



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Sigita Norkutė

**VERTIKALIOJO TINKLO LINIJOS JONAVA – ZARASAI NIVELIAVIMO
REZULTATŲ ANALIZĖ**

**ANALYSIS OF THE LEVELLING RESULTS OF VERTICAL NETWORK
LINE JONAVA – ZARASAI**

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 62410T102

Geodezinių tinklų specializacija

Matavimų inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Vladislovas Česlovas Aksamitauskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Sigita Norkutė

**VERTIKALIOJO TINKLO LINIJOS JONAVA – ZARASAI NIVELIAVIMO
REZULTATŲ ANALIZĖ**

**ANALYSIS OF THE LEVELLING RESULTS OF VERTICAL NETWORK
LINE JONAVA – ZARASAI**

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 62410T102

Geodezinių tinklų specializacija

Matavimų inžinerijos studijų kryptis

Vadovas doc. dr. Raimundas Putrimas

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

(Parašas)

(Data)

Konsultantas lekt. Regina Žukienė

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

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2011

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2010–2011 m. m.
6 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Sigita Norkutė, 20054464

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos

(Fakultetas)

Geodezijos ir kartografijos, GTLmf - 09

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2010 m. _____ d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema Vertikalojo tinklo linijos
Jonava – Zarasai niveliavimo rezultatų analizė

patvirtintas 20 09 m. gruodžio 1 d. dekanu potvarkiu Nr. 273 ap, yra
savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar
netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo
mokslininkai ir specialistai: lekt. Regina Žukienė

Mano darbo (projekto) vadovas doc. dr. Raimundas Putrimas

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

SIGITA NORKUTĖ

(Parašas)

(Vardas ir pavardė)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

TVIRTINU

Matavimų inžinerijos studijų kryptis

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 62410T102

Geodezinių tinklų specializacija

Katedros vedėjas

(Parašas)

Vladislovas Česlovas Aksamitauskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei) Sigitai Norkutei

Baigiamojo darbo tema: Vertikalojo tinklo linijos Jonava – Zarasai niveliavimo rezultatų analizė

patvirtinta 2009 m. gruodžio 1 d. dekanų potvarkiu Nr. 373 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 201...m. d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Įvadas. Esamo Lietuvos aukščių pagrindo apžvalga (valstybinio vertikalojo tinklo sudarymo nuostatos, dalyvavimas tarptautiniuose projektuose, Lietuvos vertikalusis pirmosios klasės tinklas). Atliktų paruošiamųjų darbų ir punktų niveliavimo vertikalojo tinklo linijoje Jonava – Zarasai apžvalga. Precizinio niveliavimo metodikos ir naudojamų prietaisų bei priemonių aprašymas. Precizinio niveliavimo prietaisų tyrimai (skaitmeninių nivelių sistemų ir kodinių matuoklių kalibravimo rezultatai). Vertikalojo tinklo matavimo duomenų apdorojimo metodikos pateikimas. 1998 – 2006 m. sudaryto Lietuvos vertikalojo pirmosios klasės tinklo linijos Jonava – Zarasai niveliavimo rezultatų analizė. Išvados.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: lekt. Regina Žukienė

Vadovas
(Parašas)

doc. dr. Raimundas Putrimas

Užduotį gavau

.....
(Parašas)

Sigita Norkutė

(Vardas, pavardė)

.....
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Aplinkos inžinerijos fakultetas

Geodezijos ir kadastro katedra

ISBN ISSN

Egz. sk. 1

Data 2011-06-01

Geodezijos ir kartografijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Vertikalojo tinklo linijos Jonava – Zarasai niveliavimo rezultatų analizė**

Autorius **Sigita Norkutė**

Vadovas doc. dr. **Raimundas Putrimas**

Kalba

☒ X

Lietuvių

☐ užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe analizuojami Lietuvos geodezinio vertikalojo pirmosios klasės tinklo linijos Jonava – Zarasai niveliavimo rezultatai. Darbe apžvelgtos vertikalojo tinklo sudarymo nuostatos, šalies dalyvavimas tarptautiniuose projektuose, sudarytas vertikalusis pirmosios klasės tinklas, vertikalojo tinklo sudarymo metodika bei prietaisai ir priemonės, naudojami šio tinklo matavimuose. Darbe pateikti eksperimentiniai nivelyrų sistemos kalibravimo rezultatai ir pavienių matuoklių kalibravimo rezultatai. Pateikiama niveliavimo duomenų apdorojimo metodika. Baigiamajame darbe pagal nivelyrų sistemos bei pavienių matuoklių kalibravimo rezultatus nagrinėjamos kalibravimo, refrakcijos ir temperatūros pataisos, analizuojamas nesąryšių ir temperatūros kitimas vertikalojo tinklo linijoje Jonava – Zarasai, skaičiuojamas niveliavimo rezultatų tikslumas.

Darbo pabaigoje pateikiamos išvados.

Darbą sudaro: įvadas, 4 skyriai, išvados, literatūros ir kitų šaltinių sąrašas.

Darbo apimtis – 70 p. teksto be priedų, 44 iliustr., 11 lent., 34 bibliografiniai šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: vertikalusis tinklas, niveliavimas, kalibravimas, refrakcija

Vilnius Gediminas Technical University

Enviromental Engineering faculty

Geodesy and Cadastre department

ISBN ISSN

Copies No 1

Date 2011-06-01

Geodesy and Mapping study programme master thesis.

Title: **Analysis of the leveling results of vertical network line Jonava – Zarasai**

Author **Sigita Norkutė**

Academic supervisor **doc. dr. Raimundas Putrimas**

Thesis language

☒ X

Lithuanian

☐

Foreign (English)

Annotation

Master's thesis aim - analysis of the levelling results of the vertical network line Jonava – Zarasai.

At work is described technical regulations of the vertical network, first order vertical network and also used measurement technique. At work is presented experimental results of digital levels system calibration and results of levelling stuffs calibration. By these results in this work is performed analysis of refraction, calibration and temperature corrections, and also analysis of the air temperature and heights differences mismatching. At work also was calculated leveling accuracy. In the end of the work is presented conclusions.

Structure: introduction, 4 chapters, conclusions and suggestions, references.

Thesis consist of: 70p. text without appendixes, 44 pictures, 11 tables, 34 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: vertical network, leveling, calibration, refraction

Turinys

Paveikslų sąrašas	8
Lentelių sąrašas.....	10
IVADAS.....	11
1. AUKŠČIŲ PAGRINDAS LIETUVOJE.....	13
1.1. Valstybinio vertikaliojo tinklo sudarymo nuostatai	13
1.2. Tarptautiniai projektai EUVN ir BSL	15
1.3. Lietuvos valstybinis vertikalusis pirmosios klasės tinklas	18
1.3.1. Vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai punktų rekognoskavimas ir projektavimas	21
1.3.2. Geodezinio vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai (atkarpos Utena – Zarasai) punktų niveliavimas.....	22
1.4. Precizinio niveliavimo metodika skaitmeniniais nivelyrais <i>Wild NA3003</i>	22
2. PRECIZINIO NIVELIAVIMO PRIETAISŲ TYRIMAI	27
2.1. Precizinių skaitmeninių nivelyrų sistemų kalibravimas.....	27
2.2. Kodinių matuoklių kalibravimas.....	30
3. VERTIKALIOJO TINKLO MATAVIMO DUOMENŲ APDOROJIMAS.....	33
3.1. Mėnulio ir Saulės poveikio pataisų skaičiavimas	33
3.2. Temperatūros pataisų skaičiavimas	34
3.3. Kalibravimo pataisų skaičiavimas	34
3.4. Refrakcijos pataisų skaičiavimas	35
3.5. Normalinių pataisų skaičiavimas (Helmerto sunkio lauke)	37
3.6. Sunkio pagreičio skaičiavimas sunkio sistemoje IGSN 71	38
3.7. Normalinių pataisų skaičiavimas (GRS 80 sunkio lauke).....	39
4. VERTIKALIOJO TINKLO LINIJOS JONAVA – ZARASAI NIVELIAVIMO REZULTATŲ ANALIZĖ.....	41
4.1. Kalibravimo pataisų analizė	41
4.2. Refrakcijos pataisų analizė	43
4.3. Temperatūros pataisų kitimas priklausomai nuo aukščių skirtumų reikšmių	47
4.4. Temperatūros pataisų skirtumų kitimas	49
4.5. Temperatūros skirtumų kitimo gegužės, liepos ir rugsėjo mėnesiais analizė	51
4.6. Nesąryšių kitimo analizė	54
4.7. Niveliavimo rezultatų tikslumo skaičiavimas.....	61
IŠVADOS.....	65
LITERATŪROS IR KITŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	67
PRIEDAI	70

Paveikslų sąrašas

- 1.1 pav. Europos atraminis vertikalusis tinklas (EUVN), 16 p.
- 1.2 pav. BSL 97 GPS tinklas, 17 p.
- 1.3 pav. Lietuvos valstybinis geodezinis vertikalusis pirmosios klasės tinklas, 19 p.
- 1.4 pav. Vientiso Europos vertikaliojo tinklo fragmentas, 21 p.
- 1.5 pav. Skirtingų skaitmeninio niveliavimo kodų pavyzdžiai, 23 p.
- 1.6 pav. Skaitmeninis nivelyras *Wild NA3003* ir kodinė matuoklė *GPCL3*, 24 p.
- 1.7 pav. Kontaktinis elektroninis termometras *Ama-digit ad 30th*, 26 p.
- 2.1 pav. Suomijos Geodezijos instituto nivelių sistemos kalibravimo komparatorius, 27 p.
- 2.2 pav. Suomijos Geodezijos instituto nivelių sistemos kalibravimo principas, 28 p.
- 2.3 pav. 2004 m. visų kodinių matuoklių kalibravimo pataisų grafikai, 31 p.
- 2.4 pav. 2005 m. visų kodinių matuoklių kalibravimo pataisų grafikai, 32 p.
- 3.1 pav. Refrakcijos įtakos matuoklės atskaitai schema, 37 p.
- 4.1 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Jonava – Ukmergė, 41 p.
- 4.2 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Ukmergė – Utena, 42 p.
- 4.3 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Utena – Degučiai, 42 p.
- 4.4 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Degučiai – Zarasai, 42 p.
- 4.5 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Jonava – Ukmergė (1), 44 p.
- 4.6 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Jonava – Ukmergė (2), 44p.
- 4.7 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Jonava – Ukmergė, 45 p.
- 4.8 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Ukmergė – Utena, 45 p.
- 4.9 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Utena – Degučiai, 45 p.
- 4.10 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Degučiai – Zarasai, 46 p.
- 4.11 pav. Temperatūros pataisos linijoje Jonava – Ukmergė, 47 p.
- 4.12 pav. Temperatūros pataisos linijoje Ukmergė – Utena, 47 p.
- 4.13 pav. Temperatūros pataisos linijoje Utena – Degučiai, 48 p.
- 4.14 pav. Temperatūros pataisos linijoje Degučiai – Zarasai, 48 p.
- 4.15 pav. Temperatūros pataisų skirtumai linijoje Jonava – Ukmergė, 49 p.
- 4.16 pav. Temperatūros pataisų skirtumai linijoje Ukmergė – Utena, 50 p.
- 4.17 pav. Temperatūros pataisų skirtumai linijoje Utena – Degučiai, 50 p.
- 4.18 pav. Temperatūros pataisų skirtumai linijoje Degučiai – Zarasai, 50 p.
- 4.19 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas gegužės mėnesį (1), 51 p.
- 4.20 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas gegužės mėnesį (2), 52 p.
- 4.21 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas liepos mėnesį (1), 52 p.

- 4.22 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas liepos mėnesį (2), 52 p.
- 4.23 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas rugsėjo mėnesį (1), 53 p.
- 4.24 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas rugsėjo mėnesį (2), 53 p.
- 4.25 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (1), 58 p.
- 4.26 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (2), 58 p.
- 4.27 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (3), 58 p.
- 4.28 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (4), 59 p.
- 4.29 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (5), 59 p.
- 4.30 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (6), 59 p.
- 4.31 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (7), 60 p.
- 4.32 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (8), 60 p.

Lentelių sąrašas

- 1.1 lentelė. Lietuvos valstybinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo charakteristikos, 20 p.
- 2.1 lentelė. Kalibravimo koeficientai, redukuoti į 20 °C temperatūrą, 30 p.
- 4.1 lentelė. Atkarpos Jonava – Ukmergė skaičiavimų rezultatai, 55 p.
- 4.2 lentelė. Atkarpos Ukmergė – Utena skaičiavimų rezultatai, 56 p.
- 4.3 lentelė. Atkarpos Utena – Degučiai skaičiavimų rezultatai, 56 p.
- 4.4 lentelė. Atkarpos Degučiai – Zarasai skaičiavimų rezultatai, 57 p.
- 4.5 lentelė. Niveliavimo rezultatų tikslumo skaičiavimas (linija Jonava – Ukmergė), 62 p.
- 4.6 lentelė. Niveliavimo rezultatų tikslumo skaičiavimas (linija Ukmergė – Utena), 63 p.
- 4.7 lentelė. Niveliavimo rezultatų tikslumo skaičiavimas (linija Utena - Degučiai), 63 p.
- 4.8 lentelė. Niveliavimo rezultatų tikslumo skaičiavimas (linija Degučiai – Zarasai), 64 p.
- 4.9 lentelė. Dvipusio niveliavimo vidurkio vidutinės kvadratinės paklaidos, 64 p.

IVADAS

Darbo aktualumas. Šalies teritorijos geodezinį aukščių pagrindą sudaro valstybinis niveliacijos tinklas. Šis tinklas turi garantuoti suvienodintą aukščių pagrindą visoje šalyje, turi būti reikiamo tikslumo ir tankio [31].

Panaudojant vertikaliojo tinklo duomenis yra kuriamos vientisos kontinentinės ir pasaulio aukščių sistemos, tikslinami geoidų modeliai, tiriamas jūrų ir vandenynų lygių kitimas. Vertikaliojo tinklo matavimų rezultatai reikalingi atliekant šalies teritorijos kartografavimą, geofizinius bei geodinaminius tyrimus, atliekant matavimus šiuolaikinėmis navigacinėmis sistemomis ar darant kitus specialiosios paskirties darbus [13].

Lietuvos valstybinis geodezinis vertikalusis pirmosios klasės tinklas sudarytas 1998 – 2006 metais. Sudarant vertikalųjį tinklą buvo surinkti Lietuvos buvusios precizinės niveliacijos, gravimetrinių ir GPS matavimų duomenys. Paruoštas detalus vertikaliojo tinklo projektas, įrengti geodeziniai ženklai ir atlikti matavimai. Į Lietuvos pirmosios klasės vertikalųjį tinklą įtrauktos GPS stotys – VILNIUS, ŠIAULIAI ir MOLAS kaip EUVN ir BSL tinklų dalis.

Matavimams naudoti elektroniniai nivelyrai, GPS imtuvai ir gravimetrai. Atliktas matavimų duomenų matematinis apdorojimas ir tikslumo įvertinimas [13, 24].

Atliekant precizinės niveliacijos duomenų apdorojimą 1998 – 2004 m. buvo naudojamos pavienių matuoklių kalibravimo pataisų lygtys. 2004 m. nivelyrų sistemų kalibravimo duomenys dar nebuvo naudojami skaičiavimuose. Bebaigiant Lietuvos vertikaliojo pirmosios klasės tinklo matavimus, buvo nuspręsta pabaigti viso tinklo precizinio niveliavimo duomenų apdorojimą pagal vienodą metodiką (kalibravimo pataisams skaičiuoti buvo naudojamos tik matuoklių kalibravimo pataisų lygtys).

Buvo atlikti eksperimentiniai skaičiavimai palyginant pavienių matuoklių ir nivelyrų sistemų kalibravimo duomenis. Kaip teigiama tarptautiniuose moksliniuose leidiniuose [30, 34], pavienių kodinių matuoklių kalibravimas turėtų būti keičiamas nivelyro ir matuoklių (kaip sistemos) kalibravimu. Kita vertus, matuoklių kalibravimo rezultatai gaunami didesniu tikslumu nei sistemos kalibravimo rezultatai [15].

Darbe analizuojami vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai niveliavimo rezultatai palyginami pagal matuoklių kalibravimo ir pagal sistemos kalibravimo rezultatus.

Darbo tikslas – atlikti vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai niveliavimo rezultatų analizę.

Darbo uždaviniai. Atlikti kalibravimo bei refrakcijos pataisų analizę, apskaičiuotų pagal pavienių matuoklių ir vientisos sistemos kalibravimo rezultatus. Nustatyti, kaip kinta temperatūros pataisos priklausomai nuo aukščių skirtumų reikšmių. Išanalizuoti temperatūros kitimą gegužės,

liepos ir rugsėjo mėnesiais. Nustatyti, kaip kinta apskaičiuoti aukščių skirtumų nesąryšiai. Apskaičiuoti niveliavimo rezultatų tikslumą.

Tyrimo objektas. Lietuvos geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo linijos Jonava – Zarasai niveliavimo rezultatai. Tyrimo metodika – teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai.

Mokslinis naujumas. Atlikta kalibravimo, refrakcijos ir temperatūros pataisų analizė, ištirtas nesąryšių ir temperatūros kitimas bei įvertintas niveliavimo rezultatų tikslumas panaudojant 2005 metų vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai matavimų duomenis. Darbe buvo panaudoti eksperimentiniai nivelyrų sistemos kalibravimo rezultatai.

Darbo aprobacija. Respublikinėje mokslo konferencijoje „Civilinė inžinerija ir geodezija“, vykusioje 2010 m. spalio 22 d., pristatytas pranešimas tema „Vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai niveliavimo rezultatų analizė“.

Darbo struktūra.

Pirmajame skyriuje aprašyti vertikaliojo valstybinio tinklo sudarymo techniniai reikalavimai, Lietuvos dalyvavimas tarptautiniuose projektuose EUVN ir BSL, valstybinis vertikalusis pirmosios klasės tinklas ir jo matavimo metodika.

Antrajame skyriuje apžvelgtas precizinių niveliavimo priemonių kalibravimas, atliekamas Suomijos Geodezijos institute.

Trečiajame skyriuje aprašomas vertikaliojo tinklo matavimo duomenų apdorojimo algoritmas.

Ketvirtajame skyriuje analizuojami vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai niveliavimo rezultatai. Analizuojamos kalibravimo, refrakcijos ir temperatūros pataisos, taip pat nesąryšių ir temperatūros kitimas. Skaičiuojamas niveliavimo rezultatų tikslumas.

Darbo pabaigoje pateikiamos išvados bei naudotos literatūros ir kitų šaltinių sąrašas, atskirai pateikiami priedai.

1. AUKŠČIŲ PAGRINDAS LIETUVOJE

1.1. Valstybinio vertikaliojo tinklo sudarymo nuostatai

Šalies teritorijos geodezinį aukščių pagrindą sudaro valstybinis niveliacijos tinklas. Šis tinklas turi garantuoti suvienodintą aukščių pagrindą visoje šalyje, turi būti reikiamo tikslumo ir tankio. Geodezinis aukščių pagrindas turi atitikti įvairių rūšių topografinių nuotraukų bei kitų techninių ir mokslinių uždavinių reikalavimus. Remiantis sudarytu valstybiniu niveliacijos tinklu yra projektuojami ir statomi dideliame plote išsidėstę statiniai bei inžineriniai įrenginiai, sprendžiami moksliniai uždaviniai, atliekamos šalies teritorijos reljefo nuotraukos [31].

Panaudojant vertikaliojo tinklo duomenis yra kuriamos vientisos kontinentinės ir pasaulio aukščių sistemos, tikslinami geoidų modeliai, tiriamas jūrų ir vandenynų lygių kitimas. Vertikaliojo tinklo matavimų rezultatai reikalingi atliekant šalies teritorijos kartografavimą, geofizinius bei geodinaminius tyrimus, atliekant matavimus šiuolaikinėmis navigacinėmis sistemomis ar darant kitus specialiosios paskirties darbus [13].

Lietuvos vertikalųjį tinklą sudaro vietovėje įtvirtintų punktų (kuriuose nustatytos koordinatės, geopotencialinis aukštis ir sunkio pagreitis) visuma. Šio tinklo punktų geopotencialiniai aukščiai, geodezinės koordinatės ir sunkio pagreitis nustatomi atliekant geodezinius, gravimetrinius bei kosminės geodezijos matavimus. Vertikaliojo tinklo punktų koordinatės nustatomos valstybinėje Lietuvos koordinačių sistemoje LKS 94, geopotencialiniai aukščiai – Baltijos (Kronštato) normalinių aukščių sistemoje, sunkio pagreitis – tarptautinio gravimetrinio tinklo sunkio sistemoje IGSN 71 [12].

Sudarant vertikalųjį tinklą laikomasi tokių pagrindinių nuostatų:

- Tinklo matavimų tikslumas ir punktų tankis turi atitikti tarptautinius vertikaliesiems tinklams keliamus reikalavimus;
- Tinklo duomenis turi būti galima panaudoti tikslinant geoido (kvazigeoido) modelį;
- Turi būti sudaromas toks vertikalusis tinklas, pagal kurį panaudojant kosminės geodezijos matavimų rezultatus ir atitinkamą kvazigeoido modelį būtų gaunami kartografiniams ir kitiems inžineriniams geodeziniais darbams būtini reikiamo tikslumo aukščiai;
- Vertikalusis geodezinis tinklas turi atitikti geodinaminių tyrimų reikalavimus;
- Į tinklą įtraukiami tinkami senųjų niveliacijų ženklai;
- Vertikalusis tinklas sudaromas dviejų tikslumo klasių;
- Išmatuotų aukščių skirtumų vidutinės kvadratinės paklaidos turėtų būti ne didesnės kaip 0,5 mm/km pirmosios klasės tinkle ir ne didesnės kaip 0,7 mm/km antrosios klasės tinkle;
- Tinklas turi būti susietas su bendruoju Baltijos regiono ir Europos tinklu. Tinklų susiejimui naudotini Lietuvos teritorijos punktai, įtraukti į tarptautinių projektų BSL (Baltijos jūros lygio) ir

EUVN (Europos vertikaliojo tinklo) tinklus. Per Lietuvoje esančius tarptautinių projektų EUVN ir BSL punktus perduodama Europos kontinentinė aukščių sistema;

- Tinklo pakartotiniai matavimai turėtų būti atliekami ne rečiau kaip kas 20 metų;
- Vertikaliojo tinklo parametrų tikslumo normos:
 - punktų geopotencialinių aukščių vidutinės kvadratinės paklaidos turi būti ne didesnės už 10 mm aukščių sistemos pradžios atžvilgiu;
 - punktų, įtvirtintų gruntiniais ženklais, geodezinių koordinačių ir elipsoidinių aukščių vidutinės kvadratinės paklaidos – ne didesnės už 20 mm šalies valstybinio GPS pirmosios ir antrosios klasės punktų atžvilgiu;
 - punktų, įtvirtintų sieniniais ženklais, geodezinių koordinačių vidutinės kvadratinės paklaidos – ne didesnės už 10 m, elipsoidinių aukščių vidutinės kvadratinės paklaidos – ne didesnės už 5 cm;
 - sunkio pagreičio vidutinės kvadratinės paklaidos turėtų būti ne didesnės už 1 mGal Lietuvos valstybinio gravimetrinio tinklo punktų atžvilgiu;
- Turi būti atliekamas prietaisų, naudojamų geodeziniams matavimams, kalibravimas ir metrologinė patikra. Prietaisų tyrimas, tikrinimas ir reguliavimas atliekamas juos įsigijus, po remonto ir prieš lauko darbų sezono pradžią pagal programas, parengtas atsižvelgiant į jų konstrukcijas ir veikimo ypatumus (pateikiami prietaisų gamykliniuose aprašymuose). Šios prietaisų tyrimų, tikrinimo ir reguliavimo programos turi būti patvirtintos VGKT (Valstybinės geodezijos ir kartografijos tarnybos prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės) [5, 12, 13].

Geodezinio vertikaliojo tinklo punktams keliami reikalavimai. Vietovėje punktai įtvirtinami gruntiniais arba sieniniais ženklais. Panaudojami jau esami tinkamos konstrukcijos ženklai arba įrengiami nauji. Vidutinis atstumas vertikaliojo tinklo linijose tarp gretimų punktų- 1,5 km. Gruntiniai ženklai turi būti pagaminti iš metalo arba gelžbetonio monolito, jų apačia įgilinama ne mažiau kaip 1,8 m, viršutinė markė įtvirtinama ne mažiau kaip 0,1 m žemiau žemės paviršiaus.

Gruntiniai atraminiai ženklai taip pat turi būti pagaminti iš metalo arba gelžbetonio monolito. Jų apačia įgilinama ne mažiau kaip 2,3 m, ženklo pagrindo plotas turi būti ne mažesnis už $0,5 \text{ m}^2$, viršutinė markė įtvirtinama ne mažiau kaip 0,5 m žemiau žemės paviršiaus.

Sieninis ženklas (reperis arba markė) – metalinis strypas su galvute. Tokio ženklo galas įtvirtintas sienoje ne mažiau kaip 10 cm gylyje, o matuoklės pastatymo vieta yra griežtai fiksuota.

Į vertikalųjį tinklą turi būti įjungiami Baltijos jūros mareografo ir vandens matavimo postų bei gravimetrinių punktų aukščių ženklai, nutolę nuo tinklo linijų ne daugiau kaip 1 km.

Naujai statomų gruntinių ženklų vietos parenkamos taip, kad nekliudytų ūkinei veiklai, būtų šalia lengvai pastebimų vietovės objektų (taip paprasčiau surasti ženklus). Šie ženklai tvirtinami

lengvai drenuojamame grunte, kurio žemas gruntinio vandens horizontas. Gruntiniai ženklai statomi taip, kad būtų galima atlikti GPS matavimus.

Nauji sieniniai ženklai tvirtinami mūriniuose, betoniniuose arba gelžbetoniniuose kapitaliniuose pastatuose ir statiniuose, kurių pastatymo laikas ne mažesnis už 10 metų. Sieniniai ženklai statomi 0,3 – 0,6 m aukštyje nuo žemės paviršiaus. Vietos sieniniams ženkams parenkamos taip, kad ant ženklo galvutės būtų galima vertikalčiai pastatyti matuoklę [12].

Lietuvoje pastatytų tinkamų gruntinių, atraminių, sieninių bei naujų vertikaliojo tinklo punktų ženklų, suderintų su VGKT, brėžiniai pateikiami šio darbo A priede.

1.2. Tarptautiniai projektai EUVN ir BSL

Lietuvos aukščių pagrindą sudaro niveliacijos tinklas. Šalyje naudojama Baltijos aukščių sistema, pagal kurią aukščiai skaičiuojami nuo Kronštato nulio arba geoido (kvazigeoido) paviršiaus. Vietovės taškų aukščių nustatymui GPS metodu reikia kuo tiksliau žinoti geoido paviršiaus padėtį. Taip pat reikalinga žinoti gravitacijos lauko parametrus, nes nuo jų priklauso geoido paviršius [18].

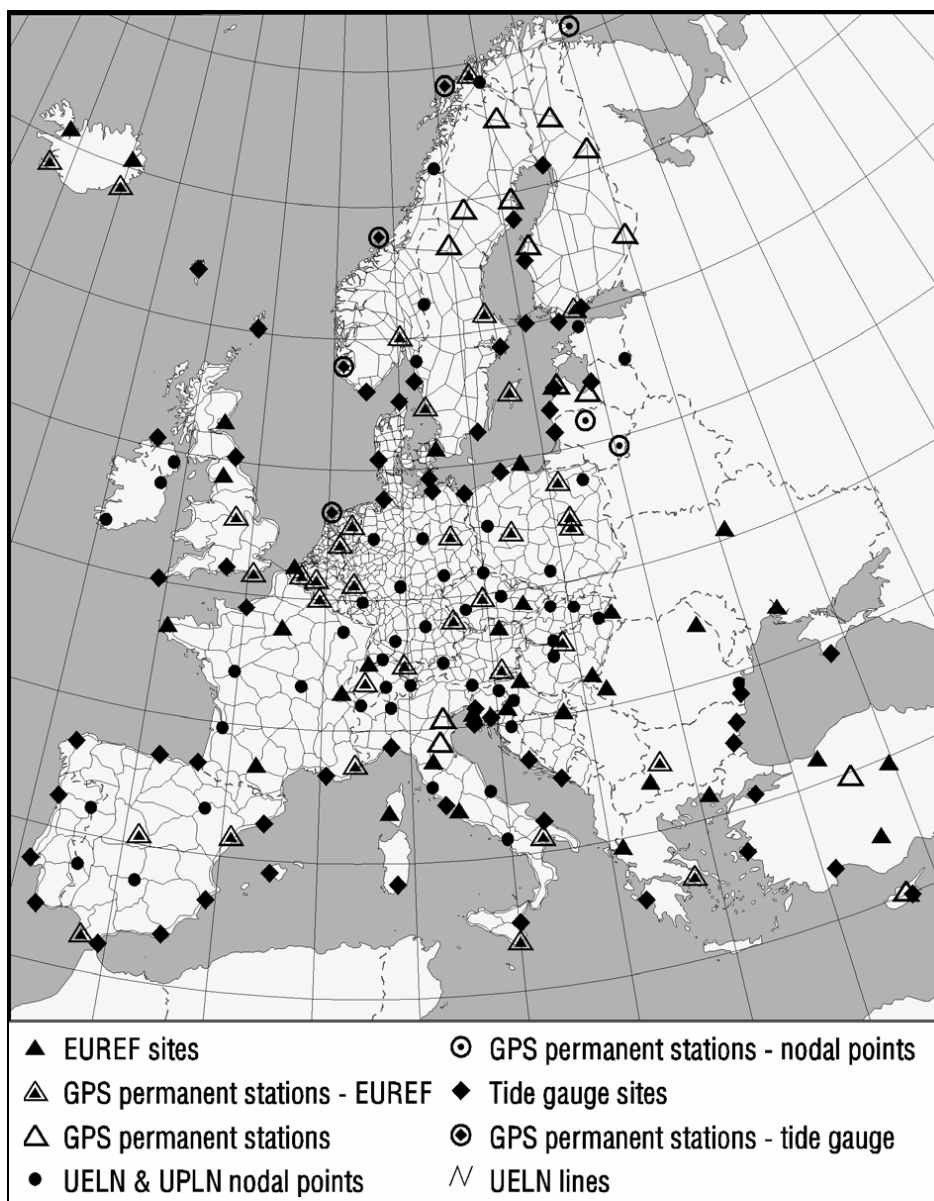
Skirtumas tarp Lietuvoje naudojamos Baltijos aukščių sistemos ir tarp Europoje plačiau naudojamos Amsterdamo aukščių sistemos yra apie 15 cm [4]. Lietuvoje nėra pradinio aukščių punkto, todėl visa tai komplikuoja aukščių nustatymą šiuolaikiniais kosminės geodezijos metodais, taip pat yra apsunkinamas geodezinių, geodinaminių bei kitų uždavinių sprendimas. Naujai Lietuvos valstybinei aukščių sistemai priimti yra būtinas šiuolaikinio aukščių pagrindo sukūrimas [18].

Ruošiantis naujos aukščių sistemos priėmimui dalyvauta pagal tarptautinius projektus „Europos vertikalusis tinklas“ (EUVN, angl. *European Vertical GPS Reference Network*) ir „Baltijos jūros lygis“ (BSL, angl. *Baltic Sea Level*) atliekamuose darbuose. Juos koordinuoja Tarptautinės geodezijos asociacijos EUREF (angl. *European Reference Frame*) pakomisė ir Šiaurės šalių geodezijos komisija.

EUVN projektu siekiama susieti įvairių valstybių GPS vertikaliuosius tinklus, nustatyti ryšį tarp Europoje naudojamų aukščių ir koordinacių sistemų, atlikti geoido, jūrų lygių bei geodinaminius tyrimus.

1997 metais sudarytas Europos atraminis vertikalusis tinklas EUVN jungia EUREF tinklą, Vakarų Europos niveliacijos tinklą UELN 95 (angl. *United European Levelling Network*, išlygintą 1995 m. ir susietą su Amsterdamo nuliniu tašku) ir Rytų Europos niveliacijos tinklą UPLN 82 (angl. *United Precise Levelling Network*, kurio išlyginimas atliktas 1982 m. ir kuris susietas su Kronštato nuliu) [11].

Į EUVN tinklą (1.1 pav.) įtrauktas Lietuvos valstybinis GPS tinklo punktas MOLAS (Klaipėdoje) bei Šiaulių ir Vilniaus GPS stotys [33].

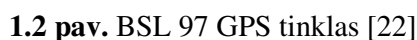


1.1 pav. Europos atraminis vertikalusis tinklas (EUVN) [4]

EUVN 97 GPS matavimų kampanija Europos vertikaliojo tinklo punktuose buvo pradėta 1997 m. gegužės 21 d. ir baigta 1997 m. gegužės 29 d. Lietuvoje buvo matuojama GPS stotyse Vilnius ir Šiauliai bei valstybiniuose GPS tinklo punktuose MOLAS ir KLAIPĖDA. Tuo pačiu metu buvo vykdomi ir BSL 97 GPS matavimai. Matavimai atlikti *Ashtech Z-12* GPS imtuvais (imtuvus paskolino Aalborgo universitetas ir Onsalo kosminė observatorija). Užbaigus matavimus buvo atliktas pirminis jų apdorojimas ir EUVN tinklo punktai susieti su precizinės niveliacijos tinklu. Atliktų GPS matavimų, taip pat niveliacijos ir gravimetriniai duomenys perduoti

Po matavimų rezultatų matematinio apdorojimo gautos EUVN tinklo punktų ETRS 89 sistemos elipsoidinės koordinatės. Normaliniai aukščiai susieti su Europos niveliacijos tinklu UELN95/98 bei Europos atramine aukščių sistema EVRS (angl. *European Vertical Reference System*). EUVN tinklo sudarymas – žingsnis kuriant atraminę geokinematinę aukščių sistemą, tokią kaip EVS 2000 (angl. *European Vertical System*).

1990 m. pradėtuose BSL projekto darbuose dalyvauja prie Baltijos jūros esančios šalys. Lietuva šiuose matavimuose dalyvauja nuo 1993 m. BSL GPS tinklas jungia daugiau kaip 30 Baltijos jūros mareografų, tarp kurių yra ir Klaipėdos mareografas. Į tinklą įtraukti ir du šalia šio mareografo esantys GPS pirmosios klasės punktai. BSL GPS tinklui iš viso priklauso 13 atraminių stočių. 1997 m. drauge su EUVN 97 vyko trečioji geodezinių matavimų kampanija BSL 97 [1, 33]. Kampanijos BSL 97 GPS tinklas parodytas 1.2 pav.



Projekto „Baltijos jūros lygis“ pagrindiniai tikslai – suvienodintos aukščių sistemos pasiūlymas, prisidėjimas prie gravitacijos lauko ir geoido nustatymo Baltijos jūros regione, jūros lygio kitimo ir jūros paviršiaus topografijos tyrimas [22].

1.3. Lietuvos valstybinis vertikalusis pirmosios klasės tinklas

Sudarant vertikalųjį tinklą buvo surinkti Lietuvos buvusios precizinės niveliacijos, gravimetrinių ir GPS matavimų duomenys. Paruoštas detalus vertikaliojo tinklo projektas, įrengti geodeziniai ženklai ir atlikti matavimai. Matavimams naudoti elektroniniai nivelyrai, GPS imtuvai ir gravimetrai. Atliktas matavimų duomenų matematinis apdorojimas ir tikslumo įvertinimas. Panaudojant naujų matavimų rezultatus atliekami geodinaminiai tyrimai.

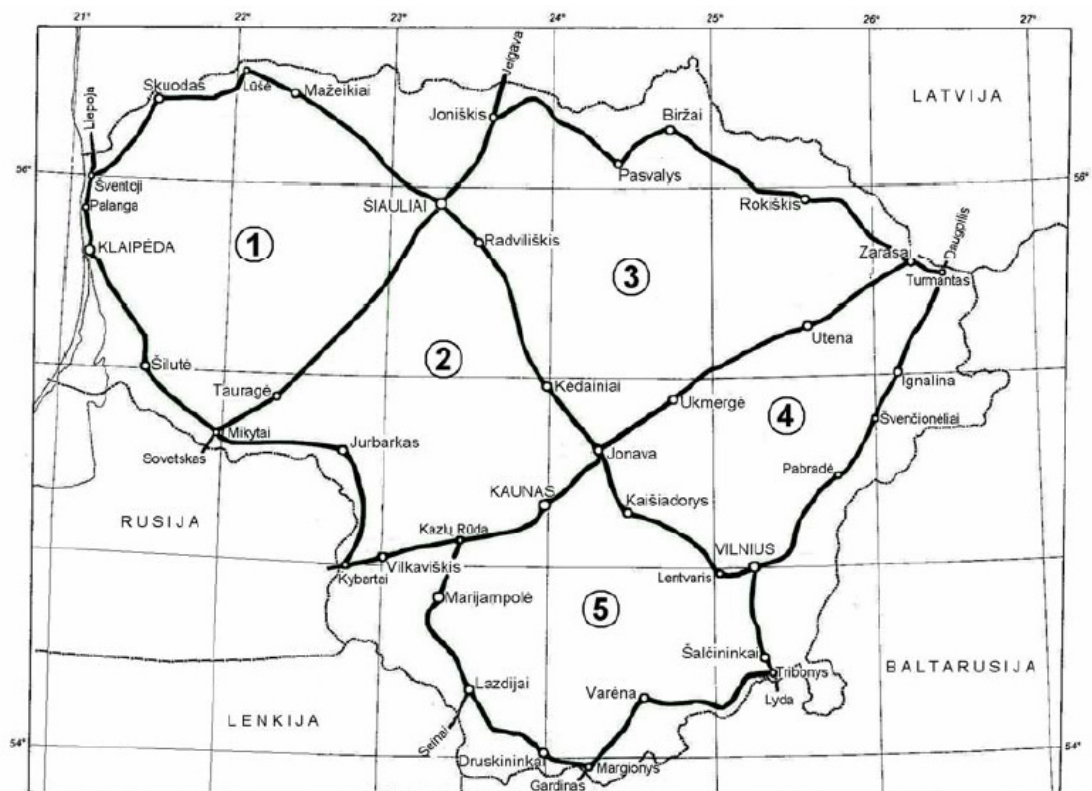
1998 m. dalis matavimų daryta bendradarbiaujant su Danijos specialistais. Drauge su Lenkijos geodezininkais Lietuvos geodezinis vertikalusis tinklas susietas su Lenkijos vertikalioju tinklu [13].

Pirmosios klasės geodezinio vertikaliojo tinklo schema derinta prie esamų pirmosios ir antrosios klasių niveliacijos linijų. Uždarant poligonus šalies pakraščiuose panaudoti išlikę trečiosios klasės ir prieškarinės precizinės niveliacijos reperiai. Naujos niveliacijos linijos: Šalčininkai – Varėna, Margionys – Druskininkai – Leipalingis, Ylakiai – Lūšė ir Zarasai – Rokiškis.

Į Lietuvos pirmosios klasės vertikalųjį tinklą įtrauktos GPS stotys – VILNIUS, ŠIAULIAI ir MOLAS kaip EUVN ir BSL tinklų dalis [24].

Vidutinis atstumas tarp gretimų tinklo punktų – 1,5 km. Linijose gruntiniais ženklais įtvirtinti punktai yra mažiausiai kas 6 km. Gruntiniais atraminiais ženklais įtvirtinti punktai – kas 40 – 60 km. [12].

Lietuvos valstybinis vertikalusis pirmosios klasės tinklas (1.3 pav.) sudarytas 1998 – 2006 metais. Tinklą sudaro 1961,76 km ilgio niveliacijos linijos, sujungtos į penkis poligonus. Iš viso tinklo linijose yra 1384 gruntiniais ir sieniniais ženklais įtvirtinti punktai. Naujai įrengti 862 (62,3 %) ženklai, iš kurių 8 atraminiai, 441 gruntinis ir 413 sieniniai. Siekiant panaudoti senųjų niveliacijų ženklus ir duomenis į vertikalųjį pirmosios klasės tinklą įtraukti techninių reikalavimų reglamentą GKTR 2.12.01:2001 „Lietuvos valstybinis geodezinis vertikalusis tinklas“ atitinkantys reperiai. Iš ankstesniųjų niveliacijų panaudoti 522 (37,7 %) ženklai, iš kurių 175 gruntiniai, 243 sieniniai reperiai ir 42 sieninės markės. Tarp senesniųjų niveliacijų punktų – 30 Lietuvos valstybinio GPS pirmosios ir antrosios klasės punktų [24].



1.3 pav. Lietuvos valstybinis geodezinis vertikalusis pirmosios klasės tinklas [24]

GPS metodu koordinuoti visi gruntiniais ženklais įtvirtinti geodezinio vertikaliojo tinklo punktai. Atliktas matavimų rezultatų matematinis apdorojimas ir tikslumo įvertinimas.

Didžiausios punktų padėties paklaidos pagal platumą B , ilgumą L ir elipsoidinį aukštį H neviršijo 10 mm. Apskaičiuotos punktų LKS 94 sistemos plokštuminės stačiakampės bei elipsoidinės koordinatės. Sieniniais ženklais įtvirtintų vertikaliojo tinklo punktų koordinatės nustatytos pagal 1:10 000 mastelio žemėlapi, o elipsoidiniai aukščiai nustatyti naudojant geoido modelį [24].

GPS metodu koordinuotų punktų koordinatės pateikiamos 0,00001" ir 1 mm tikslumu, kitų punktų koordinatės nustatytos grafiškai iš 1:10 000 mastelio topografinio žemėlapio pateikiamos 0,1" ir 1 m tikslumu [12].

Visų geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo punktų precizinis niveliavimas atliktas 1998 – 1999 metais ir 2001 – 2006 metais dviem skaitmeninių nivelyrų *Wild NA3003* ir kodinių matuoklių *Wild GPCL3* komplektais. 1998 – 2006 m. du kodinių matuoklių *GPCL3* komplektai kalibruoti Suomijos Geodezijos institute.

Skaitmeniniais nivelyrais *NA3003* išmatuoti aukščių skirtumai pataisyti temperatūros, matuoklių kalibravimo, refrakcijos, Mėnulio ir Saulės poveikio pataisomis. Mėnulio ir Saulės pataisa skaičiuota kiekvienai matavimų stočiai [24]. Vertikaliojo tinklo punktų aukščių skirtumai

matuoti tiesiogine ir atgaline kryptimis. Vidutinei atskaitai matuoklėje gauti naudoti 5 atskaičiavimai, fiksuoti 0,01 mm tikslumu [12].

Atlikus precizinės niveliacijos tikslumo įvertinimą pagal dvigubų matavimų nesutapimus, 1998 – 2006 m. matavimų atkarpų tarp atraminių punktų vieno kilometro ilgio ėjimo aukščių skirtumo vidutinės kvadratinės paklaidos yra 0,35 – 0,47 mm ribose. Aukščių skirtumų nesąryšiai uždaruose vertikaliojo tinklo poligonuose neviršija leistinųjų nesąryšių reikšmių [24]. Šios Lietuvos valstybinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo charakteristikos pateikiamos 1.1 lentelėje (pateikiamas poligono numeris, poligono perimetras, gauto ir leidžiamo nesąryšio reikšmės).

1.1 lentelė. Lietuvos valstybinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo charakteristikos [24]

Poligono Nr.	Poligono perimetras (km)	Gautas nesąryšis (mm)	Leidžiamas nesąryšis (mm)
1	491,07	+4,23	±33,24
2	525,52	+14,91	±34,38
3	575,26	-33,53	±35,97
4	451,04	+3,32	±31,85
5	509,16	-12,15	±33,84

2007 metais Lietuvos vertikalusis pirmosios klasės tinklas integruotas į vientisą Europos niveliacijos (UELN, angl. *United European Levelling Network*) tinklą. Tam tikslui buvo apskaičiuotos punktų sunkio reikšmės ir aukščių skirtumai, apskaičiuoti punktų geopotencialiniai aukščiai ir jų skirtumai, nustatyti ryšiai su kaimyninių šalių tinklais, atliktas punktų kodavimas pagal UELN tinklo kodavimą, apskaičiuoti punktų normaliniai aukščiai ir kt. Nustatyta, kad Lietuvos vertikaliojo tinklo tikslumas (vidutinė kvadratinė paklaida lygi 0,7 kGal·mm/km) yra tokio pat lygio kaip ir daugumos kitų į UELN tinklą įtrauktų šalių.

Lietuvos vertikaliojo tinklo duomenų įtraukimas į UELN duomenų bazę sudaro galimybę Lietuvoje priimti Europos vertikaliąją sistemą [16, 17]. Lietuvos valstybinis vertikalusis pirmosios klasės tinklas kaip UELN tinklo dalis parodytas 1.4 pav.

punkto UKMERGĖ sieninis reperis 15126. Ukmergės – Utenos atkarpoje į tinklą įtraukti trys atraminiai reperiai 0037, 0762 ir 1390. Utenoje į tinklą įtraukti sieniniai ženklai (KAM-A ir KAM-B tipų) ir gravimerinio punkto UTENA sieninė markė 3109.

Iš viso linijoje Jonava – Zarasai suprojektuota įrengti 19 sieninių ir 52 gruntinius ženklus. Naujai įrengiami ženklai šioje trečiojo ir ketvirtojo poligonų linijoje sudaro 67 % visų punktų. Linijoje vidutinis atstumas tarp punktų – 1,45 km [14].

1.3.2. Geodezinio vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai (atkarpos Utena – Zarasai) punktų niveliavimas

Vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai (atkarpos Utena – Zarasai) punktų niveliavimas buvo atliekamas pirmosios ekspedicijos metu 2005 m. gegužės 16 – 21 dienomis. Į šią atkarpą papildomai įtrauktas prie GPS stoties UTENA įrengtas sieninis reperis 15431 buvo niveliuotas 2005 m. gruodžio 1 d.

Niveliuotos atkarpos ilgis – 54,23 km. Iš viso 942 stotys, pradedant nuo atraminio reperi 1390 (Utena) iki atraminio reperi 0739 (Zarasai). Viename niveliavimo kilometre vidutiniškai yra 17 stočių. Vidutinis atstumas iki matuoklių – 28,8 m. Meteorologinės sąlygos niveliavimo metu buvo pakankamai geros, išskyrus vieną dieną, kai matavimams trukdė lietus [15].

1.4. Precizinio niveliavimo metodika skaitmeniniais nivelyrais *Wild NA3003*

Automatizavus geodezinius matavimus, galima atlikti daugiau ir kokybiškesnių matavimų, gauti daug tikslesnius ir patikimesnius duomenis.

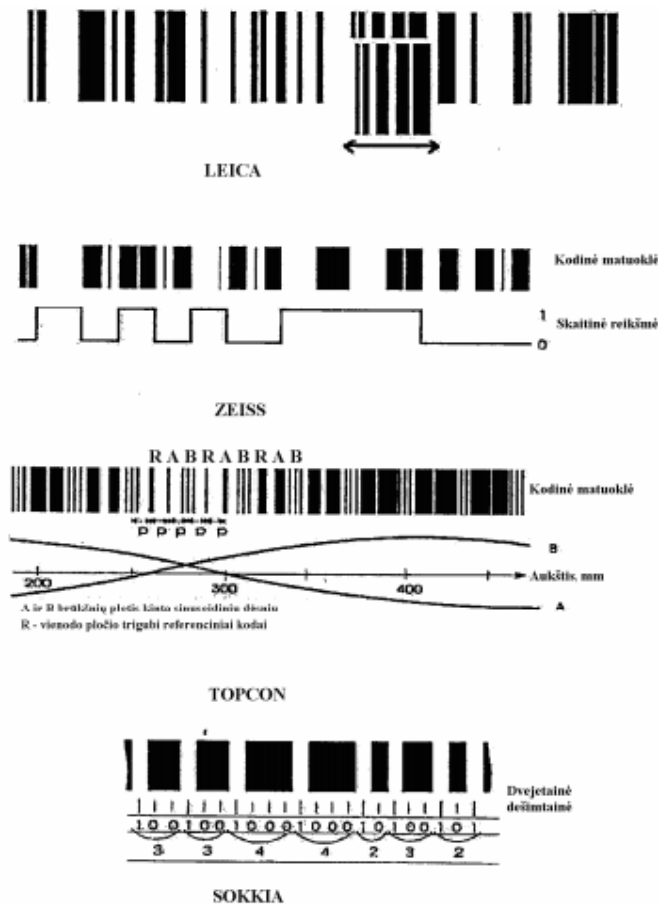
Didelė pažanga niveliavimo technologijoje pasiekta sukūrus naujus skaitmeninius nivelyrus. Jie sukurti 1990 m. Šveicarijoje, vėliau šie prietaisai sukurti ir Vokietijoje bei Japonijoje. Preciziam niveliavimui naudojant skaitmeninius nivelyrus keičiasi niveliavimo metodika, nes atsiranda papildomai veikiantys specifiniai paklaidų šaltiniai, kuriuos yra būtina įvertinti. Skaitmeniniai nivelyrai turi daug privalumų (automatizuotą atskaitų kodinėse matuoklėse atskaičiavimą, galimybę atskaitas registruoti ir saugoti prietaiso atminties bloke, atlikti pirminį duomenų apdorojimą, atlikti darbo kontrolę niveliavimo stotyje pagal įvestas tolerancijas ir kt.), tačiau jie turi ir trūkumų, kurie gali būti pastebėti tik atlikus daugybę gamybinių matavimų. Tam atlikti būtini konkrečių skaitmeninių nivelyrų ir kodinių matuoklių, prietaisų geometrinių, techninių bei metrologinių parametrų tyrimai [10, 25].

Skaitmeninių nivelyrų veikimo principas grindžiamas skaitmeniniu kodinių matuoklių vaizdo apdorojimu [10]. Kiekviena firma, gaminanti skaitmeninius niveliavimo prietaisus, turi savo kodines skales ir atitinkamus duomenų apdorojimo metodus. Kaip pavyzdžiui, *Leica* sistemose naudojamas koreliacijos metodas, *Zeiss* sistemose – geometrinis, *Topcon* sistemose – fazinis

duomenų apdorojimo metodas [2]. Skirtingų įmonių matuoklių kodavimo pavyzdžiai pateikiami 1.5 pav.

Šiuo metu Lietuvoje ir pasaulyje naudojami skaitmeniniai nivelyrai – *DiNi 12* (Zeiss), *SPRINTER* (Leica), *DNA 03*, *DNA 10* (Leica), *SDL 50* (Sokkia), *Wild NA3003* (Leica) ir kiti.

Skaitmeniniuose nivelyuose *NA3003* yra automatizuota kodinių matuoklių atskaitų registravimo prietaiso indikatoriuje sistema. Matuoklių atskaitos registruojamos pagal nivelyro optinę ašį. Kodinės matuoklės skaitmeninei atskaitai nivelyuose *NA3003* taikomas koreliacijos būdas [29].



1.5 pav. Skirtingų skaitmeninio niveliavimo kodų pavyzdžiai [29]

Precizinis skaitmeninis nivelyras *Wild NA3003* (1.6 pav.) turi displejų, klaviatūrą, matavimų mygtuką, fokusavimo sraigą, begalinį mikrometrinį sraigą, limbą su 1° padalomis, kelmelį su trimis keliamaisiais sraigtais. Išgulsčiačius sferinį gulsčiuką veikia prizminis kompensatorius, kuris vizavimo ašį nustato į horizontalią padėtį. Nivelyrais *Wild NA3003* atliekamas pirmosios ir antrosios klasių niveliavimas.

Nivelyro aukščių skirtumų matavimo vidutinė kvadratinė paklaida atliekant 1 km ilgio dvipusį niveliavimą yra 0,4 mm (su matuoklėmis *GPCL3*). Atstumų matavimo tikslumas – 0,01 m,

kompensatorius veikia diapazone – $\pm 15'$, vizavimo ašies kompensavimo paklaida – $0,3''$, matavimų ribos – 1,5 – 60 m, matavimų trukmė – 4 s, žiūrono didinimas – 24 kartai [32].



1.6 pav. Skaitmeninis nivelyras *Wild NA3003* ir kodinė matuoklė *GPCL3* [6, 27]

VG TU Geodezijos institutas preciziam niveliavimui su skaitmeniniais nivelyrais *Wild NA3003* naudoja Vokietijoje gaminamas, firmos NEDO kodines invarines matuokles *Wild GPCL3* (1.6 pav.). Matuoklės – ištisinės, 3 m. Matuoklės invaro juostelėje kodinės padalos pažymėtos nuo 0,035 m iki 2,98 m.

Šios *GPCL3* matuoklės pagamintos iš aliuminio, kurio paviršius padengtas izoliacine plėvele, matuoklių padas – iš nerūdijančio plieno. Invaro juostelės temperatūrinis plėtimosi koeficientas yra mažesnis už $1 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$.

Matuokles galima naudoti esant temperatūroms nuo -20°C iki $+50^{\circ}\text{C}$, kai niveliavimo atstumų ribos – 1,8 m – 60 m. Matuoklės atkarpos l leistinas nuokrypis $\Delta l = \pm (0,02 \text{ mm} + 2 \cdot 10^{-5} l)$, nulinio padėties paklaida yra ne didesnė už $\pm 0,05 \text{ mm}$ [8].

Lietuvoje vertikaliojo pirmosios klasės tinklo punktų aukščių skirtumai nustatyti atlikus precizinę niveliaciją dviem skaitmeninių nivelyrų *NA3003* (Nr. Nr. 92426 ir 92432) ir kodinių matuoklių *GPCL3* (Nr. Nr. 26598, 26599 ir 26600, 26605) komplektais, laikantis reglamento [12] reikalavimų [10, 15].

Skaitmeninių nivelyrų *NA3003* veikimo principas – matuoklės kodinio vaizdo, matomo 2° kampų, skaitmeninis apdorojimas. Atskaitos iš karto parodomos displėjuje ir automatiškai įrašomos į duomenų kaupiklį (*REC* modulį). Tokiu būdu panaikinamos niveliuotojų apsirikimo klaidos tokios, kaip galimų klaidingų atskaičiavimų iš matuoklių ir rezultatų užrašymo klaidos. Dėl šios priežasties taip pat sutrumpėja matavimų lauke trukmė ir padidėja niveliavimo tikslumas.

Darbo efektyvumas labai priklauso ir nuo kodinėse matuoklėse pasirinkto optimalaus atskaičiavimų skaičiaus. Skaitmeniniuose nivelyruose NA3003 galima taikyti norimą (1–99) atskaičiavimų matuoklėje skaičių. Kaip įrodyta darbe [9], kodinių atskaitų tikslumas nėra tiesiogiai susijęs su atskaičiavimų skaičiumi, todėl matuoklėse pakanka penkių atskaičiavimų.

Skaitmeniniai nivelyrai NA3003 turi vieną svarbų trūkumą – operacinėje sistemoje numatyta vienintelė atskaičiavimų seka stotyje: atskaičiavimai atgalinėje, priekinėje, priekinėje ir atgalinėje matuoklėse BFFB (angl. *backsight, foresight, foresight, backsight*). Atliekant vertikaliojo tinklo matavimus 1998–1999 m. pastebėta, kad dvipusio niveliavimo aukščių skirtumų nesutapimai d daugiausia gaunami teigiami ir turi tendenciją kauptis vidutiniškai po 0,3–0,4 mm/km. Ilgose niveliacijos linijose aukščių skirtumų nesutapimų d sanauka iki 3 kartų viršija leistiną sanauką [3] – $2,0 \text{ mm} \sqrt{L}$, čia – linijos ilgis, km. Tai galima dėl tokių priežasčių, kaip kolimacijos paklaidos dalies *CollDif* (čia ir toliau pateikti nivelyro programinėje įrangoje naudojami pažymėjimai) kaitos, matuoklių ir nevelio vertikalinių poslinkių, kompensatoriaus liekamosios paklaidos ir kt. Visų šių paklaidų įtaką sumažina simetriškoji matavimų seka (BFFB, FBBF,...) dviejose niveliavimo stotyse [10].

Vertikaliojo tinklo punktų aukščių skirtumai buvo matuojami tiesiogine ir atgaline kryptimis, stočių skaičius tarp gretimų punktų – lyginis. Pakeičiant niveliavimo kryptį vietomis sukeičiamos ir matuoklės. Kiekvienoje stotyje buvo vizuojama į pirmąją matuoklę. Vidutinė atskaita matuoklėje gauta pagal penkis atskaičiavimus, kurių tikslumas 0,01 mm. Dvipusio niveliavimo aukščių skirtumų nesutapimas stotyje neviršijo 0,25 mm. Vizavimo spindulio ilgis ne didesnis už 35 m (atstumai iki matuoklių buvo nustatomi 0,01 m tikslumu).

Vertikaliojo tinklo punktų niveliavimas vykdytas pagal simetriškąją matavimų seką (BFFB, FBBF,...) nors skaitmeniniuose nivelyruose užprogramuota vienoda matavimų seka (BFFB). Niveliavimas buvo atliekamas tokia tvarka: antroje ir kitose lyginėse tiesioginio ėjimo stotyse bei nelyginėse atgalinio ėjimo stotyse matavimai buvo pradėti nuo pirmosios matuoklės (nors dispižėje buvo rodoma BK1, matuojama buvo FR1 ir t.t.). Dėl to aukščių skirtumai *HDif* gauti su priešingais ženklais, o atstumų iki matuoklių nevienodumo sanauka d gaunama klaidinga. Pabaigus matuoti paskutinėje stotyje, nuskaityta galinio reperio altitudė *GrHt* (išmatuotų aukščių skirtumų vidurkių suma), taip pat ėjimo ilgis $\sum D$ (metrais).

Atgalinio ėjimo pradžioje ant punkto statyta antroji matuoklė (matuoklės sukeistos vietomis). Atliktas gautų aukščių skirtumų palyginimas, jų ženklai turi būti priešingi, kad nebūtų sukeista matavimo seka. Dėl kai kurių niveliavimo kuolų aukščių pakitimo gauti nevienodi dviejų gretimų stočių aukščių skirtumai. Ėjimuose, kur kuolai išliko stabilūs, aukščių skirtumų reikšmės (*GrHt_i* ir *GrHt_a*) gautos panašios tik su skirtingais ženklais

Pagal tiesioginio ir atgalinio ėjimų niveliavimo rezultatus buvo apskaičiuotos lyginių stočių aukščių skirtumų sumos $\sum h_l$ ir tikrosios aukščių skirtumų sumos $\sum h = GrHt - 2\sum h_l$. Taip pat suskaičiuotas aukščių skirtumų nesąryšis $d = \sum h_l + \sum h_a$ ir palygintas su leistinuoju.

Tinklo matavimų kokybė nustatyta pagal leistinas nesutapimų tolerancijas (kurios apskaičiuotos ėjimui tarp atraminių punktų ir visai linijai). Apskaičiuoti aukščių skirtumų nesąryšiai buvo mažesni už $2,0 \text{ mm} \sqrt{L}$ (L – ėjimo ilgis, km). Tokia išraiška taikyta, jeigu $L > 1 \text{ km}$, tuo atveju, kai $L < 1 \text{ km}$, leistinas nesąryšis – $0,5 \text{ mm} \sqrt{n}$ (n – stočių skaičius) [10, 15].

Preciziniame niveliavime temperatūrai matuoti 2005 metais pradėti naudoti kontaktiniai elektroniniai termometrai *Ama-digit ad 30th* (1.7 pav.), nes prieš tai naudoti elektroniniai termometrai *H-200* susidėvėjo fiziškai.



1.7 pav. Kontaktinis elektroninis termometras *Ama-digit ad 30th* [7]

Šio termometro temperatūros matavimo ribos nuo $-40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+150 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Termometro darbo temperatūros yra nuo $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatūrų matavimo tikslumas šiuo kontaktiniu elektroniniu termometru yra $\pm 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Atliekant precizinį vertikaliojo tinklo niveliavimą kontaktiniai elektroniniai termometrai *Ama-digit ad 30th* priskirti pavienėms niveliacijos matuoklėms. Termometrais gautos temperatūrų vertės buvo lyginamos tarpusavyje ir su kalibruoto gyvsidabrinio termometro temperatūrų vertėmis. Šių termometrų parodymų vertės skyrėsi mažiau kaip $0,5^{\circ}$.

Oro temperatūra ties abiem matuoklėmis buvo matuota $1,0 \text{ m}$ ir $2,0 \text{ m}$ aukščiuose, o matuoklių invarinių juostelių temperatūra matuota $1,5 \text{ m}$ aukštyje [15].

2. PRECIZINIO NIVELIAVIMO PRIETAISŲ TYRIMAI

2.1. Precizinių skaitmeninių nivelyrų sistemų kalibravimas

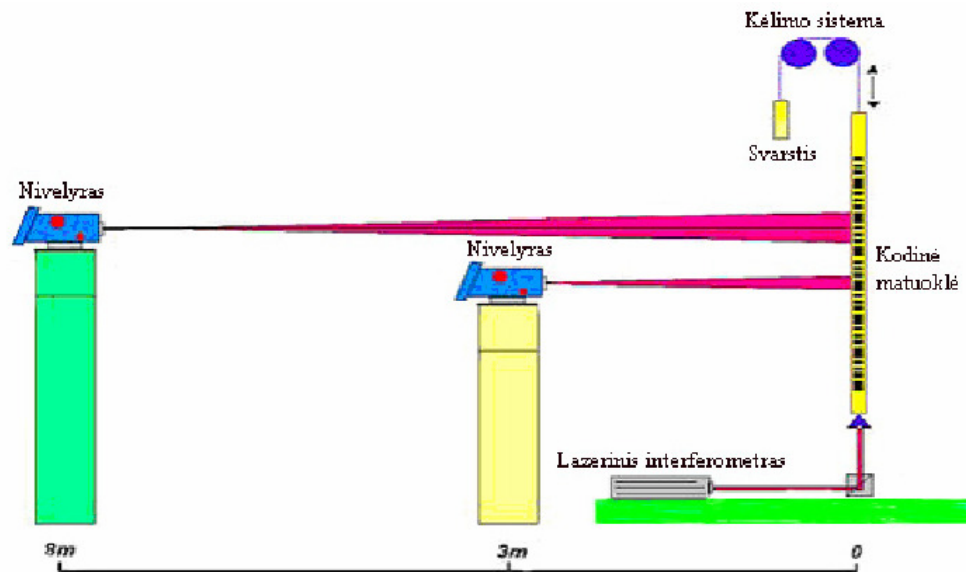
Niveliavimui naudojant skaitmeninius nivelyrus matavimuose dalyvauja visa sistema. Ši sistema susideda iš tokių komponentų: skaitmeninio nivelyro CCD kameros, brūkšninės kodinės matuoklės ir programinės įrangos. Esant pažeistiems sistemos komponentams gaunamos klaidingos atskaitos, nes šie defektai įtakoja matavimo procesą. Dėl šios priežasties tikslinga atlikti vientisos sistemos (bendrai nivelyro ir matuoklių) kalibravimą.

Europoje skaitmeninių nivelyrų sistemų kalibravimas pradėtas apie 2000 m. Skaitmeninių nivelyrų sistemos kalibravimui naudojamas vertikalusis sistemos kalibravimo komparatorius (2.1 pav). Siekiama nustatyti matuoklės mastelį ir matuoklės kiekvienos atskaitos pataisas. Naudojant sistemos kalibravimo komparatorių galima nustatyti, kokį poveikį nivelyro sistemai daro temperatūra, apšvietimas, fokusavimas bei transportavimas.



2.1 pav. Suomijos Geodezijos instituto nivelyrų sistemos kalibravimo komparatorius [15]

Atliekant nivelyro sistemos kalibravimą svarbiausia lazeriniu interferometru kontroliuoti matuoklės vertikalųjų poslinkį ir skaitmeniniu nivelyru fiksuoti matuoklės kiekvienos padėties atskaitas. Matavimai atliekami vertikaliajame komparatoriuje paslenkant brūkšninę kodinę matuoklę kas 25 mm ir fiksuojant skaitmeninio nivelyro bei lazerinio interferometro atskaitas. Pridedant tolesnių intervalų pataisas kiekvienai matuoklei yra nustatomos mastelio pataisos [14, 15]. Nivelyrų sistemos kalibravimo principas parodytas 2.2 pav.



2.2 pav. Suomijos Geodezijos instituto nivelyrų sistemos kalibravimo principas [15]

Naudojant kodinės matuoklės vaizdą, projektuojamą CCD kameroje, apskaičiuojama atskaita matuoklėje.

Vertikalieji komparatoriai, naudojami precizinių skaitmeninių nivelyrų sistemos kalibravimui, yra įrengti Graco technologijos universitete (Austrijoje), Suomijos Geodezijos institute (2.1 pav), taip pat Miuncheno Bundesvero universitete (Vokietijoje). Matavimų metu vertikaliojo komparatoriaus patalpose turi būti palaikoma pastovi temperatūra ir drėgmė.

Suomijos Geodezijos institute matuoklės kalibruojamos naudojant lazerinį interferometrą ir yra matuojama pagal Abbės komparatoriaus principą.

1997 m. vertikalusis komparatorius buvo visiškai automatizuotas siekiant padidinti kalibravimo kokybę ir efektyvumą. Matuoklei komparatoriuje paslinkti naudojama speciali kėlimo sistema ir žingsninis motoras. Lazeriniu interferometru atskaitoma matuoklės padėtis, o CCD kamera registruojamas mastelis. Matuoklės ilgį ir lazerio bangų sklaidimą reikia redukuoti atsižvelgiant į aplinkos sąlygas, tam tikslui automatinės klimato kontrolės sistemos pagalba registruojama aplinkos temperatūra, slėgis bei drėgmė. Visa tai valdoma naudojant kompiuterinę programą. Kituose Europoje įrengtuose vertikaliuosiuose komparatoriuose naudojama analogiška įranga.

Kad būtų galima rasti tikslias matuoklės atskaitas, būtina nustatyti, koks yra kiekvienos matuoklės mastelis, invaro juostelės temperatūra (matavimo momentu) bei jos linijinis plėtimosi koeficientas.

Vienas svarbiausių sistemos kalibravimo privalumų yra tai, kad gaunama informacija apie visos niveliavimo sistemos veiklą. Priklausomai nuo kai kurių skaitmeninių nivelyrų konstrukcijos gali būti įtakojami matavimai ir sukeliama sisteminiai aukščių nuokrypiai. Tai gali būti susiejama su

tam tikrais vizavimo atstumais ir matuoklės atkarpomis. Tokia problema gali pasitaikyti skaitmeniniuose nivelyuose *NA3003* (Leica), dėl netinkamai naudojamos nivelyro sistemos gali atsirasti aukščių nuokrypiai. Matavimo metu apatinėje ar viršutinėje matuoklės dalyse į CCD kamerą patenka dalis invarinės juostelės kodų ir netgi dalis viršutinės ar apatinės invarinės juostelės sektoriaus be brūkšnių kodų. Dėl to matuoklės sektorius, kuris yra apdorojamas CCD kameros, tampa mažesnis bei asimetriškas (taip išauga matavimų neapibrėžtis). Paprastai tai neturėtų būti įvertinta nivelyro programinės įrangos pagalba. Esant tokiam nivelyrui, kuris jautrus asimetriniam pikselio vaizdui, sistemaiškai paveikiamos matuoklės atskaitos.

2005 m. balandžio 4- 25 dienomis VGTU Geodezijos instituto dvi skaitmeninių nivelyrų sistemos (*Leica NA3003* Nr. 92426 ir *Wild GPCL3* Nr. Nr. 26598, 26599 bei *Leica NA3003* Nr. 92432 ir *Wild GPCL3* Nr. Nr. 26600, 26605) buvo antrąjį kartą kalibruotos Suomijos Geodezijos institute (tam buvo panaudotas vertikalusis sistemos kalibravimo komparatorius). Vertikaliajame komparatoriuje yra įdiegtas lazerinis interferometras *HP 5529A*, kuriuo kalibravimo metu yra nustatomas ilgio standartas. Sistemos kalibravimo metu nivelyru išmatuotas aukščių skirumas buvo lyginamas su aukščių skirtumu gautu iš lazerinio interferometro. Atstumas nuo nivelyro iki matuoklės buvo 7,6 m, tai yra atstumas naudotas kalibruojant visas keturias matuokles.

Kiekviena sistema (nivelyras ir matuoklė) buvo kalibruota du kartus (pirmyn ir atgal) apimant visą matuoklės skalę ir imant 25 mm žingsnius; mastelio koeficientai buvo gauti iš tiesinės regresijos. Kiekvienai kodinei matuoklei nustatyta pirmosios kodo linijos padėtis. Santykiniai atstumai buvo išmatuoti nuo matuoklės pado apačios iki pirmos kodinės juostelės krašto. „Nominalus atstumas buvo 43 mm ir jis kaip atraminis buvo suteiktas matuoklei Nr. 26598. Suomijos Geodezijos instituto Nacionalinė standartų laboratorija išdavė abiejų skaitmeninių nivelyrų sistemų kalibravimo sertifikatus Nr. 10/2005 ir Nr. 06/2004 bei kodinių matuoklių kalibravimo sertifikatą Nr. 11/2005. Visos matavimų procedūros atitiko kokybės standartų ISO 9001 ir ISO 17025 reikalavimus [15].“

Kalibruojant nivelyrų sistemas gautos tokios matuoklių atskaitų pataisų lygtys [15]:

2004 m.: nivelyras Nr. 92426	matuoklė Nr. 26598	$\delta_k = 0,0018934 a_m - 84,306;$
	Nr. 26599	$\delta_k = 0,0035546 a_m + 7,7935;$
nivelyras Nr. 92432	matuoklė Nr. 26600	$\delta_k = 0,0082519 a_m - 14,516;$
	Nr. 26605	$\delta_k = 0,014525 a_m - 67,641;$
2005 m.: nivelyras Nr. 92426	matuoklė Nr. 26598	$\delta_k = 0,00616 a_m + 28,93;$
	Nr. 26599	$\delta_k = 0,00859 a_m - 6,41;$
nivelyras Nr. 92432	matuoklė Nr. 26600	$\delta_k = -0,00257 a_m - 57,12;$
	Nr. 26605	$\delta_k = 0,00855 a_m - 95,12.$

Į lygtis įrašius atskaitų a_m reikšmes milimetrais, pataisos δ_k gaunamos μm .

2004 ir 2005 metų nivelyrų sistemų ir kodinių matuoklių kalibravimo suvestiniai rezultatai pateikiami 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Kalibravimo koeficientai, redukuoti į 20 °C temperatūrą [15]

Sistemos kalibravimas			Matuoklių kalibravimas		Matuoklių nulis
Matuoklių Nr.	Sistemos kalibravimo koeficientai, ppm		Matuoklių kalibravimo koeficientai, ppm	Ilgėjimo koeficientas, ppm/° C	Atstumas nuo pado, mm
	Nivelyras Nr. 92426	Nivelyras Nr. 92432			
2004 m. rezultatai					
26598	+2,7±6,3		+5,7±0,8	0,85±0,02	43,000±0,008
26599	+0,9±4,9		+5,3±0,2	1,09±0,01	43,008±0,005
26600		+0,1±8,8	-2,1±0,2	0,81±0,01	43,044±0,060
26605		+7,4±8,9	+4,8±1,9	0,90±0,05	42,960±0,003
2005 m. rezultatai					
26598	+5,2±4,8		+8,4±0,3	0,86±0,09	43,000±0,005
26599	+7,6±3,4		+6,4±0,2	0,94±0,01	43,006±0,004
26600		-0,7±4,8	+0,6±1,9	0,80±0,03	42,995±0,005
26605		+11,6±7,2	+7,1±0,6	0,87±0,05	42,955±0,004

2.1 lentelės duomenys parodo, kad nivelyrų sistemų koeficientų nustatymo paklaidos yra didesnės nei pavienių kodinių matuoklių koeficientų paklaidos. Nivelyrų sistemų koeficientų pokyčiai per 2004–2005 metus yra ženklūs [15].

2.2. Kodinių matuoklių kalibravimas

VG TU Geodezijos instituto kodinės matuoklės *GPCL3* (Nr. Nr. 26598, 26599, 26600 ir 26605) 1998–2005 m. kasmet kalibruojamos Suomijos Geodezijos institute vertikalioju automatinio lazeriniu komparatoriumi. 2005 m. kovo 23–29 d. buvo atliktas paskutinysis matuoklių kalibravimas ir gautas kalibravimo sertifikatas Nr. 12/2005, kurį išdavė Suomijos Geodezijos instituto Nacionalinė standartų laboratorija. Atliktos matavimų procedūros atitinka kokybės standartų ISO 9001 ir ISO 17025 reikalavimus.

Kodinių matuoklių kalibravimas atliktas vertikalioje padėtyje. Kiekvienos kodinės juostelės brūkšnio padėtis nustatyta matuojant atstumus nuo brūkšnio pradžios ir kaip galima arčiau matuoklės pado. Atliktas nominaliųjų ir tikrųjų padėčių palyginimas ir gauti rezultatai redukuoti į +20 °C temperatūrą. Buvo tiriamos kiekvienos kodinės matuoklės invarinės juostelės 2,930 m ilgio atkarpos. Matuoklės invarinės juostelės kiekvienos linijos vieta skiriasi nuo nominalios padėties dėl temperatūros pokyčių ir linijų ženklinimo paklaidų. Nustatytos pataisos, kurios gali būti skaičiuojamos pagal grafiką arba pagal regresijos lygtį.

Bendras regresijos lygčių pavidalas atrodo taip [15]:

$$\delta_k = k_3 + k_4 a_m + k_5 a_m^2 + \dots + k_N a_m^{N-3}, \quad (2.1)$$

čia $k_3, \dots, k_N$ – lygties koeficientai.

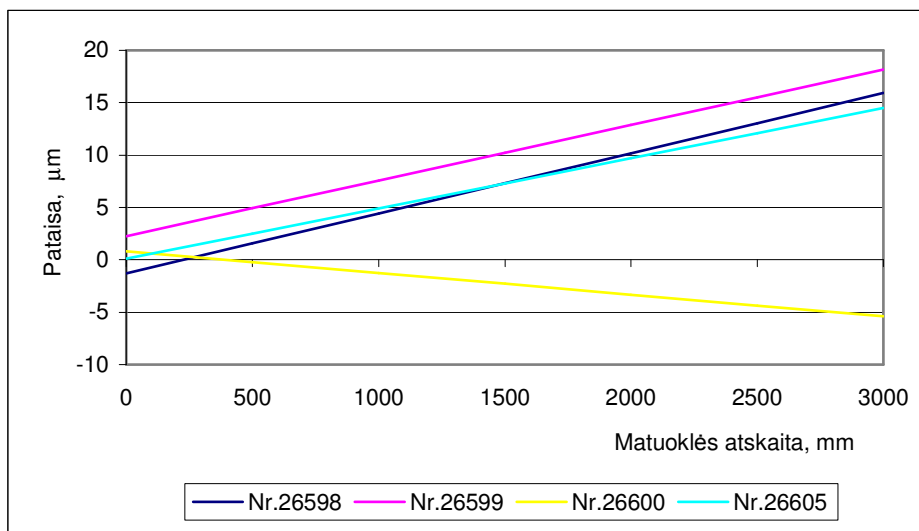
VGTU Geodezijos institutas sistemina ir apibendrina pavienių metų kalibravimo rezultatus, taip pat įvertina kodinių matuoklių parametrų kaitą. GI mokslo darbo ataskaitose pateikta detali 1998–2004 metų kodinių matuoklių parametrų kaitos analizė. Taip pat buvo analizuoti paskutiniojo kalibravimo (2004–2005 m.) duomenys ir matuoklių metrologinių parametrų kaita.

Kalibruojant gautos tokios matuoklių atskaitų pataisų, atsiradusių dėl invarinės juostelės kodinių padalų paklaidų, lygtys [15]:

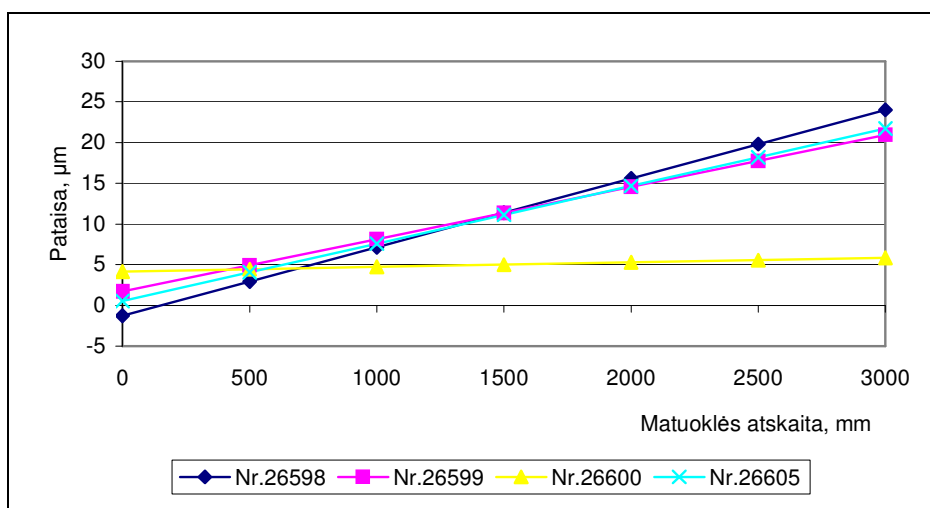
2004 m.:	matuoklė Nr. 26598	$\delta_k = 0,0057402 a_m - 1,30;$
	Nr. 26599	$\delta_k = 0,0052961 a_m + 2,28;$
	Nr. 26600	$\delta_k = -0,0020725 a_m + 0,82;$
	Nr. 26605	$\delta_k = 0,004799 a_m + 0,10;$
2005 m.:	matuoklė Nr. 26598	$\delta_k = 0,00843 a_m - 1,27;$
	Nr. 26599	$\delta_k = 0,00641 a_m + 1,73;$
	Nr. 26600	$\delta_k = 0,00056 a_m + 4,17;$
	Nr. 26605	$\delta_k = 0,00706 a_m + 0,54.$

Į lygtis įrašius atskaitų a_m reikšmes milimetrais, pataisos δ_k gaunamos μm .

2.3 paveiksle pavaizduoti visų keturių kodinių matuoklių 2004 m. kalibravimu gautų pataisų lygčių grafikai, o 2.4 pav. – 2005 metų visų kodinių matuoklių kalibravimo pataisų grafikai.



2.3 pav. 2004 m. visų kodinių matuoklių kalibravimo pataisų grafikai [14]



2.4 pav. 2005 m. visų kodinių matuoklių kalibravimo pataisų grafikai [15]

2.3 – 2.4 pav. parodo, kad 2005 m. esant panašiam pataisų grafikų pobūdžiui, pavienių matuoklių pataisų vertės didžiausiai (praktiškai ir teoriškai neįmanomai) 3000 mm atskaitai yra nuo +6 μm iki +24 μm , kai matuoklių kalibravimo tikslumas yra apie 1–2 μm . Tarp 2004 m. ir 2005 m. kalibravimų minėtų pataisų pokyčiai 3000 mm atskaitai neviršija +11 μm [15].

3. VERTIKALIOJO TINKLO MATAVIMO DUOMENŲ APDOROJIMAS

Atliekant Lietuvos valstybinio geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo punktų precizinį niveliavimą skaitmeniniais nivelyrais *Wild NA3003* kiekvienos darbo dienos pabaigoje duomenys iš nivelyrų atminties blokų perrašomi į personalinį kompiuterį (PC), panaudojant modulį *WILD GIF10* ir programą *transint.exe* (iš programinio paketo TC600).

Pirminis duomenų apdorojimas (punkto klaidingo numerio pakeitimas, pakartotų matavimų pažymėjimas ir pašalinimas) atliekamas tekstiniu redaktoriumi „NE“.

Iš lauko matavimo žurnalų į matavimo duomenų failą įvedami papildomi duomenys tokie, kaip ėjimo pradžios ir pabaigos laikas, pirmosios matuoklės numeris, niveliavimo kryptis, oro bei matuoklių invarinių juostelių temperatūrų reikšmės stotyse, taip pat minimali ir maksimali temperatūros niveliacijos ėjimo metu [14, 15].

Skaiciuojant galutinius aukščių skirtumus tarp gretimų reperių pirmiausia nivelyro atskaitos yra pataisomos temperatūros ir kalibravimo pataisomis. Iš pataisytų atskaitų skaičiuojamas aukščių skirtumas įskaitant refrakcijos pataisą. Toliau skaičiuojamos Mėnulio ir Saulės poveikio pataisos, normalinė pataisa ir galutinis aukščių skirtumas tarp gretimų punktų.

Galutinių aukščių skirtumų tarp gretimų vertikaliojo tinklo punktų skaičiavimo algoritmas pateikiamas šio skyriaus poskyriuose, remiantis VGTU mokslo darbo ataskaitose [14, 15] pateikta metodika. Algoritmas realizuojamas *MATLAB* ir *FORTRAN* algoritminėmis kalbomis sudarytomis programomis.

Šio darbo B priede pateikiamas skaitmeninio nivelyro *NA3003* matavimo duomenų failo pavyzdys su duomenų paaiškinimu. Taip pat B priede pateikiamas niveliavimo duomenų apdorojimo programos (programa sudaryta algoritmine *FORTRAN* programavimo kalba) tekstas.

3.1. Mėnulio ir Saulės poveikio pataisų skaičiavimas

Žemės paviršiaus taškų aukščiai nuolat keičiasi dėl dangaus kūnų traukos poveikio. Žemei artimiausias dangaus kūnas yra Mėnulis, todėl jis turi didžiausią poveikį. Planetų poveikis Žemės gravitacijos laukui nėra reikšmingas, priešingai negu, kad Saulės, turinčios didelę masę, todėl Saulės poveikį reikia įvertinti. Didžiausias Mėnulio ir Saulės poveikis aukščių skirtumui būna per sizigijas, nes abu dangaus kūnai pasiekia kulminaciją tuo pačiu metu.

Dėl Mėnulio poveikio galimi aukščių skirtumų pokyčiai nuo -0,18 mm iki 0,18 mm, o dėl Saulės – nuo -0,07 mm iki 0,07 mm, kai atstumas tarp punktų – 2,5 km (Lietuvos teritorijoje). Sizigijų metu aukščių skirtumų svyravimo diapazonas pirmajame vertikale gali siekti apie 0,39 mm (kai atstumas tarp punktų – 2,5 km) [21].

Sudarant geodezinį vertikalųjį tinklą būtina įvertinti Mėnulio ir Saulės poveikio pataisas.

Šios pataisos δ_{MS} aukščių skirtumams skaičiuotos pagal formules [15]:

$$\delta_{MS} = \delta_M + \delta_S, \quad (3.1)$$

čia δ_M - Mėnulio pataisa

$$\delta_M = 0,068S \sin 2z_M \cos(A_M - A), \quad (3.2)$$

δ_S - Saulės pataisa

$$\delta_S = 0,032 \sin 2z_S \cos(A_S - A), \quad (3.3)$$

čia S stygos – tarp vertikaliojo tinklo punktų ilgis kilometrais, z_M ir z_S – Mėnulio bei Saulės zenitiniai nuotoliai, A_M ir A_S – Mėnulio bei Saulės azimutai, A – stygos tarp tinklo punktų azimutas.

3.2. Temperatūros pataisų skaičiavimas

Oro temperatūra veikia precizinius skaitmeninius nivelyrus, todėl keičiasi prietaisų vizavimo linijos padėtis. Suskaičiavus temperatūros pataisas pagal kalibravimo duomenis, pataisomi matavimų rezultatai. Taip užtikrinami stabilūs matavimų rezultatai, jei matavimų metu temperatūrų pokyčiai yra nedideli. Dėl temperatūros pokyčių prieš pradedant precizinį niveliavimą yra būtina prietaisui leisti įgauti aplinkos temperatūrą (apytiksliai 1 – 2 min. vienam laipsniui) [23].

Matuoklių atskaitos redukuotos į matuoklių kalibravimo temperatūrą, t.y. į +20 °C. Atliekant atskaitų redukavimą buvo atsižvelgta į matuoklių invarinės juostelės temperatūrą niveliavimo metu.

Temperatūros pataisos skaičiuotos pagal formulę [15]:

$$\delta_t = a_m \times \alpha / 2,93, \quad (3.4)$$

čia a_m – matuoklės atskaita, α – matuoklės invarinės juostelės 2,93 m ilgio atkarpos temperatūrinės priklausomybės lygtis, kuri bendruoju pavidalu užrašoma pagal formulę [15]:

$$\alpha = k_1(t_m - 20^\circ) + k_2, \quad (3.5)$$

čia k_1 ir k_2 – matuoklės ilgio temperatūrinės priklausomybės lygties koeficientai, kurie kiekvienai matuoklei 2005 m. pavasarį nustatyti Suomijos geodezijos institute, t_m – matuoklės invarinės juostelės temperatūra °C niveliuojant.

3.3. Kalibravimo pataisų skaičiavimas

Atliekant precizinės niveliacijos duomenų apdorojimą 1998 – 2004 m. buvo naudojamos pavienių matuoklių kalibravimo pataisų lygtys. 2004 m. nivelyrų sistemų kalibravimo duomenys dar nebuvo naudojami skaičiavimuose. Bebaigiant Lietuvos vertikaliojo pirmosios klasės tinklo matavimus, buvo nuspręsta pabaigti viso tinklo precizinio niveliavimo duomenų apdorojimą pagal

vienodą metodiką (kalibravimo pataisoms skaičiuoti buvo naudojamos tik matuoklių kalibravimo pataisų lygtys).

Buvo atlikti eksperimentiniai skaičiavimai palyginant pavienių matuoklių ir nivelyrų sistemų kalibravimo duomenis. Kaip teigiama tarptautiniuose moksliniuose leidiniuose [30, 34], pavienių kodinių matuoklių kalibravimas turėtų būti keičiamas nivelyro ir matuoklių (kaip sistemos) kalibravimu. Kita vertus, matuoklių kalibravimo rezultatai gaunami didesniu tikslumu nei sistemos kalibravimo rezultatai [15].

Precizinių skaitmeninių nivelyrų sistemų ir pavienių matuoklių kalibravimas, atliekamas Suomijos Geodezijos institute, aprašytas šio darbo 2 skyriuje, 2.1. ir 2.2. poskyriuose. Atitinkamai šiuose poskyriuose yra pateiktos kalibravimo pataisų lygtys, gautos kalibruojant nivelyrų sistemas ir kodines matuokles (2004 ir 2005 metais).

Matuoklių atskaitos, pataisytos matuoklių kalibravimo pataisomis, skaičiuotos pagal formulę [15]:

$$\delta_k = k_3 + k_4 a_m + k_5 a_m^2 + \dots + k_N a_m^{N-3}, \quad (3.6)$$

čia $k, \dots, k_N$ – matuoklės kalibravimo lygties koeficientai, kurie kiekvienai matuoklei nustatyti kalibruojant Suomijos geodezijos institute; a_m – matuoklės atskaita, m.

Stotyje aukščių skirtumai skaičiuoti pagal formulę [15]:

$$h_s' = (a_m + \delta_t^a + \delta_k^a) - (p_m + \delta_t^p + \delta_k^p), \quad (3.7)$$

čia a_m ir p_m – atgalinės ir priekinės matuoklių atskaitos, δ_t^a ir δ_t^p – temperatūros pataisos atgalinės ir priekinės matuoklių atskaitoms, δ_k^a ir δ_k^p – kalibravimo pataisos atgalinės ir priekinės matuoklių atskaitoms.

3.4. Refrakcijos pataisų skaičiavimas

Refrakcija – tai šviesos lūžis atmosferoje. Šviesos refrakcija atmosferoje atsiranda, nes rigimasis oro tankis kinta išilgai žvilgsnio linijos, t.y. žvelgiant horizonto kryptimi oras daug labiau tankesnis nei žvelgiant tiesiai virš galvos (į zenitą). Palei horizontą sklindantiems šviesos spinduliams atmosfera tampa panaši į gradientinę terpę: čia oro tankis ir lūžio rodiklis labai priklauso nuo stebėjimo krypties. Tokioje aplinkoje šviesos spindulio lūžio kampas keičiasi palaipsniui ir spindulio kelias yra iškreivinamas. Šviesos spinduliai ima sklisti nebe tiesiomis, bet kreivomis trajektorijomis ir atitinkamai stebėtojas objektą mato kreivo šviesos spindulio liestinės kryptimi.

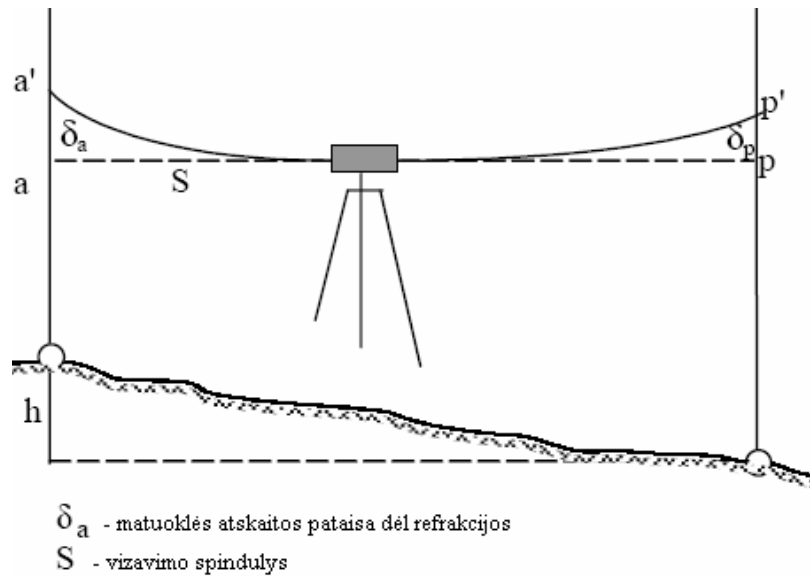
Naujausi išsamūs, ne vienerius metus trukę tyrimai parodė, kad atmosferos refrakcija yra labai nepastovi. Refrakcijos kitimas yra priklausomas nuo paros ir metų laiko. Šylant (vėstant) orui jo tankis mažėja (didėja), todėl mažėja (didėja) ir oro lūžio rodiklis bei refrakcijos kampas. Per parą

refrakcijos kampas kinta nedaug – paprastai neviršija kelių kampo minučių. Tačiau nustatyta, kad sezoninė refrakcija gali būti kur kas didesnė: per metus didžiausias refrakcijos kampas paprastai svyruoja tarp $0,5$ ir 1° , tačiau kai kada šaltuoju metų laiku gali siekti iki 2° ir daugiau. Dažnai pasitaiko, kad oro temperatūros ir tankio priklausomybė nuo aukščio yra netolygi. Taip yra dėl to, kad skirtingame aukštyje susidaro atskiri, nedaug tesiskiriantys temperatūrų oro sluoksniai. Todėl kiekvieną kartą skirtingos temperatūros sluoksnių kiekis bei temperatūros gradientas būna vis kitoks [3].

Refrakcija daro didelę įtaką precizinio niveliavimo rezultatams. Refrakcijai lemiamą įtaką daro atsitiktinė apatinių troposferos sluoksnių (esančių prie žemės paviršiaus) parametrų reikšmių kaita. Šiai troposferos sluoksnių parametrų reikšmių kaitai esminę įtaką daro troposferos turbulentiškumas, todėl matomosios šviesos virpesių lūžio rodiklis tampa nepastovus ir įgauna kiekviename troposferos taške skirtingas reikšmes. Refrakcijai įtakos turintys pagrindiniai troposferos parametrai yra temperatūra, slėgis ir drėgmė. Didžiausią įtaką refrakcijai daro vertikalusis temperatūros gradientas.

Refrakcijos skaičiavimui formulės gaunamos kuriant troposferos matematinius modelius. Formulės yra empirinės, todėl nėra labai tikslios. Dėl šios priežasties refrakcijos skaičiavimas preciziniame niveliavime išlieka aktualia problema. Kadangi matavimai atliekami keleto šimtųjų milimetro dalių tikslumu [28]. Šiame darbe [28] yra pateikti teoriniai refrakcijos apskaičiavimo samprotavimai, pagrįsti matomosios šviesos virpesių sklaidimo kreivės spindulio nustatymu fiksuotame matuoklės lygyje. Kadangi taip galima nustatyti matuoklės atskaitos refrakcijos pataisą ir tuo pačiu pakoreguoti niveliavimo rezultatus.

Precizinio niveliavimo metu naudojamas geometrinio niveliavimo metodas: nivelyro vizavimo ašis yra statmena sunkio jėgos vektoriui, tai reiškia, yra lygiagreti su sąlygine horizontaliaja plokštuma. Tačiau vizavimo spindulys, kuris esant idealios atmosferos sąlygomis turėtų būti tiesė, dėl refrakcijos tampa kreiva linija [28]. Refrakcijos įtakos matuoklės atskaitai schema parodyta 3.1 pav.



3.1 pav. Refrakcijos įtakos matuoklės atskaitai schema [28]

Aukščių skirtumai stotyse pataisyti niveliacinės refrakcijos pataisomis skaičiuojami pagal formulę [15]:

$$\delta_r = A \Delta t S^2 h'_s, \quad (3.8)$$

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

Koeficientas A skaičiuojamas taip [15]:

$$A = \frac{4.76 \cdot 10^{-4}}{Z_2^c - Z_1^c} \left\{ \frac{p^{c+1} - a^{c+1}}{c+1} - Z_0^c (p - a) \right\}, \quad (3.9)$$

čia Z_1 ir Z_2 – temperatūros matavimo aukštis virš žemės paviršiaus, c – koeficientas, a ir p – atgalinės ir priekinės matuoklių atskaitos, pataisytos temperatūros ir kalibravimo pataisomis, Z_0 – nivelyro aukštis. Skaičiavimuose priimta $Z_0 = 1,5$ m, $Z_1 = 1,0$ m, $Z_2 = 2,0$ m.

3.5. Normalinių pataisų skaičiavimas (Helmerto sunkio lauke)

Normaliojo lauko ekvipotencialinių paviršių antilygiagretumo, realaus ir normaliojo sunkio laukų ekvipotencialinių paviršių nesutapimų įvertinimui – skaičiuojami vertikaliojo pirmosios klasės tinklo punktų normalinių aukščių skirtumai. Skaičiuotos aukščių skirtumų, išmatuotų realiame sunkio lauke, normalinės pataisos.

Lietuvos geodeziniuose ir gravimetriniuose darbuose naudotas Helmerto normalusis sunkio laukas bei Potsdamo sunkio pagreičio sistema. Helmerto normalusis sunkio laukas aprašomas formule [15]:

$$\gamma_H^0 = 978030(1 + 0,005302 \sin^2 B_{42} - 0,000007 \sin^2 2B_{42}), \quad (3.10)$$

čia B_{42} – 1942 m. sistemos geodezinė platuma.

Normalinė pataisa Helmerto lauke f_{ik}^H apskaičiuota pagal formulę [19, 21]:

$$f_{ik}^H = \frac{1}{\gamma_{H_v}} (g_p - \gamma_H)_v h_{ik} - \frac{1}{\gamma_{H_v}} (\gamma_{H_k}^0 - \gamma_{H_i}^0) H_v, \quad (3.11)$$

čia vidutinis sunkio pagreitis $\gamma_{H_v} = 980\,000$ mGal; g_p – sunkio pagreitis, išmatuotas pagal Potsdamo sistemą; γ_H – Helmerto lauko normalinis sunkio pagreitis ties teluroidu; h_{ik} – išmatuotasis aukščių skirtumas; $\gamma_{H_i}^0, \gamma_{H_k}^0$ – normalinis sunkio pagreitis punktuose ties elipsoido paviršiumi, skaičiuotas pagal Helmerto formulę (3.10); H_v – punktų i, k vidutinis aukštis metrais, skaičiuojamas taip:

$$H_v = \frac{H_i + H_k}{2}, \quad (3.12)$$

H_i ir H_k – punktų apytikriai normaliniai aukščiai; $(g_p - \gamma_H)_v$ – punktų vidutinė sunkio anomalija laisvame ore, kuri skaičiuojama taip:

$$(g_p - \gamma_H)_v = \frac{1}{2} [(g_p - \gamma_H)_i + (g_p - \gamma_H)_k], \quad (3.13)$$

čia $(g_p - \gamma_H) = (g_p - \gamma_H)_\delta + \Delta g_\delta$, kur $(g_p - \gamma_H)_\delta$ – gravimetriniame žemėlapyje nustatyta Bouguer anomalija, Δg_δ – pataisa už begalinį tarpinį sluoksnį, $\Delta g_\delta = 0,0418\delta H$; $\delta = 2,3$ g/cm³ – Žemės plutos tankis, naudotas skaičiuojant Bouguer anomaliją.

3.6. Sunkio pagreičio skaičiavimas sunkio sistemoje IGSN 71

Lietuvoje vietoje naudotos Potsdamo sunkio sistemos, šiuo metu naudojama IGSN 71 (angl. *The International Gravity Standardization Net 1971*) sunkio sistema. Lietuvoje ši sunkio sistema priimta atlikus absoliutinius sunkio pagreičio matavimus balistiniais prietaisais. Absoliutiniai sunkio pagreičio matavimai punktuose VILNIUS, KLAIPĖDA, PANEVĖŽYS atlikti 1994 m. ir 2000 m. Suomijos geodezijos instituto balistiniu gravimetru *JILA*g- 5. Matavimus atliko Jaakko Mäkinen (Suomijos Geodezijos institutas) bei VGTU Geodezijos instituto darbuotojai [21].

Sudarius Lietuvos valstybinį gravimetrinį pirmosios kalsės tinklą IGSN 71 sunkio sistema buvo perduota į visą šalies teritoriją [26]. Pagal atliktus tyrimus nustatyta, kad vidutinė skirtumo reikšmė tarp Potsdamo ir IGSN 71 sunkio sistemų – 14 mGal (Lietuvos teritorijoje). Todėl šio skirtumo dydis (t.y. 14 mGal) panaudojamas atliekant ankstesniųjų gravimetrinių duomenų redukavimą į naująją sunkio sistemą.

IGSN 71 sistemos pagreitis g_{71r} valstybinio vertikaliojo tinklo punktuose apskaičiuotas pagal Bouguer anomalijas $(g_p - \gamma_H)_{2,3}$ (šios anomalijos nustatomos iš 1:200 000 mastelio gravimetrinio

žemėlapiu). Vertikaliojo tinklo punktų sunkio pagreitis g_{71z} žemės paviršiuje apskaičiuojamas pagal formulę [21]:

$$g_{71z} = (g_p - \gamma_H)_{\delta} + \gamma_H^0 - 0,3086H_z + 0,0419\delta H_z - 14, \quad (3.14)$$

čia γ_H^0 – normalinis sunkio pagreitis elipsoido paviršiuje, nustatytas pagal Helmerto formulę (3.10), H_z – žemės paviršiaus normalinis aukštis, $\delta = 2,3 \text{ g/cm}^3$ – Žemės plutos tankis.

Pagreitis g_{71r} punkto markės aukštyje H apskaičiuotas pagal formulę [21]:

$$g_{71r} = g_{71z} + dg. \quad (3.15)$$

Jeigu $H_z > H$, tai:

$$dg = 0,3086dh - 2 \cdot 0,0419\delta dh, \quad (3.16)$$

čia $dh = H_z - H$.

Jeigu $H_z < H$, tai:

$$dg = -0,3086dh, \quad (3.17)$$

čia $dh = H - H_z$.

3.7. Normalinių pataisų skaičiavimas (GRS 80 sunkio lauke)

Lietuvoje priimtoje geodezinių koordinačių sistemoje LKS 94 yra naudojamas GRS 80 normalusis sunkio laukas.

Normalinė pataisa GRS 80 sunkio lauke skaičiuojama pagal formulę [21]:

$$f_{ik}^{80} = \frac{1}{\gamma_{80v}} (g_{71} - \gamma_{80})_v h_{ik} - \frac{1}{\gamma_{80v}} (\gamma_{80k}^0 - \gamma_{80i}^0) H_v, \quad (3.18)$$

čia g_{71} – sunkio pagreitis, išmatuotas naudojant naują Europos sunkio sistemą; γ_{80} – GRS 80 lauko sunkio pagreitis teluroido paviršiuje; GRS 80 normaliojo lauko sunkio pagreitis γ_{80}^0 skaičiuojamas pagal formulę [15, 19, 20, 21]:

$$\gamma_{80}^0 = \gamma_{80e}^0 \frac{1 + k_{80} \sin^2 B_{94}}{\sqrt{1 - e_{80}^2 \sin^2 B_{94}}}, \quad (3.19)$$

čia B_{94} – LKS 94 sistemos geodezinė platumą; normalinis sunkio pagreitis ant ekvipotencialinio elipsoido GRS 80 paviršiaus ties ekvatoriumi $\gamma_{80e}^0 = 978032,67715 \text{ mGal}$; e_{80} – pirmasis elipsoido ekscentricitetas; $e_{80}^2 = 0,00669438002290$; koeficientas $k_{80} = 0,001931851353$.

Lietuvoje vidutinė normalinio sunkio pagreičio tarp elipsoido ir teluroido reikšmė – $\gamma_{80v} = 981 \text{ 500 mGal}$.

Vertikaliojo tinklo punktų sunkio anomalija laisvame ore nustatoma pagal formulę [15]:

$$(g_{71} - \gamma_{80}) = g_{71} + \delta g_a - \gamma_{80}^0 - \Delta\gamma_{80}, \quad (3.20)$$

čia atmosferos traukos pataisa skaičiuojama pagal formulę [15]:

$$\delta g_a = 0,874 - 0,99 \cdot 10^{-4} H + 0,356 \cdot 10^{-8} H^2, \quad (3.21)$$

aukščio pataisa (H metrais)

$$\Delta \gamma_{80} = -0,30877(1 - 0,00142 \sin^2 B_{94})H + 0,75 \cdot 10^{-7} H^2. \quad (3.22)$$

Ekvipotencialinių paviršių antilygiagretumui nustatyti taikytas pagal Bouguer anomalijas apskaičiuotas sunkio pagreitis g_{71} [15].

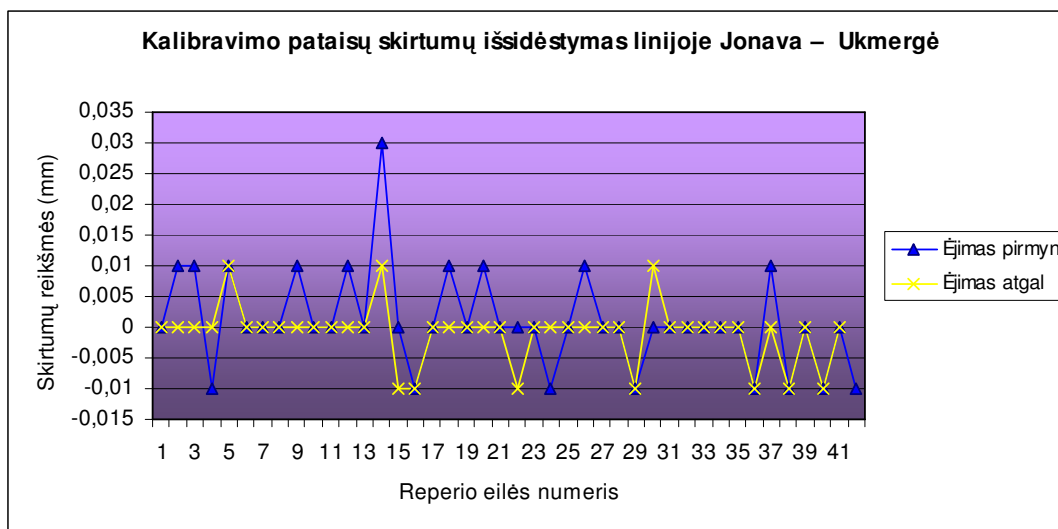
4. VERTIKALIOJO TINKLO LINIJA JONAVA – ZARASAI

NIVELIAVIMO REZULTATŲ ANALIZĖ

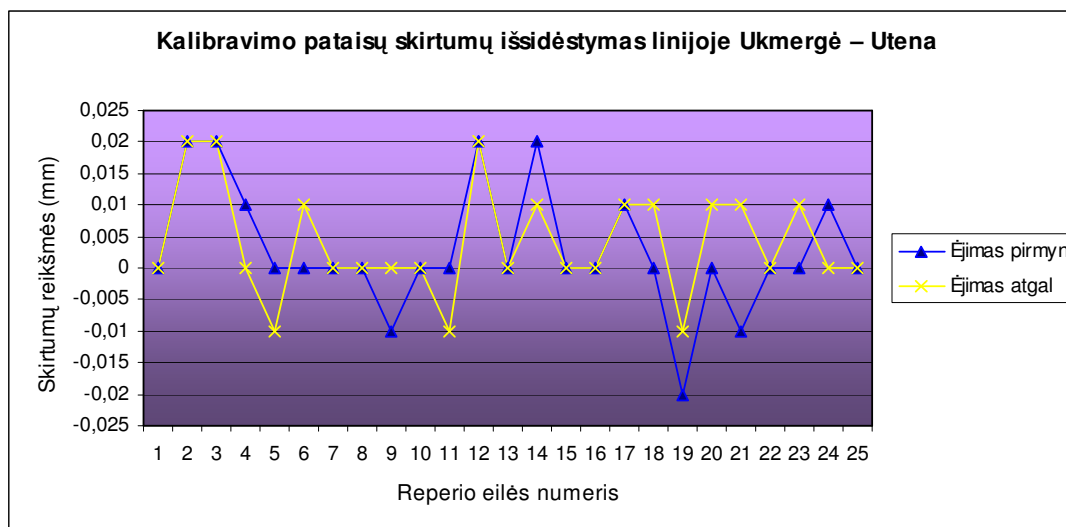
Lietuvos geodezinis vertikalusis pirmosios klasės tinklas sudarytas 1998 – 2006 metais. Baigiamojo darbo objektas – vertikaliojo tinklo linija Jonava – Zarasai, todėl panaudojami 2005 metais išmatuoti ir apdoroti šios linijos niveliavimo duomenys. Atliekant niveliavimo rezultatų analizę, visais etapais vertikaliojo tinklo linija Jonava – Zarasai suskirstyta į keturias atkarpas: Jonava – Ukmergė, Ukmergė – Utena, Utena – Degučiai ir Degučiai – Zarasai.

4.1. Kalibravimo pataisų analizė

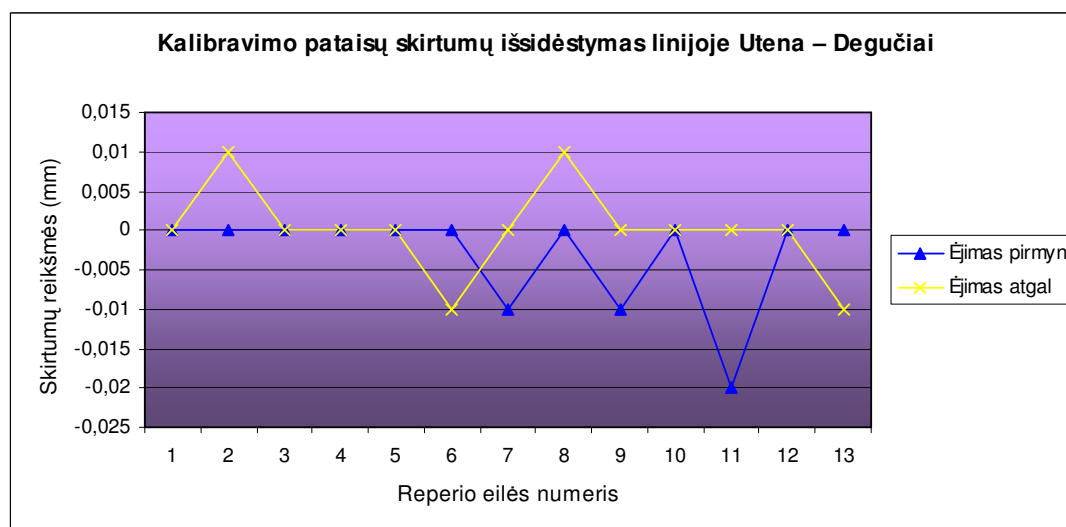
Pagal matavimų rezultatus, gautus niveliacijos linijose Jonava – Ukmergė, Ukmergė – Utena, Utena – Degučiai ir Degučiai – Zarasai, kalibravimo pataisos suskaičiuotos dviem skirtingais atvejais. Pirmuoju atveju, kalibravimo pataisos suskaičiuotos pagal matuoklių kalibravimo rezultatus. Antruoju atveju, kalibravimo pataisos suskaičiuotos pagal vientisos sistemos (bendrai nivelyro ir matuoklių) kalibravimo rezultatus. Suskaičiuoti pataisų skirtumai tarp šių kalibravimo metodų (žiūrėti C priedą). 4.1 – 4.4 pav. grafiškai parodytas kalibravimo pataisų skirtumų išsidėstymas minėtose vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai atkarpose, tiesioginiame ir atgaliniame ėjimuose. Darbo C priede pateikiami išmatuotų ir apdorotų niveliavimo duomenų (pagal matuoklių kalibravimą ir pagal sistemos kalibravimą) pavyzdžiai.



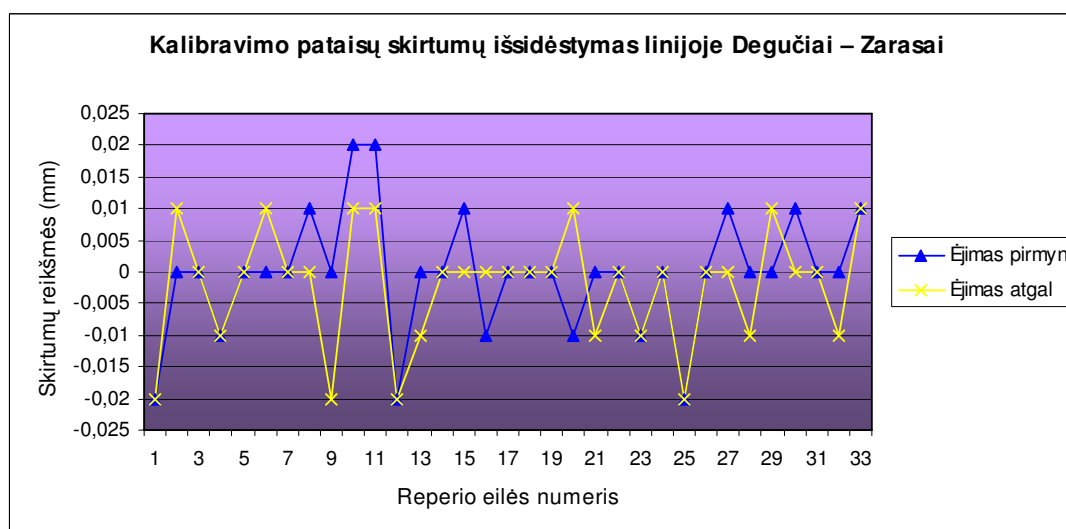
4.1 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Jonava – Ukmergė



4.2 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Ukmergė – Utena



4.3 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Utena – Degučiai



4.4 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Degučiai – Zarasai

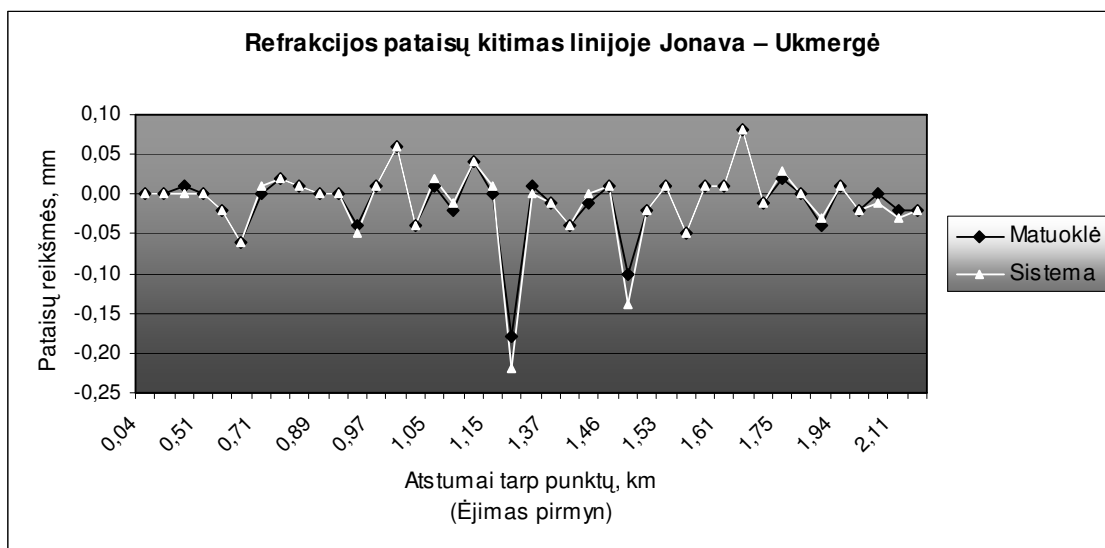
Kaip matyti iš grafikų (4.1 – 4.4 pav.), kalibravimo pataisų skirtumai niveliacijos linijose kinta nuo -0,02 mm iki 0,03 mm (ėjimuose pirmyn) ir nuo -0,02 mm iki 0,02 mm (ėjimuose atgal). Tai reiškia, kad didžiausias teigiamas skirtumas tarp suskaičiuotų kalibravimo pataisų, pagal skirtingais metodais gautas kalibravimo pataisų lygtis, yra 0,03 mm. Didžiausias neigiamas skirtumas – -0,02 mm. Dauguma kalibravimo pataisų reikšmių tarp gretimų tinklo punktų (pagal matuoklių ir pagal sistemos kalibravimo rezultatus) sutampa, t.y. kalibravimo pataisų skirtumų reikšmės lygios nuliui.

Palyginus kalibravimo pataisas, suskaičiuotas pagal skirtingus kalibravimo metodų rezultatus, matyti, kad maksimali kalibravimo pataisų skirtumų reikšmė tarp gretimų tinklo punktų – 0,03 mm. Bendra kalibravimo pataisų suma linijoje Jonava – Zarasai yra 0,53 mm (ėjime pirmyn) ir 0,54 mm (ėjime atgal), kai kalibravimo pataisos skaičiuotos pagal matuoklių kalibravimo rezultatus. Bendra kalibravimo pataisų suma šioje linijoje, kai kalibravimo pataisos skaičiuotos pagal sistemos kalibravimo rezultatus – 0,49 mm (ėjime pirmyn) ir 0,58 mm (ėjime atgal).

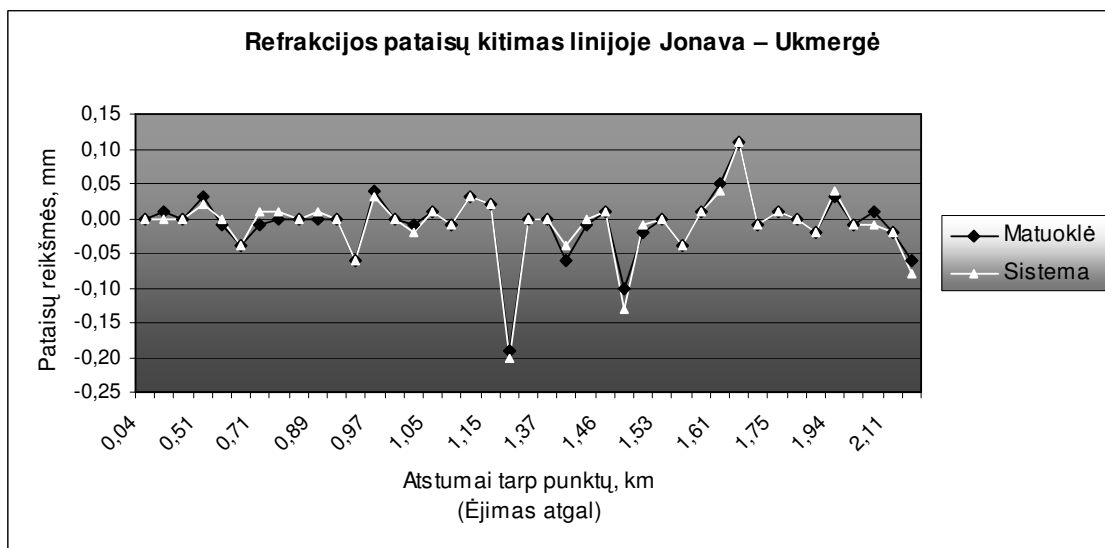
Todėl prieita prie išvados, kad kalibravimo pataisoms skaičiuoti galima naudoti bet kuriuo metodu gautas kalibravimo lygtis.

4.2. Refrakcijos pataisų analizė

Šiame poskyryje nagrinėjamas apskaičiuotų refrakcijos pataisų kitimas vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai atkarpose pagal skirtingais metodais gautus kalibravimo rezultatus. Pagal pavienių matuoklių kalibravimo rezultatus („Matuoklė“) ir pagal vientisos sistemos kalibravimo rezultatus („Sistema“) maksimalus refrakcijos pataisų skirtumas tarp gretimų punktų – 0,04 mm. Bendra refrakcijos pataisų suma linijoje Jonava – Zarasai yra -0,34 mm (ėjime pirmyn) ir -0,37 mm (ėjime atgal) – kai pataisoms skaičiuoti naudojami „Matuoklės“ kalibravimo rezultatai. Bendra refrakcijos pataisų suma linijoje Jonava – Zarasai yra -0,32 mm (ėjime pirmyn) ir -0,45 mm (ėjime atgal) – kai pataisoms skaičiuoti naudojami „Sistemos“ kalibravimo rezultatai. Kadangi niveliacijos linijose refrakcijos pataisos pagal „Matuoklės“ ir pagal „Sistemos“ kalibravimo rezultatusėjimuose pirmyn irėjimuose atgal tarp gretimų punktų praktiškai sutampa (t.y., daugumoje gretimų punktų refrakcijos pataisų skirtumų reikšmės tarp „Matuoklės“ ir „Sistemos“ lygios nuliui), todėl refrakcijos pataisų kitimas pagal tai parodytas tik vienoje niveliacijos linijos Jonava – Zarasai atkarpoje (Jonava – Ukmergė) (4.5, 4.6 pav.).



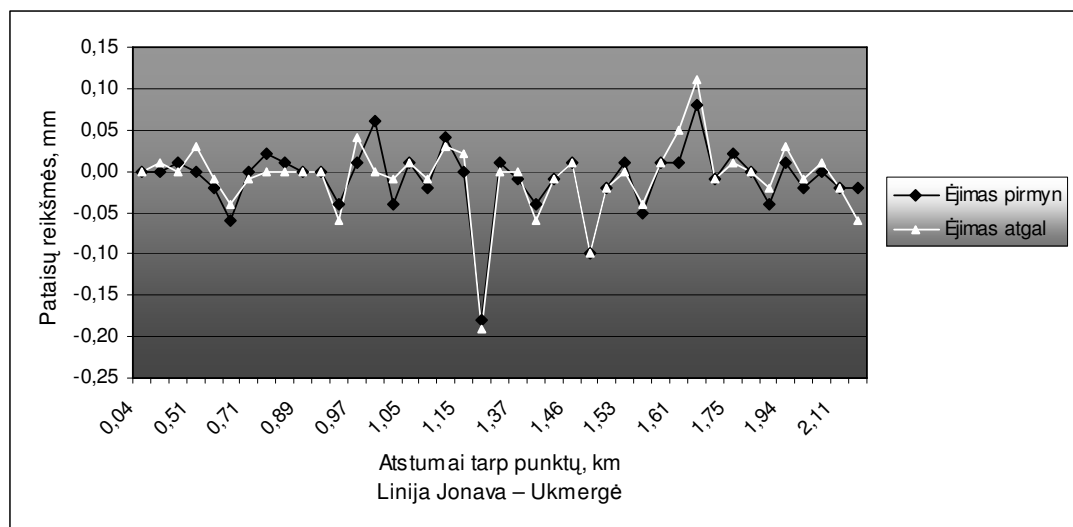
4.5 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Jonava – Ukmergė (1)



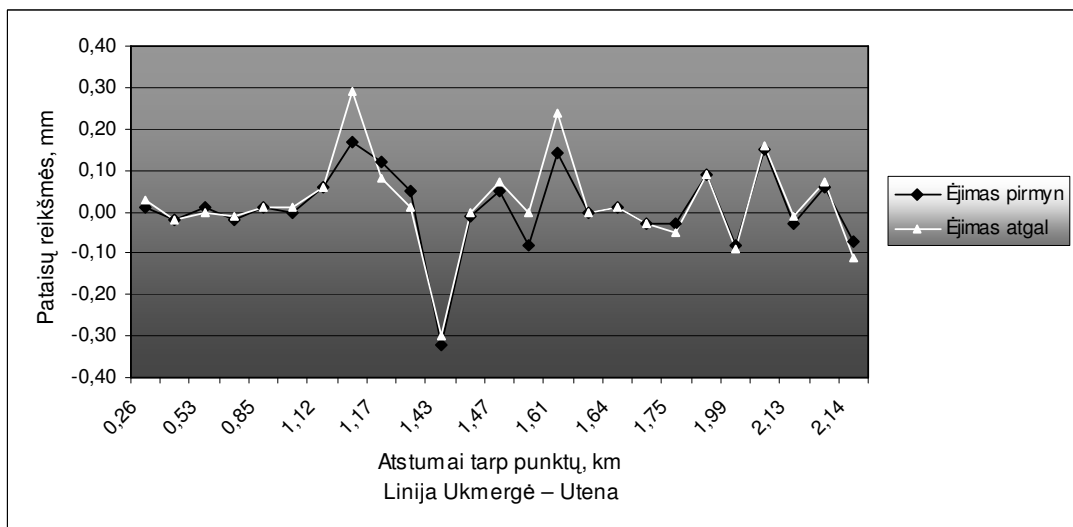
4.6 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Jonava – Ukmergė (2)

Pagal 4.5 pav. parodytą grafiką galima matyti, kad ėjime pirmyn refrakcijos pataisai linijoje Jonava – Ukmergė kinta nuo -0,18 mm iki 0,08 mm (kai kalibravimo metodas – „Matuoklė“) ir nuo -0,22 mm iki 0,08 mm (kai kalibravimo metodas – „Sistema“). 4.6 pav. parodytas grafikas, kuriame galima matyti kaip kinta refrakcijos pataisai linijos Jonava – Ukmergė atgaliniame ėjime. Pataisų kitimo diapazonas – -0,19 – 0,11 mm (kai kalibravimo metodas – „Matuoklė“) ir -0,20 – 0,11 mm (kai kalibravimo metodas – „Sistema“). Vidutinė šios atkarpos refrakcijos pataisų reikšmė – -0,01 mm.

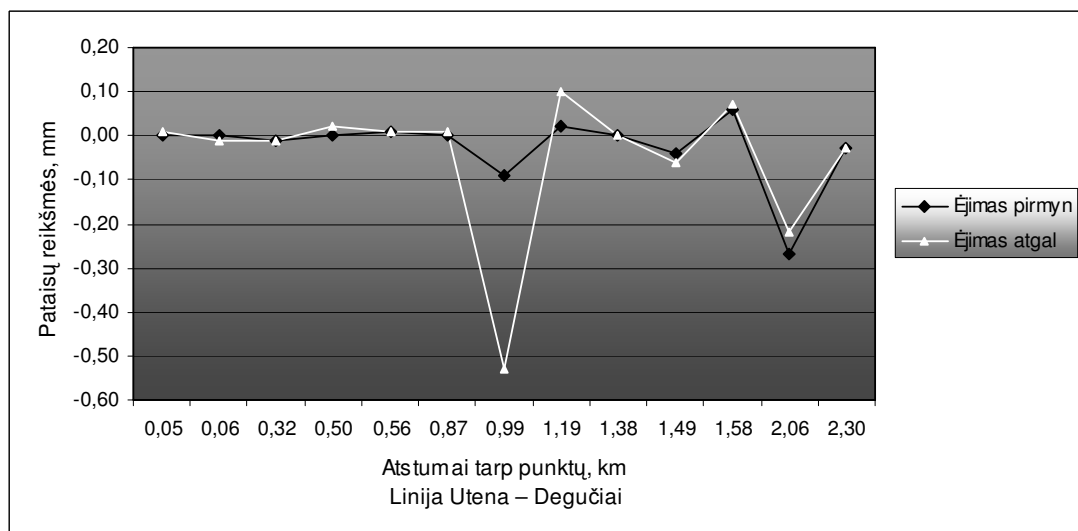
Toliau darbe yra analizuojama, kaip kinta refrakcijos pataisų skirtumai niveliacijos atkarpose Jonava – Ukmergė, Ukmergė – Utena, Utena – Degučiai ir Degučiai – Zarasai tarp tiesioginio ir atgalinio ėjimo (tik pagal „Matuoklės“ kalibravimo rezultatus). Tai grafiškai parodyta 4.7 – 4.10 pav.



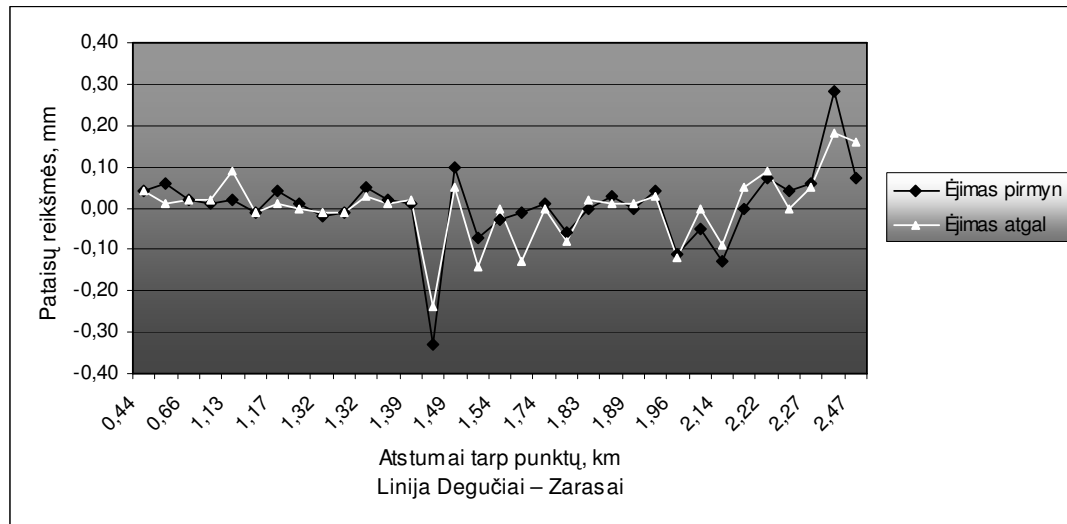
4.7 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Jonava – Ukmergė



4.8 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Ukmergė – Utena



4.9 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Utena – Degučiai



4.10 pav. Refrakcijos pataisų kitimas linijoje Degučiai – Zarasai

Linijoje Jonava – Ukmergė refrakcijos pataisos kinta nuo -0,18 mm iki 0,08 mm ėjime pirmyn ir nuo -0,19 mm iki 0,11 mm ėjime atgal (4.7 pav). Vidutinė pataisos reikšmė yra 0,01 mm. Didžiausios neigiamos refrakcijos pataisos (-0,18 ir -0,19 mm) šioje atkarpoje ėjime pirmyn ir ėjime atgal yra esant 1,20 km atstumui tarp gretimų punktų. Didžiausios teigiamos refrakcijos pataisos (0,08 ir 0,11 mm) yra esant 1,72 km atstumui tarp gretimų punktų.

Linijoje Ukmergė – Utena refrakcijos pataisos kinta nuo -0,32 – 0,17 mm ėjime pirmyn ir nuo -0,30 – 0,29 mm ėjime atgal (4.8 pav.). Vidutinė pataisos reikšmė ėjime pirmyn – 0,01 mm, ėjime atgal – 0,02 mm. Maksimalios neigiamos refrakcijos pataisos (-0,32 ir -0,30 mm) – kai atstumas tarp punktų 1,43 km. Maksimalios teigiamos refrakcijos pataisos (0,17 ir 0,29 mm) – kai atstumas tarp punktų 1,14 km.

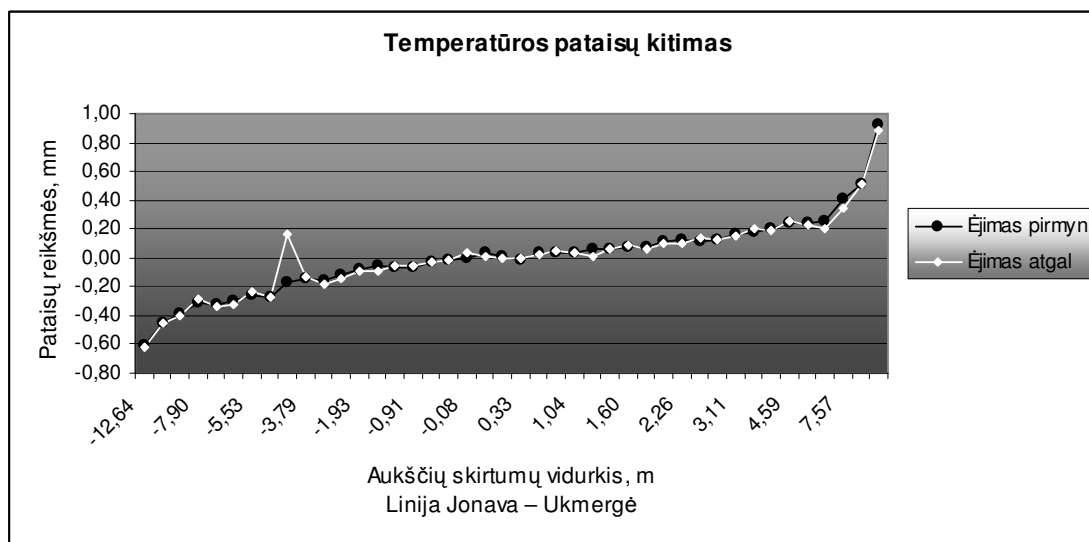
Linijoje Utena – Degučiai refrakcijos pataisos kinta nuo -0,27 mm iki 0,06 mm ėjime pirmyn ir nuo -0,53 mm iki 0,10 mm ėjime atgal (4.9 pav.). Vidutinė pataisos reikšmė ėjime pirmyn – -0,03 mm, ėjime atgal – -0,05 mm. Maksimalios neigiamos refrakcijos pataisų reikšmės (-0,27 ir -0,53 mm) – kai atstumai tarp punktų 2,06 ir 0,99 km. Didžiausios teigiamos pataisų reikšmės (0,06 ir 0,10 mm) – kai atstumai tarp punktų yra 1,58 ir 1,19 km.

Linijoje Degučiai – Zarasai refrakcijos pataisos kinta nuo -0,33 – 0,28 mm ėjime pirmyn ir nuo -0,24 – 0,18 mm ėjime atgal (4.10 pav.). Vidutinė pataisos reikšmė – 0,00 mm. Didžiausios neigiamos pataisų reikšmės (-0,33 ir -0,24 mm) – kai atstumas tarp punktų 1,46 km. Maksimalios teigiamos pataisų reikšmės (0,28 ir 0,18 mm) – kai atstumas tarp punktų 2,33 km.

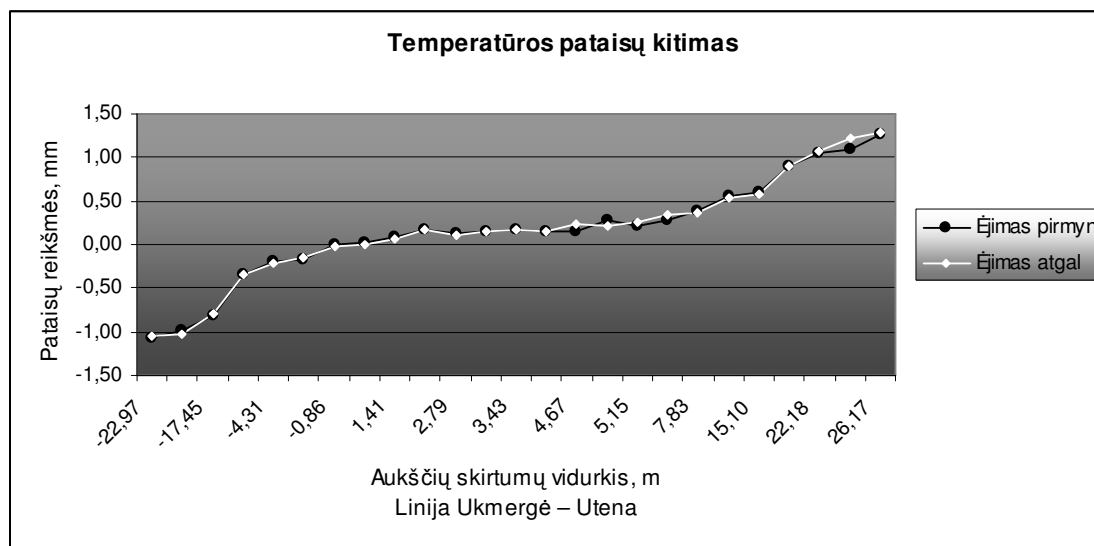
Esant didesniems atstumams tarp punktų, gaunamos didesnės refrakcijos pataisų reikšmės.

4.3. Temperatūros pataisų kitimas priklausomai nuo aukščių skirtumų reikšmių

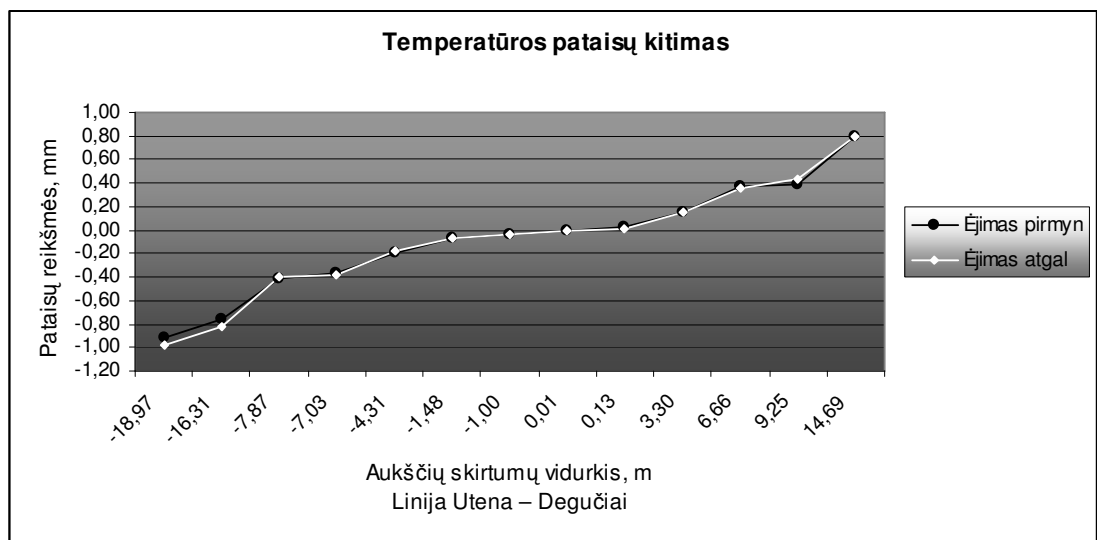
Temperatūros pataisos yra vienodos ir pagal matuoklių kalibravimo rezultatus, ir pagal sistemos kalibravimo rezultatus. Norint panagrinėti temperatūros pataisų kitimą vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai atkarpoje, buvo sudaryti pataisų kitimo grafikai. Temperatūros pataisų kitimas parodytas priklausomai nuo aukščių skirtumų reikšmių (4.11 – 4.14 pav.).



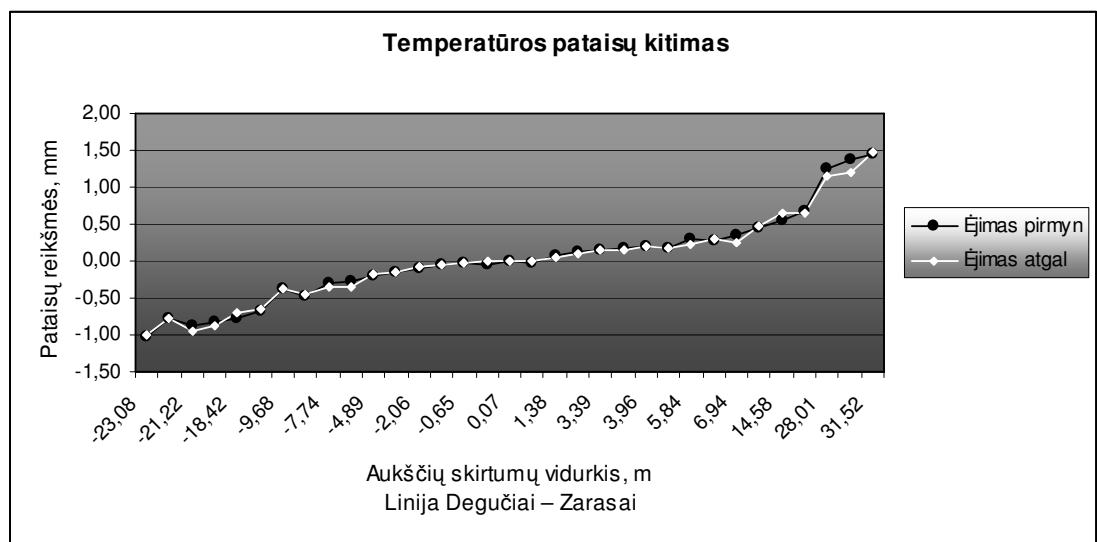
4.11 pav. Temperatūros pataisos linijoje Jonava – Ukmergė



4.12 pav. Temperatūros pataisos linijoje Ukmergė – Utena



4.13 pav. Temperatūros pataisos linijoje Utena – Degučiai



4.14 pav. Temperatūros pataisos linijoje Degučiai – Zarasai

Linijoje Jonava – Ukmergė temperatūros pataisos kinta nuo -0,61 – 0,92 mm (ėjimas pirmyn) ir nuo -0,62 – 0,88 mm (ėjimas atgal) (4.11 pav.). Vidutinės temperatūros pataisų reikšmės išsidėsčiusios apie nulį.

Linijoje Ukmergė – Utena temperatūros pataisos kinta nuo -1,08 – 1,26 mm (ėjimas pirmyn) ir nuo -1,05 – 1,29 mm (ėjimas atgal) (4.12 pav.). Vidutinės temperatūros pataisų reikšmės yra 0,16, 0,17 mm.

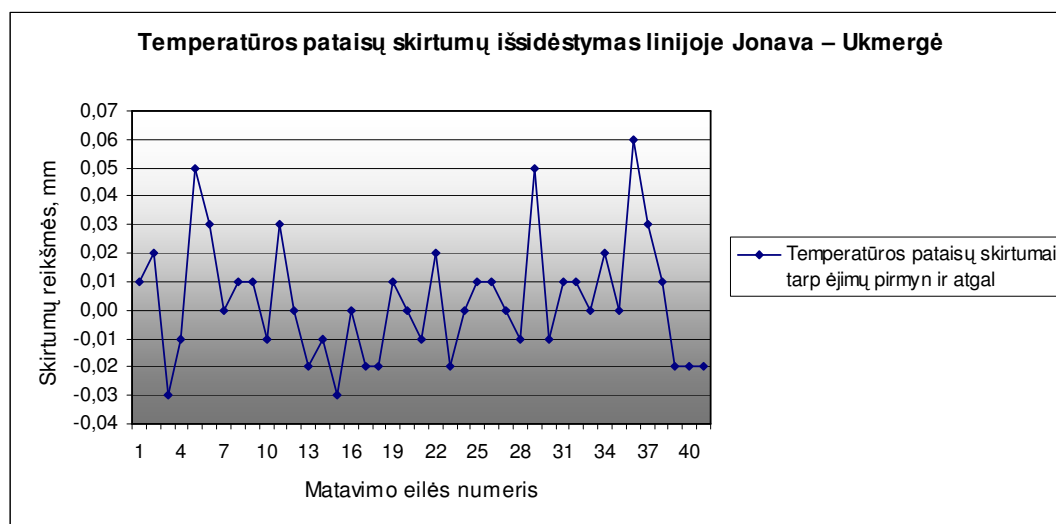
Linijoje Utena – Degučiai temperatūros pataisos kinta nuo -0,92 – 0,80 mm (ėjimas pirmyn) ir nuo -0,98 – 0,80 mm (ėjimas atgal) (4.13 pav.). Vidutinės temperatūros pataisų reikšmės yra -0,08, -0,09 mm.

Linijoje Degučiai – Zarasai temperatūros pataisos kinta nuo -1,03 – 1,46 mm (ėjimas pirmyn) ir nuo -1,01 – 1,48 mm (ėjimas atgal) (4.14 pav.). Vidutinės temperatūros pataisų reikšmės yra 0,01, 0,02 mm.

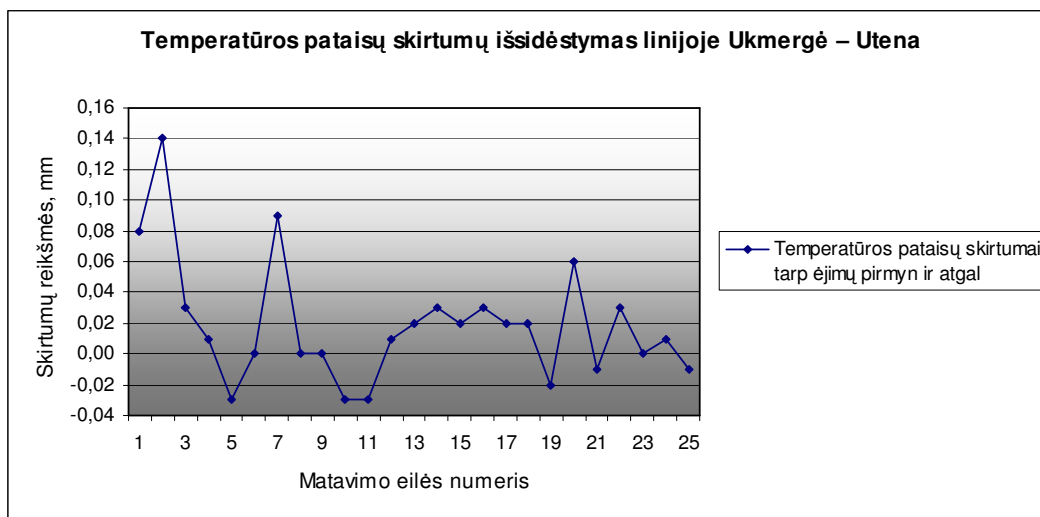
Pagal 4.11 – 4.14 pav. matyti, kad visose vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai atkarpose didėjant aukščių skirtumų reikšmėms, didėja ir temperatūros pataisų reikšmės, kaip pavyzdžiui atkarpoje Degučiai – Zarasai (4.14 pav.) esant 6,94 m aukščių skirtumui tarp gretimų punktų, temperatūros pataisa – 0,34 mm, o esant 31,52 m aukščių skirtumui tarp gretimų punktų, temperatūros pataisa – 1,48 mm (ėjimas atgal).

4.4. Temperatūros pataisų skirtumų kitimas

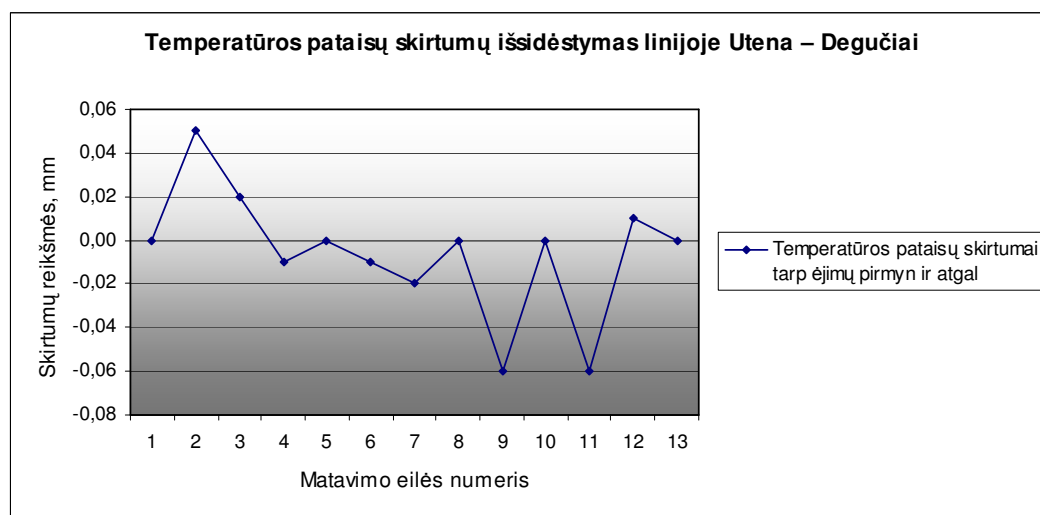
Temperatūros pataisos yra vienodos ir pagal matuoklių kalibravimo rezultatus, ir pagal sistemos kalibravimo rezultatus. Apskaičiuoti temperatūros pataisų skirtumai tarp tiesioginio ir atgalinio ėjimų (žiūrėti C priedą). Šie skirtumai atkarpose Jonava – Ukmergė, Ukmergė – Utena, Utena – Degučiai ir Degučiai – Zarasai grafiškai pateikiami 4.15 – 4.18 pav.



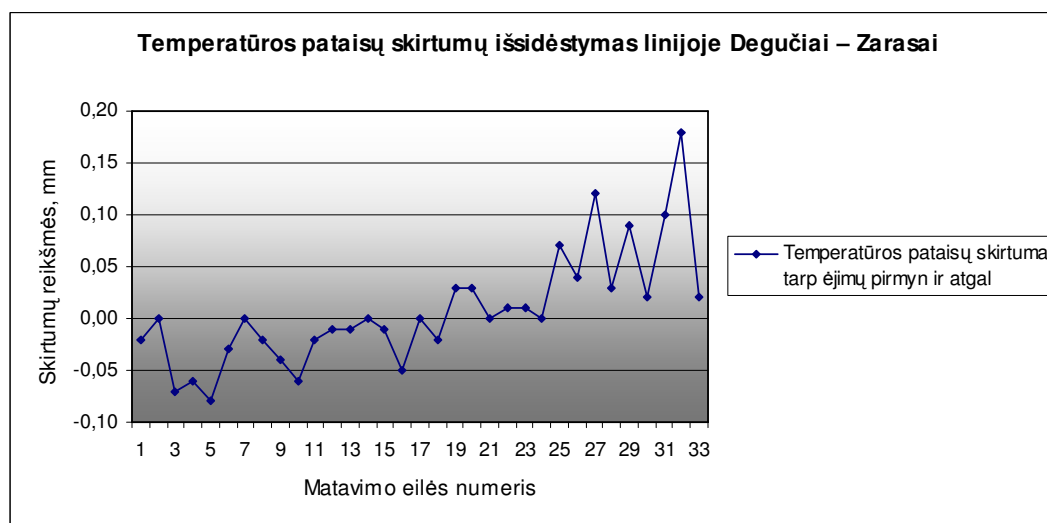
4.15 pav. Temperatūros pataisų skirtumai linijoje Jonava – Ukmergė



4.16 pav. Temperatūros pataisų skirtumai linijoje Ukmergė – Utena



4.17 pav. Temperatūros pataisų skirtumai linijoje Utena – Degučiai

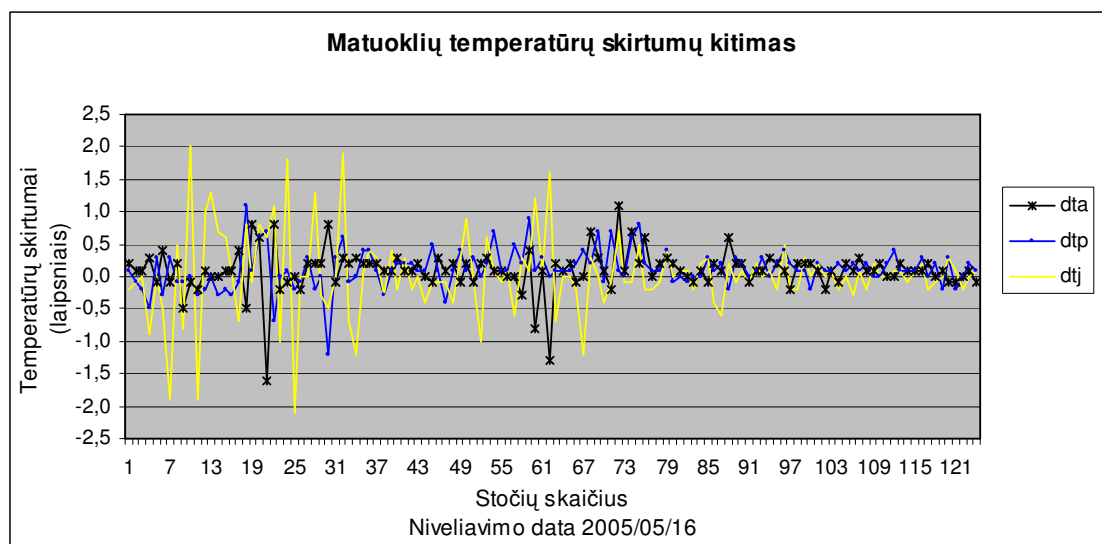


4.18 pav. Temperatūros pataisų skirtumai linijoje Degučiai – Zarasai

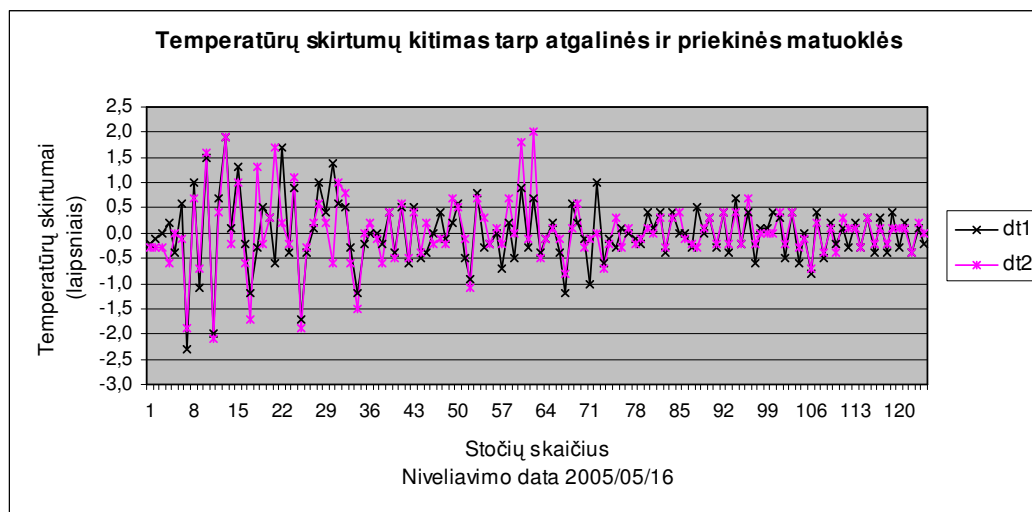
Temperatūros pataisų skirtumai linijoje Jonava – Ukmergė kinta nuo -0,03 mm iki 0,06 mm, vidutinės pataisos yra išsidėsčiusios apie nulį (4.15 pav.). Linijoje Ukmergė – Utena temperatūros pataisų reikšmės kinta nuo -0,03 mm iki 0,14 mm, vidutinė reikšmė – 0,02 mm (4.16 pav.). Linijoje Utena – Degučiai temperatūrų skirtumai kinta nuo -0,06 mm iki 0,05 mm, vidutinė skirtumų reikšmė – -0,01 mm (4.17 pav.). Temperatūros pataisų skirtumai tarp tiesioginio ir atgalinio ėjimų linijoje Degučiai – Zarasai kinta nuo -0,08 mm iki -0,18 mm, vidutinė reikšmė – 0,01 mm (4.18 pav.).

4.5. Temperatūros skirtumų kitimo gegužės, liepos ir rugsėjo mėnesiais analizė

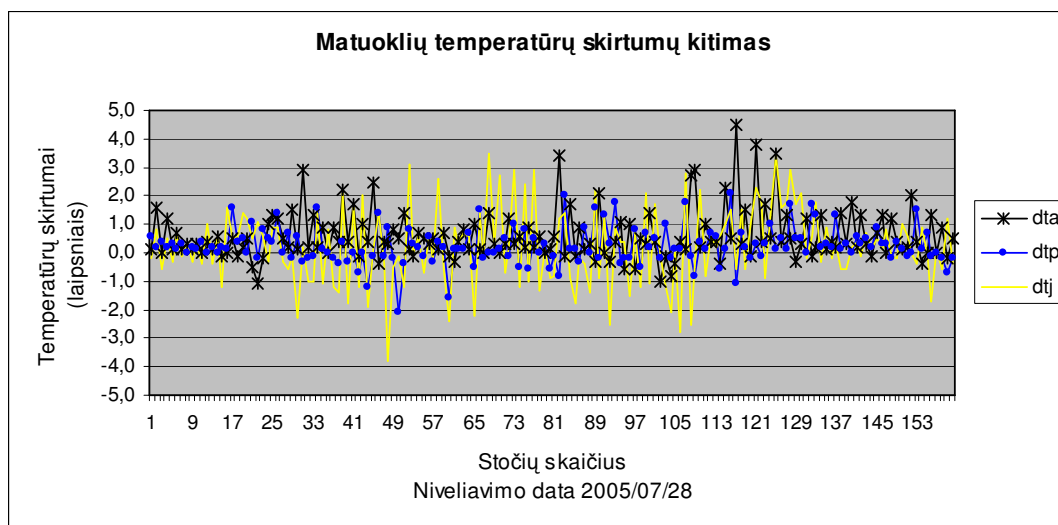
Šiame poskyryje panagrinėtas temperatūros kitimas matavimų metu gegužės, liepos ir rugsėjo mėnesiais. Vertikalojo tinklo matavimų metu oro temperatūra ties abiem matuoklėmis buvo matuota 1,0 m ir 2,0 m aukščiuose, o matuoklių invarinių juostelių temperatūra matuota 1,5 m aukštyje. Kad būtų galima pažiūrėti, kaip kinta temperatūros skirtingame aukštyje, tarp priekinės ir atgalinės matuoklių pagal paskaičiuotus temperatūrų skirtumus (žiūrėti C priedą) sudaryti grafikai, pavaizduoti 4.19 – 4.24 pav. Šiuose grafikuose pateikiamas skirtingų aukščių (1 ir 2 m) temperatūros skirtumų atgalinėje matuoklėje kitimas („dta“), skirtingų aukščių temperatūros skirtumų priekinėje matuoklėje kitimas („dtp“), priekinės ir atgalinės matuoklių invarinių juostelių temperatūrų skirtumų kitimas („dtj“), temperatūrų skirtumai tarp priekinės ir atgalinės matuoklės (kai temperatūra matuota 1 m aukštyje) („dt1“) bei temperatūrų skirtumai tarp priekinės ir atgalinės matuoklės (kai temperatūra matuota 2 m aukštyje) („dt2“).



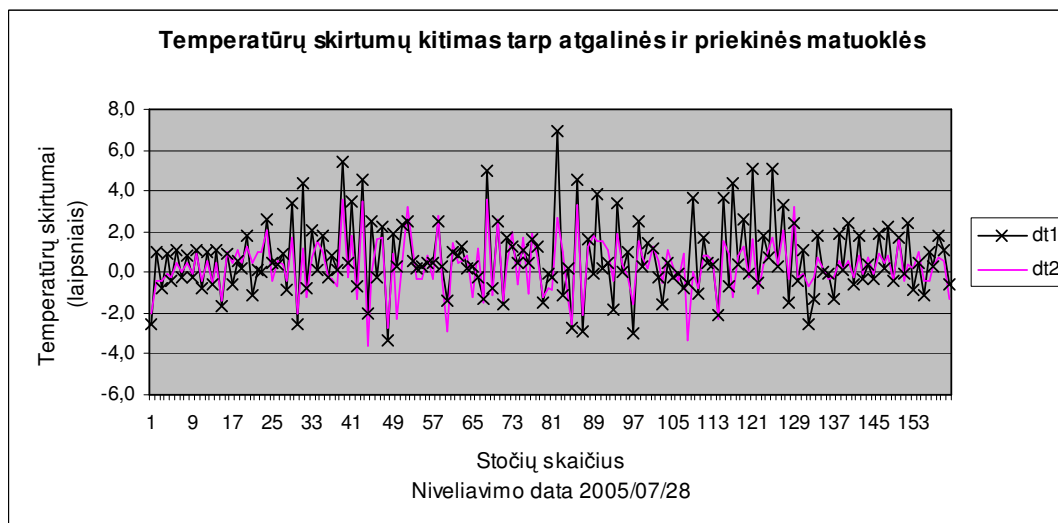
4.19 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas gegužės mėnesį (1)



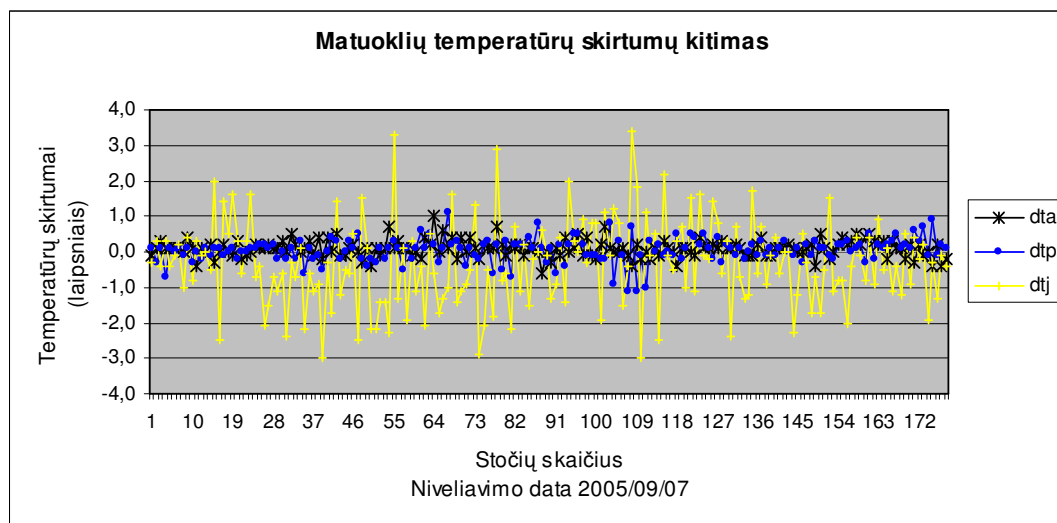
4.20 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas gegužės mėnesį (2)



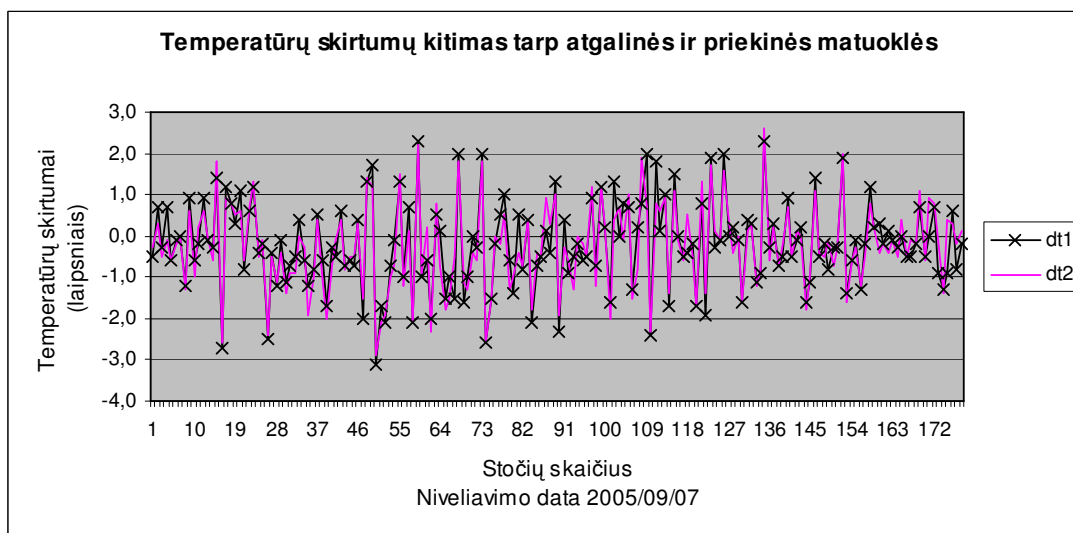
4.21 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas liepos mėnesį (1)



4.22 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas liepos mėnesį (2)



4.23 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas rugsėjo mėnesį (1)



4.24 pav. Temperatūrų skirtumų tarp matuoklių kitimas rugsėjo mėnesį (2)

Gegužės mėnesį temperatūrų skirtumai 1 m ir 2 m aukščiuose tarp atgalinių matuoklių (ta1 - ta2) kinta intervale $-1,6 - 1,1$ °C, temperatūrų skirtumai 1 m ir 2 m aukščiuose tarp priekinių matuoklių (tp1 - tp2) kinta intervale $-1,2 - 1,1$ °C, atgalinės ir priekinės matuoklės invarinių juostelių temperatūrų skirtumai (taj - tpj) kinta intervale $-2,1 - 2,0$ °C, temperatūrų skirtumai 1 m aukštyje tarp atgalinės ir priekinės matuoklės (ta1 - tp1) kinta intervale $-2,3 - 1,9$ °C, temperatūrų skirtumai 2 m aukštyje tarp atgalinės ir priekinės matuoklės (ta2 - tp2) kinta intervale $-2,1 - 2,0$ °C. Temperatūrų skirtumų vidutinės reikšmės išsidėsčiusios apie 0 °C – $0,1$ °C.

Liepos mėnesį temperatūrų skirtumai tarp matuoklių (ta1 - ta2) kinta intervale $-1,1 - 4,5$ °C, temperatūrų skirtumai tarp matuoklių (tp1 - tp2) kinta intervale $-2,1 - 2,1$ °C, temperatūrų skirtumai tarp matuoklių (taj - tpj) kinta intervale $-3,8 - 3,5$ °C, temperatūrų skirtumai tarp matuoklių (ta1 -

tp1) kinta intervale $-3,3 - 6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatūrų skirtumai tarp matuoklių (ta2 – tp2) kinta intervale $-3,6 - 3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatūrų skirtumų viutinė reikšmė tarp matuoklių ta1 ir ta2 – $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, tarp tp1 ir tp2 – $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, tarp taj ir tpj – $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, tarp ta1 ir tp1 – $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir tarp ta2 ir tp2 – $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Rugsėjo mėnesį temperatūrų skirtumai tarp matuoklių (ta1- ta2) kinta intervale $-0,6 - 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatūrų skirtumai tarp matuoklių (tp1 - tp2) kinta intervale $-1,1 - 1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatūrų skirtumai tarp matuoklių (taj - tpj) kinta intervale $-3,0 - 3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatūrų skirtumai tarp matuoklių (ta1 - tp1) kinta intervale $-3,1 - 2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatūrų skirtumai tarp matuoklių (ta2 – tp2) kinta intervale $-2,9 - 2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatūrų skirtumų viutinė reikšmė tarp matuoklių ta1 ir ta2 – $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, tarp tp1 ir tp2 – $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, tarp taj ir tpj – $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, tarp ta1 ir tp1 – $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir tarp ta2 ir tp2 – $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Didžiausi temperatūrų skirtumai pastebimi liepos mėnesį.

4.6. Nesąryšių kitimo analizė

Prie išmatuotų aukščių skirtumų pridėjus pataisų sumą, į kurią įeina temperatūros, kalibravimo, refrakcijos ir Mėnulio bei Saulės pataisos, gaunami tiesioginio ir atgalinio ėjimų pataisyti aukščių skirtumai. Apskaičiavus pataisytus aukščių skirtumų vidurkius ir juos pataisius normaline pataisa f_{ik}^H gaunami galutiniai aukščių skirtumai.

Precizinio niveliavimo tikslumas įvertinamas pagal dvigubų matavimų nesutapimus. Leistini aukščių skirtumų nesutapimai d_{leist} skaičiuoti pagal formules [15]:

$$d_{leist} = 2,0\text{ mm}\sqrt{L}, \quad (4.1)$$

$$d_{leist} = 0,5\text{ mm}\sqrt{n}. \quad (4.2)$$

čia L – ėjimo ilgis, km, n – stočių skaičius. Formulė (4.2) naudota, kai $L < 1$ km.

Nagrinėjant nesąryšių kitimą niveliavimo linijos Jonava – Zarasai atkarpose, buvo paskaičiuoti aukščių skirtumų (pataisytų kalibravimo, refrakcijos ir temperatūros pataisomis) nesutapimai („fs“), taip pat nesutapimai tarp išmatuotų aukščių skirtumų („fsm“), leistinieji nesąryšiai („fl“) ir atstumai nuo atkarpos pradžios. Skaičiavimų rezultatai pateikti 4.1 – 4.4 lentelėse, o grafiškai tai parodyta 4.25 – 4.32 pav.

Aukščių skirtumų nesąryšiai (pridėjus kalibravimo, refrakcijos ir temperatūros pataisų sumą) buvo skaičiuoti taip:

$$f_s = h_p' + h_a', \quad (4.3)$$

čia h_p' – pataisytas aukščių skirtumas (ėjimas pirmyn), h_a' – pataisytas aukščių skirtumas (ėjimas atgal).

Išmatuotų aukščių skirtumų nesąryšiai buvo skaičiuoti taip:

$$f_{sm} = h_p + h_a, \quad (4)$$

čia h_p – išmatuotas aukščių skirtumas (ėjimas pirmyn), h_a – išmatuotas aukščių skirtumas (ėjimas atgal).

4.1 lentelė. Atkarpos Jonava – Ukmergė skaičiavimų rezultatai

Eilės Nr.	Atraminiai punktai		Ėjimo ilgis (km)	Atstumų suma nuo atkarpos pradžios (km)	„fsm“ nesutapi - mai (mm)	„fs“ nesutapimai (mm)	Leistini nesutapi -mai (mm)	„fsm“ suma nuo atkarpos pradžios (mm)	„fs“ suma nuo atkarpos pradžios (mm)	Leistini nesutapi mai nuo atkarpos pradžios (mm)
1	217	15385	1,01	1,01	1,11	1,18	2,01	1,11	1,18	2,01
2	15385	15386	0,71	1,72	0,67	0,68	1,87	1,78	1,86	2,62
3	15386	10367	1,03	2,75	0,94	0,95	2,03	2,72	2,81	3,32
4	10367	10368	2,02	4,77	-0,79	-0,79	2,84	1,93	2,02	4,37
5	10368	3502	0,97	5,74	0,7	0,74	2,12	2,63	2,76	4,79
6	3502	10369	0,93	6,67	-0,64	-0,61	2,00	1,99	2,15	5,17
7	10369	15387	1,28	7,95	0,56	0,56	2,27	2,55	2,71	5,64
8	15387	10370	1,91	9,86	-0,72	-0,69	2,76	1,83	2,02	6,28
9	10370	10371	1,15	11,01	0,41	0,39	2,15	2,24	2,41	6,64
10	10371	10372	1,53	12,54	-2,4	-2,40	2,47	-0,16	0,01	7,08
11	10372	10373	1,37	13,91	-1,95	-1,92	2,34	-2,11	-1,91	7,46
12	10373	3506	1,75	15,66	2,46	2,46	2,64	0,35	0,55	7,91
13	3506	10374	1,95	17,61	-2,63	-2,66	2,79	-2,28	-2,11	8,39
14	10374	15388	1,71	19,32	-2,4	-2,38	2,61	-4,68	-4,49	8,79
15	15388	10375	2,11	21,43	-0,42	-0,41	2,91	-5,1	-4,9	9,26
16	10375	10376	1,39	22,82	-0,73	-0,72	2,36	-5,83	-5,62	9,55
17	10376	3510	1,46	24,28	-0,49	-0,50	2,41	-6,32	-6,12	9,85
18	3510	10377	1,75	26,03	-0,36	-0,32	2,64	-6,68	-6,44	10,2
19	10377	10378	1,09	27,12	-0,25	-0,27	2,09	-6,93	-6,71	10,42
20	10378	3512	1,94	29,06	0,47	0,45	2,78	-6,46	-6,26	10,78
21	3512	10379	0,04	29,1	0,09	0,09	0,71	-6,37	-6,17	10,79
22	10379	3513	1,55	30,65	-0,61	-0,58	2,49	-6,98	-6,75	11,07
23	3513	1074	1,72	32,37	2,31	2,30	2,63	-4,67	-4,45	11,38
24	1074	3515	1,55	33,92	0,14	0,15	2,49	-4,53	-4,3	11,65
25	3515	10380	0,06	33,98	0,03	0,04	0,71	-4,5	-4,26	11,66
26	10380	15389	1,94	35,92	-0,17	-0,17	2,79	-4,67	-4,43	11,99
27	15389	10	1,09	37,01	0,72	0,74	2,09	-3,95	-3,69	12,17
28	10	4	0,89	37,9	0,01	0,02	2,00	-3,94	-3,67	12,31
29	4	3	0,64	38,54	0,05	0,04	1,87	-3,89	-3,63	12,42
30	3	15126	0,51	39,05	0,37	0,40	1,87	-3,52	-3,23	12,5
31	15126	3519	0,56	39,61	-0,6	-0,62	1,87	-4,12	-3,85	12,59
32	3519	20	0,42	40,03	1,23	1,24	1,58	-2,89	-2,61	12,65
33	20	307	0,71	40,74	-0,28	-0,26	1,87	-3,17	-2,87	12,76
34	307	10381	2,24	42,98	0,41	0,45	2,99	-2,76	-2,42	13,11
35	10381	10382	1,50	44,48	-0,91	-0,96	2,45	-3,67	-3,38	13,34
36	10382	3522	1,47	45,95	1,04	1,02	2,43	-2,63	-2,36	13,56
37	3522	10383	1,05	47	-0,46	-0,40	2,05	-3,09	-2,76	13,71
38	10383	3523	1,20	48,2	-0,39	-0,43	2,19	-3,48	-3,19	13,89
39	3523	1329	0,74	48,94	0,87	0,86	2,00	-2,61	-2,33	13,99
40	1329	15390	1,39	50,33	1,8	1,83	2,35	-0,81	-0,5	14,19
41	15390	15391	1,61	51,94	-1,14	-1,20	2,53	-1,95	-1,7	14,41
42	15391	37	0,96	52,9	1,07	1,07	2,00	-0,88	-0,63	14,55

4.2 lentelė. Atkarpos Ukmergė – Utena skaičiavimų rezultatai

Eilės Nr.	Atraminiai punktai		Ėjimo ilgis (km)	Atstumų suma nuo atkarpos pradžios (km)	„fsm“ nesutapi - mai (mm)	„fs“ nesutapimai (mm)	Leistini nesutapi -mai (mm)	„fsm“ suma nuo atkarpos pradžios (mm)	„fs“ suma nuo atkarpos pradžios (mm)	Leistini nesutapi mai nuo atkarpos pradžios (mm)
1	37	3308	0,26	0,26	-0,29	-0,39	1,22	-0,29	-0,39	1,22
2	3308	10384	1,61	1,87	-1,56	-1,80	2,54	-1,85	-2,19	2,73
3	10384	10385	2,00	3,87	0,35	0,31	2,83	-1,5	-1,88	3,93
4	10385	3529	1,03	4,9	-0,56	-0,57	2,03	-2,06	-2,45	4,43
5	3529	10386	1,43	6,33	-0,46	-0,50	2,39	-2,52	-2,95	5,03
6	10386	10387	0,72	7,05	-0,35	-0,38	1,73	-2,87	-3,33	5,31
7	10387	10388	1,64	8,69	0,5	0,41	2,56	-2,37	-2,92	5,9
8	10388	3532	0,85	9,54	-0,67	-0,66	1,87	-3,04	-3,58	6,18
9	3532	10389	1,99	11,53	-1,93	-1,92	2,82	-4,97	-5,5	6,79
10	10389	10390	2,14	13,67	1,26	1,33	2,93	-3,71	-4,17	7,39
11	10390	15392	1,75	15,42	1,4	1,39	2,65	-2,31	-2,78	7,85
12	15392	3537	1,14	16,56	0,17	0,05	2,13	-2,14	-2,73	8,14
13	3537	10391	1,47	18,03	-1,93	-1,92	2,43	-4,07	-4,65	8,49
14	10391	3538	1,17	19,2	0,27	0,34	2,17	-3,8	-4,31	8,76
15	3538	10392	0,53	19,73	-0,06	-0,03	1,58	-3,86	-4,34	8,88
16	10392	10393	1,61	21,34	0,04	-0,07	2,53	-3,82	-4,41	9,24
17	10393	10394	1,34	22,68	0,5	0,57	2,31	-3,32	-3,84	9,52
18	10394	3540	1,81	24,49	0,63	0,61	2,69	-2,69	-3,23	9,9
19	3540	10395	1,43	25,92	-0,07	-0,12	2,39	-2,76	-3,35	10,18
20	10395	10396	1,73	27,65	1,03	1,11	2,63	-1,73	-2,24	10,52
21	10396	8398	2,13	29,78	-0,24	-0,15	2,92	-1,97	-2,39	10,91
22	8398	10397	2,13	31,91	-0,59	-0,58	2,92	-2,56	-2,97	11,3
23	10397	10398	1,64	33,55	-0,84	-0,84	2,56	-3,4	-3,81	11,58
24	10398	3545	1,12	34,67	-0,2	-0,19	2,12	-3,6	-4	11,78
25	3545	762	0,37	35,04	0,22	0,23	1,22	-3,38	-3,77	11,84

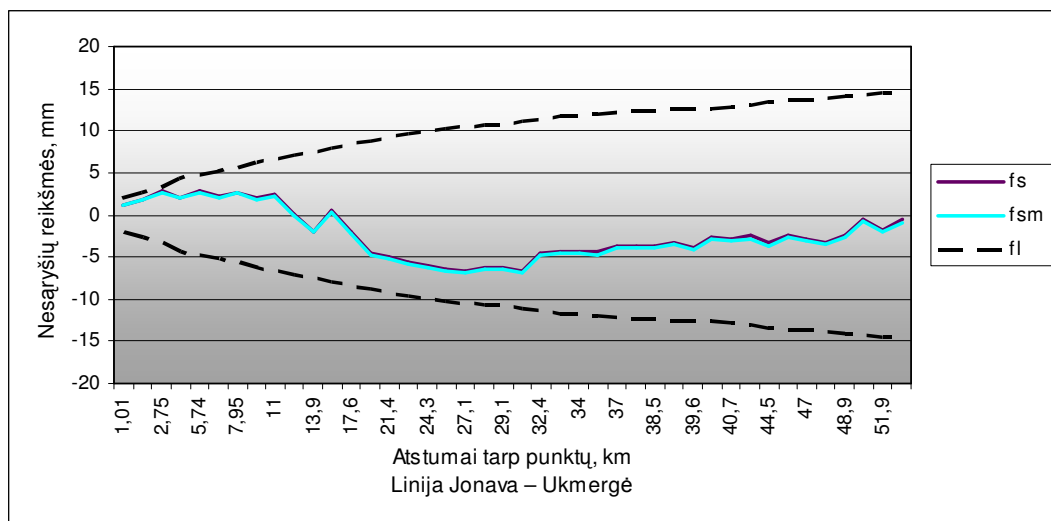
4.3 lentelė. Atkarpos Utena – Degučiai skaičiavimų rezultatai

Eilės Nr.	Atraminiai punktai		Ėjimo ilgis (km)	Atstumų suma nuo atkarpos pradžios (km)	„fsm“ nesutapi - mai (mm)	„fs“ nesutapimai (mm)	Leistini nesutapi -mai (mm)	„fsm“ suma nuo atkarpos pradžios (mm)	„fs“ suma nuo atkarpos pradžios (mm)	Leistini nesutapi mai nuo atkarpos pradžios (mm)
1	762	10399	0,05	0,05	-0,04	-0,03	0,71	-0,04	-0,03	0,71
2	10399	8490	1,19	1,24	1,41	1,27	2,18	1,37	1,24	2,23
3	8490	3101	0,56	1,8	0,61	0,65	1,87	1,98	1,89	2,68
4	3101	5144	0,50	2,3	0,70	0,73	1,73	2,68	2,62	3,03
5	5144	10400	1,58	3,88	1,28	1,27	2,52	3,96	3,89	3,94
6	10400	15383	0,99	4,87	-0,05	0,37	2,00	3,91	4,26	4,41
7	15383	10401	2,30	7,17	-0,61	-0,69	3,03	3,3	3,57	5,36
8	10401	15393	1,38	8,55	1,11	1,10	2,35	4,41	4,67	5,85
9	15393	10402	1,49	10,04	-0,46	-0,38	2,44	3,95	4,29	6,34
10	10402	15394	0,87	10,91	0,06	0,06	1,87	4,01	4,35	6,61
11	15394	3106	2,06	12,97	2,03	2,08	2,87	6,04	6,43	7,2
12	3106	10403	0,32	13,29	0,32	0,32	1,22	6,36	6,75	7,29
13	10403	1390	0,06	13,35	0,00	-0,01	0,71	6,36	6,74	7,31

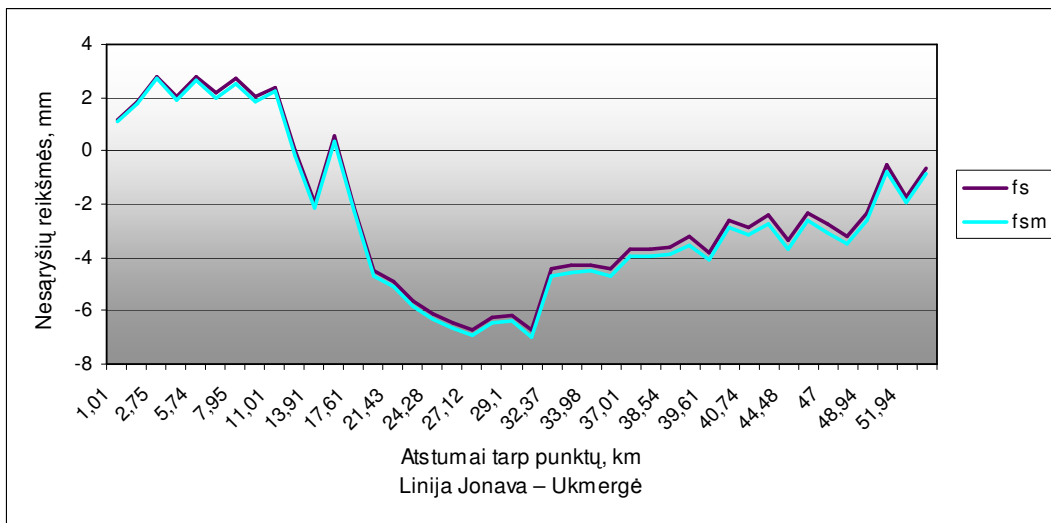
4.4 lentelė. Atkarpos Degučiai – Zarasai skaičiavimų rezultatai

Eilės Nr.	Atraminiai punktai		Ėjimo ilgis (km)	Atstumų suma nuo atkarpos pradžios (km)	„fsm“ nesutapi - mai (mm)	„fs“ nesutapimai (mm)	Leistini nesutapi -mai (mm)	„fsm“ suma nuo atkarpos pradžios (mm)	„fs“ suma nuo atkarpos pradžios (mm)	Leistini nesutapi mai nuo atkarpos pradžios (mm)
1	1390	3401	1,53	1,53	2,16	2,29	2,47	2,16	2,29	2,47
2	3401	3107	0,66	2,19	-0,39	-0,39	1,73	1,77	1,90	2,96
3	3107	3109	1,13	3,32	1,03	1,15	2,13	2,8	3,05	3,64
4	3109	15395	0,60	3,92	-0,65	-0,62	1,87	2,15	2,43	3,96
5	15395	15396	0,75	4,67	-0,96	-0,99	1,87	1,19	1,44	4,32
6	15396	15397	1,32	5,99	1,09	1,12	2,30	2,28	2,56	4,89
7	15397	2196	1,35	7,34	-0,05	0,08	2,33	2,23	2,64	5,42
8	2196	15398	2,33	9,67	-0,06	0,03	3,05	2,17	2,67	6,22
9	15398	10404	1,61	11,28	-1,94	-1,86	2,54	0,23	0,81	6,72
10	10404	10405	1,49	12,77	0,93	0,88	2,44	1,16	1,69	7,15
11	10405	369	1,39	14,16	-0,27	-0,32	2,36	0,89	1,37	7,53
12	369	15399	1,16	15,32	0,23	0,22	2,16	1,12	1,59	7,83
13	15399	10406	1,83	17,15	-0,38	-0,38	2,70	0,74	1,21	8,28
14	10406	10407	1,96	19,11	0,71	0,69	2,80	1,45	1,90	8,74
15	10407	10408	2,47	21,58	2,12	2,21	3,14	3,57	4,11	9,29
16	10408	10409	1,79	23,37	-0,74	-0,71	2,68	2,83	3,40	9,67
17	10409	10410	2,25	25,62	-0,69	-0,63	3,00	2,14	2,77	10,12
18	10410	10411	1,74	27,36	0,71	0,72	2,64	2,85	3,49	10,46
19	10411	10412	1,29	28,65	-0,17	-0,16	2,28	2,68	3,33	10,7
20	10412	719	1,54	30,19	-1,27	-1,34	2,48	1,41	1,99	10,99
21	719	10413	1,46	31,65	-0,61	-0,64	2,41	0,8	1,35	11,25
22	10413	11	2,22	33,87	2,14	2,14	2,98	2,94	3,49	11,64
23	11	10414	2,15	36,02	0,80	0,79	2,93	3,74	4,28	12
24	10414	15400	2,27	38,29	1,02	1,13	3,01	4,76	5,41	12,38
25	15400	10415	2,14	40,43	1,81	1,70	2,93	6,57	7,11	12,72
26	10415	10416	1,32	41,75	-2,02	-2,04	2,30	4,55	5,07	12,92
27	10416	6552	1,89	43,64	2,58	2,66	2,75	7,13	7,73	13,21
28	6552	15401	1,32	44,96	0,69	0,74	2,30	7,82	8,47	13,41
29	15401	15402	1,85	46,81	1,02	1,05	2,72	8,84	9,52	13,68
30	15402	10417	1,89	48,7	1,46	1,50	2,75	10,3	11,02	13,96
31	10417	10418	1,17	49,87	-0,44	-0,41	2,17	9,86	10,61	14,12
32	10418	8504	2,08	51,95	0,01	-0,06	2,88	9,87	10,55	14,41
33	8504	739	0,44	52,39	-0,07	-0,12	1,58	9,8	10,43	14,48

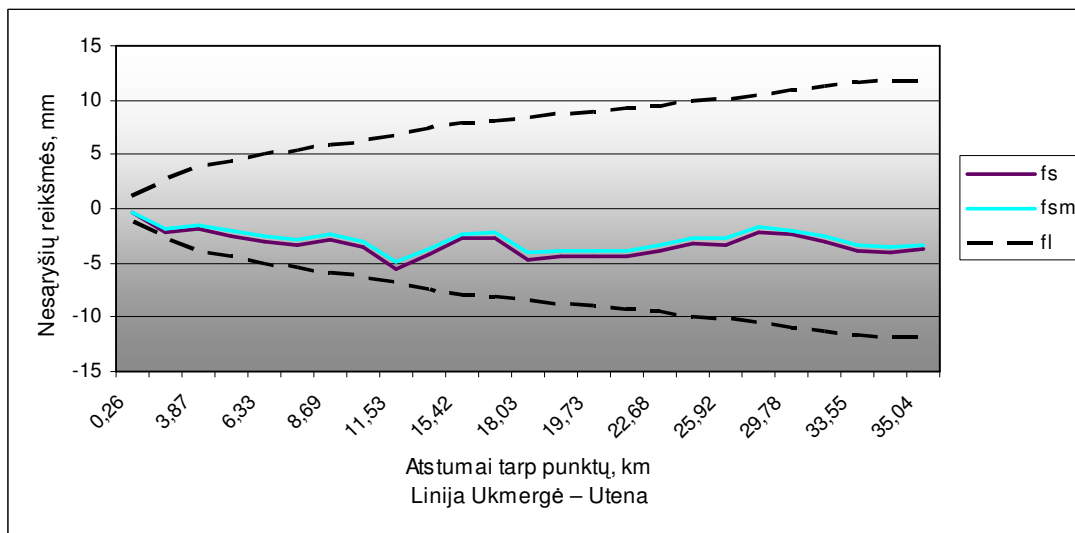
Toliau darbe sekančiuose paveiksluose (4.25 – 4.32 pav.) pateikiamas nesąryšių kitimas vertikaliojo tinklo atkarpose Jonava – Ukmergė, Ukmergė – Utena, Utena – Degučiai ir Degučiai – Zarasai pagal 4.1 – 4.4. lentelių duomenis.



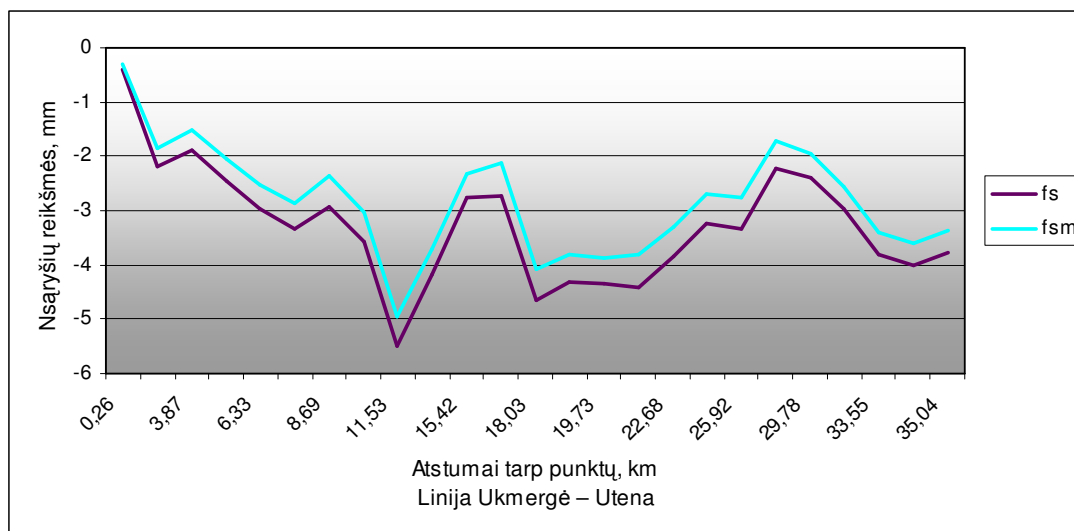
4.25 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (1)



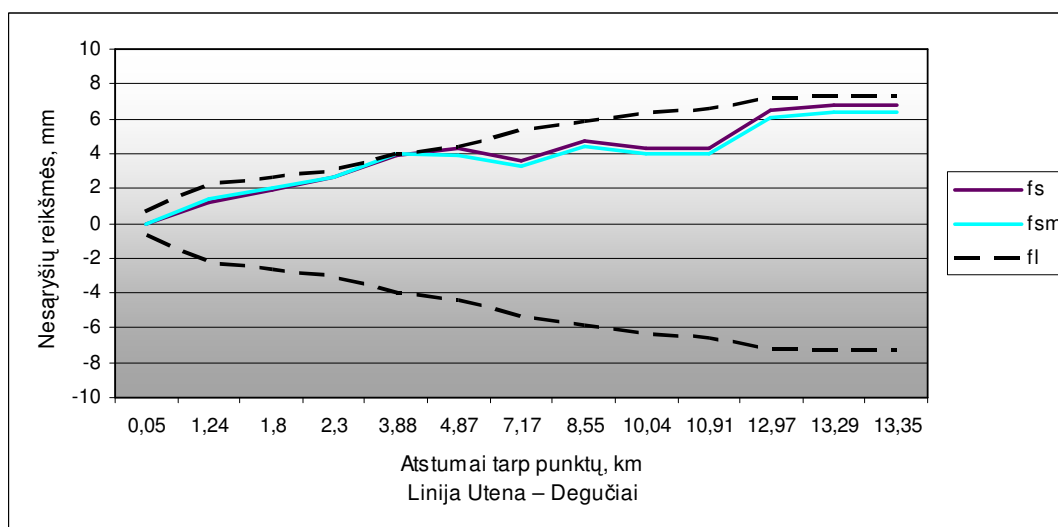
4.26 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (2)



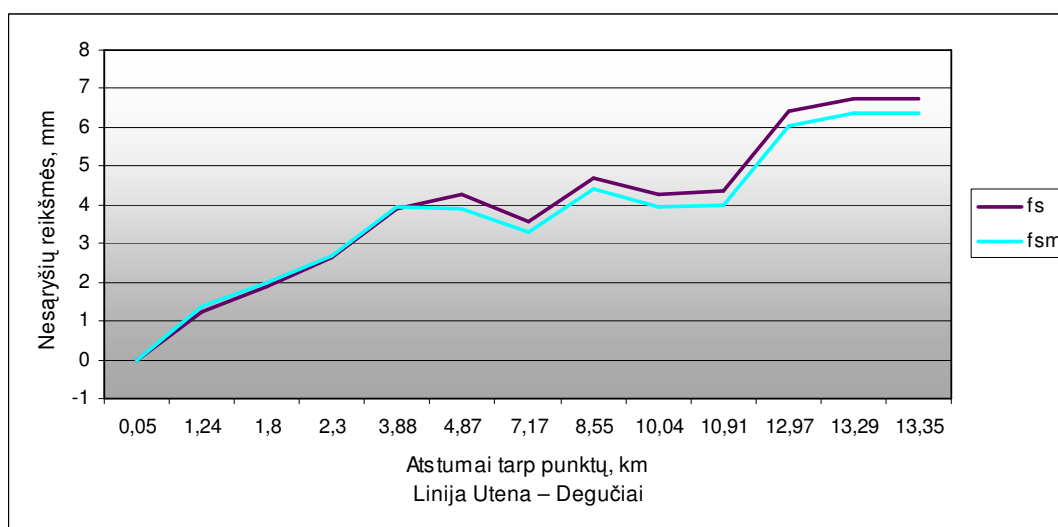
4.27 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (3)



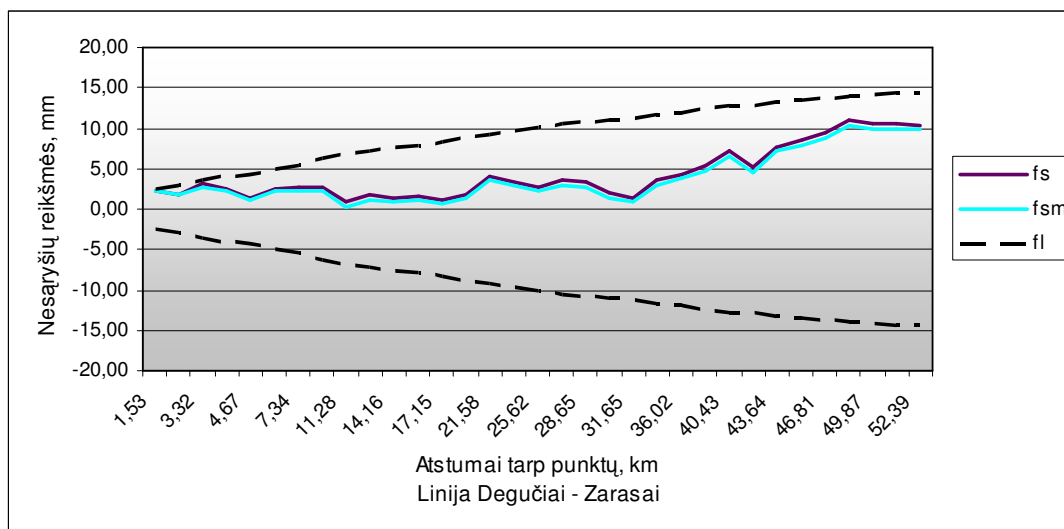
4.28 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (4)



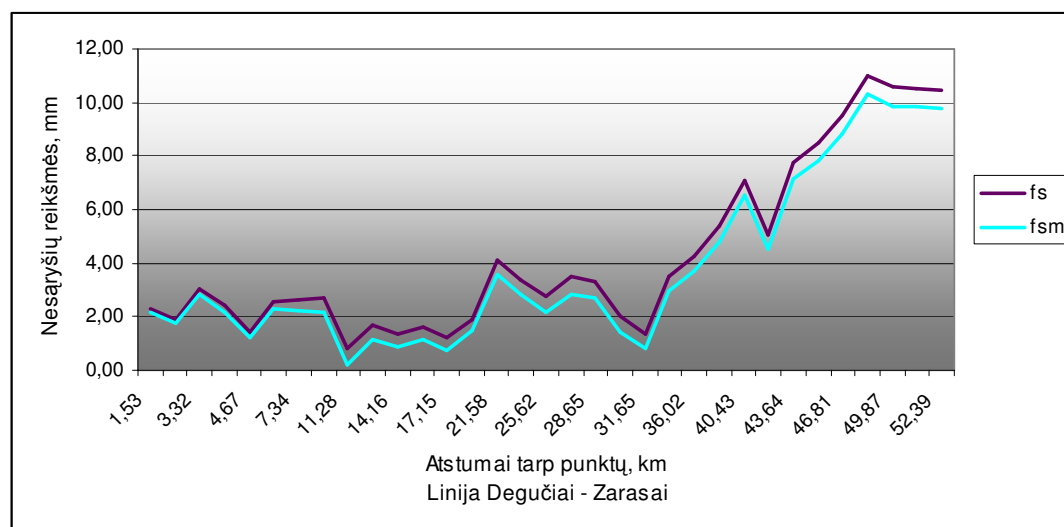
4.29 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (5)



4.30 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (6)



4.31 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (7)



4.32 pav. Nesąryšių kitimas tarp gretimų punktų (8)

Linijoje Jonava – Ukmergė apskaičiuoti nesąryšiai (įskaičius kalibravimo, temperatūros ir refrakcijos pataisas) („fs“) nuo atkarpos pradžios kinta diapazone – -6,75 – 2,81 mm; nesąryšiai tarp išmatuotų aukščių skirtumų („fsm“) kinta nuo -6,98 – 2,72 mm. Bendras šios atkarpos ilgis – 52,9 km, o aukščių skirtumų nesutapimai joje daugiausia kaupiasi neigiami. Tai matyti 4.25, 4.26 pav.

Linijoje Ukmergė – Utena apskaičiuoti nesąryšiai („fs“) kinta diapazone nuo -5,5 mm iki -0,39 mm; išmatuotų aukščių skirtumų nesąryšiai („fsm“) kinta diapazone nuo -4,97 mm iki -0,29 mm. Šios atkarpos bendras ilgis – 35,04 km, o aukščių skirtumų nesutapimai joje tik neigiami (4.27, 4.28 pav.).

Linijoje Utena – Degučiai apskaičiuoti nesąryšiai („fs“) kinta diapazone nuo -0,13 mm iki 6,75 mm; išmatuotų aukščių skirtumų nesąryšiai („fsm“) kinta diapazone nuo -0,04 mm iki 6,36

mm. Šios atkarpos bendras ilgis – 13,35 km, o aukščių skirtumų nesutapimai joje daugiausia kaupiasi teigiami (4.29, 4.30 pav.).

Linijoje Degučiai– Zarasai apskaičiuoti nesąryšiai („fs“) kinta diapazone nuo 0,81 mm iki 11,02 mm; išmatuotų aukščių skirtumų nesąryšiai („fsm“) kinta diapazone nuo 0,23 mm iki 10,3 mm. Šios atkarpos bendras ilgis – 52,39 km, o aukščių skirtumų nesutapimai joje kaupiasi tik teigiami (4.31, 4.32 pav.).

4.7. Niveliavimo rezultatų tikslumo skaičiavimas

Atliekant vertikaliojo tinklo matavimų rezultatų apdorojimą, niveliavimo ėjimo svorio vieneto (vieno kilometro) vidutinė kvadratinė paklaida skaičiuota pagal formulę [15]:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pd^2]}{2n}}, \quad (4.5)$$

čia $p = 1/L$ – aukščių skirtumo svoris, L – atstumas tarp punktų kilometrais, d – dvipusio niveliavimo aukščių skirtumų nesutapimas, mm, n – nesutapimų skaičius. Ši formulė taikoma, kai nėra sisteminių paklaidų.

Dvipusio niveliavimo vidurkio vidutinė kvadratinė paklaida skaičiuota taip [15]:

$$m_{km} = \frac{\mu}{\sqrt{2}}. \quad (4.6)$$

Tikrinant sisteminių paklaidų įtaką niveliavimo rezultatams, kiekvienai niveliacijos linijos atkarpai skaičiuotos aukščių skirtumų nesutapimų liekamosios sisteminės paklaidos [15]:

$$\delta_s = \frac{[pd]}{[p]} \quad (4.7)$$

ir jų patikimumas [15]:

$$\left| \left[d\sqrt{p} \right] \right| \leq 0,25 \left[\left| d\sqrt{p} \right| \right]. \quad (4.8)$$

Jei ši nelygybė tenkinama, tuomet sisteminių paklaidų įtaką galima ignoruoti.

Kiekvienai niveliacijos linijos atkarpai svorio vieneto vidutinė kvadratinė paklaida apskaičiuota pagal formulę [15]:

$$\mu = \sqrt{\frac{[p\varepsilon^2]}{2(n-1)}}, \quad (4.9)$$

čia $\varepsilon_i = d_i - \delta_s$.

Darbe paskaičiuotos niveliavimo ėjimo svorio vieneto (vieno kilometro) vidutinės kvadratinės paklaidos (pagal formulę (4.5)) ir dvipusio niveliavimo vidurkio vidutinės kvadratinės paklaidos (pagal formulę (4.6)). Skaičiavimams panaudoti niveliavimo duomenys pagal matuoklių kalibravimo rezultatus ir pagal sistemos kalibravimo rezultatus. 4.5 – 4.8 lentelėse pateikiami

niveliavimo ėjimo svorio vieneto vidutinės kvadratinės paklaidos skaičiavimo rezultatai vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai atkarpose.

4.5 lentelė. Niveliavimo rezultatų tikslumo skaičiavimas (linija Jonava – Ukmergė)

					Pagal matuoklių kalibravimo rezultatus		Pagal sistemos kalibravimo rezultatus	
Eil. Nr.	Punktai		Atstumas (km)	p	d (mm)	$p \cdot d^2$ (mm)	d (mm)	$p \cdot d^2$ (mm)
1	217	15385	1,01	0,99	1,18	1,38	1,18	1,38
2	15385	15386	0,71	1,41	0,68	0,65	0,68	0,65
3	15386	10367	1,03	0,97	0,95	0,88	0,97	0,91
4	10367	10368	2,02	0,50	-0,79	0,31	-0,79	0,31
5	10368	3502	0,97	1,03	0,74	0,56	0,73	0,55
6	3502	10369	0,93	1,08	-0,61	0,40	-0,61	0,40
7	10369	15387	1,28	0,78	0,56	0,25	0,55	0,24
8	15387	10370	1,91	0,52	-0,69	0,25	-0,69	0,25
9	10370	10371	1,15	0,87	0,39	0,13	0,39	0,13
10	10371	10372	1,53	0,65	-2,40	3,76	0,46	0,14
11	10372	10373	1,37	0,73	-1,92	2,69	0,16	0,02
12	10373	3506	1,75	0,57	2,46	3,46	-1,12	0,72
13	3506	10374	1,95	0,51	-2,66	3,63	0,34	0,06
14	10374	15388	1,71	0,58	-2,38	3,31	1,29	0,97
15	15388	10375	2,11	0,47	-0,41	0,08	-0,41	0,08
16	10375	10376	1,39	0,72	-0,72	0,37	-0,72	0,37
17	10376	3510	1,46	0,68	-0,50	0,17	-0,50	0,17
18	3510	10377	1,75	0,57	-0,32	0,06	-0,31	0,05
19	10377	10378	1,09	0,92	-0,27	0,07	-0,26	0,06
20	10378	3512	1,94	0,52	0,45	0,10	0,43	0,10
21	3512	10379	0,04	25,00	0,09	0,20	0,09	0,20
22	10379	3513	1,55	0,65	-0,58	0,22	-0,59	0,22
23	3513	1074	1,72	0,58	2,30	3,08	2,30	3,08
24	1074	3515	1,55	0,65	0,15	0,01	0,16	0,02
25	3515	10380	0,06	16,67	0,04	0,03	0,03	0,02
26	10380	15389	1,94	0,52	-0,17	0,01	-0,17	0,01
27	15389	10	1,09	0,92	0,74	0,50	0,74	0,50
28	10	4	0,89	1,12	0,02	0,00	0,03	0,00
29	4	3	0,64	1,56	0,04	0,00	0,04	0,00
30	3	15126	0,51	1,96	0,40	0,31	0,42	0,35
31	15126	3519	0,56	1,79	-0,62	0,69	-0,63	0,71
32	3519	20	0,42	2,38	1,24	3,66	1,23	3,60
33	20	307	0,71	1,41	-0,26	0,10	-0,27	0,10
34	307	10381	2,24	0,45	0,45	0,09	0,47	0,10
35	10381	10382	1,50	0,67	-0,96	0,61	-0,95	0,60
36	10382	3522	1,47	0,68	1,02	0,71	1,01	0,69
37	3522	10383	1,05	0,95	-0,40	0,15	-0,40	0,15
38	10383	3523	1,20	0,83	-0,43	0,15	-0,48	0,19
39	3523	1329	0,74	1,35	0,86	1,00	0,86	1,00
40	1329	15390	1,39	0,72	1,83	2,41	1,83	2,41
41	15390	15391	1,61	0,62	-1,20	0,89	-1,19	0,88
42	15391	37	0,96	1,04	1,07	1,19	1,06	1,17
Sumos:						38,54		23,57
Niveliavimo ėjimo svorio vieneto vidutinės kvadratinės paklaidos						$\mu = 0,68$		$\mu = 0,53$

4.6 lentelė. Niveliavimo rezultatų tikslumo skaičiavimas (linija Ukmergė – Utena)

				Pagal matuoklių kalibravimo rezultatus		Pagal sistemos kalibravimo rezultatus		
Eil. Nr.	Punktai		Atstumas (km)	p	d (mm)	$p \cdot d^2$ (mm)	d (mm)	$p \cdot d^2$ (mm)
1	37	3308	0,26	3,85	-0,39	0,59	-0,39	0,59
2	3308	10384	1,61	0,62	-1,80	2,01	-1,75	1,90
3	10384	10385	2,00	0,50	0,31	0,05	0,30	0,05
4	10385	3529	1,03	0,97	-0,57	0,32	-0,58	0,33
5	3529	10386	1,43	0,70	-0,50	0,17	-0,49	0,17
6	10386	10387	0,72	1,39	-0,38	0,20	-0,37	0,19
7	10387	10388	1,64	0,61	0,41	0,10	0,41	0,10
8	10388	3532	0,85	1,18	-0,66	0,51	-0,66	0,51
9	3532	10389	1,99	0,50	-1,92	1,85	-1,91	1,83
10	10389	10390	2,14	0,47	1,33	0,83	1,32	0,81
11	10390	15392	1,75	0,57	1,39	1,10	1,39	1,10
12	15392	3537	1,14	0,88	0,05	0,00	0,05	0,00
13	3537	10391	1,47	0,68	-1,92	2,51	-1,91	2,48
14	10391	3538	1,17	0,85	0,34	0,10	0,33	0,09
15	3538	10392	0,53	1,89	-0,03	0,00	-0,04	0,00
16	10392	10393	1,61	0,62	-0,07	0,00	-0,08	0,00
17	10393	10394	1,34	0,75	0,57	0,24	0,55	0,23
18	10394	3540	1,81	0,55	0,61	0,21	0,61	0,21
19	3540	10395	1,43	0,70	-0,12	0,01	-0,11	0,01
20	10395	10396	1,73	0,58	1,11	0,71	1,11	0,71
21	10396	8398	2,13	0,47	-0,15	0,01	-0,13	0,01
22	8398	10397	2,13	0,47	-0,58	0,16	-0,57	0,15
23	10397	10398	1,64	0,61	-0,84	0,43	-0,84	0,43
24	10398	3545	1,12	0,89	-0,19	0,03	-0,20	0,04
25	3545	762	0,37	2,70	0,23	0,14	0,23	0,14
Sumos:					12,29			12,09
Niveliavimo ėjimo svorio vieneto vidutinės kvadratinės paklaidos					$\mu = 0,50$			$\mu = 0,49$

4.7 lentelė. Niveliavimo rezultatų tikslumo skaičiavimas (linija Utena - Degučiai)

					Pagal matuoklių kalibravimo rezultatus		Pagal sistemos kalibravimo rezultatus	
Eil. Nr.	Punktai		Atstumas (km)	p	d (mm)	$p \cdot d^2$ (mm)	d (mm)	$p \cdot d^2$ (mm)
1	762	10399	0,05	20,00	-0,03	0,02	-0,04	0,03
2	10399	8490	1,19	0,84	1,27	1,36	1,27	1,36
3	8490	3101	0,56	1,79	0,65	0,75	0,65	0,75
4	3101	5144	0,50	2,00	0,73	1,07	0,73	1,07
5	5144	10400	1,58	0,63	1,27	1,02	1,27	1,02
6	10400	15383	0,99	1,01	0,37	0,14	0,38	0,15
7	15383	10401	2,30	0,43	-0,69	0,21	-0,67	0,20
8	10401	15393	1,38	0,72	1,10	0,88	1,11	0,89
9	15393	10402	1,49	0,67	-0,38	0,10	-0,39	0,10
10	10402	15394	0,87	1,15	0,06	0,00	0,06	0,00
11	15394	3106	2,06	0,49	2,08	2,10	2,10	2,14
12	3106	10403	0,32	3,13	0,32	0,32	0,33	0,34
13	10403	1390	0,06	16,67	-0,01	0,00	-0,01	0,00
Sumos:						7,96		8,05
Niveliavimo ėjimo svorio vieneto vidutinės kvadratinės paklaidos						$\mu = 0,55$		$\mu = 0,56$

4.8 lentelė. Niveliavimo rezultatų tikslumo skaičiavimas (linija Degučiai – Zarasai)

					Pagal matuoklių kalibravimo rezultatus		Pagal sistemos kalibravimo rezultatus	
Eil. Nr.	Punktai		Atstumas (km)	p	d (mm)	$p \cdot d^2$ (mm)	d (mm)	$p \cdot d^2$ (mm)
1	1390	3401	1,53	0,65	2,29	3,43	2,28	3,40
2	3401	3107	0,66	1,52	-0,39	0,23	-0,39	0,23
3	3107	3109	1,13	0,88	1,15	1,17	1,15	1,17
4	3109	15395	0,60	1,67	-0,62	0,64	-0,60	0,60
5	15395	15396	0,75	1,33	-0,99	1,31	-0,99	1,31
6	15396	15397	1,32	0,76	1,12	0,95	1,13	0,97
7	15397	2196	1,35	0,74	0,08	0,00	0,08	0,00
8	2196	15398	2,33	0,43	0,03	0,00	0,02	0,00
9	15398	10404	1,61	0,62	-1,86	2,15	-1,87	2,17
10	10404	10405	1,49	0,67	0,88	0,52	0,88	0,52
11	10405	369	1,39	0,72	-0,32	0,07	-0,33	0,08
12	369	15399	1,16	0,86	0,22	0,04	0,22	0,04
13	15399	10406	1,83	0,55	-0,38	0,08	-0,39	0,08
14	10406	10407	1,96	0,51	0,69	0,24	0,68	0,24
15	10407	10408	2,47	0,40	2,21	1,98	2,23	2,01
16	10408	10409	1,79	0,56	-0,71	0,28	-0,70	0,27
17	10409	10410	2,25	0,44	-0,63	0,18	-0,63	0,18
18	10410	10411	1,74	0,57	0,72	0,30	0,72	0,30
19	10411	10412	1,29	0,78	-0,16	0,02	-0,16	0,02
20	10412	719	1,54	0,65	-1,34	1,17	-1,34	1,17
21	719	10413	1,46	0,68	-0,64	0,28	-0,63	0,27
22	10413	11	2,22	0,45	2,14	2,06	2,14	2,06
23	11	10414	2,15	0,47	0,79	0,29	0,79	0,29
24	10414	15400	2,27	0,44	1,13	0,56	1,13	0,56
25	15400	10415	2,14	0,47	1,70	1,35	1,71	1,37
26	10415	10416	1,32	0,76	-2,04	3,15	-2,04	3,15
27	10416	6552	1,89	0,53	2,66	3,74	2,66	3,74
28	6552	15401	1,32	0,76	0,74	0,41	0,74	0,41
29	15401	15402	1,85	0,54	1,05	0,60	1,06	0,61
30	15402	10417	1,89	0,53	1,50	1,19	1,51	1,21
31	10417	10418	1,17	0,85	-0,41	0,14	-0,41	0,14
32	10418	8504	2,08	0,48	-0,06	0,00	-0,06	0,00
33	8504	739	0,44	2,27	-0,12	0,03	-0,11	0,03
Sumos:						28,58		28,61
Niveliavimo ėjimo svorio vieneto vidutinės kvadratinės paklaidos						$\mu = 0,66$		$\mu = 0,66$

Pagal apskaičiuotas niveliavimo ėjimų svorio vieneto vidutinės kvadratinės paklaidas (žiūrėti 4.5 – 4.8 lent.) suskaičiuotos dvipusio niveliavimo vidurkio vidutinės kvadratinės paklaidos. Skaičiavimų rezultatai pateikiami 4.9 lentelėje.

4.9 lentelė. Dvipusio niveliavimo vidurkio vidutinės kvadratinės paklaidos

Atkarpos	Pagal matuoklių kalibravimo rezultatus	Pagal sistemos kalibravimo rezultatus
	m_{km} , mm	m_{km} , mm
Jonava – Ukmergė	0,48	0,37
Ukmergė – Utena	0,35	0,35
Utena – Degučiai	0,39	0,39
Degučiai – Zarasai	0,47	0,47

Kaip matyti iš 4.9 lentelės, dvipusio niveliavimo vidurkio vidutinės kvadratinės paklaidos (m_{km}) neviršija 0,5 mm/km.

IŠVADOS

1. Palyginus kalibravimo pataisas, suskaičiuotas pagal skirtingus kalibravimo metodų rezultatus, nustatyta, kad maksimali kalibravimo pataisų skirtumų reikšmė tarp gretimų tinklo punktų – 0,03 mm. Bendra kalibravimo pataisų suma linijoje Jonava – Zarasai yra 0,53 mm (ėjime pirmyn) ir 0,54 mm (ėjime atgal) pagal matuoklių kalibravimo rezultatus. Bendra kalibravimo pataisų suma pagal sistemos kalibravimo rezultatus – 0,49 mm (ėjime pirmyn) ir 0,58 mm (ėjime atgal). Todėl prieita prie išvados, kad kalibravimo pataisoms skaičiuoti galima naudoti bet kuriuo metodu gautas kalibravimo lygtis.
2. Pagal pavienių matuoklių kalibravimo rezultatus („Matuoklė“) ir pagal vientisos sistemos kalibravimo rezultatus („Sistema“) maksimalus refrakcijos pataisų skirtumas tarp gretimų punktų – 0,04 mm. Bendra refrakcijos pataisų suma linijoje Jonava – Zarasai yra -0,34 mm (ėjime pirmyn) ir -0,37 mm (ėjime atgal) – pagal „Matuoklės“ kalibravimo rezultatus. Pagal „Sistemos“ kalibravimo rezultatus bendra refrakcijos pataisų suma šioje linijoje yra -0,32 mm (ėjime pirmyn) ir -0,45 mm (ėjime atgal).
3. Panagrinėta, kaip kinta refrakcijos pataisos tarp tiesioginio ir atgalinio ėjimų. Pastebėta, kad didžiausias neigiamas skirtumas (tarp refrakcijos pataisų reikšmių) tarp tiesioginio ir atgalinio ėjimų yra -0,26 mm vertikaliojo tinklo atkarpoje Utena – Degučiai. Didžiausias teigiamas skirtumas yra 0,12 mm atkarpoje Ukmergė – Utena. Didžiausia neigiama refrakcijos pataisos reikšmė yra -0,53 mm, kai atstumas tarp punktų – 0,99 km (atkarpoje Utena - Degučiai). Maksimali teigiama refrakcijos pataisos reikšmė – 0,29 mm, kai atstumas tarp punktų – 1,14 km (atkarpoje Ukmergė – Utena).
4. Analizuojant temperatūros pataisų priklausomybę nuo aukščių skirtumo pastebėta, kad visose vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai atkarpose didėjant aukščių skirtumų reikšmėms, didėja ir temperatūros pataisų reikšmės. Didžiausia neigiama temperatūros pataisos reikšmė yra -1,08 mm, kai aukščių skirtumas tarp gretimų punktų yra -22,97 m (atkarpoje Ukmergė – Utena); didžiausia teigiama - 1,48 mm, kai aukščių skirtumas - 31,52 m (atkarpoje Degučiai – Zarasai).
5. Pagal temperatūros pataisų skirtumus tarp tiesioginio ir atgalinio ėjimų nustatyta, kad maksimali neigiama skirtumų reikšmė – -0,08, maksimali teigiama skirtumų reikšmė – 0,18 mm (atkarpoje Degučiai – Zarasai).
6. Paanalizavus temperatūrų skirtumų kitimą gegužės, liepos ir rugsėjo mėnesiais, matyti, kad didžiausi temperatūrų skirtumai yra liepos mėnesį. Didžiausias teigiamas ir neigiamas temperatūrų skirtumai 1 m ir 2 m aukščiuose tarp atgalinių matuoklių (t_{a1} - t_{a2}) yra $-1,6^{\circ}\text{C}$ (gegužės mėn.) ir $4,5^{\circ}\text{C}$ (liepos mėn.). Didžiausias teigiamas ir neigiamas temperatūrų skirtumai

1 m ir 2 m aukščiuose tarp priekinių matuoklių ($tp1 - tp2$) – $-2,1^{\circ}C$ ir $2,1^{\circ}C$ (liepos mėn.). Didžiausias teigiamas ir neigiamas atgalinės ir priekinės matuoklės invarinių juostelių temperatūrų skirtumai ($taj - tpj$) – $-3,8^{\circ}C$ ir $3,5^{\circ}C$ (liepos mėn.). Didžiausias teigiamas ir neigiamas temperatūrų skirtumai 1 m aukštyje tarp atgalinės ir priekinės matuoklės ($ta1 - tp1$) – $-3,3^{\circ}C$ ir $6,9^{\circ}C$ (liepos mėn.). Didžiausias teigiamas ir neigiamas temperatūrų skirtumai 2 m aukštyje tarp atgalinės ir priekinės matuoklės ($ta2 - tp2$) – $-3,8^{\circ}C$ ir $3,5^{\circ}C$.

7. Apskaičiuoti aukščių skirtumų nesąryšiai atkarpose tarp gretimų punktų neviršija leistinųjų reikšmių. Linijose Jonava – Ukmergė ir Ukmergė – Utena aukščių skirtumų nesutapimai daugiausia kaupiasi neigiami, o linijose Utena – Degučiai ir Degučiai – Zarasai – daugiausia kaupiasi teigiami.

8. Apskaičiuotos niveliavimo ėjimo svorio vieneto ir dvipusio niveliavimo vidurkio vidutinės kvadratinės paklaidos pagal pavienių matuoklių ir pagal sistemos kalibravimo rezultatus. Niveliavimo vidurkio vidutinės kvadratinės paklaidos (m_{km}) neviršija $0,5$ mm/km. Linijoje Jonava – Ukmergė $m_{km} = 0,48$ mm (pagal matuoklių kalibravimo rezultatus) ir $0,37$ mm (pagal sistemos kalibravimo rezultatus). Kitose linijose šios paklaidos sutampa: linijoje Ukmergė – Utena $m_{km} = 0,35$ mm, linijoje Utena – Degučiai $m_{km} = 0,39$ mm, linijoje Degučiai – Zarasai $m_{km} = 0,47$ mm.

LITERATŪROS IR KITŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Adam, J., et.al. Status and Development of the European Height Systems [interaktyvus]. 2004, 6 p. [žiūrėta 2011–05–22]. Prieiga per internetą:<<http://www.fs.wettzell.de/publ/publ/wtz142.pdf>>.
2. Aksamitauskas, V. Č.; Rekus, D. Niveliacijos matuoklių kodinių skalių tikslumo tyrimai pagal jų skaitmenines nuotraukas. Geodezija ir kartografija. Vilnius: Technika. 2009, 35 (4): 140–143. ISSN 1392-1541.
3. Dubietis, A. Atmosferos refrakcija. Mokslas ir gyvenimas. Vilnius, 2010, Nr. 5–6, p. 25–27.
4. Ihde J., et. al. The Height Solution of the European Vertical Reference Network (EUVN) [interaktyvus]. 2004, 17 p. [žiūrėta 2011–05–22]. Prieiga per internetą:<<http://www.bkg.bund.de/geodIS/EVRS/SharedDocs/Downloads/Publications/TheEUVNHeightSolution,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/TheEUVNHeightSolution.pdf>>.
5. Kazakevičius, S.; Petroškevičius, P.; Zakarevičius A. Lietuvos geodezinio vertikaliojo tinklo sudarymo principai. Geodezija ir kartografija. Vilnius : Technika. 1999, 25 (2): 47–59. ISSN 1392-1541.
6. Kodinės invarinės matuoklės *Wild GPCL3* [interaktyvus], [žiūrėta 2011–06–02]. Prieiga per internetą:<<http://www.sccsurvey.co.uk/product/show/531>>.
7. Kontaktinis elektroninis termometras *Ama-digit ad 30th* [interaktyvus], [žiūrėta 2011–06–01]. Prieiga per internetą:<<http://www.labunlimited.com/Online-Shop/Laboratory/General-Lab/4AJ-9243103.html>>.
8. Krikštaponis, B.; Tulevičius, V. Precizinių kodinių niveliavimo matuoklių tyrimai. Geodezija ir kartografija. Vilnius: Technika. 2001, 27 (1): 13–19. ISSN 1392-1541.
9. Krikštaponis, B. Research on digital level *Wild NA3003* reading system peculiarities. Geodezija ir kartografija. Vilnius: Technika. 2002, 28 (2): 39–44.
10. Krikštaponis, B.; Tumelienė, E.; Rekus, D. Precizinio niveliavimo skaitmeniniais nivelyrais *Wild NA3003* metodikos tobulinimas. Geodezija ir kartografija. Vilnius: Technika. 2005, 31(3): 97–102. ISSN 1392-1541.
11. Krikštaponis, B., et. al. Realization of the vertical datum and height system of Lithuania [interaktyvus]. 2006, 6 p. [žiūrėta 2011–05–22]. Prieiga per internetą:<http://www.hgk.msb.gov.tr/dergi/makaleler/OZEL18/ozel18_25.pdf>.
12. Lietuvos valstybinis geodezinis vertikalusis tinklas. Techninių reikalavimų reglamentas GKTR 2.12.01:2001. Valstybinė geodezijos ir kartografijos tarnyba prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės. Vilnius, 2001. 19 p.

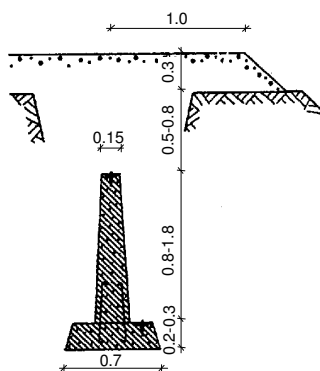
13. Lietuvos valstybinio geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo sudarymas (III dalis). Mokslo darbo ataskaita, Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Geodezijos institutas, 2002. 390 p.
14. Lietuvos valstybinio geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo sudarymas (V dalis). Mokslo darbo ataskaita, Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Geodezijos institutas, 2004. 346 p.
15. Lietuvos valstybinio geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo sudarymas (VI dalis). Mokslo darbo ataskaita, Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Geodezijos institutas, 2005. 346 p.
16. Paršeliūnas, E.; Sacher, M.; Ihde, J. Preparation of Lithuanian Levelling Network Data For United European Levelling Network. Geodezija ir kartografija. Vilnius: Technika. 2000, 26 (4): 171–186. ISSN 1392-1541.
17. Paršeliūnas, E. Integration of the Lithuanian Vertical Network into United European Leveling Network, in The 7th International Conference “Environmental Engineering”. May 22-23, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1415–1421.
18. Petroškevičius, P.; Paršeliūnas, E. Europos vertikaliojo tinklo plėtimas Lietuvos teritorijoje. Geodezija ir kartografija. Vilnius: Technika. 1998, 24 (3): 133–146.
19. Petroškevičius, P. Ekvipotencialinių paviršių nelygiagretumo įvertinimas. Geodezija ir kartografija. Vilnius: Technika. 2000, 26 (2): 53–56.
20. Petroškevičius, P. Žemės normaliojo sunkio lauko analizė. Geodezija ir kartografija. Vilnius: Technika. 2000, 26 (3): 111–116.
21. Petroškevičius, P. Gravitacijos lauko poveikis geodeziniam matavimams. Vilnius: Technika, 2004. 290 p.
22. Poutanen, M.; Nyberg, S.; Ahola, J. GPS Measurements in Satakunta Area. Working Report, Finnish Geodetic Institute [interaktyvus]. 2010, 68 p. [žiūrėta 2011-05-22]. Prieiga per internetą: <www.posiva.fi/files/1405/WR_2010-61web.pdf>.
23. Putrimas, R. Vertikaliosios refrakcijos eliminavimo metodika nematavus temperatūros gradiento. Geodezija ir kartografija. Vilnius: Technika. 1999, 25 (2): 88–90.
24. Putrimas, R., et.al. Results of Lithuanian National Geodetic Vertical First Order Network Development, in The 7th International Conference “Environmental Engineering”. May 22-23, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1446 – 1456.
25. Rekus, D. Skaitmeninių nivelių *Wild NA 3003* tikslumo tyrimai. Kauno kolegija, 2006. Nr. 3, 124–127. ISSN 1822-1068.
26. Sas-Uhrynowski, A., et. al. Establishment of Lithuanian National gravimetric first order network. Geodezija ir kartografija. Vilnius: Technika. 2002, 28 (3): 75–82.

27. Skaitmeninis nivelyras *Wild NA3003* [interaktyvus], [žiūrėta 2011–06–02]. Prieiga per internetą:<<http://www.servco1.com/Site/index.php?pg=prodc&prodc=279>>.
28. Skeivalas, J. Refrakcijos įtakos nustatymas atliekant niveliaciją. *Geodezija ir kartografija*. Vilnius: Technika. 2000, 26 (4):160–163. ISSN 1392-1541.
29. Skeivalas, J. Elektroniniai geodeziniai prietaisai: mokomoji knyga. 2-oji pataisyta ir papildyta laida. Vilnius: Technika, 2010. 244 p.
30. Takalo, M.; Rouhiainen, P. On Use of FGI System Calibration Comparator. FIG Working Week 2003, Paris, France, April 13–17, 2003.13 p.
31. Tamutis, Z.; Tulevičius, V.; Žalnierukas A. *Geodezija 1*. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla. 1992. 291 p.
32. User's guide for electronic levels [interaktyvus]. 2002, 25 p. [žiūrėta 2006–06–02]. Prieiga per internetą:<<http://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/laserlevelsguide.pdf>>.
33. Zakarevičius, A., et. al. Sustainable Development of Geodetic Networks in Lithuania. *Environmental research, engineering and management*, 2004, 1(27): 102–107. ISSN 1392-1649.
34. Woschitz, H.; Brunner, F. K. System Calibration of Digital Levels – Experimental Results of Systematic Effects. *INGEO 2002, 2nd Conference of Engineering Surveying*, Bratislava, November 2002, p. 165–172.

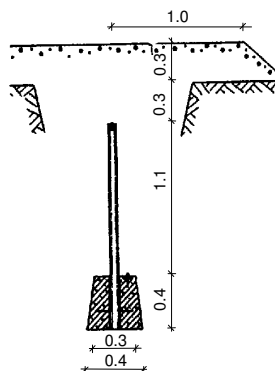
PRIEDAI

A priedas. Vertikalojo tinklo punktuose įrengtų geodezinių ženklų pavyzdžiai

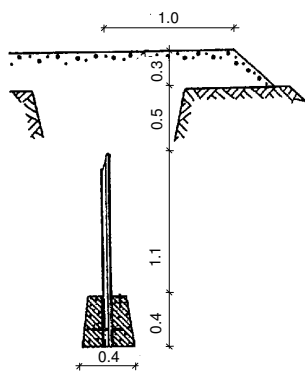
Gruntinių ženklų brėžiniai:



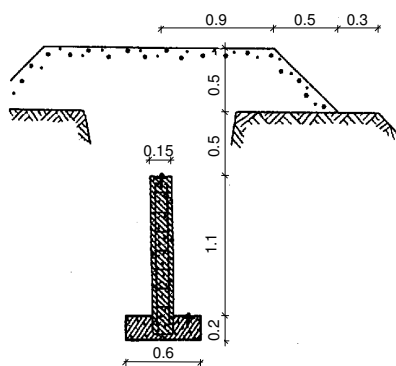
117



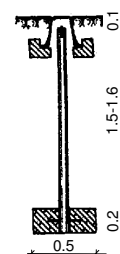
121



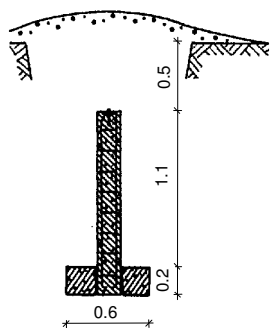
131



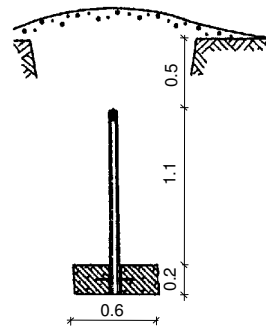
146



155

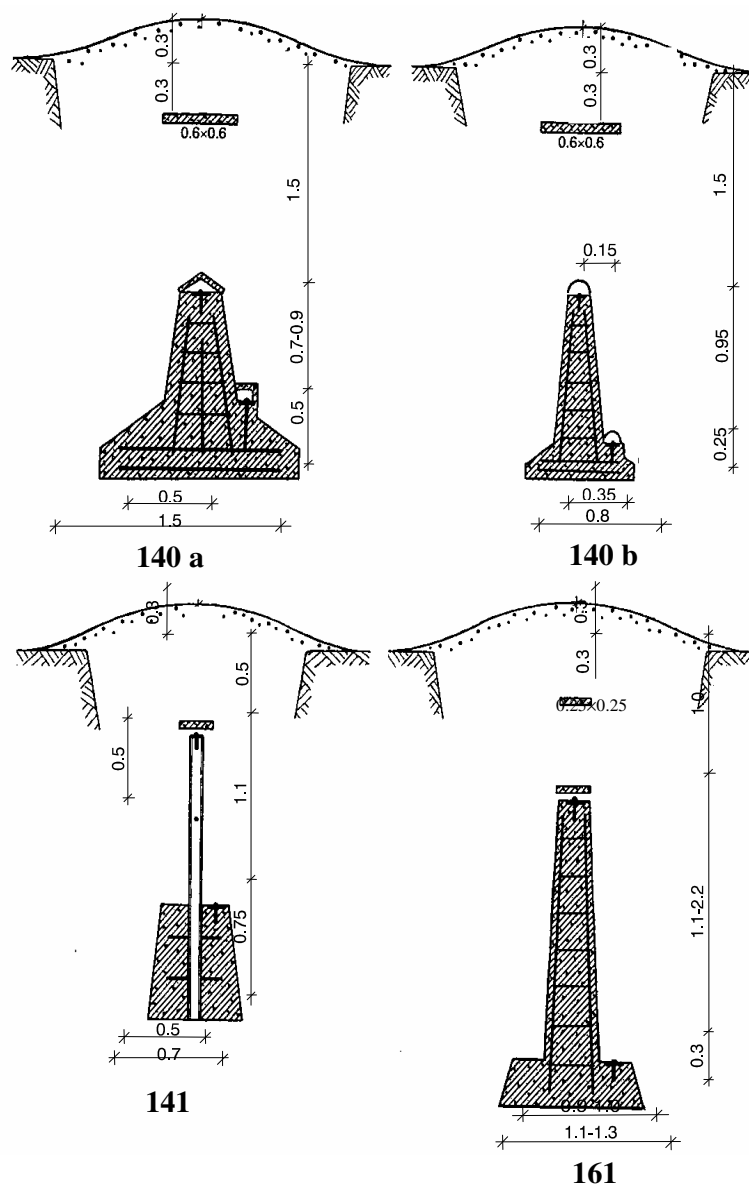


160

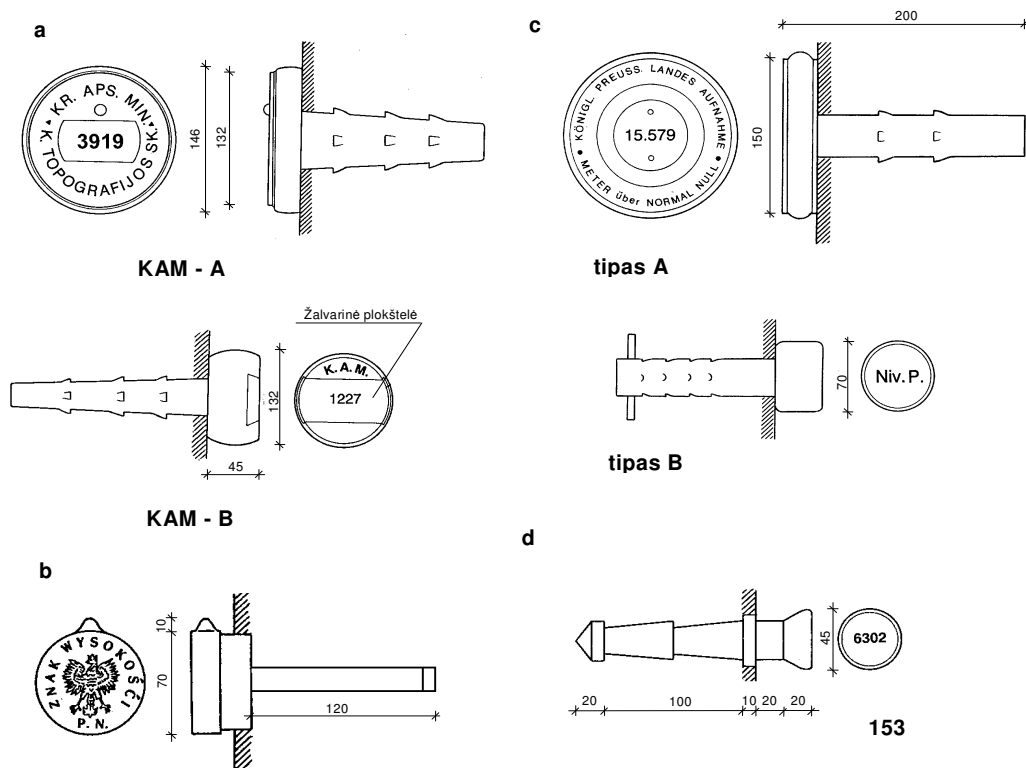


162

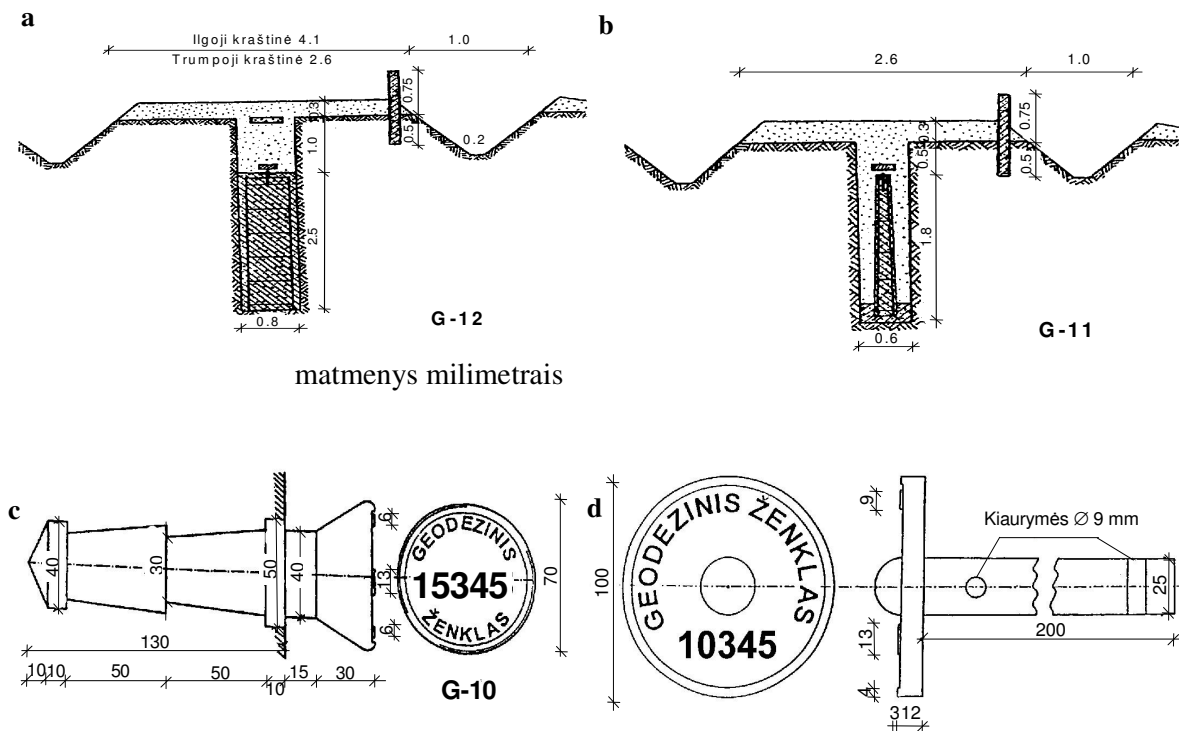
Atraminių ženklų brėžiniai:



Sieninių ženklų brėžiniai: a)- prieškario Lietuvos Krašto apsaugos ministerijos Karo topografijos skyriaus sieninė markė (KAM- A), sieninis reperis (KAM- B); b)- Lenkijos geodezininkų sieninis reperis; c)- Vokietijos geodezininkų sieninė markė (tipas A), sieninis reperis (tipas B); d)- sovietinių organizacijų sieninis reperis



Suderintų su VGKT naujų vertikaliojo tinklo ženklų brėžiniai: a)- atramino, b)- gruntinio, c)- sieninio, d)- gruntinio ženklo markės



B priedas. Nivelyro NA3003 matavimo duomenų pavyzdys ir programos, skirtos niveliavimo duomenų apdorojimui, tekstas

Nivelyro NA3003 sutvarkyto duomenų failo pavyzdys:

```
111012+00010408 83..16+00000000 08.3,10.5,26599 07-10 atgal 2
111013+00010408 32..00+00004630 331128+00217327 52..08+0005+000 08.507.608.2
111014+00000001 32..00+00004990 332128+00167688 52..08+0005+000 08.007.907.8
111015+00000001 32..00+00004990 336128+00167688 52..08+0005+000
111016+00010408 32..00+00004630 335128+00217326 52..08+0005+000
111017+00000001 571..8+00000000 572..8+00000000 573..0-00000350 574..0+00009620
83..06+00004964
111018+00000001 32..00+00006440 331128+00065755 52..08+0005+000 08.607.808.0
111019+00000002 32..00+00006480 332128+00129246 52..08+0005+001 08.107.807.7
111020+00000002 32..00+00006480 336128+00129245 52..08+0005+001
111021+00000001 32..00+00006440 335128+00065755 52..08+0005+000
111022+00000002 571..8-00000001 572..8+00000000 573..0-00000390 574..0+00022530 83..06-
00001385
111023+00000002 32..00+00018000 331128+00123177 52..08+0005+003 08.808.008.1
111024+00000003 32..00+00018020 332128+00192170 52..08+0005+000 07.707.507.6
111025+00000003 32..00+00018020 336128+00192171 52..08+0005+000
111026+00000002 32..00+00018000 335128+00123177 52..08+0005+001
111027+00000003 571..8+00000001 572..8+00000001 573..0-00000410 574..0+00058550 83..06-
00008285
111028+00000003 32..00+00019920 331128+00192964 52..08+0005+001 07.607.608.0
111029+00000004 32..00+00019860 332128+00122415 52..08+0005+001 07.907.807.8
111030+00000004 32..00+00019860 336128+00122417 52..08+0005+001
111031+00000003 32..00+00019920 335128+00192961 52..08+0005+002
111032+00000004 571..8+00000005 572..8+00000006 573..0-00000350 574..0+00098330 83..06-
00001230
111033+00000004 32..00+00029880 331128+00144450 52..08+0005+005 08.507.808.0
111034+00000005 32..00+00029980 332128+00178307 52..08+0005+003 07.907.607.6
111035+00000005 32..00+00029980 336128+00178305 52..08+0005+003
111036+00000004 32..00+00029880 335128+00144446 52..08+0005+005
111037+00000005 571..8+00000001 572..8+00000007 573..0-00000450 574..0+00158190 83..06-
00004616
...
```

Duomenų paaiškinimas:

111012+00010408 83..16+00000000 - pradinio punkto altitudė (pirma duomenų eilutė)
111013- įrašų eilutės numeris (antra duomenų eilutė)
00010408- punkto numeris (antra duomenų eilutė)
32..00 ir 52..08- įrašų kodai (antra duomenų eilutė)
32..00+00004630- atstumas nuo nivelyro iki matuoklės mm (antra duomenų eilutė)
331128- matuoklės kodas (antra duomenų eilutė)
331128+00217327- vidutinė atskaita matuoklėje 0,01 mm tikslumu (antra duomenų eilutė)
52..08+0005+000- atskaitymų matuoklėje skaičius (antra duomenų eilutė)
52..08+0005+000- atskaitos matuoklėje vidurkio vidutinė kvadratinė paklaida 0,01 mm tikslumu (antra duomenų eilutė)
52..08+0005+000 08.507.608.2 - temperatūros 1 m, 2 m aukščiuose ir invarinės juostelės temperatūra (atgal)(antra duomenų eilutė)
52..08+0005+000 08.007.907.8 - temperatūros 1 m, 2 m aukščiuose ir invarinės juostelės temperatūra (pirmyn)(trčia duomenų eilutė)
571..8+00000000 - aukščių skirtumų nesutapimas stotyje 0,01 mm tikslumu (šešta duomenų eilutė)
572..8+00000000- aukščių skirtumų nesutapimų susikaupimas ėjime 0,01 mm tikslumu (šešta duomenų eilutė)

573..0-00000350- atstumų iki matuoklių nesutapimų susikaupimas mm (šešta duomenų eilutė)
 574..0+00009620- ėjimo ilgis mm (šešta duomenų eilutė)
 83..06+00004964- ryšio taškų altitudės 0,1 mm tikslumu (šešta duomenų eilutė)
 111017+00000001 571..8+00000000 572..8+00000000 573..0-00000350 574..0+00009620
 83..06+00004964 - skaičiavimai stotyje (šešta duomenų eilutė)

Niveliavimo duomenims apdoroti FORTRAN algoritmine kalba sudarytos programos tekstas:

```

C      ASKV - ATSKAITOS MATUOKLEJE VID. KV. KLAIDA
CHARACTER      READ      (9,35,ERR=36)
prdat*12,rezult2*4,rezult3*4,      MEN,DIEN,IMT
REZULT1*4,      35 FORMAT(I2,1X,I2,1X,I2)
      GO TO 37
*rezult*12,PR*8,REZ2*12,siuks      36 WRITE (*,38)
le*1,SIUKS*2,MATKR*5      38 FORMAT(1X,'KLAIDA FAILO
      INTEGER      VARDE')
a1(100),a2(100),p1(100),p2(10      STOP
0),      37 CONTINUE
      C      WRITE (3,299)
* s1(100),s2(100),RP1,RP2,DIEN      C      299
,ASK1(100),ASK2(100),      FORMAT(12X,'RP1',6X,'RP2',9X,
      'SH',9X,'SH1K',8X,'SH2K',8X,'
      SHVK',
      C
*ASK3(100),ASK4(100),TERMSK      *8X,'SHVR',6X,'S',6X,'N',3X,'
      DOUBLE      PRECISION      DIEN',2X,'MEN',2X,'IMT',2X,'T
a11(100),a22(100),p11(100),p2      EMP')
2(100),      C
      do 100 ii=1,30
* h1,h2,s11,s21,s,hv,shv,SH1S,      C
SH2S,C,      c=-1.D0/3.D0
      sh=0.0D0
*AA1,C1,AA2,AA3,A,PREF,HVR,SH      shv=0.0D0
VR,VAL(100),DT,H1S,H2S,      SS=0.0D0
      shvr=0.0D0
*HVS,SHVS,H1T,H2T,SH1T,SH2T,H      prefs=0.0D0
VT,SHVT,TEMP,      SH1=0.0D0
      SH2=0.0D0
*sh,ss,prefs,sh1,sh2,DS(100),      SH1S=0.0D0
SDS,      SH2S=0.0D0
      SHVS=0.0D0
*a13(100),a23(100),p13(100),p      SHVT=0.0D0
23(100),habs,hzenkl,      SH1T=0.0D0
      SH2T=0.0D0
*TA1(100),TA2(100),TAJ(100),T      ASK=0.0
P1(100),TP2(100),TPJ(100)      SDS=0.0D0

Open(9,file='xxx.xxx',status=      READ
'unknown')      (1,150,ERR=500,END=201)
      505      RP1,VALP,VALG,MATNR,
FORMAT(1X,/,10X,'IVESKITE      *TEMPMIN,TEMPMAX,MATKR,TERMSK
PRADINIU      DUOMENU      FAILO      150
VARDA',/,      FORMAT(7X,I8,17X,F4.1,1X,F4.1
      *,*****',/)      ,1X,I5,1X,F2.0,1X,F2.0,1X,A5,
      WRITE (*,505)      3X,I1)
      1006 READ (*,506) PR      IF
      506 FORMAT(A8)      (VALP.LT.5.0.OR.VALP.GT.21.0)
      rezult1='.raw'      GO TO 30
      CALL      IF
      DATREZ(REZULT1,PR,PRDAT)      (VALG.LT.5.0.OR.VALP.GT.21.0)
      GO TO 30
      GO TO 31
OPEN(1,FILE=PRDAT,STATUS='OLD      30      WRITE      (2,32)
')      RP1,VALP,VALG
      CALL      WRITE      (*,32)
DATREZ(REZULT2,PR,REZ2)      RP1,VALP,VALG
      STOP
OPEN(2,FILE=REZ2,STATUS='unkn      32      FORMAT(1X,'NETINKAMOS
own')      VALANDOS',I8,2F5.1)
      CALL      31 CONTINUE
      DATREZ(REZULT3,PR,REZULT)      IF
      (TERMSK.EQ.2.OR.TERMSK.EQ.1)
      GO TO 410
      WRITE (2,411) RP1
      WRITE (*,411) RP1

      411      FORMAT(1X,'NERA
      TERMOMETRU SKAICIAUS      ',I8)
      410 CONTINUE
      IF
      (MATKR.EQ.'PIRMY'.OR.MATKR.EQ
      .'pirmy') GO TO 1000
      IF
      (MATKR.EQ.'ATGAL'.OR.MATKR.EQ
      .'atgal') GO TO 2000
      WRITE (*,39) RP1
      39 FORMAT(' NERA MATAVIMO
      KRYPTIES',5X,I8)
      STOP
      C      MATAVIMO      METODAS
      APPA PAAP
      1000 III=1
      102      READ
      (1,55,ERR=501,end=200)
      SIUKS,s1(III),a1(III),ASK1(II
      I),
      *TA1(III),TA2(III),TAJ(III)
      IF (SIUKS.EQ.'41') GO TO
      101
      read
      (1,5,ERR=501,end=200)
      s2(III),p1(III),ASK2(III),
      *TP1(III),TP2(III),TPJ(III)
      read
      (1,1,ERR=501,end=200)
      p2(III),ASK3(III)
      read
      (1,1,ERR=501,end=200)
      a2(III),ASK4(III)
      read
      (1,2,ERR=501,end=200) RP2
      C      tpj(iii)=tp2(iii)
      C      taj(iii)=ta2(iii)
      IF (TERMSK.EQ.2) GO TO
      400
      TP1(III)=TA1(III)
      TP2(III)=TA2(III)
      TPJ(III)=TAJ(III)
      400 III=III+1
      READ
      (1,55,ERR=502,end=200)
      SIUKS,s2(III),p1(III),ASK2(II
      I),
      *TP1(III),TP2(III),TPJ(III)
      read
      (1,5,ERR=502,end=200)
      s1(III),a1(III),ASK1(III),
      *TA1(III),TA2(III),TAJ(III)
      read
      (1,1,ERR=502,end=200)
      A2(III),ASK4(III)
      read
      (1,1,ERR=502,end=200)
      P2(III),ASK3(III)
      read
      (1,2,ERR=502,end=200) RP2
      C      taj(iii)=ta2(iii)

```

```

C      tpj(iii)=tp2(iii)                2 format(7X,I8)                SH2S=SH2S+H2S
                                         101 CONTINUE
                                         III=III-1
401    IF (TERMSK.EQ.2) GO TO
                                         NST2=III/2
                                         NST=NST2*2
                                         IF (NST.EQ.III) GO TO
                                         33
                                         WRITE (*,34) RP1,RP2
                                         WRITE (3,34) RP1,RP2
                                         34      FORMAT(10X,2I8,'
C      MATAVIMO METODAS                NELYGINIS STOCIU SKAICIUS')
C      PAAP APPA                        STOP
      2000 III=1                        33 CONTINUE
      1102                                DO 6 I=1,III
                                         IF
C      (1,55,ERR=502,end=200)          (TA1(I).LT.TEMPMIN.OR.TA1(I).
SIUKS,s2(III),p1(III),ASK2(II        GT.TEMPMAX) GO TO 7
I),
                                         IF
*TP1(III),TP2(III),TPJ(III)          (TP1(I).LT.TEMPMIN.OR.TP1(I).
                                         GT.TEMPMAX) GO TO 7
101    read                             IF
      (1,5,ERR=502,end=200)            (TA2(I).LT.TEMPMIN.OR.TA2(I).
s1(III),a1(III),ASK1(III),          GT.TEMPMAX) GO TO 7
                                         IF
*TA1(III),TA2(III),TAJ(III)          (TP2(I).LT.TEMPMIN.OR.TP2(I).
                                         GT.TEMPMAX) GO TO 7
      read                             IF
      (1,1,ERR=502,end=200)            (TAJ(I).LT.TEMPMIN.OR.TAJ(I).
A2(III),ASK4(III)                   GT.TEMPMAX) GO TO 7
      read                             IF
      (1,1,ERR=502,end=200)            (TPJ(I).LT.TEMPMIN.OR.TPJ(I).
P2(III),ASK3(III)                   GT.TEMPMAX) GO TO 7
      read                             GO TO 6
      (1,2,ERR=502,end=200) RP2        7      WRITE          (2,8)
C      taj(iii)=ta2(iii)              RP1,RP2,I,TP1(I),TP2(I),TPJ(I
C      tpj(iii)=tp2(iii)              )
                                         WRITE          (3,8)
                                         RP1,RP2,I,TP1(I),TP2(I),TPJ(I
                                         )
                                         WRITE          (*,8)
                                         RP1,RP2,I,TP1(I),TP2(I),TPJ(I
                                         )
                                         STOP
                                         8      FORMAT(10X,'BLOGA
C      IF (TERMSK.EQ.2) GO TO          TEMPERATURA',I8,'-
                                         ',I8,I5,3F8.1)
                                         6 CONTINUE
402    IF (TERMSK.EQ.2) GO TO
                                         C TEMPERATURINE PATAISA
                                         CALL
                                         TEMPER(III,A1,A2,P1,P2,A11,A2
                                         2,P11,P22,MATNR,TAJ,TPJ)
                                         C KOMPARAVIMAS
                                         CALL
                                         KOMPAR(III,A11,A22,P11,P22,A1
                                         3,A23,P13,P23,MATNR)
                                         DVAL=VALG-VALP
                                         DDVAL=DVAL/(III-1)
                                         do 10 i=1,III
                                         VAL(I)=VALP+(I-1)*DDVAL
                                         s11=s1(I)/1000.
                                         s21=s2(I)/1000.
                                         DS(I)=S11-S21
                                         s=(s11+s21)
                                         SS=SS+S
                                         SDS=SDS+DS(I)
                                         C TIK IS MATAVIMO ATSKAITU
                                         h1S=(a1(I)/100000.-
p1(I)/100000.)
                                         h2S=(a2(I)/100000.-
p2(I)/100000.)
                                         HVS=(H1S+H2S)/2.D0
                                         SHVS=SHVS+HVS
                                         SH1S=SH1S+H1S
                                         SU TEMPERATURINE PATAISA
                                         h1=(a11(I)-p11(I))
                                         h2=(a22(I)-p22(I))
                                         SH1=SH1+H1
                                         SH2=SH2+H2
                                         hv=(h1+h2)/2.D0
                                         shv=shv+hv
                                         C SU KOMPARAVIMU IR
TEMPERATURINE PATAISA
                                         h1T=(a13(I)-p13(I))
                                         h2T=(a23(I)-p23(I))
                                         SH1T=SH1T+H1T
                                         SH2T=SH2T+H2T
                                         hvT=(h1T+h2T)/2.D0
                                         shvT=shvT+hvT
                                         c SU KOMPARAVIMU ,
TEMPERATURINE PATAISA IR
REFRAKCIJA
C      CALL DTSK(VAL(I),DT)
                                         DTA=TA2(I)-TA1(I)
                                         DTP=TP2(I)-TP1(I)
                                         DTT=(DTA+DTP)/2.
                                         DTT=ABS(DT)
                                         if (dtt.GT.4.) GOTO 9
                                         IF (DTT.LT.0.5) GO TO
1009
                                         DTT=DTT/2.
1010    IF (DTT.LT.1.0) GO TO
                                         DTT=DTT/2.
1011    IF (DTT.LT.1.0) GO TO
                                         WRITE (2,1012) DTT
1012    FORMAT('TEMERATURU
SKIRTUMAS =' ,F5.1)
                                         STOP
                                         dt=dt/2.
c      go to 1009
1011 DT=DT/4
GO TO 1009
1010 DT=DT/2
1009 CONTINUE
                                         CALL CSK(VAL(I),C)
                                         aa1=(4.76e-4/(2.3**c-
0.7**c))
                                         c1=1.D0+c
                                         aa2=((p13(I))**c1-
(a13(I))**c1)/c1
                                         aa3=1.5D0**c*((p13(I))-
(a13(I)))
                                         a=aa1*(aa2-aa3)
PREF=A*(S/2.)*2*DT*HVT
HABS=DABS(HVT)
HZENKL=HABS/HVT
PREF=DABS(PREF)
PREF=PREF*HZENKL
hvr=hvT+pref/1000.
c      WRITE
(2,999)a,AA1,AA2,AA3,pref1
999 FORMAT(5e15.5)
c/1000.
shvr=shvr+hvr
pref=pref+pref
                                         write(2,3)
i,H1S,H2S,HVS,h1,h2,hv,H1T,H2
T,HVT,
*HVR,pref,s,DS(I),VAL(I),DT,c
,a

```

```

c
*HVR,preF/1000.,s,DS(I),VAL(I
),DT,c,a
3
format(22x,i3,10f10.5,f10.5,f
10.3,F8.1,f10.1,f10.1,f7.1,e1
2.3)
ASK=ASK+(ASK1(I)**2+ASK
2(I)**2+ASK3(I)**2+ASK4(I)**2
)

10 continue
SS=SS/1000.
ASKV=sqrt(ASK)/sqrt(III
*4)
write(3,300)
MATKR,RP1,RP2,SHVS,shv,SHVT,s
hvr,SS,SDS,iii,

*MEN,DIEN,IMT,TAJ(1),VALP,VAL
G,MATNR,ASKV
300
FORMAT(A5,2X,I8,2X,I8,4F12.5,
F10.3,F10.1,I5,I5,I5,I5,F7.1,
*F6.1,'-',F4.1,I8,F7.1)

C write(2,303) rp1,rp2
write(2,304)
MATKR,RP1,RP2,SH1S,SH2S,SHVS,
SH1,SH2,shv,

*SH1T,SH2T,SHVT,shvr,prefs,SS
,SDS,iii,MEN,DIEN,IMT
303 FORMAT(7X,I8,2X,I8)
304
format(A5,2X,I8,2X,I8,11f10.5
,f10.3,F8.1,4I5)

100 CONTINUE
200 CONTINUE
GO TO 201
500 WRITE(2,103) RP1,II
WRITE(*,103) RP1,II
GO TO 201
501 WRITE(2,105)
RP1,III,II
WRITE(*,105)
RP1,III,II
GO TO 201
502 WRITE(2,106)
RP1,III,II,al(III-1)
WRITE(*,106)
RP1,III,II,A1(III-1)
GO TO 201
103 FORMAT(1X,'KLAIDA
PIRMOJE EILUTEJE',i8,'
TARPAS ',I3)
105 FORMAT(1X,'KLAIDA
NELYGINEJE
STOTYYJE',I8,5X,I3,' TARPAS
'
*,I3,5X,I6)
106 FORMAT(1X,'KLAIDA
LYGINEJE STOTYYJE',I8,5X,I3,'
TARPAS ',I3,
*5X,I6)
9 CONTINUE
WRITE(3,104) RP1,I
WRITE(*,104) RP1,I
104 FORMAT(' BLOGAS
TEMPERATURU
SKIRTUMAS',I8,5X,I3)
201 CONTINUE
STOP
END

C
subroutine
datREZ(a,aa,aaa)

character*4
a,aa*8,aaa*12
REWIND 9
OPEN(9,FILE='xxx.xxx',S
TATUS='old')
1 format(a5)
write(9,2)aa,a
2 format(a8,a4)
rewind 9
read(9,33)aaa
33 format(a12)
rewind 9
RETURN
end

C
C
C
SUBROUTINE CSK(X,YN)
double precision
xyn0(2),xn,yn,x,y,dx,dy,kof(8
),xys0(2),
*dx,y,dxy2
Y=0.0D0
155
format(30x,'NESKAITMENINIS
SIMBOLIS')
ke=3
xys0(1)=13.0d0
xys0(2)=0.0d0
C GEGUZE
GO TO 4
c BIRZELIS
C GO TO 6
C SPALIS
c GO TO 10
C RUGSEJIS
C GO TO 3
C RUGPJUTIS
C GO TO 2
C LIEPA

xyn0(1)=13.0d0
xyn0(2)=-0.120887d0

kof(3)=1.0d0
kof(4)=-.0138590576d0

KOF(5)=0.0D0
KOF(6)=0.013826173826174D0
KOF(7)=0.0D0
KOF(8)=0.000422494172494D0

GO TO 11
C RUGPJUTIS
2 CONTINUE
xyn0(1)=12.0d0
xyn0(2)=-0.4782D0

kof(3)=1.0d0
kof(4)=-.0138590576d0

KOF(5)=0.0D0
KOF(6)=0.013826173826174D0
KOF(7)=0.0D0
KOF(8)=0.000422494172494D0
1 CONTINUE
GO TO 11
C RUGSEJIS
3 CONTINUE
xyn0(1)=12.0d0
xyn0(2)=-0.2954D0

kof(3)=1.0d0
kof(4)=-.0102822178d0
KOF(5)=0.0D0
KOF(6)=0.011428571428571D0
KOF(7)=0.0D0
KOF(8)=-
0.000332167832168D0
GO TO 11
C GEGUZE
4 CONTINUE

xyn0(1)=13.0d0
xyn0(2)=-0.120887d0

kof(3)=1.0d0
kof(4)=-.0047652865d0
KOF(5)=0.0D0
KOF(6)=0.000083225597931D0
KOF(7)=0.0D0
KOF(8)=0.000780124015418D0
GO TO 11
C BIRZELIS
6 CONTINUE
xyn0(1)=13.0d0
xyn0(2)=-0.183249d0

kof(3)=1.0d0
kof(4)=0.0140637195d0
KOF(5)=0.0D0
KOF(6)=
0.001504524886878D0
KOF(7)=0.0D0
KOF(8)=0.000808614043908D0
GO TO 11
C SPALIS
10 CONTINUE
xyn0(1)=13.0d0
xyn0(2)=-0.186036d0

kof(3)=1.0d0
kof(4)=0.0413367869d0
KOF(5)=0.0D0
KOF(6)=0.009751939237233D0
KOF(7)=0.0D0
KOF(8)=-
0.000982068040892D0
C GO TO 11
11 CONTINUE

dx=(x-xys0(1))
dy=(y-xys0(2))
xn=xyn0(1)+kof(3)*dx-
kof(4)*dy
yn=xyn0(2)+kof(3)*dy+kof(4)*d
x
if(ke.eq.2.or.ke.eq.3)
go to 21
go to 23

```

```

21 dxy=dx**2-dy**2
   dxy2=dx*dy*2.D0
   xn=xn+kof(5)*dxy-
kof(6)*dxy2

yn=yn+kof(5)*dxy2+kof(6)*dxy
  if (ke.eq.3) go to 22
  go to 23
22 dxy=dx**3-3.D0*dx*dy**2
   dxy2=3.D0*dx**2*dy-
dy**3
   xn=xn+kof(7)*dxy-
kof(8)*dxy2

yn=yn+kof(7)*dxy2+kof(8)*dxy
23 xn=xn
   yn=yn
   RETURN
   END

SUBROUTINE
KOMPAR(NST,A1,A2,P1,P2,A11,A2
2,P11,P22,MATNR)
DOUBLE PRECISION
a11(1),a22(1),p11(1),p22(1),

*a1(1),a2(1),p1(1),p2(1),k1,k
2,k3,k4
NST2=NST/2
do 10 ii=1,NST2
do 20 j=1,2
i=(ii-1)*2+j
C a11(I)=a1(I)*1000.
C p11(I)=p1(I)*1000.
C p22(I)=p2(I)*1000.
C a22(I)=a2(I)*1000.

IF (MATNR.EQ.26598) GO
TO 26598
IF (MATNR.EQ.26599) GO
TO 26599
IF (MATNR.EQ.26600) GO
TO 26600
IF (MATNR.EQ.26605) GO
TO 26605

WRITE (*,1) MATNR
WRITE (2,1) MATNR

1
FORMAT(1X,'NERA',I8,2X,'MATUO
KLES')
STOP

26598 CONTINUE
K1=6.16
K2=28.93
K3=8.59
K4=-6.41
if (j-2) 11,12,12
C 11
a11(I)=a11(I)+(a1(I)*(-
0.00835)+1.13849)*1.0d-3
C
p11(I)=p11(I)+(p1(I)*K1+K2)*1.
* (-
0.01591)+P11(i)**2*(0.0000128
)+
C *P11(I)**3*(-0.277D-
8))*1.0d-3
C
p22(I)=p22(I)+(p2(I)*K1+K2)*1.
* (-
0.01591)+P22(i)**2*(0.0000128
)+
C *P22(I)**3*(-0.277D-
8))*1.0d-3
C
a22(I)=a22(I)+(a2(I)*(-
0.00835)+1.13849)*1.0d-3

```

```

11
a11(I)=a1(I)+(a1(I)*K1+K2)*1.
0d-6

p11(I)=p1(I)+(p1(I)*K3+K4)*1.
0d-6

p22(I)=p2(I)+(p2(I)*K3+K4)*1.
0d-6

a22(I)=a2(I)+(a2(I)*K1+K2)*1.
0d-6

go to 22

C 12
A11(I)=A11(I)+(3.04918+A11(I)
*(-
0.01591)+A11(i)**2*(0.0000128
)+
C *A11(I)**3*(-0.277D-
8))*1.0d-3
C
P11(I)=P11(I)+(P11(I)*(-
0.00835)+1.13849)*1.0d-3
C
P22(I)=P22(I)+(P22(I)*(-
0.00835)+1.13849)*1.0d-3
C
A22(I)=A22(I)+(3.04918+A22(I)
*(-
0.01591)+A22(i)**2*(0.0000128
)+
C *A22(I)**3*(-0.277D-
8))*1.0d-3

12
a11(I)=a1(I)+(a1(I)*K3+K4)*1.
0d-6

p11(I)=p1(I)+(p1(I)*K1+K2)*1.
0d-6

p22(I)=p2(I)+(p2(I)*K1+K2)*1.
0d-6

a22(I)=a2(I)+(a2(I)*K3+K4)*1.
0d-6

GO TO 22

26599 CONTINUE
K1=8.59
K2=-6.41
K3=6.16
K4=28.93
if (j-2) 111,112,112
C 111
A11(I)=A11(I)+(3.04918+A11(I)
*(-
0.01591)+A11(i)**2*(0.0000128
)+
C *A11(I)**3*(-0.277D-
8))*1.0d-3
C
P11(I)=P11(I)+(P11(I)*(-
0.00835)+1.13849)*1.0d-3
C
P22(I)=P22(I)+(P22(I)*(-
0.00835)+1.13849)*1.0d-3
C
A22(I)=A22(I)+(3.04918+A22(I)
*(-
0.01591)+A22(i)**2*(0.0000128
)+
C *A22(I)**3*(-0.277D-
8))*1.0d-3

```

```

111
a11(I)=a1(I)+(a1(I)*K1+K2)*1.
0d-6

p11(I)=p1(I)+(p1(I)*K3+K4)*1.
0d-6

p22(I)=p2(I)+(p2(I)*K3+K4)*1.
0d-6

a22(I)=a2(I)+(a2(I)*K1+K2)*1.
0d-6

go to 22

C 112
a11(I)=a11(I)+(a11(I)*(-
0.00835)+1.13849)*1.0d-3
C
p11(I)=p11(I)+(3.04918+p11(I)
*(-
0.01591)+P11(i)**2*(0.0000128
)+
C *P11(I)**3*(-0.277D-
8))*1.0d-3
C
p22(I)=p22(I)+(3.04918+p22(I)
*(-
0.01591)+P22(i)**2*(0.0000128
)+
C *P22(I)**3*(-0.277D-
8))*1.0d-3
C
a22(I)=a22(I)+(a22(I)*(-
0.00835)+1.13849)*1.0d-3

112
a11(I)=a1(I)+(a1(I)*K3+K4)*1.
0d-6

p11(I)=p1(I)+(p1(I)*K1+K2)*1.
0d-6

p22(I)=p2(I)+(p2(I)*K1+K2)*1.
0d-6

a22(I)=a2(I)+(a2(I)*K3+K4)*1.
0d-6

GO TO 22

26600 CONTINUE
K1=-2.57
K2=-57.12
K3=8.55
K4=-95.12
if (j-2) 211,212,212
C 211
A11(I)=A11(I)+(2.58959+A11(I)
*(-
0.02256)+A11(i)**2*(0.0000311
)+
C *A11(I)**3*(-0.144D-
7)+A11(I)**4*(0.1698D-
11))*1.0d-3
C
P11(I)=P11(I)+(6.25686+P11(I)
*(-
0.03467)+P11(i)**2*(0.0000476
)+
C *P11(I)**3*(-0.218D-
7)+P11(I)**4*(0.3071D-
11))*1.0d-3
C
P22(I)=P22(I)+(6.25686+P22(I)
*(-
0.03467)+P22(i)**2*(0.0000476
)+
C *P22(I)**3*(-0.218D-
7)+P22(I)**4*(0.3071D-
11))*1.0d-3

```

```

C
A22(I)=A22(I)+(2.58959+A22(I)
* (-
0.02256)+A22(i)**2*(0.0000311
)+
C      *A22(I)**3*(-0.144D-
7)+A22(I)**4*(0.1698D-
11))*1.0d-3

      211
a11(I)=a1(I)+(a1(I)*K1+K2)*1.
0d-6

p11(I)=p1(I)+(p1(I)*K3+K4)*1.
0d-6

p22(I)=p2(I)+(p2(I)*K3+K4)*1.
0d-6

a22(I)=a2(I)+(a2(I)*K1+K2)*1.
0d-6
      go to 22

C
      212
A11(I)=A11(I)+(6.25686+A11(I)
* (-
0.03467)+A11(i)**2*(0.0000476
)+
C      *A11(I)**3*(-0.218D-
7)+A11(I)**4*(0.3071D-
11))*1.0d-3
C
P11(I)=P11(I)+(2.58959+P11(I)
* (-
0.02256)+P11(i)**2*(0.0000311
)+
C      *P11(I)**3*(-0.144D-
7)+P11(I)**4*(0.1698D-
11))*1.0d-3
C
P22(I)=P22(I)+(2.58959+P22(I)
* (-
0.02256)+P22(i)**2*(0.0000311
)+
C      *P22(I)**3*(-0.144D-
7)+P22(I)**4*(0.1698D-
11))*1.0d-3
C
A22(I)=A22(I)+(6.25686+A22(I)
* (-
0.03467)+A22(i)**2*(0.0000476
)+
C      *A22(I)**3*(-0.218D-
7)+A22(I)**4*(0.3071D-
11))*1.0d-3

      212
a11(I)=a1(I)+(a1(I)*K3+K4)*1.
0d-6

p11(I)=p1(I)+(p1(I)*K1+K2)*1.
0d-6

p22(I)=p2(I)+(p2(I)*K1+K2)*1.
0d-6

a22(I)=a2(I)+(a2(I)*K3+K4)*1.
0d-6
      GO TO 22

26605 CONTINUE
      K1=8.55
      K2=-95.12
      K3=-2.57
      K4=-57.12
      if (j-2) 311,312,312
C
      311
A11(I)=A11(I)+(6.25686+A11(I)
* (-
0.03467)+A11(i)**2*(0.0000476
)+
C      *A11(I)**3*(-0.218D-
7)+A11(I)**4*(0.3071D-
11))*1.0d-3
C
P11(I)=P11(I)+(2.58959+P11(I)
* (-
0.02256)+P11(i)**2*(0.0000311
)+
C      *P11(I)**3*(-0.144D-
7)+P11(I)**4*(0.1698D-
11))*1.0d-3
C
P22(I)=P22(I)+(2.58959+P22(I)
* (-
0.02256)+P22(i)**2*(0.0000311
)+
C      *P22(I)**3*(-0.218D-
7)+P22(I)**4*(0.3071D-
11))*1.0d-3
C
A22(I)=A22(I)+(6.25686+A22(I)
* (-
0.03467)+A22(i)**2*(0.0000476
)+
C      *A22(I)**3*(-0.218D-
7)+A22(I)**4*(0.3071D-
11))*1.0d-3

      312
a11(I)=a1(I)+(a1(I)*K1+K2)*1.
0d-6

p11(I)=p1(I)+(p1(I)*K3+K4)*1.
0d-6

p22(I)=p2(I)+(p2(I)*K3+K4)*1.
0d-6

a22(I)=a2(I)+(a2(I)*K1+K2)*1.
0d-6
      go to 22

C
      312
A11(I)=A11(I)+(2.58959+A11(I)
* (-
0.02256)+A11(i)**2*(0.0000311
)+
C      *A11(I)**3*(-0.144D-
7)+A11(I)**4*(0.1698D-
11))*1.0d-3
C
P11(I)=P11(I)+(6.25686+P11(I)
* (-
0.03467)+P11(i)**2*(0.0000476
)+
C      *P11(I)**3*(-0.218D-
7)+P11(I)**4*(0.3071D-
11))*1.0d-3
C
P22(I)=P22(I)+(6.25686+P22(I)
* (-
0.03467)+P22(i)**2*(0.0000476
)+
C      *P22(I)**3*(-0.218D-
7)+P22(I)**4*(0.3071D-
11))*1.0d-3
C
A22(I)=A22(I)+(2.58959+A22(I)
* (-
0.02256)+A22(i)**2*(0.0000311
)+
C      *A22(I)**3*(-0.144D-
7)+A22(I)**4*(0.1698D-
11))*1.0d-3

      312
a11(I)=a1(I)+(a1(I)*K3+K4)*1.
0d-6

p11(I)=p1(I)+(p1(I)*K1+K2)*1.
0d-6

p22(I)=p2(I)+(p2(I)*K1+K2)*1.
0d-6

a22(I)=a2(I)+(a2(I)*K3+K4)*1.
0d-6

C      22 a11(I)=a1(I)/1000.
C      p11(I)=p1(I)/1000.
C      p22(I)=p2(I)/1000.
C      a22(I)=a2(I)/1000.
      22 CONTINUE
      20 continue
      10 CONTINUE

      RETURN
      END

      SUBROUTINE
      TEMPER(NST,A1,A2,P1,P2,A11,A2
      2,P11,P22,MATNR,TAJ,TPJ)
      DOUBLE      PRECISION
      a11(1),a22(1),p11(1),p22(1),T
      1,T2,TAJ(1),TPJ(1)
      INTEGER
      a1(1),a2(1),p1(1),p2(1)
      NST2=NST/2
C      IF (TEMP.GT.25.) GO TO
      30
C      IF (TEMP.GT.20.) GO TO
      31
C      IF (TEMP.GT.15.) GO TO
      32
C      TEMP1=TEMP-20.
C      GO TO 39
C      30 TEMP1=(TEMP+6.)-20.
C      GO TO 39
C      31 TEMP1=(TEMP+4.)-20.
C      GO TO 39
C      32 TEMP1=(TEMP+2.)-20.
C      39 CONTINUE
      do 10 ii=1,NST2
      do 20 j=1,2
      i=(ii-1)*2+j
      TAJ(I)=TAJ(I)-20.
      TPJ(I)=TPJ(I)-20.

      a11(I)=a1(I)/100000.
      p11(I)=p1(I)/100000.
      p22(I)=p2(I)/100000.
      a22(I)=a2(I)/100000.

      IF (MATNR.EQ.26598) GO
      TO 26598
      IF (MATNR.EQ.26599) GO
      TO 26599
      IF (MATNR.EQ.26600) GO
      TO 26600
      IF (MATNR.EQ.26605) GO
      TO 26605

      WRITE (*,1) MATNR
      WRITE (2,1) MATNR
      1
      FORMAT(1X,'NERA',I8,2X,'MATUO
      KLES')
      STOP

      26598 CONTINUE

      T1=(2.5333*TAJ(I)+147.72)/293
      0000.D0

```

```

T2=(2.7404*TPJ(I)+138.46)/293
0000.D0
      if (j-2) 11,12,12
11  a11(I)=a11(I)+a11(I)*T1
    p11(I)=p11(I)+p11(I)*T2
    p22(I)=p22(I)+p22(I)*T2
    a22(I)=a22(I)+a22(I)*T1
    go to 22

12  a11(I)=a11(I)+a11(I)*T2
    p11(I)=p11(I)+p11(I)*T1
    p22(I)=p22(I)+p22(I)*T1
    a22(I)=a22(I)+a22(I)*T2
    GO TO 22

26599 CONTINUE

T1=(2.7404*TAJ(I)+138.46)/293
0000.D0

T2=(2.5333*TPJ(I)+147.72)/293
0000.D0
      if (j-2) 111,112,112
111 a11(I)=a11(I)+a11(I)*T1
    p11(I)=p11(I)+p11(I)*T2
    p22(I)=p22(I)+p22(I)*T2
    a22(I)=a22(I)+a22(I)*T1
    go to 22

112 a11(I)=a11(I)+a11(I)*T2
    p11(I)=p11(I)+p11(I)*T1
    p22(I)=p22(I)+p22(I)*T1
    a22(I)=a22(I)+a22(I)*T2
    GO TO 22

26600 CONTINUE

T1=(2.3342*TAJ(I)+120.83)/293
0000.D0

T2=(2.5421*TPJ(I)+146.06)/293
0000.D0
C      WRITE(2,10001) T1,T2
C10001 FORMAT(2E15.8)
      if (j-2) 211,212,212
211 a11(I)=a11(I)+a11(I)*T1
    p11(I)=p11(I)+p11(I)*T2
    p22(I)=p22(I)+p22(I)*T2
    a22(I)=a22(I)+a22(I)*T1
    go to 22

212 a11(I)=a11(I)+a11(I)*T2
    p11(I)=p11(I)+p11(I)*T1
    p22(I)=p22(I)+p22(I)*T1
    a22(I)=a22(I)+a22(I)*T2
    GO TO 22

26605 CONTINUE

T1=(2.5421*TAJ(I)+146.06)/293
0000.D0

T2=(2.3342*TPJ(I)+120.83)/293
0000.D0
      if (j-2) 311,312,312
311 a11(I)=a11(I)+a11(I)*T1
    p11(I)=p11(I)+p11(I)*T2
    p22(I)=p22(I)+p22(I)*T2
    a22(I)=a22(I)+a22(I)*T1
    go to 22

312 a11(I)=a11(I)+a11(I)*T2
    p11(I)=p11(I)+p11(I)*T1
    p22(I)=p22(I)+p22(I)*T1
    a22(I)=a22(I)+a22(I)*T2

22 CONTINUE
C      a11(I)=a11(I)/1000.

```

```

C      p11(I)=p11(I)/1000.
C      p22(I)=p22(I)/1000.
C      a22(I)=a22(I)/1000.

20 continue
10 CONTINUE

RETURN
END

```


C priedas

Išmatuoti ir apdoroti vertikaliojo tinklo atkarpos Ukmergė – Utena niveliavimo duomenys (pagal matuoklių kalibravimo rezultatus)

Punktai, tarp kurių matuota	Niveliavimo data	Atstumas tarp punktų, km	Stočių skaičius	Išmatuotas aukščių skirtumas (pirmyn), m	Temperatūros pataisos, mm	Kalibravimo pataisos, mm	Refrakcijos pataisos, mm	Pataisytas aukščių skirtumas (pirmyn), m	Išmatuotas aukščių skirtumas (atgal), m	Temperatūros pataisos, mm	Kalibravimo pataisos, mm	Refrakcijos pataisos, mm	Pataisytas aukščių skirtumas (atgal), m	Apskaičiuotas nesąryšis, mm	Leistinas nesąryšis, mm	Aukščių skirtumų vidurkis, m
37	3308	2005.09.01	0,26	6	6,73365	0,27	0,02	6,73395	-6,73394	-0,35	-0,02	-0,03	-6,73434	-0,39	1,22	6,73415
3308	10384	2005.09.01	1,61	32	24,50952	1,09	0,09	24,51084	-24,51108	-1,23	-0,09	-0,24	-24,51264	-1,80	2,54	24,51174
10384	10385	2005.09.01	2,00	32	26,16524	1,26	0,10	26,16675	-26,16489	-1,29	-0,10	-0,16	-26,16644	0,31	2,83	26,16660
10385	3529	2005.09.02	1,03	18	3,87188	0,14	0,02	3,87204	-3,87244	-0,15	-0,01	-0,01	-3,87261	-0,57	2,03	3,87233
3529	10386	2005.09.02	1,43	24	-3,94365	-0,18	-0,02	-3,94386	3,94319	0,15	0,02	0,00	3,94336	-0,50	2,39	-3,94361
10386	10387	2005.09.02	0,72	12	3,42578	0,17	0,01	3,42594	-3,42613	-0,17	-0,01	-0,01	-3,42632	-0,38	1,73	3,42613
10387	10388	2005.09.02	1,64	26	4,67172	0,15	0,04	4,67191	-4,67122	-0,24	-0,04	0,00	-4,67150	0,41	2,56	4,67170
10388	3532	2005.09.01	0,85	14	3,34713	0,16	0,03	3,34733	-3,34780	-0,16	-0,02	-0,01	-3,34799	-0,66	1,87	3,34766
3532	10389	2005.09.02	1,99	36	-6,96133	-0,34	-0,05	-6,96180	6,95940	0,34	0,05	0,09	6,95988	-1,92	2,82	-6,96084
10389	10390	2005.09.05	2,14	38	-21,45066	-0,99	-0,16	-21,45188	21,45192	1,02	0,16	0,11	21,45321	1,33	2,93	-21,45255
10390	15392	2005.09.05	1,75	38	-22,96814	-1,08	-0,17	-22,96942	22,96954	1,05	0,17	0,05	22,97081	1,39	2,65	-22,97012
15392	3537	2005.09.05	1,14	20	22,17493	1,06	0,09	22,17625	-22,17476	-1,07	-0,08	-0,29	-22,17620	0,05	2,13	22,17623
3537	10391	2005.09.05	1,47	24	1,41209	0,09	0,01	1,41224	-1,41402	-0,07	0,00	-0,07	-1,41416	-1,92	2,43	1,41320
10391	3538	2005.09.06	1,17	20	15,09882	0,60	0,06	15,09960	-15,09855	-0,57	-0,06	-0,08	-15,09926	0,34	2,17	15,09943
3538	10392	2005.09.06	0,53	10	2,79306	0,12	0,01	2,79320	-2,79312	-0,10	-0,01	0,00	-2,79323	-0,03	1,58	2,79322
10392	10393	2005.09.06	1,61	26	5,15383	0,22	0,02	5,15399	-5,15379	-0,25	-0,02	0,00	-5,15406	-0,07	2,53	5,15403
10393	10394	2005.09.06	1,34	22	7,82985	0,38	0,06	7,83034	-7,82935	-0,36	-0,05	-0,01	-7,82977	0,57	2,31	7,83006
10394	3540	2005.09.06	1,81	30	21,50925	0,89	0,16	21,51039	-21,50862	-0,91	-0,16	-0,09	-21,50978	0,61	2,69	21,51009
3540	10395	2005.09.06	1,43	24	-17,44803	-0,82	-0,07	-17,44924	17,44796	0,80	0,06	0,30	17,44912	-0,12	2,39	-17,44918
10395	10396	2005.09.06	1,73	30	5,13015	0,28	0,03	5,13043	-5,12912	-0,22	-0,01	0,03	-5,12932	1,11	2,63	5,12988
10396	8398	2005.09.06	2,13	36	-0,85677	-0,01	-0,01	-0,85673	0,85653	-0,02	0,00	0,07	0,85658	-0,15	2,92	-0,85665
8398	10397	2005.09.07	2,13	34	-0,16561	0,03	0,00	-0,16561	0,16502	0,00	0,00	0,01	0,16503	-0,58	2,92	-0,16532
10397	10398	2005.09.07	1,64	26	2,73564	0,17	0,01	2,73583	-2,73648	-0,17	-0,01	-0,01	-2,73667	-0,84	2,56	2,73625
10398	3545	2005.09.06	1,12	20	11,48195	0,55	0,09	11,48265	-11,48215	-0,54	-0,09	-0,06	-11,48284	-0,19	2,12	11,48275
3545	762	2005.09.06	0,37	6	-4,31035	-0,20	-0,03	-4,31060	4,31057	0,21	0,03	0,02	4,31083	0,23	1,22	-4,31072

Išmatuoti ir apdoroti vertikaliojo tinklo atkarpos Ukmergė – Utena niveliavimo duomenys (pagal sistemos kalibravimo rezultatus)

Punktai, tarp kurių matuota		Niveliavimo data	Atstumas tarp punktų, km	Stočių skaičius	Išmatuotas aukščių skirtumas (pirmyn), m	Temperatūros pataisos, mm	Kalibravimo pataisos, mm	Refrakcijos pataisos, mm	Pataisytas aukščių skirtumas (pirmyn), m	Išmatuotas aukščių skirtumas (atgal), m	Temperatūros pataisos, mm	Kalibravimo pataisos, mm	Refrakcijos pataisos, mm	Pataisytas aukščių skirtumas (atgal), m	Apskaičiuotas nesąryšis, mm	Leistinas nesąryšis, mm	Aukščių skirtumų vidurkis, m
37	3308	2005.09.01	0,26	6	6,73365	0,27	0,02	0,01	6,73395	-6,73394	-0,35	-0,02	-0,03	-6,73434	-0,39	1,22	6,73415
3308	10384	2005.09.01	1,61	32	24,50952	1,09	0,07	0,18	24,51086	-24,51108	-1,23	-0,07	-0,23	-24,51261	-1,75	2,54	24,51174
10384	10385	2005.09.01	2,00	32	26,16524	1,26	0,08	0,14	26,16672	-26,16489	-1,29	-0,08	-0,16	-26,16642	0,30	2,83	26,16657
10385	3529	2005.09.02	1,03	18	3,87188	0,14	0,01	0,00	3,87203	-3,87244	-0,15	-0,01	-0,01	-3,87261	-0,58	2,03	3,87232
3529	10386	2005.09.02	1,43	24	-3,94365	-0,18	-0,02	0,00	-3,94385	3,94319	0,15	0,01	0,01	3,94336	-0,49	2,39	-3,94361
10386	10387	2005.09.02	0,72	12	3,42578	0,17	0,01	-0,01	3,42595	-3,42613	-0,17	0,00	-0,02	-3,42632	-0,37	1,73	3,42614
10387	10388	2005.09.02	1,64	26	4,67172	0,15	0,04	0,00	4,67191	-4,67122	-0,24	-0,04	0,00	-4,67150	0,41	2,56	4,67170
10388	3532	2005.09.01	0,85	14	3,34713	0,16	0,03	0,01	3,34733	-3,34780	-0,16	-0,02	-0,01	-3,34799	-0,66	1,87	3,34766
3532	10389	2005.09.02	1,99	36	-6,96133	-0,34	-0,06	-0,08	-6,96181	6,95940	0,34	0,05	0,11	6,95990	-1,91	2,82	-6,96086
10389	10390	2005.09.05	2,14	38	-21,45066	-0,99	-0,16	-0,08	-21,45189	21,45192	1,02	0,16	0,11	21,45321	1,32	2,93	-21,45255
10390	15392	2005.09.05	1,75	38	-22,96814	-1,08	-0,17	-0,04	-22,96943	22,96954	1,05	0,18	0,05	22,97082	1,39	2,65	-22,97013
15392	3537	2005.09.05	1,14	20	22,17493	1,06	0,07	0,18	22,17624	-22,17476	-1,07	-0,06	-0,30	-22,17619	0,05	2,13	22,17622
3537	10391	2005.09.05	1,47	24	1,41209	0,09	0,01	0,06	1,41225	-1,41402	-0,07	0,00	-0,07	-1,41416	-1,91	2,43	1,41321
10391	3538	2005.09.06	1,17	20	15,09882	0,60	0,04	0,12	15,09958	-15,09855	-0,57	-0,05	-0,08	-15,09925	0,33	2,17	15,09942
3538	10392	2005.09.06	0,53	10	2,79306	0,12	0,01	0,00	2,79319	-2,79312	-0,10	-0,01	0,00	-2,79323	-0,04	1,58	2,79321
10392	10393	2005.09.06	1,61	26	5,15383	0,22	0,02	-0,08	5,15399	-5,15379	-0,25	-0,02	-0,01	-5,15407	-0,08	2,53	5,15403
10393	10394	2005.09.06	1,34	22	7,82985	0,38	0,05	0,05	7,83033	-7,82935	-0,36	-0,06	-0,01	-7,82978	0,55	2,31	7,83006
10394	3540	2005.09.06	1,81	30	21,50925	0,89	0,16	0,09	21,51039	-21,50862	-0,91	-0,17	-0,08	-21,50978	0,61	2,69	21,51009
3540	10395	2005.09.06	1,43	24	-17,44803	-0,82	-0,05	-0,33	-17,44923	17,44796	0,80	0,05	0,31	17,44912	-0,11	2,39	-17,44918
10395	10396	2005.09.06	1,73	30	5,13015	0,28	0,03	-0,03	5,13043	-5,12912	-0,22	0,00	0,02	-5,12932	1,11	2,63	5,12988
10396	8398	2005.09.06	2,13	36	-0,85677	-0,01	0,00	0,06	-0,85672	0,85653	-0,02	0,01	0,07	0,85659	-0,13	2,92	-0,85665
8398	10397	2005.09.07	2,13	34	-0,16561	0,03	0,00	-0,03	-0,16561	0,16502	0,00	0,00	0,02	0,16504	-0,57	2,92	-0,16533
10397	10398	2005.09.07	1,64	26	2,73564	0,17	0,01	0,01	2,73583	-2,73648	-0,17	0,00	-0,02	-2,73667	-0,84	2,56	2,73625
10398	3545	2005.09.06	1,12	20	11,48195	0,55	0,08	0,06	11,48264	-11,48215	-0,54	-0,09	-0,06	-11,48284	-0,20	2,12	11,48274
3545	762	2005.09.06	0,37	6	-4,31035	-0,20	-0,03	-0,02	-4,31060	4,31057	0,21	0,03	0,02	4,31083	0,23	1,22	-4,31072

Kalibravimo pataisų skirtumų reikšmės (milimetrais) ėjimuose pirmyn ir ėjimuose atgal tarp pataisų, skaičiuotų pagal matuoklių kalibravimo rezultatus ir pagal sistemos kalibravimo rezultatus (vertikalojo tinklo linijos Jonava – Zarasai atkarpose)

Atkarpa Jonava – Ukmergė		Atkarpa Ukmergė - Utena		Atkarpa Utena – Degučiai		Atkarpa Degučiai – Zarsai	
Ėjimas pirmyn	Ėjimas atgal	Ėjimas pirmyn	Ėjimas atgal	Ėjimas pirmyn	Ėjimas atgal	Ėjimas pirmyn	Ėjimas atgal
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	-0,02
0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01
0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01
0,01	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,01
0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,02
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,02	0,00	0,02	0,01
0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	-0,02	-0,02
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01
0,03	0,01	0,02	0,01			0,00	0,00
0,00	-0,01	0,00	0,00			0,01	0,00
-0,01	-0,01	0,00	0,00			-0,01	0,00
0,00	0,00	0,01	0,01			0,00	0,00
0,01	0,00	0,00	0,01			0,00	0,00
0,00	0,00	-0,02	-0,01			0,00	0,00
0,01	0,00	0,00	0,01			-0,01	0,01
0,00	0,00	-0,01	0,01			0,00	-0,01
0,00	-0,01	0,00	0,00			0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,01			-0,01	-0,01
-0,01	0,00	0,01	0,00			0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00			-0,02	-0,02
0,01	0,00					0,00	0,00
0,00	0,00					0,01	0,00
0,00	0,00					0,00	-0,01
-0,01	-0,01					0,00	0,01
0,00	0,01					0,01	0,00
0,00	0,00					0,00	0,00
0,00	0,00					0,00	-0,01
0,00	0,00						
0,00	0,00						
-0,01	-0,01						
0,01	0,00						
-0,01	-0,01						
0,00	0,00						
-0,01	-0,01						
0,00	0,00						
-0,01	-0,01						
0,00	0,00						
-0,01	-0,01						
0,00	0,00						

Temperatūros pataisų skirtumai (milimetrais) tarp ėjimų pirmyn ir ėjimų atgal vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai atkarpose

Atkarpa Jonava – Ukmergė		Atkarpa Ukmergė - Utena		Atkarpa Utena – Degučiai		Atkarpa Degučiai – Zarsai	
Punktai	Temperatūros pataisų skirtumai	Punktai	Temperatūros pataisų skirtumai	Punktai	Temperatūros pataisų skirtumai	Punktai	Temperatūros pataisų skirtumai
217	0,01	37	0,08	762	0	1390	-0,02
15385	0,02	3308	0,14	10399	0,05	3401	0,00
15386	-0,03	10384	0,03	8490	0,02	3107	-0,07
10367	-0,01	10385	0,01	3101	-0,01	3109	-0,06
10368	0,05	3529	-0,03	5144	0	15395	-0,08
3502	0,03	10386	0	10400	-0,01	15396	-0,03
10369	0,00	10387	0,09	15383	-0,02	15397	0,00
15387	0,01	10388	0	10401	0	2196	-0,02
10370	0,01	3532	0	15393	-0,06	15398	-0,04
10371	-0,01	10389	-0,03	10402	0	10404	-0,06
10372	0,03	10390	-0,03	15394	-0,06	10405	-0,02
10373	0,00	15392	0,01	3106	0,01	369	-0,01
3506	-0,02	3537	0,02	10403	0	15399	-0,01
10374	-0,01	10391	0,03			10406	0,00
15388	-0,03	3538	0,02			10407	-0,01
10375	0,00	10392	0,03			10408	-0,05
10376	-0,02	10393	0,02			10409	0,00
3510	-0,02	10394	0,02			10410	-0,02
10377	0,01	3540	-0,02			10411	0,03
10378	0	10395	0,06			10412	0,03
3512	-0,01	10396	-0,01			719	0,00
10379	0,02	8398	0,03			10413	0,01
3513	-0,02	10397	0			11	0,01
1074	0	10398	0,01			10414	0,00
3515	0,01	3545	-0,01			15400	0,07
10380	0,01					10415	0,12
15389	0					10416	0,03
10	-0,01					6552	0,09
4	0,05					15401	0,02
3	-0,01					15402	0,10
15126	0,01					10417	0,18
3519	0,01					10418	0,02
20	0					8504	0,12
307	0,02						
10381	0						
10382	0,06						
3522	0,03						
10383	0,01						
3523	-0,02						
1329	-0,02						
15390	-0,02						
15391	0,01						

Temperatūros ir jų skirtumai stotyse, atliekant vertikaliojo tinklo matavimus 2005 m. gegužės mėnesį (duomenų, pagal kuriuos sudaryti temperatūrų kitimo grafikai, pavyzdys)

Stotys	ta1	ta2	taj	tp1	tp2	tpj	dta	dtp	dt1	dt2	dtj
1	14,0	13,8	14,5	14,2	14,1	14,7	0,2	0,1	-0,2	-0,3	-0,2
2	14,3	14,2	14,7	14,4	14,5	14,8	0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1
3	14,8	14,7	15,0	14,8	15,0	15,0	0,1	-0,2	0,0	-0,3	0,0
4	15,3	15,0	15,0	15,1	15,6	15,9	0,3	-0,5	0,2	-0,6	-0,9
5	14,8	14,9	15,2	15,2	14,9	15,2	-0,1	0,3	-0,4	0,0	0,0
6	15,6	15,2	15,5	15,0	15,3	16,0	0,4	-0,3	0,6	-0,1	-0,5
7	15,0	15,1	15,2	17,3	17,0	17,1	-0,1	0,3	-2,3	-1,9	-1,9
8	17,3	17,1	17,2	16,3	16,4	16,7	0,2	-0,1	1,0	0,7	0,5
9	17,0	17,5	17,6	18,1	18,2	18,4	-0,5	-0,1	-1,1	-0,7	-0,8
10	17,9	18,0	18,6	16,4	16,4	16,6	-0,1	0,0	1,5	1,6	2,0
11	16,0	16,2	16,4	18,0	18,3	18,3	-0,2	-0,3	-2,0	-2,1	-1,9
12	17,4	17,3	18,0	16,7	16,9	17,0	0,1	-0,2	0,7	0,4	1,0
13	19,1	19,1	19,2	17,2	17,2	17,9	0,0	0,0	1,9	1,9	1,3
14	17,2	17,2	17,9	17,1	17,4	17,2	0,0	-0,3	0,1	-0,2	0,7
15	18,4	18,3	18,5	17,1	17,3	17,9	0,1	-0,2	1,3	1,0	0,6
16	18,0	17,9	18,6	18,2	18,5	18,5	0,1	-0,3	-0,2	-0,6	0,1
17	18,1	17,7	19,2	19,3	19,4	19,9	0,4	-0,1	-1,2	-1,7	-0,7
18	19,2	19,7	19,4	19,5	18,4	18,6	-0,5	1,1	-0,3	1,3	0,8
19	19,0	18,2	18,7	18,5	18,4	18,8	0,8	0,1	0,5	-0,2	-0,1
20	18,4	17,8	18,6	18,1	17,5	17,8	0,6	0,6	0,3	0,3	0,8
21	17,4	19,0	19,1	18,0	17,3	18,5	-1,6	0,7	-0,6	1,7	0,6
22	18,8	18,0	19,2	17,1	17,8	18,1	0,8	-0,7	1,7	0,2	1,1
23	18,3	18,5	17,8	18,7	18,7	18,8	-0,2	0,0	-0,4	-0,2	-1,0
24	17,9	18,0	18,9	17,0	16,9	17,1	-0,1	0,1	0,9	1,1	1,8

Paaiškinimai:

ta1- temperatūra atgalinėje matuoklėje (matuota 1 m aukštyje);
 ta2- temperatūra atgalinėje matuoklėje (matuota 2 m aukštyje);
 taj- invarinės juostelės temperatūra atgalinėje matuoklėje;
 tp1- temperatūra priekinėje matuoklėje (matuota 1 m aukštyje);
 tp2- temperatūra priekinėje matuoklėje (matuota 2 m aukštyje);
 tpj- invarinės juostelės temperatūra priekinėje matuoklėje;
 dta= ta1-ta2
 dtp=tp1-tp2
 dt1=ta1-tp1
 dt2=ta2-tp2
 dtj=taj-tpj

D priedas

RESPUBLIKINĖS MOKSLO KONFERENCIJOS “CIVILINĖ INŽINERIJA IR GEODEZIJA” 2010 spalio 22 d.

DIENOTVARKĖ

Mokslo komiteto pirmininkas

doc. dr. V. Č. Aksamitauskas

Mokslo komiteto sekretorius prof. dr. M. Burinskienė
Organizacinio komiteto pirmininkas – doc., dr. G. Paliulis

Sekretorius – doc., dr. A. Gasilionis

GEODEZIJOS SEKCIJA

1 posėdis 10.00 – 11.30 2709 a.

1. Č. Aksamitauskas. Stasiui Vytautui Kazakevičiui 80 m.
2. J. Vaitkevičienė, A. Kumetaitytė. Žemės sklypų kadastrinių matavimų tikrinimo ir derinimo kokybės įvertinimas.
3. L. Papšienė, G. Beconytė. Lietuvos erdvinės informacijos infrastruktūros vystymo prielaidos.
4. D. Levinskaitė, A. Stanionis, A. Zakarevičius. Žemės plutos įtempių pokyčių kaita Lietuvos teritorijoje.
5. I. Jonauskienė. Žemės sklypų kokybės tyrimas.
6. R. Birvydienė. Sunkio anomalijos ir jų nustatymo Lietuvos teritorijoje galimybės.

7. J. Sužiedelytė-Visockienė, R. Bagdžiūnaitė. VGTU personalo Erasmus programos įgyvendinimas ir mobilumo rezultatai.
8. J. Pavliukovič, B. Ruzgienė. Skaitmeninės programinės sistemos geoduomenims gauti.
9. J. Sužiedelytė-Visockienė, A. Pranskevičiūtė. Pastatų matavimai skaitmeninės fotogrametrijos metodu.
10. D. Sabaitis. Apskritiminių skalių tipai ir jų matavimo būdai.
11. D. Popovas. Sunkio lauko kitimo poveikis geodeziniais matavimams.

2 posėdis. 11.45 – 13.15

12. J. Tropikaitė. Nekilnojamųjų turto daiktų kadastrinių matavimų kokybės kontrolė.
13. B. Gaidamovič. Refrakcijos įtakos tyrimas pagal Lietuvos geodezinio vertikaliojo tinklo niveliavimo duomenis.
14. G. Kostygova. Žemės sklypo plano sudarymas CAD programine įranga.
15. A. Zubanov. Šilo tilto deformacijų analizė.
16. G. Dmitrijev. Automatizuoto komparatoriaus valdymo principai ir algoritmai.
17. G. Sriubė. Melioracijos projektų susiejimas su LKS-94 koordinačių sistema.
18. R. Uleckaitė. Išmatuotų Žemės plutos deformacijų rodiklių tikslumo tyrimas modeliavimo būdu.
19. E. Penšina. Laiko sistemų taikomų geodezinėje astronomijoje analizė.
20. A. Šilkaitė. Žemės poliaus judėjimo poveikis astronominėms koordinatėms.
21. R. Gaidytė. 2D ir 3D statinių modeliavimo ypatumai.
22. A. Savickis. Virtualiųjų GPS referencinių stočių tinklo taikant koordinačių korektūrą sudarymas.
23. S. Norkutė, R. Putrimas. Vertikaliojo tinklo linijos Jonava-Zarasai niveliavimo rezultatų analizė.

24. E. Dagilytė, V. Budrytė. Žemės dangos skaitmeninių vaizdų koreliacinė analizė.

3 posėdis. 13.45 – 15.15

25. E. Videiko. Senujų žemėlapių susiejimas ir transformavimas į bendrąją sistemą.
26. M. Mankauskas. Sunkio vertikaliojo gradiento tyrimas.
27. E. Zalanskaitė. Jonosferos įtakos GPS matavimams analizė.
28. E. Žilius. Vertikaliųjų Žemės plutos judesių įtaka horizontaliesiems judesiams.
29. V. Stukaitė. Melioracijos rekonstrukcijos projekto geodezinių darbų analizė.
30. V. Nareiko. ArcGIS programinės įrangos uždavinių automatizavimo analizė.
31. O. Čepaitė. Gravimetrinių matavimų duomenų apdorojimo analizė.
32. A. Gelžinytė. Vertikaliųjų Žemės plutos judesių linijoje Jonava-Kybartai prognozavimo modeliai.
33. A. Lingytė. Namų ūkio ūkininko sodybos plėtros projekto geodezinių darbų aspektai.
34. T. Gintvainytė. Telšių rajono žemės sklypų registravimo nekilnojamojo turto registre analizė.
35. I. Šapola. Vilniaus miesto nekilnojamojo turto objektų verčių analizė taikant „ArcGIS“.
36. P. Timinskas. Vilniaus urėdijos geoinformacinės sistemos projektavimas.
37. V. Bondzinskas. Skaitmeninės topografinės nuotraukos sudarymas atliekant statybos projektavimo darbus.
38. A. Žutautas. Palydovinių sistemų apžvalga.
39. D. Volungevičiūtė. Pataisos, redukuojant atstumus į LKS-94 kartografinę projekciją.
40. E. Butkutė. Skirtingose koordinačių sistemose sudarytų žemėlapių palyginimas.

Diskusijos

VERTIKALIOJO TINKLO LINIJOS JONAVA – ZARASAI NIVELIAVIMO REZULTATŲ ANALIZĖ

Sigita Norkutė¹

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas: ¹sigitai.n@gmail.com

Santrauka. Analizuojamas kalibravimo pataisų kitimas Lietuvos valstybinio geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo linijoje Jonava – Zarasai. Palygintos kalibravimo pataisos, apskaičiuotos pagal pavienių matuoklių kalibravimo rezultatus ir pagal vientisos sistemos (bendrai nivelyro ir matuoklių) kalibravimo rezultatus. Apžvelgta aukščių pagrindo situacija Lietuvoje. Pateiktos kalibravimo, atliekamo Suomijos Geodezijos institute, pavienių matuoklių ir vientisos sistemos kalibravimo pataisų lygtys. Vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai atkarpose grafiškai parodyti skirtumai tarp kalibravimo pataisų, suskaičiuotų pagal skirtingais kalibravimo metodais gautas kalibravimo pataisų lygtis. Nustatyta, kad skaičiuojant pataisas pagal skirtingų metodų kalibravimo rezultatus, maksimali kalibravimo pataisų skirtumų reikšmė – 0,03 mm.

Reikšminiai žodžiai: geodezinis vertikalusis tinklas, kalibravimas, kalibravimo pataisos

Įvadas

Šalies teritorijos geodezinį aukščių pagrindą sudaro valstybinis niveliacijos tinklas. Šis tinklas turi garantuoti suvienodintą aukščių pagrindą visoje šalyje, turi būti reikiamo tikslumo ir tankio. Geodezinis aukščių pagrindas turi atitikti įvairių rūšių topografinių nuotraukų bei kitų techninių ir mokslinių uždavinių reikalavimus. Remiantis sudarytu valstybiniu niveliacijos tinklu yra projektuojami ir statomi dideliame plote išsidėstę statiniai bei inžineriniai įrenginiai, sprendžiami moksliniai uždaviniai, atliekamos šalies teritorijos reljefo nuotraukos [7].

Panaudojant vertikaliojo tinklo duomenis yra kuriamos vientisos kontinentinės ir pasaulio aukščių sistemos, tikslinami geoidų modeliai, tiriamas jūrų ir vandenynų lygių kitimas. Vertikaliojo tinklo matavimų rezultatai reikalingi atliekant šalies teritorijos kartografavimą, geofizinius bei geodinaminius tyrimus, atliekant matavimus šiuolaikinėmis navigacinėmis sistemomis ar darant kitus specialiosios paskirties darbus [3].

Lietuvos vertikalųjį tinklą sudaro vietovėje įtvirtintų punktų (kuriuose nustatytos koordinatės, geopotencialinis aukštis ir sunkio pagreitis) visuma. Šio tinklo punktų geopotencialiniai aukščiai, geodezinės koordinatės ir sunkio pagreitis nustatomi atliekant geodezinius, gravimetrinius bei kosminės geodezijos matavimus. Vertikaliojo tinklo punktų koordinatės nustatomos valstybinėje Lietuvos koordinacių sistemoje LKS 94,

geopotencialiniai aukščiai – Baltijos (Kronštato) normalinių aukščių sistemoje, sunkio pagreitis – tarptautinio gravimetrinio tinklo sunkio sistemoje IGSN 71 [2].

Sudarant vertikalųjį tinklą buvo surinkti Lietuvos buvusios precizinės niveliacijos, gravimetrinių ir GPS matavimų duomenys. Paruoštas detalus vertikaliojo tinklo projektas, įrengti geodeziniai ženklai ir atlikti matavimai. Matavimams naudoti elektroniniai nivelyrai, GPS imtuvai ir gravimetrai. Atliktas matavimų duomenų matematinis apdorojimas ir tikslumo įvertinimas. Panaudojant naujų matavimų rezultatus atliekami geodinaminiai tyrimai.

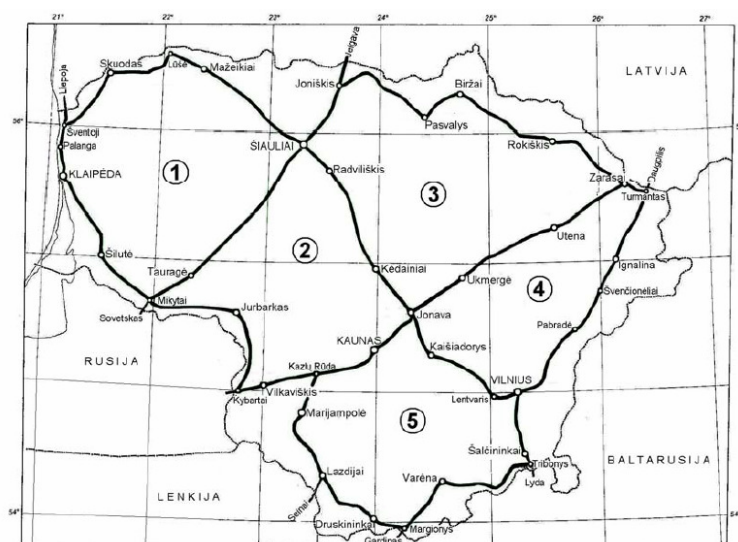
1998 m. dalis matavimų daryta bendradarbiaujant su Danijos specialistais. Drauge su Lenkijos geodezininkais Lietuvos geodezinis vertikalusis tinklas susietas su Lenkijos vertikaliojo tinklu [3].

Į Lietuvos pirmosios klasės vertikalųjį tinklą įtrauktos GPS stotys – VILNIUS, ŠIAULIAI ir MOLAS kaip EUVN ir BSL tinklų dalis [5].

Lietuvos valstybinis vertikalusis pirmosios klasės tinklas (1. pav.) sudarytas 1998 – 2006 metais. Tinklą sudaro 1961,76 km ilgio niveliacijos linijos, sujungtos į penkis poligonus. Iš viso tinklo linijose yra 1384 grūntiniais ir sieniniais ženklais įtvirtinti punktai. Naujai įrengti 862 (62,3 %) ženklai, iš kurių 8 atraminiai, 441 grūntinis ir 413 sieniniai. Siekiant panaudoti senųjų niveliacijų ženklus ir duomenis į vertikalųjį pirmosios klasės tinklą įtraukti techninių reikalavimų reglamentą GKTR 2.12.01:2001 „Lietuvos valstybinis geodezinis vertikalusis tinklas“ atitinkantys reperiai. Iš ankstesniųjų

niveliacijų panaudoti 522 (37,7 %) ženklai, iš kurių 175 gruntiniai, 243 sieniniai reperiai ir 42 sieninės

markės. Tarp senesniųjų niveliacijų punktų – 30 Lietuvos valstybinio GPS pirmosios ir antrosios klasės punktų [5].



1 pav. Lietuvos valstybinis geodezinis vertikalusis pirmosios klasės tinklas [5]

Fig. 1. Lithuanian geodetic vertical first order network

Lietuvoje vertikaliojo pirmosios klasės tinklo punktų aukščių skirtumai nustatyti atlikus precizinę niveliaciją dviem skaitmeninių nivelių *NA3003* (Nr. Nr. 92426 ir 92432) ir kodinių matuoklių *GPCL3* (Nr. Nr. 26598, 26599 ir 26600, 26605) komplektais, laikantis reglamento [2] reikalavimų [1, 4].

Šio darbo tikslas – išanalizuoti vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai kalibravimo pataisų skirtumų kitimą. Kalibravimo pataisų skirtumus skaičiuojant tarp pataisų, apskaičiuotų pagal pavienių kodinių matuoklių ir pagal vientisos sistemos (kartu nivelyro ir matuoklių) kalibravimo rezultatus.

Skaitmeninių nivelių sistemų ir kodinių matuoklių kalibravimas

Atliekant precizinės niveliacijos duomenų apdorojimą 1998 – 2004 m. buvo naudojamos pavienių matuoklių kalibravimo pataisų lygtys. 2004 m. nivelių sistemų kalibravimo duomenys dar nebuvo naudojami skaičiavimuose. Bebaigiant Lietuvos vertikaliojo pirmosios klasės tinklo matavimus, buvo nuspręsta pabaigti viso tinklo precizinio niveliavimo duomenų apdorojimą pagal vienodą metodiką (kalibravimo pataisoms skaičiuoti buvo naudojamos tik matuoklių kalibravimo pataisų lygtys).

Buvo atlikti eksperimentiniai skaičiavimai palyginant pavienių matuoklių ir nivelių sistemų

kalibravimo duomenis. Kaip teigiama tarptautiniuose moksliniuose leidiniuose [6, 8], pavienių kodinių matuoklių kalibravimas turėtų būti keičiamas nivelyro ir matuoklių (kaip sistemos) kalibravimu. Kita vertus, matuoklių kalibravimo rezultatai gaunami didesniu tikslumu nei sistemos kalibravimo rezultatai [4].

Niveliavimui naudojant skaitmeninius nivelių matavimuose dalyvauja visa sistema. Ši sistema susideda iš tokių komponentų: skaitmeninio nivelyro CCD kameros, brūkšninės kodinės matuoklės ir programinės įrangos. Esant pažeistiems sistemos komponentams gaunamos klaidingos atskaitos, nes šie defektai įtakoja matavimo procesą. Dėl šios priežasties tikslinga atlikti vientisos sistemos (bendrai nivelyro ir matuoklių) kalibravimą. Atliekant nivelyro sistemos kalibravimą svarbiausia lazeriniu interferometru kontroliuoti matuoklės vertikalųjį poslinkį ir skaitmeniniu niveliu fiksuoti matuoklės kiekvienos padėties atskaitas. Matavimai atliekami vertikaliajame komparatoriuje paslenkant brūkšninę kodinę matuoklę kas 25 mm ir fiksuojant skaitmeninio nivelyro bei lazerinio interferometro atskaitas. Pridedant tolesnių intervalų pataisas kiekvienai matuoklei yra nustatomos mastelio pataisos.

VG TU Geodezijos instituto kodinės matuoklės *GPCL3* (Nr. Nr. 26598, 26599, 26600 ir 26605) 1998–2005 m. kasmet kalibruojamos Suomijos Geodezijos

institute vertikalioju automatiniu lazeriniu komparatoriumi. Kodinių matuoklių kalibravimas atliktas vertikalioje padėtyje. Kiekvienos kodinės juostelės brūkšnio padėtis nustatyta matuojant atstumus nuo brūkšnio pradžios ir kaip galima arčiau matuoklės pado. Atliktas nominaliųjų ir tikrųjų padėčių palyginimas ir gauti rezultatai redukuoti į +20 °C temperatūrą. Buvo tiriamos kiekvienos kodinės matuoklės invarinės juostelės 2,930 m ilgio atkarpos. Matuoklės invarinės juostelės kiekvienos linijos vieta skiriasi nuo nominalios padėties dėl temperatūros pokyčių ir linijų ženklavimo paklaidų.

2004 – 2005 m. kalibruojant precizinių skaitmeninių nivelyrų sistemas ir pavienes kodines matuokles Suomijos geodezijos institute buvo gautos kalibravimo pataisų lygtys.

Kalibruojant nivelyrų sistemas gautos tokios matuoklių atskaitų pataisų lygtys [4]:

2004 m.:	nivelyras Nr. 92426	matuoklė Nr. 26598	$\delta_k = 0,0018934 a_m - 84,306;$
		Nr. 26599	$\delta_k = 0,0035546 a_m + 7,7935;$
	nivelyras Nr. 92432	matuoklė Nr. 26600	$\delta_k = 0,0082519 a_m - 14,516;$
		Nr. 26605	$\delta_k = 0,014525 a_m - 67,641;$
2005 m.:	nivelyras Nr. 92426	matuoklė Nr. 26598	$\delta_k = 0,00616 a_m + 28,93;$
		Nr. 26599	$\delta_k = 0,00859 a_m - 6,41;$
	nivelyras Nr. 92432	matuoklė Nr. 26600	$\delta_k = -0,00257 a_m - 57,12;$
		Nr. 26605	$\delta_k = 0,00855 a_m - 95,12.$

Į lygtis įrašius atskaitų a_m reikšmes milimetrais, pataisos δ_k gaunamos μm .

Kalibruojant gautos tokios matuoklių atskaitų pataisų, atsiradusių dėl invarinės juostelės kodinių padalų paklaidų, lygtys [4]:

2004 m.:	matuoklė Nr. 26598	$\delta_k = 0,0057402 a_m - 1,30;$
	Nr. 26599	$\delta_k = 0,0052961 a_m + 2,28;$
	Nr. 26600	$\delta_k = -0,0020725 a_m + 0,82;$
	Nr. 26605	$\delta_k = 0,004799 a_m + 0,10;$
2005 m.:	matuoklė Nr. 26598	$\delta_k = 0,00843 a_m - 1,27;$
	Nr. 26599	$\delta_k = 0,00641 a_m + 1,73;$
	Nr. 26600	$\delta_k = 0,00056 a_m + 4,17;$
	Nr. 26605	$\delta_k = 0,00706 a_m + 0,54.$

Į lygtis įrašius atskaitų a_m reikšmes milimetrais, pataisos δ_k gaunamos μm .

Matuoklių atskaitos, pataisytos matuoklių kalibravimo pataisomis, skaičiuotos pagal formulę [4]:

$$\delta_k = k_3 + k_4 a_m + k_5 a_m^2 + \dots + k_N a_m^{N-3}, \quad (1)$$

čia $k, \dots, k_N$ – matuoklės kalibravimo lygties koeficientai, kurie kiekvienai matuoklei nustatyti kalibruojant Suomijos geodezijos institute; a_m – matuoklės atskaita, m.

Stotyje aukščių skirtumai skaičiuoti pagal formulę [4]:

$$h_s' = (a_m + \delta_i^a + \delta_k^a) - (p_m + \delta_i^p + \delta_k^p), \quad (2)$$

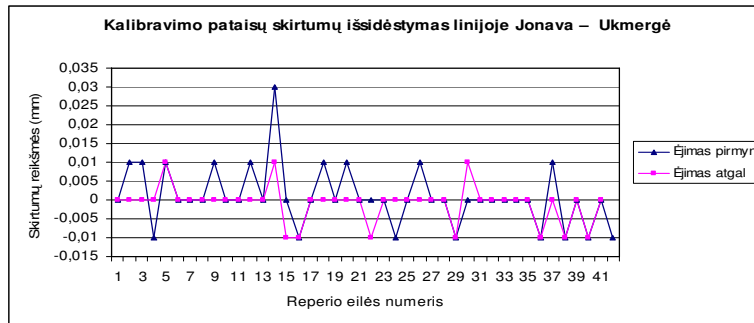
čia a_m ir p_m – atgalinės ir priekinės matuoklių atskaitos, δ_i^a ir δ_i^p – temperatūros pataisos atgalinės ir

priekinės matuoklių atskaitoms, δ_k^a ir δ_k^p – kalibravimo pataisos atgalinės ir priekinės matuoklių atskaitoms.

Kalibravimo pataisų skirtumai vertikaliojo tinklo linijoje Jonava – Zarasai

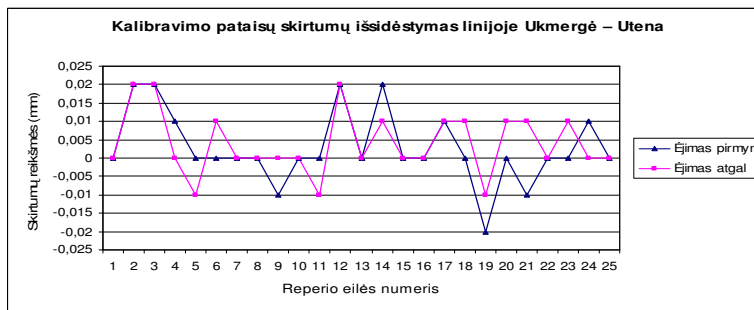
Kalibravimo pataisų analizei panaudojami 2005 metais išmatuoti ir apdoroti vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai niveliavimo rezultatai. Linija Jonava – Zarasai suskirstyta į keturias atkarpas: Jonava – Ukmergė, Ukmergė – Utena, Utena – Degučiai ir Degučiai – Zarasai.

Pagal matavimų rezultatus, gautus niveliacijos linijose Jonava – Ukmergė, Ukmergė – Utena, Utena – Degučiai ir Degučiai – Zarasai, kalibravimo pataisos suskaičiuotos dviem skirtingais atvejais. Pirmuoju atveju, kalibravimo pataisos suskaičiuotos pagal matuoklių kalibravimo rezultatus. Antruoju atveju, kalibravimo pataisos suskaičiuotos pagal vientisos sistemos (bendrai nivelyro ir matuoklių) kalibravimo rezultatus. Suskaičiuoti pataisų skirtumai tarp šių kalibravimo metodų. 2 – 5 pav. grafiškai parodytas kalibravimo pataisų skirtumų išsidėstymas minėtose vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai atkarpose, tiesioginiame ir atgaliniame ėjimuose.



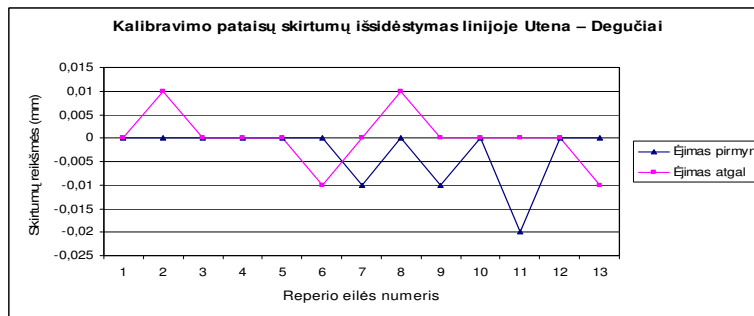
2 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Jonava – Ukmergė

Fig. 2. Differences of calibration corrections in line Jonava – Ukmergė



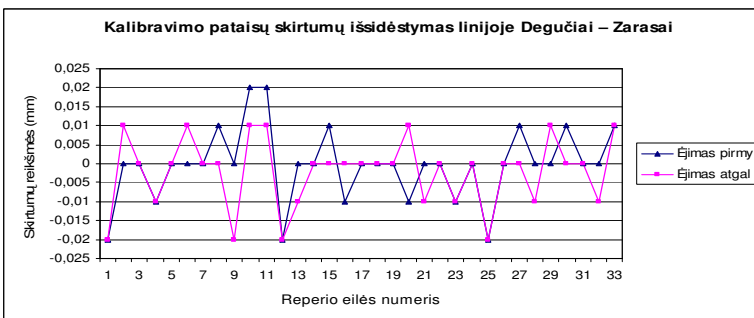
3 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Ukmergė – Utena

Fig. 3. Differences of calibration corrections in line Ukmergė – Utena



4 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Utena – Degučiai

Fig. 4. Differences of calibration corrections in line Utena – Degučiai



5 pav. Kalibravimo pataisų skirtumai linijoje Degučiai – Zarasai

Fig. 5. Differences of calibration corrections in line Degučiai – Zarasai

Kaip matyti iš grafikų (2 – 5 pav.), kalibravimo pataisų skirtumai niveliacijos linijose kinta nuo -0,02 mm iki 0,03 mm (ėjimuose pirmyn) ir nuo -0,02 mm iki 0,02 mm (ėjimuose atgal). Tai reiškia, kad didžiausias teigiamas skirtumas tarp suskaičiuotų kalibravimo pataisų, pagal skirtingais metodais gautas kalibravimo pataisų lygtis, yra 0,03 mm. Didžiausias neigiamas skirtumas – -0,02 mm.

Palyginus kalibravimo pataisas, suskaičiuotas skirtingais būdais, matyti, kad maksimali kalibravimo pataisų skirtumų reikšmė – 0,03 mm. Bendra kalibravimo pataisų suma linijoje Jonava – Zarasai, kai kalibravimo pataisos skaičiuotos pagal matuoklių kalibravimo rezultatus, yra 0,53 mm (ėjime pirmyn) ir 0,54 mm (ėjime atgal). Bendra kalibravimo pataisų suma šioje linijoje, kai kalibravimo pataisos skaičiuotos pagal sistemos kalibravimo rezultatus – 0,49 mm (ėjime pirmyn) ir 0,58 mm (ėjime atgal). Todėl prieita prie išvados, kad kalibravimo pataisoms skaičiuoti galima naudoti bet kuriuo metodu gautas kalibravimo lygtis.

Išvados

1. Pabaigus Lietuvos vertikaliojo pirmosios klasės tinklo matavimus viso tinklo precizinio niveliavimo duomenų apdorojimas buvo atliktas pagal pavienių matuoklių kalibravimo rezultatus. Tačiau, kaip teigiama tarptautiniuose moksliniuose leidiniuose [6, 8], pavienių kodinių matuoklių kalibravimas turėtų būti keičiamas nivelyro ir matuoklių (kaip sistemos) kalibravimu. Straipsnyje atliktas kalibravimo pataisų palyginimas tarp šių kalibravimo metodų.

2. Norint atlikti kalibravimo pataisų palyginimą pagal matuoklių ir pagal sistemos kalibravimo rezultatus, buvo suskaičiuoti kalibravimo pataisų skirtumai tarp gretimų vertikaliojo tinklo linijos Jonava – Zarasai punktų. Nustatyta, kad maksimali pataisų skirtumų reikšmė – 0,03 mm. Todėl prieita prie išvados, kad kalibravimo pataisoms skaičiuoti galima naudoti bet kuriuo metodu gautas kalibravimo lygtis.

Literatūra

1. Krikštonis, B.; Tumelienė, E.; Rekus, D. Precizinio niveliavimo skaitmeniniais nivelyrais *Wild NA3003* metodikos tobulinimas. Geodezija ir kartografija. Vilnius: Technika. 2005, 31(3): 97–102. ISSN 1392-1541.
2. Lietuvos valstybinis geodezinis vertikalusis tinklas. Techninių reikalavimų reglamentas GKTR 2.12.01:2001. Valstybinė geodezijos ir kartografijos tarnyba prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės. Vilnius, 2001. 19 p.
3. Lietuvos valstybinio geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo sudarymas (III dalis). Mokslo darbo ataskaita, Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Geodezijos institutas, 2002. 390 p.
4. Lietuvos valstybinio geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo sudarymas (VI dalis). Mokslo darbo ataskaita, Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Geodezijos institutas, 2005. 346 p.
5. 24. Putrimas, R., et.al. Results of Lithuanian National Geodetic Vertical First Order Network Development, in The 7th International Conference “Environmental Engineering”. May 22-23, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1446 – 1456.
6. Takalo, M.; Rouhiainen, P. On Use of FGI System Calibration Comparator. FIG Working Week 2003, Paris, France, April 13–17, 2003.13 p.
7. Tamutis, Z.; Tulevičius, V.; Žalnierukas A. Geodezija 1. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla. 1992. 291 p.
8. Woschitz, H.; Brunner, F. K. System Calibration of Digital Levels – Experimental Results of Systematic Effects. INGENEO 2002, 2nd Conference of Engineering Surveying, Bratislava, November 2002, p. 165–172.

ANALYSIS OF THE VERTICAL LEVELLING RESULTS OF VERTICAL NETWORK LINE JONAVA – ZARASAI

Sigita Norkutė

Abstract

At work is analysing change of calibration corrections in Lithuanian geodetic first order network line Jonava - Zarasai. Accomplished a comparison of the calibration corrections, calculated in accordance with single stuffs calibration results and a solid system (together levels and stuffs) calibration results. Was done survey of the Lithuanian heights situation. Presented calibration (carried out by the Finnish Geodetic Institute) of single stuffs and solid system calibration corrections equations. In vertical network line Jonava - Zarasai sections graphically shown the differences between the calibration corrections. It was found that the calculation of adjustments by different methods of calibration results, the maximum value of differences in calibration adjustments - 0,03 mm.

Keywords: geodetic vertical network, calibration, calibration corrections