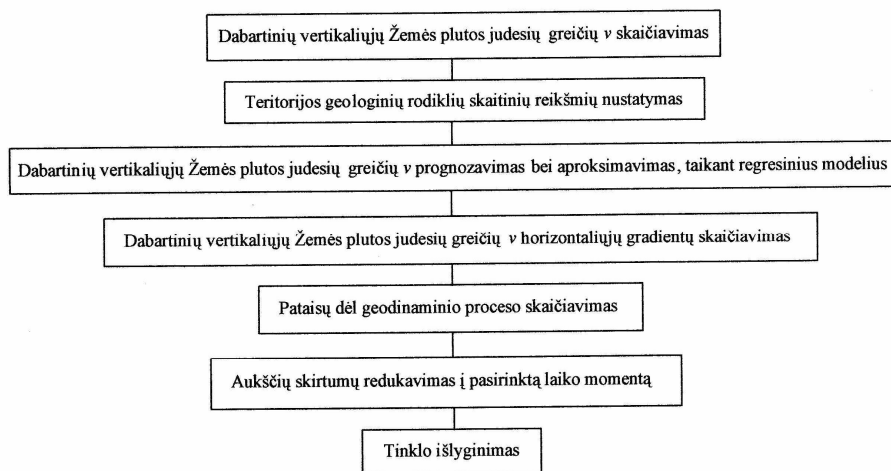
Tyrėjų įrodyta, jog vertikalieji žemės plutos judesiai yra kintančio intensyvumo, tam tikrais atvejais stebimos jų inversijos (Amoruso 2005; Battaglia *et al.* 2003; Fukahata *et al.* 1996; Gottsmann *et al.* 2006; Юн *et al.* 2009; Lanari *et al.* 2004; Langbein 2003; Mizoue 1967; Mrlina 2000; Nielsen, Bayer 2003). Siekiant kiek įmanoma išvengti šių veiksnio įtakos geodinaminių procesų skaičiavimo pataisų rezultatui, pataisoms skaičiuoti pasirenkama paskutinės bei priešpaskutinės niveliacijų matavimų rezultatai.

2.4.3. IŠMATUOTŲ AUKŠČIŲ SKIRTUMŲ REDUKAVIMAS, ATSIŽVELGIANT Į PASIRINKTĄ LAIKO MOMENTĄ, NIVELIACIJOS LINIJOJE NETURINT KARTOTINIŲ MATAVIMŲ

Dėl įvairių priežasčių einant laikui išlieka ne visos niveliacijos linijos. Siekiant atstatyti krašto niveliacijos tinklą, taip pat, kintant krašto ekonominei situacijai, statant naujus strateginės reikšmės statinius, naujai projektuojant šalies niveliacijos tinklus ir dėl kitų priežasčių šalies teritorijoje klojamos naujos niveliacijos linijos. Šiose linijose nėra atlikta kartotinių niveliacijos matavimų, tačiau, matavimus jungiant į vientisą tinklą, nes matavimai paprastai užtrunka keletą metų, vėlgi susiduriama su geodinaminių procesų paveiktais matavimų rezultatais. Todėl, net ir visose niveliacijos linijose neturint kartotinai atliktų matavimų, išlieka poreikis, siekiant išvengti geodinaminių procesų įtakos, matavimų rezultatus redukuoti į pasirinktą laiko momentą. Šiai problemai išspręsti sudaryta pataisų dėl geodinaminių procesų skaičiavimo metodika, niveliacijos linijose neturint kartotinių geodezinių matavimų (2.5 pav.).

Niveliacijos linijoje, kurioje nėra atlikta kartotinių matavimų, pagal geodezinių punktų koordinates nustatomi teritorijos geologiniai rodikliai. Ši niveliacijos linija paprastai jungiasi su kitomis niveliacijos linijomis, kuriose yra atlikta kartotiniai geodeziniai matavimai ir kurios su minėtąja linija sudaro niveliacijos poligoną. Šioms linijoms taip pat pagal geodezinių punktų koordinates nustatomos teritorijos geologinių rodiklių skaitinės reikšmės. Remiantis gretimų niveliacijos linijų, kuriose yra kartotinai atlikti geodeziniai matavimai, duomenimis,

sudaromas vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių prognozės regresinis modelis (2.13–2.18). Šis modelis taikomas pagal geologinius rodiklius prognozuoti vertikaliųjų žemės plutos judesių greičiams ir gretimai esančiai niveliacijos linijai, kuriai nėra atlikta kartotinių matavimų.



2.5 pav. Išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, niveliacijos linijoje neturint kartotinių matavimų, metodikos taikymo schema

Fig. 2.5. Diagram on the application of methodology concerning the reduction of differences of measured altitudes in respect to the selected moment of time, when no repeated measurements are present in the levelling line

Taip pat vertikaliesiems žemės plutos judesiams vertinti galima taikyti ir sudarytus vertikaliųjų žemės plutos judesių žemėlapius.

Turint vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių regresinius modelius arba žemėlapi, pataisų dėl vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio išmatuotiems aukščių skirtumams seka tokia pati, kaip ir 2.4.2 poskyrio antru atveju.

Turint redukuotus į pasirinktą laiko momentą aukščių skirtumus, skaičiuojami redukuoti į pasirinktą laiko momentą geodezinių punktų aukščiai ir tinklas išlyginamas.

Šias 2.3.2, 2.3.3 skyriuose pateiktas išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo į pasirinktą laiko momentą metodikas, siūloma įtraukti į 2.3.1 skyriuje pateiktą niveliacijos matavimų apdorojimo metodiką, taip ją papildant ir patobulinant.

2.5. ANTROJO SKYRIAUS IŠVADOS

1. Taikant georodiklius vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modeliams sudaryti, ne visi rodikliai ar rodiklių grupės yra vienodai informatyvios. Įvertinti rodiklių ar jų grupių informatyvumą, rodiklių grupių kompleksiskumą, siūloma taikyti šiame skyriuje pateiktą kompleksinės koreliacinės analizės bei informatyvumo tyrimo metodiką.
2. Vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modeliams sudaryti taikant georodiklius, taip pat georodikliams ir vertikaliesiems judesiams apibendrinti siūloma taikyti regresinius modelius. Pateikta regresinių modelių patikimumo ir adekvatumo matavimų duomenims vertinimo metodika.
3. Remiantis matematinės statistikos metodais, parengta metodika vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakai niveliacijos matavimams įvertinti.
4. Parengtos metodikos niveliacijos matavimų rezultatams į pasirinktą laiko momentą redukuoti, kai niveliacijos linijose yra kartotiniai geodeziniai matavimai ir kai kartotinių geodezinių matavimų nėra.
5. Linijose, kuriose nėra kartotinių geodezinių matavimų, atliekant redukavimą, vertikaliuosius žemės plutos judesius galima įvertinti taikant judesių prognozės daugianarius regresinius modelius. Linijose, kuriose yra atlikti kartotiniai geodeziniai matavimai, geodinaminius procesus galima įvertinti ir tiesiogiai pagal geodezinius matavimus.

Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modelių tobulinimas

Šiame skyriuje atlikti tyrimai siekiant aprobuoti antrajame skyriuje pateiktą tyrimų metodiką ir pagrįsti jos taikymo ypatumus.

Skyriuje ištirta atskirų georodiklių grupių (taikant įvairių autorių naudojamus bei naujai pasiūlytus tiriamos teritorijos nuosėdinės dangos struktūrinės kompleksinės sąrangos georodiklius) sąsajos su išmatuotais vertikaliaisiais žemės plutos judesiais. Atliekami georodiklių kompleksiskumo ir informatyvumo tyrimai. Ištirtos vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės, taikant regresinius modelius ir naudojant skirtingas georodiklių grupes galimybės.

Skyriaus tematika paskelbti šie autoriaus straipsniai bei publikacijos (Anikėnienė, Puzienė 2006; Puzienė 2004, 2005, 2006; Zakarevičius et al. 2005, 2008; Zakarevičius, Puzienė 2005, 2008, 2009; Пузене, Закарявичюс 2004).

3.1. DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ SĄSAJŲ SU GEORODIKLIAIS TYRIMAS LIETUVOS TERITORIJOJE

Vertinant dabartinių žemės plutos judesių įtaką geodeziniais tinklams bei geodeziniais matavimams, reikalingi patikimi duomenys apie nagrinėjamoje teritorijoje vykstančių geodinaminių procesų savybes.

Sudarant ir eksploatuojant niveliacijos tinklus, reikia žinoti vertikaliųjų Žemės plutos judesių savybes. Tenka įvertinti žemės plutos judesius ne tik niveliacijos tinklo linijoje, kuriose atlikti kartotiniai geodeziniai matavimai, bet ir linijose, kuriose tokių matavimų nėra, todėl reikalingi kaip galima kokybiškesni žemės plutos judesių prognozės metodai. Geodeziniai ženklai įrengti žemės plutos viršutinėje dalyje, kurios deformacijos veikiamos ne tik bendrų, tam tikroje teritorijoje žemės plutos judesių sukeliančių veiksnių, bet ir lokalių atsitiktinių priežasčių. Todėl, norint pagal matavimų duomenis nustatyti bendruosius žemės plutos judesių dėsninumus niveliacijos linijose su kartotiniais geodeziniais matavimais ir juos išplėsti į gretimas teritorijas, kuriose nėra kartotinių geodezinių matavimų, reikalingi vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modeliai. Tokie modeliai sudaromi remiantis bendru kartotinių geodezinių matavimų ir teritoriją apibūdinančių georodiklių matematiniu statistiniu apdorojimu (2.2 poskyris). Tokia metodika, paremta statistinės analizės principu, dabartinius žemės plutos judesius interpretuojant kaip sudėtingos gamtinės geodinaminės sistemos vienos iš posistemių išorinio būvio parametru. Teritorijos georodikliai yra kitų šią sistemą sudarančių posistemių būvio parametrai, todėl tarp jų turi būti stochastiniai ryšiai (Zakarevičius 2003).

Kadangi tyrimams naudojama keli skirtingi georodikliai, daroma prielaida, jog šie rodikliai gali būti susiję skirtingais tarpusavio ryšiais bei tiriamam procesui teikti skirtingą informacijos kiekį, kuris gali būti ir šalutinio, nepageidaujamo pobūdžio.

Tyrimams imta Lietuvos teritorijoje esančios 1-osios klasės niveliacijos linijose dabartiniai išmatuoti vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiai v bei šie georodikliai (Zakarevičius *et al.* 2008; Zakarevičius, Puzienė 2009):

- x_1 – žemės paviršiaus reljefas;
- x_2 – prekvartero nuogulų storis;
- x_3 – prekvartero nuogulų reljefas;
- x_4 – nuosėdinės dangos storis;
- x_5 – magnetinis laukas (magnetinio lauko stipris);
- x_6 – kvartero dangos storis;
- x_7 – kristalinio pamato reljefas;
- x_8 – gravitacinis laukas (Bouger anomalijos).

Šių tyrime naudotų georodiklių reikšmės nustatytos pagal reperių koordinates iš Geologijos tarnybos skaitmeninių duomenų bazių.

Tyrime naudotų tiksliųjų niveliacijų charakteristikos pateiktos 3.1 lentelėje.

3.1. lentelė. Niveliacijų linijų charakteristikos

Table 3.1. Characteristics of levelling lines

Niveliacijos linijos	Metai	Niveliaciją atliko	Matavimų tikslumas, mm/km
Kazlų Rūda–Lazdijai	1982	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė	0,92
	1998	VGTU Geodezijos institutas	0,47
Turmantas–Vilnius	1985–1987	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė	0,69
	2005–2006	VGTU Geodezijos institutas	0,34
Jonava–Turmantas	1980	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė	0,62
	2005	VGTU Geodezijos institutas	0,38
Jonava–Kybartai	1970	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 7-oji įmonė	0,47
	1998	VGTU Geodezijos institutas	0,39
Jonava–Jelgava	1970–1971	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 7-oji įmonė	0,53
	2002	VGTU Geodezijos institutas	0,41
	2004	VGTU Geodezijos institutas	0,48
Vilnius–Jonava	1970–1971	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 7-oji įmonė	0,53
	1998	VGTU Geodezijos institutas	0,36
Mikytai–Būtingė	1973–1975	Vilniaus inžinerinio statybos instituto Geodezijos katedra	0,50
	2003	VGTU Geodezijos institutas	0,42

Sąsajoms tarp vertikaliųjų žemės plutos judesių ir geologinių rodiklių nustatyti taikoma koreliacinė analizė, o prognozės modeliams sudaryti – regresinė analizė. Sąsajoms nustatymo ir prognozės modelių sudarymo metodika išnagrinėta šio darbo antrojo skyriaus 2.2 poskyryje.

Koreliacinės analizės rezultatai pateikti 3.2 lentelėje. Joje pateikti koreliacijos koeficientai, kurių reikšmingumas $p \geq 0,95$ bei simboliu „*“ pažymėti koeficientai, kurių reikšmingumas $p \geq 0,90$, o koreliacijos koeficientai, kurių reikšmingumas $p < 0,90$ nepateikiami.

3.2 lentelė. Koreliacinės matricos koeficientų reikšmės

Table 3.2. Values of the coefficients of correlation matrix

Niveliacijos linija	$r(vx_1)$	$r(vx_2)$	$r(vx_3)$	$r(vx_4)$	$r(vx_5)$	$r(vx_6)$	$r(vx_7)$	$r(vx_8)$
Kazlų Rūda–Lazdijai	–0,96	0,68	–0,89	0,53	0,53	–0,88	–0,75	0,87
Turmantas–Vilnius	0,55	0,96		0,93		0,38*	–0,94	–0,86
Jonava–Turmantas	0,89		0,80	0,45		0,62		
Jonava–Kybartai		0,44	–0,69	0,57	0,52	0,40*	–0,57	0,59
Jonava–Jelgava		0,79	0,48	0,75		–0,66	–0,80	0,76
Vilnius–Jonava	0,89	–0,85	0,77	–0,85	0,38	0,64	0,88	
Mikytai–Būtingė			–0,80	0,40	–0,71	0,81	–0,41*	

Iš 3.2 lentelėje pateiktų koreliacinės analizės rezultatų matyti, kad skirtingose niveliacijos linijose išmatuotų vertikalųjų žemės plutos greičių koreliacijos gana skirtingos, turi gana skirtingus rodiklius, tačiau yra ir dėsningumų. Stipriausios yra vertikalųjų žemės plutos judesių bei nuosėdinės dangos storio ($0,40 \leq |r_{ij}| \leq 0,93$), kvartero dangos storio ($0,38 \leq |r_{ij}| \leq 0,88$), prekvartero dangos storio ($0,44 \leq |r_{ij}| \leq 0,96$) bei kristalinio pamato reljefo ($0,41 \leq |r_{ij}| \leq 0,94$) koreliacijos. Kadangi linijos yra skirtingose Lietuvos Respublikos teritorijos vietose, natūralu, jog skiriasi geologinė teritorijos sandara, o tai ir lemia skirtingas koreliacines rodiklių tarpusavio priklausomybes. Iš šios analizės rezultatų galima daryti prielaidą, kad geodeziniais metodais išmatuoti vertikalieji žemės plutos judesiai yra ne atsitiktinio pobūdžio, bet atspindintys natūraliai vykstančius gamtinės kilmės žemės plutos judesius.

Kadangi nagrinėjamieji georodikliai su vertikaliais žemės plutos judesiais v bei tarpusavyje vienas su kitu susiję skirtingo stiprumo ryšiais, taikant 2.2 skyriuje aprašytą kompleksinės koreliacijos metodą siekiama nustatyti, kurie iš jų susieti didžiausiomis kompleksinės koreliacijos įverčių reikšmėmis. Kompleksinės koreliacinės analizės rezultatai pateikti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Vidinės kompleksinės koreliacijos koeficientai**Table 3.3.** Coefficients of internal complex correlation

Niveliaci- jos linija	Grupinės koreliacijos koeficientai k_{jo}									R_v
	rodikliai									
	v	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	
Turman- tas– Vilnius	0,77	0,67	0,83		0,85		0,59	0,83	0,83	0,77
	0,85	0,64	0,89		0,90		–	0,89	0,86	0,84
	0,92	–	0,96		0,96		–	0,96	0,89	0,94
	0,94	–	0,98		0,97		–	0,97	–	0,97
Jonava– Turmantas	0,69	0,80		0,64	0,59		0,59			0,66
	0,71	0,82		0,74	0,56		–			0,71
	0,85	0,89		0,85	–		–			0,86
Jonava– Kybartai	0,54		0,52	0,51	0,54	0,50	0,31	0,55	0,32	0,48
	0,56		0,58	0,46	0,63	0,57	–	0,63	0,27	0,53
	0,57		0,66	0,43	0,74	0,68	–	0,74	–	0,64
	0,53		0,77	–	0,83	0,73	–	0,83	–	0,74
Jonava– Jelgava	0,66		0,72	0,54	0,70	0,34	0,25	0,72	0,61	0,57
	0,66		0,80	0,63	0,79	0,39	–	0,80	0,64	0,67
	0,72		0,87	0,69	0,86	–	–	0,87	0,70	0,78
	0,78		0,88	–	0,87	–	–	0,89	0,76	0,83
	0,78		0,92	–	0,91	–	–	0,93	–	0,89
Vilnius– Jonava	0,81	0,88	0,87	0,65	0,87	–	0,66	0,89		0,80
	0,82	0,90	0,92	–	0,90	–	0,75	0,92		0,87
	0,87	0,93	0,94	–	0,94	–	–	0,96		0,93
Mikytai– Būtingė	0,63			0,54	0,32	0,49	0,50	0,31		0,46
	0,68			0,66	0,15	0,59	0,63	–		0,54
	0,77			0,85	–	0,75	0,83	–		0,80
	0,81			0,88	–	–	0,89	–		0,86

3.3 lentelės tęsinys

Niveliaci- jos linija	Grupinės koreliacijos koeficientai k_{jo}									R_v
	rodikliai									
	v	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	
Kazlų Rūda— Lazdijai	0,76	0,74	0,66	0,68	0,54	0,42	0,68	0,71	0,65	0,65
	0,79	0,76	0,71	0,72	0,60	—	0,68	0,76	0,70	0,71
	0,84	0,81	0,67	0,76	—	—	0,73	0,73	0,73	0,75
	0,87	0,85	—	0,79	—	—	0,77	0,67	0,76	0,79
	0,90	0,90	—	0,82	—	—	0,82	—	0,79	0,84
	0,91	0,93	—	0,83	—	—	0,85	—	—	0,88
	0,92	0,95	—	—	—	—	0,92	—	—	0,93

Iš tyrimo metu gautų rezultatų matyti, kad glaudžiausi ryšiai sieja skirtingose niveliacijų linijose matavimais gautus vertikaliosios žemės plutos v judesius su skirtingais georodikliais:

Turmantas–Vilnius. Tiriant nustatyta, kad didžiausia v bei 2, 4, 7 georodiklių grupės vidinės kompleksinės koreliacijos sąsaja. Nuo bendro komplekso nutolę 1, 6, 8 georodikliai.

Jonava–Turmantas. Didžiausia v bei 1, 3 georodiklių grupės vidinės kompleksinės koreliacijos sąsaja. Nuo bendro komplekso nutolę 4, 6 georodikliai.

Jonava–Kybartai. Didžiausia v bei 2, 4, 5, 7 georodiklių grupės vidinės kompleksinės koreliacijos sąsaja. Nuo bendro komplekso nutolę 3, 6, 8 georodikliai.

Jonava–Jelgava. Didžiausia v bei 2, 4, 7 georodiklių grupės vidinės kompleksinės koreliacijos sąsaja. Nuo bendro komplekso nutolę 3, 5, 6, 8 georodikliai.

Vilnius–Jonava. Didžiausia v bei 1, 2, 4, 7 georodiklių grupės vidinės kompleksinės koreliacijos sąsaja. Nuo bendro komplekso nutolę 3, 5, 6 georodikliai.

Mikytai–Būtingė. Didžiausia v bei 3, 6 georodiklių grupės vidinės kompleksinės koreliacijos sąsaja. Nuo bendro komplekso nutolę 4, 5, 7 georodikliai.

Kazlų Rūda–Lazdijai. Didžiausia v bei 1, 6 georodiklių grupės vidinės kompleksinės koreliacijos sąsaja. Nuo bendro komplekso nutolę 2–5, 7, 8 georodikliai.

Kadangi Lietuvos teritorijoje geologinė sandara gana skirtinga, o niveliacijos linijos įvairiose Lietuvos teritorijos vietose, todėl tarp tiriamų rodiklių gaunamos gana skirtingos statistinės sąsajos. Apibendrinant gautus rezultatus matyti, kad didžiausios kompleksinės koreliacijos įverčių reikšmės vertikaliosios Žemės plutos judesius sieja su kristalinio pamato, nuosėdinės dangos, prekvartero nuogulų dangos storiais. Silpniausios arba nereikšmingiausios reikšmės – su

gravitaciniu lauku, magnetiniu lauku, kvartero dangos storiu, prekvartero reljefu. Priklausomai nuo teritorijos geologinės sandaros kai kuriose niveliacijos linijose išmatuoti vertikalieji žemės plutos judesiai susieti statistiniais ryšiais su vienais geologiniais rodikliais, o kitose linijose – su kitais.

Visais atvejais matyti, kad eliminavus rodiklius, kurių kompleksinės koreliacijos įverčių reikšmės mažiausios, kitų georodiklių bei dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių greičių vidinės kompleksinės koreliacijos koeficientas yra gerokai didesnis nei taikant visų požymių kompleksą. Tai reiškia, kad norint sudaryti prognozuojamų vertikalųjų žemės plutos judesių modelius nebūtina naudoti visų georodiklių. Statistinės sąsajos tarp rodiklių byloja, kad geodeziniais metodais nustatyti vertikalieji žemės plutos judesiai nėra atsitiktinio pobūdžio paklaidų ar reperijų nepastovumo rezultatas.

Tyrime naudojama visa georodiklių grupė. Kadangi tai skirtingi georodikliai, tarpusavyje susiję tam tikromis priklausomybėmis, daroma prielaida, kad į tiriamą reiškinį jie įneša nevienodą kiekį informacijos. Siekiant ištirti georodiklių informatyvumą, atliktas tyrimas, taikant 2.2 poskyryje aprašytą tyrimo metodiką (2.11, 2.12 formulės).

Georodiklių grupių informatyvumo tyrimo rezultatai pateikti 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Lyginamasis informatyvumo vertinimas

Table 3.4. Comparative evaluation of informative information

Geologiniai rodikliai	Niveliacijos linijos						
	Turmantas–Vilnius	Jonava–Turmantas	Jonava–Kybartai	Jonava–Jelgava	Vilnius–Jonava	Mikytai–Būtingė	Kazlų Rūda–Lazdijai
Pirmoji požymių kombinacija							
x_1	0,07	0,24			0,15		0,15
x_2	0,18		0,05	0,12	0,13		0,08
x_3		0,23	0,12	0,05	0,14	0,22	0,15
x_4	0,17	0,07	0,08	0,11	0,13	0,07	0,06
x_5			0,12	0,05		0,19	0,07
x_6	0,03	0,14	0,06	0,21	0,09	0,24	0,14
x_7	0,17		0,08	0,12	0,14	0,08	0,10

3.4 lentelės tęsinys

Geolo- giniai rodikliai	Niveliacijos linijos						
	Turman- tas– Vilnius	Jonava– Turman- tas	Jona- va– Kybar- tai	Jona- va– Jelgava	Vil- nius– Jonava	Miky- tai– Būtin- gė	Kazlų Rūda– Lazdijai
x_8	0,14		0,13	0,13			0,14
H_l	0,77	0,68	0,63	0,79	0,80	0,80	0,89
Antroji požymių kombinacija							
x_1		0,42			0,21		0,46
x_2	0,31		0,05	0,21	0,18		
x_3		0,34				0,63	
x_4	0,29		0,09	0,19	0,18		
x_5			0,08				
x_6						0,33	0,40
x_7	0,30		0,09	0,21	0,20		
H_l	0,90	0,76	0,31	0,61	0,77	0,96	0,86
Trečioji požymių kombinacija							
x_1	0,12					0,08	
x_2							0,10
x_3			0,19	0,13	0,48		0,21
x_4		0,12					0,07
x_5				0,06			0,11
x_6	0,06	0,23	0,07	0,29	0,33	0,42	
x_7							0,11
x_8	0,30		0,15	0,26		0,08	0,20
H_l	0,48	0,35	0,41	0,74	0,81	0,58	0,80

Lietuvos teritorijos geologinė sandara gana skirtinga. Nuosėdinės dangos storio skirtumas nuo 2000 m pajūrio zonoje iki 250 m pietrytinėje Lietuvos dalyje; priklausomai nuo teritorijos skirtingos ir kitų georodiklių reikšmės. Todėl priklausomai nuo vietos, kurioje nutiesta niveliacijos linija geologinės sandaros, skirtingi ir šio tyrimo rezultatai.

Rodiklių informatyvumo tyrimams buvo sudarytos trys požymių kombinacijos. Į pirmąją požymių kombinaciją įeina visi georodikliai, naudoti atliekant tyrimus. Apibendrinami šių georodiklių grupės tyrimo rezultatus matome, kad informatyviausi yra prekvartero reljefas, kristalinio pamato reljefas, kvartero dangos storis, gravitacinis laukas.

Iš pateiktos kompleksinės koreliacinės rodiklių analizės rezultatų (3.3 lentelė) matyti, kad tam tikri rodikliai susieti didžiausios kompleksinės koreliacijos įverčių reikšmėmis. Kiti eliminuoti georodikliai tėra pašaliniai trikščiai atliekant tyrimą, teikiantys nemažai pašalinės informacijos, todėl antrajai požymių kombinacijai (3.4 lentelė) priskirti georodikliai, kurių grupinės koreliacijos koeficientai yra didžiausi. Šioje kombinacijoje visi tiriami georodikliai, išskyrus magnetinį lauką, gana informatyvūs. Požymių kombinacijos informatyvumas šiek tiek pakinta, nes iš tyrimo eliminuoti tam tikri rodikliai.

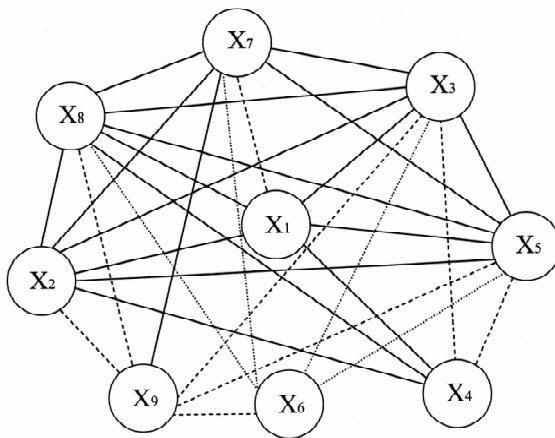
Trečiąją požymių kombinaciją sudaro georodikliai, turintys neigiamą įtaką grupinės koreliacijos koeficientui (3.3 lentelė). Kaip matyti iš 3.4 lentelėje pateiktų tyrimo rezultatų, šie georodikliai taip pat gana informatyvūs. Tai tiriant vertikaliuosius žemės plutos judesius teikia nepageidaujamos, šalutinio pobūdžio informacijos. Informatyviausia: prekvartero reljefas, kvartero dangos storis, gravitacinio lauko anomalijos.

Niveliacijos linijų *Jonava–Kybartai*, *Jonava–Jelgava*, *Vilnius–Jonava* trečiosios požymių kombinacijos informatyvumas didesnis už antrosios požymių kombinacijos informatyvumą. Labai informatyvūs prekvartero reljefas, kvartero dangos storis, gravitacinio lauko anomalijos. Šie georodikliai tose linijose, kuriose išmatuoti tiegi vertikalieji žemės plutos judesiai greičiai su jais sudaro stiprias koreliacines priklausomybes, į tiriamą procesą teikia nemažai informacijos, tačiau tų linijų, kuriose išmatuotųjų vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių bei minėtųjų georodiklių pagal kompleksinės koreliacijos rezultatus (3.3 lentelė) nesieja tamprūs tarpusavio ryšiai, tiriamam procesui suteikia nereikalingos, pašalinės informacijos, „triukšmo“. Kadangi šie georodikliai pakankamai informatyvūs, jų priskyrimas prie trečiosios požymių kombinacijos lemia, kad ši kombinacija yra informatyvesnė už antrąją požymių kombinaciją.

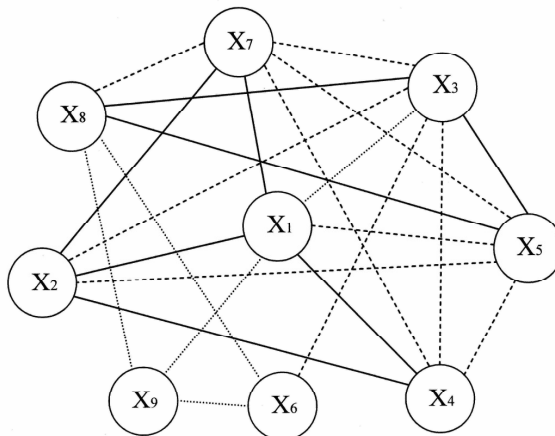
Siekiant geriau sugretinti pagal koreliacinės analizės rezultatus skirtingose linijose nustatytas statistines priklausomybes tarp vertikaliųjų žemės plutos judesių bei teritorijos georodiklių bei atvaizduoti priklausomybių struktūrą pagal apskaičiuotas koreliacines matricas, sudaryti niveliacijos linijų koreliacijos grafai

(Krumbein, Graybill 1969). Niveliacijos linijos *Jonava–Turmantas* grafas pateiktas 3.1 paveiksle, o niveliacijos linijos *Vilnius–Jonava* grafas – 3.2 paveiksle.

Pastaba. Ištisinė linija pažymėta stiprios koreliacijos sąsajos ($0,7 \leq r \leq 1$ arba $-1 \leq r \leq -0,7$), jungiančios atitinkamus rodiklius, brūkšninėmis linijomis pažymėtos $0,4 \leq r \leq 0,7$ arba $-0,7 \leq r \leq -0,4$ stiprumo sąsajos, o taškinė linija žymi silpnas koreliacijos sąsajas ($-0,4 \leq r \leq +0,4$).



3.1 pav. Niveliacijos linijos *Jonava–Turmantas* koreliacijos grafas
Fig. 3.1. Diagram of correlation on levelling line of *Jonava–Turmantas*



3.2 pav. Niveliacijos linijos *Vilnius–Jonava* koreliacijos grafas
Fig. 3.2. Diagram of correlation on levelling line of *Vilnius–Jonava*

Iš koreliacijos grafų struktūros matome, kad koreliacinės priklausomybės – išmatuotų žemės plutos judesių bei teritorijos georodiklių ir tarpusavio priklausomybės tarp georodiklių nagrinėjamų linijų skirtingos, t. y. priklausomybės lemia konkrečios geologinės sąlygos. Linijos *Jonava–Turmantas* (3.1 pav.) georodikliai tarpusavyje stipriau susiję nei linijos *Vilnius–Jonava* (3.2 pav.). Tai rodo ir kompleksinės koreliacinės analizės rezultatai (3.3 lentelė). Linijos *Vilnius–Jonava* susietą kompleksą sudaro daugiau georodiklių bei didesnį georodiklių grupių kompleksinės koreliacijos koeficientai nei linijos *Jonava–Turmantas*. Palyginus georodiklių grupių informatyvumo analizės rezultatus (3.4 lentelė), linijos *Jonava–Turmantas* pagal rodiklių grupių informatyvumą didžiausias informatyvumo rodiklis yra antrosios georodiklių kombinacijos, t. y. susietą kompleksą su didžiausiu kompleksinės koreliacijos koeficientu sudarančios rodiklių grupės. Jos informatyvumas yra didesnis už visų georodiklių bendrą informatyvumą. Mažiausias informatyvumas – trečiosios georodiklių kombinacijos. Linijos *Vilnius–Jonava*, nors, remiantis vidinės kompleksinės koreliacinės analizės rezultatais, georodikliai į grupes suskaidomi, tačiau ne taip ryškiai, kaip linijos *Jonava–Turmantas*. Šios linijos georodiklių grupės informatyvumo lyginamojo vertinimo rezultatai visų georodiklių grupių yra panašūs. Tai lemia stipresnę georodiklių tarpusavio priklausomybę, t. y. stipriau pasireiškia georodiklių tarpusavio įtakos sinergetinis efektas.

Iš paveikslų matyti, kad skirtingų niveliacijos linijų pavienės georodiklių grupės sieja skirtingo stiprumo statistiniai ryšiai, visų georodiklių jie nevienodi. Šios tarpusavio priklausomybės lemia tai, kad georodikliai neteikia visos informacijos apie rezultatinį rodiklį, šiuo atveju apie išmatuotus vertikaliuosius žemės plutos judesius, todėl sudarant dabartinių žemės plutos judesių modelius, sujungti visus georodikius netikslinga. Reikėtų naudoti georodiklių grupes, sudarančias tarpusavyje tvirtus statistinius kompleksus. Taip būtų atskiriami nepažeidžiamo „triukšmo“ teikiantys georodikliai, kartu nesumažinant ar net padidinant galutinį rezultatų tikslumą.

3.2. DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ SĄSAJŲ SU SKIRTINGOMIS GEORODIKLIŲ GRUPĖMIS TYRIMAS

Žemės pluta – darinys, kurio formavimasis vyko nuo pat planetos susidarymo iki šių dienų. Tai nepertraukiamai vykęs, apie 4,6–4,7 (galbūt net iki 5) mlrd. metų trukęs bei šiuo metu vykstantis procesas. Geologiniai tyrimai byloja apie kryptingai vykstančią progresinio pobūdžio Žemės evoliuciją, kai nuo paprastų darinių pereinama prie sudėtingų.

Žemės raidos periodai geologijoje skaidomi į ciklus. Tektoniniai ciklai (etapai) – tai ilgi Žemės geologinės raidos istorijos periodai (daugiau kaip 100 mln. metų), charakterizuojami tam tikra tektoninių ir bendrų geologinių įvykių seka. Nuosėdinės dangos struktūriniai kompleksai – tai geologijoje išskiriami megaciklai, kurių vyksmo trukmė – šimtai milijonų metų.

Išskiriama vienuolika pagrindinių tektogenezės ciklų: šeši ikikambriniai regioniniai ir penki vėlesnės raidos pasauliniai ciklai (baikalinis (apatinis rifėjus – apatinis vendas), kaledoninis (ankstyvasis paleozojus), hercininis (vėlyvasis paleozojus), kimerinis (mezozojus), alpinis (vėlyvasis mezozojus – kainotojus).

Lietuvos teritoriją dengiančios nuosėdinės dangos išskirtiniu bruožu galima laikyti tai, kad ji pasižymi gana dideliu (geologinio amžiaus požiūriu) pjūvio pilnumu (P.Suveizdis 2003). Tačiau tuo pat metu šioje dangoje egzistuoja gana daug pertraukų, kuriose „iškrinta“ atskiri stratigrafijos tarpsniai. Taikant geologijoje taikomas metodikas, nuosėdinė danga suskirstyta į tektoniškai nulemtus struktūrinius kompleksus.

Kitų autorių atliktuose vertikaliųjų žemės plutos judesių bei teritorijos georodiklių sąsajų tyrimuose (Anikėnienė 2008; ЮН *et al.* 2009; Zakarevičius *et al.* 2009) įvairiai grupuojant naudoti daugiausia šie georodikliai: žemės paviršiaus reljefas, kristalinio pamato reljefas, prekvartero nuogulų reljefas, nuosėdinės dangos storis, kvartero dangos storis, prekvartero nuogulų storis, gravitacinis laukas, magnetinis laukas. Pasirinktinai tyrimams renkant georodiklius, yra tikimybė tyrimams pasirinkti neinformatyvius georodiklius, praleidžiant atskirus, su tiriamu procesu susijusius stipriais statistiniais ryšiais georodiklius. Todėl reikėtų tobulinti tyrimo metodiką, georodiklius renkantis atsižvelgiant į Žemės formavimosi metu tam tikrais periodais, ciklais susidariusius darinius, struktūrinius kompleksus, stengiantis tyrimuose kiek įmanoma naudoti juos visus, kad būtų išsamiai atspindėta geologinė Žemės sandara.

Geologiniais tyrimų metodais nustatyta, kad formuojantis Žemės plutai vyko tam tikras geologinių procesų cikliškumas, t. y. Žemės raidos istorijoje išskiriami vienas po kito sekę litosferos vystymosi etapai, kurių metu vyko baigtiniai atskirų litosferos plotų tektoninės raidos ciklai. Raidos cikliškumas būdingas ne tiktai tektonikai, bet ir magmatizmui, žemynų bei vandenynų formavimuisi, reljefui, klimatui, organiniam pasauliui. Tai savo ruožtu glaudžiai susiję su tektonikos raida. Kadangi kiekvieno ciklo metu vykusią procesų įtaką susiformavo atskiri struktūriniai nuosėdinės dangos kompleksai, padaryta prielaida, kad geodeziniais metodais išmatuoti vertikalieji žemės plutos judesiai gali būti susiję su struktūriniais kompleksais, kad galbūt juos sieja skirtingo stiprumo ryšiai, t. y. šiuos procesus galima interpretuoti kaip nuolat besivystančią bendrą geodinaminę sistemą.

Siekiant ištirti galimus ryšius tarp nuosėdinę dangą sudarančių struktūrinių kompleksų bei išmatuotų dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių, atlikti kompleksiniai tyrimai taikant antrajame šio darbo skyriuje aprašytus matematinės statistinės analizės metodus. Taip pat, siekiant palyginti anksčiau autorių tyrimuose naudotų georodiklių grupės bei šiame tyrime naudojamų georodiklių grupės sąsajas su išmatuotaisiais dabartiniais vertikaliaisiais žemės plutos judesiais, atliktas georodiklių grupių sąsajų su vertikaliaisiais judesiais palyginimas. Tyrime naudoti dabartiniai išmatuoti tiegi žemės plutos judesių greičiai v bei dvi georodiklių grupės. Pirmąją georodiklių grupę sudaro (Zakarevičius *et al.* 2005; Zakarevičius, Puzienė 2004, 2005, 2008):

x'_1 – nuosėdinės dangos storis;

x'_2 – kaledoninio komplekso storis;

x'_3 – hercininio komplekso storis;

x'_4 – apatinio silūro storis;

x'_5 – alpinio komplekso storis;

x'_6 – magnetinis laukas (magnetinio lauko stipris).

Antrąją georodiklių grupę sudarys šie nariai (Zakarevičius *et al.* 2008):

x_1 – kristalinio pamato reljefas;

x_2 – prekvartero nuogulų reljefas;

x_3 – nuosėdinės dangos storis;

x_4 – magnetinis laukas (magnetinio lauko stipris);

x_5 – kvartero dangos storis;

x_6 – gravitacinis laukas (Bouger anomalijos);

x_7 – Žemės paviršiaus reljefas.

Tyrimams pasirinkta vakarinė Lietuvos dalis, nes čia yra storiausia Lietuvos teritorijoje nuosėdinė danga. Tirti naudota pirmosios klasės niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda iš 1936, 1954, 1963/64, 1973/75, 2003 m. matavimais gautų rezultatų atskiriems laikotarpiams apskaičiuoti vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiai bei tiriamąją teritoriją geologiškai apibūdinančios dvi georodiklių grupės. Niveliacijos linijos Mikytai–Šilutė–Klaipėda charakteristika pateikta 3.5 lentelėje. Lentelėje pateikti metai, kuriais vykdyti niveliacijos matavimai, įmonė, atlikusi šiuos matavimus bei atliktų matavimų tikslumas (mm/km).

Iš niveliacijos matavimų rezultatų apskaičiuotų dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių greičių įvairiems laikotarpiams koreliacinės analizės rezultatai su pirmąja georodiklių grupe pateikti 3.6 lentelėje. Simboliu * pažymėti koreliacijos koeficientai, kurių reikšmingumas mažesnis nei $p \geq 0,95$.

3.5 lentelė. Tiksliosios niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda atliktų niveliacijų charakteristikos

Table 3.5. Characteristics of levelling made in the precise levelling line of Mikytai–Šilutė–Klaipėda

Metai	Įmonė, atlikusi matavimus	Matavimų tikslumas, mm/km
1936	Krašto apsaugos ministerijos (KAM) Karo topografijos skyrius	$\pm(0,18-0,22)$
1954	VGKV Maskvos aerogeodezinė įmonė	$\pm(0,30-0,32)$
1963/64	Kauno politechnikos instituto (KPI) Geodezijos katedra	$\pm 0,5$
1973/75	Vilniaus inžinerinio statybos instituto (VISI) Geodezijos katedra	$\pm 0,37$
2003	VG TU Geodezijos institutas	$\pm 0,42$

3.6 lentelė. Vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių koreliacija su georodikliais

Table 3.6. Velocity correlations of the vertical movements of the Earth's crust with geoindeces

Laikotarpis, m.	$r(vx'_1)$	$r(vx'_2)$	$r(vx'_3)$	$r(vx'_4)$	$r(vx'_5)$	$r(vx'_6)$
1936–1963/64	0,74	0,55	0,65	–0,42*	–0,53	–0,31*
1936–1973/75	0,22*	–0,13*	0,67	–0,09*	–0,56	–0,49*
1936–2003	0,37*	0,50	0,81	–0,06	–0,90	–0,90
1954–1963/64	0,37*	0,38*	0,40*	–0,03*	–0,43	–0,65
1954–1973/75	0,66	0,58	0,67	–0,55	–0,56	–0,55
1954–2003	0,74	0,72	0,89	–0,62	–0,77	–0,79
1963/64–2003	0,68	0,64	0,83	–0,62	–0,70	–0,73
1973/75–2003	0,68	0,72	0,85	–0,51*	–0,76	–0,81
Visų laikotarpių greičių vidurkis	0,73	0,76	0,83	–0,58	–0,70	–0,78

Iš 3.6 lentelės matyti, kad didžiausieji žemės plutos judesių koreliaciniai ryšiai yra su alpinio ($0,43 \leq |r_{ij}| \leq 0,90$), hercininio ($0,40 \leq |r_{ij}| \leq 0,89$) kompleksų storiais, magnetiniu lauku ($0,31 \leq |r_{ij}| \leq 0,90$), nuosėdinės dangos storium ($0,22 \leq |r_{ij}| \leq 0,74$). Kiek silpnesni – su kaledoninio komplekso ($0,13 \leq |r_{ij}| \leq 0,76$) bei apatinio silūro storiais ($0,03 \leq |r_{ij}| \leq 0,62$). Skirtingų laikotarpių žemės plutos judesių koreliaciniai ryšiai su teritorijos georodikliais šiek tiek skirtingi.

Vertikaliųjų žemės plutos judesių bei antrosios georodiklių grupės koreliacinės analizės rezultatai pateikti 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių koreliacija su georodikliais
Table 3.7. Velocity correlations of the vertical movements of the Earth's crust with geoindeces

Laikotarpis, m.	$r(vx_1)$	$r(vx_2)$	$r(vx_3)$	$r(vx_4)$	$r(vx_5)$	$r(vx_6)$	$r(vx_7)$
1936–1963/64	–0,76	–0,46*	0,74*	–0,31*	0,24*	0,03*	0,01*
1936–1973/75	–0,23*	–0,63*	0,22*	–0,49*	0,58	–0,56	–0,60
1936–2003	–0,47*	–0,47*	0,37*	–0,90	0,04*	–0,32	–0,30*
1954–1963/64	–0,47	–0,14*	0,37*	–0,65	0,04*	0,06*	0,15*
1954–1973/75	–0,77	–0,28*	0,66	–0,55	0,29*	0,04*	0,01*
1954–2003	–0,79	–0,43*	0,74	–0,79	0,27*	0,14*	–0,20*
1963/64–2003	–0,73	–0,43*	0,68	–0,73	0,40*	0,11*	–0,27*
1973/75–2003	–0,75	–0,35*	0,68	–0,81	0,17	0,15*	–0,06*
Visų laikotarpių greičių vidurkis	–0,79	–0,31*	0,73	–0,78	0,22*	0,22*	–0,09*

Iš 3.7 lentelėje pateiktų tyrimų rezultatų matyti, kad didžiausieji žemės plutos judesių koreliaciniai ryšiai yra su magnetiniu lauku ($0,31 \leq |r_{ij}| \leq 0,81$), kristalinio pamato reljefu ($0,23 \leq |r_{ij}| \leq 0,79$), nuosėdinės dangos storium ($0,22 \leq |r_{ij}| \leq 0,74$). Silpni bei mažo reikšmingumo ryšiai su georodikliais: prekvartero nuogulų reljefu ($0,14 \leq |r_{ij}| \leq 0,63$), kvartero dangos storium

$(0,04 \leq |r_{ij}| \leq 0,64)$, gravitaciniu lauku $(0,03 \leq |r_{ij}| \leq 0,56)$ bei žemės plutos reljefu $(0,01 \leq |r_{ij}| \leq 0,60)$. Kadangi šių rodiklių iš antrosios georodiklių grupės bei išmatuotųjų vertikalijų žemės plutos judesių sąsajos nedidelės ir nereikšmingos, todėl šie georodikliai iš tolesnių tyrimų eliminuojami.

Palyginus išmatuotųjų vertikalijų žemės plutos judesių bei dviejų georodiklių grupių koreliacinius ryšius, matyti, kad pirmąją georodiklių grupę bei išmatuotuosius vertikaliuosius žemės plutos judesių sieja gerokai didesni bei didesnio reikšmingumo koreliaciniai ryšiai nei antrąją georodiklių grupę.

Tolesnio tyrimo metu pagal antrajame skyriuje pateiktą metodiką (2.4–2.8), atliekamas koreliacijos koeficientų priklausomumo vienašaliai koreliacinei erdvei tyrimas pirmajai bei antrajai georodiklių grupėms, kurio gauti rezultatai atitinkamai pateikti 3.8 ir 3.9 lentelėse.

3.8 lentelė. Koreliacijos koeficientų priklausomybės bendrajai koreliacinei erdvei patikra pirmajai georodiklių grupei

Table 3.8. Verification of the dependences of correlation coefficients on the general correlation space for the first group of geoindexes

Teritorijos rodiklis	Pasiklovimo lygmuo q	Statistika χ^2	χ_q^2	$\bar{r}$
Nuosėdinės dangos storis	0,05 0,01	6,36	15,5 20,1	0,59
Kaledoninio komplekso storis	0,05 0,01	5,41	15,5 20,1	0,55
Hercinio komplekso storis	0,05 0,01	10,00	15,5 20,1	0,72
Apatinio silūro storis	0,05 0,01	7,22	15,5 20,1	0,38
Alpinio komplekso storis	0,05 0,01	6,95	15,5 20,1	0,64
Magnetinis laukas	0,05 0,01	8,63	15,5 20,1	0,67

Gauti rezultatai rodo, kad visais atvejais, esant $q = 0,05$ ir $q = 0,01$, tenkinama $\chi^2 \leq \chi_q^2$ sąlyga. Todėl su tikimybe $p = 0,99$ galima teigti, jog visiems laikotarpiams apskaičiuoti koreliacijos koeficientai gali būti priskirti bendrai koreliacinei erdvei. Kadangi tenkinama $\chi^2 \leq \chi_q^2$ sąlyga, surastos apibendrintos visai palyginamų koreliacijos koeficientų aibei $\bar{r}$ reikšmės. Kaip matyti, skirtingiems georodikliams jos skirtingos, išmatuotieji vertikalieji žemės plutos judesiai su nuosėdinės dangos kompleksais susiję skirtingo stiprumo koreliaciniai ryšiai.

3.9 lentelė. Koreliacijos koeficientų priklausomumo bendrajai koreliacinei erdvei antrajai georodiklių grupei patikra

Table 3.9. Verification of the dependences of correlation coefficients on the general correlation space for the second group of geoindexes

Teritorijos georodiklis	Pasiklovimo lygmuo q	Statistika χ^2	χ_q^2	$\bar{r}$
Kristalinio pamato reljefas	0,05 0,01	7,69	14,1 18,5	0,65
Nuosėdinės dangos storis	0,05 0,01	6,36	14,1 18,5	0,59
Magnetinis laukas	0,05 0,01	8,63	14,1 18,5	0,67

Iš rezultatų matyti, jog ir kai $q = 0,05$ ir kai $q = 0,01$ tenkinama $\chi^2 \leq \chi_q^2$ sąlyga. Todėl su tikimybe $p = 0,99$ galima teigti, jog visiems laikotarpiams apskaičiuoti koreliacijos koeficientai gali būti priskirti bendrai koreliacinei erdvei. Taip pat surastos apibendrintos visai palyginamų koreliacijos koeficientų aibei $\bar{r}$ reikšmės.

Atlikus tyrimus ir palyginus jų rezultatus, pateiktus 3.1, 3.7 bei 3.2 ir 3.8 lentelėse, matyti, kad išmatuotieji vertikalieji žemės plutos judesiai tampriausiais koreliaciniais ryšiais susiję su kristalinio pamato reljefu, nuosėdinės dangos pjūvio struktūriniais kompleksais bei magnetiniu lauku. Kiti tyrime naudoti georodikliai reikšmingų koreliacinių ryšių su išmatuotaisiais dabartiniais vertikaliaisiais žemės plutos judesiu greičiais nesudaro.

Galima teigti, kad geodeziniais matavimais nustatyti vertikalieji žemės plutos judesiai su teritorijos geologiniais rodikliais susieti koreliacinės priklausomybės ryšiais. Atskiriems laiko tarpams nustatytos skirtingos judesių reikšmės – tai atsitiktinių matavimo paklaidų bei kitų atsitiktinių priežasčių, susijusių su lokaliomis viršutinių žemės sluoksnių deformacijomis padarins, o bendrasis nustatytų judesių fonas yra susijęs su tomis priežastimis, kurios lėmė nagrinėjamų geologinių rodiklių formavimąsi. Galima teigti, kad matavimais nustatytas žemės plutos judesių bendrasis fonas atspindi tektoninius tęstinius judesius.

Iš tyrime naudotų dviejų georodiklių grupių stipresniais statistiniais ryšiais susieti išmatuotieji vertikalieji žemės plutos judesiai su pirmojoje georodiklių grupėje esančiais georodikliais nei su antrosios grupės georodikliais.

Palyginus tyrimų metu gautus rezultatus (3.6–3.9 lentelės) matyti, kad iš antrosios rodiklių grupės eliminuojama kaip nesudarantys reikšmingų koreliacinių ryšių su išmatuotaisiais vertikaliaisiais žemės plutos judesiais dalis georodiklių. Neeliminuoti lieka tik kristalinio pamato reljefas, nuosėdinės dangos storis, magnetinis laukas. Kadangi kontinentinio tipo žemės plutą sudaro bazalto sluoksnis, kristalinis pamatas bei nuosėdinė danga, kuri gali būti skirstoma į

struktūrinius kompleksus, turint omenyje tyrimais gautus rezultatus (3.6–3.9 lentelės), galima daryti prielaidą, jog išmatuotieji vertikalieji Žemės plutos judesiai atspindės būtent šiose struktūrose vykstančius tektoninius procesus, todėl statistinės priklausomybės tarp šių georodiklių ir bus didžiausios.

Kadangi nagrinėjamieji teritorijos georodikliai su vertikaliaisiais žemės plutos judesiais bei tarpusavyje susiję skirtingo stiprumo ryšiais, taikant 2.2 poskyryje aprašytą kompleksinės koreliacijos metodą siekiama nustatyti, kurie iš jų susieti didžiausiomis kompleksinės koreliacijos įverčių reikšmėmis. Kompleksinės koreliacinės analizės (2.9, 2.10 formulės, 2.2 poskyris) atliktos pagal anksčiau pateiktą metodiką, rezultatai pateikti 3.10 lentelėje.

3.10 lentelė. Vidinės kompleksinės koreliacijos koeficientai pirmajai georodiklių grupei
Table 3.10. Coefficients of the internal complex correlation for the first group of geoindexes

Laikotarpis, m.	Grupinės koreliacijos koeficientai k_{jo}							Kompleksinės koreliacijos koefi- cientai R_V
	Rodikliai							
	ν	x'_1	x'_2	x'_3	x'_4	x'_5	x'_6	
1936– 1963/64	0,53	0,46	0,44	0,49	0,48	0,51	0,48	0,49
	0,53	0,38	–	0,57	0,45	0,57	0,53	0,51
	0,48	–	–	0,65	0,37	0,70	0,64	0,57
	0,50	–	–	0,81	–	0,80	0,68	0,70
1936– 1973/75	0,36	0,36	0,41	0,54	0,50	0,59	0,57	0,48
	0,39	–	0,31	0,64	0,46	0,68	0,66	0,52
	0,45	–	–	0,75	0,33	0,77	0,75	0,63
	0,57	–	–	0,86	–	0,84	0,81	0,77
1936–2003	0,59	0,58	0,59	0,74	0,40	0,62	0,60	0,59
	0,70	0,52	0,58	0,79	–	0,71	0,70	0,66
	0,78	–	0,49	0,82	–	0,80	0,80	0,74
	0,87	–	–	0,87	–	0,94	0,93	0,90
1954– 1963/64	0,38	0,40	0,41	0,42	0,35	0,46	0,48	0,41
	0,45	0,33	0,36	0,49	–	0,50	0,51	0,44
	0,47	–	0,24	0,55	–	0,61	0,60	0,49
	0,49	–	–	0,52	–	0,74	0,73	0,67

3.10 lentelės tęsinys

Laikotarpis, m.	Grupinės koreliacijos koeficientai k_{j0}							Kompleksinės koreliacijos koefi- cientai R_V
	Rodikliai							
	ν	x'_1	x'_2	x'_3	x'_4	x'_5	x'_6	
1954– 1973/75	0,59	0,43	0,39	0,50	0,39	0,46	0,49	0,46
	0,60	0,38	0,35	0,58	–	0,51	0,54	0,49
	0,61	0,25	–	0,70	–	0,63	0,65	0,57
	0,59	–	–	0,86	–	0,83	0,82	0,78
1954–2003	0,76	0,66	0,61	0,76	0,52	0,59	0,62	0,65
	0,78	0,62	0,61	0,79	–	0,67	0,70	0,69
	0,80	0,54	–	0,84	–	0,75	0,76	0,74
	0,82	–	–	0,90	–	0,88	0,87	0,87
1963/64– 2003	0,70	0,65	0,60	0,75	0,52	0,58	0,61	0,63
	0,72	0,61	0,59	0,78	–	0,65	0,69	0,67
	0,74	0,53	–	0,83	–	0,73	0,74	0,71
	0,75	–	–	0,88	–	0,86	0,85	0,84
1973/75– 2003	0,72	0,65	0,61	0,75	0,50	0,59	0,62	0,64
	0,76	0,61	0,61	0,78	–	0,66	0,71	0,69
	0,78	–	0,53	0,81	–	0,74	0,78	0,73
	0,81	–	–	0,88	–	0,88	0,88	0,86
Visų laiko- tarpų greičių vidurkis	0,73	0,66	0,62	0,75	0,52	0,58	0,62	0,64
	0,76	0,62	0,63	0,78	–	0,65	0,70	0,69
	0,77	–	0,65	0,81	–	0,73	0,77	0,70
	0,77	–	–	0,88	–	0,86	0,87	0,69

Iš 3.10 lentelėje pateiktų rezultatų matyti, kad su georodiklių grupe silpniausi ryšiai sieja apatinį silūrą. Pagal bendras tendencijas, jau tyrimo pradžioje eliminavus šį rodiklį, gaunami gana tvirti vidinės kompleksinės koreliacijos ryšiai tarp išmatuotų vertikalųjų žemės plutos judesių bei teritorijos geocharakteristikų. Norint gauti tvirčiausiais ryšiais susietą georodiklių kompleksą, toliau šalinami rodikliai, kurių grupinės koreliacijos koeficientai mažiausi. Tyrimų metu gaunama, jog didžiausias vidinės kompleksinės koreliacijos

ryšys sieja v, x'_3, x'_5, x'_6 georodiklių grupės: $(0,67 \leq R_V \leq 0,90)$ ir $(0,49 \leq k_{jo} \leq 0,94)$. Šie rodikliai išlieka analizuojant visus pakartotų niveliacijų variantus. Šių keturių rodiklių ir dabartinių vertikalijų žemės plutos judesių greičių vidinės kompleksinės koreliacijos koeficientas yra kur kas didesnis, nei taikant visų požymių kompleksą. Tai reiškia, kad matavimų rezultatams interpretuoti geotektoniniu požiūriu ir prognostiniams modeliams sudaryti nebūtina naudoti daug rodiklių, tik svarbu tinkamai juos atrinkti. Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad didžiausią įtaką grupinei koreliacijai turi hercininio, alpinio kompleksų storiai bei magnetinis laukas. Koreliaciniai ryšiai tarp išmatuotų žemės plutos judesių bei teritorijos geologinių, geomorfologinių charakteristikų byloja, kad atlikus geodezinius matavimus nustatyti žemės plutos judesiai nėra reperių nepastovumo bei atsitiktinio pobūdžio paklaidų rezultatas, nes tyrimais buvo nustatytas objektyviai egzistuojantis dėsningas gamtinis reiškinys.

Kadangi daugumos kitų autorių naudoti georodikliai su išmatuotaisiais vertikaliais žemės plutos judesiais tarpusavyje taip pat susiję skirtingo stiprumo ryšiais, taikant kompleksinės koreliacijos tyrimo metodą nustatyta, kurie iš jų susieti didžiausiomis kompleksinės koreliacijos įverčių reikšmėmis. Analizės rezultatai, gauti antrajai georodiklių grupei, pateikti 3.11 lentelėje.

Analizuojant tyrimo rezultatus (3.11 lentelė), gautus naudojant antrosios georodiklių grupės narius matyti, kad silpniausi kompleksinės koreliacijos ryšiai su likusiais georodikliais sieja magnetinį lauką. Iš tyrimo eliminavus šį rodiklį, aštuoniais atvejais iš devynių gaunami pakankamai tvirti kompleksinės koreliacijos ryšiai tarp išmatuotųjų vertikalijų žemės plutos judesių bei likusių georodiklių. Galima daryti išvadą, kad glaudžiausiais vidinės kompleksinės koreliacijos ryšiais susijusi v, x_1, x_3 georodiklių grupė $(0,48 \leq R_V \leq 0,84)$ ir $(0,23 \leq k_{jo} \leq 0,89)$. Ši georodiklių grupė išlieka analizuojant visus tiriamus laikotarpius, jos vidinės kompleksinės koreliacijos koeficientas daug didesnis, nei taikant visą georodiklių grupę (vidinės kompleksinės koreliacijos ryšiai visai georodiklių grupei: $(0,34 \leq R_V \leq 0,71)$ ir $(0,15 \leq k_{jo} \leq 0,77)$).

Palyginus 3.10 bei 3.11 lentelėse pateiktus tyrimų rezultatus, matyti, kad išmatuotieji vertikalieji žemės plutos judesiai su žemės plutos struktūriniais kompleksais (pirmoji georodiklių grupė) bei kristalinio pamato reljefu, nuosėdinės dangos storiu (antroji georodiklių grupė) sudaro panašaus tvirtumo vidinės kompleksinės koreliacijos ryšius.

3.11 lentelė. Vidinės kompleksinės koreliacijos koeficientai**Table 3.11.** Coefficients of internal complex correlation

Laikotarpis, m.	Grupinės koreliacijos koeficientai k_{jo}				Kompleksinės koreliacijos koeficientai R_V
	Rodikliai				
	v	x_1	x_4	x_3	
1936–1963/64	0,60	0,59	0,15	0,60	0,49
	0,75	0,87	–	0,86	0,82
1936–1973/75	0,31	0,41	0,21	0,44	0,34
	0,23	0,61	–	0,60	0,48
1936–2003	0,58	0,63	0,55	0,55	0,58
	0,42	0,73	–	0,68	0,61
1954–1963/64	0,50	0,49	0,27	0,48	0,43
	0,42	0,72	–	0,67	0,60
1954–1973/75	0,66	0,67	0,31	0,58	0,56
	0,72	0,87	–	0,81	0,80
1954–2003	0,77	0,76	0,57	0,71	0,71
	0,77	0,89	–	0,86	0,84
1963/64–2003	0,71	0,74	0,55	0,69	0,68
	0,71	0,86	–	0,83	0,80
1973/75–2003	0,75	0,75	0,58	0,69	0,69
	0,72	0,87	–	0,83	0,80
Visų laikotarpių greičių vidurkis	0,77	0,76	0,57	0,71	0,70
	0,76	0,89	–	0,86	0,83

Pavienių rodiklių grupių informatyvumo tyrimui, taikant 2.2 poskyryje aprašytą metodiką (2.11, 2.12), atsižvelgiant į kompleksinės koreliacinės analizės rezultatus, pirmajai georodiklių grupei sudarytos keturios požymių kombinacijos (3.12 lentelė).

Į pirmąją požymių kombinaciją įeina visi georodikliai, naudoti atliekant minėtuosius tyrimus. Kaip matome iš pateiktų tyrimų rezultatų (3.12 lentelė), informatyviausias hercininio komplekso storis, mažiausiai informatyvus – apatinio silūro storis. Visos atitinkamais laikotarpiais išmatuotų Žemės plutos judesių rodiklių grupės gana informatyvios, išskyrus, kaip jau minėta,

nebent apatinio silūro storį. Iš 3.10 lentelėje pateikto tyrimo, taikant kompleksinę koreliacinę analizę rezultatų, matyti, jog tam tikros georodiklių grupės nesudaro bendro komplekso su išmatuotais vertikaliais žemės plutos judesiais, tad atliekant tyrimą jos tėra pašaliniai trukdžiai. Todėl antrajai požymių kombinacijai priskirti tie rodikliai, kurių grupinės koreliacijos koeficientai yra didžiausi (hercininio, alpinio kompleksų storiai, magnetinis laukas, 3.10 lentelė). Požymių kombinacijos informatyvumas šiek tiek sumažėja, nes iš tyrimo rezultatų eliminuoti tam tikri rodikliai. Tačiau kadangi jie nesudaro bendro tvirčiausiais statistiniais ryšiais susijusio komplekso su išmatuotais žemės plutos judesiais, tyrimui teikia nemažai pašalinės informacijos.

Trečiajai georodiklių kombinacijai rodikliai parinkti šiuo būdu: išanalizavus antrosios požymių kombinacijos rezultatus, atmesta mažiausiai informatyvi rodiklių grupė, šiuo atveju magnetinis laukas. Kaip matome iš tyrimo rezultatų (3.12 lentelė), informatyviausi rodikliai – hercininio komplekso storis bei alpinio komplekso storis. Taikant šią rodiklių kombinaciją, gaunamas didesnis tam tikrų požymių bei visos požymių kombinacijos informatyvumas.

Ketvirtajai kombinacijai atrinkti tie georodikliai, kurie, atlikus kompleksinę koreliacinę analizę (3.10 lentelė), buvo eliminuoti kaip turintys neigiamą įtaką grupinės koreliacijos koeficientui (nuosėdinės dangos, kaledoninio komplekso, apatinio silūro storiai). Kaip matome, ši rodiklių grupė šiek tiek informatyvi, tačiau šie georodikliai nesudaro bendro komplekso (3.10 lentelė), todėl jų informatyvumas apie tiriamąjį reiškinį yra šalutinio, nepageidaujamo pobūdžio.

Šio tyrimo rezultatai pateikti 3.12 lentelėje.

Iš 3.12 lentelėje pateiktų tam tikrų rodiklių grupių informatyvumo analizės rezultatų galima teigti, jog visi georodikliai ir jų grupės teikia nemažai informacijos, susijusios su geodeziniais metodais nustatytais dabartiniais žemės plutos judesiais. Tačiau dėl to, kad rodikliai susieti koreliacinėmis priklausomybėmis ne tik su dabartiniais išmatuotais žemės plutos judesiais, bet ir tarpusavyje, sudarant prognostinius dabartinių žemės plutos judesių modelius, visų rodiklių jungti į vieną sistemą netikslinga. Reikia naudoti tokias rodiklių grupes, kurios tarpusavyje sudaro tvirtus statistinius kompleksus. Taip galima sumažinti prognozėms ir geotektoniniu požiūriu matavimų rezultatams interpretuoti naudojamų rodiklių skaičių, nesumažinant ar net padidinant galutinį rezultatų tikslumą. Rezultatų kontrolei galima naudoti pavienės informatyvumo požiūriu bendrus kompleksus sudarančias rodiklių grupes.

3.12 lentelė. Pirmosios georodiklių grupės lyginamasis informatyvumo vertinimas**Table 3.12.** Comparative evaluation of the informative information available for the first group of geoindexes

Geologiniai rodikliai	Vertikalieji Žemės plutos judesiai įvairiais laikotarpiais								
	1936– 1963/64	1936– 1973/75	1936– 2003	1954– 1963/64	1954– 1973/75	1954– 2003	1963/64– 2003	1973/75– 2003	Visų lai- kotarpių greičių vidurkis
Pirmoji požymių kombinacija									
x'_1	0,181	0,017	0,033	0,045	0,150	0,130	0,110	0,110	0,126
x'_2	0,098	0,005	0,062	0,047	0,121	0,131	0,103	0,131	0,146
x'_3	0,128	0,126	0,141	0,052	0,136	0,171	0,148	0,156	0,149
x'_4	0,051	0,002	0,001	0,000	0,109	0,110	0,110	0,074	0,096
x'_5	0,079	0,079	0,213	0,056	0,098	0,156	0,129	0,152	0,129
x'_6	0,027	0,062	0,220	0,130	0,090	0,159	0,136	0,167	0,155
H_I	0,564	0,291	0,670	0,330	0,704	0,857	0,736	0,790	0,801
Antroji požymių kombinacija									
x'_3	0,152	0,154	0,234	0,059	0,154	0,283	0,246	0,258	0,246
x'_5	0,098	0,106	0,278	0,066	0,107	0,207	0,171	0,201	0,171
x'_6	0,035	0,082	0,281	0,166	0,104	0,221	0,188	0,232	0,215
H_I	0,285	0,342	0,793	0,291	0,365	0,711	0,605	0,691	0,632
Trečioji požymių kombinacija									
x'_3	0,214	0,228	0,342	0,081	0,228	0,412	0,359	0,376	0,359
x'_5	0,143	0,159	0,422	0,094	0,159	0,309	0,255	0,301	0,255
H_I	0,357	0,387	0,764	0,175	0,387	0,721	0,614	0,677	0,614

3.12 lentelės tęsinys

Geologiniai rodikliai	Vertikalieji Žemės plutos judesiai įvairiais laikotarpiais								
	1936– 1963/64	1936– 1973/75	1936– 2003	1954– 1963/64	1954– 1973/75	1954– 2003	1963/64– 2003	1973/75– 2003	Visų lai- kotarpių greičių vidurkis
Ketvirtoji požymių kombinacija									
x'_1	0,210	0,049	0,150	0,053	0,169	0,196	0,166	0,166	0,191
x'_2	0,121	0,096	0,129	0,057	0,133	0,203	0,161	0,203	0,226
x'_4	0,074	0,001	0,146	0,000	0,133	0,154	0,154	0,104	0,135
H_I	0,405	0,146	0,425	0,110	0,435	0,553	0,481	0,473	0,552

Antrajai georodiklių grupei atlikto tyrimo georodiklių lyginamajam informatyvumui vertinti rezultatai pateikti 3.13 lentelėje. Analizei atlikti buvo sudarytos dvi požymių kombinacijos. Į pirmąją požymių kombinaciją įtraukti visi tyrime naudoti georodikliai: kristalinio pamato reljefas, nuosėdinės dangos storis, magnetinis laukas. Kaip matyti iš 3.13 lentelės, informatyviausias georodiklis – magnetinis laukas. Ne toks informatyvus yra kristalinio pamato reljefas ir nuosėdinės dangos storis. Kristalinio pamato reljefas truputį informatyvesnis už nuosėdinės dangos storį.

Atsižvelgiant į kompleksinės koreliacinės analizės rezultatus (3.11 lentelė), iš kurių matyti, kad šioje georodiklių grupėje magnetinio lauko su likusiais georodikliais nesieja tvirti kompleksinės koreliacijos ryšiai, galima daryti išvadą, jog šis georodiklis į tyrimą įneša, kaip matyti iš 3.13 lentelėje pateiktų tyrimo rezultatų, nemažai pašalinio pobūdžio nepageidautinos informacijos, vadinamojo „triukšmo“.

Tolesniems tyrimams sudaryta antroji požymių kombinacija, į tyrimą įtraukiant tik georodiklius, sudarančius stipresniais statistiniais ryšiais susietą kompleksą. Šioje georodiklių kombinacijoje labiau informatyvus yra kristalinio pamato reljefas. Bendras požymių grupės informatyvumas, lyginant su pirmosios požymių grupės informatyvumu, sumažėja, nes iš tyrimų eliminuotas „triukšmo“ teikiantis dideliu informatyvumu pasižymintis georodiklis.

3.13 lentelė. Lyginamasis informatyvumo vertinimas antrajai georodiklių grupei**Table 3.13.** Comparative evaluation of the informative information for the second group of geoindexes

Geologiniai rodikliai	Vertikalieji Žemės plutos judesiai įvairiais laikotarpiais								
	1936–1963/64	1936–1973/75	1936–2003	1954–1963/64	1954–1973/75	1954–2003	1963/64–2003	1973/75–2003	Visų laikotarpių greičių vidurkis
Pirmoji požymių kombinacija									
x_1	0,286	0,026	0,091	0,111	0,265	0,250	0,213	0,225	0,250
x_3	0,267	0,023	0,460	0,066	0,210	0,229	0,276	0,340	0,315
x_4	0,085	0,211	0,060	0,367	0,218	0,323	0,194	0,193	0,223
H_I	0,638	0,260	0,611	0,544	0,693	0,802	0,683	0,758	0,788
Antroji požymių kombinacija									
x_1	0,293	0,027	0,112	0,113	0,303	0,315	0,269	0,284	0,315
x_3	0,278	0,024	0,069	0,070	0,222	0,277	0,234	0,234	0,269
H_I	0,571	0,051	0,181	0,183	0,525	0,592	0,503	0,518	0,584

Remiantis tyrimų rezultatais, galima teigti, kad dabartiniai žemės plutos judesiai – natūrali geologinių procesų raidos tąsa, jie yra iš ankstesnių geologinių periodų paveldėtas tektoninių procesų tęsinys, atspindintis geologinėse struktūrose. Iš to išplaukia, jog yra galimybė pagal tiriamus georodiklius prognozuoti pagrindinius šiuolaikinius tiriamos teritorijos tektoninių procesų raidos bruožus, apibūdinti šios teritorijos šiuolaikinį tektoninį foną.

Kadangi atskiri rodikliai tarpusavyje susieti matematiniais statistiniais ryšiais, sudarant prognozės modelius tikslinga taikyti georodiklius, tarpusavyje susietus stipriausiais kompleksinės koreliacijos ryšiais, taip iš tyrimo eliminuojant kartais gana informatyvius georodiklius, kurie tiriamam procesui teikia nepageidaujamo pobūdžio informacijos. Taip sumažinamas vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozei naudojamų rodiklių skaičius.

3.3. DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ PROGNOZĖS MODELIŲ KOKYBĖS PRIKLAUSOMYBĖ NUO TAIKOMŲ GEORODIKLIŲ GRUPIŲ

3.2 skyriuje pateiktiems teiginiams patikrinti pagal antrajame skyriuje pateiktą metodiką (2.13–2.19) atliekama išmatuotųjų žemės plutos judesių greičių ir teritorijos georodiklių grupių regresinė analizė, priimant visus nagrinėjamus priežastinius kintamuosius kiekvienoje georodiklių grupėje. Taip pat atliekama žemės plutos judesių greičių ir teritorijos georodiklių grupių kompleksinės koreliacinės analizės metu neišeliminuoatų narių regresinė analizė.

Regresinės analizės rezultatai, priežastiniais kintamaisiais imant visus georodiklių grupių narius, pirmajai ir antrajai georodiklių grupėms atitinkamai pateikiami 3.14 ir 3.15 lentelėse.

3.14 lentelė. Regresijos lygčių, priimant teritoriją apibūdinančius georodiklius, analizė
Table 3.14. Analysis of regression equations meant for the approval of geoindexes characterizing the territory

Laikotarpis, m.	n	F_q , ($q = 0,01$)	F_q , ($q = 0,05$)	F	R^2	$R^2_{\min}(m)$
1936–1963/64	13	7,19	3,87	10,28	0,90	0,86
1936–1973/75	12	8,47	4,28	10,39	0,91	0,88
1936–2003	8	99,33	19,33	336,37	0,99	0,99
1954–1963/64	19	4,32	2,79	8,79	0,78	0,72
1954–1973/75	17	5,10	3,11	15,00	0,89	0,86
1954–2003	11	10,67	4,95	7,75	0,90	0,86
1963/64–2003	11	10,67	4,95	3,35	0,80	0,72
1973/75–2003	11	10,67	4,95	6,83	0,89	0,85
Visų laikotarpių greičių vidurkis	11	10,67	4,95	7,30	0,90	0,86

Kaip matyti iš 3.14 lentelėje pateiktų regresinės analizės rezultatų, determinacijos koeficientas yra $0,78 \leq R^2 \leq 0,99$, penki iš devynių regresinių modelių adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,99$, trys modeliai adekvatūs matavimo rezultatams su mažesne tikimybe ($p \geq 0,95$).

3.15 lentelė. Regresijos lygčių, sudarytų antrajai georodiklių grupei, priimant teritoriją apibūdinančius georodiklius, analizė

Table 3.15. The analysis of regression equations compiled for the second group of geoindeces while approving the geoindeces characterizing the territory

Laikotarpis, m.	n	$F_q, (q = 0,01)$	$F_q, (q = 0,05)$	F	R^2	$R^2_{\min} (m)$
1936–1963/64	13	6,55	3,71	7,06	0,68	0,58
1936–1973/75	12	6,99	3,86	2,3	0,43	0,25
1936–2003	8	12,06	5,41	10,57	0,86	0,80
1954–1963/64	19	5,13	3,17	11,77	0,66	0,59
1954–1973/75	17	5,45	3,31	12,59	0,73	0,66
1954–2003	11	7,59	4,07	13,04	0,83	0,77
1963/64–2003	11	7,59	4,07	6,41	0,71	0,60
1973/75–2003	11	7,59	4,07	11,37	0,81	0,74
Viso laikotarpio greičių vidurkis	11	7,59	4,07	11,77	0,82	0,75

Kaip matyti iš 3.15 lentelėje pateiktų antrosios georodiklių grupės regresinės analizės rezultatų, determinacijos koeficientas yra $0,43 \leq R^2 \leq 0,86$ ribose, t. y. regresijos modeliai aprašo nuo 43 iki 86 proc. išmatuotų dydžių reikšmių, šeši iš devynių regresinių modelių adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,99$, du modeliai adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,95$, o vienas modelis adekvatus matavimo rezultatams su mažesne nei $p \geq 0,95$ tikimybe.

Regresiniai modeliai, sudaryti taikant georodiklius iš pirmosios georodiklių grupės, aprašo didesnę procentą išmatuotųjų dydžių reikšmių nei regresiniai modeliai, sudaryti taikant georodiklius iš antrosios georodiklių grupės. Galima teigti, kad antroji georodiklių grupė silpniau atspindi priežastinius išmatuotųjų vertikalųjų žemės plutos judesių ryšius nei pirmoji georodiklių grupė. Galima daryti prielaidą, kad taip yra dėl to, kad antrojoje georodiklių grupėje yra labiau apibendrinti, neišskaidyti į atskiras sudedamąsias dalis georodikliai.

Apibendrinus rezultatus galime teigti, kad regresinė analizė patvirtina koreliacinės analizės rezultatus ir parodo dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių sąsajas su geologiniais rodikliais, o kartu ir galimų judesių tektoninę prigimtį.

Stipriausiais priežastiniais ryšiais pasižymintiems rodikliams nustatyti pritaikytas atvirkštinės žingsninės regresijos metodas. Atvirkštinės žingsninės regresinės analizės rezultatai, t. y. žingsninės regresinės analizės metu likę ne-

išeliminuoti rodikliai, paskutinio žingsninės analizės žingsnio determinacijos koeficiento, išreikšto procentais, reikšmės, modelio adekvatumą įvertinančios F statistikos empirinė reikšmė ir jos ribinė reikšmė F_q , esant patikimumo lygmeniui $q=0,01$, pirmajai ir antrajai georodiklių grupėms pateikti atitinkamai 3.16 ir 3.17 lentelėse (simboliu * pažymėti likę georodikliai, kurių reikšmingumas didžiausias).

3.16 lentelė. Atvirkštinės žingsninės regresinės analizės rezultatai (I georodiklių grupė)
Table 3.16. Results of reverse step regression analysis (the 1st group of geoindeces)

Rezultatai	Laikotarpis, m.								
	1936–1963/64	1936–1973/75	1936–2003	1954–1963/64	1954–1973/75	1954–2003	1963/64–2003	1973/75–2003	Visų laikotarpių greičių vidurkis
F_q , ($q = 0,01$)	6,55	7,46	99,33	5,13	5,49	8,02	8,02	8,02	8,02
F_q , ($q = 0,05$)	3,71	3,97	19,33	3,17	3,34	4,25	4,26	4,26	4,26
F	20,86	12,67	336,37	17,63	27,31	21,87	14,56	21,69	18,3
R^2	0,86	0,90	0,99	0,75	0,85	0,83	0,76	0,83	0,80
$R_{\min}^2$	0,82	0,86	0,99	0,69	0,82	0,78	0,69	0,78	0,74
x'_1		*	*	*	*				
x'_2	*	*	*			*		*	*
x'_3		*	*	*					
x'_4			*		*		*		
x'_5	*	*	*		*	*		*	*
x'_6	*	*	*	*			*		

Taikant atvirkštinės žingsninės regresijos metodą, sudarius regresinius modelius, taikant georodiklius iš pirmosios georodiklių grupės (3.16 lentelė), matyti, kad determinacijos koeficientas yra $0,75 \leq R^2 \leq 0,99$ bei visiems laikotarpiams, tiek esant $p = 0,95$, tiek $p = 0,99$ tikimybėms, empirinės statistikos reikšmės didesnės už ribinės statistikos reikšmes, t. y. tenkinama $F > F_q$ sąlyga.

Todėl su tikimybe $p = 0,99$ galima teigti, jog statistinis priklausomumas tarp dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių ir geologinių rodiklių statistiškai reikšmingas bei patikimas, o regresiniai modeliai aprašo nuo 0,70 iki 0,99 procentų išmatuotųjų dydžių reikšmių. Iš determinacijos koeficientų matyti, jog priežastinių rodiklių skaičių sumažinus iki 3–5, regresiniai modeliai išlieka gana kokybiški.

Žingsnine regresine analize buvo siekiama sumažinti priežastinių rodiklių skaičių nesumažinant arba labai nedaug sumažinant modelio adekvatumą bei patikimumą. Paeiliui buvo eliminuojami mažiausią įtaką prognozuojamiems pagal regresijos lygtį rezultatams turintys priežastiniai rodikliai. Palyginus regresinės analizės rezultatus, pateiktus 3.14 lentelėje su žingsninės regresinės analizės rezultatais, pateiktais 3.16 lentelėje, matyti, kad modelio adekvatumas sumažėjo palyginti nedaug, o patikimumas netgi padidėjo.

Atvirkštinės žingsninės regresijos modeliams priežastiniais rodikliais imant georodiklius iš antrosios georodiklių grupės, sudaryti regresiniai modeliai, kurių determinacijos koeficientas yra $0,24 \leq R^2 \leq 0,83$, o aštuoni iš devynių regresinių modelių adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,99$, vienas modelis adekvatus matavimo rezultatams su mažesne nei $p \geq 0,95$ tikimybe (1936–1973/75m.).

Taikant atvirkštinės žingsninės regresijos metodą priežastinių rodiklių skaičių sumažinus iki 1–2, determinacijos koeficientas, priežastiniais rodikliais imant antrosios georodiklių grupės narius (3.17 lentelė), sumažėjo labiau, nei priežastiniais rodikliais imant pirmosios georodiklių grupės (3.16 lentelė) rodiklius. Regresinių modelių patikimumas pirmuoju atveju išaugo (3.16 lentelė), o antruoju – sumažėjo (3.17 lentelė).

Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad vakarų Lietuvoje nustatytos nuosėdinės dangos savybių (pirmoji georodiklių grupė) ir dabartinių žemės plutos judesių sąsajos gali būti taikomos dabartiniams geodinaminiais procesams pajūrio zonoje prognozuoti, taip pat prognozei tinka taikyti ir antrosios georodiklių grupės nariai, nors statistinės priklausomybės su šia grupe ir silpnesnės. Dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių prognozei galima taikyti regresinius modelius.

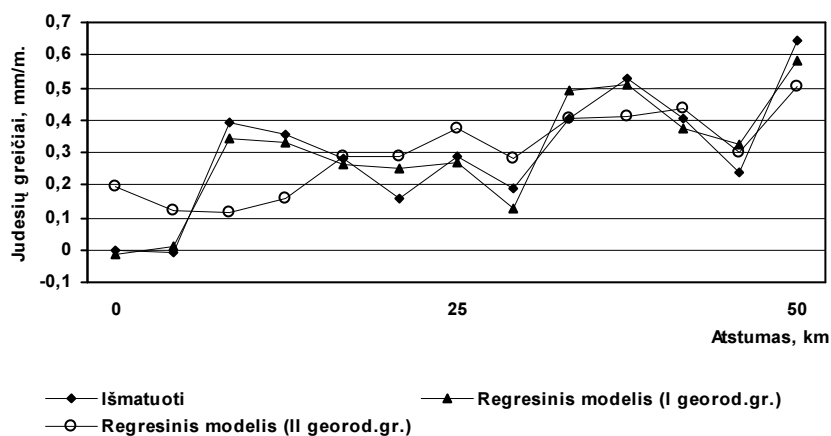
3.17 lentelė. Atvirkštinės žingsninės regresinės analizės rezultatai (II georodiklių grupė)
Table 3.17. Results of reverse step regression analysis (the 2nd group of geoindexes)

Rezultatai	Laikotarpis, m.								
	1936–1963/64	1936–1973/75	1936–2003	1954–1963/64	1954–1973/75	1954–2003	1963/64–2003	1973/75–2003	Viso laikotarpio greičių vidurkis
F_q , ($q = 0,01$)	7,25	9,67	12,25	5,95	6,36	8,02	8,02	8,02	8,02
F_q , ($q = 0,05$)	4,01	4,85	5,59	3,53	3,68	4,26	4,26	4,26	4,26
F	11,65	3,49	28,64	18,24	19,55	21,95	10,82	19,08	19,80
R^2	0,68	0,24	0,80	0,66	0,72	0,83	0,71	0,81	0,81
$R_{\min}^2$	0,59	0,03	0,75	0,60	0,67	0,78	0,62	0,75	0,76
x_1				*	*				
x_3	*					*	*	*	*
x_4	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Išmatuoti ir regresiniams modeliams sudaryti naudojant abi georodiklių grupes, prognozuoti dabartinių žemės plutos judesių greičiai 1936–1973/75, 1954–1973/75 metų laikotarpiams parodyti atitinkamai 3.3 bei 3.4 paveiksluose.

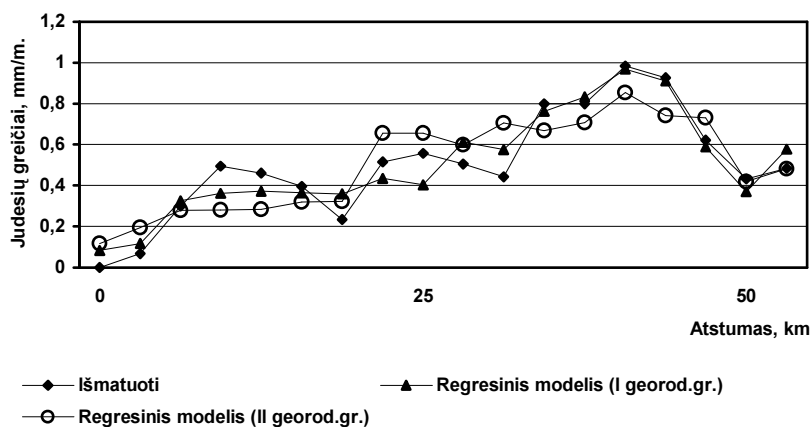
Iš šių paveikslų vaizdžiai matyti, kad prognozuoti dabartinių žemės plutos judesių greičių kaitos tendencijoms kaip priežastinius kintamuosius naudojant abi georodiklių grupes, taikant georodiklių gupe su visais analizuojamą teritoriją apibūdinančiais kintamaisiais, gautos judesių greičių tendencijos atitinka išmatuotųjų greičių kaitos tendencijas. Taip pat matyti, kad naudojant pirmąją georodiklių grupę sudarančius georodikius, prognozuojamieji dabartinių žemės plutos judesių modeliai labiau atitinka išmatuotuosius vertikaliosios žemės plutos judesius.

Analogiškai rezultatai gaunami ir analizuojant kitus nagrinėtus laikotarpius (3.14–3.17 lentelės).



3.3 pav. Išmatuoti ir prognozuoti vertikaliųjų žemės plutos judėsių greičiai 1936–1973/75 metų laikotarpiui

Fig. 3.3. Measured and forecasted velocities of vertical movements of the Earth's crust for 1936–1973/75



3.4 pav. Išmatuoti ir prognozuoti vertikaliųjų žemės plutos judėsių greičiai 1954–1973/75 metų laikotarpiui

Fig. 3.4. Measured and forecasted velocities of vertical movements of the Earth's crust for 1954–1973/75

Atlikus dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių sąsajų su teritorijos georodikliais metodikos patobulinimą, aprašytą 3.2 poskyryje, naudojant kompleksinę koreliacinę analizę, iš abiejų georodiklių grupių tyrimo eliminuojami tam tikri šių grupių nariai. Tolesnių tyrimų metu 3.2 poskyryje pateiktiems teiginiams patikrinti pagal antrajame skyriuje pateiktą metodiką (2.13–2.20) reikia atlikti regresinę analizę. Regresinės analizės rezultatai, priežastiniais kintamaisiais imant kompleksinės koreliacinės analizės metu neeliminuosius I ir II georodiklių grupių narius, pirmajai ir antrajai georodiklių grupėms atitinkamai pateikiami 3.18 ir 3.19 lentelėse.

3.18 lentelė. Regresijos lygčių, imant kompleksinės koreliacinės analizės metu neeliminuosius, teritoriją apibūdinančius I grupės georodiklius, analizė

Table 3.18. Analysis of regression equations with the geoindeces of the first group characterizing the territory and not eliminated at the moment of complex correlation analysis

Laikotarpis, m.	n	$F_q, (q = 0,01)$	$F_q, (q = 0,05)$	F	R^2	$R_{\min}^2 (m)$
1936–1963/64	13	6,55	3,71	4,52	0,58	0,44
1936–1973/75	12	6,99	3,86	8,51	0,74	0,65
1936–2003	8	12,06	5,41	7,22	0,81	0,72
1954–1963/64	19	5,32	3,25	7,11	0,57	0,47
1954–1973/75	17	5,60	3,36	6,48	0,58	0,47
1954–2003	11	7,59	4,07	12,59	0,83	0,76
1963/64–2003	11	7,59	4,07	7,12	0,73	0,63
1973/75–2003	11	7,59	4,07	9,55	0,78	0,70
Visų laikotarpių greičių vidurkis	11	7,59	4,07	10,31	0,79	0,72

Iš 3.18 lentelėje pateiktų tyrimo rezultatų matyti, kad determinacijos koeficientas yra $0,57 \leq R^2 \leq 0,83$, vadinasi, regresijos modeliai aprašo nuo 57 iki 83 proc. išmatuotų dydžių reikšmių. Šeši iš devynių regresinių modelių adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,99$, trys modeliai adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,95$.

3.19 lentelė. Regresijos lygčių, imant kompleksinės koreliacinės analizės metu neeliminuos, teritoriją apibūdinančius II grupės georodiklius, analizė

Table 3.19. Analysis of regression equations with the geoindexes of the second group characterizing the territory and not eliminated at the moment of complex correlation analysis

Laikotarpis, m.	n	$F_q, (q = 0,01)$	$F_q, (q = 0,05)$	F	R^2	$R^2_{\min} (m)$
1936–1963/64	13	7,25	3,99	7,58	0,58	0,46
1936–1973/75	12	7,56	4,10	0,30	0,06	–
1936–2003	8	10,92	5,14	2,25	0,43	0,19
1954–1963/64	19	6,16	3,60	6,35	0,43	0,31
1954–1973/75	17	6,36	3,68	15,17	0,67	0,60
1954–2003	11	8,02	4,26	9,19	0,67	0,56
1963/64–2003	11	8,02	4,26	6,13	0,58	0,44
1973/75–2003	11	8,02	4,26	8,23	0,65	0,53
Viso laikotar- pio greičių vidurkis	11	8,02	4,26	8,69	0,66	0,55

Iš 3.19 lentelėje pateiktų regresinės analizės rezultatų matyti, kad determinacijos koeficientas yra $0,06 \leq R^2 \leq 0,67$, vadinasi, regresijos modeliai aprašo nuo 6 iki 67 proc. išmatuotų dydžių reikšmių, šeši iš devynių regresinių modelių adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,99$, vienas modelis adekvatus matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,95$, o du modeliai matavimo rezultatams adekvatūs su mažesne nei $p \geq 0,95$ tikimybe.

Palyginius 3.14, 3.15 ir 3.18, 3.19 lentelėse pateiktus tyrimų rezultatus matyti, kad sudarant regresinius modelius nepriklausomais kintamaisiais pasirinkus tiek I, tiek II georodiklių grupių narius (narių neišeliminavus kompleksinės koreliacijos metodu), regresiniai modeliai gaunami su didesniais determinacijos koeficientais. Tai galima paaiškinti tuo, kad išeliminavus dalį georodiklių grupių narių, lieka mažiau georodiklių, kurie, vienaip ar kitaip, įneša į tiriamą procesą savo informacijos dalį. Tačiau regresiniuose modeliuose, nepriklausomais kintamaisiais imant I georodiklių grupės narius (imant juos visus ar dalį jų išeliminuojant), gaunamas geresnis rezultatas, nei imant II georodiklių grupės narius (taip pat išeliminuojant ir neišeliminuojant). Todėl ir šiuo atveju galima teigti,

kad antroji georodiklių grupė silpniau atspindi priežastinius išmatuotųjų vertikalųjų Žemės plutos judesių ryšius nei pirmoji georodiklių grupė.

Siekiant nustatyti stipriausiais priežastiniais ryšiais pasižyminčius georodikius, taikytas atvirkštinės žingsninės analizės metodas (2.2 poskyris, 2.20 formulės). Šios analizės rezultatai, naudojant I bei II georodiklių grupių kompleksinės koreliacinės analizės metu neeliminuosius georodikius, atitinkamai pateikti 3.20, 3.21 lentelėse (simboliu * pažymėti šio tyrimo metu likę georodikliai, kurių reikšmingumas didžiausias).

3.20 lentelė. Atvirkštinės žingsninės regresinės analizės rezultatai (I georodiklių grupė)
Table 3.20. Results of reverse step regression analysis (the 1st group of geoindexes)

Rezultatai	Laikotarpis, m.								
	1936–1963/64	1936–1973/75	1936–2003	1954–1963/64	1954–1973/75	1954–2003	1963/64–2003	1973/75–2003	Visų laikotarpių greičių vidurkis
F_q , ($q = 0,01$)	10,04	7,56	12,25	8,32	6,36	10,04	10,04	10,04	10,04
F_q , ($q = 0,05$)	4,96	2,92	5,59	4,43	3,68	4,96	4,96	4,96	4,96
F	8,60	10,42	29,43	14,92	10,41	37,59	21,09	25,53	21,33
R^2	0,42	0,68	0,81	0,45	0,58	0,79	0,69	0,72	0,68
$R_{\min}^2$	0,30	0,58	0,74	0,37	0,49	0,74	0,61	0,65	0,60
x'_3	*	*			*	*	*	*	*
x'_5			*		*				
x'_6		*		*					

Iš šioje lentelėje pateiktų tyrimo duomenų matyti, kad determinacijos koeficientas yra $0,42 \leq R^2 \leq 0,81$ ribose, aštuoni iš devynių regresinių modelių adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,99$, vienas modelis adekvatus matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,95$. $F > F_q$ sąlyga tenkinama, todėl aš-

tuoniais atvejais iš devynių su tikimybe $p = 0,99$, o vienu atveju su tikimybe $p = 0,95$ galima teigti, jog statistinis priklausomumas tarp dabartinių vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių ir geologinių rodiklių statistiškai reikšmingas bei patikimas, o regresiniai modeliai aprašo nuo 0,42 iki 0,81 proc. išmatuotųjų dydžių reikšmių.

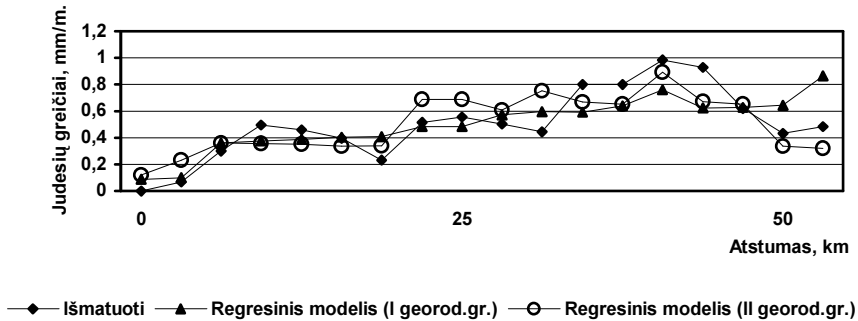
3.21 lentelė. Atvirkštinės žingsninės regresinės analizės rezultatai (II georodiklių grupė)
Table 3.21. Results of reverse step regression analysis (the 2nd group of geoindeces)

Rezultatai	Laikotarpis, m.								
	1936–1963/64	1936–1973/75	1936–2003	1954–1963/64	1954–1973/75	1954–2003	1963/64–2003	1973/75–2003	Viso laikotarpio greičių vidurkis
F_q , ($q = 0,01$)	9,33	9,69	12,25	8,32	8,56	10,04	10,04	10,04	10,04
F_q , ($q = 0,05$)	4,75	4,85	5,59	4,43	4,50	4,96	4,96	4,96	4,96
F	16,54	0,63	1,94	10,68	23,98	17,00	11,70	13,02	16,30
R^2	0,58	0,05	0,22	0,37	0,60	0,63	0,54	0,57	0,62
$R_{\min}^2$	0,49	—	—	0,28	0,54	0,54	0,43	0,46	0,53
x_1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
x_3									

Iš 3.21 lentelėje pateiktų tyrimo rezultatų matyti, jog šių regresinių modelių determinacijos koeficientas yra $0,05 \leq R^2 \leq 0,63$, o aštuoni iš devynių regresinių modelių adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,99$, vienas modelis adekvatus matavimo rezultatams su mažesne nei $p \geq 0,95$ tikimybe.

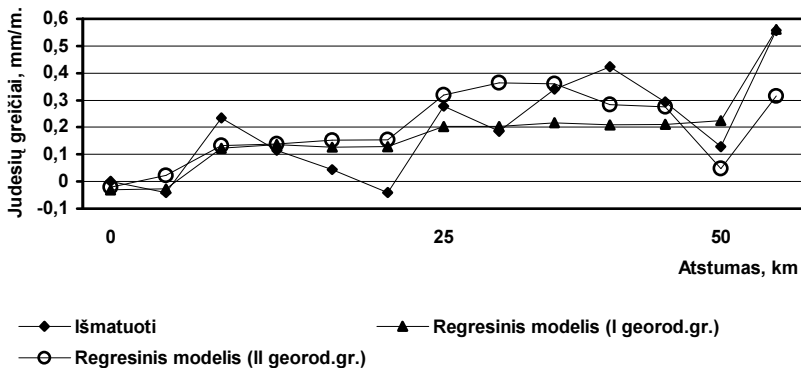
Priežastinių rodiklių skaičių sumažinus iki 1–2, naudojant I georodiklių grupės narius, determinacijos koeficientas sumažėjo mažiau, nei naudojant II georodiklių grupės narius.

Išmatuoti ir regresiniams modeliams sudaryti naudojant abi georodiklių grupes, prognozuoti dabartinių žemės plutos judesių greičiai 1936–1973/75, 1954–1973/75 metų laikotarpiams parodyti atitinkamai 3.5 bei 3.6 paveiksluose.



3.5 pav. Išmatuoti ir prognozuoti vertikaliųjų žemės plutos judesių greičiai 1954–1973/75 metų laikotarpiui

Fig. 3.5. Measured and forecasted velocities of the vertical movements of the Earth's crust for 1954–1973/75



3.6 pav. Išmatuoti ir prognozuoti vertikaliųjų žemės plutos judesių greičiai 1936–1963/64 metų laikotarpiui

Fig. 3.6. Measured and forecasted velocities of the vertical movements of the Earth's crust for 1936–1963/64

Kaip matyti iš šių paveikslų, prognozuotų dabartinių žemės plutos judesių greičių kaitos tendencijos, priežastiniais kintamaisiais naudojant kompleksinės koreliacijos metu neeliminuosius georodiklių grupės narius, atitinka dabartinių išmatuotų judesių greičių kaitos tendencijas. Naudojant pirmosios georodiklių grupės narius, prognozuoti vertikalinių žemės plutos judesių modeliai labiau sutampa su išmatuotais dabartinių vertikalinių judesių greičiais, o naudojant antrosios georodiklių grupės narius gaunami labiau apibendrinti, pagrindines kaitos tendencijas išryškinantys prognozuoti judesių greičių modeliai.

3.4. TREČIOJO SKYRIAUS IŠVADOS

1 Dabartinių vertikalinių žemės plutos judesių prognozės modelių, taikomų vertikalinių žemės plutos judesių įtakos niveliacijos matavimams įvertinti, tobulinimo galimybių tyrimas atliktas Lietuvos teritorijos pavyzdžiu.

2. Taikant antrajame šio darbo skyriuje pateiktą kompleksinės koreliacinės analizės metodiką, nustatyta, kad skirtingose Lietuvos teritorijos dalyse (skirtingose niveliacijos linijose) informatyviausios yra ne tos pačios georodiklių grupės, t. y. georodiklių informatyvumas yra regioninio pobūdžio, kurį lemia geologinės sąlygos.

3. Kadangi rodiklių grupės ir jų informatyvumas yra regioninio pobūdžio, didelėms teritorijoms taikyti vieną ir tą pačią georodiklių grupę netikslinga. Vertikalinių žemės plutos judesių prognozės modelius rekomenduojama sudaryti atskiroms niveliavimo linijoms.

4. Kai norima išplėsti vertikalinių žemės plutos judesių prognozės modelius į teritorijas, kuriose nėra atlikta kartotinių geodezinių matavimų, juos reikia sudaryti pagal artimiausių niveliacijos linijų geodezinius matavimus ir georodikius.

5. Iš atliktų tyrimų vakarų Lietuvoje (niveliacijos linija Mikytai–Šilutė–Klaipėda) nustatyta, kad didesniu informatyvumu už kitus, anksčiau taikytus vertikalinių žemės plutos judesių prognozei, pasižymi struktūrinių kompleksų storiai.

6. Matematinio prognozės modelio, sudaryto rodikliais imant ir nuosėdinės žemės dangos struktūrinių kompleksų storius, determinacijos koeficientas kinta $0,78 \leq R^2 \leq 0,99$, o determinacijos koeficientų apatinė pasikliautinumo intervalo riba $0,72 \leq R_{\min}^2 \leq 0,99$. Regresijos modeliams sudaryti rodikliais imant antrosios georodiklių grupės narius, determinacijos koeficientas kinta $0,43 \leq R^2 \leq 0,86$, o determinacijos koeficientų apatinė pasikliautinumo intervalo riba bus $0,25 \leq R_{\min}^2 \leq 0,80$.

7. Iš niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda atliktų eksperimentų nustatyta, kad judesių prognozei taikant regresinį modelį, kuriame rodikliais imami mūsų pasiūlyti nuosėdinės žemės dangos struktūrinių kompleksų storiai, prognozuoti duomenys geriau atitinka matavimų rezultatus, nei imant kitų tyrėjų naudotus georodiklius. Pirmuoju atveju vidutinė determinacijos koeficiento reikšmė $R^2 = 0,88$, o apatinė jo pasikliautinumo intervalo riba $R_{\min}^2 = 0,84$, o antruoju atveju – $R^2 = 0,72$ ir $R_{\min}^2 = 0,64$. Kai rodikliais imami, atsižvelgiant į kompleksinės koreliacinės analizės rezultatus, pirmosios bei antrosios georodiklių grupių nariai, pirmuoju atveju vidutinė R^2 reikšmė $R^2 = 0,71$, o $R_{\min}^2 = 0,62$, antruoju atveju $R^2 = 0,53$ ir $R_{\min}^2 = 0,46$.

Dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaka, sudarant Lietuvos niveliacijos tinklus

Remiantis antrajame šio darbo skyriuje parengtu vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakos niveliacijos tinklams vertinimo metodikos patobulinimu bei trečiajame darbo skyriuje atliktų dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozės modelių tobulinimo galimybių tyrimo rezultatais, atliktas dabartinių geodinaminių procesų įtakos Lietuvos niveliacijos tinklams tyrimas.

Skyriaus tematika paskelbti autoriaus straipsniai (Puzienė 2009; Zakarevičius et al. 2009).

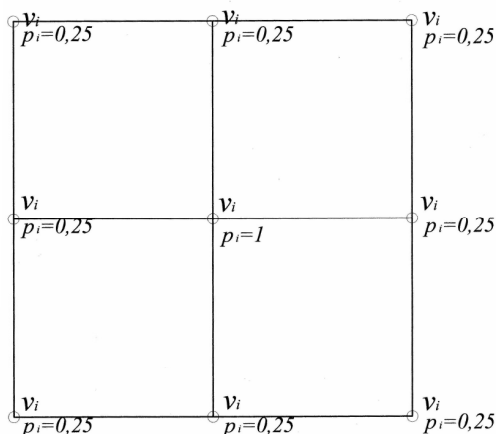
4.1. DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ ĮTAKOS VERTINIMAS EKSPLOATUOJANT NIVELIACIJOS TINKLUS

Norint įvertinti vertikaliųjų žemės plutos judesių įtaką niveliacijos tinklams, reikia nustatyti vertikaliųjų judesių lauko anizotropines savybes ir teritorinę jų kaitą. Tam reikalinga sudaryti vertikaliųjų žemės plutos judesių

greičių horizontaliųjų gradientų žemėlapius. Tokius žemėlapius galima sudaryti remiantis vertikalųjų žemės plutos judesių greičių žemėlapiais (Zakarevičius 1976, 1994a).

Šiame skyriuje pateiktais tyrimais siekiama, taikant 2.3 poskyryje pateiktą vertikalųjų žemės plutos judesių vertinimo, eksploatuojant niveliacijos tinklus, metodiką, atlikti vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos Lietuvos niveliacijos tinklams vertinimą.

Norint įvertinti vertikalųjų žemės plutos judesių įtaką Lietuvos vertikaliam geodeziniam tinklui, reikia nustatyti vertikalųjų judesių lauko anizotropines savybes ir jų teritorinę kaitą. Tam reikia sudaryti vertikalųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų žemėlapi. Judesių greičių horizontaliųjų gradientų žemėlapis sudarytas naudojant prof. habil. dr. A. Zakarevičiaus, habil. dr. S. Šliaupos, dokt. A. Anikėnienės sudarytą Lietuvos teritorijos dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių greičių žemėlapi (Zakarevičius *et al.* 2008; Zakarevičius *et al.* 2009). Šis žemėlapis buvo sudarytas remiantis metodologiniais principais, kad dabartiniai vertikalieji žemės plutos judesiai yra ankstesnių geologinių periodų tektoninių procesų tęsinys, dabartinių žemės plutos judesių modeliavimas atliktas atsižvelgiant ne tik į geodezinius matavimų rezultatus, bet ir teritorijos georodiklius (Anikėnienė 2008).



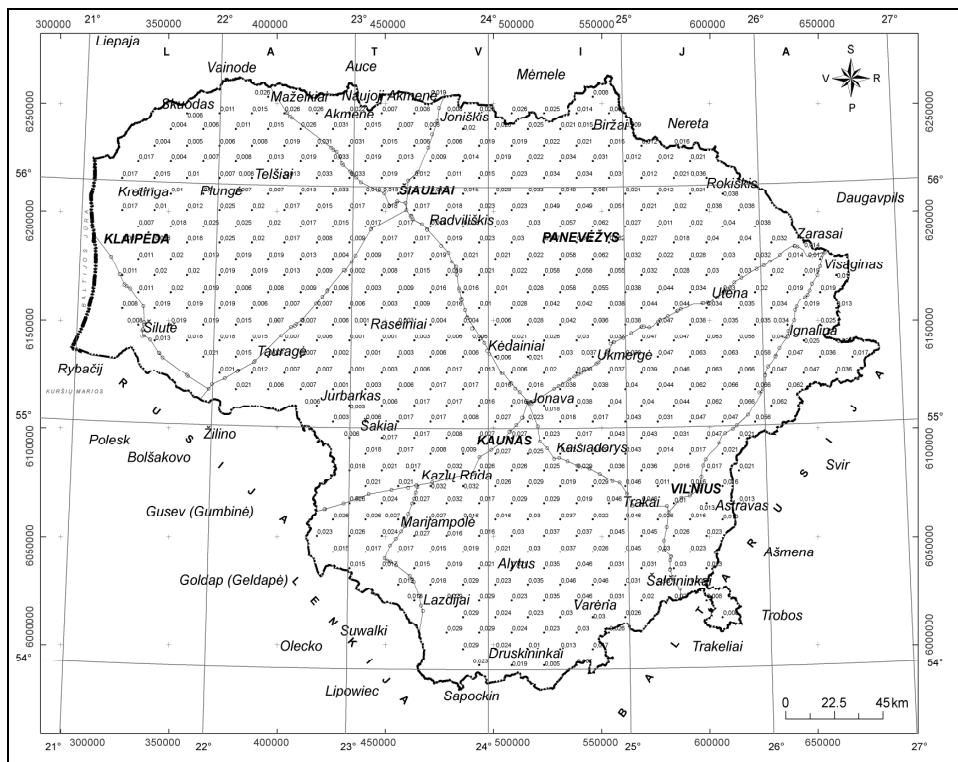
4.1 pav. Duomenų generalizavimo, taikant slenkantį svorinį vidurkį, schema

Fig. 4.1. Diagram of generalizing of data applying the moving weight mean

Siekiant gauti gradientų reikšmes, atliktas vertikalųjų žemės plutos judesių žemėlapio (Zakarevičius *et al.* 2009) skaitmeninis diferencijavimas.

Teritorija suskaidyta kvadratais kas 15 km. Kampiniuose taškuose nustatytos dabartinių vertikaliųjų judesių greičių reikšmės. Buvo atlikta duomenų generalizacija, siekiant gauti labiau apibendrintas vertikaliųjų greičių reikšmes. Atliekant generalizavimą, taikytas slenkantis svorinis vidurkis. 4.1 paveiksle pavaizduota duomenų generalizacijos, taikant slenkantį svorinį vidurkį, schema. v_i – greičiai, nustatyti interpoliavimo būdu, suskaidžius vertikaliųjų žemės plotos judesių žemėlapi kvadratais kas 15 km, p – svoriai, taikyti atliekant duomenų generalizaciją. Taikant tokį duomenų generalizavimo modelį, atlikti skaičiavimai visai tyrimuose naudotai teritorijai.

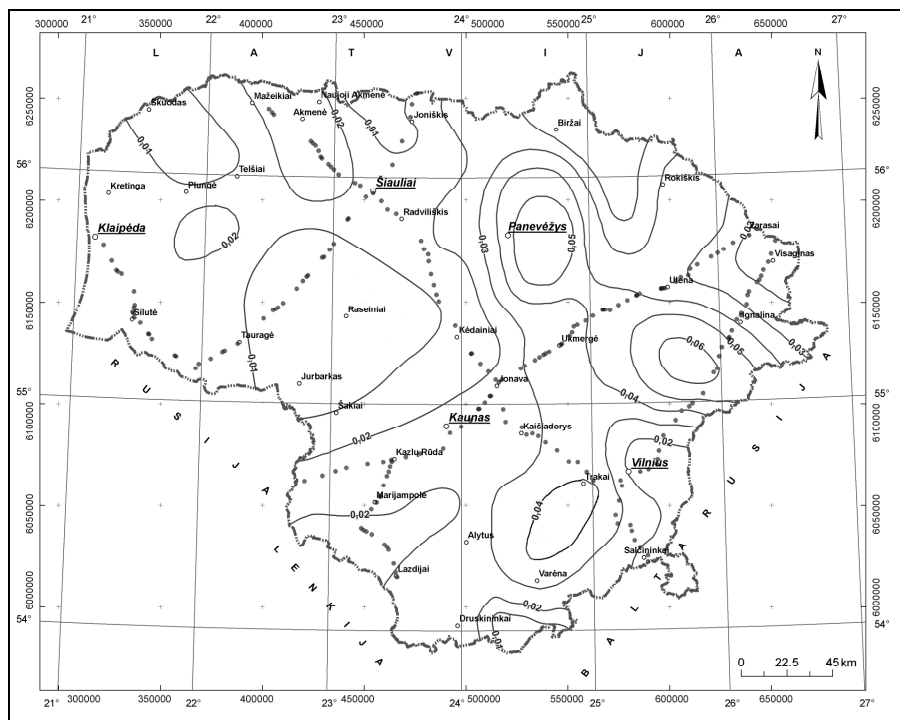
Turint šiuos duomenis, atliekant skaitmeninį diferencijavimą apskaičiuotos vertikaliųjų judesių greičių horizontaliųjų gradientų modulių reikšmės, kurios pavaizduotos 4.2 paveiksle.



4.2 pav. Vertikaliųjų žemės plotos judesių horizontaliųjų gradientų modulių reikšmės ((mm/m.)/km)

Fig. 4.2. Values of models of horizontal gradients of the vertical movements of the Earth's crust ((mm/m.)/km)

Sudarytas dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų modulių žemėlapis pateiktas 4.3 paveiksle.



4.3 pav. Vertikalųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų modulių žemėlapis (gradientų reikšmės ((mm/m)/km))

Fig. 4.3. Map of models of horizontal gradients of the vertical movements of the Earth's crust (values of gradients ((mm/m)/km))

Pagal Lietuvoje galiojančius reikalavimus (GKTR 2.12.01.:2001 Lietuvos valstybinis... 2001) pirmosios tikslumo klasės niveliacijai leidžiama paklaida 0,5 mm/km, antrosios klasės – 0,7 mm/km.

Kaip minėta, geodezijoje įprasta, kad išmatuotų dydžių funkcijose, jei vieno iš dviejų šaltinių įtaka nusakoma vidutine kvadratine paklaida, neviršijanti 1/3 dalies suminių tikslumą apibūdinančios vidutinės kvadratinės paklaidos, tai įvertinant matavimų tikslumą, ši paklaidų šaltinių galima ignoruoti. Jei šis paklaidų šaltinis viršija 1/3 dalį, jo ignoruoti nebegalima (šiuo atveju $q \approx 3$). Turint omeny šią sąlygą, atsižvelgus į niveliacijos tinklams keliamus tikslumo reikalavimus, gaunama, kad pirmosios klasės niveliacijos neatitiks reikalavimų, kai vidu-

tinės kvadratinės paklaidos dalis, atsirandanti dėl vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos, bus didesnė kaip $0,17 \text{ mm/km}$, o antrosios klasės – $0,23 \text{ mm/km}$ (2.37 formulė, 2.3 skyrius).

Turint horizontaliųjų gradientų modulių skaitines išraiškas, galima apskaičiuoti, kokios būtų vidutinės kvadratinės aukščių skirtumų paklaidos vienam kilometrui niveliacijos ėjimo po 10, 15 ir 20 niveliacijos tinklo eksploatavimo metų.

Dėl vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos, einant laikui, didėja išmatuotųjų aukščių skirtumų paklaidos. Kuo intensyvesnio pobūdžio bus judesiai, tuo didesnė stebima jų įtaka niveliacijos matavimo rezultatams, tuo mažiau laiko prireiks, kad matavimais gauti rezultatai nebeatitiktų jų klasei keliamo reikalaujamo tikslumo. Padauginus vertikalųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų modulių reikšmes iš tam tikro laiko tarpo, atsižvelgiant į priimtą koeficiento q (2.30 formulė) reikšmę (mūsų atveju $q = 3$), gaunamos aukščių skirtumų vidutinių kvadratinė paklaidų reikšmės tiriamoje teritorijoje po tam tikro laikotarpio. Tyrimams buvo pasirinkti 10, 20 ir 30 metų laikotarpiai. Tyrimo metu buvo nustatyta, kokius dydžius pasieks aukščių skirtumų vidutinių kvadratinė paklaidų reikšmės tiriamoje teritorijoje po atitinkamo laikotarpio, tuomet priklausomai nuo vietos, kurioje paklota niveliacijos linija, buvo nustatyta, po kokio laikotarpio šioje linijoje atlikti matavimų rezultatai nebeatitiks jiems keliamų tikslumo reikalavimų. Tyrimais gauti rezultatai pateikti 4.1 lentelėje. Ženklu „+“ pažymėtos niveliacijos linijos, po atitinkamo laikotarpio atitinkančios niveliacijos tinklo tikslumui keliamus reikalavimus, ženklu „–“ pažymėtos niveliacijos linijos, po atitinkamo laikotarpio neatitinkančios niveliacijos tinklo tikslumui keliamų reikalavimų.

4.1 lentelė. Vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių įtaka niveliacijos tinklų tikslumui keliamiems reikalavimams

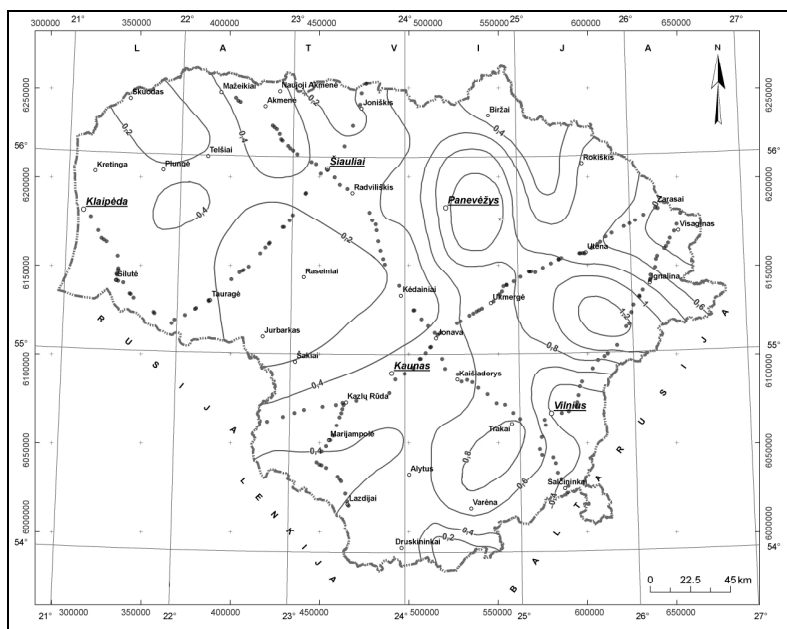
Table 4.1. Impact of vertical movements of the Earth's crust on the accuracy of levelling networks in respect to the requirements for accuracy

Niveliacijos linija	Netenkins tikslumo reikalavimų					
	Po 10 m.		Po 20 m.		Po 30 m.	
	I kl.	II kl.	I kl.	II kl.	I kl.	II kl.
Šiauliai–Kūžiai–Mažeikiai–Lūšė	–	–	–	–	–	–
Šiauliai–Tauragė–Mikytai	+	+	–	+	–	–
Mikytai–Šilutė–Klaipėda–Palanga–Būtingė	+	+	–	+	–	–
Jonava–Gaižiūnai–Palemonas–Kaunas–Kazlų Rūda–Kybartai	–	–	–	–	–	–

4.1 lentelės tęsinys

Niveliacijos linija	Netenkina tikslumo reikalavimų					
	Po 10 m.		Po 20 m.		Po 30 m.	
	I kl.	II kl.	I kl.	II kl.	I kl.	II kl.
Vilnius–Jonava	–	–	–	–	–	–
Jonava–Zarasai–Turmantas	–	–	–	–	–	–
Turmantas–Vilnius	–	–	–	–	–	–
Jonava–Šiauliai–Joniškis	+	+	–	+	–	–
Kazlų Rūda–Šeštokai–Lazdijai– Lenkijos siena	–	+	–	–	–	–

Gautosios vidutinių kvadratinį vieno kilometro ilgio aukščių skirtumų paklaidų reikšmių sandai, nulemti vertikaliųjų žemės plutos judesių, po 20 tinklo eksploatavimo metų grafiškai pavaizduoti sudarytame žemėlapyje izolinijomis (4.4 pav.).



4.4 pav. Aukščių skirtumų vidutinių kvadratinį paklaidų reikšmių sandai dėl vertikaliųjų žemės plutos judesių po 20 metų (mm/km)

Fig. 4.4. Components of mean square error values of altitude differences resulted from vertical movements of the Earth's crust in 20 years (mm/km)

Kaip matyti iš tyrimais gautų rezultatų (4.1 lentelė), po 10 metų ne tik I klasės, bet ir II klasės niveliacijos tikslumo reikalavimų nebeatitiks niveliacijos linijos: Šiauliai – Kužiai – Mažeikiai – Lūšė, Jonava – Gaižiūnai – Palemonas – Kaunas – Kazlų Rūda – Kybartai, Vilnius – Jonava, Jonava – Zarasai – Turmantas, Turmantas– Vilnius (apie 55 proc. Lietuvos teritorijoje esančių tinklų); I kl. keliamų reikalavimų neatitiks šios, anksčiau minėtos bei Kazlų Rūda – Šeštokai – Lazdijai – Lenkijos siena niveliacijos linijos (apie 67 proc.).

Po 20 metų ne tik I klasės, bet ir II klasės niveliacijos tikslumo reikalavimų nebeatitiks niveliacijos linijos: Šiauliai – Kužiai – Mažeikiai – Lūšė, Jonava – Gaižiūnai – Palemonas – Kaunas – Kazlų Rūda – Kybartai, Vilnius – Jonava, Jonava – Zarasai – Turmantas, Turmantas– Vilnius, Kazlų Rūda – Šeštokai – Lazdijai – Lenkijos siena (apie 67 proc.); I kl. keliamų reikalavimų netenkins aukščiau minėtos bei Mikytai – Šilutė – Klaipėda – Palanga – Būtingė, Jonava – Šiauliai – Joniškis, Šiauliai – Tauragė – Mikytai niveliacijos linijos (100 proc.).

Po 30 metų ne tik I klasės, bet ir II klasės niveliacijos tikslumui keliamų reikalavimų nebeatitiks visos nagrinėjamos niveliacijos linijos (100 proc.).

Atsižvelgiant į tyrimais gautus rezultatus (4.1 lentelė, 4.2– 4.4 pav.), matyti, jog apie 70 proc. niveliacijos tinklų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos jau po dešimties metų neatitiks keliamų tikslumo reikalavimų. Todėl galima teigti, kad, norint išlaikyti reikalaujamą vertikalųjų tinklų tikslumą, Lietuvos teritorijoje pirmosios ir antrosios klasės niveliacijos tinklų kartotinius matavimus būtina atlikti ne rečiau kaip kas 15–20 metų.

Taip pat vertikalųjų žemės plutos judesių įtaką reikia įvertinti ir apdorojant niveliacijos tinklų matavimų rezultatus. Matavimų rezultatus reiktų redukuoti atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, apskaičiuojant pataisas dėl vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos skirtingu laiku atliktų matavimų duomenims.

Toliau pagal antrame šio darbo skyriuje pateiktą metodiką atliktas dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių vertinimo, apdorojant niveliavimo matavimų duomenis, tyrimas. Tyrimas atliktas Lietuvos vertikaliojo geodezinio tinklo matavimų atskirose linijose ir poligonuose pavyzdžiu, taikant įvairius vertikalųjų žemės plutos judesių prognozės metodus.

4.2. TYRIMAI NIVELIACIJOS LINIJOJE MIKYTAI–ŠILUTĖ–KLAIPĖDA

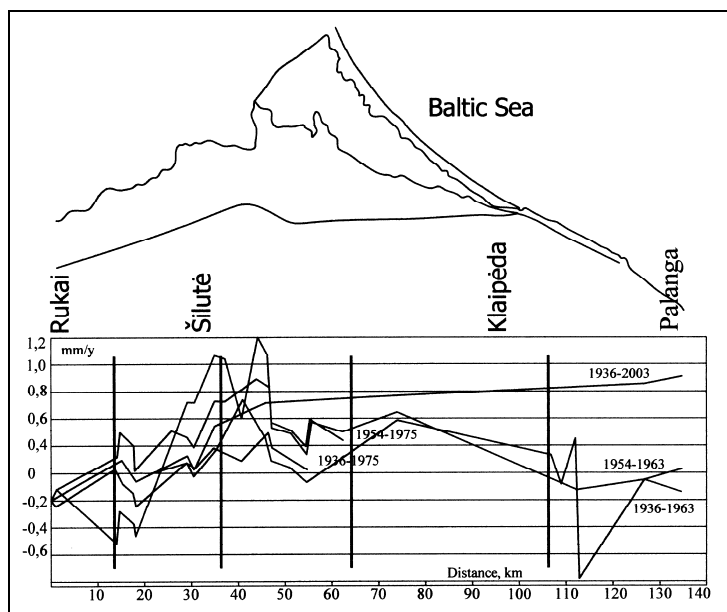
Tyrimui ši linija pasirinkta todėl, kad joje gerai atsispindi pirmąją georodiklių grupę sudarantys struktūriniai kompleksai. Remiamasi padaryta prielaida, kad geodeziniais metodais išmatuotų vertikalųjų žemės plutos judesių tyrimams taikyti geriau būtų Žemės formavimosi metu susidariusias tam tikras struktūras, nuosėdinės dangos storį išskaidant į jos kompleksus. Tyrimus atliksime vertika-

liesiems žemės plutos judesiams prognozuoti taikydami dvi georodiklių grupes (3.2 poskyris).

Toliau pateikiami tyrimai, siekiant palyginti rezultatus, gautus judesiams prognozuoti, imant kitų tyrėjų (Anikėnienė 2008; ЮН *et al.* 2009; Zakarevičius *et al.* 2009) naudotą georodiklių grupę bei mūsų pasiūlytą georodiklių grupę, į kurią įtraukti nuosėdinės dangos struktūriniai kompleksai.

Šioje linijoje, naudojant tikslųjų kartotinių niveliacijų rezultatus bei teritoriją apibūdinančius georodiklius, buvo atliktas vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozavimas taikant dvi skirtingų georodiklių grupes (3.2, 3.3 poskyriai) bei įvertinant atskirų georodiklių iš šių grupių tinkamumą tyrimams, taikant kompleksinę koreliacinę analizę bei georodiklių informatyvumo tyrimą.

Šioje tiksliosios niveliacijos linijoje matavimai buvo atlikti 1936, 1954, 1963/64, 1973/75, 2003 m. (3.2 poskyris). Vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių skaitinės reikšmės apskaičiuotos 1936–1963/64, 1936–1973/75, 1936–2003, 1954–1963/64, 1954–1973/75, 1954–2003, 1963/64–2003, 1973/75–2003 aikotarpiams. Apskaičiuoti vertikalieji žemės plutos judesių greičiai grafiškai pavaizduoti 4.5 paveiksle.



4.5 pav. Vertikaliųjų žemės plutos judesių greičiai skirtingiems laikotarpiams
Fig. 4.5. Velocities of vertical movements of the Earth's crust for diverse periods

Kaip matyti iš 4.5 paveikslo, skirtingų laikotarpių žemės plutos judesiai yra skirtingo intensyvumo greičių, todėl pataisas dėl vertikalųjų žemės plutos judesių skaičiuodami pagal atskirus laikotarpius gausime skirtingas skaitines pataisų reikšmes. Tad pataisoms dėl vertikalųjų žemės plutos judesių skaičiuoti reikėtų rinktis laikotarpį tarp dviejų paskutinių tikslųjų niveliacijų matavimų, nes jis geriausiai rodo dabartyje vykstančius vertikalųjų žemės plutos judesių greičius.

Pataisas dėl vertikalųjų žemės plutos judesių pagal 2.4.2 poskyryje pateiktą metodiką galima skaičiuoti iš vertikalųjų žemės plutos greičių, apskaičiuotų pagal tikslųjų niveliacijų matavimų rezultatus. Šias pataisas galima skaičiuoti pagal aproksimuotus (siekiant sumažinti atsitiktinių paklaidų įtaką) vertikalųjų žemės plutos judesių greičius. Iš 2.4.2, 2.4.3 poskyrių matyti, kad vertikaluosius žemės plutos judesių greičius galima prognozuoti pagal tiriamos teritorijos georodiklius, taikant skirtingas jų grupes, savo ruožtu, taikant šį metodą, iš apskaičiuotų greičių taip pat galima skaičiuoti pataisas aukščių skirtumams dėl vertikalųjų žemės plutos judesių.

Atlikti tyrimai siekiant sugretinti redukuotų į pasirinktus metus aukščių skirtumų skaitines reikšmes, taikant skirtingais būdais apskaičiuotas pataisas. Tyrimui pasirinktas 1973/75–2003 m. laikotarpis, kuriam, taikant skirtingas metodikas, apskaičiuotos vertikalųjų žemės plutos judesių greičių skaitinės reikšmės. Eksperimentui atlikti imti 1973/75 m. išmatuotieji aukščių skirtumai ir, į aukščių skirtumus įvedus pagal 1973/75–2003 m. laikotarpį apskaičiuotas pataisas dėl vertikalųjų žemės plutos judesių, jie redukuoti į 2003 metus. Toliau pateikiami tyrimo rezultatai.

4.2.1. Išmatuotų aukščių skirtumų redukavimas taikant skirtingas georodiklių grupes

Šiame skyriuje pateiktas 1973/75 m. niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda išmatuotų aukščių skirtumų redukavimas į 2003 metus, taikant pataisas, apskaičiuotas naudojant skirtingas georodiklių grupes, išnagrinėtas 3.2 poskyryje. Pataisoms skaičiuoti taikoma 2 skyriaus 2.4.2 poskyryje pateiktas metodika.

Dabartiniai vertikalųjų žemės plutos judesių greičiai 1973/75–2003 m. laikotarpiui, gauti iš matavimų rezultatų, aproksimuoti taikant regresinius modelius (2.13–2.18, 2.21) bei apskaičiuoti pagal dvi skirtingas georodiklių grupes grafiškai pavaizduoti 4.6 paveiksle. Regresinės lygtys pateiktos 4.2, 4.3 lentelėse.

4.2 lentelė. Regresiniai modeliai, taikyti vertikalųjų žemės plutos judesių prognozei, naudojant skirtingas georodiklių grupes

Table 4.2. Regression models, applied for forecasting vertical movements of the Earth's crust by using different groups of geoindexes

Regresinis modelis	$R^2, \%$	F	$Fq (q = 0,05)$
Pagal pirmąją georodiklių grupę			
$v = -11,132 - 0,009 \cdot x'_1 + 0,020 \cdot x'_2 - 0,006 \cdot x'_3 - 0,009 \cdot x'_4 - 0,013 \cdot x'_5 - 0,007 \cdot x'_6$	89,13	6,83	4,95
Pagal antrąją georodiklių grupę			
$v = -4,359 - 0,001 \cdot x_1 + 0,003 \cdot x_2 + 0,002 \cdot x_3 - 0,073 \cdot x_4$	81,18	7,55	4,12

4.3 lentelė. Regresiniai modeliai, naudoti vertikaliesiems žemės plutos judesiams glotinti

Table 4.3. Regression models, applied for sleek vertical movements of the Earth's crust

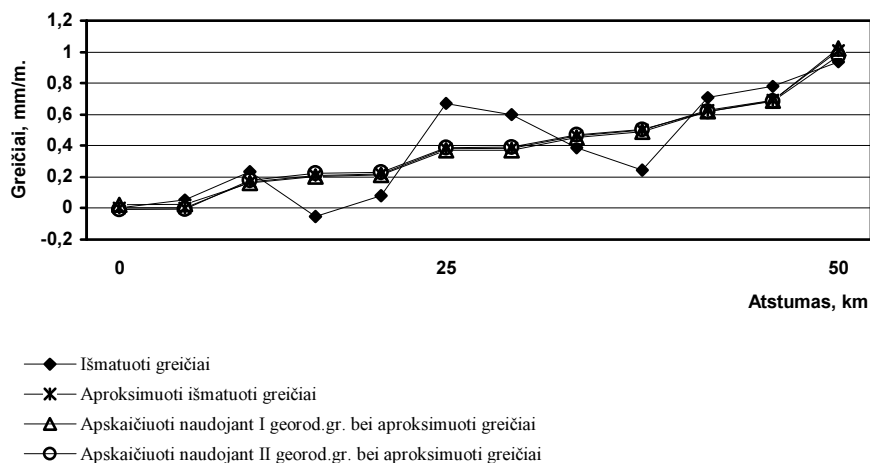
Regresinis modelis	$R^2, \%$	F	$Fq (q = 0,01)$
Išmatuotiems vertikalųjų judesių greičiams 1973/75–2003 m. laikotarpiui			
$v = -0,004 + 0,007 \cdot S + 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot S^2$	75,15	13,61	8,02
Prognozuotiems vertikalųjų judesių greičiams, naudojant pirmąją georodiklių grupę			
$v = 0,024 + 0,004 \cdot S + 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot S^2$	82,50	21,22	8,02
Prognozuotiems vertikalųjų judesių greičiams, naudojant antrąją georodiklių grupę			
$v = -0,009 + 0,008 \cdot S + 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot S^2$	87,66	31,96	8,02

Kaip matyti iš 4.2 lentelėje pateiktų rezultatų, vertikalųjų žemės plutos judesių prognozei taikomas regresinis modelis, kuriame naudojami pirmosios georodiklių grupės nariai, aprašo 89,13 proc. išmatuotų dydžių reikšmių, o antrasis regresinis modelis aprašo 81,18 proc. išmatuotų dydžių reikšmių abu modeliai adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,95$. Galima teigti, jog vertikalųjų žemės plutos judesių greičių prognozei tinkamesnis yra regresinis modelis, kuriame nepriklausomi kintamieji yra iš pirmosios georodiklių grupės.

4.3 lentelėje regresiniai modeliai, naudojami vertikalųjų žemės plutos judesių greičių reikšmėms glotinti, aprašo, atitinkamai, 75,15, 82,50, 87,66 proc. išmatuotų dydžių reikšmių, visi modeliai adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,99$.

Tyrimo metu apskaičiuotos aproksimuotų iš tikslių niveliacijų rezultatų gautų greičių skaitinės reikšmės; taip pat apskaičiuotos, taikant regresinius mo-

delius, naudojant I ir II georodiklių grupes, skaitinės judesių greičių reikšmės, grafiškai pavaizduotos 4.6 paveiksle.



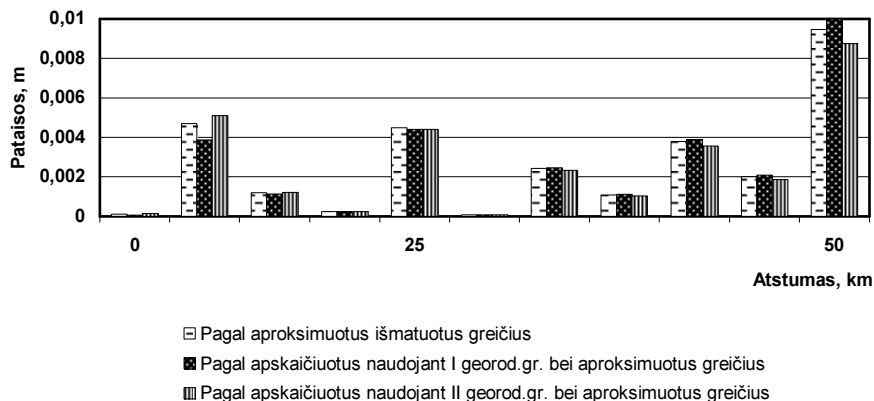
4.6 pav. Vertikalieji žemės plutos judesių greičiai niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda

Fig. 4.6 . Velocities of vertical movements of the Earth's crust in levelling line of Mikytai–Šilutė–Klaipėda

Kaip matyti iš 4.6 paveikslo, suglontintų išmatuotų vertikalųjų žemės plutos judesių greičių skaitinės reikšmės praktiškai sutampa su regresiniais modeliais prognozuotomis bei aproksimuotomis vertikalųjų judesių reikšmėmis.

Akivaizdu, jog pataisos 1973/75 m. išmatuotų aukščių skirtumų redukavimui į 2003 metus, apskaičiuotos tiesiai iš išmatuotų nesuglontintų vertikalųjų žemės plutos judesių greičių, atitiks išmatuotų 1973/75 m. bei išmatuotų 2003 m. aukščių skirtumų pokytį dėl geodinaminės įtakos matavimo rezultatui. Tačiau taikant šias pataisas, redukuoti į pasirinktą laiko momentą galima tik tuos aukščių skirtumus tarp reperų, kurie niveliuoti kartotinais, bet, atliekant kartotinius niveliacijos matavimus, ne visi geodeziniai punktai užniveliuojami kartotinais, todėl vertikalieji žemės plutos greičiai žinomi ne visiems punktams. Dėl šios priežasties nėra galimybių į reikiamus metus redukuoti visus išmatuotuosius aukščių skirtumus. Todėl redukuoti siūloma taikyti pataisas dėl vertikalųjų žemės plutos judesių, apskaičiuotas naudojant aproksimuotus išmatuotuosius greičius arba naudojant teritorijos georodiklius, prognozuotus greičius. Taikant georodiklius prognozuotus vertikalųjų judesių greičius reikia naudoti tose linijose ar linijų atkarpose, kuriose nėra kartotinių geodezinių matavimų.

Pataisos dėl vertikalųjų žemės plutos judesių į 1973/75 m. išmatuotus aukščių skirtumus, siekiant jų skaitines reikšmes redukuoti į 2003 m. aukščių skirtumų skaitines reikšmes, grafiškai pateiktos 4.7 paveiksle.



4.7 pav. Pataisų dėl geodinaminės įtakos skaitinės reikšmės, apskaičiuotos taikant skirtingas metodikas

Fig. 4.7. Numerical values of corrections due to geodynamic influence, computed by applying diverse methods

Kaip matyti iš 4.7 paveikslo, skaitinės pataisų reikšmės, apskaičiuotos naudojant skirtingas metodikas, panašios. Nedidelius skirtumus galima paaiškinti tuo, jog šios pataisos vienu atveju skaičiuojamos iš glotnintų išmatuotų vertikalųjų žemės plutos judesių, kitais atvejais jiems skaičiuoti naudojamos skirtingos georodiklių grupės.

Pataisų aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktą laiko momentą sumos (m) niveliacijos linijai Mikytai–Šilutė–Klaipėda pateiktos 4.4 lentelėje.

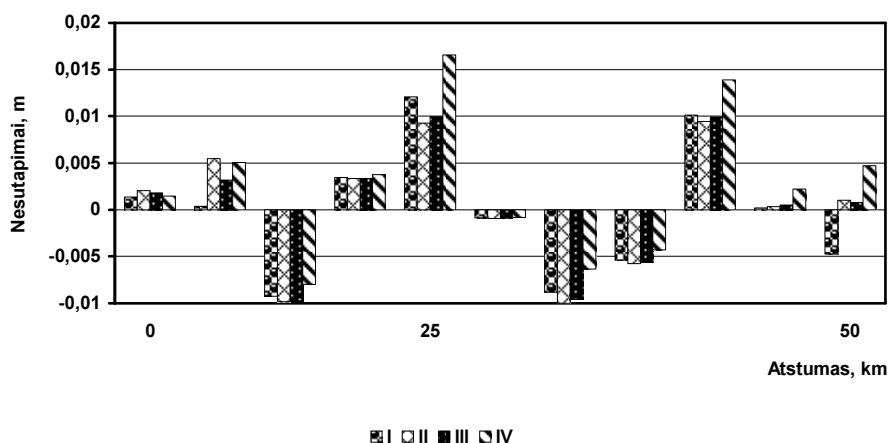
4.4 lentelė. Redukavimo pataisų niveliacijos linijoje palyginimas

Table 4.4. Comparison of reduction corrections in levelling line

Niveliacijos linija	Suma pataisų (m), skaičiuotų iš:		
Mikytai–Šilutė–Klaipėda	glotnintų išmatuotų greičių	glotnintų, pagal I georodiklių grupę prognozuotų greičių	glotnintų, pagal II georodiklių grupę prognozuotų greičių
	0,0296	0,0293	0,0287

Kaip matyti iš 4.4 lenelės, pataisų sumų niveliacijos linijoje skaitinės reikšmės tarpusavyje skiriasi iki 0,9 mm. Tai sudaro apie 3 % nuo visos pataisų reikšmės.

Tolesnių tyrimų metu atliekamas 1973/75 m. išmatuotų aukščių skirtumų skaitinių reikšmių redukavimas į 2003 metus. Apskaičiuoti skirtumai tarp redukuotų į 2003 m. bei 2003 m išmatuotų aukščių skirtumų grafiškai pavaizduoti 4.8 paveiksle.



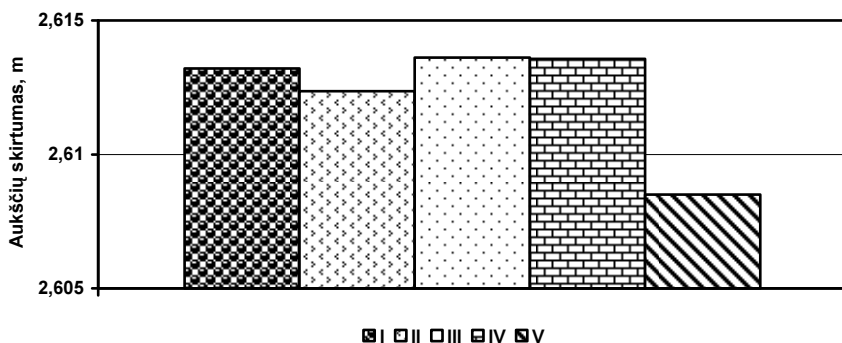
4.8 pav. Nesutapimai tarp 2003 m. išmatuotų bei redukuotų iš 1973/75 m. į 2003 m. aukščių skirtumų redukavimo pataisoms apskaičiuoti taikant: I – regresiniu modeliu suglontintas išmatuotų vertikalųjų judesių greičių reikšmės; II – regresiniu modeliu prognozuotas vertikalųjų judesių greičių reikšmės pagal pirmąją georodiklių grupę; III – regresiniu modeliu prognozuotas vertikalųjų judesių greičių reikšmės pagal antrąją georodiklių grupę; IV – 2003 ir 1973/75 m. išmatuotų aukščių skirtumų nesutapimai

Fig. 4.8. Coincidences of differences of altitudes between measured in 2003 and reduced from 1973/75 into 2003 to compute the corrections of reductions by applying the following: I – values of the velocities of the measured vertical movements, smoothed by means of regression model; II – values of the velocities of vertical movements forecasted by regression model in accordance with the 1st group of geoindexes; III – values of velocities of vertical movements forecasted by regression model in accordance with the second group of geoindexes; IV – coincidences of the differences of altitudes measured in 2003 and 1973/75

Visais nagrinėjtais redukavimo atvejais redukuotos aukščių skirtumų reikšmės priartėja prie išmatuotų reikšmių. Redukavimas eliminuoja nuo 70 iki 90 proc. vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos išmatuotiems aukščių skirtu-

mams. Kadangi redukavimo rezultatai, taikant georodiklių grupes, yra artimi rezultatams, gautiems taikant geodezinių matavimų rezultatus, galima atlikti matavimų rezultatų redukavimą ir tose linijose, kuriose nėra kartotinių geodezinių matavimų.

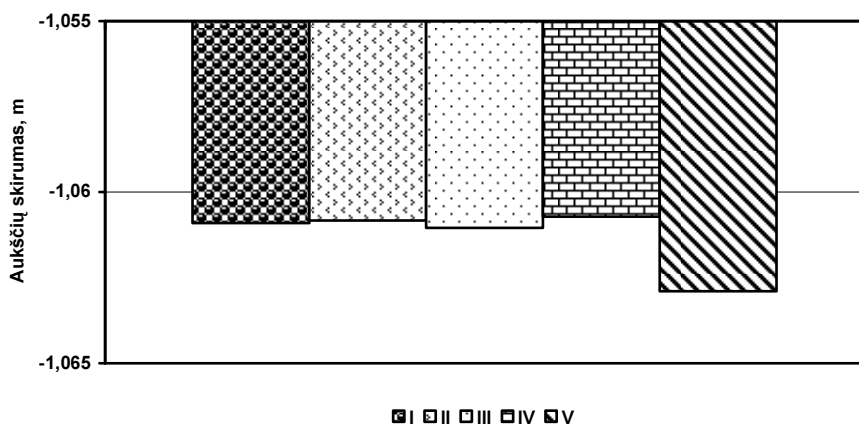
Siekiant išsamiau ištirti aukščių skirtumų redukavimo į pasirinktą laiko momentą rezultatus, tyrimams imami atskiri aukščių skirtumai tarp geodezinių ženklų, t. y. siekiama išsiaiškinti, kiek redukavimas šias reikšmes priartina prie 2003 m. išmatuotųjų aukščių skirtumų skaitinių reikšmių, atliekamas šių reikšmių palyginimas. Gauti rezultatai grafiškai pavaizduoti 4.9 ir 4.10 paveiksluose.



4.9 pav. Aukščių skirtumai tarp geodezinių ženklų: sien.rep. be Nr(Niv.P.) (Rukų mok.) 34V–0008 ir sien.rep. be Nr(Niv.P.) (gyv.namas) 24V–0004, redukuoti į 2003 m., redukavimo pataisoms apskaičiuoti taikant: I – regresiniu modeliu sugltonintas išmatuotų judesių greičių reikšmės;

II – regresiniu modeliu prognozuotas judesių greičių reikšmės pagal pirmąją georodiklių grupę; III – regresiniu modeliu prognozuotas judesių greičių reikšmės pagal antąją georodiklių grupę. Išmatuoti aukščių skirtumai: IV – 2003 m., V – 1973/75 m.

Fig. 4.9. Differences of altitudes between geodetic marks: wall benchmark without No (Rukų school) 34V–0008 and wall benchmark without No (residential dwelling) 24V–0004, reduction was made into 2003, by applying the following to compute the corrections of reductions: I – values of the velocities of the measured movements smoothed by regression model; II – values of the velocities of the movements forecasted by regression model in accordance with the 1st group of geoindexes; III – values of the velocities of the movements forecasted by regression model in accordance with the 2nd group of geoindexes. Measured differences of altitudes: IV – 2003, V – 1973/75



4.10 pav. Aukščių skirtumai tarp geodezinių ženklų: sienin.rep.be Nr(Niv.P.) (Traksėdžių k.)24V–0001 ir grunt.rep. 4010, redukuoti į 2003 m., redukavimo pataisoms apskaičiuoti taikant: I – regresiniu modeliu sugltonintas išmatuotų judesių greičių reikšmės; II – regresiniu modeliu prognozuotas judesių greičių reikšmės pagal pirmąją georodiklių grupę; III – regresiniu modeliu prognozuotas judesių greičių reikšmės pagal antąją georodiklių grupę. Išmatuoti aukščių skirtumai: IV – 2003 m., V – 1973/75 m.

Fig. 4.10. Differences of altitudes between geodetic marks: wall benchmarks No (Traksėdžių village) 24V–0001 and ground benchmark 4010, reduction made into 2003, by applying the following to compute reduction corrections: I – values of the velocities of the measured movements smoothed by the regression model; II – values of the velocities of the movements forecasted by regression model in accordance with the 1st group of geoindexes; III – values of the velocities of the movements forecasted by regression model in accordance with the 2nd group of geoindexes. Differences of the measured altitudes: IV – 2003, V – 1973/75

Kaip matyti iš 4.9, 4.10 paveikslų, naudojant skirtingais metodais nustatytas pataisas aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktą laiko momentą, gaunamos gana panašios redukuotų aukščių skirtumų skaitinės reikšmės.

Išmatuotų ir taikant skirtingus pataisų skaičiavimo būdus redukuotų aukščių skirtumų reikšmės niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda pateiktos 4.4 lentelėje, o jų skirtumai – 4.5 lentelėje. Šis palyginimas duoda apibendrintą išsamų vaizdą, nes matyti pataisų poveikis išmatuotiems aukščių skirtumams visoje niveliacijos linijoje.

4.4 lentelė. Išmatuotų ir redukuotų aukščių skirtumų palyginimas**Table 4.4.** Comparison of differences of measured and reduced altitudes

Aukščių skirtumų suma (m) niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda:				
redukuotų į 2003 m., naudojant pataisas, skaičiuotas iš judesių greičių:			išmatuotų	
glotintų išmatuotų	glotintų, prognozuotų pagal I georodiklių grupę	glotintų, prognozuotų pagal II georodiklių grupę	2003 m.	1973/75 m.
6,00337	6,00309	6,00252	6,00196	5,9738

Kaip matyti iš 4.4 lentelėje pateiktų tyrimo rezultatų, redukavus 1973/75 m. išmatuotus aukščių skirtumus tarp geodezinių punktų į pasirinktą laiko momentą (2003 m.), jų reikšmės priartėjo prie 2003m. išmatuotų aukščių skirtumų reikšmių. Redukuoti aukščių skirtumai nuo išmatuotų (4.5 lentelė) skiriasi iki 1,4 mm. Tai sudaro apie 5 proc. nuo išmatuotų aukščių skirtumų nesutapimų. Vadinasi, aukščių skirtumų redukavimas į pasirinktą laiko momentą eliminuoja apie 95 proc. vertikaliųjų judesių įtakos išmatuotiems aukščių skirtumams.

4.5 lentelė. Skirtumai tarp 2003 m. išmatuotų bei į 2003 m. redukuotų aukščių skirtumų niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda**Table 4.5.** Differences of altitudes between measured in 2003 and reduced into 2003 in the levelling line of Mikytai–Šilutė–Klaipėda

Skirtumai (mm) tarp 2003 m. išmatuotų bei:			
redukuotų į 2003 m. taikant pataisas, apskaičiuotas iš greičių:			išmatuotų 1973/75 m.
glotnintų išmatuotų	glotnintų, prognozuotų pagal georodiklių grupes		
	pirmąją	antrąją	
–1,4	–1,1	–0,6	28,2

Matyti, kad skirtumas tarp 2003 ir 1973/75 m. išmatuotų aukščių skirtumų dėl vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio siekia 28,2 mm, o redukavus 1973/73 m. išmatuotus aukščių skirtumus į 2003 metus (taikant įvairiais metodais gautas pataisas), jis sumažėja iki $\approx 0,6$ –1,4mm. Redukavus 1973/75 m. išmatuotus aukščių skirtumus į 2003 metus, tyrimų metu naudojant skirtingais būdais gautus judesių greičius, gaunami daugmaž panašūs rezultatai. Pataisoms skaičiuoti naudojant skirtingais metodais apskaičiuotus judesių greičius, aukščių skirtumus redukavus į 2003 metus, geriausi rezultatai gaunami pataisoms skaičiuoti naudojant glotintus prognozuotus pagal antrąją georodiklių grupę judesių greičius. Blogiausi rezultatai gaunami pataisoms skaičiuoti naudojant išmatuotus aproksimuotus greičius, bet jie nepalyginti geresni nei aukščių skirtumų visai

neredukuojant į pasirinktą laiko momentą ir ignoruojant vertikalųjų žemės plutos judesių įtaką matavimų rezultatams.

Galima daryti išvadą, kad šios pataisos skirtingais metais išmatuotų aukščių skirtumų reikšmės redukuojant į pasirinktą laiko momentą su tam tikra paklaida priartina prie pasirinktu laiko momentu esamų aukščių skirtumų reikšmių. Taip pat galima teigti, kad apdorojant matavimų rezultatus reikia atlikti skirtingais metais išmatuotų aukščių skirtumų redukavimą, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, nes tai leidžia išvengti geodinaminių procesų įtakos matavimų rezultatams. Galima teigti, kad šioms pataisoms skaičiuoti tinka tiek glotninti išmatuoti, tiek glotninti, prognozuoti pagal teritorijos geologinius rodiklius vertikalieji žemės plutos judesių greičiai.

4.2.2. Išmatuotų aukščių skirtumų redukavimas atsižvelgiant į kompleksinės koreliacinės analizės rezultatus

Tyrimai atlikti naudojant šio darbo 3.2 poskyryje gautus kompleksinės koreliacinės analizės ir rodiklių grupių informatyvumo įvertinimo rezultatus. Vertikalųjų judesių greičiams prognozuoti taikytos dvi aprašytos (3.2 poskyris) georodiklių grupės. Pataisoms skaičiuoti taikoma 2.4.2 poskyryje pateikta metodika.

Iš 3.2 poskyryje pateiktų tyrimo rezultatų (3.10, 3.11 lentelės) matyti, kad stipriausi kompleksinės koreliacijos ryšiai sieja dabartinius išmatuotus vertikaluosius Žemės plutos judesius 1973/75–2003 metų laikotarpiui ir šiuos skirtingų georodiklių grupių, georodikius:

- Pirmoji georodiklių grupė:
 - hercininio komplekso storį,
 - alpinio komplekso storį,
 - magnetinį lauką.
- Antroji georodiklių grupė:
 - kristalinio pamato reljefą,
 - nuosėdinės dangos storį.

Dabartiniai vertikalųjų žemės plutos judesių greičiai 1973/75–2003 m. laikotarpiui prognozuoti nepriklausomais kintamaisiais imant I ir II georodiklių grupių narius, taikant regresinius modelius, pateiktus 4.6 lentelėje. Šie pagal regresinius modelius prognozuoti, taip pat ir išmatuoti vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiai suglotninti, taikant 4.7 lentelėje pateiktus regresinius modelius.

4.6 lentelė. Regresiniai modeliai, taikyti vertikalųjų žemės plutos judesių prognozei, naudojant skirtingas georodiklių grupes

Table 4.6. Regression models applied for forecasting vertical movements of the Earth's crust by means of diverse groups of geoindexes

Regresinis modelis	$R^2, \%$	F	$Fq (q = 0,05)$
Pagal pirmąją georodiklių grupę			
$v = -4,459 + 0,005 \cdot x'_3 + 0,007 \cdot x'_5 - 0,089 \cdot x'_6$	78,17	9,55	4,07
Pagal antrąją georodiklių grupę			
$v = -5,615 - 0,011 \cdot x_1 - 0,009 \cdot x_3$	64,66	8,23	4,26

4.7 lentelė. Regresiniai modeliai, naudoti vertikalųjų žemės plutos judesių glotninimui

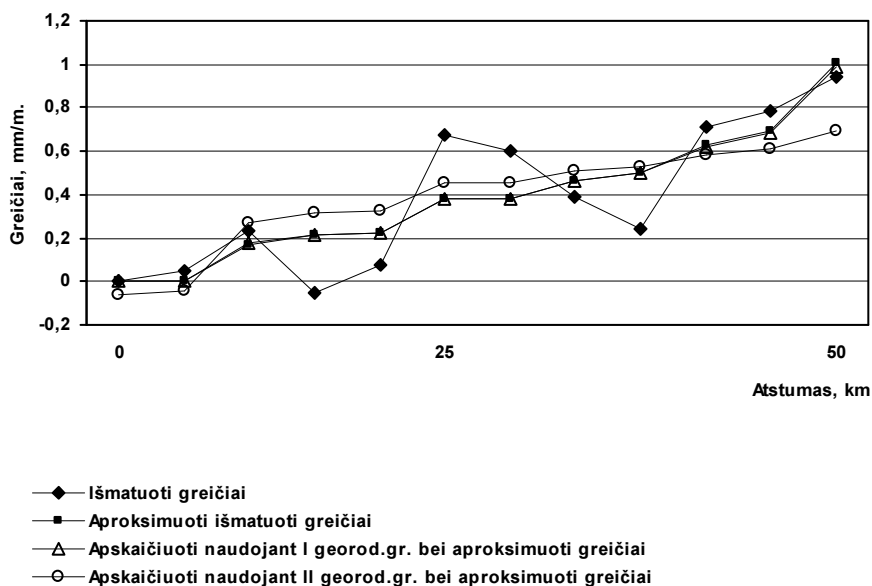
Table 4.7. Regression models, used for smoothing vertical movements of the Earth's crust

Regresinis modelis	$R^2, \%$	F	$Fq (q = 0,01)$
Išmatuotiems vertikalųjų judesių greičiams 1973/75–2003 . laikotarpiui			
$v = -0,004 + 0,006 \cdot S + 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot S^2$	75,15	13,61	8,02
Prognozuotiems vertikalųjų judesių greičiams, naudojant pirmąją georodiklių grupę			
$v = 0,002 + 0,007 \cdot S + 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot S^2$	92,04	52,01	8,02
Prognozuotiems vertikalųjų judesių greičiams, naudojant antrąją georodiklių grupę			
$v = -0,058 + 0,025 \cdot S - 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot S^2$	75,86	14,14	8,02

Kaip matyti iš 4.6 lentelėje pateiktų rezultatų, vertikalųjų žemės plutos judesių prognozei taikomas regresinis modelis, kuriame naudojami pirmosios georodiklių grupės nariai, susieti stipriausiomis kompleksinės koreliacijos sąsajomis, aprašo 78,17 % išmatuotų dydžių reikšmių, o antrasis regresinis modelis, kuriame naudojami antrosios georodiklių grupės nariai, susieti stipriausiomis kompleksinės koreliacijos sąsajomis, aprašo 64,66 % išmatuotų dydžių reikšmių. Abu modeliai adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,95$. Galima teigti, kad vertikalųjų žemės plutos judesių greičių prognozei tinkamesnis yra regresinis modelis, kuriame nepriklausomi kintamieji yra iš pirmosios georodiklių grupės.

4.7 lentelėje regresiniai modeliai, naudojami vertikalųjų žemės plutos judesių greičių reikšmėms glotninti aprašo atitinkamai 75,15, 92,04, 75,86 proc. išmatuotų dydžių reikšmių, visi modeliai adekvatūs matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,99$.

Apskaičiuotos aproksimuotos iš tikslųjų niveliacijų rezultatų gautų greičių skaitinės reikšmės. Skaitinės judesių greičių reikšmės, apskaičiuotos, taikant regresinius modelius, naudojant I ir II georodiklių grupes, grafiškai pavaizduotos 4.11 paveiksle.

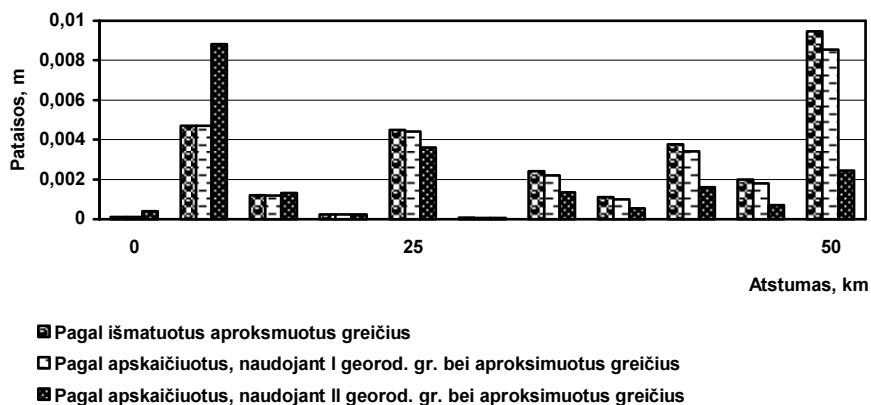


4.11 pav. Vertikalieji žemės plutos judesių greičiai niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda

Fig. 4.11. Velocities of the vertical movements of the Earth's crust in the levelling line of Mikytai–Šilutė–Klaipėda

Kaip matyti iš 4.11 paveikslėlio, išmatuotų aproksimuotų vertikalųjų žemės plutos judesių greičių skaitinės reikšmės praktiškai sutampa su judesių greičių skaitinėmis reikšmėmis, gautomis taikant regresinį modelį, nepriklausomais kintamaisiais imant kompleksinės koreliacinės analizės metu neeliminuosius georodiklius iš I georodiklių grupės. Tokiu pat būdu eliminavus dalį georodiklių iš II georodiklių grupės, prognozuotos vertikalųjų žemės plutos judesių skaitinės reikšmės šiek tiek skiriasi nuo prognozuotų judesių greičių reikšmių, gautų taikant I georodiklių grupės narius.

Pataisos dėl vertikalųjų Žemės plutos judesių 1973/75 m. išmatuotiems aukščių skirtumams redukuoti į 2003 m. grafiškai pateiktos 4.12 paveiksle.



4.12 pav. Pataisų dėl geodinaminės įtakos skaitinės reikšmės, apskaičiuotos taikant skirtingas metodikas

Fig. 4.12. Numerical values of corrections due to geodynamic influence computed by applying diverse methods

Kaip matyti iš 4.12 paveikslo, geriausiai pataisų reikšmės, gautas skaičiuoti naudojant glotnintus išmatuotus judesių greičius, atitinka pataisų reikšmės, gautas jiems skaičiuoti naudojant prognozuotus pagal I georodiklių grupę judesių greičius.

Pataisų aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktą laiko momentą sumos (m) niveliacijos linijai Mikytai–Šilutė–Klaipėda pateiktos 4.8 lentelėje.

4.8 lentelė. Redukavimo pataisų niveliacijos linijoje lyginimas

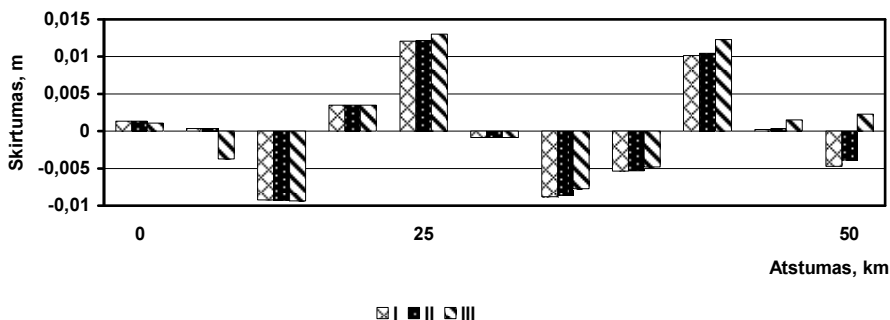
Table 4.8. Comparisson of reduction corrections in levelling line

Niveliacijos linija	Suma pataisų (m), skaičiuotų iš:		
	glotnintų išmatuotų greičių	glotnintų, pagal I georodiklių grupės neeliminuos narius prognozuotų greičių	glotnintų, pagal II georodiklių grupės neeliminuos narius prognozuotų greičių
Mikytai–Šilutė–Klaipėda	0,0296	0,0277	0,0211

Pataisų sumų niveliacijos linijoje skaitinės reikšmės skiriasi iki 0,9 mm. Tai sudaro apie 3 proc. nuo visos pataisų reikšmės. Mažiausia pataisų sumos reikšmė gaunama pataisų išmatuotiems aukščių skirtumams skaičiuoti naudojant II

georodiklių grupės narius. Didžiausia pataisų sumos reikšmė gaunama pataisoms skaičiuoti naudojant išmatuotas vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių reikšmes.

Redukavus 1973/75 m. išmatuotų aukščių skirtumų skaitines reikšmes į 2003 metus, apskaičiuoti nesutapimai tarp redukuotų į 2003 m. bei 2003 m. išmatuotų aukščių skirtumų grafiškai pavaizduoti 4.13 paveiksle.



4.13 pav. Nesutapimai tarp 2003 m. išmatuotų bei redukuotų iš 1973/75 m. į 2003 m. aukščių skirtumų redukavimo pataisoms apskaičiuoti taikant: I – regresiniu modeliu sugltonintas išmatuotų vertikaliųjų judesių greičių reikšmės; II – regresiniu modeliu prognozuotas vertikaliųjų judesių greičių reikšmės pagal pirmąją georodiklių grupę; III – regresiniu modeliu prognozuotas vertikaliųjų judesių greičių reikšmės pagal antrąją georodiklių grupę

Fig. 4.13. Coincidences of differences of altitudes between measured in 2003 and reduced from 1973/75 into 2003 to compute reduction corrections by applying the following: I – values of velocities of the measured vertical movements smoothed by regression model; II – values of the velocities of vertical movements of the Earth's crust forecasted by regression model in accordance with the 1st group of indexes; III – values of the velocities of the vertical movements forecasted by regression model in accordance with the 2nd group of geoindexes

Kaip matyti iš 4.13 paveiksle pateiktų tyrimo rezultatų, matyti, kad skirtumai tarp redukuotų į 2003 m. aukščių skirtumų, redukuoti naudojant pataisas, apskaičiuotas pradiniais duomenimis imant skirtingomis metodikomis gautas vertikaliųjų žemės plutos judesių skaitines reikšmes, kiekvienam aukščių skirtumui tarpusavyje šiek tiek skiriasi. Labiausiai nuo I ir II žymėjimu pažymėtų skirtumų nutolę III žymėjimu pažymėtas skirtumas. Šiuo atveju matavimams redukuoti į pasirinktus metus labiau tinka pataisos, kurioms skaičiuoti naudojama regresine lygtimi išmatuotos glotintos dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių reikšmės bei I georodiklių grupėje kompleksinės koreliacinės analizės metodu neišeliminuoti georo-

dikliai. II georodiklių grupės neišeliminuoti nariai matavimų rezultatams redukuoti į pasirinktą laiko momentą tinka mažiau.

Tolesniems tyrimams imama visoje niveliacijos linijoje išmatuotų aukščių skirtumų suma. Tyrimuose naudojant aukščių skirtumų sumą, matyti bendros tendencijos, neklaidina pavienių redukuotų į pasirinktą laiko momentą aukščių skirtumų nukrypimai nuo išmatuotų tuo laiko momentu aukščių skirtumų reikšmių; matyti pataisų poveikis išmatuotiems aukščių skirtumams visoje niveliacijos linijoje. Tyrimų rezultatai pateikti 4.9 lentelėje.

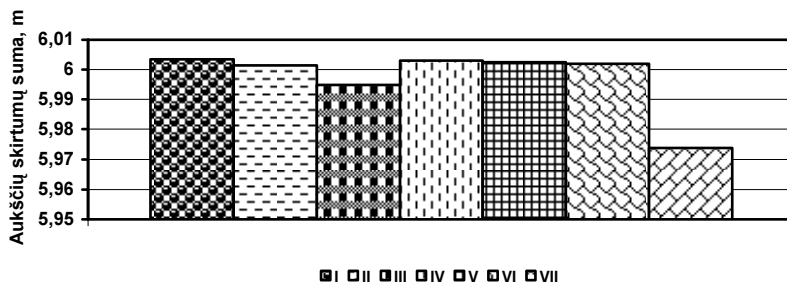
4.9 lentelė. Išmatuotų bei redukuotų aukščių skirtumų palyginimas

Table. 4.9. Comparison of differences of measured and reduced altitudes

Aukščių skirtumų suma (m) niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda:				
redukuotų į 2003 m., naudojant pataisus, skaičiuotas iš judesių greičių:			išmatuotų	
glotnintų išmatuotų	glotnintų, prognozuotų pagal I georodiklių grupės neeliminuos narius	glotnintų, prognozuotų pagal II georodiklių grupės neeliminuos narius	2003 m.	1973/75 m.
6,0034	6,0015	5,9949	6,0020	5,9738

Iš 4.9 lentelėje pateiktų tyrimo rezultatų matyti, jog redukavus niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda 1973/75 m. išmatuotus aukščių skirtumus į pasirinktą laiko momentą (2003 m.), jų reikšmės priartėjo prie 2003 m. išmatuotų aukščių skirtumų reikšmių. Redukuotų, taikant II georodiklių grupę, aukščių skirtumai nuo išmatuotų skiriasi apie 7 mm. Tai sudaro apie 25 proc. išmatuotų aukščių skirtumų nesutapimų. Taikant I georodiklių grupę redukuotų aukščių skirtumai nuo išmatuotų skiriasi apie 0,5 mm. Tai sudaro apie 2 proc. išmatuotų aukščių skirtumų nesutapimų. Pirmuoju atveju aukščių skirtumų redukavimas į pasirinktą laiko momentą eliminuoja apie 75, antruoju atveju – apie 92 proc. vertikalųjų judesių įtakos išmatuotiems aukščių skirtumams.

Siekiant ištirti, kuris metodas pataisoms skaičiuoti tinkamiausias, atliktas 1973/75, 2003 m. išmatuotų bei redukuotų į 2003 m. aukščių skirtumų sumų niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda palyginimas. Grafiškai tai atvaizduota 4.14 paveiksle.



4.14 pav. Redukuoti aukščių skirtumai taikant prognozės modelius, sudarytus pagal: I – glotintas išmatuotas vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių reikšmes; II – kompleksinės koreliacinės analizės būdu atrinktus prognozuotus pirmosios grupės georodiklius; III – kompleksinės koreliacinės analizės būdu atrinktus prognozuotus antrosios grupės georodiklius; IV – visus pirmosios grupės georodiklius; V – visus antrosios grupės georodiklius. Išmatuoti aukščių skirtumai: VI – 2003 m., VII – 1973/75 m.

Fig. 4.14. Differences of reduced altitudes by applying models of forecasting, compiled in accordance with the following: I – values of the velocities smoothed measured vertical movements of the Earth's crust; II – forecasted geoindexes of the 1st group selected by complex correlation analysis method; III – forecasted 2nd group geoindexes selected by the complex correlation analysis method; IV – all geoindexes of the 1st group; V – all the 2nd group geoindexes. Differences of measured altitudes are: VI – in 2003, VII – in 1973/75

Iš 4.14 paveikslo matyti, kad niveliacijos linijoje 2003 m. išmatuotų aukščių skirtumų suma nuo redukuotų į 2003 m. aukščių skirtumų sumų skiriasi nedaug. Išskirti galima nebent redukuotų į 2003 m. aukščių skirtumų sumą, kuriai, pataisas skaičiuojant pradiniais duomenimis buvo naudoti II georodiklių grupės kompleksinės koreliacinės analizės metu neišeliminuoti nariai, tačiau ir šis rezultatas kur kas geresnis, nei visai visai neredukuojant aukščių skirtumo gautas rezultatas. 1973/75 m. išmatuotų aukščių skirtumų suma nuo 2003 m. išmatuotų aukščių skirtumų sumos skiriasi daugiau, nei 2003 m. išmatuotų aukščių skirtumų suma nuo redukuotų į šiuos metus aukščių skirtumų sumos. Todėl galima teigti, jog, jungiant skirtingais metais niveliacijos linijose išmatuotus aukščių skirtumus, tikslinga atlikti aukščių skirtumų redukavimą į pasirinktą laiko momentą, taip siekiant išvengti geodinaminių procesų įtakos į matavimų rezultatus.

Siekiant nustatyti, kokią pataisoms dėl geodinaminių procesų skaičiuoti metodiką geriau taikyti, atlikta skirtumų tarp 2003 m. išmatuotų ir redukuotų į šiuos metus aukščių skirtumų sumų niveliacijos linijoje analizė, kurios rezultatai pateikti 4.10 lentelėje.

4.10 lentelė. Skirtumai tarp 2003 m. išmatuotų bei į 2003 m. redukuotų aukščių skirtumų niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda

Table 4.10. Differences of altitudes between measured in 2003 and reduced into 2003 in the levelling line of Mikytai–Šilutė–Klaipėda

Skirtumai (mm) tarp 2003 m. išmatuotų bei:					
redukuotų į 2003 m. taikant pataisas, apskaičiuotas iš judesių greičių:					išmatuotų 1973/75 m.
glotnintų išmatuotų	glotnintų, prognozuotų pagal georodiklių grupių narius:				
	I grupės nee- liminuotus narius	visus I gru- pės narius	II grupės neeliminuo- tus narius	visus II grupės na- rius	
–1,4	0,4	–1,1	7,1	–0,6	28,2

Iš 4.10 lentelėje pateiktų tyrimo rezultatų matyti, kad, redukuojant matavimų rezultatus į pasirinktą laiko momentą, išvengiama geodinaminių procesų įtakos. Pajūryje vertikalieji žemės plutos judesiai yra palyginti neintensyvaus pobūdžio, tačiau per 28–30 metų niveliacijos linijoje tarp aukščių skirtumų sumų atsiranda 28,2 mm skirtumas, kuris teritorijose, kurioms būdingi didesnio intensyvumo Žemės plutos judesiai, būtų kur kas didesnis.

Palyginus išmatuotų 2003 m. aukščių skirtumų sumą su 1973/75 m. išmatuotų aukščių skirtumų, redukuotų į 2003 m. (naudojant skirtingais metodais apskaičiuotas pataisas) sumomis, matyti, kad geriausias rezultatas gautas pataisas skaičiuojant pagal metodiką, kai pradiniais duomenimis imami I georodiklių grupės, kompleksinės koreliacijos metu, neišeliminuoti nariai. Šiuo atveju tyrimams atlikti imti georodikliai, atspindintys nuosėdinės žemės dangos struktūrinius kompleksus, kai kuriuos iš jų, kaip nesudarančių pakankamai tvirtų kompleksinės koreliacijos ryšių su vertikaliais žemės plutos judesiais, eliminavus iš tolesnių tyrimų.

Galima daryti išvadas, kad, atsižvelgiant į 3.2, 3.3., 4.2.1, 4.2.2 poskyriuose pateiktus tyrimų rezultatus, pataisoms dėl geodinaminių procesų skaičiuoti tiksliausia pradiniais duomenimis imti kiek galima daugiau georodiklių, siekiant jog jie atspindėtų visą stratigrafinį teritorijos vaizdą, į georodiklių grupę įtraukiant kristalinį pamatą, nuosėdinės dangos struktūrinius kompleksus, magnetinį bei gravitacinį laukus. Kadangi, priklausomai nuo teritorijos geologinės sandaros, išmatuotus vertikaliosios žemės plutos judesius su teritorijos georodikliais sieja nevienodi statistiniai ryšiai, reikia atlikti matematinę statistinę analizę, siekiant nustatyti, kurie rodikliai į tiriamą procesą įneša nepageidautino pobūdžio informacijos. Šio proceso metu būtų nustatomi georodikliai, kurie geriausiai tinka tyrimams atlikti. Rodiklius imant pasirinktinai ir nesistemiškai, rizikuojama į tyrimo procesą neįtraukti rodiklių, kurie su tiriamu procesu susiję glaudžiomis

sąsajomis, vietoje jų naudojant ne taip gerai tiriamą procesą atspindinčius georodiklius.

Siekiant palyginti skirtingais metodais gautų greičių tinkamumą pataisoms dėl vertikalųjų žemės plutos judesių skaičiuoti, kurias iš jų geriau taikyti matavimų rezultatams redukuoti į tam tikrą pasirinktą laiko momentą, reikėtų atlikti daugiau tyrimų, jiems naudojant ir kitas tiksliosios niveliacijos linijas.

4.3. TYRIMAI NIVELIACIJOS POLIGONE JONAVA–ZARASAI–TURMANTAS–VILNIUS–JONAVA

Tyrimui pasirinktas poligonas Jonava–Zarasai–Turmantas–Vilnius–Jonava, kurį sudaro niveliacijos linijos Jonava–Zarasai–Turmantas, Vilnius–Jonava bei Turmantas–Vilnius. Kaip matyti iš 1.6, 3.1, 3.2 paveikslų, šioje šalies dalyje nustatyti gana nemaži vertikalieji žemės plutos judesių greičiai bei jų horizontalieji gradientai.

Kadangi šio poligono niveliacijos linijose yra daug kartotinai užniveliuotų reperų, taip pat siekiant išvengti smarkiai generalizuotų duomenų naudojimo, pataisoms skaičiuoti imami duomenys, gauti atliekant tikslųjų niveliacijų matavimus, o ne duomenys, gauti interpoliavimo būdu iš vertikalųjų žemės plutos judesių žemėlapiu ar taikant georodiklius.

Tyrimams pasirinktų niveliacijos linijų Jonava–Zarasai–Turmantas, Vilnius–Jonava, Turmantas–Vilnius charakteristikos pateiktos 4.11 lentelėje.

4.11 lentelė. Niveliacijų linijų charakteristikos

Table 4.11. Characteristics of levelling lines

Niveliacijos linijos	Metai	Niveliaciją atliko	Matavimų tikslumas, mm/km
Turmantas–Vilnius	1985–1987	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė	0,69
	2005–2006	VGTU Geodezijos institutas	0,34
Jonava–Turmantas	1980	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė	0,62
	2005	VGTU Geodezijos institutas	0,38
Vilnius–Jonava	1970–1971	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 7-oji įmonė	0,53
	1998	VGTU Geodezijos institutas	0,36

Tyrimams naudoti paskutinio išmatuoto laikotarpio vertikalųjų žemės plutos judesių greičiai, apskaičiuoti niveliacijos linijose šiems laikotarpiams:

- Vilnius – Jonava 1970/71–1998 m.;
- Jonava – Zarasai – Turmantas 1980–2005 m.;
- Turmantas – Vilnius 1985/87–2005/06 m.

Kaip matyti iš 4.1 poskyryje pateiktų tyrimo rezultatų, bent kas 15–20 metų reikia atlikti kartotinius tikslųjų niveliacijų matavimus. Dėl geodinaminių procesų įtakos niveliacijos tinklams paklaidos po tam tikro laikotarpio viršija leistinas ribas. Dėl kintančių vertikalųjų žemės plutos judesių greičio bei krypties siekiant gauti tikslumo reikalavimus, atitinkančius niveliacijų duomenis, bei nustatyti kiek įmanoma tikslesnes pataisas redukuojant niveliacijų duomenis, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, pataisoms skaičiuoti reikia taikyti laikotarpį tarp dviejų paskutinių niveliacijų. Taip skaičiuojant pataisas būtų išvengta inversijos įtakos.

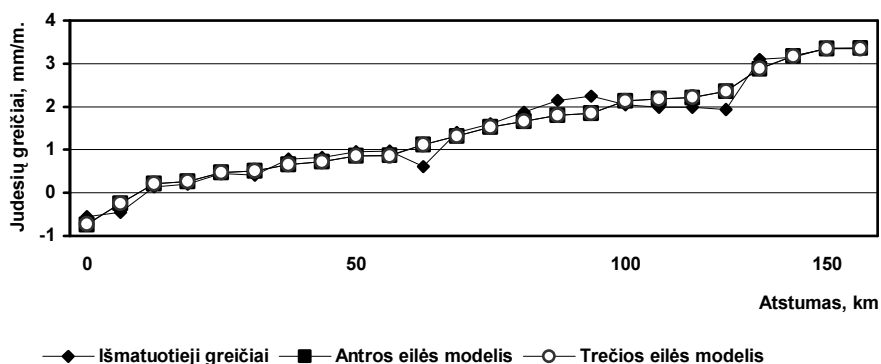
Pagal matavimais gautus rezultatus tiriamose niveliacijų linijose apskaičiuoti vertikalųjų žemės plutos judesių greičiai bei jų daugianariais regresiniais modeliais aproksimuotos reikšmės (4.12 lentelė).

4.12 lentelė. Vertikalųjų žemės plutos judesių greičių daugianariai regresiniai modeliai
Table 4.12. Multi-component regression models of the velocities of the vertical movements of the Earth's crust

Regresinis modelis	R^2 , %	F	F_q , ($q = 0,01$)
Jonava – Zarasai – Turmantas			
$v = -0,735 + 0,032 \cdot S - 0,4 \cdot 10^{-4} \cdot S^2$	96,44	284,42	5,82
$v = -0,729 + 0,032 \cdot S - 0,3 \cdot 10^{-4} \cdot S^2 - 0,3 \cdot 10^{-7} \cdot S^3$	96,44	180,61	4,93
Turmantas–Vilnius			
$v = 3,987 - 0,061 \cdot S + 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot S^2$	95,81	274,71	5,61
$v = 3,471 - 0,022 \cdot S - 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 + 0,3 \cdot 10^{-5} \cdot S^3$	96,82	233,75	4,64
Vilnius–Jonava			
$v = 0,015 - 0,005 \cdot S - 0,2 \cdot 10^{-5} \cdot S^2$	81,03	23,49	7,24
$v = -0,038 + 0,002 \cdot S - 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 + 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot S^3$	83,96	17,45	6,55

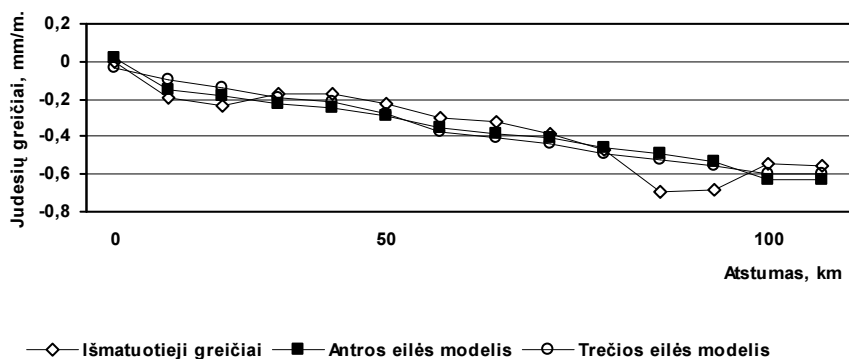
Iš 4.12 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad tyrime naudojamose niveliacijos linijose išmatuotus vertikaliuosius žemės plutos judesių greičius gan adekvačiai ($p \geq 0,99$) atspindi antrosios bei trečiosios eilės daugianariai modeliai. Visose linijose $F > F_q$, vadinasi, su tikimybe $p = 1 - q \geq 0,99$ galima teigti, kad šiais regresiniais modeliais aproksimuotos reikšmės yra adekvačios vertikalųjų žemės paviršiaus judesių reikšmėms.

Ekspirimente naudojamose niveliacijos linijose išmatuotosios vertikalųjų žemės plutos judesių reikšmės bei jų aproksimuotos reikšmės grafiškai atvaizduotos 4.15–4.17 paveiksluose.



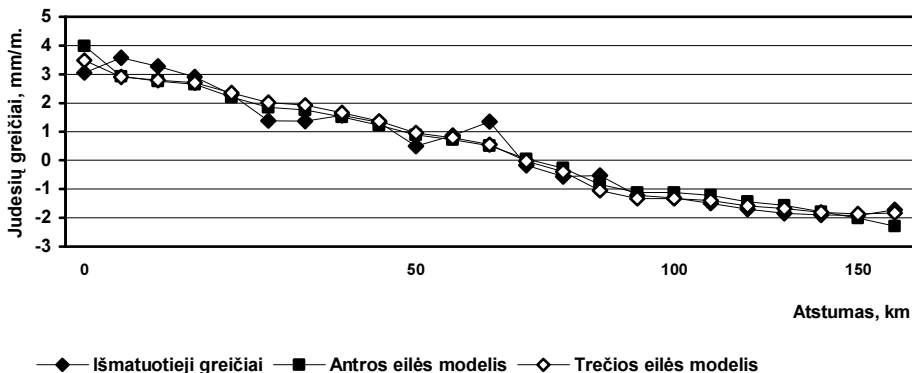
4.15 pav. Išmatuoti bei daugianariais regresiniais modeliais aprašyti vertikalieji žemės plutos judesiai niveliacijos linijoje Jonava–Zarasai–Turmantas (1980–2005 m.)

Fig. 4.15. Vertical movements of the Earth's crust measured and described by multi-component regression models in the levelling line of Jonava–Zarasai–Turmantas (1980–2005)



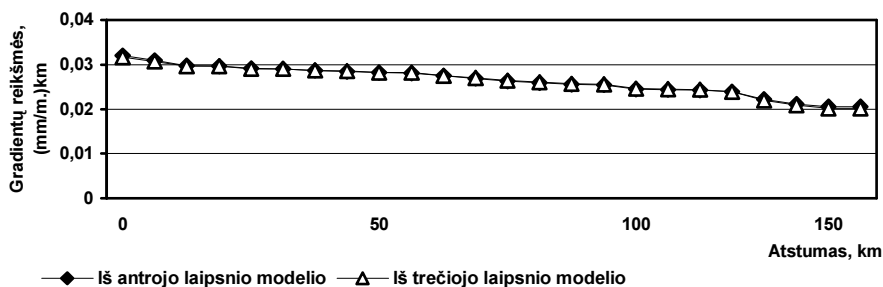
4.16 pav. Išmatuoti bei daugianariais regresiniais modeliais aprašyti vertikalieji žemės plutos judesiai niveliacijos linijoje Vilnius–Jonava (1970/71–1998 m.)

Fig. 4.16. Vertical movements of the Earth's crust measured and described by multi-component regression models in the levelling line of Vilnius–Jonava (1970/71–1998 m.)

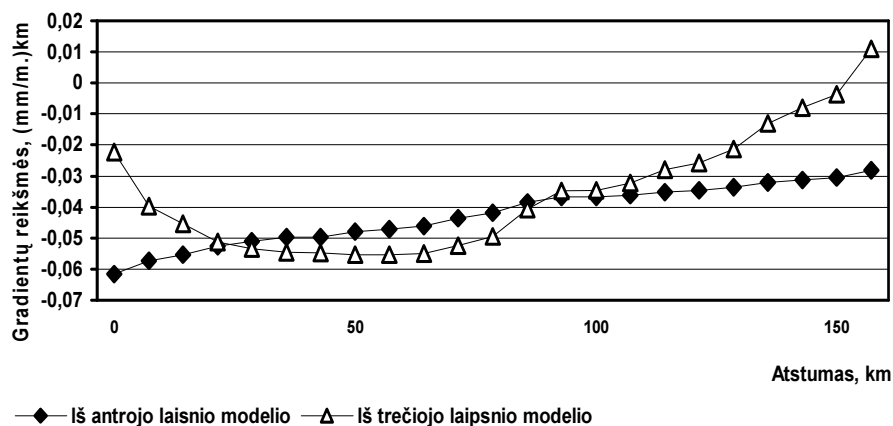


4.17 pav. Išmatuoti bei daugianariais regresiniais aprašyti vertikalieji žemės plutos judesiai niveliacijos linijoje Turmantas–Vilnius (1985/87–2005/06 m.)
Fig. 4.17. Vertical movements of the Earth's crust measured and described by multi-component regression models in the levelling line of Turmantas–Vilnius (1985/87–2005/06 m.)

Vertikaliuosius žemės plutos judesių greičius aproksimavę daugianariais regresiniais modeliais pagal 2.3 poskyryje pateiktą metodiką, randame vertikalųjų Žemės plutos judesių greičių horizontaliųjų gradientų skaitines reikšmes (2.38 formulė). Šios reikšmės grafiškai pavaizduotos 4.18–4.20 paveiksluose.

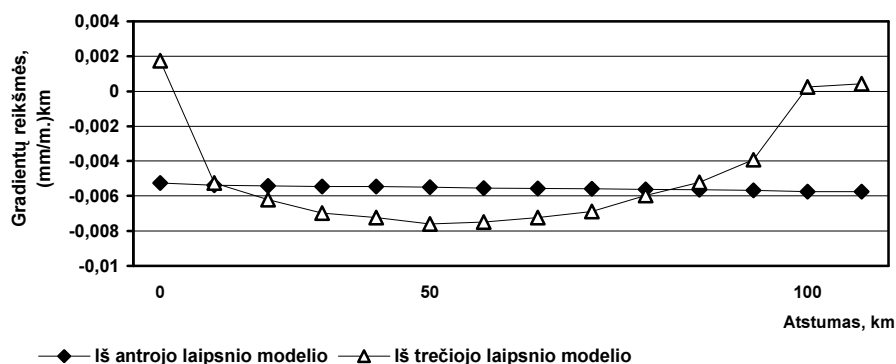


4.18 pav. Vertikaliųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų reikšmės niveliacijos linijoje Jonava–Zarasai–Turmantas
Fig. 4.18. Values of the horizontal gradients of the vertical movements of the Earth's crust in the levelling line of Jonava–Zarasai–Turmantas



4.19 pav. Vertikaliųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų reikšmės niveliacijos linijoje Turmantas–Vilnius

Fig. 4.19. Values of the horizontal gradients of the vertical movements of the Earth's crust in the levelling line of Turmantas–Vilnius



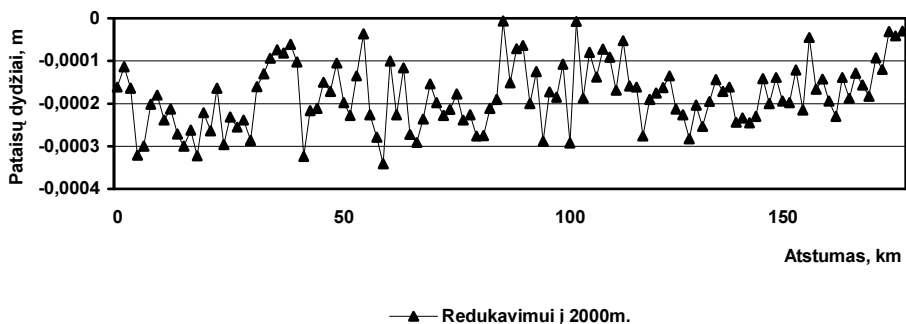
4.20 pav. Vertikaliųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų reikšmės niveliacijos linijoje Vilnius–Jonava

Fig. 4.20. Values of the horizontal gradients of the vertical movements of the Earth's crust in the levelling line of Vilnius–Jonava

Suradus vertikaliųjų žemės plutos greičių horizontaliųjų gradientų reikšmes pagal 2.4.2 poskyryje pateiktą metodiką galima rasti pataisus minėtose niveliaci-

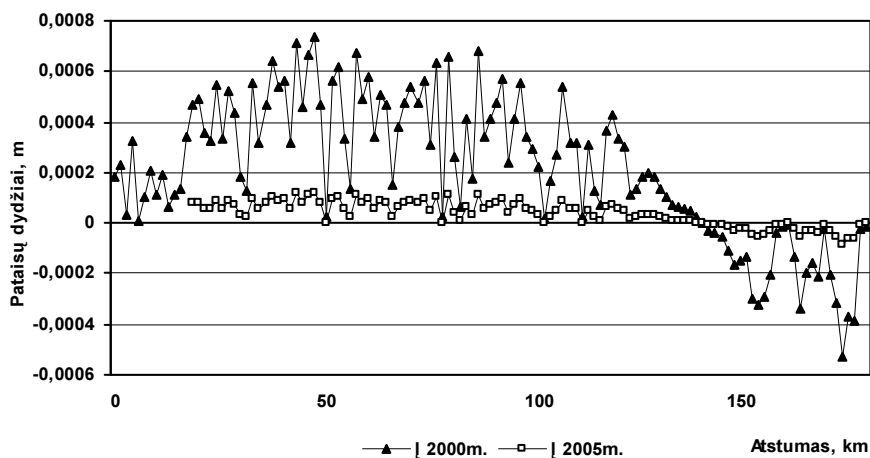
jų linijose išmatuotiems aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktą laiko momentą. Eksperimente naudojamas poligonas Jonava–Zarasai–Turmantas–Vilnius–Jonava sudarytas iš niveliacijų linijų, kuriose paskutiniai matavimai atlikti 1998, 2005, 2006 metais (Jonava–Zarasai–Turmantas: 2005 m.; Turmantas–Vilnius: 2005, 2006 m.; Vilnius–Jonava: 1998 m.). Didžioji poligono niveliacijos linijų dalis išmatuota 2005 m., atliekant eksperimentą paskutinių matavimų metu išmatuotiems aukščių skirtumams poligone buvo redukuoti į 2005 metus. Šiuo atveju nemažos dalies išmatuotųjų aukščių skirtumų redukuoti į pasirinktą laiko momentą nereikia, todėl eksperimento metu buvo pasirinktas kitas laiko momentas, darant prielaidą, kad tam tikrais atvejais poligoną gali sudaryti niveliacijos linijos, kuriose tarp paskutiniu metu atliktų matavimų yra didesnis laiko tarpas nei šiuo momentu. Šiuo atveju pataisos būtų skaičiuojamos ir naudojamos didesniais matavimais gautų rezultatų kiekiui. Aukščių skirtumų redukavimui atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą buvo pasirinkti 2000 metai.

Apskaičiuotos pataisos dėl vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos poligoną Jonava–Zarasai–Turmantas–Vilnius–Jonava sudarančioms tiksliosios niveliacijos linijoms Jonava–Zarasai–Turmantas, Turmantas–Vilnius bei Vilnius–Jonava grafiškai pavaizduotos 4.21–4.23 paveiksluose. Kadangi niveliacijos linijoje Jonava–Zarasai–Turmantas paskutinį kartą matavimai atlikti 2005 m., kaip ir dalyje niveliacijos linijos Turmantas–Vilnius, todėl tais metais išmatuotiems aukščių skirtumams skaičiuojamos pataisos tik redukavimui į 2000 metus, o į 2005 m. tais pačiais metais išmatuotų aukščių skirtumų redukuoti nereikia.



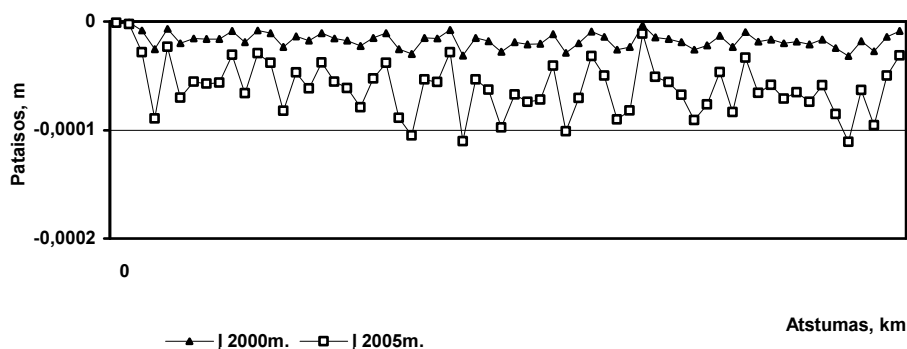
4.21 pav. Pataisos niveliacijos linijoje Jonava–Zarasai–Turmantas išmatuotų aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktą laiko momentą (2000 m.)

Fig. 4.21. Corrections in the levelling line of Jonava–Zarasai–Turmantas to reduce the differences of measured altitudes into the selected time moment (2000)



4.22 pav. Pataisos niveliacijos linijoje Turmantas–Vilnius išmatuotų aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktus laiko momentus (2000, 2005 m.)

Fig. 4.22. Corrections in the levelling line of Turmantas–Vilnius to reduce the differences of measured altitudes into the selected time moment (2000, 2005)



4.23 pav. Pataisos niveliacijos linijoje Vilnius–Jonava išmatuotų aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktus laiko momentus (2000, 2005 m.)

Fig. 4.23. Corrections in the levelling line of Vilnius–Jonava to reduce the differences of measured altitudes into the selected time moment (2000, 2005)

Iš pateiktų 4.21–4.23 paveikslų matyti, kad pataisos aukščių skirtumui redukuoti į pasirinktą laiko momentą dydis priklauso nuo laikotarpio, kuris skiria pasirinktą laiko momentą, į kurį redukuosime išmatuotus aukščių skir-

tumus, nuo metų, kuriais buvo atlikti niveliacijos matavimai. Taip pat šios pataisos dydis priklauso nuo Žemės deformacijų greičių, jų pokyčių, kuriuos geriausiai charakterizuoja Žemės plutos vertikaliųjų judesių horizontalieji gradientai. Kaip matyti iš 4.21–4.23 paveikslų, tose teritorijose, kuriose didelės vertikaliųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų skaitinės reikšmės, gaunamos nemažos pataisos į aukščių skirtumus dėl vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakos.

Tolesnių tyrimų metu randami geodezinių punktų normaliniai aukščiai, skaičiuoti naudojant išmatuotus neredukuotus, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą aukščių skirtumus ir redukuotus į 2000, 2005 metus aukščių skirtumus. Pradiniu imamas 217 geodezinis punktas, kurio normalinis aukštis $H_{217} = 68,697\text{m}$ (*Lietuvos valstybinio...* 2006), randami normaliniai poligono punktų aukščiai. Leistinasis nesąryšis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$f_{h_{leist}} = \pm 1,5\text{mm}\sqrt{L}. \quad (2.63)$$

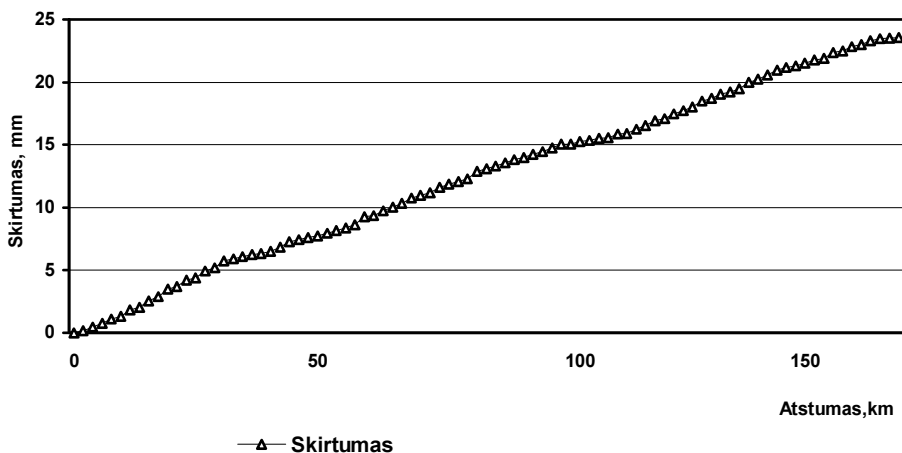
Poligono Jonava–Turmantas–Vilnius perimetras – 451,05km, vadinasi, leistinas nesąryšis bus $\pm 31,86\text{mm}$. Poligone gauti nesąryšiai, neredukavus įvairiais metais išmatuotų aukščių skirtumų į pasirinktą laiko momentą bei juos redukavus į 2000, 2005 metus, pateikti 4.13 lentelėje.

4.13 lentelė. Poligone Jonava–Turmantas–Vilnius–Jonava gautieji nesąryšiai

Table 4.13. Obtained disconnections in the polygon of Jonava–Turmantas–Vilnius–Jonava

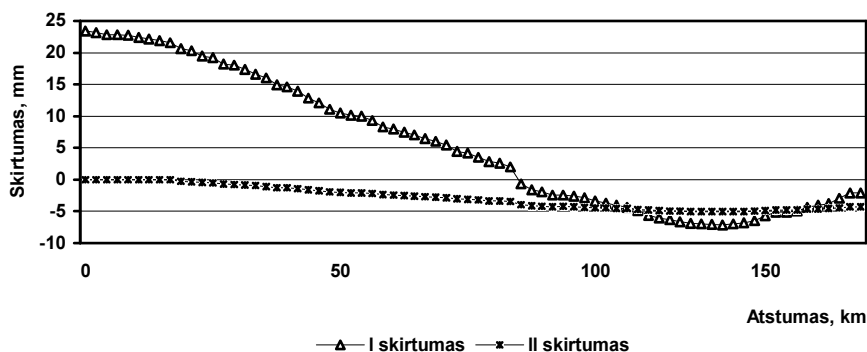
Aukščių skirtumai	Neredukuoti	Redukuoti į	
		2000 m.	2005 m.
Nesąryšiai, mm	+4,39	+5,76	+2,19

Norint ištirti išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo į pasirinktą laiko momentą įtaką geodezinių ženklų aukščiams, poligonas išlyginamas ir apskaičiuojamii geodezinių ženklų aukščiai naudojant išmatuotus bei redukuotus aukščių skirtumus. Grafiškai skirtumai tarp redukuotų į pasirinktą laiko momentą bei išmatuotų normalinių aukščių pavaizduoti 4.24–4.26 paveiksluose. Paveikslai sudaryti atskiroms poligoną sudarančioms niveliacijos linijoms.



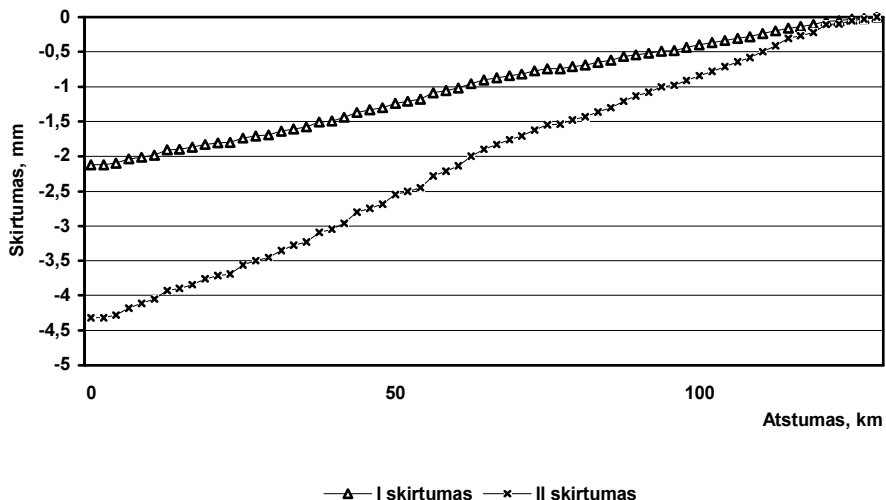
4.24 pav. Skirtumas tarp išmatuotų ir redukuotų į 2000 m. normalinių aukščių niveliacijos linijoje Jonava–Zarasai–Turmantas

Fig. 4.24. Difference between measured and reduced into 2000 in the levelling line of normal altitudes of Jonava–Zarasai–Turmantas



4.25 pav. Skirtumas tarp išmatuotų ir atitinkamai tarp redukuotų į 2000 (I skirtumas) bei į 2005 (II skirtumas) m. normalinių aukščių niveliacijos linijoje Turmantas–Vilnius

Fig. 4.25. Difference between measured and correspondingly reduced into 2000 (1st difference) and into 2005 (2nd difference) in the levelling line of normal altitudes of Turmantas–Vilnius

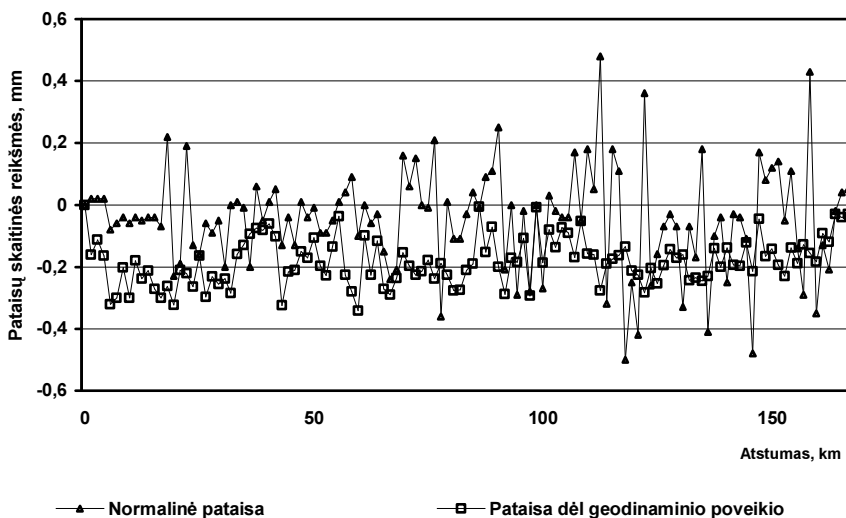


4.26 pav. Skirtumas tarp išmatuotų ir atitinkamai tarp redukuotų į 2000 (I skirtumas) bei į 2005 (II skirtumas) m. normalinių aukščių niveliacijos linijoje Vilnius–Jonava

Fig. 4.26. Difference between measured and correspondingly reduced into 2000 (1st difference) and into 2005 (2nd difference) in the levelling line of normal altitudes of Vilnius–Jonava

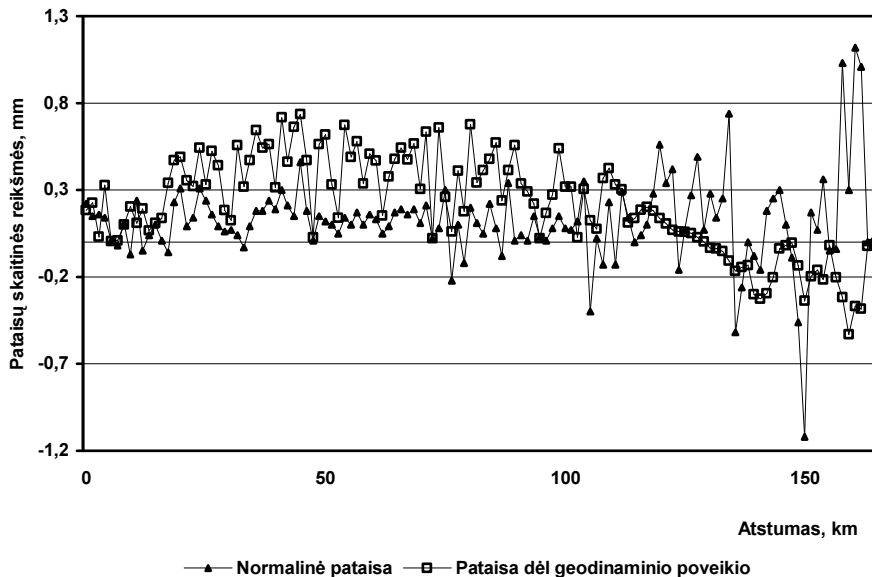
Kaip matyti iš tyrimo rezultatų, grafiškai pateiktų 3.15–3.17 paveikslų, didžiausi skirtumai tarp išlygintų išmatuotų ir išlygintų redukuotų į pasirinktą laiko momentą normalinių aukščių poligone Jonava–Zarasai–Turmantas–Vilnius–Jonava bus 23,5 mm (2000 m.) bei –5,1 mm (2005 m.). Kadangi paskutiniai matavimai nagrinėjamosiose niveliacijos linijose Jonava–Zarasai–Turmantas ir Turmantas–Vilnius atlikti 2006 ir 2005 m., skirtumai tarp išmatuotų ir redukuotų į 2005 m. normalinių aukščių bus mažesni (dėl šios priežasties 3.15 paveiksle jie neatvaizduoti) nei tarp išmatuotų ir redukuotų į 2000 metus normalinių aukščių. Niveliacijos linijoje Vilnius–Jonava išmatuotų ir redukuotų į 2005 m. normalinių aukščių skirtumai bus didesni nei pirmuoju atveju. Iš tyrimų rezultatų matyti, jog šių skirtumų reikšmės priklauso nuo vertikalinių žemės plutos judesių greičių, t. y. kuo jie didesni, tuo didesnės bus pataisos. Taip pat skirtumų skaitinių reikšmių dydžiai priklauso nuo pasirinkto laiko momento, į kurį redukuojama, nes kuo didesnis laikotarpis skiria matavimų metus nuo metų į kuriuos redukuojama, tuo didesnė bus skaitinė pataisos reikšmė.

Matyti, kad pataisos dėl geodinaminių procesų gaunasi ganėtinai didelės ir jų ignoruoti negalime. Kadangi niveliacijos linijose išmatuotiems aukščių skirtumams skaičiuojamos pataisos dėl įvairių veiksnių poveikio (refrakcijos, normalinė ir kt. pataisos), siekiant ištirti, ar pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio skaitinės reikšmės nėra mažos ir nereikšmingos, lyginant su dėl kitų veiksnių poveikio į matavimo rezultatą reikalingomis įvesti pataisų skaitinėmis reikšmėmis, atliktas normalinių pataisų bei pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio skaitinių reikšmių palyginimas. Gauti rezultatai tiksliosios niveliacijos linijoms Jonava–Zarasai–Turmantas, Turmantas–Vilnius, Vilnius–Jonava grafiškai pavaizduoti 4.27–4.28 paveiksluose. Kadangi nemaža dalis niveliacijos poligoną Jonava–Zarasai–Turmantas–Vilnius–Jonava sudarančių niveliacijos linijų paskutinį kartą niveliuota 2005 m., išsamesniam pataisų matavimų rezultatams redukuoti į pasirinktą laiko momentą tyrimui imsime pataisas niveliacijos matavimų rezultatams redukuoti į 2000 metus.



4.27 pav. Pataisos išmatuotiems aukščių skirtumams: normalinė ir dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio (redukuojant į 2000 metus) niveliacijos linijoje Jonava–Zarasai–Turmantas

Fig. 4.27. Corrections for measured differences of altitudes: normal and caused by the impact of the vertical movements of the Earth's crust (by reducing into 2000) in the levelling line of Jonava–Zarasai–Turmantas



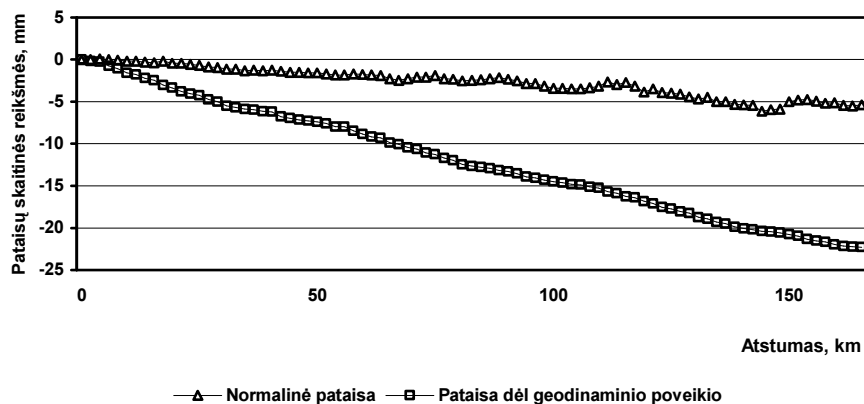
4.28 pav. Pataisos išmatuotiems aukščių skirtumams: normalinė ir dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio (redukuojant į 2000 metus) niveliacijos linijoje Turmantas–Vilnius

Fig. 4.28. Corrections for measured differences of altitudes: normal and caused by the impact of the vertical movements of the Earth's crust (by reducing into 2000) in the levelling line of Turmantas–Vilnius

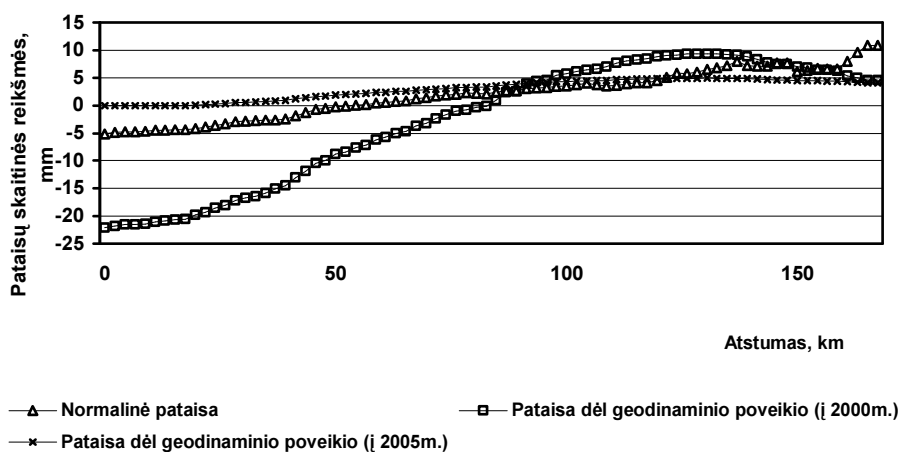
Kaip matyti iš 4.27, 4.28 paveikslų, pataisos dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio nėra nereikšmingos ir daug kur šių pataisų skaitinių reikšmių dydžiai viršija normalinių pataisų skaitinių reikšmių dydžius.

Tolesnių tyrimų metu, siekiant ištirti šių pataisų sandaugas poligone, imtos normalinių pataisų bei pataisų dėl dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio skaitinės reikšmės ir apskaičiuota šių tarpusavyje lyginamų pataisų geodeziniam ženklui tenkanti pataisos skaitinių reikšmių sandauga. Gauti rezultatai atskiroms poligono linijoms grafiškai pavaizduoti 4.29–4.31 paveiksluose.

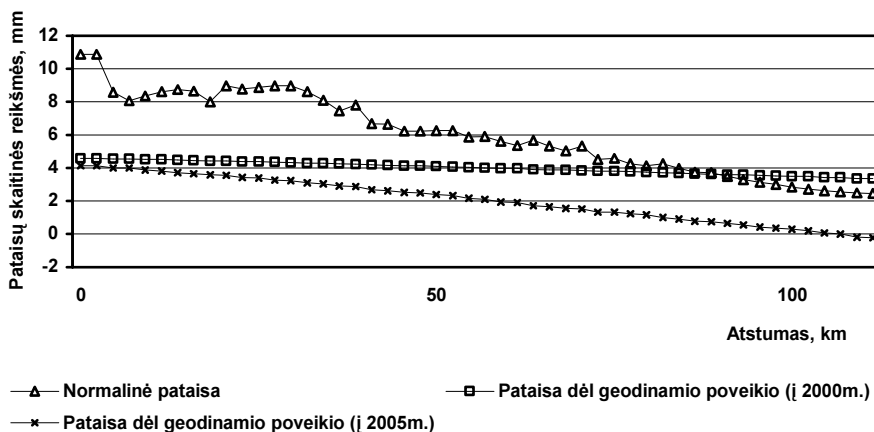
Iš 4.29–4.31 paveiksluose pateiktų tyrimų rezultatų matyti, kad poligoną Jonava–Žarasai–Turmantas–Vilnius–Jonava sudarančiose niveliacijos linijose aukščių skirtumų redukavimo į 2000 m. pataisų reikšmių sandaugos viršija normalinių pataisų sandaugas.



4.29 pav. Normalinių pataisų bei pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio (redukuojant į 2000 m.) sankaupos niveliacijos linijoje Jonava–Zarasai–Turmantas
Fig. 4.29. Collections of normal corrections and corrections caused by the impact of the vertical movements of the Earth's crust (by reducing into 2000) in the levelling line of Jonava–Zarasai–Turmantas



4.30 pav. Normalinių pataisų bei pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio (redukuojant į 2000, 2005 m.) sankaupos niveliacijos linijoje Turmantas–Vilnius
Fig. 4.30. Collections of normal corrections and corrections caused by the impact of the vertical movements of the Earth's crust (by reducing into 2000, 2005) in the levelling line of Turmantas–Vilnius



4.31 pav. Normalinių pataisų bei pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio (redukuojant į 2000, 2005 m.) sandaugos niveliacijos linijoje Vilnius–Jonava

Fig. 4.31. Collections of normal corrections and corrections caused by the impact of the vertical movements of the Earth's crust (by reducing into 2000, 2005) in the levelling line of Vilnius–Jonava

Vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio pataisų įtaka ženklų aukščiams (redukuojant į 2000 m.) yra apie 4,5 karto didesnė už normalinių pataisų įtaką. Tai paaiškinama tuo, kad geodinaminės pataisos turi sistemingą įtaką, o normalinės pataisos dažnai keičia ženklą (4.27, 4.28 pav.).

Iš tyrimų rezultatų galima daryti išvadą, kad pataisų dėl geodinaminių procesų poveikio į matavimo rezultatą dydžiai nėra nereikšmingi ir jų ignoruoti negalime.

4.4. TYRIMAS NIVELIACIJOS POLIGONE JONAVA–ZARASAI–JONIŠKIS–ŠIAULIAI–JONAVA

Šiame skyriuje aprašytiems tyrimams pasirinktas niveliacijos poligonas Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava. Šiame poligone, skirtingai nei prieš tai tyrimuose naudotame niveliacijos poligone Jonava–Zarasai–Turmantas–Vilnius–Jonava ne visose niveliacijos linijose yra atlikti kartotiniai niveliacijos matavimai. Poligoną Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava sudaro šios niveliacijos linijos: Jonava–Zarasai, Zarasai–Biržai–Joniškis, Joniškis–Šiauliai–Jonava. Šiame niveliacijos poligone kartotiniai matavimai atlikti niveliacijos linijose Jonava–Zarasai, Joniškis–Šiauliai–Jonava. Niveliacijos linija Zarasai–Biržai–

Joniškis tik pavieniuose fragmentuose sutampa su senųjų precizinių niveliacijų trasomis (Lietuvos valstybinio... 2003), todėl senųjų šios linijos niveliacijos matavimų nėra. Niveliacijos linija paklota bei nauji ženklai įrengti 2003 metais, kai kur į liniją įtraukiant pavienius seniau įrengtus niveliacijos ženklus, geodeziniai matavimai joje atlikti 2004, 2005 m.

Pataisų niveliacijos matavimais gautiems rezultatams redukuoti į pasirinktą laiko momentą skaičiuoti naudojant georodiklius metodika pateikta 2.4. 3 poskyryje.

Poligoną Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava sudarančių niveliacijos linijų Jonava–Zarasai, Zarasai–Biržai–Joniškis, Joniškis–Šiauliai–Jonava charakteristikos pateiktos 4.14 lentelėje.

4.14 lentelė. Niveliacijų linijų charakteristikos

Table 4.14. Characteristics of levelling lines

Niveliacijos linijos	Metai	Niveliaciją atliko	Matavimų tikslumas, mm/km
Jonava – Zarasai	1985–1987	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė	0,69
	2005–2006	VGTU Geodezijos institutas	0,34
Zarasai – Biržai – Joniškis	2004–2005	VGTU Geodezijos institutas	0,39
Joniškis – Šiauliai – Jonava	1970–1971	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 7-oji įmonė	0,53
	2002	VGTU Geodezijos institutas	0,41
	2004	VGTU Geodezijos institutas	0,48

Tyrimams naudoti paskutinio išmatuoto laikotarpio vertikalųjų žemės plutos judesių greičiai, apskaičiuoti niveliacijos linijose šiems laikotarpiams:

- Jonava–Zarasai 1980 – 2005 m.;
- Joniškis–Šiauliai–Jonava 1970/71 – 2002/04 m.;

Niveliacijos linijose Jonava–Zarasai, Joniškis–Šiauliai–Jonava pagal matavimais gautus rezultatus apskaičiuoti vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiai (v). Tyrimo metu poligoną Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava sudarančioms niveliacijos linijoms pagal reperijų koordinates nustatytos tiriamos teritorijos georodiklių skaitinės reikšmės ($x_2, \dots, x_9$).

Tyrimuose naudojami georodikliai žymimi:

v – vertikalieji žemės plutos greičiai,

- x_2 – Žemės paviršiaus reljefas,
- x_3 – prekvartero nuogulų storis,
- x_4 – prekvartero nuogulų reljefas,
- x_5 – nuosėdinės dangos storis,
- x_6 – magnetinis laukas (magnetinio lauko stipris),
- x_7 – kvartero dangos storis,
- x_8 – kristalinio pamato reljefas,
- x_9 – gravitacinis laukas (Bouger anomalijos).

Sąsajoms tarp tiriamame poligone išmatuotų vertikalųjų žemės plutos judesių greičių bei teritorijos georodiklių nustatyti atliekama tos poligono dalies koreliacinė analizė (2.2 poskyris), kurioje iš kartotinių geodezinių matavimų yra nustatyti vertikalieji žemės plutos judesių greičiai. Šios analizės rezultatai pateikiami 4.15 lentelėje.

4.15 lentelė. Vertikalųjų žemės plutos judesių ir georodiklių koreliacijos koeficientai
Table 4.15. Correlation coefficients of vertical movements of the Earth's crust and of geoindexes

$r(vx_2)$	$r(vx_3)$	$r(vx_4)$	$r(vx_5)$	$r(vx_6)$	$r(vx_7)$	$r(vx_8)$	$r(vx_9)$
Joniškis – Šiauliai – Jonava – Zarasai							
0,78	-0,47	0,73	-0,44	0,31	0,54	0,52	0,49

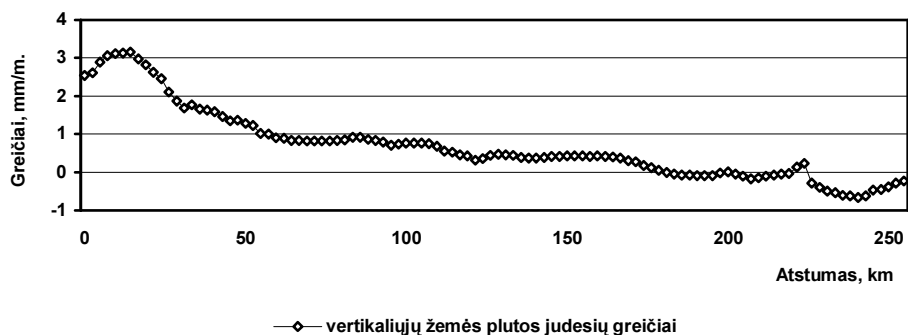
Iš 4.15 lentelėje pateiktų tyrimo rezultatų matyti, kad koreliacinės priklausomybės gana stiprios, stipriausios koreliacijos tarp dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių bei prekvartero nuogulų reljefo ($r = 0,73$), kvartero dangos storio ($r = 0,54$), kristalinio pamato reljefo ($r = 0,52$), gravitacinio lauko ($r = 0,49$). Silpnesni koreliaciniai ryšiai su prekvartero nuogulų storium, nuosėdinės dangos storium, magnetiniu lauku. Visų koreliacijos koeficientų reikšmingumas – $p \geq 0,90$. Iš šios analizės rezultatų galima teigti, kad šiame poligone išmatuoti dabartiniai vertikalieji žemės plutos judesiai yra ne atsitiktinio pobūdžio, bet natūrali geologinių procesų raidos tąsa, vadinasi, juos galima aprašyti regresiniais modeliais, atlikti dabartinių tektoninių procesų prognozę.

Sudarytas regresinis modelis, taikant 2.2 poskyryje pateiktą metodiką (2.13–2.18 formulės), regresinės analizės rezultatai pateikti 4.16 lentelėje.

4.16 lentelė. Regresinės analizės rezultatai**Table 4.16.** Results of regression analysis

Regresinis modelis	F_q ($q=0,01$)	F	R^2	$R^2_{\min}(m)$
Joniškis–Šiauliai–Jonava–Zarasai				
$v = 0,342 - 0,047 \cdot x_2 - 0,018 \cdot x_3 + 0,028 \cdot x_4 + 0,063 \cdot x_5 + 0,008 \cdot x_6 - 0,007 \cdot x_7 + 0,046 \cdot x_8 + 0,057 \cdot x_9$	3,06	18,60	0,81	0,77

Tyrimų metu gautas regresinis modelis (4.16 lentelė.), kurio empirinės statistikos reikšmės didesnės už ribines reikšmes, t. y. tenkinama $F > F_q$ sąlyga. Todėl su tikimybe $p = 0,99$ galima teigti, kad statistinis priklausomumas tarp dabartinių vertikaliųjų žemės plutos judesių ir geologinių rodiklių statistškai reikšmingas bei patikimas. Regresinis modelis aprašo 81 proc. išmatuotų dydžių reikšmių ir yra adekvatus matavimo rezultatams su tikimybe $p \geq 0,99$. Galima daryti išvadą, kad šis, tyrimų metu gautas regresinis modelis tinka vertikaliųjų žemės plutos judesių prognozei. Turint teritorijos geologinių rodiklių skaitines reikšmes, nustatytas pagal reperių koordinates bei taikant regresinį modelį, atliekamas vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių prognozavimas niveliacijos linijoje Zarasai–Biržai–Joniškis, nes šioje linijoje nebuvo atliekami kartotiniai niveliacijos matavimai ir neturime iš matavimų rezultatų nustatytų vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių. Gauti rezultatai grafiškai pavaizduoti 4.32 paveiksle.

**4.32 pav.** Prognozuoti žemės plutos judesių greičiai niveliacijos linijoje Zarasai–Biržai–Joniškis**Fig. 4.32.** Forecasted velocities of the movements of the Earth's crust in the levelling line of Zarasai–Biržai–Joniškis

Turint vertikalųjų žemės plutos judesių skaitines reikšmes visose poligona Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava sudarančiose niveliacijos linijose galima apskaičiuoti pataisas išmatuotų aukščių skirtumui redukuoti į pasirinktą laiko momentą.

Siekiant eliminuoti atsitiktinius trikdžius niveliacijos poligone Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava nustatytų vertikalųjų žemės plutos judesių greičiai glotninami taikant antrosios ir trečiosios eilės daugianarius regresinius modelius. Regresiniai modeliai ir jų statistinis vertinimas niveliacijos poligoną sudarančioms linijoms pateikti 4.17 lentelėje.

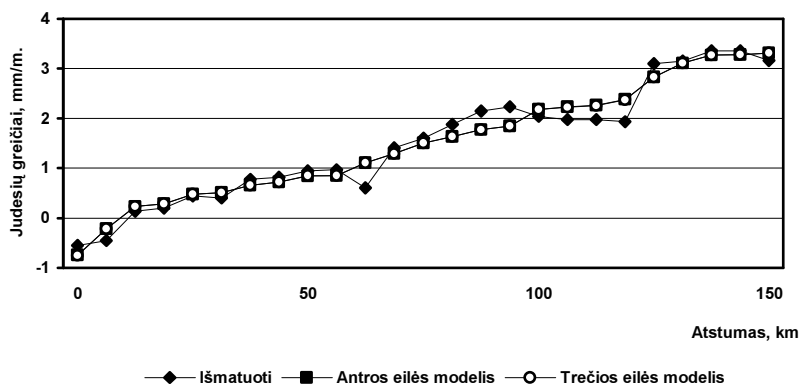
4.17 lentelė. Vertikalųjų žemės plutos judesių poligone Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai regresiniai modeliai

Table 4.17. Regression models of the vertical movements of the Earth's crust in the polygon of Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai

Regresinis modelis	R^2 , %	F	F_q , ($q = 0,01$)
Jonava–Zarasai			
$v = -0,740 + 0,033 \cdot S - 0,4 \cdot 10^{-4} \cdot S^2$	96,19	277,55	5,73
$v = -0,754 + 0,034 \cdot S - 0,6 \cdot 10^{-4} \cdot S^2 + 0,6 \cdot 10^{-9} \cdot S^3$	96,19	176,72	4,86
Zarasai–Biržai–Joniškis			
$v = 2,738 - 0,026 \cdot S + 0,6 \cdot 10^{-4} \cdot S^2$	89,85	739,55	4,61
$v = 3,282 - 0,051 \cdot S + 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 - 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot S^3$	94,18	895,21	3,78
Joniškis–Šiauliai–Jonava			
$v = 0,597 - 0,008 \cdot S + 0,5 \cdot 10^{-5} \cdot S^2$	95,57	193,95	6,05
$v = 0,563 - 0,005 \cdot S - 0,4 \cdot 10^{-4} \cdot S^2 + 0,2 \cdot 10^{-8} \cdot S^3$	95,79	129,03	5,23

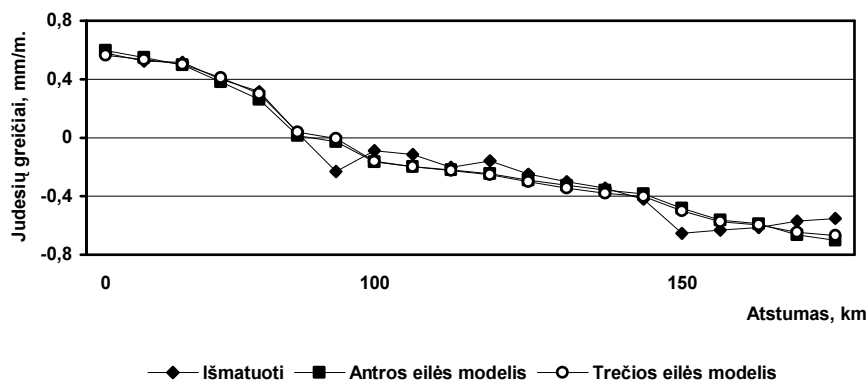
Iš 4.17 lentelėje pateiktų regresinių modelių analizės matyti, kad poligoną Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava sudarančiose niveliacijos linijose išmatuotus vertikaliosios žemės plutos judesių greičius gan adekvačiai ($p \geq 0,99$) atspindi antrosios bei trečiosios eilės daugianariai modeliai. Visose linijose $F > F_q$, vadinasi, su tikimybe $p = 1 - q \geq 0,99$ galima teigti, kad šiais regresiniais modeliais aproksimuotos reikšmės yra adekvačios vertikalųjų žemės plutos judesių reikšmėms.

Išmatuotos vertikalųjų žemės plutos judesių greičių reikšmės niveliacijos linijose Jonava – Zarasai bei Joniškis – Šiauliai – Jonava bei prognozuotos jų reikšmės niveliacijos linijoje Zarasai – Biržai – Joniškis ir šiose linijose aproksimuotos vertikalųjų žemės plutos judesių greičių reikšmės grafiškai atvaizduotos 4.33–4.35 pav.



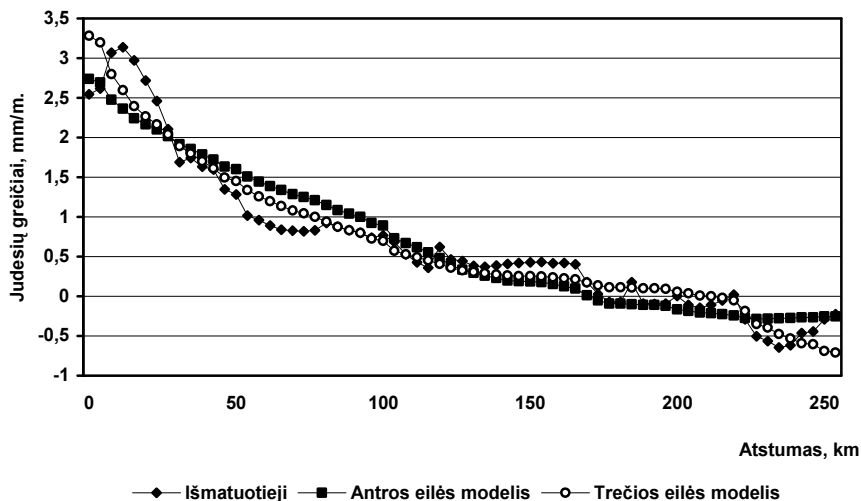
4.33 pav. Išmatuoti ir daugianariais regresiniais modeliais aprašyti vertikalieji žemės plutos judesių greičiai niveliacijos linijoje Jonava–Zarasai (1980–2005 m.)

Fig. 4.33. Velocities of the measured and described as multi-component regression models of the vertical movements of the Earth's crust in the levelling line of Jonava–Zarasai (1980–2005)



4.34 pav. Išmatuoti bei daugianariais regresiniais modeliais aprašyti vertikalieji žemės plutos judesių greičiai niveliacijos linijoje Joniškis–Šiauliai–Jonava (1970/71–2002/04 m.)

Fig. 4.34. Velocities of the measured and described as multi-component regression models of the vertical movements of the Earth's crust in the levelling line of Joniškis–Šiauliai–Jonava (1970/71–2002/04)

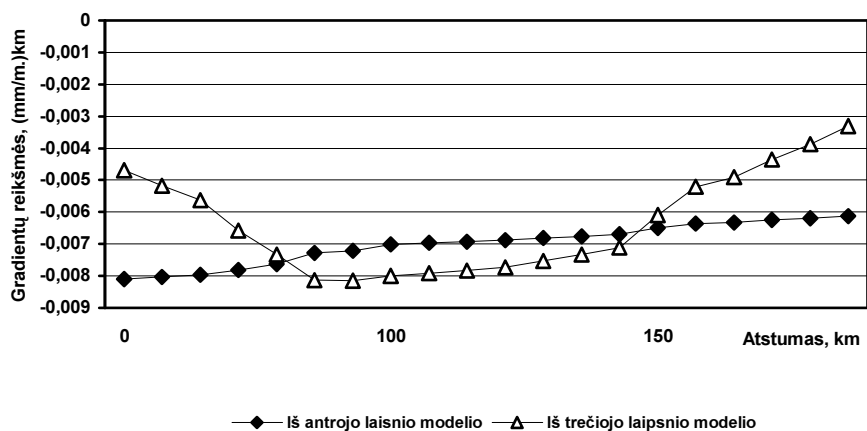


4.35 pav. Išmatuoti bei daugianariais regresiniais modeliais aprašyti vertikalieji žemės plutos judesių greičiai niveliacijos linijoje Zarasai–Biržai–Joniškis (1970/71–2005 m.)

Fig. 4.35. Velocities of the measured and described as multi-component regression models of the vertical movements of the Earth's crust in the levelling line of Zarasai–Biržai–Joniškis (1970/71–2005)

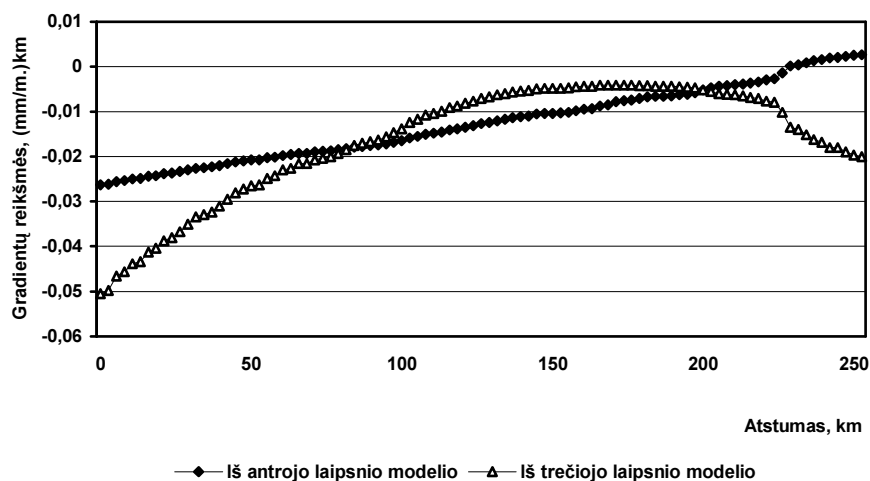
Pagal 2.2 poskyryje pateiktą metodiką (2.21 formulė), dabartinius vertikaliosios žemės plutos judesių greičius aproksimavę daugianariais regresiniais modeliais randame dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių greičių horizontaliųjų gradientų skaitines reikšmes (2.2 poskyris, 2.38 formulė). Šios reikšmės grafiškai pavaizduotos 4.36–4.37 paveiksluose (nes ir į 4.3 poskyryje eksperimento objektu paimtą poligoną Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava įeina niveliacijos linija Jonava–Zarasai, šiame skyriuje patektuose tam tikruose tyrimo etapuose gauti rezultatai sutampa su 4.3 skyriuje gautais tyrimų rezultatais, todėl, siekiant išvengti kartojimosi, jie antrą kartą pateikiami nebus).

Kaip matyti iš 4.36–4.37 paveikslų, gradientų skaitinės reikšmės kinta $-0,006$ – $-0,007$ bei $-0,003$ – $-0,008$ (mm/m.)km (atitinkamai gradientai, gauti iš antrojo bei trečiojo laipsnio regresinių modelių) ribose (niveliacijos linija Joniškis–Šiauliai–Jonava). Niveliacijos linijoje Zarasai – Biržai – Joniškis gradientų skaitinės reikšmės kinta $-0,03$ – $-0,005$ bei $-0,05$ – $-0,005$ (mm/m.)km (atitinkamai gradientai, gauti iš antrojo bei trečiojo laipsnio regresinių modelių) ribose.



4.36 pav. Vertikaliųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų reikšmės niveliacijos linijoje Joniškis–Šiauliai–Jonava

Fig. 4.36. Values of horizontal gradients of the vertical movements of the Earth's crust in the levelling line of Joniškis–Šiauliai–Jonava

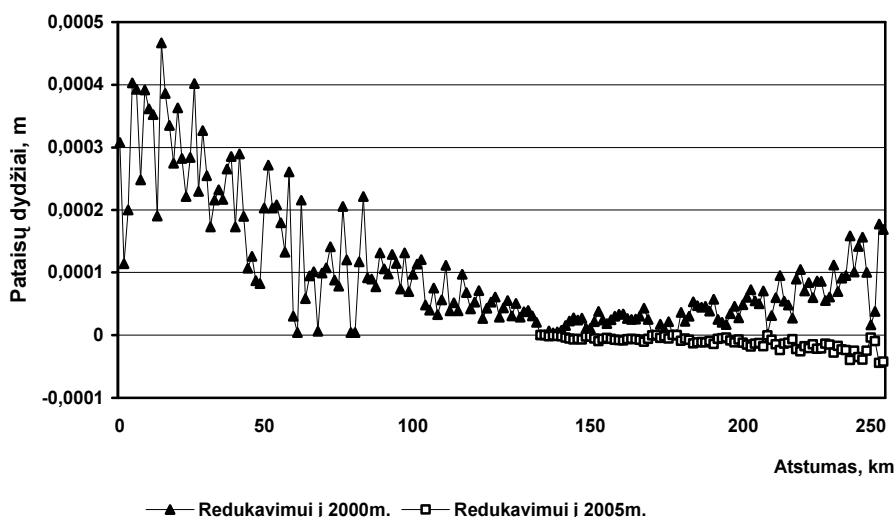


4.37 pav. Vertikaliųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų reikšmės niveliacijos linijoje Zarasai–Biržai–Joniškis

Fig. 4.37. Values of horizontal gradients of the vertical movements of the Earth's crust in the levelling line of Zarasai–Biržai–Joniškis

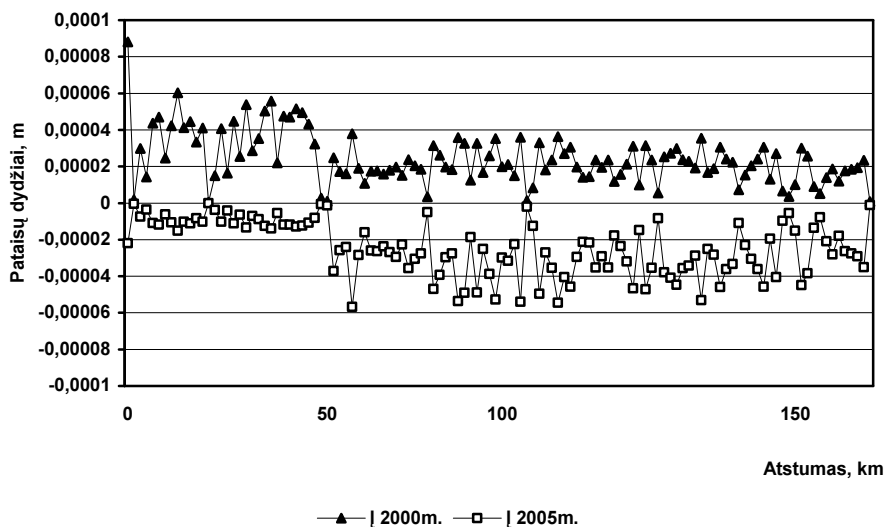
Tolesnių tyrimų metu pagal 2.4.3 poskyryje pateiktą metodiką skaičiuojamos pataisos poligoną sudarančių niveliacijų linijose išmatuotiems aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktą laiko momentą. Poligonas Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava sudarytas iš niveliacijos linijų, kuriose paskutiniai matavimai atlikti: Jonava–Zarasai, 2005 m.; Zarasai–Biržai–Joniškis, 2004, 2005 m.; Joniškis–Šiauliai–Jonava, 2002, 2004 m. Didžioji poligono niveliacijos linijų dalis išmatuota 2004, 2005 m. Atliekant eksperimentą paskutinių matavimų metu išmatuotieji aukščių skirtumai poligone buvo redukuoti į 2005 ir į 2000 metus.

Pataisos dėl vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos poligoną Jonava – Zarasai – Joniškis – Šiauliai – Jonava sudarančioms tiksliosios niveliacijos linijoms Zarasai – Biržai – Joniškis bei Joniškis – Šiauliai – Jonava grafiškai atvaizduotos 4.38, 4.39 paveiksluose. Kadangi tam tikroje dalyje niveliacijos linijos Zarasai – Biržai – Joniškis matavimai paskutinį kartą atlikti 2005 m., todėl tais metais išmatuotiems aukščių skirtumams skaičiuojamos pataisos tik redukavimui į 2000 metus.



4.38 pav. Pataisos niveliacijos linijoje Zarasai–Biržai–Joniškis išmatuotų aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktą laiko momentą (2000, 2005 m.)

Fig. 4.38. Corrections in the levelling line of Zarasai–Biržai–Joniškis to reduce differences of measured altitudes into the selected moment of time (2000, 2005)



4.39 pav. Pataisos niveliacijos linijoje Joniškis–Šiauliai–Jonava išmatuotų aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktą laiko momentą (2000, 2005 m.)

Fig. 4.38. Corrections in the levelling line of Joniškis–Šiauliai–Jonava to reduce differences of measured altitudes into the selected moment of time (2000, 2005)

Iš tyrimais gautų rezultatų, pateiktų 4.21, 4.38, 4.39 paveiksluose matyti, kad pataisos aukščių skirtumui redukuoti į pasirinktą laiko momentą dydis priklauso nuo žemės deformacijos greičių, jų pokyčių, kuriuos geriausiai charakterizuoja žemės plutos vertikaliųjų judesių horizontalieji gradientai. Kuo didesnės gradientų reikšmės, tuo didesnės pataisų skaitinės reikšmės ir atvirkščiai. Šios pataisos dydis priklauso ir nuo laikotarpio, kuris skiria pasirinktą laiko momentą, į kurį redukuosime išmatuotus aukščių skirtumus, nuo metų, kuriais buvo atlikti niveliacijos matavimai. Kuo laikotarpis didesnis, tuo didesnės bus pataisų skaitinės reikšmės (tai vaizdžiai matyti iš 4.3, 4.18–4.23, 4.36–4.39 paveikslų). 4.18 lentelėje pateiktos pataisų skaitinės reikšmės, tenkančios vienam kilometrui atitinkamoje niveliacijos linijoje per laikotarpį, skiriantį metus, į kuriuos redukuojame (2000 m.), nuo metų, kuriais atlikti matavimai. Taip pat pateiktos šios pataisų skaitinės reikšmės, tenkančios vienam kilometrui, per vienerių metų laikotarpį.

4.18 lentelė. Pataisų skaitinės reikšmės vienam kilometrui niveliacijos linijose
Table 4.18. Numerical values of corrections for a kilometer of a levelling line

Niveliacijos linija poligone	Pataisos, mm	
	vienerių metų laikotarpiui	visam laikotarpiui
Jonava–Zarasai–Turmantas–Vilnius–Jonava		
Jonava–Zarasai–Turmantas	–0,026	–0,128
Turmantas–Vilnius	0,057	0,164
Vilnius–Jonava	–0,005	–0,011
Jonava–Zarasai–Biržai–Joniškis–Jonava		
Jonava–Zarasai	–0,026	–0,130
Zarasai–Biržai–Joniškis	0,030	0,075
Joniškis–Šiauliai–Jonava	0,014	0,017

Kaip matyti iš 4.18 lentelėje pateiktų rezultatų, didesnės pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio į matavimų rezultatus skaitinės reikšmės tenka toms linijoms, kuriose nustatytos didesnės vertikalųjų žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų reikšmės.

Redukavus išmatuotus aukščių skirtumus į pasirinktą laiko momentą (2000, 2005 m.), randami geodezinių punktų normaliniai aukščiai, skaičiuojant naudojant išmatuotus ir redukuotus į 2000, 2005 metus aukščių skirtumus. Pradiniu imamas 217 geodezinis punktas, kurio normalinis aukštis $H_{217} = 68,697\text{m}$ (Lietuvos valstybinio... 2006), randami normaliniai poligono punktų aukščiai. Leistinas nesąryšis skaičiuojamas pagal 2.59 formulę.

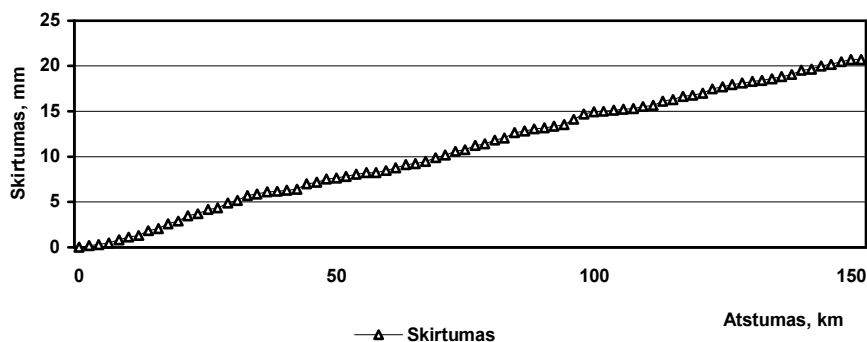
Niveliacijos poligono Jonava – Zarasai – Joniškis – Šiauliai – Jonava perimetras – 575,25km, vadinasi, leistinas nesąryšis bus $\pm 35,98\text{mm}$. Poligone gauti nesąryšiai, neredukavus įvairiais metais išmatuotų aukščių skirtumų į pasirinktą laiko momentą bei juos redukavus į 2000, 2005 metus, pateikti 4.19 lentelėje.

4.19 lentelė. Poligone Jonava–Turmantas–Vilnius–Jonava gautieji nesąryšiai
Table 4.19. Obtained disconnections in the polygon of Jonava–Turmantas–Vilnius–Jonava

Aukščių skirtumai	Neredukuoti	Redukuoti į	
		2000 m.	2005 m.
Nesąryšiai, mm	–33,25	–34,97	–29,06

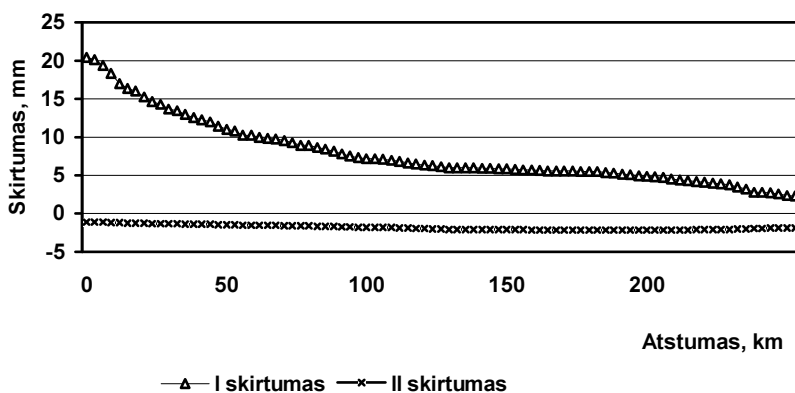
Siekiant išvengti aukščių matavimų rezultatuose esančių paklaidų, niveliacijos tinklas išlyginamas. Išlyginus tinklą, apskaičiuoti išlyginti išmatuoti poligono punktų normaliniai aukščiai bei redukuoti į 2000, 2005 metus. Skirtumai tarp redukuotų į pasirinktą laiko momentą bei išmatuotų pavaizduoti 4.40–4.42 pa-

veiksluose. Paveikslai sudaryti atskiroms poligoną sudarančioms niveliacijos linijoms.



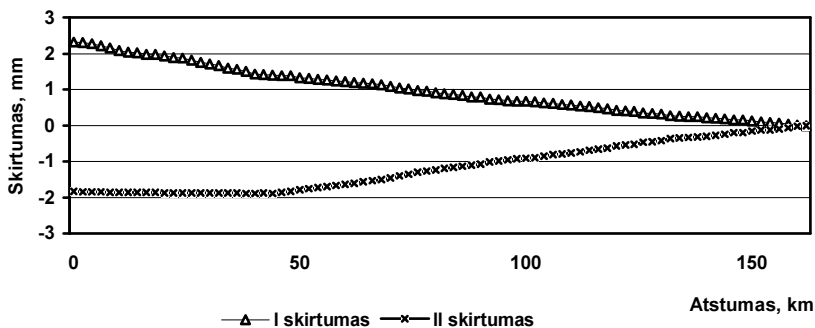
4.40 pav. Skirtumas tarp išmatuotų ir redukuotų į 2000 m. normalinių aukščių niveliacijos linijoje Jonava–Zarasai

Fig. 4.40. Difference between measured and reduced into 2000 in the levelling line of normal altitudes of Jonava –Zarasai



4.41 pav. Skirtumas tarp išmatuotų ir atitinkamai tarp redukuotų į 2000 (I skirtumas) bei į 2005 (II skirtumas) m. normalinių aukščių niveliacijos linijoje Zarasai–Biržai–Joniškis

Fig. 4.41. Differences between measured and correspondingly between reduced into 2000 (1st difference) and into 2005 (2nd difference) in the line of normal altitudes of Zarasai–Biržai–Joniškis



4.42 pav. Skirtumas tarp išmatuotų ir atitinkamai tarp redukuotų į 2000 (I skirtumas) bei į 2005 (II skirtumas) m. normalinių aukščių niveliacijos linijoje Joniškis–Šiauliai–Jonava

Fig. 4.42. Differences between measured and correspondingly between reduced into 2000 (1st difference) and into 2005 (2nd difference) in the line of normal altitudes of Joniškis–Šiauliai–Jonava

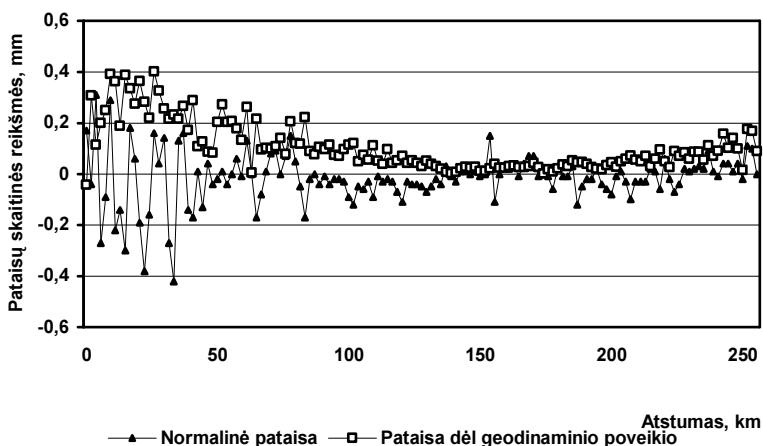
Kaip matyti iš 4.40–4.42 paveikslų, didžiausi skirtumai tarp redukuotų į pasirinktą laiko momentą ir išmatuotų aukščių skirtumų bus ten, kur intensyviausi Žemės plutos judesiai. Didžiausi skirtumai poligone Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava bus 20,73 mm (2000 m.) bei –2,17 mm (2005 m.). Kadangi pasukiniai matavimai nagrinėjamosse niveliacijos linijose Jonava–Zarasai ir Zarasai–Biržai–Joniškis bei dalyje niveliacijos linijos Joniškis–Šiauliai–Jonava atlikti 2004, 2005 m., skirtumai išmatuotų ir redukuotų į 2005 metus normalinių aukščių bus maži, lyginant su skirtumais tarp išmatuotų bei redukuotų į 2000 metus normalinių aukščių. Tačiau, kaip matyti iš 4.41, 4.42 paveikslų, skirtumai, nors ir mažesni, tačiau egzistuoja, jų skaitinės reikšmės poligone pasiekia iki 2 mm dydį, todėl ir šiuo atveju geodinaminių procesų įtakos matavimų rezultatams ignoruoti negalima.

Normalinių aukščių tikslumas geodezijoje yra aktuali ir pakankamai sudėtinga problema. Ši problema susijusi ir su taikomais aukščių nustatymo metodais, su geofizinėmis konstantomis (Skeivalas *et al.* 2007). Apskaičiuojamo normalinio aukščio tikslumas priklauso ne tik nuo niveliavimo tikslumo, jam įtakos turi sunkio nustatymo metodų, jų tikslumo bei naudojamų algoritmų patikimumas. Normalinio aukščio tikslumas apibrėžiamas jo standartinio nuokrypio įverčiu (Skeivalas, Krikštaponis 2001). Autoriai (Skeivalas, Krikštaponis 2001) atliko normalinių aukščių nustatymo tikslumo, realaus ir normalinio sunkio įtakos nustatant normalinius aukščius analizę. Tyrimais gauta, jog normalinio aukščio standartinio nuokrypio įvertis taške, nutolusiame 1 km atstumu nuo pra-

dinio taško 0,5 mm (kai sunkio nustatymo vidutinė kvadratinė klaida 1 mGal) ir 0,57 mm, kai sunkio nustatymo vidutinė kvadratinė klaida 5 mGal.

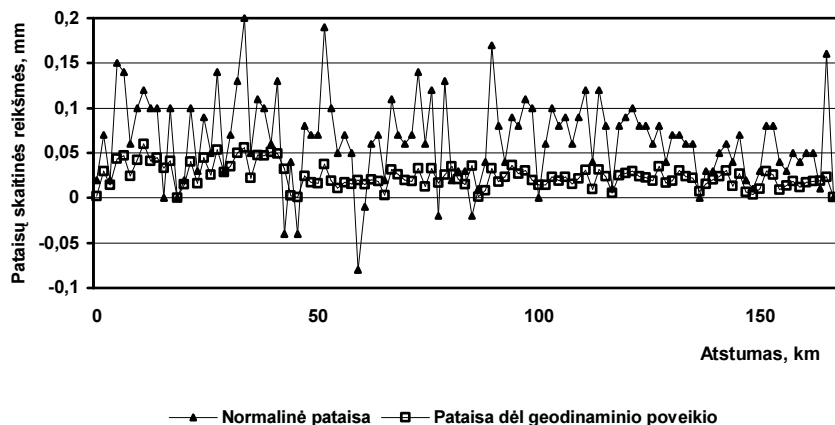
Iš tyrimo rezultatų, pateiktų 4.40–42 paveiksluose matyti, jog skirtumas tarp normalinių aukščių, apskaičiuotų neatsižvelgiant į geodinaminių procesų įtaką skaitinių reikšmių nuo normalinių aukščių skaitinių reikšmių, gautų įvedus pataisas dėl geodinaminių procesų įtakos į matavimų rezultatus, viršija normalinio aukščio tikslumą.

Siekiant ištirti, ar pataisos dėl geodinaminių procesų poligone Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava ganėtinai didelės, lyginant su kitomis, niveliacijos matavimų apdorojimo procese naudojamomis pataisomis, atliktas šių pataisų skaitinių reikšmių bei normalinių pataisų skaitinių reikšmių palyginimas. Gauti rezultatai tiksliosios niveliacijos linijoms Jonava–Zarasai, Zarasai–Biržai–Joniškis, Joniškis–Šiauliai–Jonava grafiškai pavaizduoti 4.43, 4.44 paveiksluose.



4.43 pav. Pataisos išmatuotiems aukščių skirtumams: normalinė bei dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio (redukuojant į 2000 metus) niveliacijos linijoje Zarasai–Biržai–Joniškis

Fig. 4.43. Corrections for differences of measured altitudes: normal caused by the impact of vertical movements of the Earth's crust (by reducing into 2000) in the levelling line of Zarasai–Biržai–Joniškis



4.44 pav. Pataisos išmatuotiems aukščių skirtumams: normalinė bei dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio (redukuojant į 2000 metus) niveliacijos linijoje Joniškis–Šiauliai–Jonava

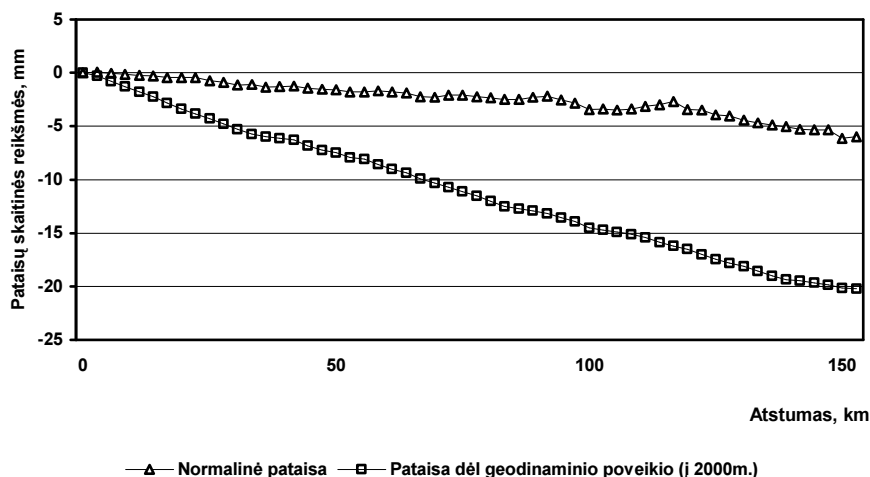
Fig. 4.43. Corrections for differences of measured altitudes: normal caused by the impact of vertical movements of the Earth's crust (by reducing into 2000) in the levelling line of Joniškis–Šiauliai–Jonava

Iš 4.43 ir 4.44 paveikslų matyti, kad pataisos dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio nėra nereikšmingos, daug kur jų skaitinių reikšmių dydžiai viršija ar yra panašūs su normalinių pataisų skaitinių reikšmių dydžiais.

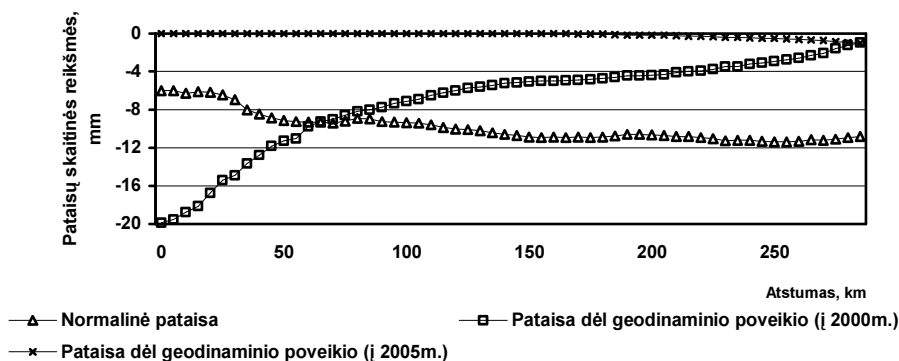
Tollesnių tyrimų metu, siekiant ištirti pataisų dėl geodinaminio poveikio bei normalinių pataisų sankaupas poligone, apskaičiuota pastarųjų pataisų bei pataisų dėl dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio, geodeziniam ženklui tenkanti pataisų reikšmių sankaupa poligone. Rezultatai atskiroms poligono linijoms grafiškai pavaizduoti 4.45–4.47 paveiksluose.

Iš 4.45–4.47 paveikslų matyti, kad poligono Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava niveliacijos linijose aukščių skirtumų redukavimo pataisos turi ne mažesnę įtaką matavimais gautiems rezultatams nei normalinės pataisos.

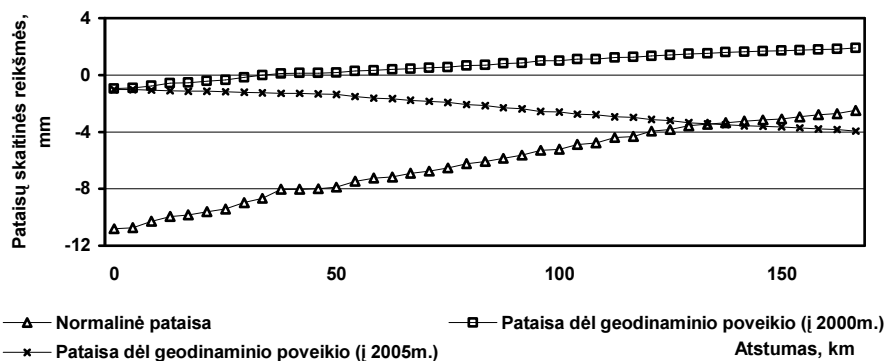
Iš 4.45–4.47 paveikslų matyti, kad poligono Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava niveliacijos linijose aukščių skirtumų redukavimo pataisos turi ne mažesnę įtaką matavimais gautiems rezultatams nei normalinės pataisos.



4.45 pav. Normalinių pataisų ir pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio (redukuojant į 2000 m.) sankaupos niveliacijos linijoje Jonava–Zarasai
Fig. 4.45. Collections of normal corrections and corrections caused by the impact of the vertical movements of the Earth's crust (by reducing into 2000) in the levelling line of Jonava–Zarasai



4.46 pav. Normalinių pataisų ir pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio (redukuojant į 2000 m.) sankaupos niveliacijos linijoje Zarasai–Biržai–Joniškis
Fig. 4.46. Collections of normal corrections and corrections caused by the impact of the vertical movements of the Earth's crust (by reducing into 2000) in the levelling line of Zarasai–Biržai–Joniškis



4.47 pav. Normalinių pataisų ir pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio (redukuojant į 2000 m.) sankaupos niveliacijos linijoje Joniškis–Šiauliai–Jonava
Fig. 4.47. Collections of normal corrections and corrections caused by the impact of the vertical movements of the Earth's crust (by reducing into 2000) in the levelling line of Joniškis–Šiauliai–Jonava

Pasitelkus tyrimais gautus rezultatus (4.3–4.4 poskyriai) galima teigti, jog išmatuotiems aukščių skirtumams tenkančios pataisos dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio anaip tol nėra nereikšmingos, jų įtaka matavimais gautiems rezultatams tam tikrais atvejais viršija normalinių pataisų įtaką, todėl pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio ignoruoti negalima. Siūloma šių pataisų skaičiavimo bei taikymo niveliacijos matavimais gautiems rezultatams apdoroti metodiką įtraukti į šiuo metu naudojamą išmatuotų aukščių skirtumų apdorojimo metodiką, taip ją patobulinant.

4.5. KETVIRTOJO SKYRIAUS IŠVADOS

1. Taikant antrajame šio darbo skyriuje parengtą metodiką, sudarytas vertikalųjų žemės plutos judesių greičių horizontaliųjų gradientų žemėlapis Lietuvos teritorijai, kuriuo remiantis galima vertinti vertikalųjų žemės plutos judesių poveikį Lietuvos niveliacijos tinklams, einant laikui.

2. Tyrimais nustatyta, kad praėjus po tinklo sudarymo 20 metų, II klasės niveliacijos tinklams keliamų tikslumo reikalavimų neatitiks apie 70 proc. Lietuvos teritorijoje esančių niveliacijos tinklų, o I klasės niveliacijos tinklams keliamų tikslumo reikalavimų neatitiks visos Lietuvos pirmosios klasės niveliacijos tinklas.

3. Atsižvelgiant į vertikalųjų žemės plutos judesių įtaką niveliacijos tinklams, galima teigti, kad Lietuvos teritorijoje pirmosios ir antrosios klasės niveliacijos tinklų kartotinius matavimus būtina atlikti ne rečiau kaip kas 15–20 metų.

4. Ištyrus išmatuotų aukščių skirtumų redukavimą, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, pirmosios klasės niveliacijos linijoje Mikytai–Šilutė–Klaipėda nustatyta:

- Vertikalųjų žemės plutos judesių prognozei taikant regresinį modelį, sudarytą pagal pirmąją georodiklių grupę, į kurią įeina nuosėdinės žemės dangos struktūrinių kompleksų storai, prognozės modelių kokybė pagerėja apie 10 proc. (vertinant pagal determinacijos koeficiento reikšmę), o apskaičiuotų pataisų reikšmės, redukuojant 1973/75 m. išmatuotus aukščių skirtumus į 2003 m., pagal abiem metodais prognozuotus judesių greičius nuo reikšmių, nustatytų tiesiogiai pagal geodezinių matavimų rezultatus, atitinkamai 2,8 ir 8,5 mm.
- Regresinių modelių, sudarytų rodikliais imant pagal kompleksinės koreliacinės analizės būdu išreikštus informatyviausius požymius pirmosios georodiklių grupės narius, kokybė yra apie 17 proc. geresnė, lyginti su antrosios rodiklių grupės regresiniais modeliais.
- 1973/75 m. išmatuotų aukščių skirtumų redukavimas į 2003 m., kai pataisos dėl vertikalųjų žemės plutos judesių įtakos skaičiuojamos pagal matavimų rezultatus, 95 proc. leidžia sumažinti šių judesių poveikį matavimų rezultatams, kai skaičiuojama pagal regresinius modelius, sudarytus taikant pirmosios georodiklių grupės narius – 96 proc., o kai pagal antrosios georodiklių grupės, atsižvelgiant į kompleksinės koreliacinės analizės rezultatus, išeliminuotus narius – 75 proc.

5. Iš atliktų tyrimų uždame niveliacijos poligone Jonava–Zarasai–Turmantas–Vilnius–Jonava, kuriame niveliacijos matavimai atlikti 1998–2006 m. laikotarpi, nustatyta, kad:

- Redukuojant matavimų rezultatus į 2000 metus, pataisa, tenkanti geodeziniam ženklui, siekia iki 25 mm, redukuojant į 2005 metus – iki 5 mm.
- Redukuojant niveliacijos matavimus į 2005 metus, pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių sankaupos poligone yra apie keturis kartus didesnės už normalinių pataisų sankaupas.
- Nesąryšis poligone, apskaičiavus neredukuotus, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, normalinius aukščius siekia +4,39 mm, o apskaičiavus redukuotus į 2005 metus, nesąryšis yra +2,19 mm.

6. Iš tyrimų niveliacijos poligone Jonava–Zarasai–Joniškis–Šiauliai–Jonava, kuriame matavimai atlikti 2004–2006 m. (niveliacijos linijoje Zarasai–Joniškis kartotinių matavimų nėra), nustatyta, kad:

- Redukuojant matavimus į 2000 m., pataisa, tenkanti geodeziniam ženklui, siekia iki 25 mm, o į 2005 m. – iki 4 mm.
 - Redukuojant niveliacijos matavimus į 2005 metus, pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių sankaupos poligone yra apie du kartus didesnės už normalinių pataisų sankaupas.
 - Nesąryšis poligone, kai turimi išmatuoti aukščių skirtumai – 33,25 mm, o kai redukuoti į 2005 m. – 29,06 mm.
7. Apibendrinant tyrimų rezultatus, galima teigti, kad:
- Vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikis niveliacijos tinklams viršija matavimų paklaidas ir jį būtina įvertinti redukuojant matavimų duomenis, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą bei planuojant kartotinių niveliacijos tinklų matavimus.
 - Didžiausios pataisų dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio sankaupos poligone apie keturis kartus viršija normalinių pataisų sankaupas.
 - Darbe siūloma metodika vertikaliesiems žemės plutos judesiams įvertinti, apdorojant niveliacijos matavimus bei eksploatuojant tinklus, yra tinkama ir gali būti taikoma praktikoje.

Bendrosios išvados

Remiantis disertaciniame darbe atliktais tyrimais, gautos šios apibendrintos išvados:

1. Remiantis teoriniais tyrimais, parengta metodika įvertinti dabartinių vertikalųjų žemės plutos judesių įtaką niveliacijų matavimams ir niveliacijos tinklo tikslumo kaitą, einant laikui. Taikant šią metodiką, galima planuoti kartotinius niveliacijos tinklų geodezinius matavimus, kad būtų išlaikytas reikiamas aukščių pagrindo tikslumas.

2. Parengta metodika išmatuotiems aukščių skirtumams redukuoti, įvertinant vertikaliuosius žemės plutos judesius ir atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą. Redukuojant matavimus, sumažinama dėl vertikalųjų žemės plutos judesių poveikio atsirandančių sistemingųjų paklaidų įtaka niveliacijos tinklo paklaidoms.

3. Vertinant vertikalųjų žemės plutos judesių įtaką išmatuotiems aukščių skirtumams bei atliekant matavimų redukavimą, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, judesių greičiams prognozuoti rekomenduojama taikyti regresinius modelius, sudarytus remiantis bendra kartotinių geodezinių matavimų ir teritorijos georodiklių matematine statistine analize.

4. Sudarant vertikalųjų žemės plutos judesių prognozės modelius, rekomenduojama nustatyti georodiklių grupių informatyvumą, taikant kompleksinės

koreliacinės analizės metodiką bei atvirkštinę žingsninę regresiją. Tai leidžia vidutiniškai apie 15 proc. pagerinti prognozės modelių kokybę.

5. Vertikaliųjų žemės plutos judesių įtakai Lietuvos niveliacijos tinklams vertinti sudarytas vertikaliųjų žemės plutos judesių greičių horizontaliųjų gradientų žemėlapis. Nustatyta, kad po 10 metų eksploatavimo tikslumo rezultatų neatitiks apie 70 proc. pirmosios klasės niveliacijos tinklo, o po 20 metų – visas tinklas neatitiks jam keliamų tikslumo reikalavimų. Antrosios klasės tinklo tikslumo reikalavimų neatitiks po 10 metų – apie 55 ir po 20 metų – apie 70 proc.

6. Lietuvos pirmosios klasės niveliacijos tinkle aukščių skirtumų redukavimo, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, pataisų sankaupos atskiruose niveliacijos ėjimuose iki keturių kartų viršija normalinių pataisų sankaupas (linija Jonava–Turmantas).

7. Dėl vertikaliųjų žemės plutos judesių poveikio neįvertinimo sudarant Lietuvos pirmosios klasės niveliacijos tinklą, atsirandančios geodezinių ženklų aukščių paklaidos apie tris kartus didesnės už matavimų paklaidas.

8. Eksploatavimo laikotarpiu norint išlaikyti reikiamą pirmosios ir antrosios klasės Lietuvos niveliacijos tinklų tikslumą, reikia kartotinius niveliacijos tinklų matavimus atlikti kas 15–20 metų. Apdorojant matavimų rezultatus, išmatuoti aukščių skirtumai turi būti redukuoti, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą.

Literatūros sąrašas

- Anikėnienė, A. 2008. *Dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių tyrimas ir modeliavimas taikant geodezinius matavimus (Lietuvos teritorijos pavyzdžiu)*. Vilnius:Technika. 127 p.
- Anderson, E. J.; Ferris, M. C. A. 2001. Direct Search Algorithm for Optimization with Noisy Function Evaluations, *SIAM Journal on Optimization* 3(11): 837–857.
- Amoruso, A.; Crescentini, L.; Scarpa, R. 2005. Faulting geometry for the complex 1980 Campania–Lucania earthquake from levelling data, *Geophysical Journal International* 162 (issue 1): 156–168.
- Bada, G.; Cloetingh, S.; Gerner, P.; Horváth, F. Sources of recent tectonic stress in the Pannonian region: inferences from finite element modelling, *Geophysical Journal International* 134 (issue 1): 87–101.
- Baltrūnas, V.; Švedas, K.; Pukelytė, V. 2007. Palaeogeography of South Lithuania during the last ice age, *Sedimentary geology* 193: 221–231.
- Battaglia, M.; Segal, P.; Murray, J.; Cervelli, P.; Langbein, J. 2003a. The mechanics of unrest at Long Valley caldera, California: 1. Modeling the geometry of the source using GPS, levelling and two color EDM data, *Journal of volcanology and Geothermal Research* 127 (issues 3–4): 195–217.
- Battaglia, M.; Segal, P.; Roberts, C. 2003b. The mechanics of unrest at Long Valley caldera, California: 2. Constraining the nature of the source using geodetic and microgravity data, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 127 (issues 3–4): 219–245.
- Behncke, B.; Berrino, G.; Corrado, G.; Velardita, R. 2006. Ground deformation and gravity changes on the island of Pantelleria in the geodynamic framework of the Sicily Channel, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 150 (issues 1–3): 146–162.

- Bergsten, F. 1930. Changes of level on the coast of Sweden, *Geografiska Annaler* 12(1): 21–55.
- Berrino, G. 1998. Detection of vertical ground movements by sea-level changes in the Neapolitan volcanoes, *Tectonophysics* 294 (issues 3–4): 15.
- Bikis, J. 1940. Zemes garozas kustinu ietekme precizas limetnošabas darbas Baltijas jūras piekraste, *Latvijas universitātes raksti* 6(2): 8–11.
- Blomqvist, E.; Renqvist, H. 1914. Wasserstrands beobachtungen an den Küsten Fihnlands, *Fennia* 1(37).
- Bonaccorso, A. 2002. Ground deformation of the southern sector of the Aeolian islands volcanic arc from geodetic data, *Tectonophysics* 351(issue 3): 12–16.
- Bonaccorso, A.; Mattia, M. 2000. Deflation acting on Pantelleria island (Sicily Cannel) inferred through geodetic data, *Earth and Planetary Letters* 180 (issues 1–2): 91–101.
- Borre, K. 1990. *Landmätling*. Aalborg: Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, 392 p.
- Butrimas, P. 1931. Precizinio neveliaavimo vykdymas Lietuvoje, *Žemėtvarka ir melioracija* 1: 36–41.
- Busics, G. 1999. The past and the future of levelling networks in Hungary, in *The importance of Heights PROCEEDINGS "Geodesy and Surveying in the future"*, March 15–17, 1999, Gävle, Sweden, 407–414.
- Carrera, G.H.; Vaniček, P. 1987. review of techniques for determining vertical ground movements from levelling data, in *Proc 3rd International Symposium on Land Subsidence*, Venice, 19–25 march 1984, 195–202. Publ. Wallingford: IAHS. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics*. Abstracts 24 (issue 5): 193.
- Cloetingh, S.; Cornu, T.; Ziegler, P.A.; Beekman F. and Environmental Tectonics (ENTEC) Working Group. 2006. Neotectonics and intraplate continental topography of the northern Alpine Foreland, *Earth–Science* 74 (issues 3–4): 127–196.
- Constantinescu, L. 1966. Evidence of recent crusal movements in Roumani and problems facing their research, in *Proc. Of the 2–d Intern. Sympos. on Recent Crustal Movements*, Helsinki 14–20.
- Csepregi, S. 1999. Some questions of the precise height measurement, in *The importance of Heights PROCEEDINGS "Geodesy and Surveying in the future"*, March 15–17, 1999, Gävle, Sweden, 205–212.
- Česnauskienė, J.; Alekniėnė, E. 2001. Adaptyvisis žemės paviršiaus judesių modelis Ignalinos AE geodinaminio poligono šiaurinėje dalyje, *Geodezija ir kartografija* 2(27): 74–80.
- Česnauskienė, J. 2002. Vertikaliųjų Žemės plutos judesiųprognozės Holto metodu galimybės, *Geodezija ir kartografija* 2(28): 49–53.
- D'anastasio, E.; De Martini, P.M.; Selvaggi, G.; Pantosti, D.; Marchioni A.; Maseroli, R. 2006. Short-term vertical velocity field in the Apennines (Italy) revealed by geodetic levelling data, *Tectonophysics* 418 (issues 3–4): 219–234.
- Demoulin, A. 2004. Reconciling geodetic and geological rates of vertical crustal motion in intraplate regions, *Earth and Planetary Science Letters* 221 (issues 1–4): 91–101.
- Edelman, T. 1954. Tectonic movements as resulting from the comparison of two precision levelings, *Geol. En mijnbouw* 16(16): 6–12.
- Ellman, A.; Torim, A.; Abols, N.; Kaminskis, J.; Sleiteris, E. 1999. Different solutions adopted to modernise the height networks in the Baltic countries, in *The importance of Heights PROCEEDINGS "Geodesy and Surveying in the future"*, March 15–17, 1999, Gävle, Sweden, 349–360.

Ernsperger, W.; Kok, J.J. 1986. Status and Results of the 1986 Adjustment of the United European Levelling Network – UELN–73, in *Paper contributed to the Symposium on Height Determination and Recent Crustal Movements in Western Europe, Federal Republic of Germany*, Sept. 15–19.

Fukahata, Y.; Honsho, C.; Matsu'ura M. 1996. Crustal movements on Shikoku, southwestern Japan, inferred from inversion analysis of levelling data using ABIC, *Tectonophysics* 257 (issues 2–4): 239–252.

Gamal, E.–F.; Teruyki, K. 2006. Secular crustal deformation and interplane coupling of the Japanese Islands as deduced from continuous GPS array, 1996–2001, *Tectonophysics* 422 (issues 1–4): 1–22.

GTKR 2.12.01.:2001 Lietuvos valstybinis geodezinis vertikalusis tinklas. *Techninių reikalavimų reglamentas*. Vilnius, 2001. 23 p.

Gottsmann J.; Rymer, H.; Berrino, G. 2006. Unrest at the Campi Flegrei caldera (Italy): A critical evaluation of source parameters from geodetic data inversion, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 150 (issues 1–3): 132–145.

Gudelis, V. 1955. Lietuvos pajūrio neotektoninio aktyvumo klausimu, *Lietuvos TSR MA darbai*, Vilnius, Serija B. 3, 26–38.

Hellwig, Z. 1969. Problem optymalnego wyboru predyktant, *Przegad statystyczny*, 3–4: 221–237.

Howle, J.F.; Langbein, J.O.; Farrar, D.; Wilkinson, S.K. 2003. Deformation near the Casa Diablo geothermal well field and related processes Long Valley caldera, Eastern California, 1993–2000, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 127 (issues 3–4): 365–390.

Ilginytė, V. 2001. Seismic displays in Lithuania, *Geologija* 36: 30–35.

Ilginytė, V.; Suveizdis, P. 1994. Lietuvos seismologinio monitorinio kūrimo problemos, *Gelmių geologinio tyrimo naudojimo ir apsaugos problemos Lietuvoje*. Vilnius, 53 p.

Jaboyedoff, M.; Derron, M.–H.; Manby, G.M. 2005. Note on seismic hazard assessment using gradiento f uplift velocities in the Turan block (Central Asia), *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5: 43–47.

Jaboyedoff, M.; Baillifard, F.; Derron, M.–H.. 2003. Preliminary note on uplift rates gradient, seismic activity and possible implications for brittle tectonics and rockslide prone areas: The example of western Switzerland, in *Bullet Society Vaud. SC. Nature* 88.3: 393–412.

Jucevičiūtė, V.; Kumetaitis, Z.; Šleiteris, E.; Būga, A.; Paršeliūnas, E.K.; Petroškevičius, P.; Zakarevičius, A. 2004. Development of the Lithuanian National Geodetic Control, *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*, in *Report on the Symposium of the IAG Sub-commission for Europe (EUREF) held in Toledo, 4–7 June 2003*. Frankfurt am Main. proc. Band 33(13): 255–258.

Kääriäinen, E. 1953. On the recent uplift of the Earth's crust in Finland, *Fennia*, 2(77): 15–21.

Kääriäinen, E. 1966. *The second levelling of Finland in 1935–1955*. Helsinki: Valtioneuvoston kirjapaino. 313 p.

Kääriäinen, J. 1999. Precise levellings in Finland, in *The importance of Heights PROCEEDINGS "Geodesy and Surveying in the future"*, March 15–17, 1999, Gävle, Sweden, 379–386.

Klug, A. 1994. *Untersuchungen im Westeuropäischen Höhennetz*. Technical University Dresden. 120 p.

Kazakevičius, S.V. 1998a. Pirmieji krašto niveliacijos tinklai Lietuvoje, *Žemėtvarka ir melioracija* 3(95): 72–82.

Kazakevičius, S.V. 1998b. Pirmieji krašto niveliacijos tinklai Lietuvoje, *Žemėtvarka ir melioracija* 4(96): 97–81.

- Kazakevičius, S. V. 1999. Pokariniai krašto niveliacijos tinklai Lietuvoje, *Žemėtvarka ir melioracija* 2(98): 88–101.
- Kasser, M. 1999. Best use of different altimetric determination techniques, in *The importance of Heights PROCEEDINGS "Geodesy and Surveying in the future", March 15–17, 1999, Gävle, Sweden*, 339–346.
- Kolupaila, S. 1926. Lietuvos niveliacijos, *Matininkas* 1: 2–6 p.
- Kolupaila, S. 1940. Lenkų precizinė niveliacija Vilniaus krašte, *Žemėtvarka ir melioracija* 3: 164–168 p.
- Kowalczyk, K. 2006. New model of the vertical crustal movements in the area of Poland, *Geodezija ir kartografija* 4(32): 83–87.
- Kowalczyk, K. 2008. Vertical crustal movements in Poland for instance any fragment three levelings network, in *Proceedings of the 7th International Conference „Environmental Engineering“ Selected papers, Vol. III, 22–23 May, 2008, Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Technika, 1354–1358.
- Kumetaitis, Z.; Petroškevičius P.; Paršeliūnas, E.; Ramanauskas, R.; Zakarevičius, A. 1994. National Report of Lithuania, in *Report on the Symposium for the European Reference Frame (EUREF) held in Warsaw 8 – 11 June 1994, Munchen*, 309–315.
- Lanari, R.; Berardino, P.; Borgström, S.; Del Gaudio, C.; De Martino, P.; Fornaro, G.; Guarino, S.; Ricciardi, G.P.; Sansosti, E.; Lundgren, P. 2004. The use of IFSAR and glassical geodetic techniques for caldera unrest episodes: application to the Campi Flegrei uplift event of 2000, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 133 (issues 1–4): 247–260.
- Lang, H.; Sacher, M. 1995. Status and Results of the Adjustment and Enlargement of the United European Levelling Network 1995 (UELN–95), in *Report on the Symposium of the IAG Subcommission for the European Reference Frame (EUREF) held in Kirkkonummi, Finland, May 3–6*, 86–96.
- Lang, H.; Sacher, M. 1996. Status and Results of the Adjustment and Enlargement of the United European Levelling Network 1995 (UELN–95), in *Report on the Symposium of the IAG Subcommission for the European Reference Frame (EUREF) held in Ankara, Turkey, May 22–25*, 163–169.
- Lang, H.; Sacher M. 1997. Status and Results of the Adjustment and Enlargement of the United European Levelling Network 1995 (UELN–95), in *Report on the Symposium of the IAG Subcommission for the European Reference Frame (EUREF) held in Sofia, Bulgaria, June 4–7*, 85–90.
- Langbein, J.O. 2003. Deformation of the Long Valley Caldera, California: inferences from measurements from 1988 to 2001, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 127 (issues 3–4): 247–267.
- Li, Y.-X.; Yang, G.-H.; Yang, S.-D. 2001. Preliminary division of active block boundary in Chinese mainland based on recent vertical crustal movement, *Acta Seismologica sinica* 1(14): 12–17.
- Liesis, I. 1962. Dabartiniai žemės plutos vertikalieji judesiai Pietrytiniame Pabaltijyje, *Geografinis metraštis* 5: 214–330.
- Lietuvos geologija. Sudarė Grigelis, A.; Kadūnas, V. 1994. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla. 447 p.
- Lietuvos gravimetrinio ir aukščių pagrindo tyrimas bei tobulinimas (mokslo darbo ataskaita)*. Vilnius, 1998. 286 p.
- Lietuvos valstybinio geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo sudarymas (baigiamoji ataskaita)*. Vilnius, 2006. 398 p.

Lietuvos valstybinio geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo sudarymas (baigiamoji ataskaita). Vilnius, 2003. 371 p.

Lietuvos žemės gelmių raida ir ištekliai. Sudarė Baltrūnas, V. 2004. Vilnius: Geologijos ir geografijos institutas, 699 p.

Lilje, M.; Eriksson, P.O. 1999. The production line used in the third precise levelling of Sweden, in *The importance of Heights PROCEEDINGS "Geodesy and Surveying in the future"*, March 15 – 17, 1999, Gävle, Sweden, 107–118.

Mäkinen, J.; Lilje, M.; Ägren, J.; Engsager, K.; Ericsson, P.-O.; Jepsen, C.; Olsson, P.-A.; Saaranen, V.; Schmidt, K.; Svensson, R.; Takalo, M.; Vestøl, O. 2005. Regional Adjustment of Precise Levellings around the Baltic, in *Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF)*, 1–4 June, 2005, Vienna, Austria, 1–14.

Mäkinen, J.; Saaranen, V. 1998. Determination of post-glacial land uplift from the three precise levellings in Finland, *Journal of Geodesy* 72: 516–529.

Mäkinen, J.; Saaranen, V. 1999. Computation of postglacial land uplift from the three precise levellings in Finland, in *The importance of Heights PROCEEDINGS "Geodesy and Surveying in the future"*, March 15–17, 1999, Gävle, Sweden, 287–288.

Menzel, M. 1999. The Development of levels during the past 25 years, with special emphasis on the NI002 optical geodetic level and the DiNi 11 digital level, in *The importance of Heights PROCEEDINGS "Geodesy and Surveying in the future"*, March 15 – 17, 1999, Gävle, Sweden, 85–94.

Mierlo, J. 1983. On the reduction of levelling data to a common Epoch, in *Paper 38 Contributions to the Workshop on Precise Levelling, held in Hannover*, Fed. Rep. of Germany, 16–18.

Miyabe, N. 1952. Vertical Earth Movements in Japan as Deduced from the Results of Rerunning the Precise Levels, *Bulleting Earthquake Res. Institue* 30: 127–162.

Mizoue, M. 1967. Modes of Secular Vertical Movements of the Earth's Crust, *Bulletin of the Earthquake Research Institute* 45: 1019–1090.

Motuza, G.; Vėjelytė, I. 2005. Telšių tektoninių deformacijų zonos metrologinis apibūdinimas, *Geologija* 49: 1–9.

Motuza, G.; Žalūdienė, G. 2001. J. Lukoševičiaus uolienų apytakos ratas ir metamorfizmo zonos (facijos), *Geologija* 36: 3–12.

Mrlina, J. 2000. Vertical displacements in the Nový Kostel seismoactive area, *Studia geophysic et geodesy* 44: 336–345.

Murase, M.; Ono, K.; Ito, T.; Miyajima, R.; Mori, H.; Aoyama, H.; Oshima, H.; Yosida, Y.; Tera-da, A.; Koyama, E.; Takeda, T.; Watanabe, H.; Kimata, F.; Fuji, N. 2007. time-dependet model for volume changes in pressure sources at Asama volcano, central Japan due to vertical deformations detected by precise levelling during 1902–2005, *Journal of Volcanology and Geothermal research* 164 (issues 1–2): 54–75.

Newman, a.V.; Dixon, T.H.; Gourmelen, N. 2005. A four-dimensional vissoelastic deformation model for Long Valley Caldera, California, between 1995 and 2000, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 150 (issues 1–3): 244–269.

Nielsen, S.B.; Bayer, U. 2003. Dynamics of sedimentary basin inversion: observations and modeling, *Tectonophysics* 373 (issues 1–4): 1–3.

Pačėsa, A.; Šliaupa, S.; Datkūnas, J. 2005. Naujausi Žemės drebėjimai Baltijos regione ir Lietuvos seisminis monitoringas, *Geologija* 50: 8–18.

Paršeliūnas, E.K.; Sacher, M.; Ihde, J. 2000. Preparation of Lithuanian lelevling network data for united European levelling network, *Geodezija ir kartografija* 4(26). 171–186.

- Paškevičius, J. 1994. Baltijos respublikų geologija. Vilnius: Valstybinis leidybos centras, 446 p.
- Paškevičius, J. 1997. *The geology of the Baltic republics*. Vilnius: Lietuvos geologijos tarnyba, 387 p.
- Petroškevičius, P. 2002. *Fizinė geodezija: Žemės gravitacijos laukas*. Vilnius: Technika. 100 p.
- Petroškevičius, P. 2005. *Fizinė geodezija: Žemės gravitacijos laukas*. Vilnius: Technika. 99 p.
- Petroškevičius, P.; Paršeliūnas, E.K. 1998. Europos vertikaliojo tinklo plėtimas Lietuvos teritorijoje, *Geodezija ir kartografija* 3(24): 133–145.
- Randjarv, J. 1993. Vertical movements of the Earth's crust in the Baltic Region, in *Reports of the Finish Geodetic Institute*, 93:2, Helsinki, 38 p.
- Ratautas, M. 1937. Karo Topografijos skyriaus vykdyti ir projektuojami pagrindiniai geodeziniai darbai, *Žemėtvarka ir melioracija* 4: 325–332.
- Sacher, M.; Lang, H.; Ihde, J. 1998. Status and Results of the Adjustment and Enlargement of the United European Levelling Network 1995 (UELN-95), in *Report on the Symposium of the IAG Subcommission for the European Reference Frame (EUREF) held in Bad Neuenahr-Ahrweiler, June 10–13*, 131–141.
- Sacher, M.; Ihde, J.; Celms, A.; Ellmann, A. 1999. The first UELN stage is achieved, further steps are planned, in *Report on the Symposium of the IAG Subcommission for the European Reference Frame (EUREF) held in Prague, June 2–5*, 87–94.
- Sabadini, R. 2007. Plate deformation, *Treatise on Geophysics* 6: 153–215.
- Schwartz, S.Y. 2007. Episodic Aseismic Slip at Plate Boudaries, *Treatise on Geophysics* 4: 445–472.
- Seto, T.; Chiba, M.; Nagao, T.; Muraki, M. 1999. Results of test and experiments with SDL30 digital level, in *The importance of Heights PROCEEDINGS "Geodesy and Surveying in the future"*, March 15–17, 1999, Gävle, Sweden, 69–78.
- Skeivalas, J. 1995. *Koreliuotų geodezinių matavimų rezultatų matematinis apdorojimas*. Vilnius: Technika., 272 p.
- Skeivalas, J. 2001. *Metrologinių ir geodezinių matavimų apdorojimas*. Vilnius: Technika. 220.
- Skeivalas, J.; Gečytė, S.; Aleknienė, E.; Zigmantienė, E. 2007. Geodezinio vertikaliojo tinklo klaidų analizė taikant skirtingus išlyginimo modelius, *Geodezija ir kartografija* 2(33): 55–60.
- Skeivalas, J.; Krikštonis, B. 2001. Normalinių aukščių nustatymo tikslumo analizė, *Geodezija ir kartografija* 3(27): 101–103.
- Suveizdis, P. 2003. *Lietuvos tektoninė sandara*. Vilnius: Geologijos ir geografijos institutas. 160 p.
- Suveizdis, P. 1967. *Mūsų gimtojo krašto geologinė praeitis*. Vilnius: Lietuvos TSR „Žinijos“ draugijos fotoprintas. 13 p.
- Sturkell, E.; Sigmundson, F.; Žlunga, R. 2005. 1983–2003 decaying rate of deflation at Askja caldera: Pressure decrease in an extensive magma plumbing system at a spreading plate boundary, *Bulletin of Volcanology* 68 (issues 7–8): 727–735 p.
- Šliaupa, A. 2003. Formation and architecture of the Quaternary glacial succession, *Geologija* 44: 31–37.
- Šliaupa, S. 1997. *Pietų Lietuvos tektonika*: daktaro disertacija. Vilnius: Geologijos institutas. 246 p.
- Šliaupa, S.; Bitinas, A.; Zakarevičius, A. 2005. Predictive Model of the Vertical Movements of the Earth's Surface: Implications for the Land Use of the Lithuanian Coastal Area, *Recent Developments in Environmental Protection, European Academic Publishers*, Bergen: 221–235.

Šliaupa, S.; Pačėsa, A.; Statkūnas, J. 2005. Naujausi Žemės drebėjimai Baltijos regione ir Lietuvos seisminis monitoringas, *Geologija* 50: 8–18.

Takeo, I.; Shioichi, Y.; Shin'ichi M. 1999. Interplate coupling in southwest Japan deduced from inversion analysis of GPS data, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 115 (issue 1): 17–43.

Tosi, L.; Teatini, P.; Carbognin, L.; Frankenfield, J. 2006. A new project to monitor land subsidence in the northern Venice coastland (Italy). *Springer – Verlag*, 889–898 p.

Vekteris, V.; Kasparaitis, A.; Kaušinis, S.; Kanapėnas, R. 2000. *Matavimų teorija ir praktika*. Vilnius: Žiburio leidykla. 380 p.

Vestøl, O. 2006. Datermination of postglacial land uplift in Fennoscandia from levelling, tide-gauges and continuous GPS stations using least squares collocation, *J Geod* 80: 248–258.

Villadsen, S. S. 1999a. Implementation of a new, common height datum in Denmark, in *The importance of Heights PROCEEDINGS “Geodesy and Surveying in the future”*, March 15–17, 1999, Gävle, Sweden, 333–338.

Villadsen, S. S. 1999b. The 1998 national levelling report from Denmark, in *The importance of Heights PROCEEDINGS “Geodesy and Surveying in the future”*, March 15–17, 1999, Gävle, Sweden, 397–400.

Wehmann, W. 1999. Experience with various digital levels in both motorised and conventional “on foot” precise levelling in east Germany, in *The importance of Heights PROCEEDINGS “Geodesy and Surveying in the future”*, March 15–17, 1999, Gävle, Sweden, 95–106.

Zakarevičius, A. 1976. Kai kurie vertikalų Žemės paviršiaus judesių gradientų planų sudarymo ir panaudojimo klausimai, *Geodezijos darbai* 8: 20–25 p.

Zakarevičius, A. 1994a. *Dabartinių vertikalų Žemės plutos judesių Lietuvos teritorijoje tyrimas*, Vilnius: Technika. 276 p.

Zakarevičius, A. 1994b. Vertikalų žemės paviršiaus judesių Ignalinos atominės elektrinės geodinaminiam poligone analizė, *Geodezijos darbai* 19: 101–108.

Zakarevičius, A. 1997. The results of investigation of Vertical movements of the Earth Crust in Ignalina Nuclear Power Plant geodynamic polygon, *Geodezija ir kartografija* 1(25): 78–85.

Zakarevičius, A. 2003. *Dabartinių geodinaminių procesų Lietuvos teritorijoje tyrimas*. Vilnius: Technika. 195 p.

Zakarevičius, A. 2007. Dabartinių geodinaminių procesų įvertinimas sudarant vertikaliosios geodezinius tinklus, *Geodezija ir kartografija* 3(33): 65–68.

Zakarevičius, A.; Ramanauskas, R. 1985. Žemės paviršiaus vertikalųjų judesių tyrimas dispersinės analizės būdu, *Geodezijos darbai* 13: 58–61.

Zakarevičius, A.; Anikėnienė, A. 2007. Dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių Šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje regresiniai modeliai, *Geodezija ir kartografija* 4(33): 91–97.

Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Anikėnienė, A.; Dėnas, Ž.; Šliaupienė, R. 2008. A model of recent vertical movements of the earth's surface in Lithuania: integration of geodetic levelling data and geological parameters, *Geologija* 4(64): 254–263.

Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Anikėnienė, A. 2009. Naujas Lietuvos teritorijos vertikalųjų Žemės plutos judesių žemėlapis. *Geodezija ir kartografija* 35(10): 5–13.

Žalnierukas, A. 1999. Lietuvos geodezija Europos erdvėje, *Žemėtvarka ir melioracija* 1(97): 62–64 p.

Арефьев, С. С. 2007. Сильнейшие землетрясения на территории России в 2003–2006 гг., в кн. *Национальный отчет Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического союза 2003–2006*, Москва, 21–28.

Белоусов, В. В.; Павленкова, Н. И. 1985. Типы земной коры, *Геотектоника* 1: 3–14.

Беляевский, Н. А. 1981. *Строение земной коры континентов по геолого-геофизическим данным*. Москва. 431 с.

Богданов, А. Ф. 1976. *Тектоника платформ и складчатых областей*. Москва: Наука. 338 с.

Брегман, Г. Р. 1947. Геодезические высоты в связи с проблемой уровня Каспия, *Метеорология и гидрология* 1: 7–12.

Видуев, Н. Г.; Кондра, Г. С. 1969. *Вероятностно-статистический анализ погрешностей измерений*. Москва: Недра. 319.

Войткевич, Г. В. 1988. *Основы теории происхождения Земли*. Москва. 110 с.

Гайдаев, П. А. Большаков, В. Д. 1969. *Теория математической обработки геодезических измерений*. Москва: Недра. 399.

Геодезические методы изучения деформаций Земной коры на геодинамических полигонах, 1985. Методическое руководство. Москва. 113 с.

Гурский, Б. Н.; Гурский, Г. В. 1985. *Геология*. Минск: Высшая школа. 317 с.

Гудялис, В. 1973. *Рельеф и четвертичные отложения Прибалтики*. Вильнюс: Минтис. 264 с.

Гзовский, М. В. 1967. Градиент скорости движения, Напряженное состояние коры и энергии тектонических процессов новейшего времени, в сб. *Тектонические движения и новейшие структуры земной коры*. Москва: Недра, 23–31.

Грачев, А. Ф.; Мухамедиев, Ш. А.; Шмидта, В. А. 2000. Геометрические характеристики новейших тектонических движений земной коры Северной Евразии, *Российский журнал наук о Земле* 1(2): 7–18.

Длин, А. М. 1975. *Факторный анализ в производстве*. Москва. Статистика, 328 с.

Дрейпер, Н.; Смит, Г. 1986 *Прикладной регрессионный анализ*. Москва: Финансы и статистика, 365.

Дроздов, В. В. 2002. Новейшая тектоника и нефтегазность Центрального Предкавказья, в сб. *Научные труды "Тектоника и геодинамика"* 1: 8–16.

Жарков, В. Н. 1978. *Внутреннее строение Земли и планет*. Москва: Мир. 415 с.

Желнин, Г. А. 1960а. Изучение вертикальных движений земной коры в Эстонский ССР методом повторных нивелировок, в кн.: *Неотектонические движения в Прибалтике*. Тарту, 76–87.

Желнин, Г. А. 1960b. Некоторые вопросы из практики применения метода повторных нивелировок, в кн.: *Неотектонические движения в Прибалтике*. Тарту, 30–41.

Карта градиентов скоростей вертикальных движений вдоль линии повторного нивелирования Восточной Европы. Москва, 1993.

Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. Москва, 1971. 18.

Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. Москва, 1973.

Карта современных вертикальных движений земной коры на территории Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Румынии, СССР (Европейская часть), Чехословакии. Мсштаб 1:10000000, ГУГК СССР, 1986. Москва, 1971, 18.

Касьянова, Н. А.; Кузмин, Ю. О. 1996. *Применение структурно-геодинамического картирования в нефтегазовой отрасли. Современная аномальная геодинамика недр и ее влияние на объекты нефтегазового комплекса*. Москва: АОЗТ Геоинформмарк, 381.

Корн, Г.; Корн, Т. 1970. *Справочник по математике*. Москва: Наука. 720.

Крамбейн, У.; Грейбил, Ф. 1969. *Модели в геологии*. Москва: Мир. 396.

Лесис, И. 1960. Современные движения земной коры на территории юго-западной Прибалтики по данным высокоточных нивелировок, в кн. *Неотектонические движения в Прибалтике*. Тарту, 42–55.

Лесис, И. 1963. Современные вертикальные движения земной коры на территории Юго-Восточной Прибалтики по данным точных и высокоточных нивелировок, *Современные движения земной коры*. Москва, 88–94.

Лесис, И.; Гуделис, В. 1961. Вертикальные движения земной коры на территории юго-восточной Прибалтики, *Неотектоника СССР*. Рига, 117–131.

Лиленберг, Д. А.; Сетунская, Л. Е. 1982. *Проблемы содержания, типологии и методики составления карт современных тектонических движений*. Москва: Наука. 76 с.

Матцкова, В. А. 1963. Уточненная карта скорости современных вертикальных движений Земной коры на западе европейской части СССР и некоторые соображения о периоде этих движений, в сб. *Современные движения Земной коры* 1: 73–87.

Мещеряков, Ю. А. 1958. Современные движения земной коры, *Природа* 9: 8–12.

Николаев, Н. И.; Шенкарёва, Г. А. 1967. Карта градиента скоростей новейших тектонических движений территории СССР, в сб. *Тектонические движения и новейшие структуры земной коры*. Москва: Недра, 45–59.

Николаев, Н. И. 1988. *Новейшая тектоника и геодинамика Литосферы*. Москва: Недра. 490.

Никонов, А. А.; Энман, С. В. 2007. Анализ вертикальных движений земной коры в период Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. (по уровнемерным данным), *Физика земли* 6: 52–65.

Никонов, А. А. 1977. *Голоценовые и современные движения земной коры*. Москва: Наука. 239 с.

Никонов, А. А. 2006. *Современные движения земной коры*. Москва: КомКнига. 181 с.

Павленкова, Н.И. 1983. Глубинные неоднородности Земли, *Природа* 12: 5–9.

Ражинскас, А. 1975. Геопотенциальное поле Прибалтики и его связь с современными движениями земной коры, *Современные движения Прибалтики*. Тарту, 58–63.

Рандярв, Ю. Ю. 1968. *Исследование современных вертикальных движений земной коры в Прибалтике геодезическим методом*: автореферат. Москва. 30 с.

Рандярв, Ю. Ю. 1975. Современные вертикальные движения земной коры в Прибалтике по данным высокоточных нивелировок 1930–1970, *«Труды ЛСХА»*, Т. 5, Елгава, 21–37.

Рингвуд, А. Е. 1981. *Состав и происхождение Земли*. Москва: Наука. 113 с.

Родионов, Д. А. 1981. *Статистические решения в геологии*. Москва: Недра. 183 с.

ГУГК 29.02.1980. *Составление карт градиентов скорости современных вертикальных движений земной коры на регион. Руководящий технический материал*. Москва, 1980 с.

Скейвалас, И. М. 1991. *Математическая обработка результатов геодезических измерений*. Москва: Недра, 157.

Современные вертикальные движения земной коры. Труды ЦНИИГА и К. 1958, выпуск 123. Москва.

Тектоника Прибалтики. 1979. Вильнюс: Мокслас, 90.

Уломов, В. И. 1973 Динамика земной коры Средней Азии и методика изучения её горизонтальных движений, *Информационное сообщение Академии Наук Узбекистана* 76: 18–27.

Уломов, В. И. 2004. О роли горизонтальных тектонических движений в сейсмогеодинамике и прогнозе сейсмической опасности, *Физика земли* 9: 14–30.

Хаин, В. Е. 1983. *Общая геотектоника*. Москва: Мир. 357 с.

Харченко, В. М. 2009. Новые данные о транскавказском субмеридиальном новейшем поднятии и его связь с залежами углеводородов и очагами землетрясений, *Исследование Земли из космоса*, 1: 80–91.

Харченко, В. М.; Бедина, Р. М. 2007. Сейсмоаэрокосмический метод выявления перспективных структур на нефть и газ на примере Нурин-Хагской кольцевой космофотоаномалии в Калмыкии, *Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета* 4(13): 7–12.

Юдин, В. В. 1995. Геодинамика Крыма и последствия землетрясений, в сб. *Геодинамические исследования в Украине*, Киев: АНУ, 36–44.

Юн, Л. П.; Лучкин, А. Ю.; Кулева, Л. К. 2009. Карта современных вертикальных движений земной коры на территории г. Ташкента и его окрестностей, *Устойчивое развитие горных территорий* 1: 64–67.

Autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Puzienė, R. 2009. Dabartinių Žemės plutos judesių įtakos vertinimas eksploatuojant niveliacijos tinklus, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 1(4): 47–50. ISSN 2029-2341 (*Index Copernicus*).

Zakarevičius, A.; Puzienė R. 2005. Išmatuotų Lietuvos pajūrio Žemės paviršiaus judesių ir teritorijos geologinių rodiklių sąsajos, *Geodezija ir kartografija* 3(31): 92–96. ISSN 1392-1541 (Compendex).

Zakarevičius, A.; Puzienė R. 2008. Dabartinių Žemės plutos judesių Lietuvos pajūrio teritorijoje sąsajos su nuosėdinės dangos savybėmis, *Geodezija ir kartografija* 1(34): 23–28. ISSN 1392-1541 (Compendex).

Zakarevičius, A.; Puzienė R. 2009. Pirmosios klasės niveliacijų linijose Lietuvos teritorijoje išmatuotų Žemės paviršiaus judesių sąsajų su geologiniais rodikliais tyrimas, *Geodezija ir kartografija* 1(35): 23–28. ISSN 1392-1541 (Compendex).

Zakarevičius, A.; Puzienė R.; Anikėnienė, A. 2009. Dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių įtakos niveliacijos matavimams vertinimas, *Geodezija ir kartografija* 3(35): 99–103. ISSN 1392-1541 (Compendex).

Zakarevičius, A.; Puzienė R.; Stanionis, A. 2005. Koordinatinių sistemų paklaidų įtaka Žemės plutos deformacijų rodiklių įvertinimams, *Geodezija ir kartografija* 1(31): 32–37. ISSN 1392-1541 (Compendex).

Straipsniai kituose leidiniuose

- Anikėnienė A.; Puzienė, R. 2006. Vertikaliųjų Žemės plutos judesių geotektoninis interpretavimas taikant statistinę ir daugiakriterinę analizę, iš *Respublikinė mokslinė-praktinė konferencija „Matavimų Inžinerija ir GIS“ Mastaičiai*, 4–9. ISBN 9955-586-97-4.
- Puzienė, R. 2004. Dabartinių Žemės plutos judesių linijos Mikytai–Klaipėda–Palanga sąsajos su teritorijos tektoniniais ypatumais, iš *7-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“*, įvykusios Vilniuje 2004 m. kovo 25 d., pranešimų medžiaga: *Aplinkos apsaugos inžinerija*. Vilnius: Technika, 269–275. ISBN 9986-05-755-8.
- Puzienė, R. 2005. Dabartinių Žemės paviršiaus judesių kompleksinė koreliacinė analizė, iš *8-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“*, įvykusios Vilniuje 2005 m. kovo 24 d., pranešimų medžiaga: *Aplinkos apsaugos inžinerija*. Vilnius: Technika, 129–135. ISBN 9986-05-876-7.
- Puzienė, R. 2006. Lietuvos pajūrio geologinės sąrangos bei išmatuotųjų Žemės paviršiaus judesių regresinė analizė, iš *9-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2006 m. kovo 30 d., pranešimų medžiaga: *Aplinkos apsaugos inžinerija*. Vilnius: Technika, 128–134. ISBN 9955-28-037-9.
- Zakarevičius, A.; Puzienė, R.; Anikėnienė A. 2005. Geotectonic interpretation of recent Earth crust movements in sedimentary basins, *International symposium on “Modern technologies, Education and professional practice in geodesy and related fields”* papers: 3–4 November 2005, Sofia, Bulgaria. Union of surveyors and land managers in Bulgaria, 225–235.
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Dėnas, Ž.; Stanionis, A.; Anikėnienė, A.; Puzienė R. 2008. Inheritance of the recent vertical movements of the Earth's crust and relationship to the topography in Lithuania, in *Proceedings of the 7th International Conference „Environmental Engineering“ Selected papers, Vol. III*, 22–23 May, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1508–1513. ISBN 978-9955-28-265-5. (Thomson ISI Proceedings)
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Puzienė, R.; Anikėnienė, A.; Būga, A.; Dėnas Ž. 2005. Tectonic interpretation of measured recent movements of the Earth surface of sedimentary basin, in *Proceedings of the 6th International Conference „Environmental Engineering“ Selected Papers, Vol. II*, 26–27 May, 2005, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1034–1040. ISBN 9986-05-851-1. (Thomson ISI Proceedings)
- Пузене, Р.; Закарявичус, А. 2004. Взаимосвязь между изменениями высот знаков вертикальной геодезической сети и тектоническими структурами на Балтийском побережье, *International symposium on “Land use and Land management” papers*: 12–14 May 2004. Kaunas: Akademija, 66–68.

Rūta Puzienė

VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ ĮTAKOS NIVELIACIJOS TINKLAMS
VERTINIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
matavimų inžinerija (10T)

EVALUATION OF THE IMPACT OF VERTICAL MOVEMENTS
OF THE EARTH'S CRUST ON LEVELLING NETWORKS

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Measurement Engineering (10T)

2009 12 11. 15,0 sp. I. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“, Saulėtekio al. 11,
10223 Vilnius, <http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Baltijos kopija“,
Kareivių g. 13B, 09109 Vilnius
<http://www.kopija.lt>