



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Daiva Levinskaitė

**ŽEMĖS PLUTOS ERDVINIŲ DEFORMACIJŲ IR ĮTEMPIŲ TYRIMAS
IGNALINOS ATOMINĖS ELEKTRINĖS REGIONO TERITORIJOJE**

**RESEARCH SPATIAL DEFORMATIONS AND STRESSES OF THE EARTH
CRUST IN THE TERRITORY OF IGNALINA NUCLEAR POWER PLANT**

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 62410T102

Geografinės informacinės sistemos specializacija

Matavimų inžinerijos studijų mokslo kryptis

Vilnius, 2008

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

V. Č. Aksamitauskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Daiva Levinskaitė

**ŽEMĖS PLUTOS ERDVINIŲ DEFORMACIJŲ IR ĮTEMPIŲ TYRIMAS
IGNALINOS ATOMINĖS ELEKTRINĖS REGIONO TERITORIJOJE**

**RESEARCH SPATIAL DEFORMATIONS AND STRESSES OF THE EARTH
CRUST IN THE TERRITORY OF IGNALINA NUCLEAR POWER PLANT**

Baigiamasis magistro darbas (projektas)

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 62410T102

Geografinės informacinės sistemos specializacija

Matavimų inžinerijos studijų kryptis

Vadovas dr. Arminas Stanionis

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas lekt. R. Žukienė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas _____

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas _____

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2008

**APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA**

..... Technologijos mokslo sritis
..... Matavimų inžinerijos mokslo kryptis
..... Matavimų inžinerijos studijų kryptis
..... Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 62410T102
..... Geografinės informacinės sistemos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

..... (parašas)

V. Č. Aksamitauskas

..... (vardas, pavardė)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

..... Nr.
Vilnius

Studentui (ei)..... Daivai Levinskaitei
..... (vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema..... Žemės plutos erdvinių deformacijų ir įtempių tyrimas Ignalinos
..... atominės elektrinės regiono teritorijoje
.....

patvirtinta 2008 m. mėn. d. dekanų įsakymu Nr.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2008 m. gegužės mėn. 31 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

ĮVADAS, 1. Lietuvos teritorijos tektoninės sandaros apžvalga, 2. Ignalinos atominės elektrinės geodinaminio poligono sudarymas, 3. Geoduomenų bazių sudarymas bei panaudojimas Žemės plutos judesių tyrimams, 4. Erdvinių deformacijų bei tektoninių įtempių skaičiavimo metodika ir rezultatų analizė, IŠVADOS

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: Regina Žukienė, lekt.

.....
..... (vardas, pavardė , mokslinis laipsnis ir vardas)

Vadovas Arminas Stanionis, dr.
..... (parašas) (vardas, pavardė , mokslinis laipsnis ir vardas)

Užduotį gavau

.....
..... (parašas)

.....
..... (vardas, pavardė)

2008-02-04

.....
..... (data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Geodezijos ir kadastro katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. 1
Data 2008-05-31

Magistro baigiamasis darbas

Žemės plutos erdviųjų deformacijų ir įtempių tyrimas Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijoje

D. Levinskaitė

Kalba



lietuvių



anglų

Anotacija

Baigiamojo darbo „Žemės plutos erdviųjų deformacijų ir įtempių tyrimas Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijoje“ tikslas – įvertinti erdvinės deformacijas pagal sudarytą erdviųjų Žemės plutos deformacijų įvertinimo algoritmą bei nustatyti Žemės plutos erdviųjų geodinaminių įtempių pokyčius tenzoninės analizės būdu, tenzorius komponentes pagal geodezinių matavimų rezultatus įvertinant baigtinių elementų metodu Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijoje.

Skaičiavimams naudojami 10 gruntinių punktų, kurie išdėstyti atsižvelgiant į svarbiausių tektoninių blokų dabartinį tektoninį aktyvumą. Matavimai geodinaminiam poligone atlikti 1998 ir 1999 m. rugsėjį. Geodinaminio poligono punktų koordinatės nustatytos GPS matavimais. Matuota ASHTECH *Z-Surveyor* ir *Z-12 GPS* prietaisais.

Pagal pateiktą Žemės plutos erdviųjų deformacijų ir tektoninių įtempių skaičiavimo metodiką, gauti nauji erdviųjų deformacijų charakteristikų bei tektoninių įtempių pokyčių rezultatai. Suformuoti erdviųjų deformacijų kartoschemos ir tektoninių įtempių izogramos. Remiantis gautais rezultatais, pateikiamos baigiamojo darbo išvados.

Darbo apimtis – 63 p. teksto be priedų, 61 paveikslai., 21 lentelė., 31 literatūros šaltiniai.

Reikšminiai žodžiai: Huko dėsnis, baigtinių elementų metodas, erdviųjų geodinaminių įtempių pokyčiai, erdvinės Žemės plutos deformacijos, GPS.

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

ISBN ISSN
Copy no. 1
Date **2008-05-31**

Master thesis

Research spatial deformations and stresses of the Earth crust in the territory of Ignalina nuclear power plant

D. Levinskaitė

Language

☐

Lithuanian

☒

English

Annotation

Master thesis "Research spatial deformations and stresses of the Earth crust in the territory of Ignalina nuclear power plant" purpose of this work is to appreciate spatial strains and stresses in the territory of Ignalina nuclear power plant region by geodetic observation data.

For calculations are usable 10 GPS sites. The GPS sites were positioned to the known area tectonic framework of the Ignalina nuclear power plant area. Two measurement campaigns were performed in September 1998 and September 1999. GPS sites measurements were performed using GPS ASCHTECH Z-Surveyor and Z-12 tools.

According given earthy crust spatial deformations and tectonics' tensions calculating methodology have been received spatial deformations and tectonics' tensions alterations results. From calculating results have been determined that in the territory of Ignalina nuclear power plant geodynamics tensions alternations are in process. After theoretical and practical analysis of spatial deformations and tectonic stresses of Earth crust, conclusions and suggestions for the master's thesis were given.

The scope of work – 63 pages text without appendixes, 61 pictures, 21 tables, 31 bibliography sources. Appendixes are presented separately.

Key words: law Hooke, finite element method, spatial geodynamical stresses, spatial deformations of the Earth crust, GPS.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SARAŠAS	7
LENTELIŲ SARAŠAS	9
SANTRUMPOS	10
ĮVADAS	11
1. LIETUVOS TERITORIJOS TEKTONINĖS SANDAROS YPATUMAI	12
1.1. Lietuvos teritorijos tektoninė sandara	12
1.2. Žemės plutos horizontalių deformacijų ir įtempių pasiskirstymo dėsningumai.....	19
1.2.1. Pakartotinių matavimų tinklas	19
1.2.2. Lietuvos geodezinio tinklo horizontaliosios deformacijos	20
1.2.3. Lietuvos geodezinio tinklo tektoninių įtempių pokyčiai	21
2. IGNALINOS ATOMINĖS ELEKTRINĖS GEODINAMINIS POLIGONAS	22
2.1. Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijos tektoninė sandara	22
2.2. Ignalinos atominės elektrinės geodinaminis poligonas	23
3. GEOGRAFINĖS INFORMACINĖS SISTEMOS. GEODUOMENŲ BAZĖS FORMAVIMAS	29
3.1. Geografinių informacinių sistemų apibrėžimas.....	22
3.2. Geografinės duomenų bazės	30
3.3. Geografinės duomenų bazės formavimas.....	31
3.3. Atributinės duomenų bazės formavimas	36
4. ERDVINIŲ DEFORMACIJŲ IR TEKTONINIŲ ĮTEMPIŲ SKAIČIAVIMO METODIKA	38
4.1. Erdvinių deformacijų skaičiavimo metodika.....	38
4.2. Geodinaminių įtempių skaičiavimo metodika.....	40
4.3. Svarbiausių geodinaminių įtempių skaičiavimo metodika.....	41
5. ERDVINIŲ DEFORMACIJŲ IR ĮTEMPIŲ SKAIČIAVIMO REZULTATŲ ANALIZĖ.....	43
5.1. Erdvinių Žemės plutos deformacijų skaičiavimo rezultatai ir jų analizė	43
5.3. Geodinaminių įtempių skaičiavimo rezultatai ir jų analizė	53
5.5. Apibendrintųjų erdvinių Žemės plutos deformacijų ir įtempių skaičiavimo rezultatai ir jų analizė.....	57
5.6. Svarbiausių tektoninių įtempių skaičiavimo rezultatai ir jų analizė.....	58
IŠVADOS.....	62
LITERATŪRA	62
PRIEDAI	62

- 1 priedas. Lietuvos tektoninis žemėlapis
- 2 priedas. Trikampių punktų koordinatų vidurkiai ir nuokrypiai nuo vidurkių
- 3 priedas. Geodinaminių įtempių izogramos
- 4 priedas. Respublikinės mokslo konferencijos programa (2006 10 27)
- 5 priedas. Respublikinės mokslo konferencijos programa (2007 10 26)

PAVEIKSLŲ SARAŠAS

- 1.1.1 pav. Pabaltijo tektoninio rajonavimo schema (pagal P. Suveizdį, A. Brangulį ir V. Pūrą)
- 1.1.2 pav. Lietuvos kristalinio pamato struktūrinė-tektoninė schema (pagal Gailių R.):
- 1.2.1 pav. Pakartotinių matavimų tinklo schema
- 2.1.1 pav. Ignalinos atominės elektrinės rajono kristalinio pamato struktūrinė schema (pagal V. Marcinkevičių, J. Lampovą)
- 2.2.1 pav. Ignalinos atominės elektrinės GPS punkto schema
- 2.2.2 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (1 variantas)
- 2.2.3 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (2 variantas)
- 2.2.4 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (3 variantas)
- 2.2.5 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (4 variantas)
- 2.2.6 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (5 variantas)
- 2.2.7 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (6 variantas)
- 3.2.1 pav. Geoduomenų bazės sudėtinės dalys (www.esri.com)
- 3.3.1 pav. Naujos geoduomenų bazės kūrimas
- 3.3.2 pav. Geoduomenų bazės sluoksnių kūrimas
- 3.3.3 pav. Geoduomenų bazei reikalingos koordinatų sistemos pasirinkimas
- 3.3.4 pav. Objektų klasės sukūrimas
- 3.3.5 pav. Naujo sluoksnio parametrų nustatymas
- 3.3.6 pav. Sluoksnio elemento parametrų nustatymas
- 3.4.1 pav. Atributinės lentelės atidarymas
- 3.4.2 pav. Atributinės lentelės laukų kūrimas
- 3.4.3 pav. Atributinės lentelės laukų kūrimas
- 4.1.1 pav. Baigtinis elementas
- 5.1.1 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{xx} kartoschema (1 variantas)
- 5.1.2 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{yy} kartoschema (1 variantas)
- 5.1.3 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{zz} kartoschema (1 variantas)
- 5.1.4 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{xy} kartoschema (1 variantas)
- 5.1.5 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{xz} kartoschema (1 variantas)
- 5.1.6 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{yz} kartoschema (1 variantas)
- 5.1.7 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{xx} kartoschema (2 variantas)
- 5.1.8 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{yy} kartoschema (2 variantas)
- 5.1.9 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{zz} kartoschema (2 variantas)

- 5.1.10 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XY} kartoschema (2 variantas)
- 5.1.11 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XZ} kartoschema (2 variantas)
- 5.1.12 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{YZ} kartoschema (2 variantas)
- 5.1.13 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XX} kartoschema (3 variantas)
- 5.1.14 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{YY} kartoschema (3 variantas)
- 5.1.15 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{ZZ} kartoschema (3 variantas)
- 5.1.16 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XY} kartoschema (3 variantas)
- 5.1.17 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XZ} kartoschema (3 variantas)
- 5.1.18 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{YZ} kartoschema (3 variantas)
- 5.1.19 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XX} kartoschema (4 variantas)
- 5.1.20 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{YY} kartoschema (4 variantas)
- 5.1.21 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{ZZ} kartoschema (4 variantas)
- 5.1.22 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XY} kartoschema (4 variantas)
- 5.1.23 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XZ} kartoschema (4 variantas)
- 5.1.24 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{YZ} kartoschema (4 variantas)
- 5.1.25 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XX} kartoschema (5 variantas)
- 5.1.26 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{YY} kartoschema (5 variantas)
- 5.1.27 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{ZZ} kartoschema (5 variantas)
- 5.1.28 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XY} kartoschema (5 variantas)
- 5.1.29 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XZ} kartoschema (5 variantas)
- 5.1.30 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{YZ} kartoschema (5 variantas)
- 5.1.31 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XX} kartoschema (6 variantas)
- 5.1.32 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{YY} kartoschema (6 variantas)
- 5.1.33 pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{ZZ} kartoschema (6 variantas)
- 5.1.34 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XY} kartoschema (6 variantas)
- 5.1.35 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XZ} kartoschema (6 variantas)
- 5.1.36 pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{YZ} kartoschema (6 variantas)
- 5.6.1 pav. Svarbiausiojo σ_1 įtempio izograma
- 5.6.2 pav. Svarbiausiojo σ_2 įtempio izograma
- 5.6.3 pav. Svarbiausiojo σ_3 įtempio izograma

LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 1 lentelė. Tektoninių struktūrų klasifikacija
- 2 lentelė. Matavimų programa
- 3 lentelė. Geodinaminio poligono punktų koordinatės
- 4 lentelė. Geodinaminio poligono punktų koordinatės pokyčiai
- 5 lentelė. Erdvinių Žemės plutos deformacijų parametrai (1 variantas)
- 6 lentelė. Erdvinių Žemės plutos deformacijų parametrai (2 variantas)
- 7 lentelė. Erdvinių Žemės plutos deformacijų parametrai (3 variantas)
- 8 lentelė. Erdvinių Žemės plutos deformacijų parametrai (4 variantas)
- 9 lentelė. Erdvinių Žemės plutos deformacijų parametrai (5 variantas)
- 10 lentelė. Erdvinių Žemės plutos deformacijų parametrai (6 variantas)
- 11 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (1 variantas)
- 12 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (2 variantas)
- 13 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (3 variantas)
- 14 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (4 variantas)
- 15 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (5 variantas)
- 16 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (6 variantas)
- 17 lentelė. Geodinaminio poligono punktų koordinatės vidurkiai ir nuokrypiai nuo vidurkių
- 18 lentelė. Apibendrintieji erdvinių deformacijų parametrai
- 19 lentelė. Apibendrintieji įtempių pokyčiai
- 20 lentelė. Apibendrintieji svarbiausių įtempių pokyčiai
- 21 lentelė. Geodinaminio poligono svarbiausieji įtempiai (6 variantas)

SANTRUMPOS

GIS – geografinės informacinės sistemos

NTT – netaisiklingųjų trikampių tinklas

pav. - paveikslas

IVADAS

Darbo aktualumas. Atsiradus tiksliems geodeziniais prietaisais labai pagerėjo geodezinių matavimų kokybė bei tikslumas. Šiuo metu galima sudaryti erdviuosius geodezinius tinklus ir atlikti ypatingai precizinius matavimus. Naudojant kartotinių geodezinių matavimų duomenis, galima pakankamai tiksliai įvertinti geodezinių tinklų punktų koordinačių pokyčius bei kitas jų charakteristikas. Turint punktų koordinačių pokyčių rezultatų duomenis, galima įvertinti dabartinių Žemės plutos judesių charakteristikas bei nustatyti jų kaitos dėsninumus. Gauti rezultatai teiks papildomą informaciją apie Žemės plutos seisminį intensyvumą bei palengvins dabartinių Žemės plutos judesių interpretavimą.

Tyrimo objektas. Ignalinos atominės elektrinės geodinaminis poligonas.

Tyrimo tikslas ir uždaviniai. Įvertinti erdvinės deformacijas pagal sudarytą erdviųjų Žemės plutos deformacijų įvertinimo algoritmą bei nustatyti Žemės plutos erdviųjų geodinaminių įtempių pokyčius tenzoninės analizės būdu, tenzoriaus komponentes pagal geodezinių matavimų rezultatus įvertinant baigtinių elementų metodu Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijoje.

Temos naujumas. Sudarytas apibendrintųjų Žemės plutos erdviųjų deformacijų ir įtempių pokyčių skaičiavimo algoritmas bei gauti nauji Žemės plutos erdviųjų judesių parametrai pagal GPS matavimų duomenis.

Tyrimai skelbti:

VGTU, Respublikinė mokslo konferencija „Civilinė inžinerija ir geodezija“, „Žemės plutos tektoninių įtempių pokyčių kaitos Lietuvos teritorijoje tyrimas“, 2006 m. spalio 27 d.

VGTU, Respublikinė mokslo konferencija „Civilinė inžinerija ir geodezija“, „Tektoninių svarbiausių įtempių pokyčių nustatymas bei jų pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje“, 2007 m. spalio 26 d.

Darbo apimtis ir struktūra. Darbo apimtis – 63 puslapiai teksto be priedų, 61 paveikslas, 21 lentelė, 31 literatūros šaltiniai.

1. LIETUVOS TERITORIJOS TEKTONINĖS SANDAROS YPATUMAI

Žemės planeta susiformavo prieš 4,5-4,6 mljd. metų. Nuo to laiko jos sandara ir paviršius nuolat mainėsi: gimstant Žemės plutai, plisdavo ir formuodavosi jūriniai baseinai, suintensyvėdavo nuosėdų kaupimasis, jos įvairiai kisdavo, didėjant slėgiui ir temperatūrai; kylant Žemės plutai, jūra atsitraukdavo, paviršiaus uolienos dūlėdavo, kartais ledynai nuo sausumos nunešdavo daug nuardytų uolienų. Žemės geologinės raidos istorijoje galima išskirti keletą itin svarbių datų: prieš 4-3,9 mljd. metų atsirado seniausi žemynų branduoliai – skydai. Spėjama, kad prieš 3,3 mljd. metų atsiradusi gyvybė, prieš 3,2 ir 1 mljd. (tris kartus) įvyko stiprūs dreifuojančių kontinentų susidūrimai; prieš 650 mlj. metų pradėjo vystytis Žemėje seniausi daugialąsčiai gyvūnai, kol galiausiai gyvybė suklestėjo jūroje ir sausumoje. Seniausią istorijos dalį – nuo planetos atsiradimo iki 570 mln. metų - apima archėjaus ir proterozojaus geologiniai laikotarpiai. Visa gyvybės raidos istorija, skaičiuojant nuo 570 mln. metų iki dabar, skirstoma į tris eras (paleozojų, mezozojų, kainozojų) ir 12 periodų, pradedant kambru ir baigiant antropogenu [5].

Žemės plutos judesiai skirstomi [3, 5, 17] į senuosius tektoninius judesius ir neotektoninius judesius, kurie apima neogeno ir kvartero periodus bei yra trumpesni nei senieji judesiai. Dabartinių judesių periodas siekia vos 150 metų, kai jų nustatymui buvo pradėti naudoti tikslieji geodeziniai matavimai.

1.1. Lietuvos teritorijos tektoninė sandara

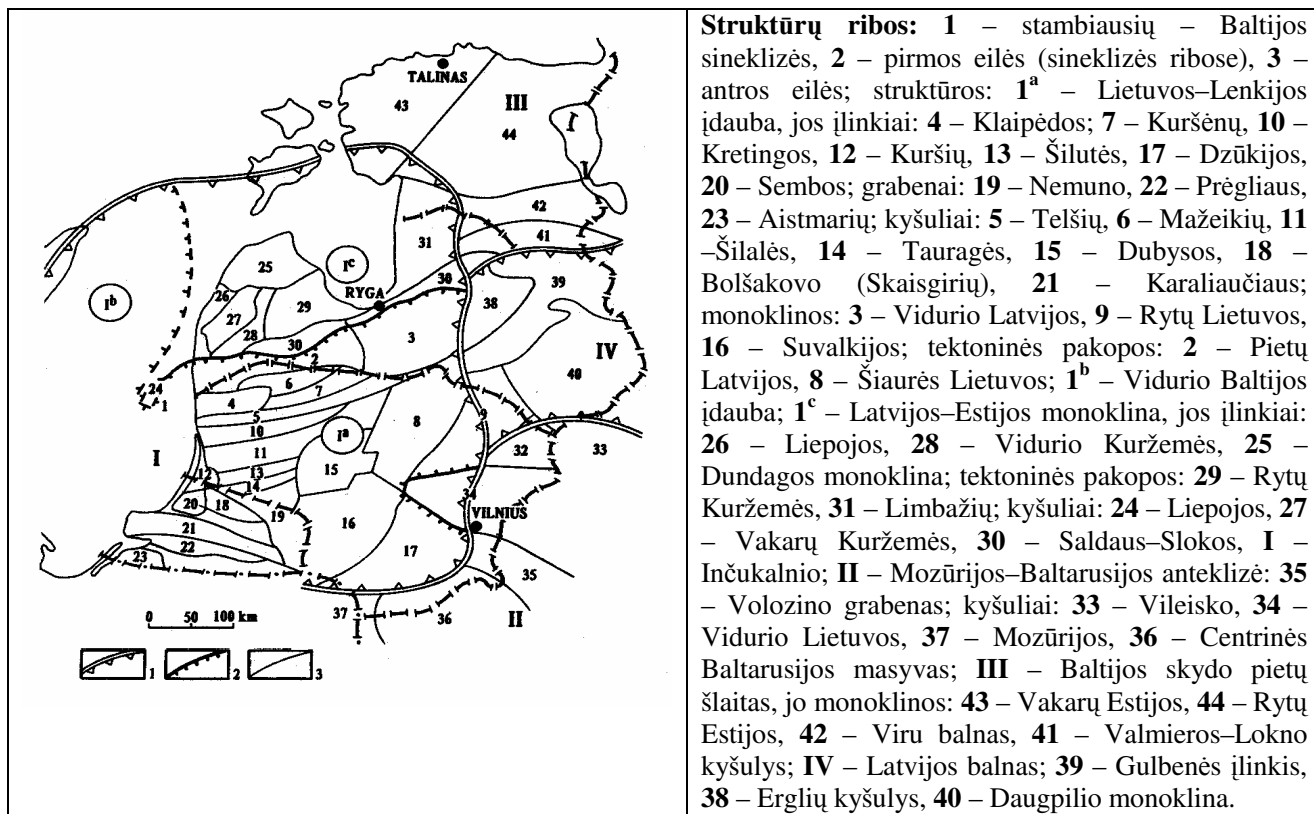
Lietuvos kristalinis pamatas suskaldytas lūžių. Pagrindinės jų kryptys keturios – šiaurės, vakarų, šiaurės vakarų ir šiaurės rytų. Regioniniai kristalinio pamato tektoniniai lūžiai apibendrintai skirstomi į dvi pagrindines grupes: šiaurės-rytų ir šiaurės-vakarų sistemas, ir tik nedidelę dalį iš jų sudaro subplatuminiai ir meridianiniai tektoniniai lūžiai (zonos).

Rytų pabaltijo teritorijoje išskiriamos penkios geologinės struktūros (1.1 pav.) [5]: Mozūrijos–Baltarusijos anteklizė, Baltijos sineklizė, tarp jų Lietuvos–Baltarusijos šlaitas, Latvijos balnas, Baltijos skydas. Pirmosios keturios apima Lietuvos teritoriją.

Svarbiausia yra superregioninės Suvalkų–Dzūkijos tektoninių lūžių zona, ribojanti Mozūrijos–Baltarusijos anteklizę ir Baltijos sineklizę (1.1.1 pav.). Ši zona eina beveik platumos kryptimi, į šiaurę nuo Druskininkų, toliau atsekama šiaurės rytų Lenkijoje. Jos bendras ilgis – apie 250 km. Zoną sudaro du pagrindiniai – Suvalkų ir Dzūkijos sprūdžiai, kurių kiekvienas dar turi lokalių, atsišakančių sprūdžių, daugiausia šiaurės rytų krypties [5].

Nemuno žemupyje išskirta regioninių tektoninių lūžių zona. Sausumoje, iki Nemuno žiočių

jis ilgis yra apie 75 km, toliau Kuršių mariose ji šakojasi į dvi dalis – iš pietų pusės eina Kuršių sprūdis, nusitęsiantis į Baltijos jūrą apie 180 km. Visi šie lūžiai yra beveik platumos krypties.



1.1.1 pav. Pabaltijo tektoninio rajonavimo schema (pagal P. Suveizdį, A. Brangulį ir V. Pūrą)

Vakarinėje Lietuvos dalyje išskiriamos Telšių ir Pietų Šilalės platumos krypties tektoninių lūžių zonos, turinčios nusprūdusius pietinius sparnus.

Pietrytinėje Lietuvos dalyje išsiskiria Vilniaus–Ašmenos regioninė pietryčių–šiaurės–vakarų krypties lūžių zona, siekianti apie 300 km [5], [17]. Ją sudaro du pagrindiniai – Vilniaus ir Ašmenos – sprūdžiai. Pirmasis riboja Lenkijos–Lietuvos (kartu ir Baltijos sineklizę) nuo Mozūrijos–Baltarusijos anteklizės, o antrasis – Baltarusijoje, minėtosios anteklizės centrinėje dalyje riboja ir šiaurės–rytų krypties stambų Voložino grabeną [5].

Pagrindinės tektoninės struktūros nurodytos 1.1 lentelėje. Lietuvoje tektoninės struktūros yra I, II ir III eilės. Itin stambi Rytų Europos platformos struktūra – Baltijos sineklizė [5, 17], apimanti pietinę Estijos, vakarinę ir vidurinę Latvijos bei Lietuvos, Rytų Prūsijos teritorijas, didelę Baltijos jūros akvatorijos dalį. Sineklizę riboja kitos tektoninės struktūros: pietuose ir pietryčiuose – Mozūrijos–Baltarusijos anteklizė, rytuose – Latvijos balnas, šiaurėje ir vakaruose – Baltijos skydo šlaitas, pietvakariuose – Danijos–Lenkijos įlinkis. Visoje sineklizės teritorijoje yra tektoninių lūžių, išryškėjusių tiek kristaliniame pamate, tiek nuosėdinės dangos lygiuose.

Baltijos sineklizę sudaro trys pagrindinės struktūros – Lietuvos–Lenkijos ir Vidurio Baltijos įdaubos bei šiaurės rytinė Latvijos–Estijos monoklina su palyginti nedidele Rygos įdauba. Lietuvos–Lenkijos įdaubą pietuose ir rytuose riboja Mozūrijos–Baltarusijos anteklizė, vakaruose – Vidurio Baltijos įdauba ir šiaurėje – Liepojos–Rygos pakelta regioninių tektoninių lūžių zona.

1 lentelė. Tektoninių struktūrų klasifikacija

Tektoninių struktūrų kategorijos	Skiriamieji bruožai; forma: dydis; gylis (aukštis); ribos	Būdingieji pavyzdžiai
<u>I. Subglobalinės:</u> - plytos - skydai - perikratoniniai įlinkiai - aulakogenai	Matmenys nuo kelių šimtų iki 1000 kilometrų izometriškos formos; ribos tektoninės ir paprastos; nuosėdinė danga nuo kelių šimtų iki kelių tūkstančių metrų storio Nuosėdinės dangos nėra Kolizijos pasėkoje atsiradę, simetrinio skerspjuvio, ilgos tįsos (tūkstančiai km) platformos pakraštyje. Nuosėdinė danga kelių tūkstančiai m. Sprendingo įtakojė atsiradę, gilių kraštinių lūžių ribojami, ilgos tįsos (tūkstančiai km), platformoje. Nuosėdinė danga nuo keleto šimtų iki tūkstančio m. Joje yra efuzyvų.	<i>Rusijos plokštė</i> <i>Baltijos skydas</i> <i>Danijos-Lenkijos (Riugeno - Pomorjės) per. įlinkis</i> <i>Poliesės-Oršos-Kresteko aulakogenas</i>
<u>II. Superregioninės:</u> - pakeltos – anteklizės 1. nugrimzdusios – sineklizės - neutralios – monolingos (skydų šlaitai)	Įvairiaformės, kelių šimtų kilometrų skersmens; ribos tektoninės ir paprastos, nuosėdinė danga nuo kelių šimtų iki 1000m. storio Nuosėdinė danga nuo kelių šimtų iki 3000-5000m. storio Nuosėdinė danga kelių šimtų metrų storio	<i>Mozūrijos - Baltarusijos anteklizė</i> <i>Baltijos sineklizė</i> <i>Estijos monoklina</i>
<u>III. Regioninės:</u> <i>stambios – I eilės</i> - pakeltos – masyvai - kyšuliai - nugrimzdusios – įdaubos - neutralios-monolingos (skydų šlaitai)	Nuo keliasdešimt iki kelių šimtų kilometrų; ribos tektoninės ir paprastos; nuosėdinė danga – kelių dešimčių metrų storio Nuosėdinė danga iki 1000 storio Nuosėdinė danga iki kelių kilometrų storio Iki kelių šimtų kilometrų; ribos paprastos; nuosėdinė danga-kelių šimtų metrų storio	<i>Centrinės Baltarusijos masyvas</i> <i>Mozūrijos kyšulys</i> <i>Lenkijo - Lietuvos įdauba</i> <i>Suvalkijos monoklina</i>

1 lentelės pabaiga. Tektoninių struktūrų klasifikacija

<u>IV. Subregioninės:</u> <u>vidutinės II eilės</u> • pakeltos – horstai • nugrimzdusios – grabenai (maži, paprasti) • įlinkiai (maži, paprasti) • struktūrinės įlankos • natūralios tektoninės pakopos	Daug dešimčių kilometrų; ribos tektoninės, nuosėdinė danga daug šimtų metrų storio Ribos tektoninės Ribos tektoninės ir paprastos Tas pat Ribos tektoninės	<i>Druskininkų horstas</i> <i>Telšių kyšulys</i> <i>Nemuno grabenas</i> <i>Klaipėdos įlinkis</i> <i>Kuršių struktūrinė įlanka</i> <i>Zarasų tektoninė pakopa</i>
<u>V. Lokalinės:</u> <u>Mažos III eilės</u> • pakeltos homoklinos (pakelti blokai) • hemiantiklinos (pusiaubrachiанти klinos) • horstai (maži, paprasti) • struktūriniai kyšuliai	Kelių kilometrų skersmens; aukšti iki kelių dešimčių metrų; ribos tektoninės; nuosėdinė danga iki 2 ir daugiau kilometrų Ribos tektoninės ir paprastos Ribos tektoninės Tas pat Tas pat Tas pat	<i>Pietų Šiūparių homoklina</i> <i>Deglių hemiantiklina</i> <i>Dubičių horstas</i> <i>Kybartų struktūrinis kyšulys</i> <i>Valkininkų grabenas</i>

Šiaurės vakarinėje dalyje yra gilus Klaipėdos (arba Salantų) įlinkis. Jo šiaurinė riba su Mažeikių kyšuliu staigi, tektoninė [5].

Telšių kyšulys yra platuminės krypties struktūra, esanti tarp dviejų įlinkių: Klaipėdos ir Kretingos.

Mažeikių kyšulys užima šiaurinį vakarinės Lietuvos dalies pakraštį, kurį iš pietų riboja Klaipėdos įlinkis, o iš šiaurės – Pietų Latvijos tektoninė pakopa.

Kuršėnų įlinkis šiaurės Lietuvoje ribojamas dviejų beveik platumos krypties tektoninių lūžių zonų.

Šiaurės Lietuvos tektoninė pakopa susijusi su toliau į rytus išskiriama Rytų Lietuvos monoklina, kuri yra pačiame rytiniame Lietuvos – Lenkijos įdaubos pakraštyje, ties riba su Mozūrijos – Baltarusijos anteklize. Ją riboja Zarasų ir Šiaurės Lietuvos tektoninės pakopos, o šiaurėje esantis platumos krypties Bauskos tektoninis lūžis – nuo toliau išplitusios Vidurio Latvijos monoklinos.

Kretingos įlinkis išskiriamas vakarų Lietuvoje, į pietus nuo Telšių kyšulio. Iš pietų pusės šią struktūrą riboja Šilalės kyšulys platumos krypties ir jam statmena Gargždų lūžių zona.

Kuršių įlinkis yra Kuršių mariose. Įlinkis mažai ištirtas, ribos neaiškios.

Šilutės įlinkį riboja Šilalės ir Tauragės kyšuliai. Struktūra dar mažai tirta.

Šilalės kyšulį vakarinėje dalyje stačiu kampu kerta Gargždų lūžių zona su lokaliomis struktūromis – Šiuparių, Pietų Šiuparių, Vilkyčių ir kt.

Tauragės kyšulys iš pietryčių ir pietvakarių pusės apribotas tektoninių lūžių, sudarančių Nemuno grabeną.

Suvalkijos monoklina yra jau kitoje Nemuno pusėje, pietų Lietuvoje.

Dzūkijos įlinkis yra pietryčių Lietuvoje. Čia jis susisiečia su Mozūrijos – Baltarusijos anteklize ir joje išsiskiriančiu Voložino grabenu, vakaruose prieina prie Suvalkijos monoklinos, o iš šiaurės ir rytų įlinkį nuo toliau į šiaurę esančio Vidurio Lietuvos kyšulio riboja staigus Vilniaus regioninis tektoninis lūžis (sprūdis).

Lygiagrečiai Lietuvos ir Latvijos pakrantei Baltijos jūroje išskiriama vidurio Baltijos įdauba.

Šiaurės rytų, arba Latvijos – Estijos, monoklina užima Kuržemę, Rygos įlanką ir dalį pietinės Estijos. Stambiausia – Liepojos – Rygos – tektoninių lūžių zona tęsiasi iš vakarų į rytus [5].

Rytų Lietuvoje Mozūrijos – Baltarusijos anteklizėje išskiriamos dvi subregioninio rango tektoninės struktūros – Vidurio Lietuvos kyšulys ir Zarasų tektoninė pakopa. Vidurio Lietuvos kyšulys yra minėtos anteklizės šiaurės vakariniame šlaite. Kyšulio ribos neryškios, išskyrus pietvakarinę, sutampančią su Vilniaus regioniniu tektoniniu lūžiu. Zarasų tektoninė pakopa užima rytinę Lietuvos dalį.

Į šiaurės rytus nuo Lietuvos teritorijos, Latvijos rytinėje dalyje, plyti stambi tektoninė struktūra – Latvijos balnas. Iš šiaurės ją riboja Rygos – Pskovo tektoninių lūžių zona, o iš pietų – Mozūrijos – Baltarusijos anteklizė. Išskiriama ir keletas mažesnių tektoninių struktūrų: Gulbenės įlinkis, Erglių pakiluma, Daugpilio monoklina. Už Latvijos balno visa teritorija, kurią užima Estija, priskiriama Baltijos skydo pietiniam šlaitui.

Lietuvoje yra dar ir daug mažesnių – III eilės, arba lokalių – tektoninių struktūrų: homoklinų (Pietų Šiuparių), pusiaubrachiantiklinų (Deglių), brachiantiklinų, susijusių su silpna druskų tektonika, žiedinių struktūrų.

Lokaliųjų žiedinių struktūrų Lietuvoje ir gretimose teritorijose yra keletas. Geriausiai ištirta Tajno žiedinė struktūra (Šiaurės-Rytų Lenkija) bei dar keletas Lietuvoje ir arti jos: Mizarų, Perlojos, Veprių, Anisimovičių, Dobelės [17].

Išanalizavus visą sukaupą apie tektoniką medžiagą, atliekamas teritorijos tektoninis rajonavimas. Praeityje buvo taikomi principai rajonuoti teritorijas pagal svarbiausios įvykusios

raukšlėdaros amžių. Tokie buvo tarptautiniai Europos tektoniniai 1-os ir 2-os laidos žemėlapiai, kuriuose Pabaltijo teritorija buvo vaizduojama kaip vieninga platforminė sritis (su nuosėdinės dangos storių izohipsėmis ir pavieniais, svarbesniais tektoniniais lūžiais) su ikerifėjiniu (priekambriniu) konsolidavimo amžiaus pamatu.

Nuo 1973 m. buvo sudaryti tektoniniai žemėlapiai pagal raidos arba režimų tipus Rusų platformai, o kiek vėliau, šiek tiek modifikuoti, Baltarusijoje ir Pabaltijyje.

Šie rajonavimo principai rėmėsi platforminių struktūrų nuosėdinės dangos pagrindinio raidos etapo amžiumi. Pirmiausia buvo atliktas nuosėdinės dangos skirstymas į struktūrinius kompleksus, ribojamus regioninėmis pertraukomis ir kampinėmis slūgsojimo nedarnomis: vėdo-apatinio kambro (baikalinis), apatinio kambro-apatinio devono (kaledoninis), apatinio demono-apatinio permo (hercyninis), viršutinio permo neogeno (alpinis). Jų vaizdavimas žemėlapyje buvo atliekamas išskiriant dominuojančio storio kompleksus ir jiems suteikiant atitinkamą spalvą. Atskirų kompleksų storiai ir slūgsojimo sąlygos buvo žymimos taip pat atitinkamos spalvos izohipsėmis. Visa kita - struktūros skiriamos pagal kontrastingiausią kristalinio pamato paviršių. Tačiau šio tektoninio žemėlapio sudarymo metodikos pagrindinis trūkumas yra tas, kad, spalvomis vaizduojamų kompleksai yra dirbtinai „suplėšomi“, t.y. nutraukiamas spalvinis vaizdavimas ten, kur dar konkretus kompleksas yra išplitęs. Pabaltijo struktūriniame-formaciniame žemėlapyje (1982 m.) šio trūkumo buvo stengtasi išvengti. Jame nuosėdinės dangos storumė diferencijuota dar ir pagal transgresyvių, inundacinių ir regresyvių formacijų sudėtį ir išplitimą.

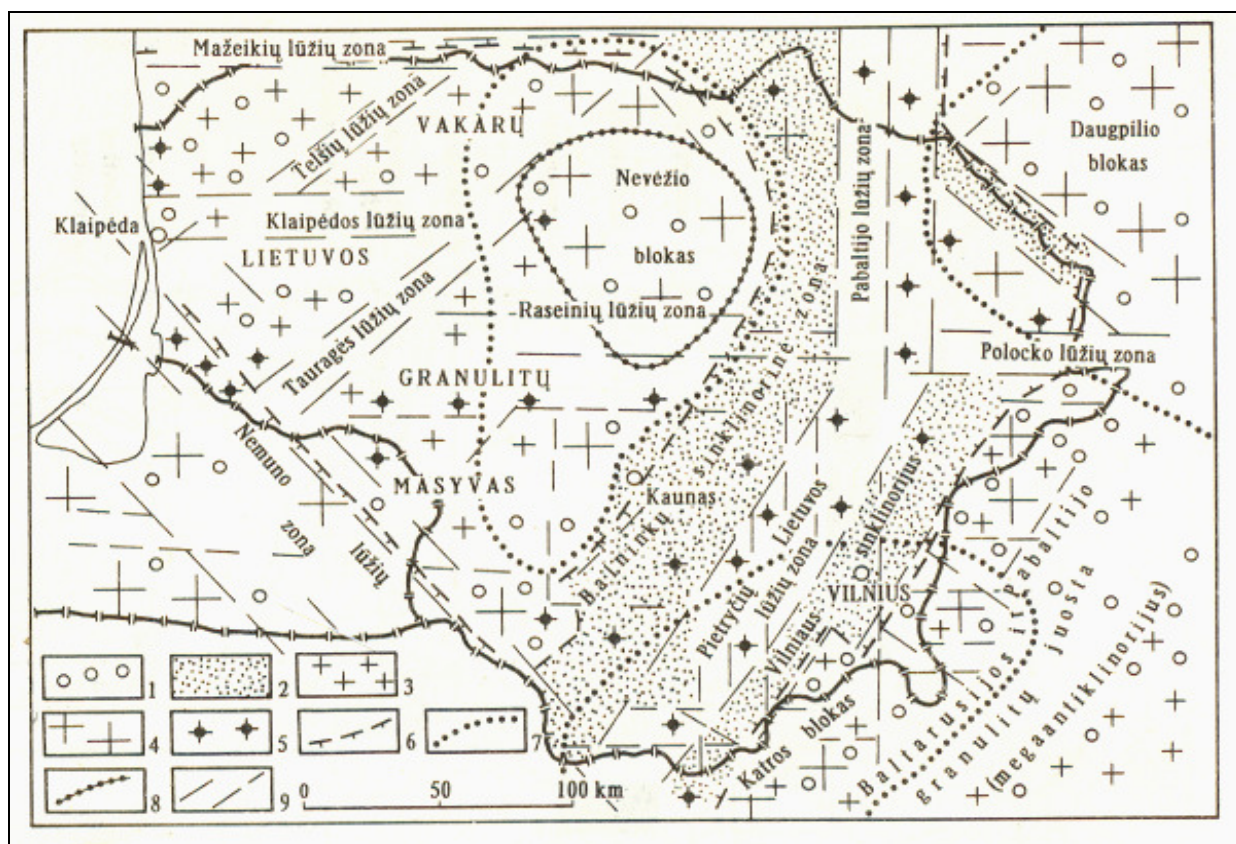
Nuo 2000-jų metų buvo pradėta kurti naujus tektoninio žemėlapio sudarymo principus ir metodiką. Visa to galutinis tikslas – Lietuvos tektoninis žemėlapis masteliu 1:500 000 (1 priedas).

Tektoninio pamato kristalinę struktūrą sudaro dvi skirtingos sritys – vakarų ir rytų (1.1.2 pav.) [5], [20], [25]. Vakarinę užima Vakarų Lietuvos granulitų masyvas. Jį sudaro pirmojo tektoninio aukšto uolienos ir trečiojo bei ketvirtojo aukštų storymių fragmentai. Šiaurinėje ir pietinėje masyvo dalyse slūgso erlėnų, o tarp jų – pocių serijos gneisai bei skalūnai. Rytų Lietuvos granulitų masyvo dalis labai granitizuotas ir sudaro Nevėžio giluminį bloką. Iš šiaurės masyvą riboja platuminės krypties Mažeikių lūžių sistema. Pietinę struktūros dalį kerta giluminė lūžių zona. Rytinėje Lietuvos dalyje iš šiaurės į pietvakarius tęsiasi sudėtingos sandaros Dzūkijos-Aukštaitijos kristalinio pamato struktūra, kuri susideda iš antrojo tektoninio aukšto, arba balninkų komplekso, uolienų. Į šiaurę ji tęsiasi Latvijos Inčiukalnio struktūrinės zonos link. Iš šiaurės rytų šią struktūrą riboja giluminis Daugpilio blokas, analogiškas vidurio Lietuvoje esančiam Nevėžio blokui. Rytų kryptimi iškyla Baltarusijos ir Pabaltijo granulitų juosta. Vakaruose Dzūkijos-Aukštaitijos struktūra šliejasi prie Vakarų Lietuvos granulitų masyvo granitizuoto Nevėžio bloko. Pietinėje dalyje ji remiasi į giluminį Katros bloką, kuris yra minėtosios granulitų juostos dalis. Struktūros išilginę ašį

sudaro dvi lūžių sistemos: šiaurinėje dalyje – Pabaltijo, pietinėje – pietryčių Lietuvos. Ją skersai kerta Polocko ir Raseinių lūžių sistemos. Lūžių, ypač išilginių, zonos uolienos intensyviai granitizuotos ir metasomatiškai pakitusios [2].

Lietuvos kristalinį pamatą, visur dengia nuosėdinių uolienų sluoksniai, todėl nežinomas tikslus kompleksų ir storymių amžius. Tektoninės struktūros kompleksai išdėstyti pagal jų santykinį amžių.

Tektoninės struktūros seniausiąjį aukštą sudaro ašvos kompleksas, metamorfinizuotas granulitinės facijos lygyje. Apatinė komplekso dalis paveikta sausos ortoklazinės granitizacijos (čarnokitizacijos), sąlygiškai pavadintos ašvos komplekso pirmuoju granitėjimo lygiu, o viršutinė – vandens prisotintos ortoklazinės granitizacijos, sąlygiškai vadinamas antruoju metamorfinių kompleksų granitėjimo lygiu. Lūžių zonose čia pastebėta uolienų ir anksčiau susidariusių ortoklazų mikroklinizacija. Tai trečiasis sąlygiškas granitėjimo (vėlesnis už pirmuosius du) lygis. Tikėtina ir ketvirtoji granitizacija, dėl kurios susidarė rapakyvio granito intruzijos ir kvarcinio porfyro efuzijos Latvijos ir Estijos teritorijose. Magminės veiklos pobūdis, formuojantis pirmajam tektoniniam aukštui, ne itin aiškus. Laikotarpiui būdingas bazinis-neutralusis-rūgštusis plutonizmas. Pirmojo tektoninio aukšto pagrindinė magnetinių anomalijų kryptis yra platuminė.



1.1.2 pav. Lietuvos kristalinio pamato struktūrinė-tektoninė schema (pagal Gailių R.):

1 – pirmasis struktūrinis aukštas – ašvos kompleksą vakarų Lietuvoje bei rodokos storymė pietryčių Lietuvoje; **2** – antras struktūrinis aukštas – Balninkų kompleksas; **3** – pirmasis ašvos kompleksą granitėjimo lygmuo; **4** – antrasis metamorfinių kompleksų granitėjimo lygmuo; **5** – trečiasis metamorfinių kompleksų granitėjimo lygmuo; **6** – vakarų Lietuvos granulių masyvo ir Dzūkijos-Aukštaitijos megasinklinorijaus sąlygiškos ribos; **7** – giliųjų litosferos blokų ribos; **8** – apytikslė Nevėžio bloko riba kristalinio pamato paviršiuje; **9** – kristalinio pamato lūžių sistemos ir zonos; **l.s.** – lūžių sistema.

Antrąjį tektoninės struktūros aukštą sudaro balninkų kompleksą uolienos, metamorfizuotos amfibolitinės facijos lygyje. Balninkų komplekse gausu lengvai atpažįstamų bazinių magminių kūnų, yra metamorfizuotų rūgščiųjų vulkaninių uolienų, itin kvarciškų gneisų, rūdinių metasomatitų. Vyrauja dienovidinė magnetinių anomalijų kryptis. Apskritai kompleksą sudaro vulkaninių nuosėdinių uolienų klodai. Jie ne tik metamorfizuoti, bet ir intensyviai granitizuoti, ypač lūžių zonose. Būdinga žemos temperatūros mikroklininė granitizacija daug fluidų turinčioje aplinkoje. Magmizmas, formuojantis antrajam tektoniniam aukštui, buvo toks: vulkanizmas – bazinis, neutralus, rūgštinis, plutonizmas – ultrabazinis, bazinis neutralusis ir rūgštusis. Aptinkama normalių ir subšarminių granitų. Tektoninis režimas, formuojantis tiek pirmajam, tiek antrajam tektoniniams aukštams, buvo artimas geosinklininiam.

Trečiasis tektoninis aukštas beveik sunaikintas. Jį sudaro hipersteninių bazaltų subvulkaninės gyslos, aptinkamos vakarų Lietuvos kristalinio pamato plyšiuose, ir vulkanomiktinė veiviržėnų storymė. Pastaroji suskaldyta ir galbūt suraukšlėta, tačiau apie jos metamorfizmą kalbėti dar anksti. Magmatizmas, formuojantis trečiajam struktūros tektoniniam aukštui, buvo specifiškas: vulkanizmas – hipersteniniai bazaltai Lietuvoje ir plagiokaziniai porfiritai su kvarciniu porfyru kaimyninėse teritorijose; plutonizmas – gabro anortozitų intruzijos Lietuvos–Latvijos pasienyje ir stambus rapavyko granitų masyvas šiek tiek toliau į šiaurę [5].

Ketvirtojo tektoninio aukšto baublių storymės, kurios galėjo sudaryti platforminio arba panašaus į platforminį tektoninio režimo sąlygomis, išliko vos 14 metų.

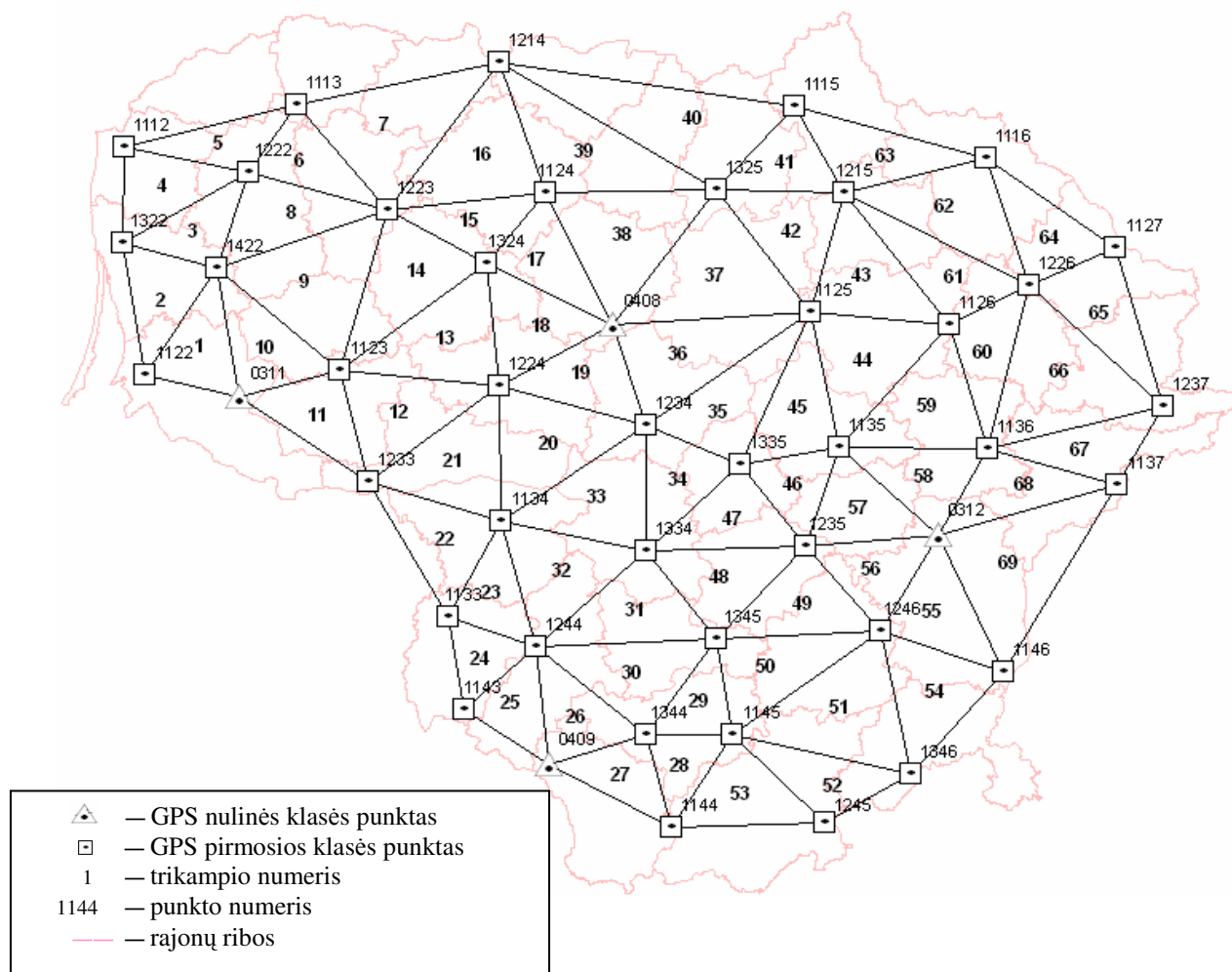
1.2. Žemės plutos horizontaliųjų deformacijų ir įtempių pasiskirstymo dėsningumai

1.2.1. Pakartotinių matavimų tinklas

Lietuvos teritorijos horizontaliųjų geodezinių tinklų deformacijoms tirti panaudotos 45-ųjų 1942 m. trianguliacijos punktų plokštuminės koordinatės [8], bei tų pačių punktų skersinės

cilindrinės Merkatoriaus projekcijos stačiakampės LKS 94 sistemos plokštuminės koordinatės, nustatytos GPS metodais [11, 12, 13, 14, 15, 16].

Iš 45 bendrų trianguliacijos ir GPS tinklų punktų [7, 20] suformuota pakartotų matavimų tinklo schema horizontaliosioms deformacijoms skaičiuoti (1.2.1 pav.). Pagal pakartotinių matavimų duomenis sudaryti 69 trikampiai, kurie laikomi kaip baigtiniai elementai. Trikampiams sudaryti panaudoti 4 nulinės klasės punktai ir 41 pirmosios klasės GPS punktas.



1.2.1 pav. Pakartotinių matavimų tinklo schema

1.2.2. Lietuvos geodezinio tinklo horizontaliosios deformacijos

Didžiausio santykinio pailgėjimo kryptimi vyrauja teigiamos deformacijų reikšmės. Iš 69 trikampių (1.2.1 pav.), teigiamos deformacijos yra 59, o neigiamos - 10 trikampių. Didžiausios neigiamos deformacijos yra: 4-ame ($-1,70 \times 10^{-6}$) ir 41-ame trikampyje ($-1,23 \times 10^{-6}$). Didžiausios teigiamos deformacijos: 52 trikampyje ($15,18 \times 10^{-6}$) ir 54 trikampyje ($14,41 \times 10^{-6}$), 20 trikampyje ($7,79 \times 10^{-6}$), 19 trikampyje ($7,16 \times 10^{-6}$). Didžiausio pailgėjimo kryptimi deformacijos kinta nuo $-1,70 \times 10^{-6}$ (4 trikampis) iki $15,18 \times 10^{-6}$ (52 trikampis).

Mažiausio pailgėjimo kryptimi vyrauja neigiamos deformacijos. Neigiamos deformacijos yra 61, o teigiamos - 8 trikampiuose. Mažiausio pailgėjimo kryptimi deformacijos kinta nuo $-29,42 \times 10^{-6}$ (52 trikampis) iki $1,4 \times 10^{-6}$ (22 trikampis).

Iš 69 trikampių (1.2.1 pav.), 43-ių dilatacija neigiama ir 26-ių teigiama. Dilatacija kinta nuo $-27,58 \times 10^{-6}$ (51 trikampis) iki $8,61 \times 10^{-6}$ (20 trikampis).

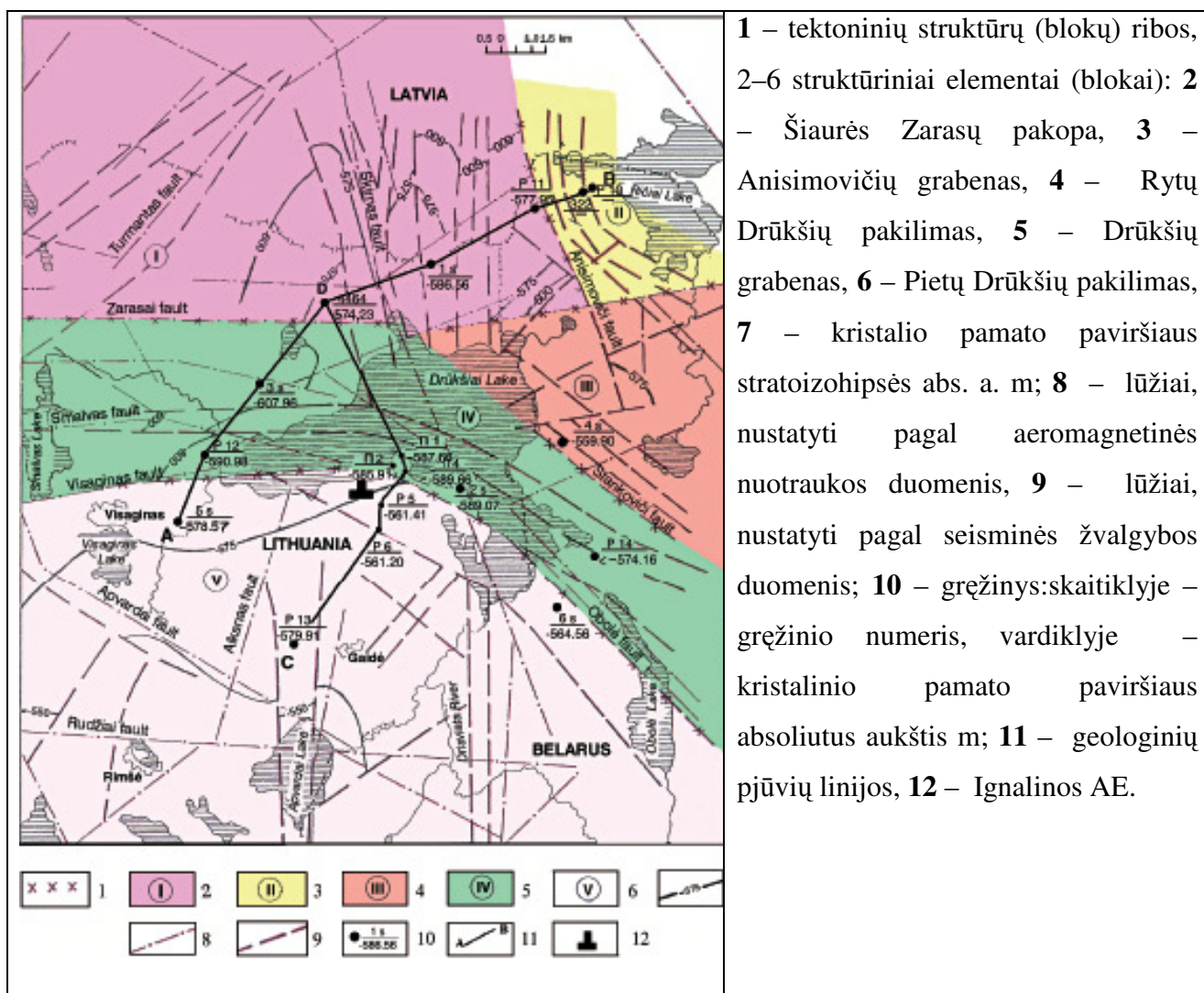
1.2.3. Lietuvos geodezinio tinklo tektoninių įtempių pokyčiai

Atlikus skaičiavimų analizę, nustatyti įtempių kitimo tarp pakartotų matavimų prieaugiai: normalinių įtempių σ_{xx} prieaugių kitimo ribos yra nuo -1,733 MPa iki 0,597 MPa.; σ_{yy} kinta nuo -1,309 MPa iki 0,407 MPa.; tangentinių įtempių nuo -0,690 MPa iki 0,826 MPa, maksimalus santykinis įtempis -0,207 MPa iki 2,114 MPa, minimalus santykinis įtempis -0,720 MPa iki 0,485 Mpa. Iš gautų rezultatų matyti, kad Lietuvos teritorijoje vyksta tektoninių įtempių kaita.

2. IGNALINOS ATOMINĖS ELEKTRINĖS GEODINAMINIS POLIGONAS

2.1. Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijos tektoninė sandara

Ignalinos atominė elektinė pastatyta trijų stambių tektoninių struktūrų (blokų) zonoje (2.1.1 pav.): Mozūrijos–Baltijos anteklizės, Baltijos sineklizės ir Latvijos balno sandūroje [10, 18, 27, 28]. Šios teritorijos geologinė raida ir tektonika sudėtinga, kadangi ji yra trijų didelių kristalinio pamato zonų (Pietryčių Lietuvos, pabaltijo, Polocko) sankirtoje. Pagal kristalinio pamato paviršiaus reljefą išskiriamos žemesnės eilės tektoninės struktūros: Šiaurės Zarasų pakopa, rytų Drūkšių pakiluma, Anisimovičių grabenas, Drūkšių grabenas ir pietų Drūkšių pakiluma (2.1.1 pav).



2.1.1 pav. Ignalinos atominės elektrinės rajono kristalinio pamato struktūrinė schema

(pagal V. Marcinkevičius, J. Lampovas)

Šiaurės Zarasų pakopa yra šiaurinėje rajono teritorijoje. Pietuose ją riboja Zarasų lūžis. Skirno lūžis šiaurės Zarasų pakopą dalija į vakarinę ir rytinę dalis.

Iš pietų Anisimovičių grabeną riboja Zarasų lūžis, o nuo Zarasų pakopos rytinio bloko jį skiria Anisimovičių lūžis (kristalinio pamato paviršius yra daugiau nei 750–800 m gylyje). Drūkšių grabenas yra lanko pavidalo juosta Zarasų pakopos ir Anisimovičių grabeno regioninių struktūrų sandūros zonoje, besitęsianti per Drūkšių ežerą iš vakarų į pietryčius ir siekianti Ignalinos atominės elektrinės statinio teritoriją. Jos plotis yra 3 – 5 km. Iš šiaurės ir šiaurės rytų grabeną riboja Zarasų ir Stankovičių lūžiai, iš pietų ir pietryčių – Visagino ir Obolės lūžiai.

Rytų Drūkšių pakiluma yra rytinėje rajono dalyje. Pietvakariuose ją riboja Stankovičių, o šiaurėje – Zarasų lūžiai. Kristalinis pamatas labai suskaldytas šiaurės vakarų ir šiaurės rytų krypties lūžių.

Pietų Drūkšių pakiluma yra pietinėje rajono dalyje. Šiaurėje ir šiaurės rytuose nuo Drūkšių grabeno ją skiria Visagino ir Obolės lūžiai, o pietuose – Polocko lūžis. Pakilumą kerta keli submeridianinės šiaurės vakarų ir šiaurės rytų krypties lūžiai.

Kristalinis pamatas suskilęs nevienodo dydžio blokais. Įvairaus rango lūžių susikirtimo mazgas yra ties Drūkšių ežeru. Lūžiai yra ikiplatforminiai (nekertantys nuosėdinės dangos) ir platforminiai (kertantys nuosėdinę dangą). Tai rodo, kad teritorija įvairiais geologiniais laikotarpiais buvo tektoniškai aktyvi. Ikiplatforminiai lūžiai riboja įvairaus intensyvumo gravitacinius ir magnetinius laukus, atspindinčius skirtingą kristalinio pamato blokų medžiaginę sudėtį ir struktūrą. Labiausiai lūžių suskaldyta yra rytinė Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijos dalis.

Dabartinių lūžių aktyvumą patvirtina vertikalinių žemės plutos judesių matavimai poligone aplink Drūkšių ežerą [24]. Didžiausias tektoninis aktyvumas nustatytas Drūkšių įlinkio lūžių zonoje.

Remiantis istoriniais duomenimis, 250 km spindulio zonoje apie dabartinę atominę elektrinę yra buvę 13 žemės drebėjimų, kurių intensyvumas siekė 7 balus (pagal 12 balų skalę). Arčiausiai (epicentras 35 km nuo elektrinės, buvo 1908 m. Daugpilio 6 balų Žemės drebėjimas ir Gudogų 7 balų (epicentras 125 km nuo elektrinės) bei 1921 m. Koknesės 7 balų (epicentras 135 km atstumu nuo elektrinės) Žemės drebėjimai. Šių Žemės drebėjimų epicentrai susiję su Daugpilio, Vilniaus-Ašmenos ir Gulbenės seismogeniniais regioniniais lūžiais [4, 6, 24].

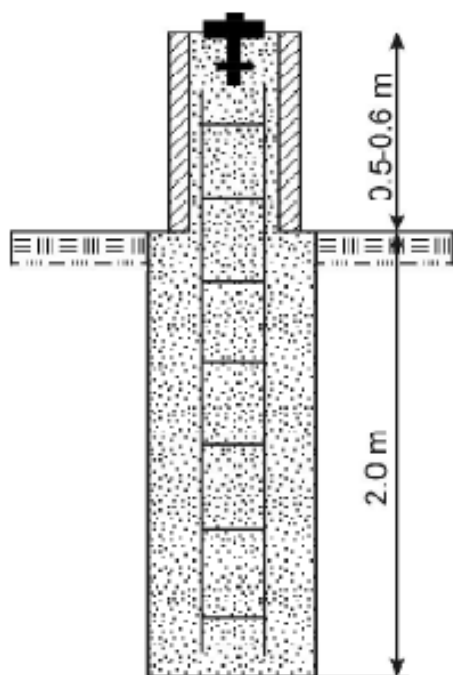
2.2 Ignalinos atominės elektrinės geodinaminis poligonas

Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijoje erdvinėms deformacijoms tirti panaudota 10 gruntinių punktų (2.2.1 pav.), kurie išdėstyti atsižvelgiant į svarbiausių tektoninių blokų dabartinį tektoninį aktyvumą. Matavimai geodinaminame poligone atlikti 1998 ir 1999 m.

rugėjį. Geodinaminio poligono punktų koordinatės nustatytos 8 GPS (*ASHTECH Z-Surveyor* ir *Z-12 GPS*) prietaisais. Matavimus atliko VGTU ir Danijos firmos „Nellemann & Bjornkar“. Matavimų programą sudarė 4 sesijos po 24 valandas (nepertraukiamai 4 paras). Matavimų programa parodyta 2 lentelėje. Visas 4 sesijas buvo matuojama 1, 2, 4, 6, 9, 10 punktuose, o 2 sesijas – 3, 5, 7 ir 8 punktuose [24].

Baigus matavimus, Ignalinos atominės elektrinės tinklas buvo susietas su valstybiniu GPS pirmosios ir antrosios klasės tinklu. Tai atlikta A (truko 9 val.) ir B (truko 3 val.) sesijos metu

Matavimų duomenys apdoroti VGTU geodezijos institute ir Danijos firmoje „Nellemann & Bjornkar“, naudojant programinius paketus GPPS ir FILLNET [18].

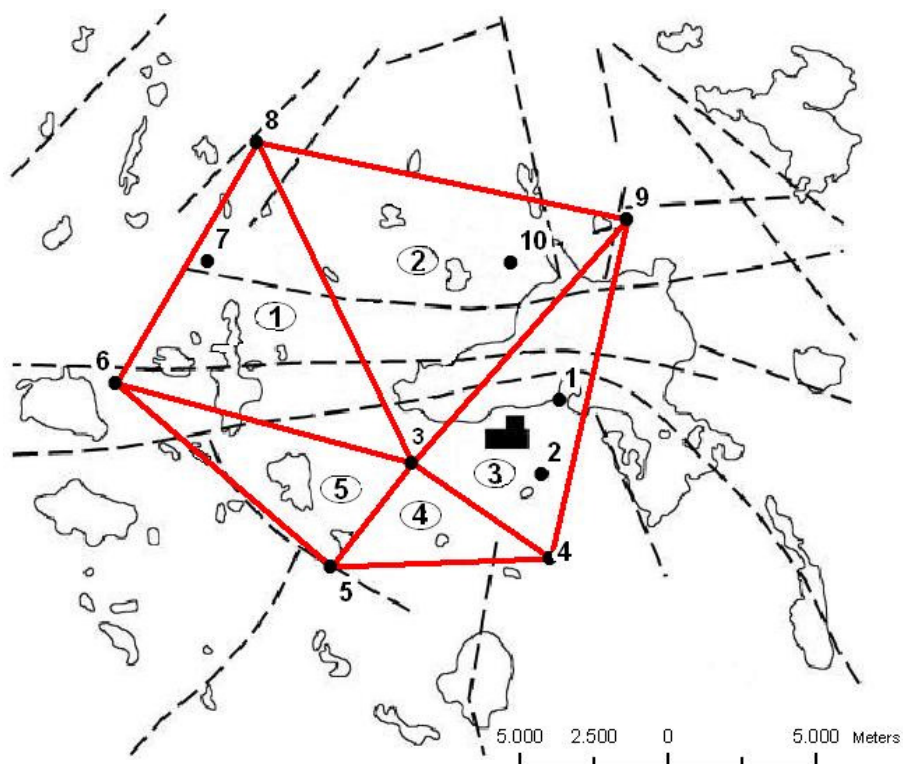


2.2.1 pav. Ignalinos atominės elektrinės GPS punkto schema

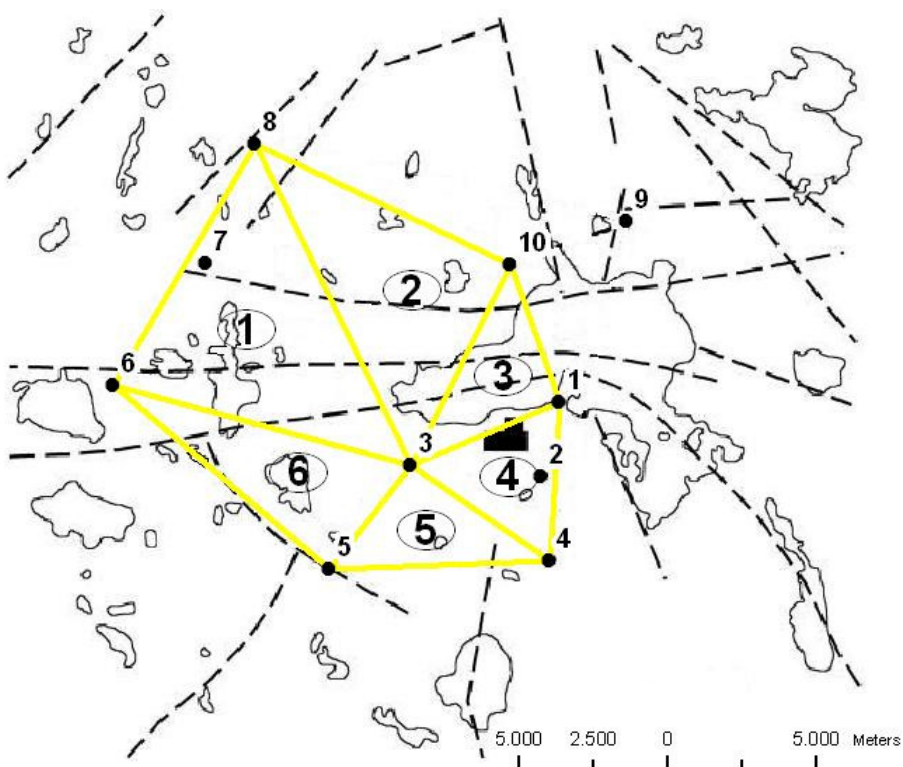
2 lentelė. Matavimų programa

Sesija	Punkto numeris									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	x	x		x	x	x	x		x	x
B	x	x		x	x	x	x		x	x
C	x	x	x	x		x		x	x	x
D	x	x	x	x		x		x	x	x

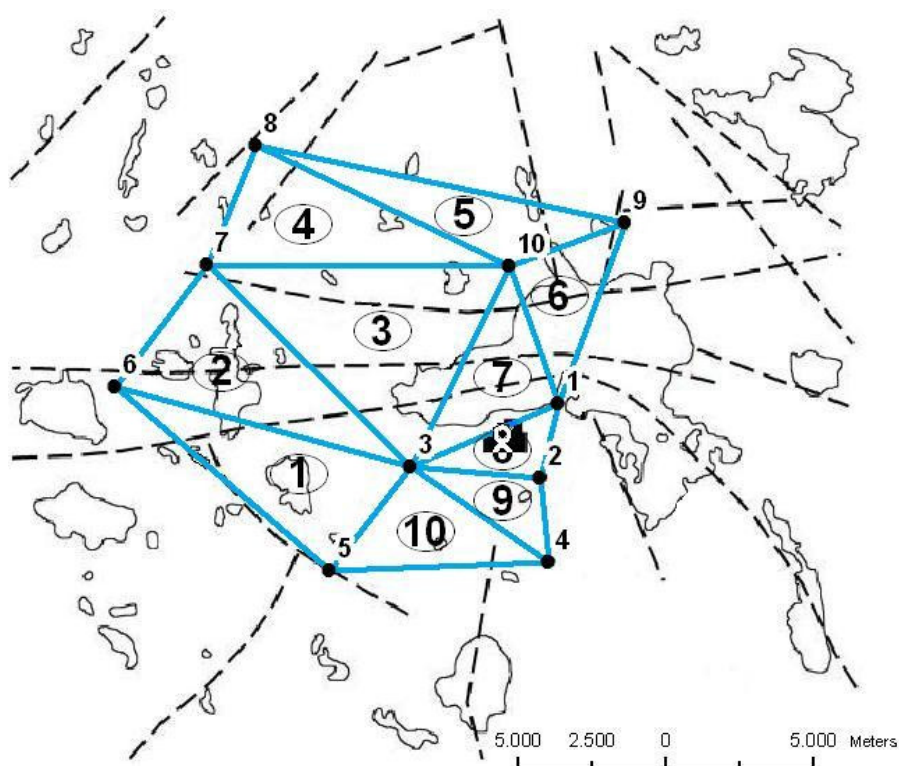
Iš 10 gruntinių punktų, kurių koordinatės nustatytos GPS matavimais suformuoti pakartotų matavimų tinklo schemas erdvinėms deformacijoms skaičiuoti (2.2.2-2.2.7 pav.). Pagal pakartotinių matavimų duomenis sudaryti trikampiai, kurie laikomi kaip baigtiniai elementai.



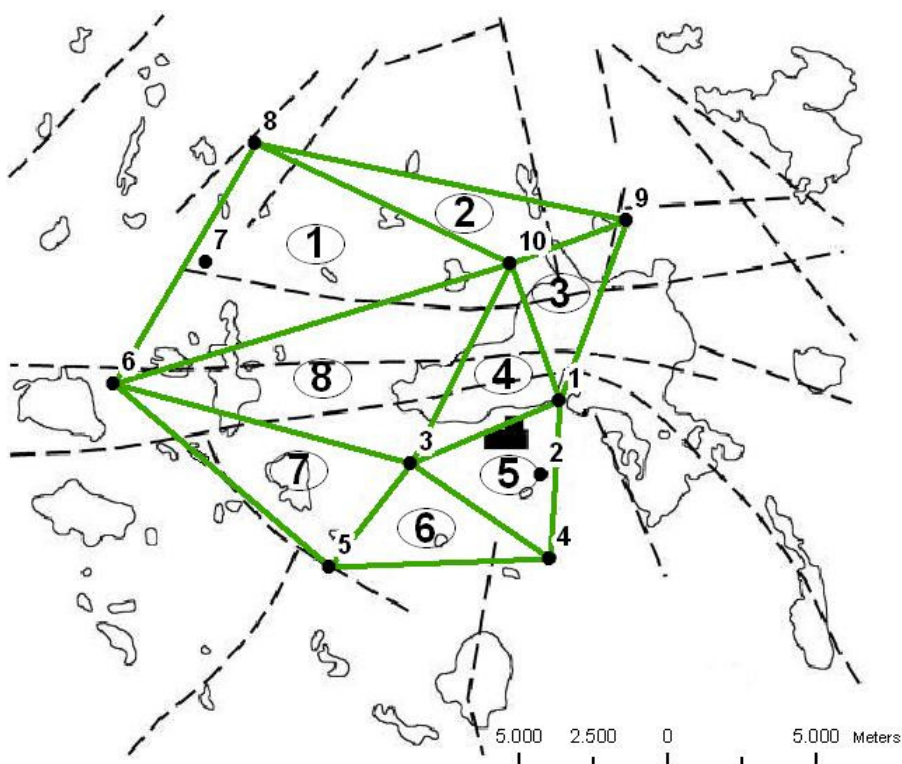
2.2.2 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (1 variantas)



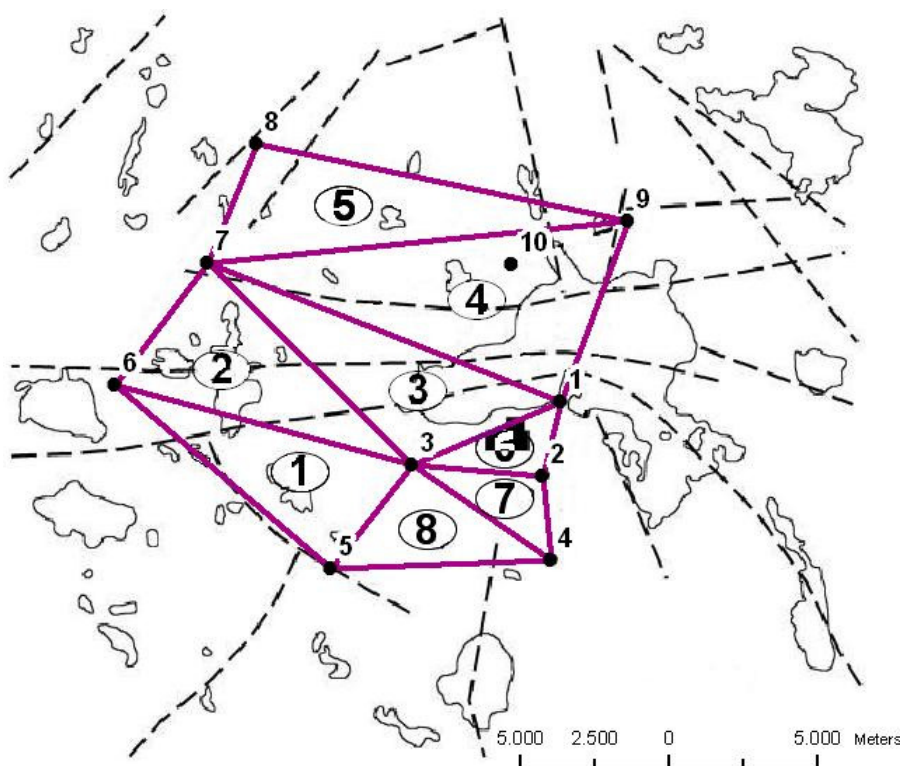
2.2.3 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (2 variantas)



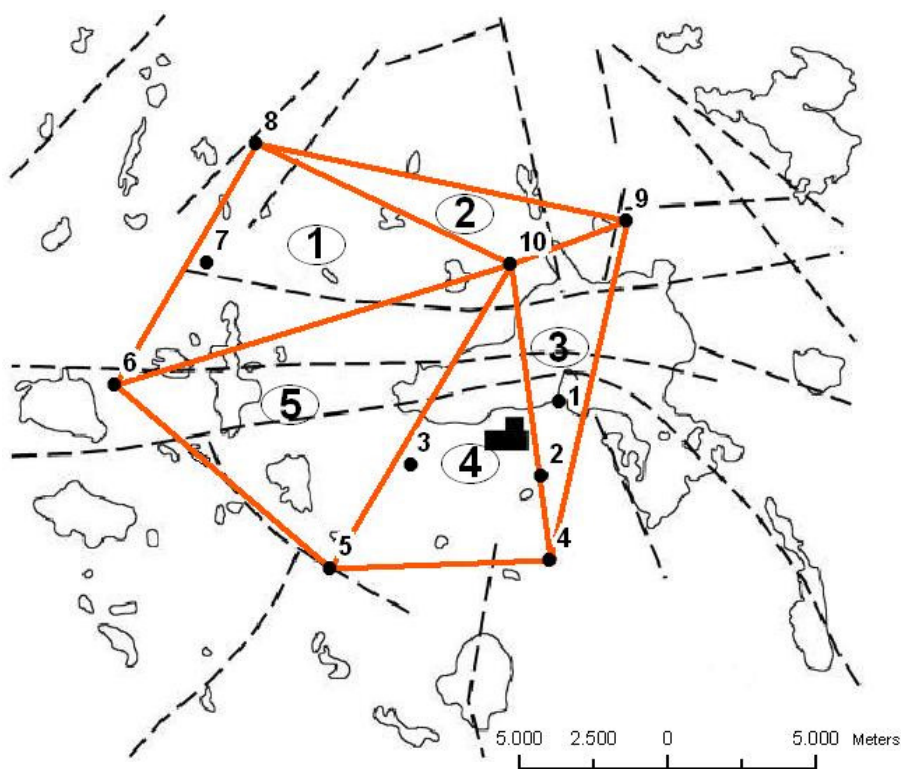
2.2.4 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (3 variantas)



2.2.5 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (4 variantas)



2.2.6 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (5 variantas)



2.2.7 pav. Pakartotų matavimų tinklo schema (6 variantas)

Geodinaminio poligono punktų koordinatės ir jų pokyčiai pateikti 3–4 lentelėse.

3 lentelė. Geodinaminio poligono punktų koordinatės

Punkto Nr.	X ₉₈ (m)	Y ₉₈ (m)	Z ₉₈ (m)	Z ₉₉ (m)	Y ₉₉ (m)	Z ₉₉ (m)
1	3229536,293	1616083,703	5239860,990	3229536,301	1616083,704	5239860,991
2	3231653,983	1616362,707	5238494,353	3231653,983	1616362,708	5238494,355
3	3233229,705	1612243,447	5238795,304	3233229,706	1612243,447	5238795,304
4	3233668,997	1617586,620	5236886,803	3233668,998	1617586,622	5236886,801
5	3237037,663	1610936,316	5236851,127	3237037,666	1610936,316	5236851,127
6	3235378,844	1602237,114	5240510,347	3235378,852	1602237,116	5240510,344
7	3230978,897	1603710,523	5242749,150	3230978,908	1603710,521	5242749,151
8	3227268,888	1603850,887	5244984,338	3227268,902	1603850,884	5244984,335
9	3223979,805	1616098,743	5243255,786	3223979,812	1616098,742	5243255,787
10	3226708,810	1613020,117	5242528,383	3226708,818	1613020,117	5242528,383

4 lentelė. Geodinaminio poligono punktų koordinačių pokyčiai

Punkto Nr.	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	Punkto Nr.	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
1	0,008	0,001	0,001	6	0,008	0,002	-0,003
2	0,000	0,001	0,002	7	0,011	-0,002	0,001
3	0,001	0,000	0,000	8	0,014	-0,003	-0,003
4	0,001	0,002	-0,002	9	0,007	-0,001	0,001
5	0,003	0,000	0,000	10	0,008	0,000	0,000

3. GEOGRAFINĖS INFORMACINĖS SISTEMOS. GEODUOMENŲ BAZĖS FORMAVIMAS

3.1. Geografinių informacinių sistemų apibrėžimas

Aiškaus ir trumpo geografinių informacinių sistemų (sutrumpintai – GIS) apibrėžimo kol kas nėra. Vienų vartotojų nuomone, apibrėžimo pagrindas – kompiuteris ir programinė įranga, kitų – informacijos apdorojimas ir taikymo sritys. Visus šiuos veiksnius įvertinti, apibendrinti vienu apibrėžimu nepavyko [19].

Bendruoju atveju GIS galima įvardinti kaip informacijos sistemą [19]. Informacijos vertė priklauso nuo duomenų surinkimo kainos, apdorojimo, saugojimo ir pritaikymo, todėl informacija yra vertingas turtas, kuris gali būti perkamas arba parduodamas. Keitimasis informacija – būdingas visuomenės vystymosi bruožas. Pagal tai, kokių siekiama tikslų, informacija gali būti naudojama įvairioms operacijoms atlikti bei sprendiniams priimti. Sprendimų priėmimui reikia pateikti jau išanalizuotus duomenis, todėl pastarajam tikslui informacija turi būti naudojama labai lanksčiai, o informacijos vartotojai – pakankamai įgudę ir kvalifikuoti asmenys.

Keletas siūlomų GIS apibrėžimų [31]:

- Žemės erdvėje orientuotų duomenų rinkimo, saugojimo, įvertinimo, analizės ir pateikimo sistema;
- įvairių priemonių rinkinys duomenims su koordinatėmis saugoti, apdoroti kompiuteriu ar rankiniu būdu;
- erdvinių ir neerdvinių duomenų analizės, saugojimo ir informacijos pateikimo technologija;
- efektyvus priemonių rinkinys realaus pasaulio erdviniais duomenimis rinkti, saugoti, saugoti, išrinkti, pertvarkyti, pateikti;
- kompiuterinė techninių ir programinių priemonių ir geoduomenų visuma, skirta geoduomenims įvesti, saugoti, analizuoti bei sisteminti ir geoinformacijai pateikti.

Edinburgo universiteto Geografijos katedros Geografijos asociacijos informacijos žodyne [19] pateikiama, kad GIS – tai duomenų, susijusių su jų padėtimi Žemės paviršiuje įkėlimo, saugojimo, tikrinimo, įvertinimo bei išrinkimo kompiuteriu sistema.

GIS kaip informacijos sistema dalijama į specialias ūkines sritis, todėl galima būtų išskirti tokias informacines sistemas: kadastro, naudmenų, gamtos išteklių, rinkos analizės, planavimo, nekilnojamo turto, dirvožemių, miestų ir kitos.

Dažniausiai GIS naudojama įvairių rūšių žemėlapių apdorojimui inžinerijoje, vandens išteklių, miestų planavimui, aplinkosaugai, verslui ir kitiems reikalams. Išskirtinis privalumas – erdvinis tyrimas ir duomenų apdorojimas.

3.2. Geografinės duomenų bazės

Geografinių informacinių sistemų duomenų bazės – geoinformacinių sistemų principais organizuotas, susistemintas ir metodiškai sutvarkytas geografinių duomenų rinkinys, kuriame sąlyginai išskiriamos grafinių bei atributinių duomenų bazės, saugomos kompiuterinėse laikmenose [29].

Viena iš svarbiausių GIS funkcijų yra saugoti geografinius duomenis taip, kad sugebėtų surasti, atrinkti, apdoroti reikalaujamus geografinius duomenis bei grafinę ir atributinę informaciją. Duomenys skaitmeninėje formoje talpinami į bylas. Retai kada yra dirbama su viena ar keletu bylų. Dažniausiai tai būna didelis skaičius įvairiausių bylų, kurios saugomos duomenų bazėse. Bendriausiu atveju, duomenų baze galima vadinti tarpusavyje susijusių duomenų, kuriems apdoroti pasitelkiamos programos.

Tradiciškai geoduomenų bazės kūrimas susideda iš dviejų žingsnių: loginės ir fizinės schemų sudarymas. Sudarant loginės duomenų bazės schemą, svarbu tiksliai nusakyti objektus ir ryšius tarp jų. Loginė schema bus gerai parinkta, jei:

- įvertinti visi nepasikartojantys duomenys;
- neprieštarauja organizacijos, sudarančios geoduomenų bazę, taisyklėms;
- įvertina skirtingų vartotojų poreikius.

Pagal tokią loginę schemą sudaroma fizinė duomenų bazės schema [19].

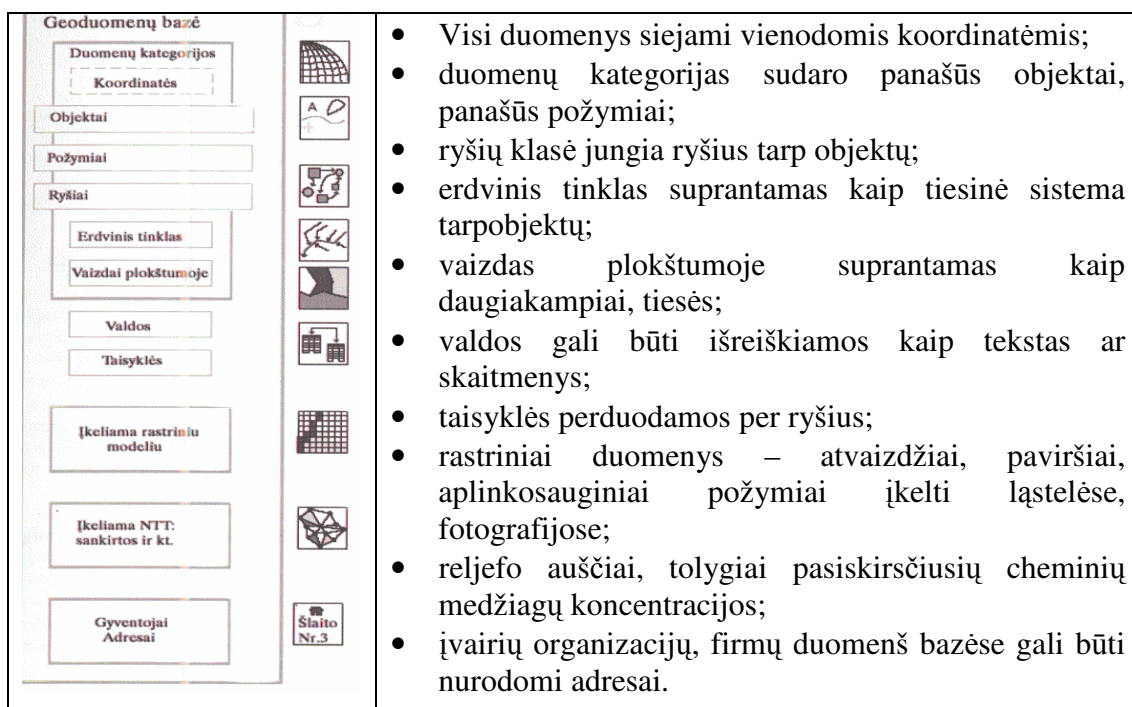
Geoduomenų bazė – efektyvus sprendimas kaupiant, atgaminant ir valdant GIS duomenis. Geoduomenų bazėje kiekvieną elementą nusakanti informacija kaupiama kaip atskira eilutė lentelėje. Elementą nusakantys vektoriniai duomenys kaupiami lentelės shape lauke, atributai – kituose laukuose. Kiekvienoje lentelėje kaupiama elementų klasė. Be elementų geoduomenų bazėse gali būti sukaupti rastriniai duomenys, duomenų lentelės, nuorodos į kitas lenteles. Geoduomenų bazę galima suprasti kaip saugyklą, kurioje galima laikyti visus erdvinius duomenis vienoje vietoje. Tai lyg sluoksnių, shape failų, rastrinių duomenų sukėlimas į duomenų bazių valdymo sistemą. Geoduomenų bazių pranašumas toks, kad geoduomenų bazių elementams gali būti priskirta tam tikra elgsena; geoduomenų bazių elementai kaupiami vienoje duomenų bazėje; didelės geoduomenų bazės elementų klasės gali būti kaupiamos vieningai, t.y. neišskaidytai į atskirus sluoksnius. Šalia tokių bazinių elementų, kaip: taškai, linijos ir plotai – galima sukurti vartotojo elementus, tokius, kaip: transformatorinės, vamzdžiai, miško sklypai ir pan. Kad būtų geriau atstovaujami realaus

pasaulio objektai, vartotojo sukurtiems elementams gali būti nusakyta specifinė elgsena. Tokia elgsena gali būti naudojama atliekant sudėtingą tinklų modeliavimą, duomenų įvedimo kontrolę, palengvinti patį įvedimo procesą [lit].

Programinės įrangos *ArcInfo* kūrėjai [30] numato 5 geoduomenų bazės kūrimo etapus (3.2.1 pav.):

- vartotojo požiūrio įvertinimas (organizacijos veiklos, struktūros supratimas ir analizė);
- objektų ir jų ryšių išskirimas, sukuriant loginę duomenų schemą;
- pasirenkama tinkama duomenų įkėlimo struktūra, kuris duomenų modelis yra tinkamiausias – vektorinis, rastrinis, netaisyklingų trikampių tinklas (NTT);
- bazės elementų tinkamas parinkimas, apibūdinant ryšius tarp kategorijų bei objektų požymius;
- bazės struktūros parinkimas.

Loginės ir fizinės schemų pagrindu sukurta geoduomenų bazė yra parengta naudojimui.



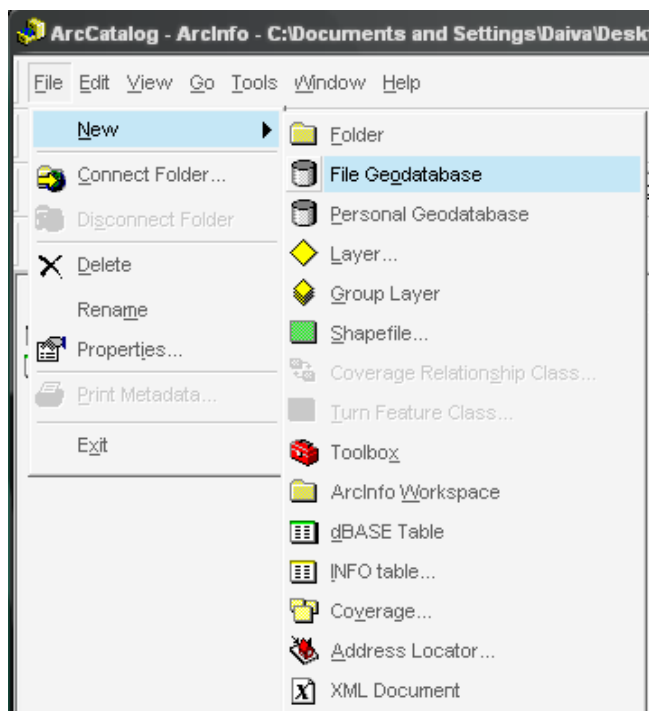
3.2.1 pav. Geoduomenų bazės sudėtinės dalys (pagal www.esri.com)

3.3. Geografinės duomenų bazės formavimas

Duomenų bazę *ArcGIS* programine įranga galima sukurti keliais būdais:

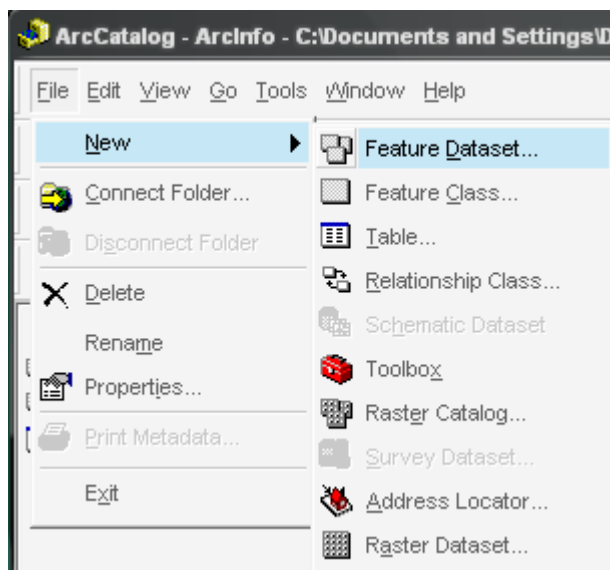
- *ArcCatalog* lange;
- *ArcToolbox* lange;
- *ArcGIS* programinės įrangos komandų eilutės lange (ang. *Command Line Window*).

Geoduomenų bazei sukurti naudojamas *ArcCatalog*, spaudžiamas *File*, toliau – *New*, po to – *Personal Geodatabase* (3.3.1. pav.).



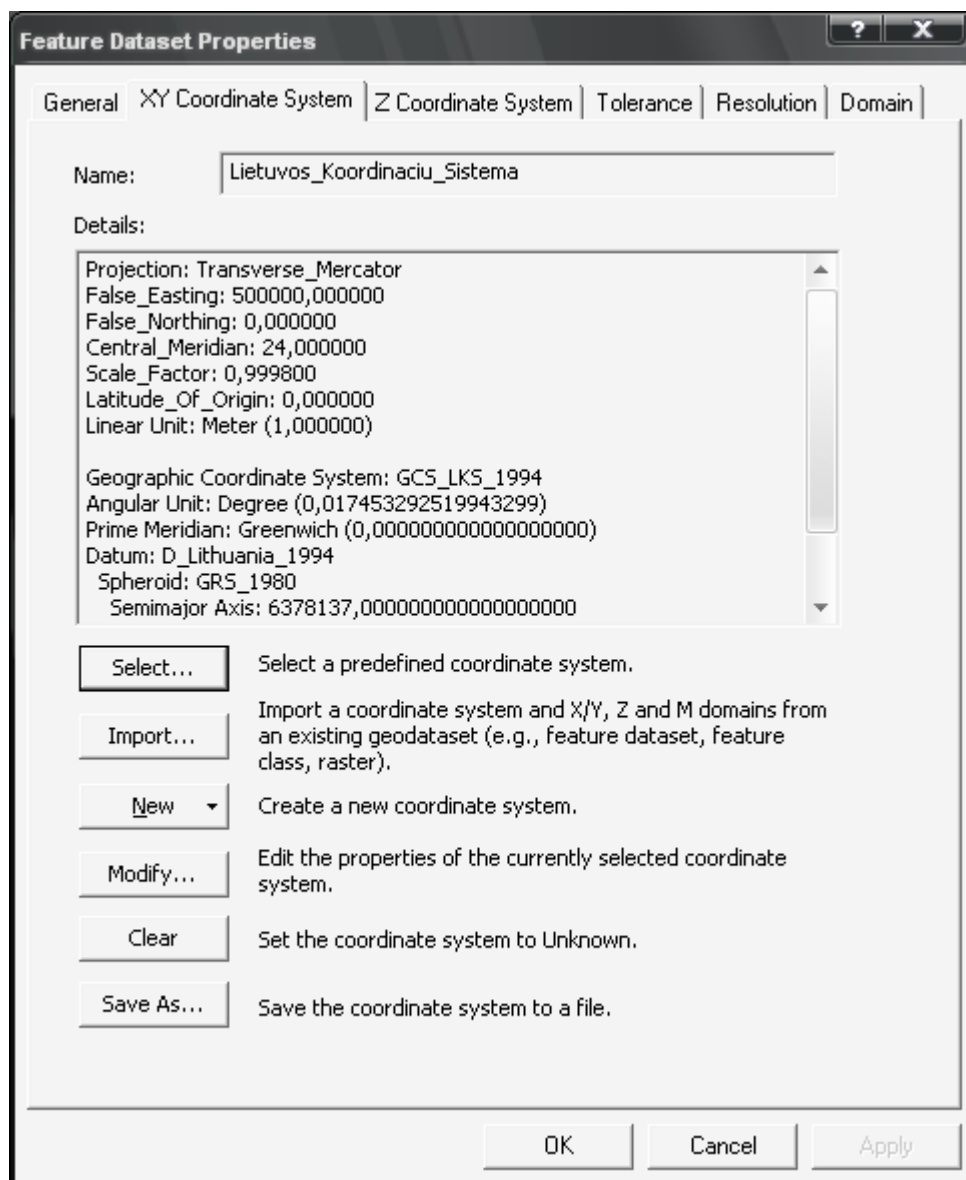
3.3.1 pav. Naujos geoduomenų bazės kūrimas

Nauja geoduomenų bazė atsiranda dešinėje *ArcCatalog* lango pusėje, jos pavadinimą patartina pakeisti. Pažymėto teksto vietoje galima įvesti asmeninį geoduomenų bazės pavadinimą (pavyzdžiui, magistrinis). Atsidarius sukurtą geoduomenų bazę, kuriami sluoksniai (3.3.2 pav.): spaudžiama – *File*, *New*, po to – *Feature Dataset*.



3.3.2 pav. Geoduomenų bazės sluoksnių kūrimas

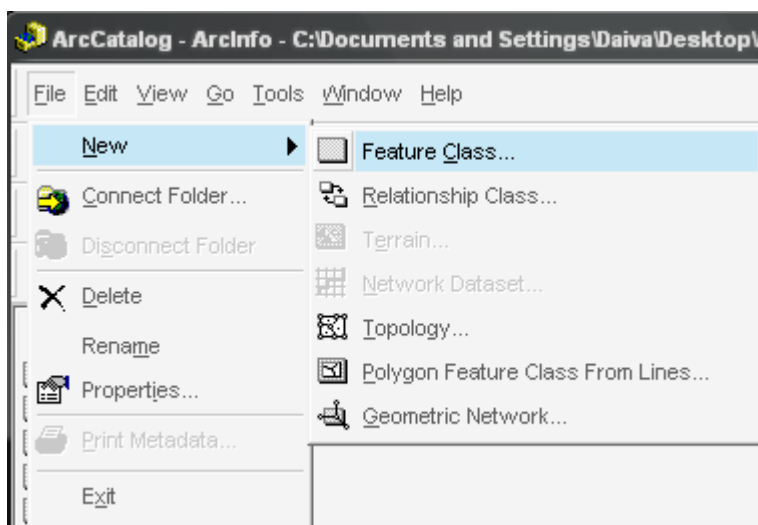
Atsidariusioje lentelės skiltyje *Name* įvedamas sluoksnio pavadinimas ir spaudžiama nuoroda *Edit* – naujai atsivėrusiame lange nurodoma koordinačių sistema (3.3.3 pav.). *Spatial Reference Properties* spaudžiama nuoroda *Select* ir, atsidariusioje lentelėje *Browse for Coordinate System*, paspaudus *Geographic Coordinate Systems*, išsirenkama LKS 1994 koordinačių sistema. Atsivėrusioje lentelėje matyti, kad koordinačių sistema parinkta. Tuomet spaudžiama OK.



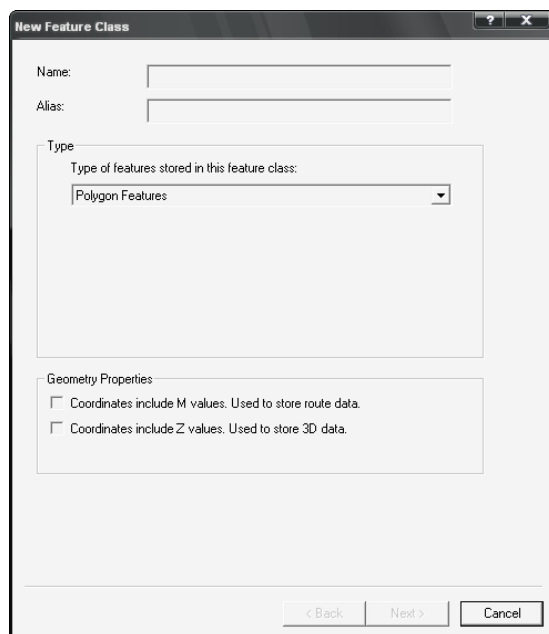
3.3.3 pav. Geoduomenų bazei reikalingos koordinačių sistemos pasirinkimas

Atlikus sluoksnių grupės nustatymus (3.3.3 pav.), kuriami sluoksniai (SHP bylos). Sluoksniai kuriami dešiniu pelės klavišu spaudžiant ant tos sluoksnių grupės, kurioje norime sukurti naują sluoksnį. Išsiskleidžiančioje meniu juostoje pasirenkama *New*, tada pasirenkama *Feature*

Class (3.3.4 pav.). Atsiradusioje lentelės skiltyje *Name* įvedamas sluoksnio pavadinimas (3.3.5 pav.).



3.3.4 pav. Objektų klasės sukūrimas



3.3.5 pav. Naujo sluoksnio parametrų nustatymas

Perėjus į lentelės skiltį *Data Type* spaudžiama *Geometry*. Lentelės *Field Properties* skiltyje *Geometry Type* pasirenkamas sluoksnio elemento tipas.

Atskira geoduomenų bazės elementų klasė gali turėti vieno geometrinio tipo elementus. Susijusios elementų klasės sujungiamos į elementų duomenų rinkinius. Elementų duomenų rinkiniuose patogiau kaupti elementų klases, kurios yra topologiškai susijusios. Juose taip pat gali būti saugomos teminiu požiūriu panašios elementų klasės. Pavyzdžiui, galima turėti tris elementų

- taškiniai elementai: taškas, multi–taškas;
- linijiniai elementai: linija, poli–linija;
- plotiniai elementai: paprastas poligonas, sudėtinis poligonas.

Multi-taškas – tai taškų grupė, kurioje visi taškai priskiriami tam pačiam elementui (pvz., grupė paminklų).

Poli–linija – tai sudėtinė linija, kuri gali būti sudaryta iš keleto neištisinių dalių, taip pat išsišakojanti linija (pvz., išsišakojusi upė).

Jei keli poligonai sudaro vieną loginį vienetą, toks poligonas laikomas sudėtinis (pvz., miestas, susidedantis iš rajonų) [9].

Nustačius sluoksnio elemento parametrus, spaudžiama *Finish* (3.3.6 pav.). Kadangi vartotojas pats gali kurti elementus, galimų elementų klasių skaičius yra neribotas.

3.3.6 pav. Sluoksnio elemento parametrų nustatymas

3.4. Atributinės duomenų bazės formavimas

Duomenų bazėje esantys geoobjekto atributai, tai geoobjekto ypatybės, kurių reikšmės saugomos lentelės forma, t. y. geoobjekto atributinėje lentelėje. Visų geoobjektų, esančių viename sluoksnyje, atributinė lentelė yra viena.

Kiekvienam geoobjektui būtinai tipą apibūdinantys atributai. Pavyzdžiui, stambiuoju masteliu sudaryto skaitmeninio žemėlapiu geoobjektų ypatybės galima nusakyti [9]:

- vietovės situaciją išreiškiančių geoobjektų – aukštingumo, medžiagos požymiais;
- reljefą išreiškiančių geoobjektų – aukščio požymiu (jeigu neįvedama Z koordinatė);
- linijines komunikacijas išreiškiančių geoobjektų požymiais.

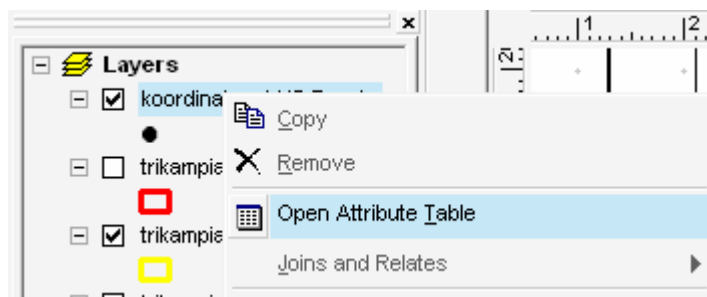
Geoobjekto atributinėje lentelėje taip pat gali būti saugoma specifinė aprašomoji informacija, pvz., geodinaminio poligono trikampių numeriai, trikampių centro koordinatės ir t.t.

Formuojant kiekvieną sluoksnį, kartu galima kurti ir atributinių duomenų lentelę (tai daroma ArcCatalog aplikacija), kurioje nurodome pavadinimą, atributinių duomenų tipą, tai gali būti tekstas, skaičiai, data ir kt., bei pozicijų skaičių.

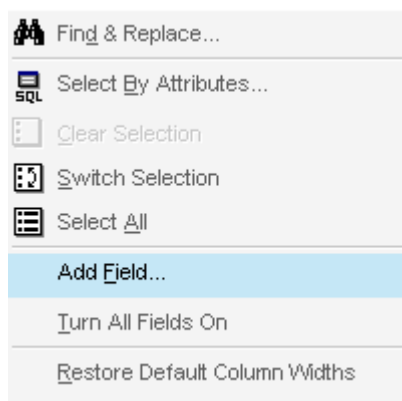
Taip pat atributinę duomenų bazę galima formuoti *ArcMap* aplikacija. Tai daroma taip: atsidaroma *ArcMap* aplikaciją, tuomet spaudžiama *ArcMap* įrankių juostoje esanti ikoną *Add Data*. Atsivėrusioje lentelėje pasirenkami geoduomenų bazėje sukurti sluoksniai, ir jie įkeliami spaudžiant nuorodą *Add*.

Tuomet, pažymėjus sukurtą sluoksnį, spaudžiamas dešinysis pelės klavišas ir atsivėrusioje lentelėje pasirinkama nuoroda *Open Attribute Table* (3.4.1 pav.).

Atsivėrusioje atributinėje lentelėje nutylėjimo režimu yra du laukai, tai OBJECTID ir SHAPE. Norint sukurti naują lauką, reikia paspausti *Options*, o atsidariusioje lentelėje – *Add Field* (3.4.2 pav.).

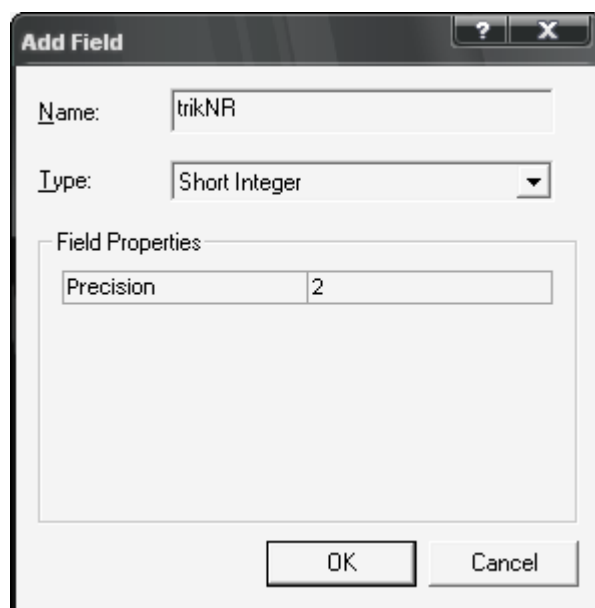


3.4.1 pav. Atributinės lentelės atidarymas



3.4.2 pav. Atributinės lentelės laukų kūrimas

Atsidariusioje lentelėje nurodomas laukelio pavadinimas, jo tipas (gali būti sveiki, realūs, tekstiniai ir kt.) (3.4.3 pav.). Skiltyje *Field Properties*, *Precision* nurodomas formatas (pvz., sveikas ketruženklis skaičius).



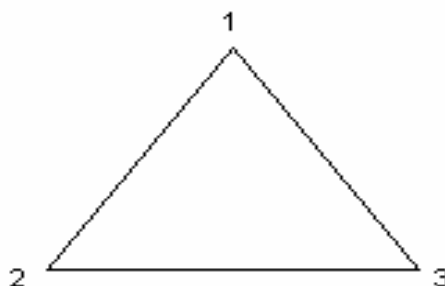
3.4.3 pav. Atributinės lentelės laukų kūrimas

Jeigu lauke kaupiami duomenys bus realūs, tuomet reikia pasirinkti „Float“ duomenų tipą, o skiltyje *Field properties*, *Precision* nurodyti, kiek skaičių bus prieš kablelį, bei laukelyje *Scale* – kiek skaičių po kablelio.

4. ERDVINIŲ DEFORMACIJŲ IR TEKTONINIŲ ĮTEMPIŲ SKAIČIAVIMO METODIKA

4.1. Erdvinių deformacijų skaičiavimo metodika

Žemės plutos judesių deformacijų parametrus galima apskaičiuoti baigtinio elemento plotui [20, 21, 24, 25, 26, 27, 28], kuris šiuo atveju yra trikampis (4.1.1 pav.).



4.1.1 pav. Baigtinis elementas

Sudarant baigtinių elementų tinklą trikampiais, ne visuomet galima tiksliai ir detalai atsižvelgti į tiriamojo regiono tektoninės sandaros savybes bei ypatumus, jei tai nebuvo atlikta projektuojant ir įrengiant geodezinio tinklo gruntinius punktus. Tada baigtinių elementų tinklas modeliuojamas įtraukiant ir kitas daugiakampes geometrines figūras arba blokines struktūras.

Erdvinės Žemės plutos deformacijų charakteristikas galima įvertinti mažiausiųjų kvadratų metodu, taikant laisvojo taškų poslinkio tolygiai besideformuojančioje trimatėje erdvėje modelį [27].

Taškų poslinkių modelis

$$\Delta E = H \cdot T \quad (4.1.1)$$

čia ΔE – punktų erdviųjų koordinačių poslinkių vektorius, H – punktų erdviųjų koordinačių nuokrypių nuo jų vidurkio matrica, T – erdviųjų Žemės plutos deformacijų parametrų vektorius, kur

$$\Delta E = \begin{pmatrix} \Delta X_1 \\ \Delta Y_1 \\ \Delta Z_1 \\ \vdots \\ \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \\ \vdots \\ \Delta X_n \\ \Delta Y_n \\ \Delta Z_n \end{pmatrix} \quad (4.1.2)$$

$$H = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & -Y_{S_1} & X_{S_1} & 0 & 0 & Y_{S_1} & Z_{S_1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & X_{S_1} & 0 & Y_{S_1} & 0 & X_{S_1} & 0 & Z_{S_1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & Z_{S_1} & 0 & X_{S_1} & Y_{S_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & -Y_{S_i} & X_{S_i} & 0 & 0 & Y_{S_i} & Z_{S_i} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & X_{S_i} & 0 & Y_{S_i} & 0 & X_{S_i} & 0 & Z_{S_i} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & Z_{S_i} & 0 & X_{S_i} & Y_{S_i} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & -Y_{S_n} & X_{S_n} & 0 & 0 & Y_{S_n} & Z_{S_n} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & X_{S_n} & 0 & Y_{S_n} & 0 & X_{S_n} & 0 & Z_{S_n} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & Z_{S_n} & 0 & X_{S_n} & Y_{S_n} \end{vmatrix} \quad (4.1.3)$$

$$T = \begin{pmatrix} \alpha_x \\ \alpha_y \\ \alpha_z \\ \omega \\ \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{zz} \\ \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yz} \end{pmatrix} \quad (4.1.4)$$

Į (4.1.2-4.1.4) formules įeinančios reikšmės:

$\Delta X_i = X_i' - X_i$, $\Delta Y_i = Y_i' - Y_i$, $\Delta Z_i = Z_i' - Z_i$, X_i , Y_i , Z_i – pirmojo matavimo erdvinės stačiakampės geocentrinės geodezinio tinklo punktų koordinatės, X_i' , Y_i' , Z_i' – antrojo matavimo erdvinės stačiakampės geocentrinės geodezinio tinklo punktų koordinatės, $i = 1, 2, \dots, n$ – punktų numeriai, X_{Si} , Y_{Si} , Z_{Si} – erdvinio geodezinio tinklo punktų koordinatės nuokrypiai nuo jų vidurkio, α_X , α_Y , α_Z – poslinkiai koordinatės ašių kryptimis, ω – baigtinio elemento posūkis, ε_{XX} , ε_{YY} , ε_{ZZ} – santykinės linijinės deformacijos, ε_{XY} , ε_{XZ} , ε_{YZ} – santykinės šlyties deformacijos.

Mažiausiųjų kvadratų metodu įvertintas erdvinį deformacijų parametrų vektorius [27]:

$$T = (H^T \cdot H)^{-1} \cdot H^T \cdot \Delta E \quad (4.1.5)$$

4.2. Geodinaminių įtempių skaičiavimo metodika

Erdviniams geodinaminiais įtempiams modeliuoti gali būti pritaikytas atvirkštinis Huko dėsnis, įtempius išreiškus deformacijomis [1, 28]:

$$\begin{cases} \sigma_{XX} = 2G \cdot \left(\varepsilon_{XX} + \frac{\nu \cdot \vartheta}{1 - 2\nu} \right), \\ \sigma_{YY} = 2G \cdot \left(\varepsilon_{YY} + \frac{\nu \cdot \vartheta}{1 - 2\nu} \right), \\ \sigma_{ZZ} = 2G \cdot \left(\varepsilon_{ZZ} + \frac{\nu \cdot \vartheta}{1 - 2\nu} \right), \\ \sigma_{XY} = G \cdot \varepsilon_{XY}, \\ \sigma_{XZ} = G \cdot \varepsilon_{XZ}, \\ \sigma_{YZ} = G \cdot \varepsilon_{YZ}, \end{cases} \quad (4.2.1)$$

čia

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (4.2.2)$$

G – šlyties modulis, E – tamprumo modulis $(7 \cdot 10^{10}) \frac{N}{m^2}$, $\vartheta = \varepsilon_{XX} + \varepsilon_{YY} + \varepsilon_{ZZ}$ – pirmasis deformacijų tenzorius invariantas I_1 , ν – Puasono koeficientas (0,25), σ_{XX} , σ_{YY} , σ_{ZZ} – normaliniai geodinaminiai įtempiai, σ_{XY} , σ_{XZ} , σ_{YZ} – tangentiniai geodinaminiai įtempiai [1, 28].

4.3. Svarbiausių geodinaminių įtempių skaičiavimo metodika

Egzistuoja trys viena kitai statmenos plokštumos, kuriose nėra tangentinių įtempių. Tokios plokštumos vadinamos svarbiausiomis plokštumomis, o jose veikiantys normaliniai įtempiai – svarbiausiais įtempiais.

Svarbiausieji įtempiai apskaičiuojami iš kubinės lygties [1, 28]:

$$\sigma^3 - I_1\sigma^2 + I_2\sigma - I_3 = 0, \quad (4.3.1)$$

čia

$$I_1 = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}, \quad (4.3.2)$$

$$I_2 = \sigma_{xx} \cdot \sigma_{yy} + \sigma_{yy} \cdot \sigma_{zz} + \sigma_{zz} \cdot \sigma_{xx} - \sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{xz}^2, \quad (4.3.3)$$

$$I_3 = \begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_{zz} \end{vmatrix} \quad (4.3.4)$$

Šiai kubinei lygčiai išspręsti galima pakeisti kintamuosius:

$$\sigma = x + \frac{1}{3}I_1. \quad (4.3.5)$$

Tuomet (4.3.1) lygtis įgauna pavidalą

$$x^3 + 3px + 2q = 0, \quad (4.3.6)$$

čia

$$p = \frac{1}{3} \left(I_2 - \frac{1}{3}I_1^2 \right), \quad (4.3.7)$$

$$q = -\frac{1}{27}I_1^3 + \frac{1}{6}I_1I_2 - \frac{1}{2}I_3, \quad (4.3.8)$$

Visos trys kubinės lygties (4.3.1) šaknys yra realiosios, jeigu $\Delta = p^3 + q^2 < 0$. Nesunku įsitikinti, kad nagrinėjamo uždavinio atveju Δ visada neigiamas (pagaliau tai išplaukia ir iš fizikinės svarbiausių įtempių prasmės – jie gali būti tik realieji). Kai $\Delta < 0$, kubinę lygtį (4.3.1) galima trigonometriniu būdu. Tuo atveju (4.3.1) lygties šaknys x_1, x_2, x_3 išreiškiamos taip [28]:

$$x_1 = 2\sqrt{|p|} \cos \varphi, \quad x_2 = 2\sqrt{|p|} \cos(\varphi + 120^\circ), \quad x_3 = 2\sqrt{|p|} \cos(\varphi - 120^\circ), \quad (4.3.9)$$

čia $|p|$ – absoliutinė koeficiento (4.3.4) reikšmė, o $\varphi = \frac{1}{3} \arccos \frac{-q}{|p|^{3/2}}$.

5. ERDVINIŲ DEFORMACIJŲ IR ĮTEMPIŲ SKAIČIAVIMO REZULTATŲ ANALIZĖ

5.1. Erdvinių Žemės plutos deformacijų skaičiavimo rezultatai ir jų analizė

Pagal (4.1.2-4.1.5) formules įvertinta Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijoje geodinaminio poligono baigtinių elementų (trikampių) tinklo (2.2.2-2.2.7 pav.) erdviųjų deformacijų parametrų kaita: apskaičiuoti poslinkiai koordinačių ašių kryptimis, posūkiai, santykinės linijinės bei šlyties deformacijos. Erdvinių deformacijų parametrai priskiriami baigtinio elemento (trikampio) svorio centrui.

Gautieji erdviųjų Žemės plutos deformacijų parametrų vektoriai pateikti 5-10 lentelėse.

5 lentelė. Erdvinių Žemės plutos deformacijų parametrai (1 variantas)

Trikampio Nr.	α_{XX} (m)	α_{YY} (m)	α_{ZZ} (m)	ω	$\epsilon_{XX} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{YY} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{ZZ} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{XY} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{XZ} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{YZ} \cdot 10^{-6}$
1	0,0077	-0,0003	-0,0020	0,174	-0,915	0,032	-0,036	-0,020	0,052	0,327
2	0,0073	-0,0013	-0,0007	0,120	-0,604	0,402	1,477	-0,062	0,808	0,655
3	0,0030	0,0003	-0,0003	0,007	-0,708	0,267	0,078	0,057	-0,129	-0,277
4	0,0017	0,0007	-0,0007	0,003	-0,489	0,299	0,188	-0,042	-0,046	-0,272
5	0,0040	0,0007	-0,0010	0,045	0,076	-0,278	-3,005	-0,682	-1,189	-0,366

6 lentelė. Erdvinių Žemės plutos deformacijų parametrai (2 variantas)

Trikampio Nr.	α_{XX} (m)	α_{YY} (m)	α_{ZZ} (m)	ω	$\epsilon_{XX} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{YY} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{ZZ} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{XY} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{XZ} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{YZ} \cdot 10^{-6}$
1	0,0077	-0,0003	-0,0020	0,174	-0,915	0,032	-0,036	-0,020	0,052	0,327
2	0,0077	-0,0010	-0,0010	0,079	-1,407	0,502	0,789	-0,301	0,070	0,316
3	0,0030	0,0005	0,0015	0,111	-1,786	-0,007	-0,425	-0,924	-0,889	-0,514
4	0,0033	0,0010	-0,0003	0,010	-2,674	0,111	-1,393	-0,313	-1,582	-0,552
5	0,0017	0,0007	-0,0007	0,003	-0,489	0,299	0,188	-0,042	-0,046	-0,272
6	0,0040	0,0007	-0,0010	0,045	0,076	-0,278	-3,005	-0,682	-1,189	-0,366

7 lentelė. Erdvinių Žemės plutos deformacijų parametrai (3 variantas)

Trikampio Nr.	α_{xx} (m)	α_{yy} (m)	α_{zz} (m)	ω	$\epsilon_{xx} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{yy} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{zz} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{xy} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{xz} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{yz} \cdot 10^{-6}$
1	0,0040	0,0007	-0,0010	0,045	0,076	-0,278	-3,005	-0,682	-1,189	-0,366
2	0,0067	0,0000	-0,0007	0,212	-0,660	0,162	1,023	0,161	0,139	0,557
3	0,0067	-0,0007	0,0003	0,088	-1,167	0,169	-0,486	-0,433	-0,107	-0,139
4	0,0110	-0,0017	-0,0007	1,155	-6,322	1,625	-5,446	1,500	-3,868	-1,248
5	0,0097	-0,0013	-0,0007	0,216	-0,323	0,604	1,065	0,517	0,650	0,645
6	0,0077	0,0000	0,0007	0,071	0,181	0,080	0,033	0,203	0,008	0,289
7	0,0030	0,0005	0,0015	0,111	-1,786	-0,007	-0,425	-0,924	-0,889	-0,514
8	0,0030	0,0007	0,0010	0,434	0,242	9,589	0,583	0,161	0,432	0,224
9	0,0007	0,0001	0,0000	0,084	-0,544	0,279	0,565	-0,327	-1,804	-0,210
10	0,0017	0,0007	-0,0007	0,003	-0,489	0,299	0,188	-0,042	-0,046	-0,272

8 lentelė. Erdvinių Žemės plutos deformacijų parametrai (4 variantas)

Trikampio Nr.	α_{xx} (m)	α_{yy} (m)	α_{zz} (m)	ω	$\epsilon_{xx} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{yy} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{zz} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{xy} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{xz} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{yz} \cdot 10^{-6}$
1	0,0100	-0,0003	-0,0020	0,162	-0,972	0,435	-0,438	0,019	-0,171	0,213
2	0,0097	-0,0013	-0,0007	0,216	-0,323	0,604	1,065	0,517	0,650	0,645
3	0,0077	0,0000	0,0007	0,071	0,181	0,080	0,033	0,203	0,008	0,289
4	0,0030	0,0005	0,0015	0,111	-1,786	-0,007	-0,425	-0,924	-0,889	-0,514
5	0,0033	0,0010	-0,0003	0,010	-2,674	0,111	-1,393	-0,313	-1,582	-0,552
6	0,0017	0,0007	-0,0007	0,003	-0,489	0,299	0,188	-0,042	-0,046	-0,272
7	0,0040	0,0007	-0,0010	0,045	0,076	-0,278	-3,005	-0,682	-1,189	-0,366
8	0,0057	0,0007	-0,0010	0,119	-1,287	-0,116	-0,158	-0,418	-0,135	0,229

9 lentelė. Erdvinių Žemės plutos deformacijų parametrai (5 variantas)

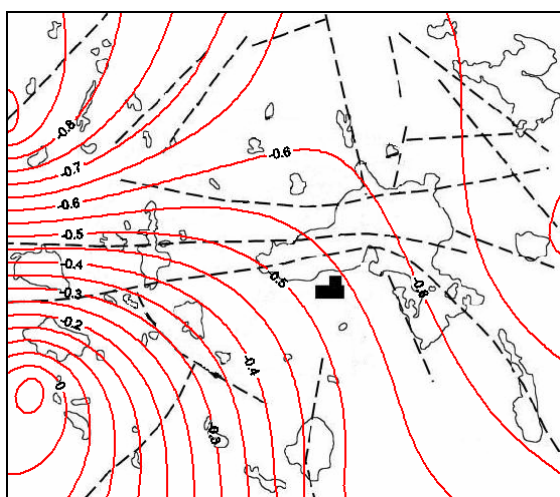
Trikampio Nr.	α_{xx} (m)	α_{yy} (m)	α_{zz} (m)	ω	$\epsilon_{xx} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{yy} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{zz} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{xy} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{xz} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{yz} \cdot 10^{-6}$
1	0,0040	0,0007	-0,0010	0,045	0,076	-0,278	-3,005	-0,682	-1,189	-0,366
2	0,0067	0,0000	-0,0007	0,212	-0,660	0,162	1,023	0,161	0,139	0,557
3	0,0067	-0,0003	0,0007	0,030	-2,238	0,288	0,948	-0,347	0,216	0,270
4	0,0087	-0,0007	0,0010	0,060	0,077	0,259	-0,492	0,016	-0,145	-0,114
5	0,0107	-0,0020	-0,0003	0,151	-1,781	0,151	-4,603	-0,520	-1,851	-0,488
6	0,0030	0,0007	0,0010	0,434	0,242	9,589	0,583	0,161	0,432	0,224
7	0,0007	0,0001	0,0000	0,084	-0,544	0,279	0,565	-0,327	-1,804	-0,210
8	0,0017	0,0007	-0,0007	0,003	-0,489	0,299	0,188	-0,042	-0,046	-0,272

10 lentelė. Erdviųjų Žemės plutos deformacijų parametrai (6 variantas)

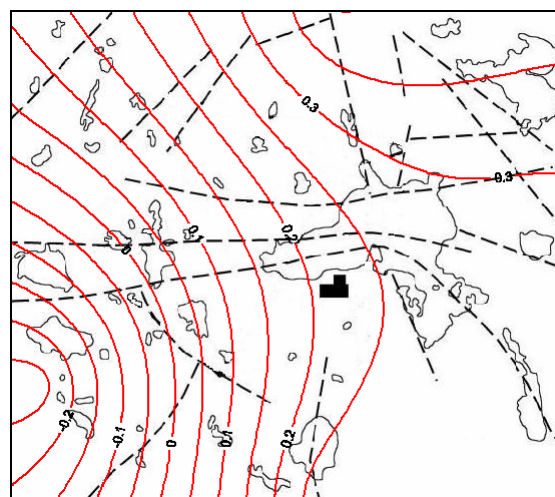
Trikampio Nr.	α_{XX} (m)	α_{YY} (m)	α_{ZZ} (m)	ω	$\epsilon_{XX} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{YY} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{ZZ} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{XY} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{XZ} \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_{YZ} \cdot 10^{-6}$
1	0,0100	-0,0003	-0,0020	0,162	-0,972	0,435	-0,438	0,019	-0,171	0,213
2	0,0097	-0,0013	-0,0007	0,216	-0,323	0,604	1,065	0,517	0,650	0,645
3	0,0053	0,0003	-0,0003	0,117	-0,358	0,130	0,770	-0,145	0,048	0,296
4	0,0040	0,0007	-0,0007	0,049	-0,796	0,174	-0,094	-0,482	-0,133	-0,476
5	0,0063	0,0007	-0,0010	0,067	-0,658	-0,125	-0,049	-0,173	-0,052	0,314

Gautųjų erdviųjų Žemės plutos deformacijų parametrų vektorių rezultatų analizė (viso yra 6 geodinaminio poligono tinklo variantai):

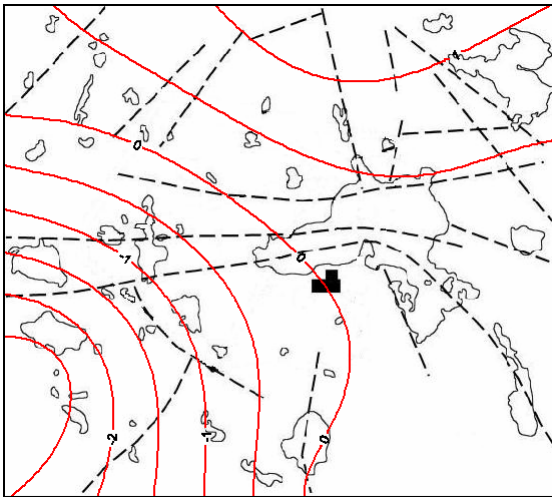
- Pirmojo geodinaminio poligono tinklo (2.2.2 pav) santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XX} kitimo ribos – nuo $-0,915 \cdot 10^{-6}$ iki $0,076 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{YY} kinta nuo $-0,278 \cdot 10^{-6}$ iki $0,402 \cdot 10^{-6}$ bei ϵ_{ZZ} kinta nuo $-3,005 \cdot 10^{-6}$ iki $1,477 \cdot 10^{-6}$ (5 lentelė). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{XY} kinta nuo $-0,682 \cdot 10^{-6}$ iki $0,057 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{XZ} – nuo $-1,189 \cdot 10^{-6}$ iki $0,808 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{YZ} – nuo $-0,366 \cdot 10^{-6}$ iki $0,655 \cdot 10^{-6}$ (5 lentelė). Poslinkiai α_{XX} yra teigiami, poslinkiai α_{YY} neigiami 1 ir 2 trikampiuose, teigiami 3-5 trikampiuose, α_{ZZ} – neigiami. Santykinės linijinės deformacijos ϵ_{XX} yra neigiamo ženklo (išskyrus 5 trikampį), ϵ_{YY} – teigiamos (išskyrus 5 trikampį). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{XY} yra neigiamos (išskyrus 3 trikampį) (5.1.1.-5.1.6. pav.).



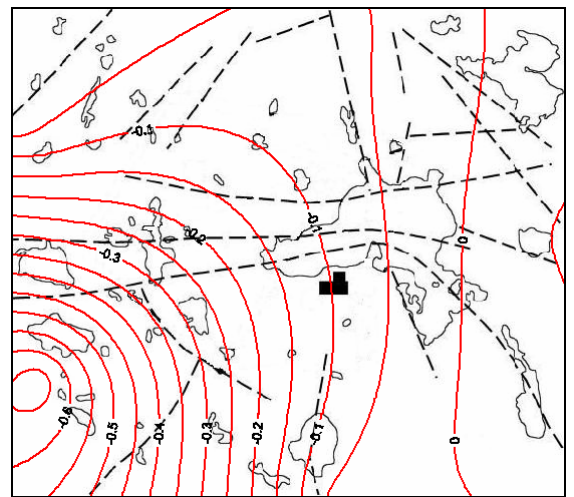
5.1.1. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XX} kartoschema (1 variantas)



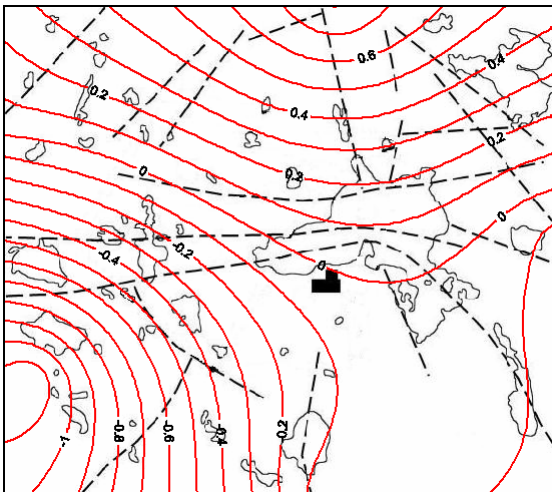
5.1.2. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{YY} kartoschema (1 variantas)



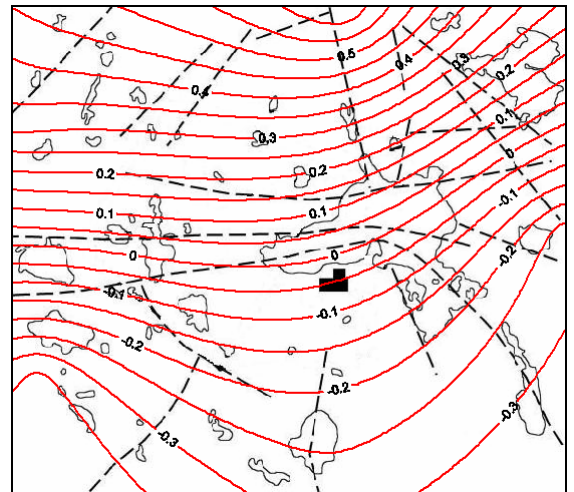
5.1.3. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{ZZ}
kartoschema (1 variantas)



5.1.4. pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XY}
kartoschema (1 variantas)

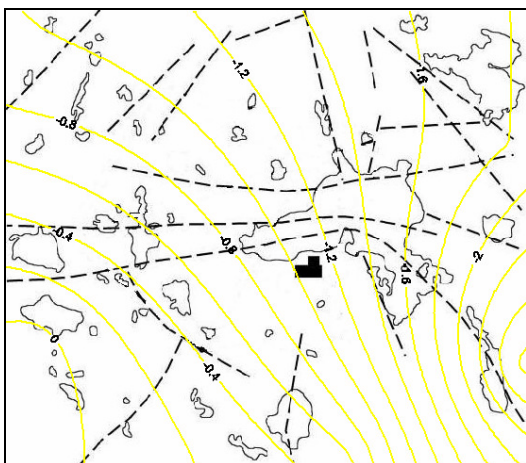


5.1.5. pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{XZ}
kartoschema (1 variantas)

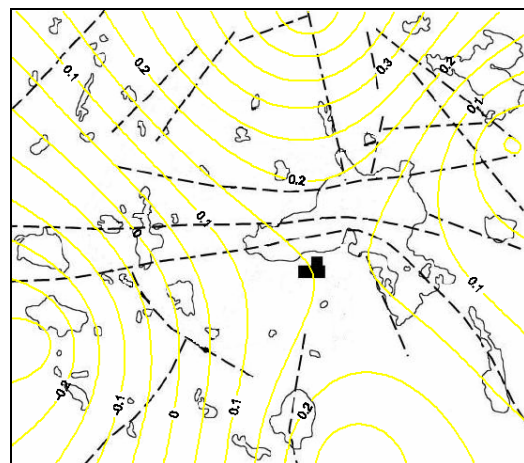


5.1.6. pav. Santykinių šlyties deformacijų ϵ_{YZ}
kartoschema (1 variantas)

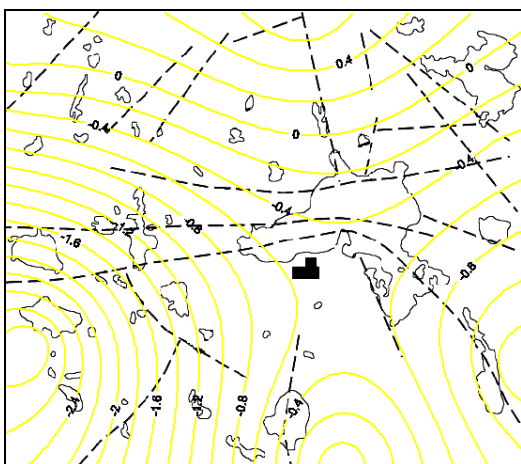
- Antrojo geodinaminio poligono tinklo (2.2.3 pav.) santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XX} kitimo ribos – nuo $-2,674 \cdot 10^{-6}$ iki $0,076 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{YY} kinta nuo $-0,278 \cdot 10^{-6}$ iki $0,502 \cdot 10^{-6}$ bei ϵ_{ZZ} kinta nuo $-3,005 \cdot 10^{-6}$ iki $0,789 \cdot 10^{-6}$ (6 lentelė). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{XY} kinta nuo $-0,924 \cdot 10^{-6}$ iki $-0,020 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{XZ} – nuo $-1,582 \cdot 10^{-6}$ iki $0,070 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{YZ} – nuo $-0,552 \cdot 10^{-6}$ iki $0,327 \cdot 10^{-6}$ (6 lentelė). Poslinkiai α_{XX} yra teigiami, poslinkiai α_{YY} neigiami 1 ir 2 trikampiuose, teigiami 3-6 trikampiuose, α_{ZZ} – neigiami (išskyrus 3 trikampį). Santykinės linijinės deformacijos ϵ_{XX} yra neigiamo ženklo (išskyrus 6 trikampį), ϵ_{YY} – teigiamos (išskyrus 3 ir 6 trikampius). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{XY} yra neigiamos (5.1.7-5.1.12 pav.).



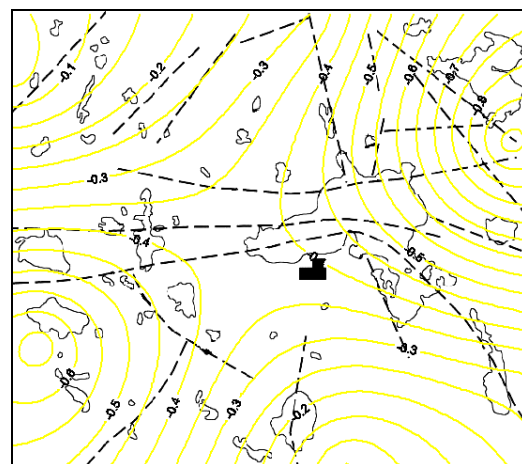
5.1.7. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{xx} kartoschema (2 variantas)



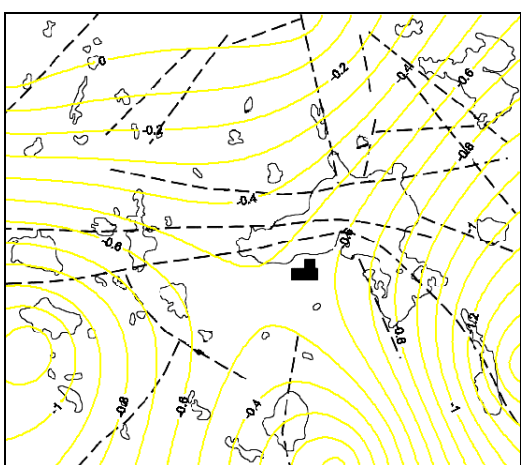
5.1.8. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{yy} kartoschema (2 variantas)



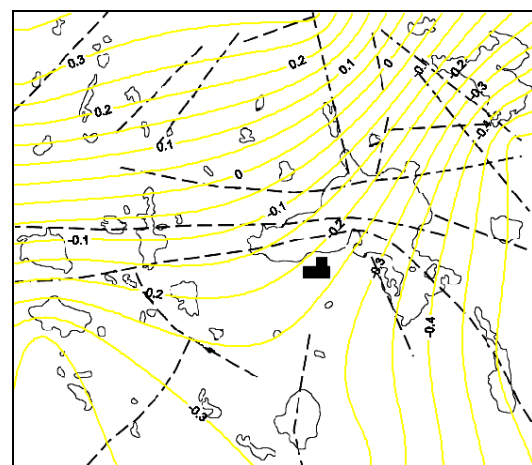
5.1.9. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{zz} kartoschema (2 variantas)



5.1.10. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{xy} kartoschema (2 variantas)

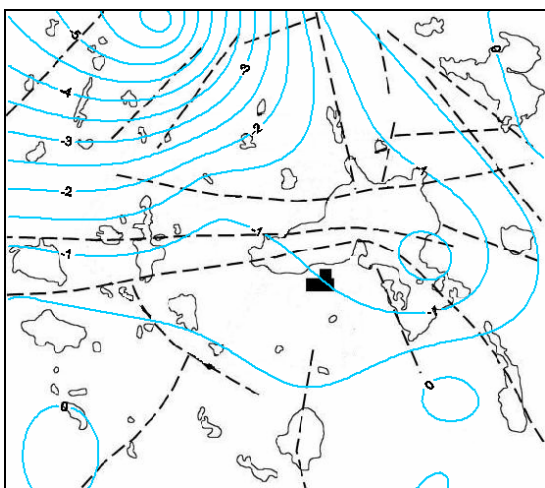


5.1.11. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{xz} kartoschema (2 variantas)

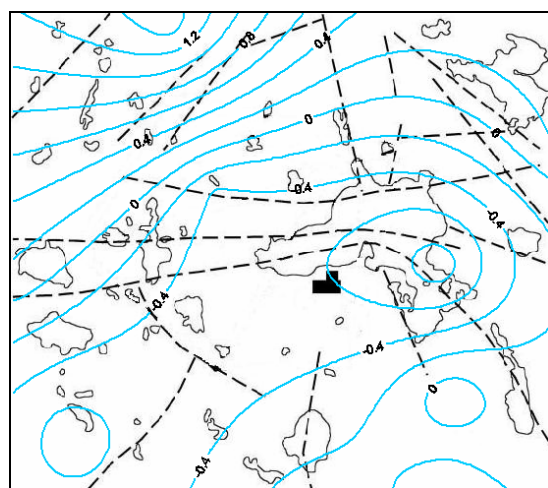


5.1.12. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{yZ} kartoschema (2 variantas)

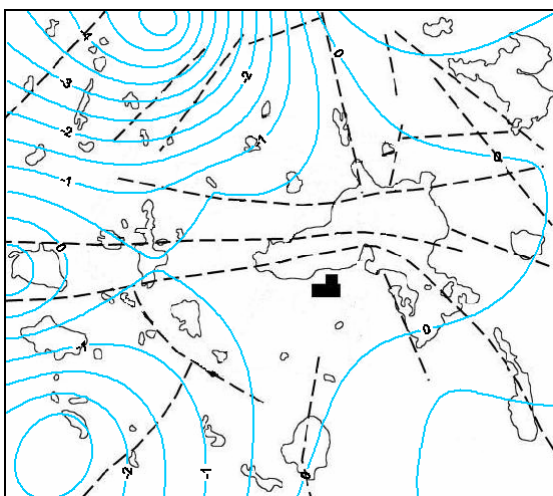
- Trečiojo geodinaminio poligono tinklo (2.2.4 pav) santykinių linijinių deformacijų ϵ_{xx} kitimo ribos – nuo $-6,322 \cdot 10^{-6}$ iki $0,242 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{yy} kinta nuo $-0,278 \cdot 10^{-6}$ iki $9,589 \cdot 10^{-6}$ bei ϵ_{zz} kinta nuo $-5,446 \cdot 10^{-6}$ iki $1,065 \cdot 10^{-6}$ (7 lentelė). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{xy} kinta nuo $-0,924 \cdot 10^{-6}$ iki $1,500 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{xz} – nuo $-3,868 \cdot 10^{-6}$ iki $0,650 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{yz} – nuo $-1,248 \cdot 10^{-6}$ iki $0,645 \cdot 10^{-6}$ (7 lentelė). Poslinkiai α_{xx} yra teigiami, poslinkiai α_{yy} neigiami 3-5 trikampiuose, teigiami 1, 2, 6-10 trikampiuose, α_{zz} – neigiami 1, 2, 4, 5, 10 trikampiuose, teigiami – 3, 6-9. Santykinės linijinės deformacijos ϵ_{xx} yra neigiamo ženklo 2-5, 7, 9, 10 trikampiuose, teigiamos – 1, 6, 8 trikampiuose, ϵ_{yy} – teigiamos (išskyrus 1 ir 7 trikampius). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{xy} yra teigiamos (išskyrus 1, 3, 7, 9 ir 10 trikampius), ϵ_{xz} ir ϵ_{yz} – neigiamos 1, 3, 4, 7, 9, 10 trikampiuose, teigiamos – 2, 5, 6, 8 trikampiuose (5.1.13-5.1.18 pav.).



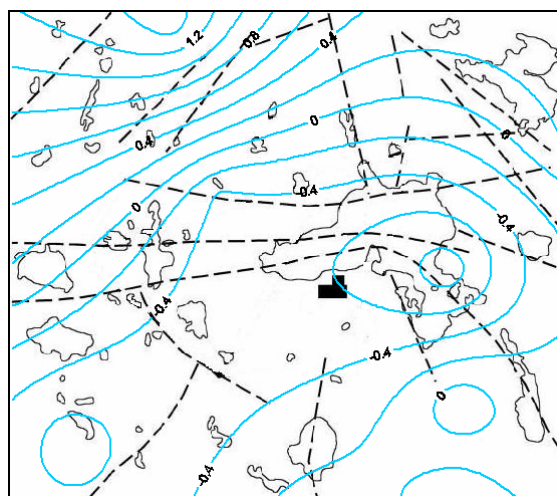
5.1.13. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{xx} kartoschema (3 variantas)



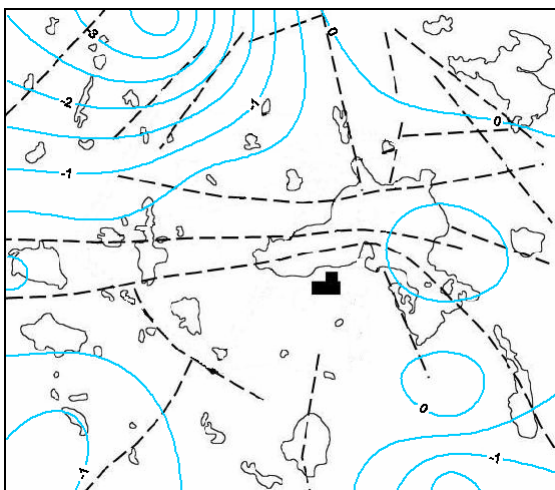
5.1.14. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{yy} kartoschema (3 variantas)



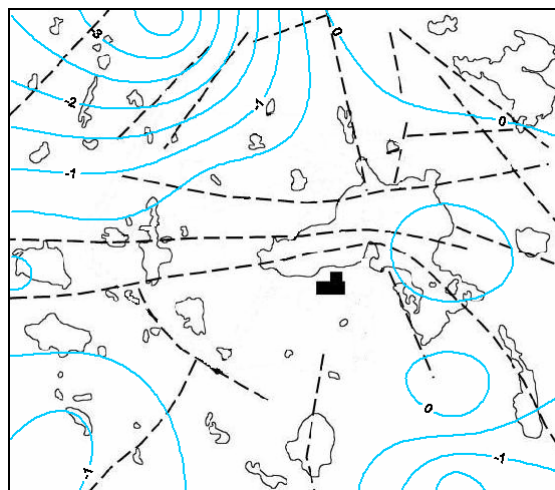
5.1.15. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{zz} kartoschema (3 variantas)



5.1.16. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{xy} kartoschema (3 variantas)

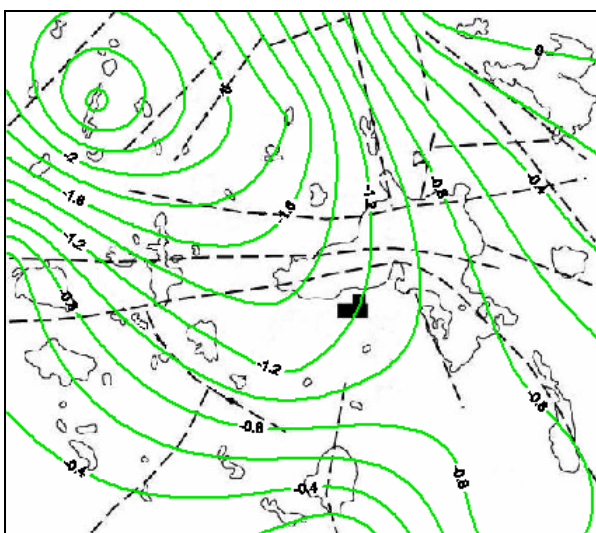


5.1.17. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XZ}
kartoschema (3 variantas)

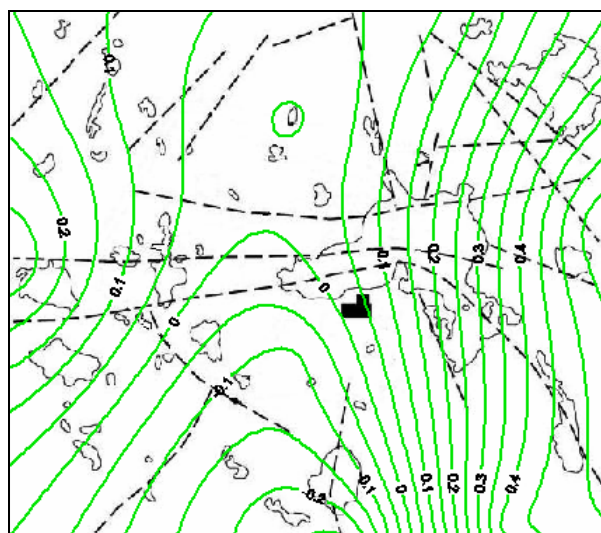


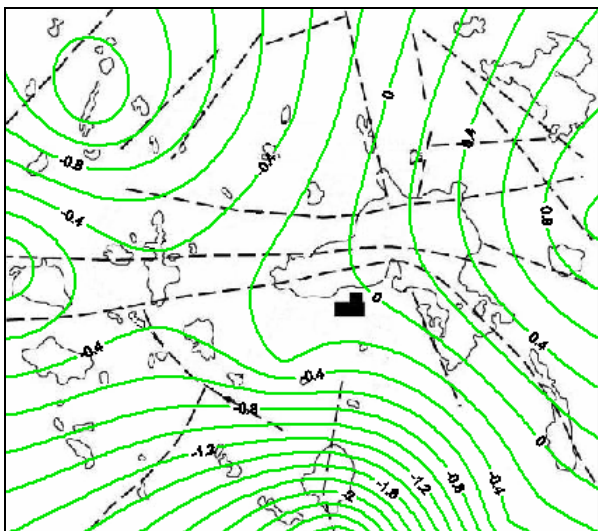
5.1.18. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{YZ}
kartoschema (3 variantas)

- Ketvirtojo geodinaminio poligono tinklo (2.2.5 pav) santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XX} kitimo ribos – nuo $-2,674 \cdot 10^{-6}$ iki $0,181 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{YY} kinta nuo $-0,007 \cdot 10^{-6}$ iki $0,604 \cdot 10^{-6}$ bei ϵ_{ZZ} kinta nuo $-1,393 \cdot 10^{-6}$ iki $1,065 \cdot 10^{-6}$ (8 lentelė). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{XY} kinta nuo $-0,924 \cdot 10^{-6}$ iki $0,517 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{XZ} – nuo $-1,582 \cdot 10^{-6}$ iki $0,650 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{YZ} – nuo $-0,552 \cdot 10^{-6}$ iki $0,645 \cdot 10^{-6}$ (8 lentelė). Poslinkiai α_{XX} yra teigiami, poslinkiai α_{YY} – teigiami (išskyrus 1 ir 2 trikampius, α_{ZZ} – neigiami (išskyrus 3 ir 4 trikampius). Santykinės linijinės deformacijos ϵ_{XX} yra neigiamo ženklo (išskyrus 3 ir 7 trikampius), ϵ_{YY} – teigiamos (išskyrus 4, 7, 8 trikampius). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{XY} yra neigiamos (išskyrus 2, 3, 6 trikampius) (5.1.19-5.1.24 pav.).

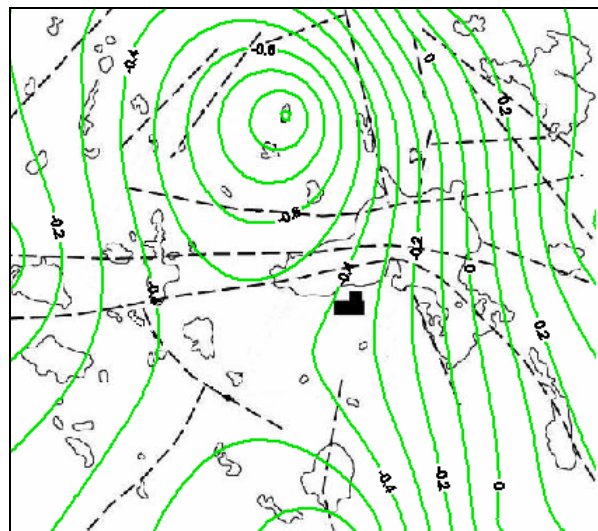


5.1.19. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XX}
kartoschema (4 variantas)

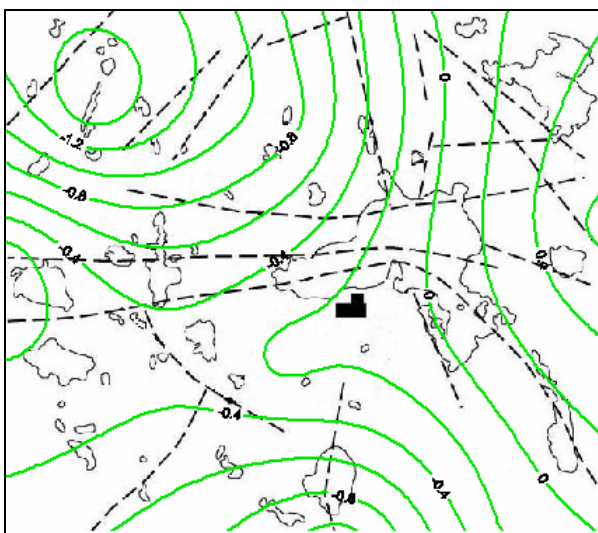




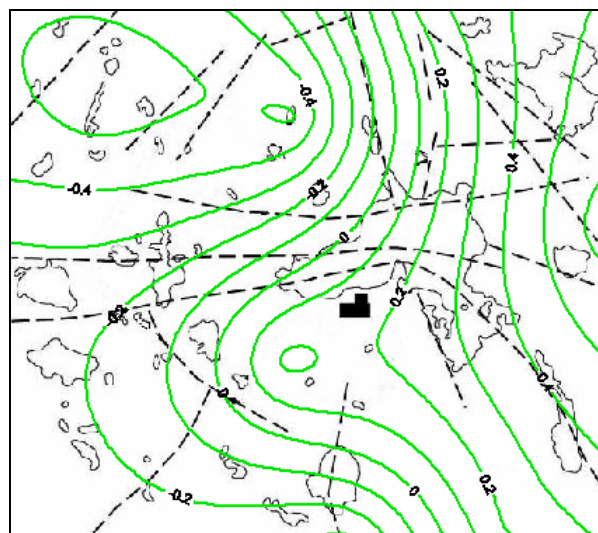
5.1.21. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{ZZ} kartoschema (4 variantas)



5.1.22. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XY} kartoschema (4 variantas)



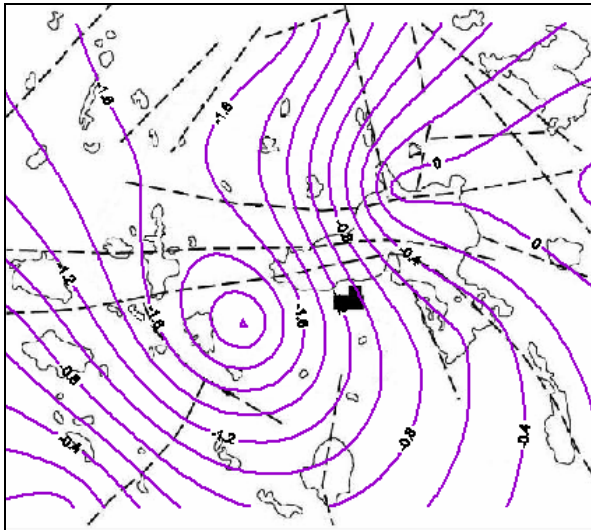
5.1.23. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XZ} kartoschema (4 variantas)



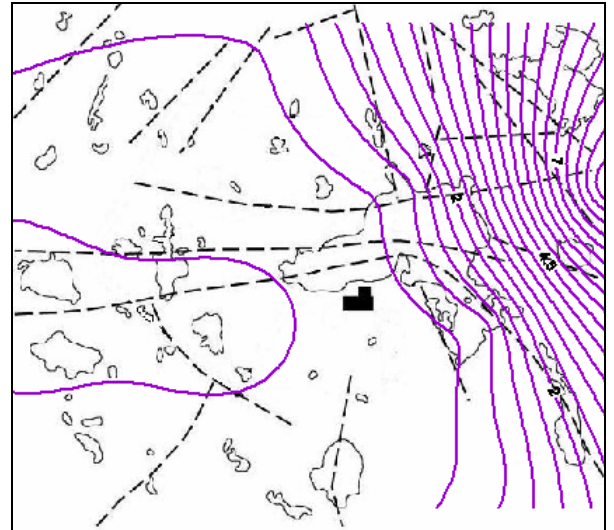
5.1.24. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{YZ} kartoschema (4 variantas)

- Penktojo geodinaminio poligono tinklo (2.2.6 pav) santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XX} kitimo ribos – nuo $-2,238 \cdot 10^{-6}$ iki $0,242 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{YY} kinta nuo $-0,278 \cdot 10^{-6}$ iki $9,589 \cdot 10^{-6}$ bei ϵ_{ZZ} kinta nuo $-4,603 \cdot 10^{-6}$ iki $1,023 \cdot 10^{-6}$ (9 lentelė). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{XY} kinta nuo $-0,682 \cdot 10^{-6}$ iki $0,161 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{XZ} – nuo $-1,851 \cdot 10^{-6}$ iki $0,432 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{YZ} – nuo $-0,488 \cdot 10^{-6}$ iki $0,557 \cdot 10^{-6}$ (9 lentelė). Poslinkiai α_{XX} yra teigiami, poslinkiai α_{YY} neigiami 3-5 trikampiuose, teigiami 1, 2, 6-8 trikampiuose, α_{ZZ} – teigiami (išskyrus 3-5 trikampus). Santykinės linijinės deformacijos ϵ_{XX} yra

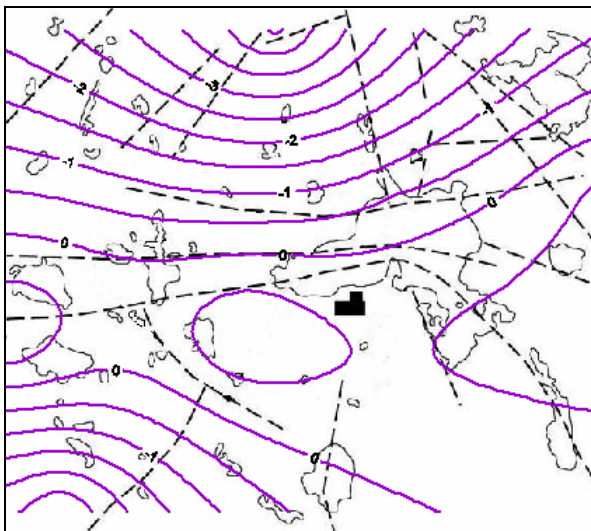
neigiamo ženklo 2-5, 8 trikampiuose, teigiamos – 1, 4, 6 trikampiuose, ϵ_{YY} – teigiamos (išskyrus 1 trikampį). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{XY} yra teigiamos (išskyrus 1, 4 ir 5 trikampius) (5.1.25-5.1.30 pav.).



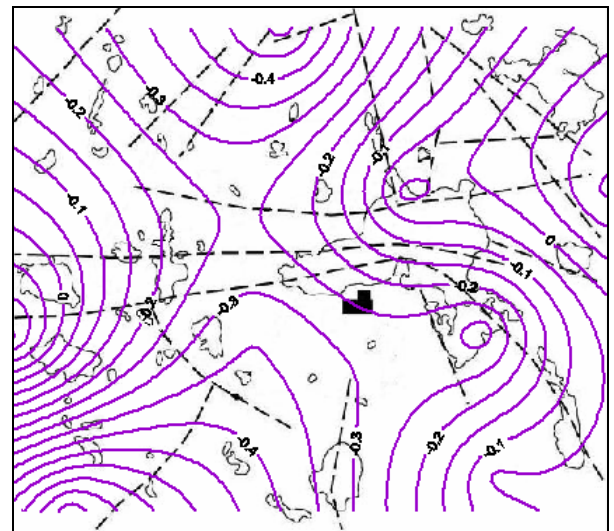
5.1.25. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XX} kartoschema (5 variantas)



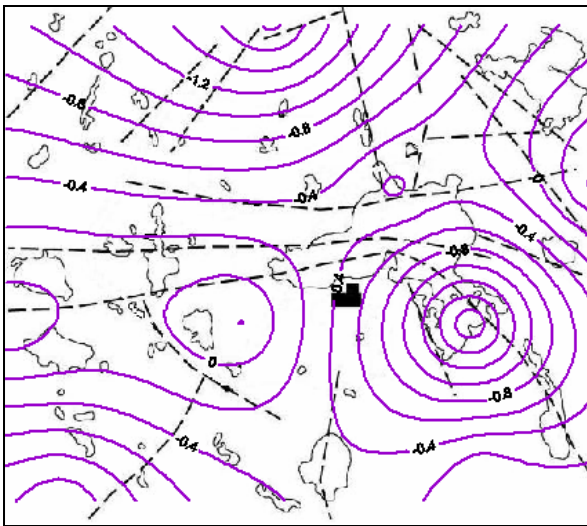
5.1.26. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{YY} kartoschema (5 variantas)



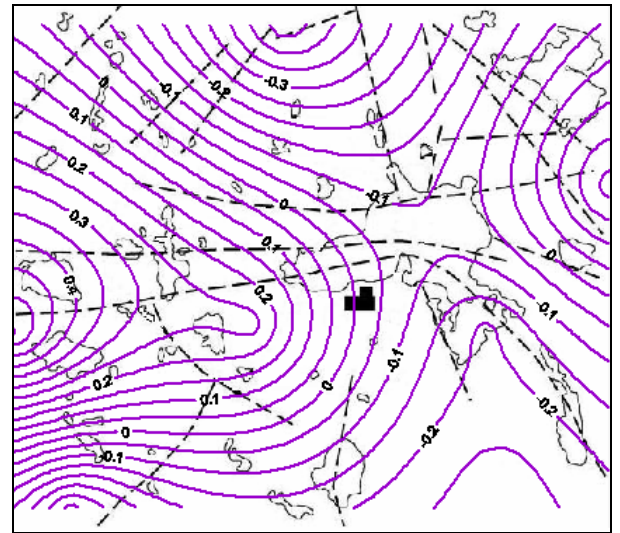
5.1.27. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{ZZ} kartoschema (5 variantas)



5.1.28. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{XY} kartoschema (5 variantas)

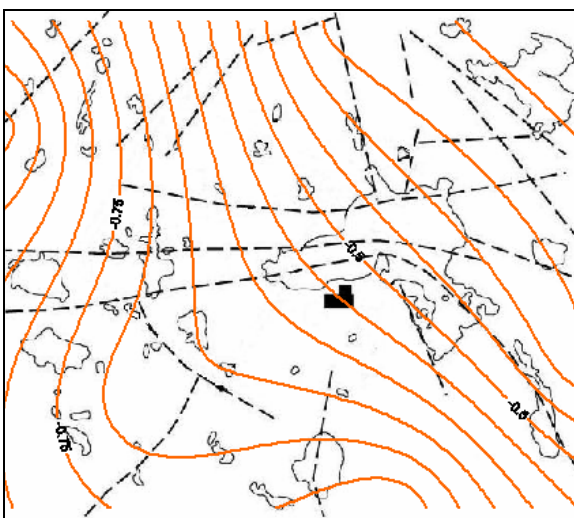


5.1.29. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{xz} kartoschema (5 variantas)

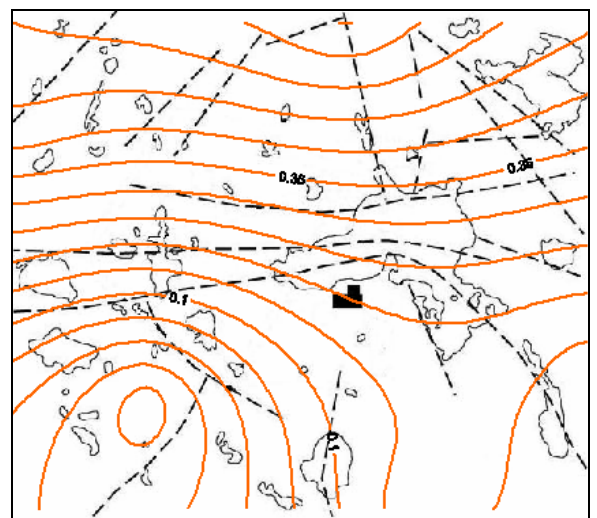


5.1.30. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{yz} kartoschema (5 variantas)

- Šeštojo geodinaminio poligono tinklo (2.2.7 pav) santykinių linijinių deformacijų ϵ_{xx} kitimo ribos – nuo $-0,972 \cdot 10^{-6}$ iki $-0,323 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{yy} kinta nuo $-0,125 \cdot 10^{-6}$ iki $0,604 \cdot 10^{-6}$ bei ϵ_{zz} kinta nuo $-0,438 \cdot 10^{-6}$ iki $1,065 \cdot 10^{-6}$ (10 lentelė). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{xy} kinta nuo $-0,482 \cdot 10^{-6}$ iki $0,517 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{xz} – nuo $-0,171 \cdot 10^{-6}$ iki $0,650 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{yz} – nuo $-0,476 \cdot 10^{-6}$ iki $0,645 \cdot 10^{-6}$ (10 lentelė). Poslinkiai α_{xx} yra teigiami, poslinkiai α_{yy} neigiami 1 ir 2 trikampiuose, teigiami 3-5 trikampiuose, α_{zz} – neigiami. Santykinės linijinės deformacijos ϵ_{xx} yra neigiamo ženklo, ϵ_{yy} – teigiamos (išskyrus 5 trikampį). Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{xy} yra neigiamos (išskyrus 2 ir 3 trikampius) (5.1.31-5.1.36 pav.).



5.1.31. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{xx} kartoschema (6 variantas)



5.1.32. pav. Santykinių linijinių deformacijų ϵ_{yy} kartoschema (6 variantas)

geodinaminių įtempių pokyčiai. Erdvinių geodinaminių įtempių parametrai priskiriami baigtinio elemento (trikampio) svorio centrui.

Apskaičiuoti erdvinio GPS tinklo geodinaminių įtempių pokyčių vektoriaus rezultatai pateikti 11-16 lentelėse.

11 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (1 variantas)

Trikampio Nr.	σ_{xx} , MPa	σ_{yy} , MPa	σ_{zz} , MPa	σ_{xy} , MPa	σ_{xz} , MPa	σ_{yz} , MPa
1	-0,0770	-0,0239	-0,0277	-0,0006	0,0015	0,0092
2	0,0019	0,0582	0,1184	-0,0017	0,0226	0,0183
3	-0,0498	0,0048	-0,0058	0,0016	-0,0036	-0,0078
4	-0,0274	0,0167	0,0105	-0,0012	-0,0013	-0,0076
5	-0,0855	-0,1054	-0,2581	-0,0191	-0,0333	-0,0102

12 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (2 variantas)

Trikampio Nr.	σ_{xx} , MPa	σ_{yy} , MPa	σ_{zz} , MPa	σ_{xy} , MPa	σ_{xz} , MPa	σ_{yz} , MPa
1	-0,0770	-0,0239	-0,0277	-0,0006	0,0015	0,0092
2	-0,0820	0,0249	0,0409	-0,0084	0,0020	0,0088
3	-0,1621	-0,0625	-0,0859	-0,0259	-0,0249	-0,0144
4	-0,2605	-0,1046	-0,1888	-0,0088	-0,0443	-0,0155
5	-0,0274	0,0167	0,0105	-0,0012	-0,0013	-0,0076
6	-0,0855	-0,1054	-0,2581	-0,0191	-0,0333	-0,0102

13 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (3 variantas)

Trikampio Nr.	σ_{xx} , MPa	σ_{yy} , MPa	σ_{zz} , MPa	σ_{xy} , MPa	σ_{xz} , MPa	σ_{yz} , MPa
1	-0,0855	-0,1054	-0,2581	-0,0191	-0,0333	-0,0102
2	-0,0223	0,0238	0,0720	0,0045	0,0039	0,0156
3	-0,1069	-0,0321	-0,0688	-0,0121	-0,0030	-0,0039
4	-0,6380	-0,1930	-0,5890	0,0420	-0,1083	-0,0349
5	0,0196	0,0715	0,0973	0,0145	0,0182	0,0181
6	0,0184	0,0127	0,0101	0,0057	0,0002	0,0081
7	-0,1621	-0,0625	-0,0859	-0,0259	-0,0249	-0,0144
8	0,3051	0,8286	0,3242	0,0045	0,0121	0,0063
9	-0,0221	0,0240	0,0400	-0,0092	-0,0505	-0,0059
10	-0,0274	0,0167	0,0105	-0,0012	-0,0013	-0,0076

14 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (4 variantas)

Trikampio Nr.	σ_{xx} , MPa	σ_{yy} , MPa	σ_{zz} , MPa	σ_{xy} , MPa	σ_{xz} , MPa	σ_{yz} , MPa
1	-0,0817	-0,0029	-0,0518	0,0005	-0,0048	0,0060
2	0,0196	0,0715	0,0973	0,0145	0,0182	0,0181
3	0,0184	0,0127	0,0101	0,0057	0,0002	0,0081
4	-0,1621	-0,0625	-0,0859	-0,0259	-0,0249	-0,0144

14 lentelės pabaiga. Geodinaminių įtempių pokyčiai (4 variantas)

5	-0,2605	-0,1046	-0,1888	-0,0088	-0,0443	-0,0155
6	-0,0274	0,0167	0,0105	-0,0012	-0,0013	-0,0076
7	-0,0855	-0,1054	-0,2581	-0,0191	-0,0333	-0,0102
8	-0,1158	-0,0502	-0,0526	-0,0117	-0,0038	0,0064

15 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (5 variantas)

Trikampio Nr.	σ_{xx} , MPa	σ_{yy} , MPa	σ_{zz} , MPa	σ_{xy} , MPa	σ_{xz} , MPa	σ_{yz} , MPa
1	-0,0855	-0,1054	-0,2581	-0,0191	-0,0333	-0,0102
2	-0,0223	0,0238	0,0720	0,0045	0,0039	0,0156
3	-0,1534	-0,0119	0,0250	-0,0097	0,0060	0,0076
4	-0,0001	0,0101	-0,0319	0,0004	-0,0041	-0,0032
5	-0,2743	-0,1661	-0,4323	-0,0146	-0,0518	-0,0137
6	0,3051	0,8286	0,3242	0,0045	0,0121	0,0063
7	-0,0221	0,0240	0,0400	-0,0092	-0,0505	-0,0059
8	-0,0274	0,0167	0,0105	-0,0012	-0,0013	-0,0076

16 lentelė. Geodinaminių įtempių pokyčiai (6 variantas)

Trikampio Nr.	σ_{xx} , MPa	σ_{yy} , MPa	σ_{zz} , MPa	σ_{xy} , MPa	σ_{xz} , MPa	σ_{yz} , MPa
1	-0,0817	-0,0029	-0,0518	0,0005	-0,0048	0,0060
2	0,0196	0,0715	0,0973	0,0145	0,0182	0,0181
3	-0,0049	0,0225	0,0583	-0,0041	0,0013	0,0083
4	-0,0646	-0,0103	-0,0253	-0,0135	-0,0037	-0,0133
5	-0,0601	-0,0303	-0,0260	-0,0048	-0,0015	0,0088

Gautųjų erdvinio GPS tinklo geodinaminių įtempių pokyčių vektoriaus rezultatų analizė (viso yra 6 geodinaminio poligono tinklo variantai):

- Pirmojo geodinaminio poligono tinklo erdvinių normalinių įtempių pokyčių σ_{xx} kitimo ribos -0,0855 MPa iki 0,0019 MPa, σ_{yy} kinta nuo -0,1054 MPa iki 0,0582 MPa, o σ_{zz} – nuo -0,2581 MPa iki 0,1184 MPa (11 lentelė). Erdviniai geodinaminiai tangentinių įtempių pokyčiai: σ_{xy} kinta nuo -0,0191 MPa iki -0,0006 MPa, σ_{xz} – nuo -0,0333 MPa iki 0,0226 MPa, σ_{yz} – nuo -0,0102 MPa iki 0,0183 MPa. Erdvinių geodinaminių įtempių pokyčiai σ_{xx} yra neigiamo ženklo (išskyrus 2 trikampį), σ_{yy} – teigiamo ženklo (išskyrus 1 ir 5 trikampius), σ_{zz} – teigiamo ženklo 2 ir 4 trikampiuose, neigiamo – 1,3 ir 5 trikampiuose, σ_{xy} yra neigiamo ženklo (išskyrus 3 trikampį), σ_{xz} ir σ_{yz} yra teigiamo ženklo 1 ir 2 trikampiuose, neigiamo – 3-5 trikampiuose. Pirmojo geodinaminio poligono tinklo normalinių ir tangentinių įtempių pokyčių izogramos pavaizduotos 3.1 priede.

- Antrojo geodinaminio poligono tinklo erdvinių normalinių įtempių pokyčių σ_{xx} kitimo ribos -0,2605 MPa iki -0,0274 MPa, σ_{yy} kinta nuo -0,1054 MPa iki 0,0167 MPa, o σ_{zz} – nuo -0,2581 MPa iki 0,0409 MPa (12 lentelė). Erdviniai geodinaminiai tangentinių įtempių pokyčiai: σ_{xy} kinta nuo -0,0259 MPa iki -0,0006 MPa, σ_{xz} – nuo -0,0443 MPa iki 0,0020 MPa, σ_{yz} – nuo -0,0155 MPa iki 0,0092 MPa. Erdvinių geodinaminių įtempių pokyčiai σ_{xx} yra neigiamo ženklo, σ_{yy} , σ_{zz} – teigiamo ženklo (išskyrus 2 ir 5 trikampius), σ_{xy} yra neigiamo ženklo, σ_{xz} ir σ_{yz} yra teigiamo ženklo 1 ir 2 trikampiuose, neigiamo – 3-6 trikampiuose. Pirmojo geodinaminio poligono tinklo normalinių ir tangentinių įtempių pokyčių izogramos pavaizduotos 3.2 priede.
- Trečiojo geodinaminio poligono tinklo erdvinių normalinių įtempių pokyčių σ_{xx} kitimo ribos -0,6380 MPa iki 0,3051 MPa, σ_{yy} kinta nuo -0,1930 MPa iki 0,8286 MPa, o σ_{zz} – nuo -0,5890 MPa iki 0,3242 MPa (13 lentelė). Erdviniai geodinaminiai tangentinių įtempių pokyčiai: σ_{xy} kinta nuo -0,0259 MPa iki 0,0420 MPa, σ_{xz} – nuo -0,1083 MPa iki 0,0182 MPa, σ_{yz} – nuo -0,0349 MPa iki 0,0181 MPa. Erdvinių geodinaminių įtempių pokyčiai σ_{xx} yra neigiamo ženklo (išskyrus 5, 6, 8 trikampius), σ_{yy} , σ_{zz} , σ_{xy} , σ_{xz} ir σ_{yz} neigiamo ženklo 1, 3, 4, 7 trikampiuose, teigiamo – 2, 5, 6, 8 trikampiuose. Pirmojo geodinaminio poligono tinklo normalinių ir tangentinių įtempių pokyčių izogramos pavaizduotos 3.3 priede.
- Ketvirtojo geodinaminio poligono tinklo erdvinių normalinių įtempių pokyčių σ_{xx} kitimo ribos -0,2605 MPa iki -0,0274 MPa, σ_{yy} kinta nuo -0,1054 MPa iki 0,0167 MPa, o σ_{zz} – nuo -0,2581 MPa iki 0,0409 MPa (14 lentelė). Erdviniai geodinaminiai tangentinių įtempių pokyčiai: σ_{xy} kinta nuo -0,0259 MPa iki -0,0006 MPa, σ_{xz} – nuo -0,0443 MPa iki 0,0020 MPa, σ_{yz} – nuo -0,0155 MPa iki 0,0092 MPa. Erdvinių geodinaminių įtempių pokyčiai σ_{xx} yra neigiamo ženklo, σ_{yy} , σ_{zz} – neigiamo ženklo (išskyrus 2 ir 5 trikampius), σ_{xy} yra neigiamo ženklo, σ_{xz} ir σ_{yz} yra teigiamo ženklo 1 ir 2 trikampiuose, neigiamo – 3-6 trikampiuose. Pirmojo geodinaminio poligono tinklo normalinių ir tangentinių įtempių pokyčių izogramos pavaizduotos 3.4 priede.
- Penktojo geodinaminio poligono tinklo erdvinių normalinių įtempių pokyčių σ_{xx} kitimo ribos -0,2743 MPa iki 0,3051 MPa, σ_{yy} kinta nuo -0,1661 MPa iki 0,8286 MPa, o σ_{zz} – nuo -0,4323 MPa iki 0,3242 MPa (15 lentelė). Erdviniai geodinaminiai tangentinių įtempių pokyčiai: σ_{xy} kinta nuo -0,0191 MPa iki 0,0045 MPa, σ_{xz} – nuo -0,0518 MPa iki 0,0121 MPa, σ_{yz} – nuo -0,0137 MPa iki 0,0156 MPa. Erdvinių geodinaminių įtempių pokyčiai σ_{xx} yra

neigiamo ženklo (išskyrus 6 trikampi), σ_{YY} – teigiamo ženklo (išskyrus 1, 3 ir 5 trikampius), σ_{ZZ} – teigiamo ženklo (išskyrus 1, 4 ir 5 trikampiuose), σ_{XY} yra neigiamo ženklo (išskyrus 2, 4, 6 trikampius), σ_{XZ} ir σ_{YZ} yra teigiamo ženklo 2, 3 ir 6 trikampiuose, neigiamo – 1, 4, 5, 7, 8 trikampiuose. Pirmojo geodinaminio poligono tinklo normalinių ir tangentinių įtempių pokyčių izogramos pavaizduotos 3.5 priede.

- Šeštojo geodinaminio poligono tinklo erdviųjų normalinių įtempių pokyčių σ_{XX} kitimo ribos nuo -0,0817 MPa iki 0,0196 MPa, σ_{YY} kinta nuo -0,0303 MPa iki 0,0715 MPa, o σ_{ZZ} – nuo -0,0518 MPa iki 0,0973 MPa (16 lentelė). Erdviniai geodinaminiai tangentinių įtempių pokyčiai: σ_{XY} kinta nuo -0,0135 MPa iki 0,0145 MPa, σ_{XZ} – nuo -0,0048 MPa iki 0,0182 MPa, σ_{YZ} – nuo -0,0133 MPa iki 0,0181 MPa. Erdviųjų geodinaminių įtempių pokyčiai σ_{XX} yra neigiamo ženklo (išskyrus 2 trikampi), σ_{YY} , σ_{ZZ} – teigiamo ženklo 2 ir 3 trikampiuose, neigiamo – 1, 4 ir 5 trikampiuose, σ_{XY} yra neigiamo ženklo (išskyrus 1 ir 2 trikampius), σ_{XZ} yra neigiamo ženklo (išskyrus 2 ir 3 trikampius) ir σ_{YZ} yra teigiamo ženklo (išskyrus 4 trikampi). Pirmojo geodinaminio poligono tinklo normalinių ir tangentinių įtempių pokyčių izogramos pavaizduotos 3.6 priede.

5.3. Apibendrintųjų erdviųjų Žemės plutos deformacijų ir įtempių skaičiavimo rezultatai ir jų analizė

Pagal (4.1.2-4.1.5) formules įvertinta Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijoje apibendrinti erdviųjų deformacijų parametrai: apskaičiuoti poslinkiai koordinačių ašių kryptimis, posūkiai, santykinės linijinės bei šlyties deformacijos. Geodinaminio poligono punktų koordinačių vidurkiai ir nuokrypiai nuo vidurkių pateikti 17 lentelėje.

Gautieji apibendrintieji erdviųjų Žemės plutos deformacijų parametrų vektoriai pateikti 18 lentelėje.

17 lentelė. Geodinaminio poligono punktų koordinačių vidurkiai ir nuokrypiai nuo vidurkių

Punkto Nr.	X_{vidurkis}	Y_{vidurkis}	Z_{vidurkis}	X_{NNV}	Y_{NNV}	Z_{NNV}
1	3230944,195	1611213,018	5240491,658	-1407,894	4870,686	-630,667
2				709,788	5149,690	-1997,303
3				2285,511	1030,429	-1696,354
4				2724,803	6373,604	-3604,857
5				6093,471	-276,702	-3640,531

17 lentelės pabaiga. Geodinaminio poligono punktų koordinatų vidurkiai ir nuokrypiai nuo vidurkių

6	3230944,195	1611213,018	5240491,658	4434,657	-8975,902	18,686
7				34,713	-7502,497	2257,493
8				-7362,134	4492,677	4492,677
9				4885,724	2764,129	2764,129
10				1807,099	2036,725	2036,725

18 lentelė. Apibendrintieji erdviųjų deformacijų parametrai

α_{XX} (m)	0,0061	$\epsilon_{XX} \cdot 10^{-6}$	-0,472	$\epsilon_{XY} \cdot 10^{-6}$	-0,233
α_{YY} (m)	0,0000	$\epsilon_{YY} \cdot 10^{-6}$	-0,113	$\epsilon_{XZ} \cdot 10^{-6}$	-0,760
α_{ZZ} (m)	-0,0003	$\epsilon_{ZZ} \cdot 10^{-6}$	-0,012	$\epsilon_{YZ} \cdot 10^{-6}$	-0,377
ω	0,101				

Pagal (4.2.1-4.2.2) formules, taikant gautus apibendrintus erdviųjų deformacijų parametrus (žr. 18 lentelę), įvertinti Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijoje geodinaminio poligono apibendrintieji įtempių pokyčiai: apskaičiuoti normaliniai bei tangentiniai geodinaminių įtempių pokyčiai.

Apskaičiuoti apibendrintieji normalinių ir tangentiųjų bei svarbiausiųjų įtempių rezultatai pateikti 19-20 lentelėse.

19 lentelė. Apibendrintieji įtempių pokyčiai

σ_{XX} , MPa	-0,0431	σ_{XY} , MPa	-0,0065
σ_{YY} , MPa	-0,0230	σ_{XZ} , MPa	-0,0213
σ_{ZZ} , MPa	-0,0174	σ_{YZ} , MPa	-0,0106

20 lentelė. Apibendrintieji svarbiausiųjų įtempių pokyčiai

σ_1 , MPa	σ_2 , MPa	σ_3 , MPa
-0,002	-0,082	-0,052

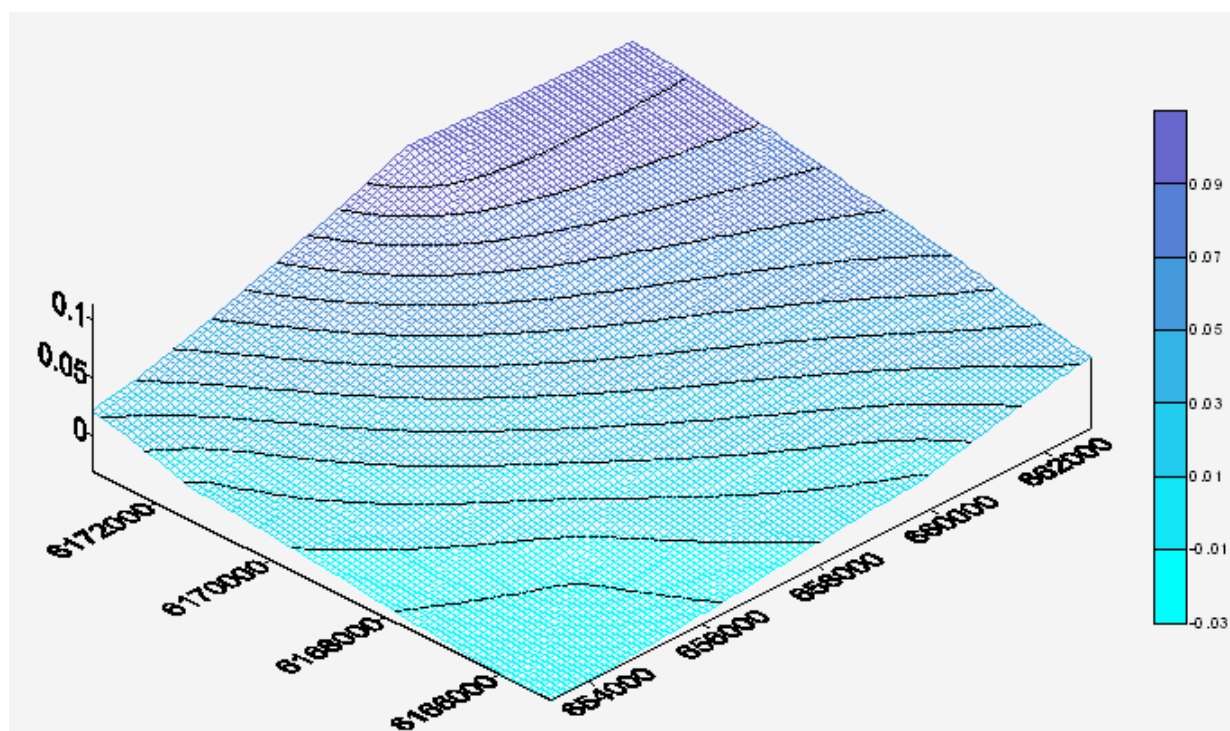
5.6 Svarbiausiųjų geodinaminių įtempių skaičiavimo rezultatai ir jų analizė

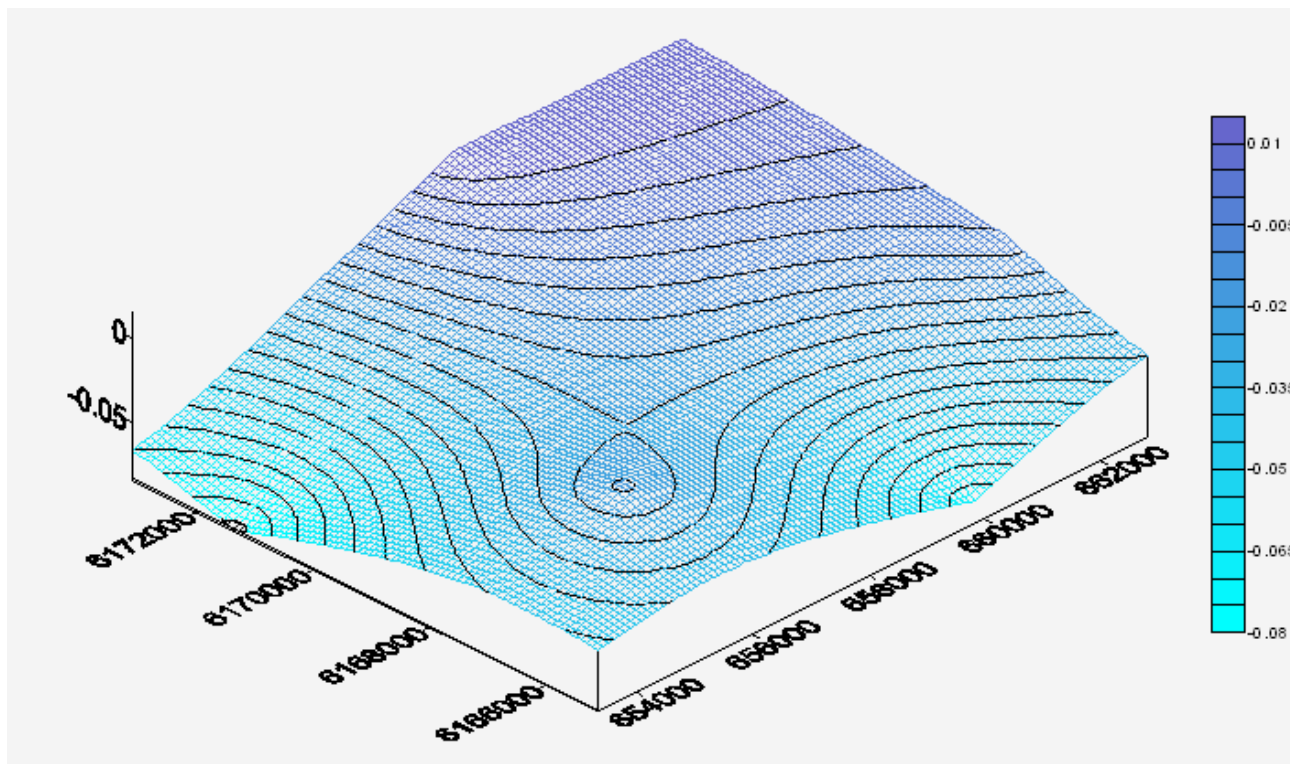
Pagal (4.3.1-4.3.9) formules įvertinta Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijoje geodinaminio poligono (6 varianto) svarbiausieji geodinaminiai įtempiai: σ_1 , σ_2 , σ_3 . Gautieji geodinaminio poligono svarbiausiųjų įtempių pokyčių vektoriaus rezultatai pateikti 21 lentelėje.

21 lentelė. Geodinaminio poligono svarbiausieji įtempiai (6 variantas)

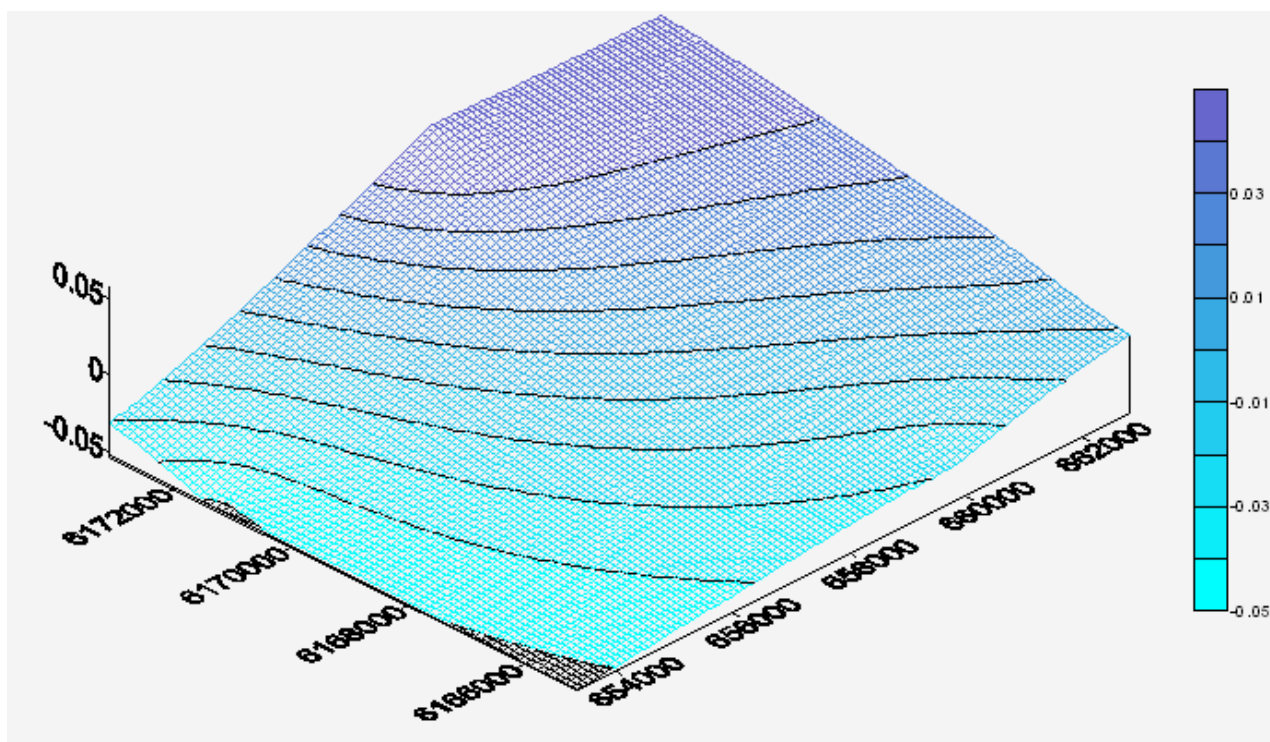
Trikampio Nr.	σ_1 , MPa	σ_2 , MPa	σ_3 , MPa
1	-0,002	-0,082	-0,052
2	0,114	0,016	0,059
3	0,060	-0,006	0,021
4	-0,002	-0,069	-0,029
5	-0,019	-0,019	-0,037

Šeštojo geodinaminio poligono tinklo svarbiausiųjų pokyčių σ_1 kitimo ribos nuo -0,019 MPa iki 0,0114 MPa, σ_2 kinta nuo -0,082 MPa iki 0,016 MPa, o σ_3 – nuo -0,052 MPa iki 0,059 MPa (21 lentelė). Erdvinių geodinaminių svarbiausiųjų įtempių pokyčiai σ_1 ir σ_3 yra neigiamo ženklo (išskyrus 2 ir 3 trikampius), σ_2 yra irgi neigiamo ženklo (išskyrus 2 trikampį). Šeštojo geodinaminio poligono tinklo svarbiausiųjų pokyčių σ_1 , σ_2 , σ_3 izogramos pavaizduotos 5.6.1-5.6.3 paveiksluose.

**5.6.1 pav.** Svarbiausiojo σ_1 įtempio izograma



5.6.1 pav. Svarbiausiojo σ_2 įtempio izograma



5.6.1 pav. Svarbiausiojo σ_3 įtempio izograma

IŠVADOS

1. Sudarytas algoritmas erdvinėms deformacijoms ir erdviųjų įtempių pokyčiams skaičiuoti bei gauti nauji svarbiausiųjų erdviųjų deformacijų ir įtempių pokyčių skaičiavimo rezultatai pagal geodezinių matavimų duomenis Ignalinos atominės elektrinės geodinaminio poligono teritorijai. Įvertinti rezultatai pristatyti dviejose respublikinėse mokslo konferencijose „Civilinė inžinerija ir geodezija“ 2006 m. spalio 27 d. ir 2007 m. spalio 26 d.
2. Geodinaminio poligono tinklo santykinų linijinių deformacijų ϵ_{xx} kitimo ribos – nuo $-6,322 \cdot 10^{-6}$ iki $0,242 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{yy} kinta nuo $-0,278 \cdot 10^{-6}$ iki $9,589 \cdot 10^{-6}$ bei ϵ_{zz} kinta nuo $-5,446 \cdot 10^{-6}$ iki $1,477 \cdot 10^{-6}$. Santykinės šlyties deformacijos ϵ_{xy} kinta nuo $-0,924 \cdot 10^{-6}$ iki $1,500 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{xz} – nuo $-3,868 \cdot 10^{-6}$ iki $0,808 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{yz} – nuo $-1,248 \cdot 10^{-6}$ iki $0,655 \cdot 10^{-6}$.
3. Geodinaminio poligono tinklo erdviųjų normalinių įtempių pokyčių σ_{xx} kitimo ribos nuo $-0,638$ MPa iki $0,305$ MPa, σ_{yy} kinta nuo $-0,193$ MPa iki $0,829$ MPa, o σ_{zz} – nuo $-0,589$ MPa iki $0,324$ MPa. Erdviniai geodinaminiai tangentinių įtempių pokyčiai: σ_{xy} kinta nuo $-0,026$ MPa iki $0,0042$ MPa, σ_{xz} – nuo $-0,108$ MPa iki $0,023$ MPa, σ_{yz} – nuo $-0,035$ MPa iki $0,018$ MPa.
4. Apibendrintųjų erdviųjų deformacijų gauti parametrai: ϵ_{xx} yra $-0,472 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{yy} – $-0,113 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{zz} – $-0,012 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{xy} – $-0,233 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{xz} – $-0,760 \cdot 10^{-6}$, ϵ_{yz} – $-0,377 \cdot 10^{-6}$. Apibendrintieji įtempių pokyčiai yra: σ_{xx} – $-0,0431$ MPa, σ_{yy} – $-0,0230$ MPa, σ_{zz} – $-0,0174$ MPa, σ_{xy} – $-0,0065$ MPa, σ_{xz} – $-0,0213$ MPa, σ_{yz} – $-0,0106$ MPa, σ_1 – $-0,002$ MPa, σ_2 – $-0,082$ MPa, σ_3 – $-0,052$ MPa.
5. Gauti apibendrintųjų svarbiausiųjų įtempių pokyčių rezultatai ir nustatyti šių parametrų sklaidą bei pasiskirstymo dėsningumai panaudojant sudarytas geodezinių matavimų duomenų bazes.
6. Apibendrintųjų erdviųjų deformacijų, tangentinių ir normalinių įtempių bei svarbiausiųjų erdviųjų įtempių reikšmės yra neigiamos, t.y. teritorija geodinaminio požiūriu yra tektoniškai aktyvioje zonoje. Gauti rezultatai koreliuoja su anksčiau atliktais dabartinių Žemės plutos vertikalinių ir horizontalinių judesių tyrimais bei tektoninės Žemės sandaros ypatumais.
7. Gauti skaičiavimų rezultatai bei analizės duomenys teikia papildomą geodinaminę informaciją apie dabartinius Žemės plutos judesius Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijoje ir palengvina jų kompleksinio interpretavimo galimybes.

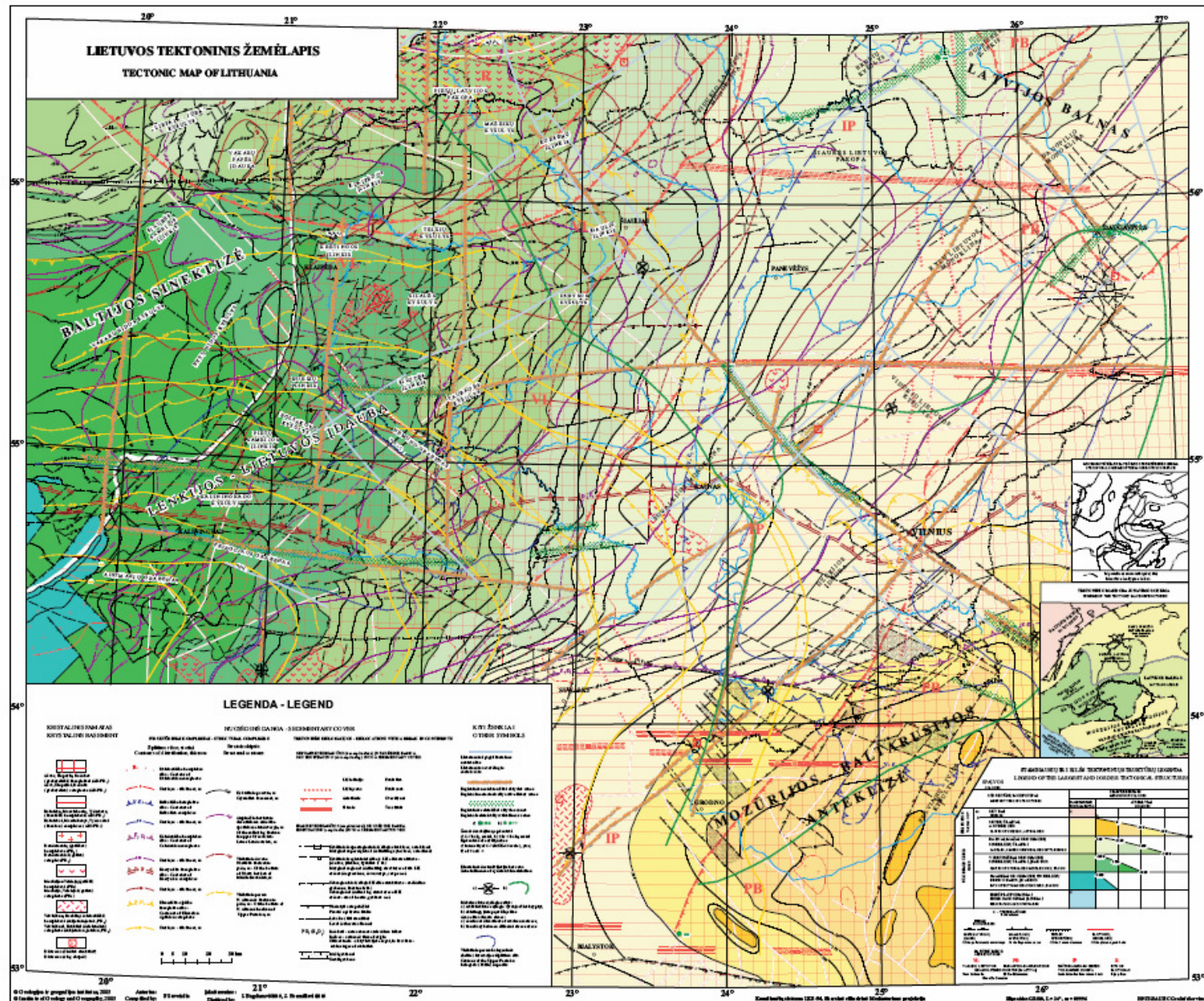
LITERATŪRA

1. Atkočiūnas J., Nagevičius J. Tamprumo teorijos pagrindai. Vilnius: Technika, 2004. 528 p.
2. Baltrūnas V. (red.). Lietuvos Žemės gelmių raida ir ištekliai. Vilnius, 2004. 700 p.
3. Blyth F. G. H., Freitas M. H. A Geology for Engineers. London: 1984. 325 p.
4. Čėsna A., Davulienė L., Aliulis K. Lietuvos branduolinė praeitis. Kaunas: Lietuvos energetikų institutas, 2004. 46 p.
5. Gailius R., Grigelis A. ir kt. Lietuvos geologija. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla, 1994. 447 p.
6. Ilginytė V. Seismiškai aktyvios tektoninės zonos Lietuvoje. *Geologija*. Vilnius: Geologijos ir geografijos institutas, 1998, nr. 23, p. 61-64.
7. Jouanne F., Hippolyte J., Gamond J. F., Martinod J. Current deformation of the Digne Nappe (southwestern Alps) from a comparison between triangulation and GPS data. *Geophysical Journal International*. Blackwell Publishing, 2001, Vol 144, No 2, p. 432-440.
8. Kazakevičius S., Petrulytė E., Stepanovienė J. Lietuvos teritorijos trianguliacijos tinklai. Istorija ir dabartis. *Geodezija ir kartografija*. Vilnius: Technika, 1997, nr.1 (25), p. 18-41.
9. Kumetaitytė A., Stanionis A., Skaitmeninio žemėlapių sudarymo technologija. Vilnius: Technika, 2008. 100 p.
10. Marcinkevičius V., Laškovas J. Geological structure of the Ignalina Nuclear Power Plant area. *Geologija*. Vilnius, 2007, nr. 58, p. 16-24.
11. Petroškevičius P. Gravitacijos lauko poveikis geodeziniam matavimams. Vilnius: Technika, 2004. 292 p.
12. Petroškevičius P., Ramanauskas R. Lietuvos valstybinio GPS tinklo sudarymas. *Geodezija ir kartografija*. Vilnius: Technika, 1995, nr. 1(21), p. 3-20.
13. Skeivalas J. Koreliuotų geodezinių matavimų rezultatų matematinis apdorojimas. Vilnius: Technika, 1995. 272 p.
14. Skeivalas J. Metrologinių ir geodezinių matavimų apdorojimas. Vilnius: Technika, 2001. 220 p.
15. Skeivalas J., Paršeliūnas E., Ramanauskas R. Lietuvos GPS pirmosios klasės tinklo matavimų rezultatų apdorojimas ir išlyginimas. *Geodezija ir kartografija*. Vilnius: Technika, 1995, nr. 1(21), p. 21-30.
16. Skeivalas J., Petroškevičius P. Nauji geodezijos metodai Žemės formos ir gravitacijos lauko tyrimuose. *Geomokslai*. Vilnius: Lietuvos mokslas, 1999, 23 knyga, p. 473-489.

17. Suveizdis P. (red.). Lietuvos tektoninė sandara. Vilnius: Geologijos ir geografijos institutas, 2003. 160 p.
18. Šliaupa S., Zakarevičius A., Stanionis A. Strain and stress fields of the Ignalina NPP area from GPS data and thin-shell finite element modelling, NE Lithuania. *Geologija*. Vilnius, 2006, nr. 56, p. 27-35.
19. Tumas R., Aplinkos geoinformacijos sistemos. Vilnius: Enciklopedija, 2006. 264 p.
20. Zakarevičius A. Dabartinių geodinaminių procesų Lietuvos teritorijoje tyrimas. Vilnius: Technika, 2003. 195 p.
21. Zakarevičius A. Lietuvos geodezinio tinklo horizontaliosios deformacijos. *Geodezija ir kartografija*. Vilnius: Technika, 1998, XXIV tomas, nr. 4, p. 169 – 176.
22. Zakarevičius A. Lietuvos geodezinių tinklų koordinačių sistemos ir jų ryšiai. Vilnius: Technika, 1996 200 p.
23. Zakarevičius A., Stanionis A. Horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų nustatymas afiniojo koordinačių perskaičiavimo būdu. *Geodezija ir kartografija*. Vilnius: Technika, 2003, XXIX tomas, nr. 1, p. 13-19.
24. Zakarevičius A., Stanionis A. Horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų Ignalinos atominės elektrinės sklaidos ypatumai. *Geodezija ir kartografija*. Vilnius: Technika, 2003, XXIX tomas, nr. 4, p. 119-123.
25. Zakarevičius A., Stanionis A. Lietuvos geodezinių tinklų horizontaliųjų deformacijų sklaidos struktūra. *Geodezija ir kartografija*. Vilnius: Technika, 2002, XXVIII tomas, nr. 4, p. 117–123.
26. Zakarevičius A., Stanionis A. Žemės plutos horizontaliųjų judesių tyrimas ANSYS programa. *Geodezija ir kartografija*. Vilnius: Technika, 2005, XXXI tomas, nr.1, p. 3-7.
27. Zakarevičius A., Stanionis A. Žemės plutos erdvinių deformacijų nustatymas taikant GPS matavimų duomenis. *Geodezija ir kartografija*. Vilnius: Technika, 2005, XXXI tomas, nr.1, p. 3-7.
28. Zakarevičius A., Stanionis A. Erdvinių geodinaminių įtempių tyrimas pagal geodezinių matavimų rezultatus. *Geodezija ir kartografija*. Vilnius: Technika, 2005, XXXI tomas, nr.1, p. 3-7.
29. Prieiga per internetą: <http://www.netu.lt/lt/zodynas>. Peržiūros data: 2008-04-10.(Geografinių duomenų bazių apibrėžimas).
30. Internetinė prieiga: www.esri.com. Peržiūros data: 2008-04-10. (ArcGis programinės įrangos puslapis).
31. Internetinė prieiga:www.wiley.co.uk/gis. Peržiūros data: 2008-04-10. (Longley Paul A., etc. Geographic Information Systems and Science.

PRIEDAI

1 priedas. Lietuvos tektoninis žemėlapis (pagal A. Grigelis, V. Kadūnas)



2 priedas. Trikampių punktų koordinačių vidurkiai ir nuokrypiai nuo vidurkių

Trikampių punktų Nr.	X _{vidurkis} (m)	Y _{vidurkis} (m)	Z _{vidurkis} (m)	X _{NNV} (m)	Y _{NNV} (m)	Z _{NNV} (m)
1	3231473,327	1614896,619	5239050,216	-1937,034	1187,084	810,774
2				180,656	1466,088	-555,863
3				1756,378	-2653,172	-254,912
1	3232144,998	1615304,590	5238514,366	-2608,705	779,113	1346,624
3				1084,707	-3061,143	280,938
4				1523,999	2282,030	-1627,563
1	3231248,298	1610679,224	5240468,481	-1712,005	5404,479	-607,491
3				1981,407	1564,223	-1673,177
7				-269,401	-6968,701	2280,669
1	3229824,936	1613782,422	5240394,892	-288,643	2301,281	-533,902
3				3404,769	-1538,975	-1599,588
10				-3116,126	-762,305	2133,491
1	3228164,998	1611964,323	5241955,309	1371,295	4119,380	-2094,319
7				2813,899	-8253,800	793,841
9				-4185,193	4134,420	1300,477
1	3226741,636	1615067,521	5241881,720	2794,657	1016,182	-2020,73
9				-2761,831	1031,222	1374,066
10				-32,826	-2047,404	646,663
2	3232850,895	1615397,591	5238058,820	-1196,912	965,116	435,533
3				378,810	-3154,144	736,484
4				818,102	2189,029	-1172,017
3	3234645,455	1613588,794	5237511,078	-1415,750	-1345,347	1284,226
4				-976,458	3997,826	-624,275
5				2392,208	-2652,478	-659,951
3	3230292,836	1615309,603	5239645,964	2936,869	-3066,156	-850,660
4				3376,161	2277,017	-2759,161
9				-6313,031	789,140	3609,822
3	3235215,404	1608472,292	5238718,926	-1985,699	3771,155	76,378
5				1822,259	2464,024	-1867,799
6				163,440	-6235,178	1791,421

2 priedo tęsinys. Trikampių punktų koordinatų vidurkiai ir nuokrypiai nuo vidurkių

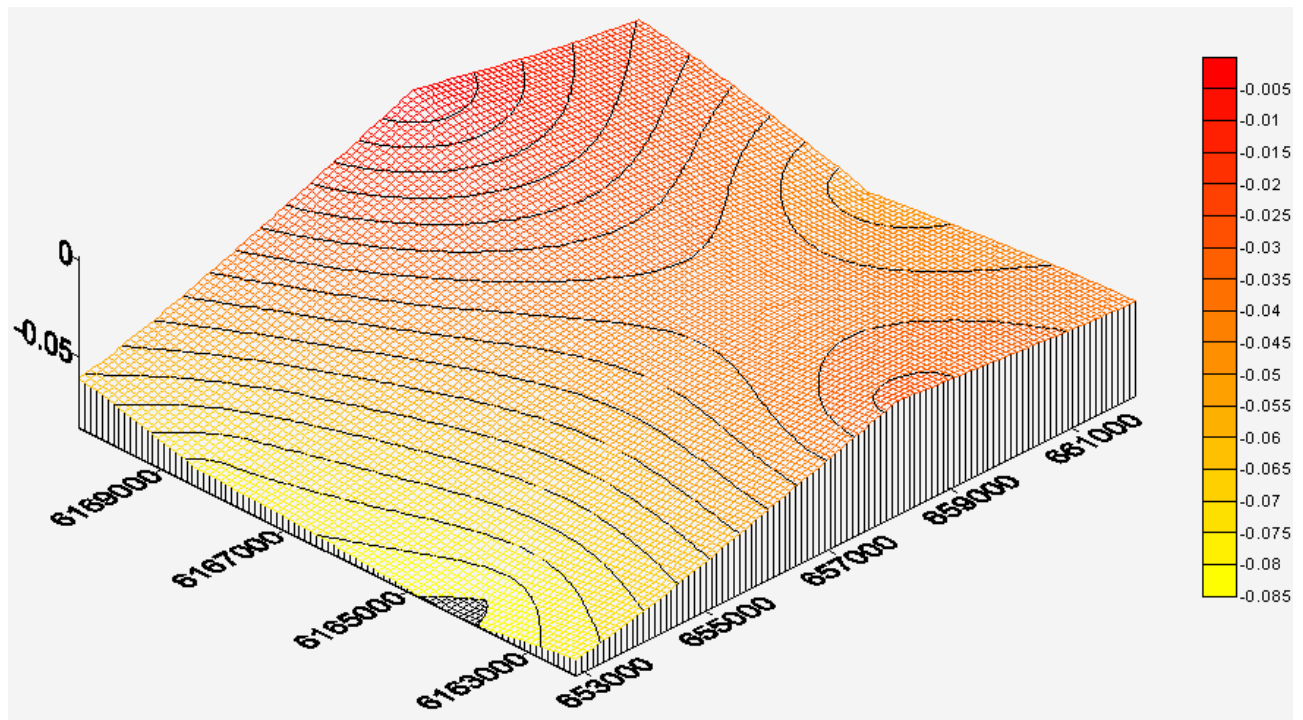
Trikampių punktų Nr.	X _{vidurkis} (m)	Y _{vidurkis} (m)	Z _{vidurkis} (m)	X _{NNV} (m)	Y _{NNV} (m)	Z _{NNV} (m)
3	3233195,815	1606063,695	5240684,934	33,890	6179,752	-1889,630
6				2183,029	-3826,581	-174,587
7				-2216,918	-2353,172	2064,216
3	3231959,146	1606110,483	5241429,996	1270,559	6132,964	-2634,692
6				3419,698	-3873,369	-919,649
8				-4690,258	-2259,596	3554,342
3	3231772,453	1609166,893	5240611,345	1457,252	3076,554	-1816,041
6				3606,391	-6929,779	-100,998
10				-5063,643	3853,224	1917,038
3	3230305,804	1609658,029	5241357,612	2923,901	2585,418	-2562,308
7				673,093	-5947,506	1391,538
10				-3596,994	3362,088	1170,771
3	3228159,466	1610731,026	5242345,143	5070,239	1512,421	-3549,839
8				-890,578	-6880,139	2639,195
9				-4179,661	5367,717	910,643
3	3229069,134	1609704,817	5242102,675	4160,571	2538,630	-3307,371
8				-1800,246	-5853,930	2881,663
10				-2360,324	3315,300	425,708
4	3232471,823	1613847,684	5238755,438	1197,174	3738,936	-1868,635
5				4565,840	-2911,368	-1904,311
10				-5763,013	-827,567	3772,945
4	3228119,204	1615568,493	5240890,324	5549,793	2018,127	-4003,521
9				-4139,399	530,250	2365,462
10				-1410,394	-2548,376	1638,059
5	3233041,772	1608731,182	5239963,286	3995,891	2205,134	-3112,159
6				2337,072	-6494,068	547,061
10				-6332,962	4288,935	2565,097
6	3229785,514	1606369,373	5242674,356	5593,330	-4132,259	-2164,009
8				-2516,626	-2518,486	2309,982
10				-3076,704	6650,744	-145,973

2 priedo pabaiga. Trikampių punktų koordinatų vidurkiai ir nuokrypiai nuo vidurkių

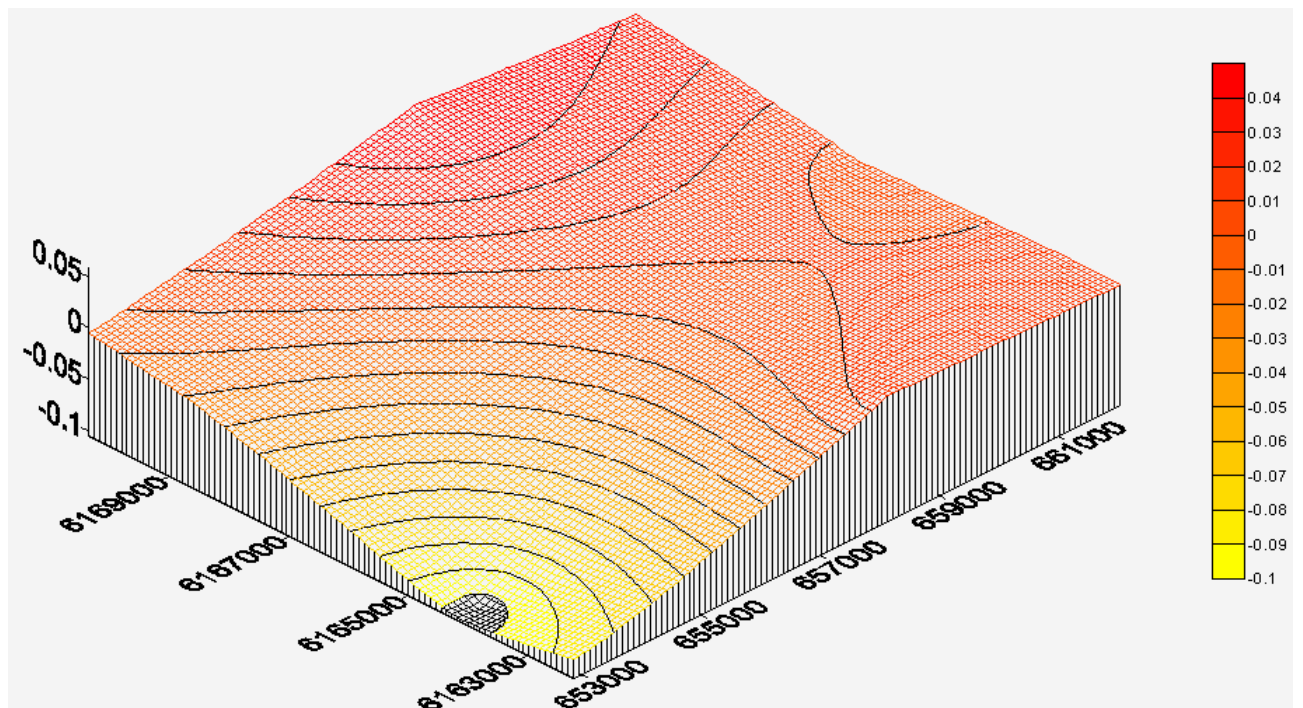
7	3227409,197	1607886,718	5243663,091	3569,700	-4176,195	-913,941
8				-140,309	-4035,831	1321,247
9				-3429,392	8212,025	-407,305
7	3228318,865	1606860,509	5243420,624	2660,032	-3149,986	-671,474
8				-1049,977	-3009,622	1563,714
10				-1610,055	6159,608	-892,241
8	3225985,834	1610989,916	5243589,502	1283,054	-7139,029	1394,836
9				-2006,029	5108,827	-333,716
10				722,976	2030,201	-1061,119

3 priedas. Geodinaminių įtempių izogramos

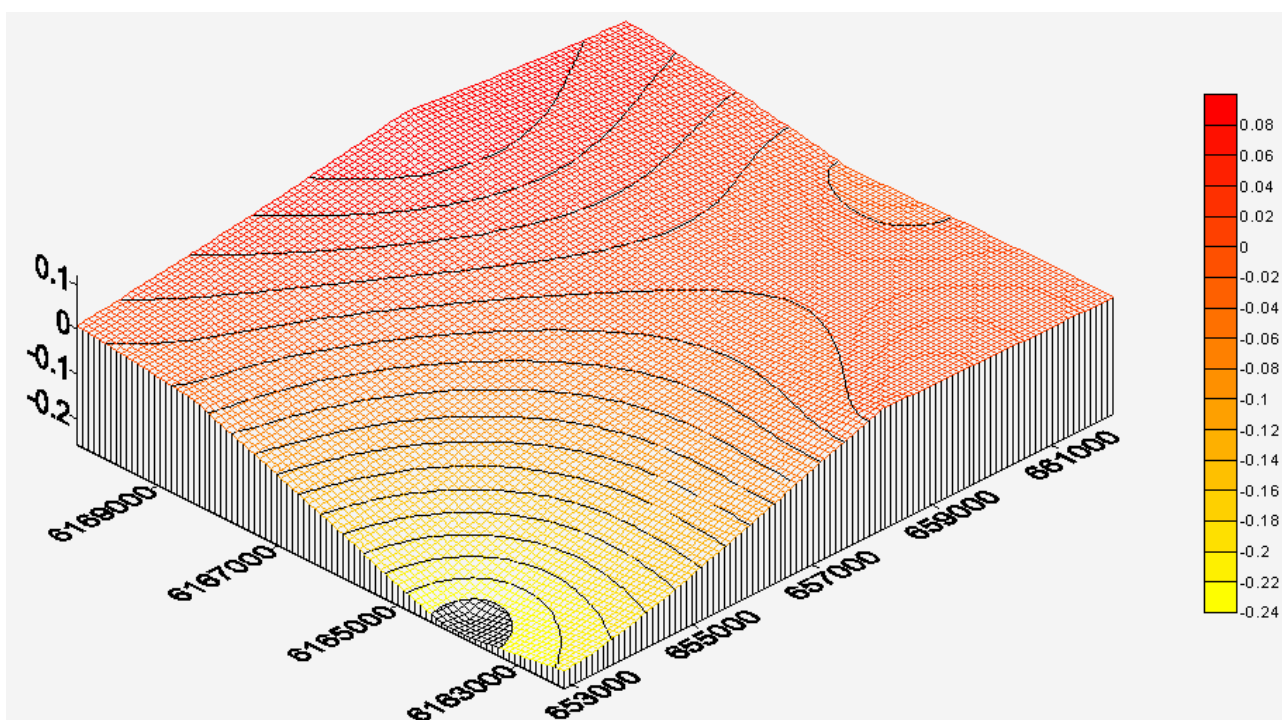
3.1 priedas. Geodinaminių įtempių izogramos (1 variantas)



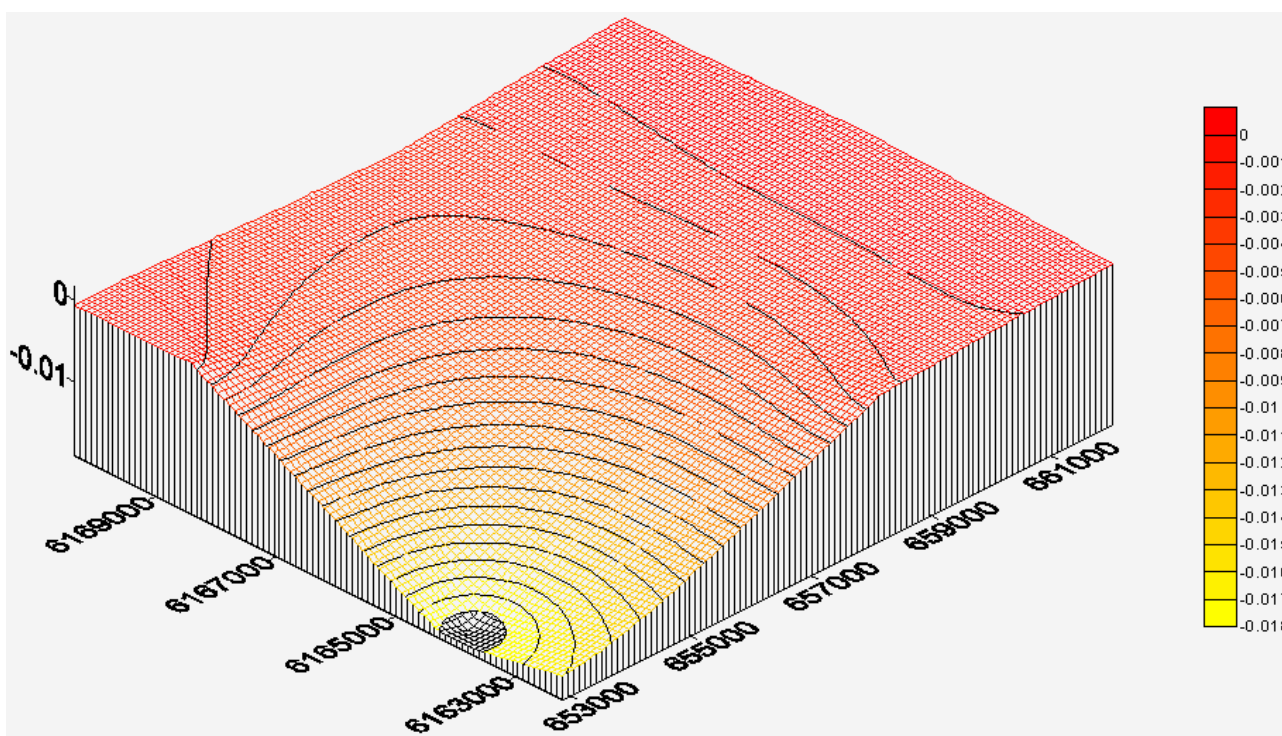
3.1.A pav. σ_{xx} įtempių izograma



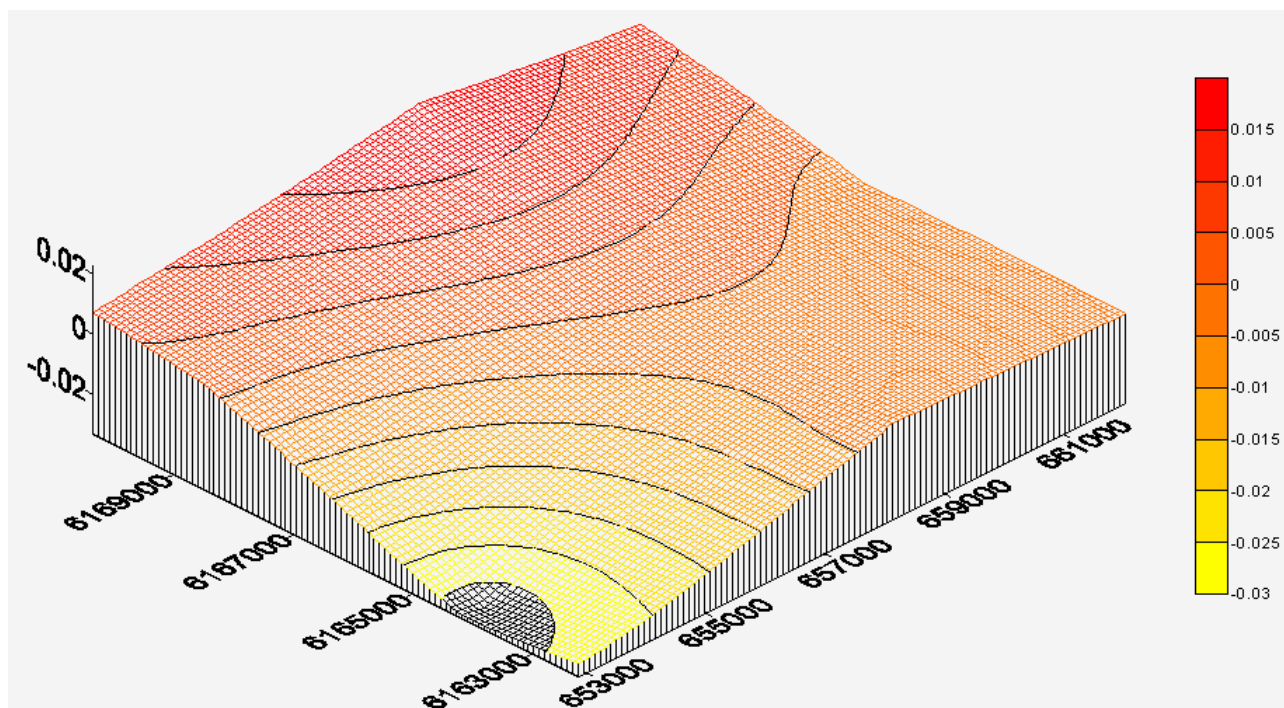
3.1.B pav. σ_{yy} įtempių izograma



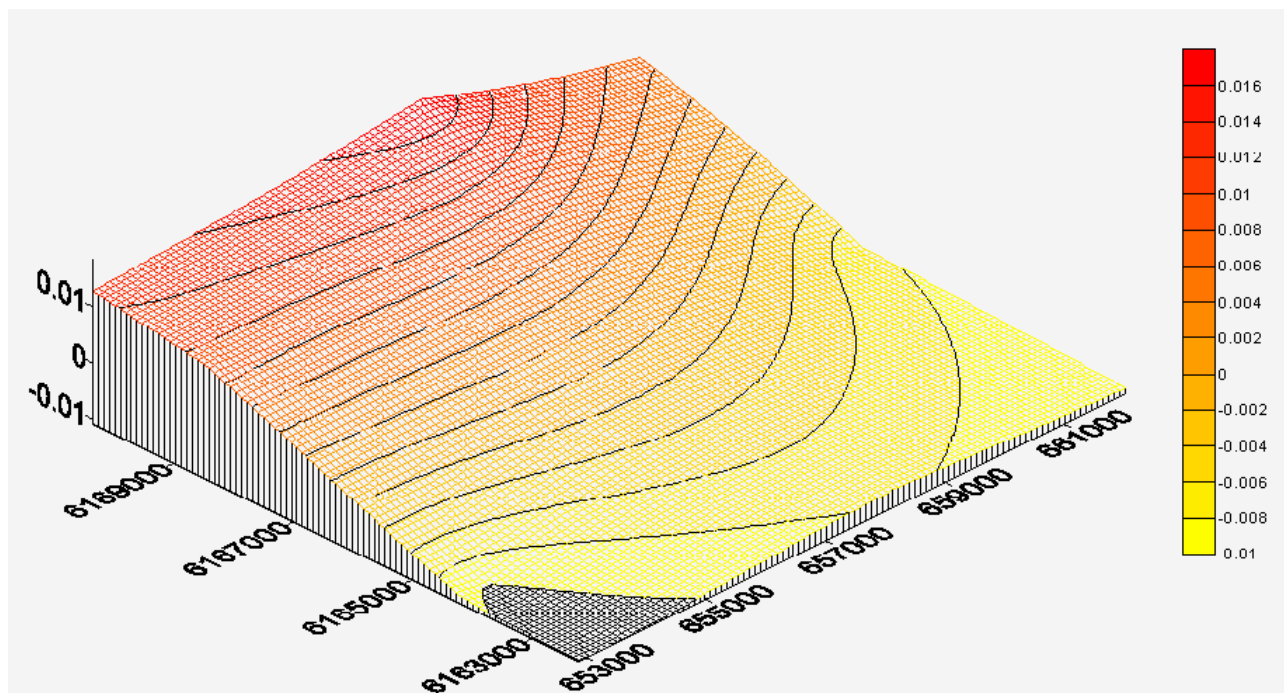
3.1.C pav. σ_{zz} įtempių izograma



3.1.D pav. σ_{xy} įtempių izograma

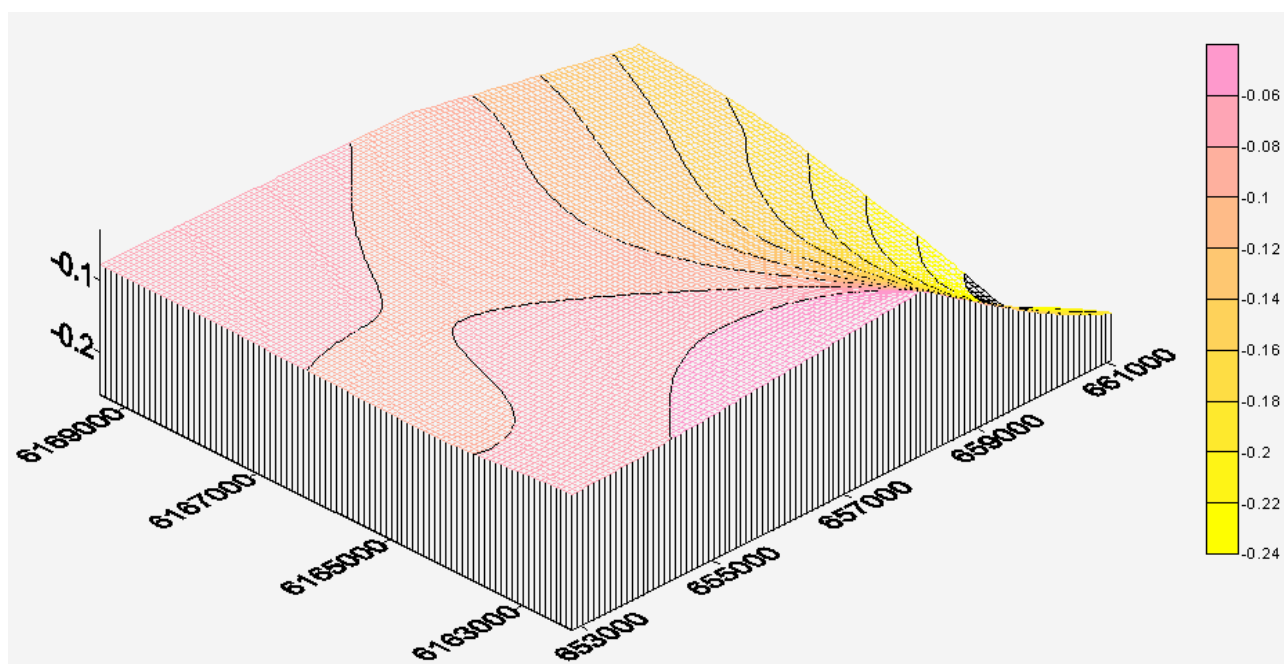


3.1.E pav. σ_{xz} įtempių izograma

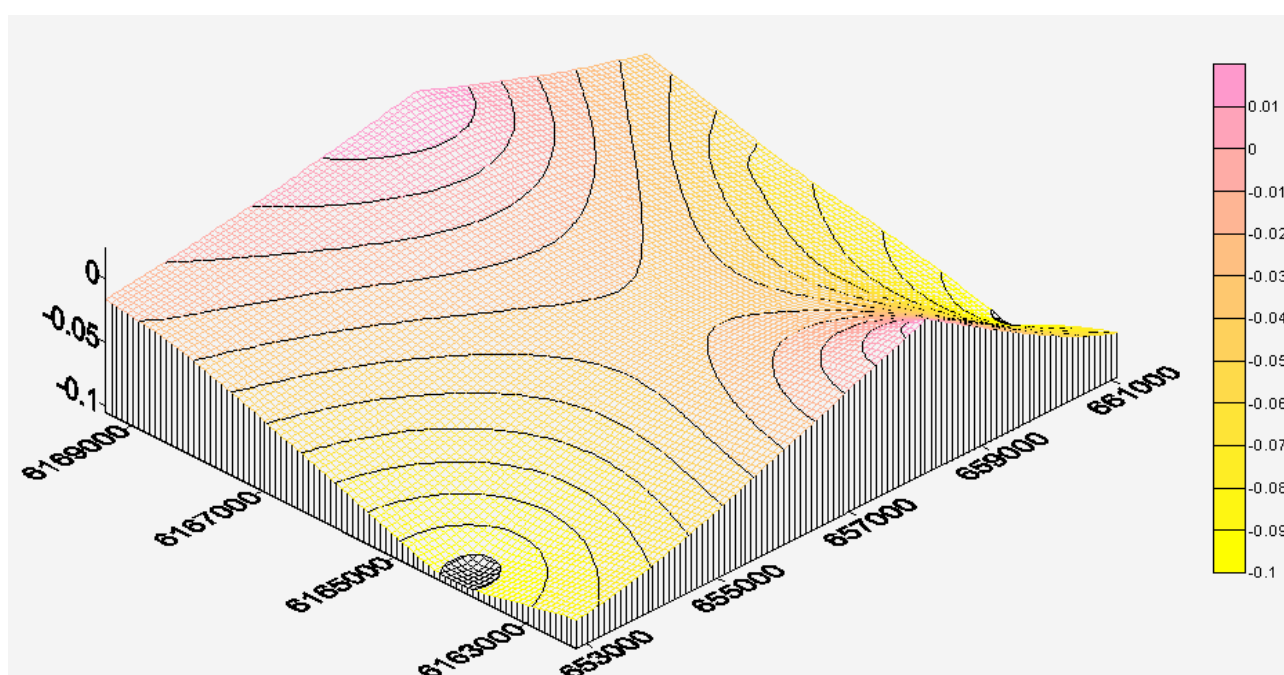


3.1.F pav. σ_{yz} įtempių izograma

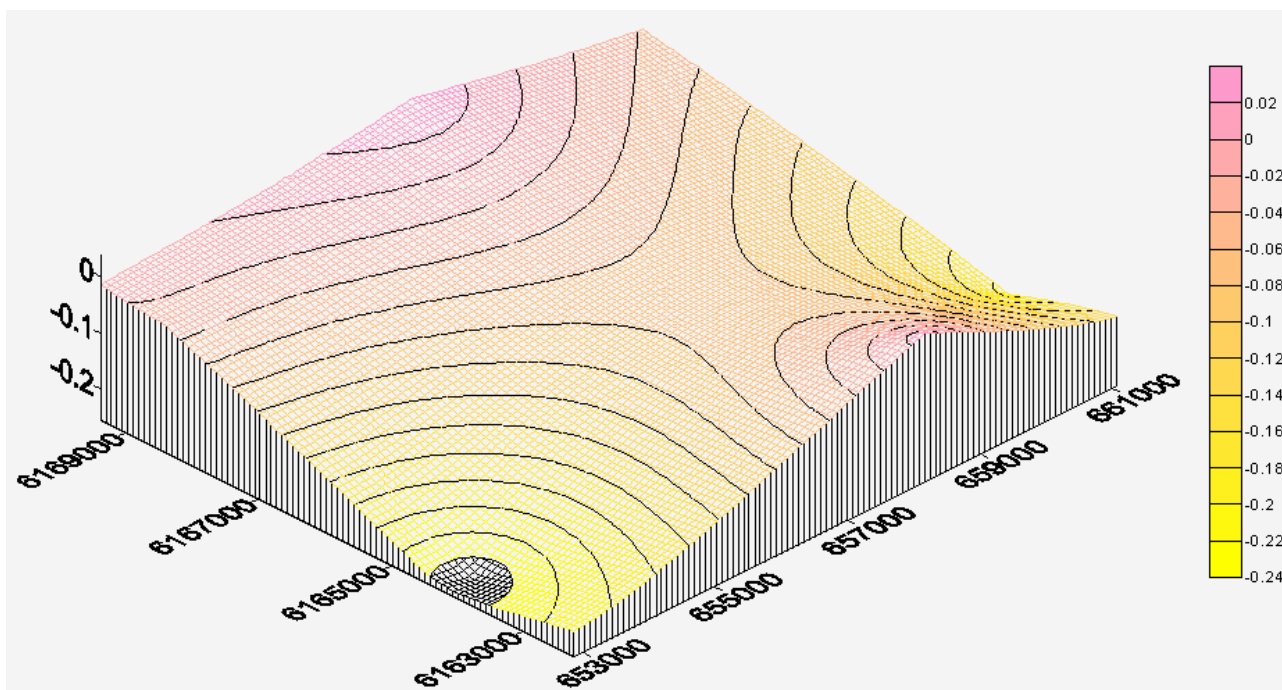
3.2 priedas. Geodinaminių įtempių izogramos (2 variantas)



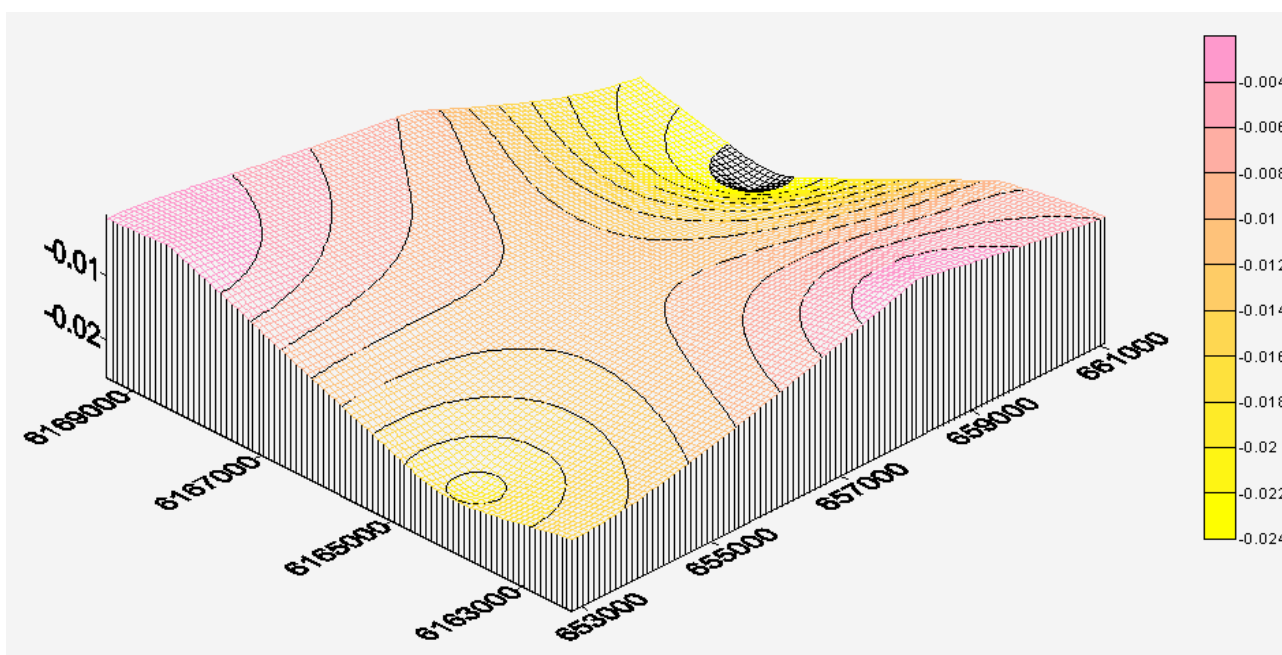
3.2.A pav. σ_{xx} įtempių izograma



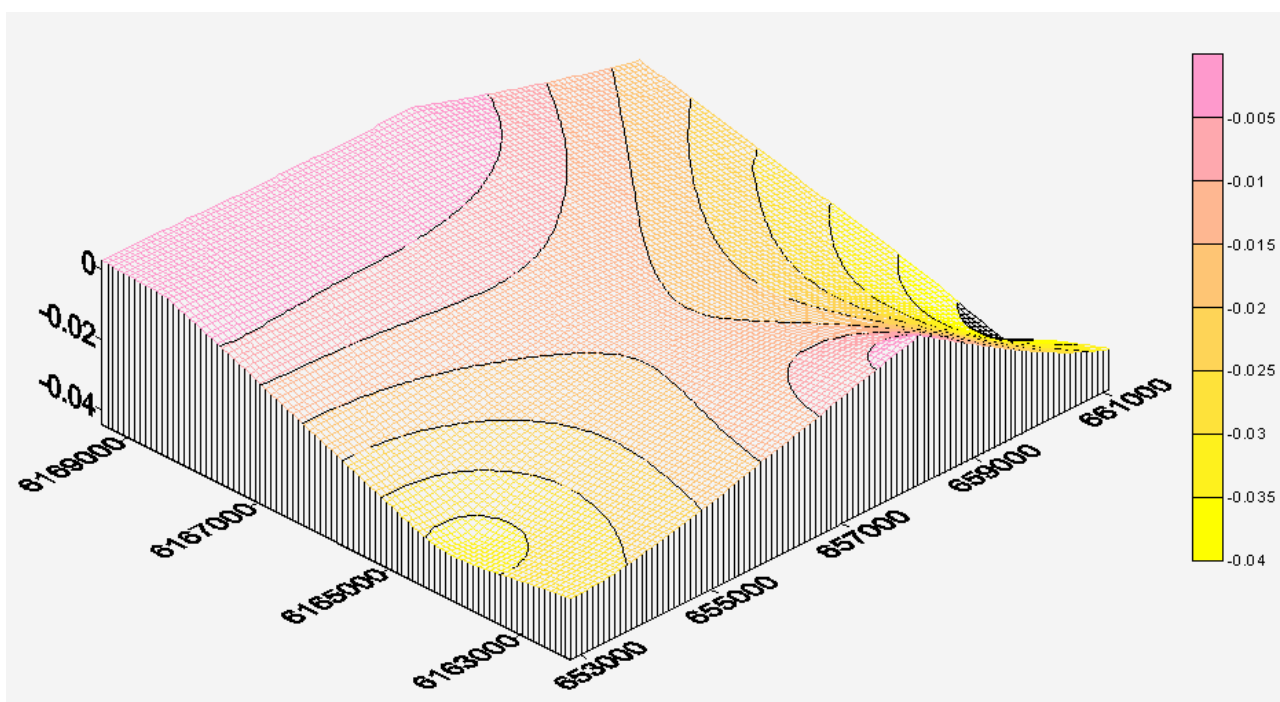
3.2.B pav. σ_{yy} įtempių izograma



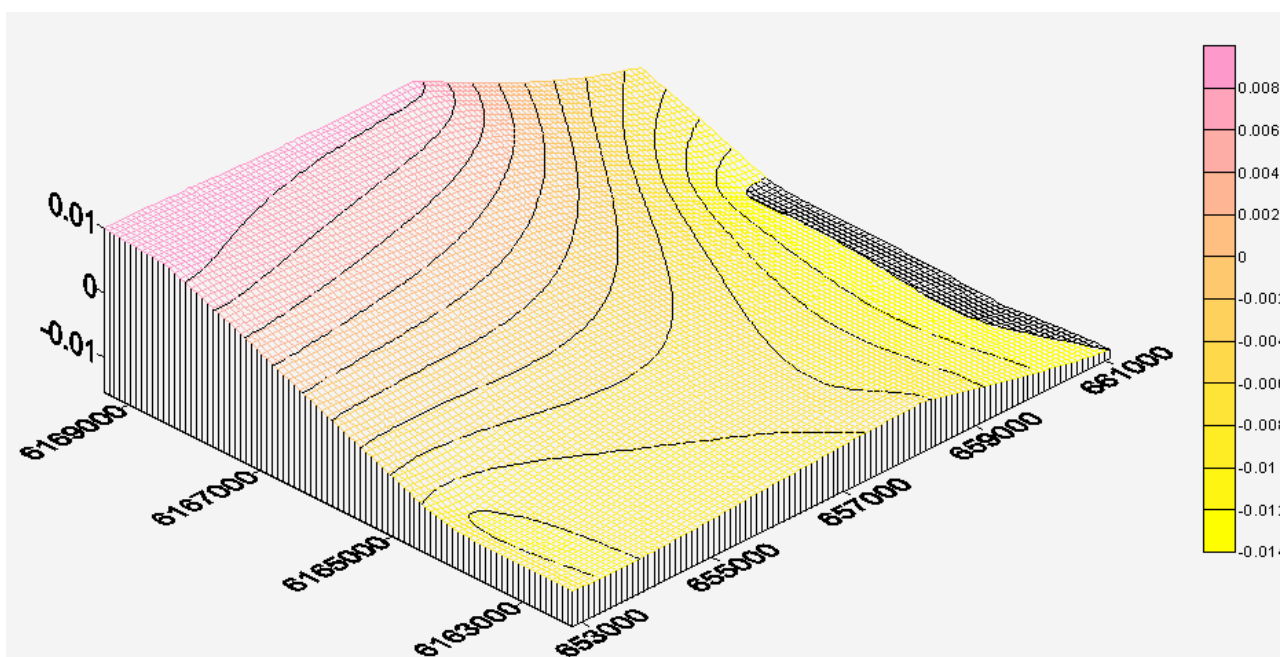
3.2.C pav. σ_{zz} įtempių izograma



3.2.D pav. σ_{xy} įtempių izograma

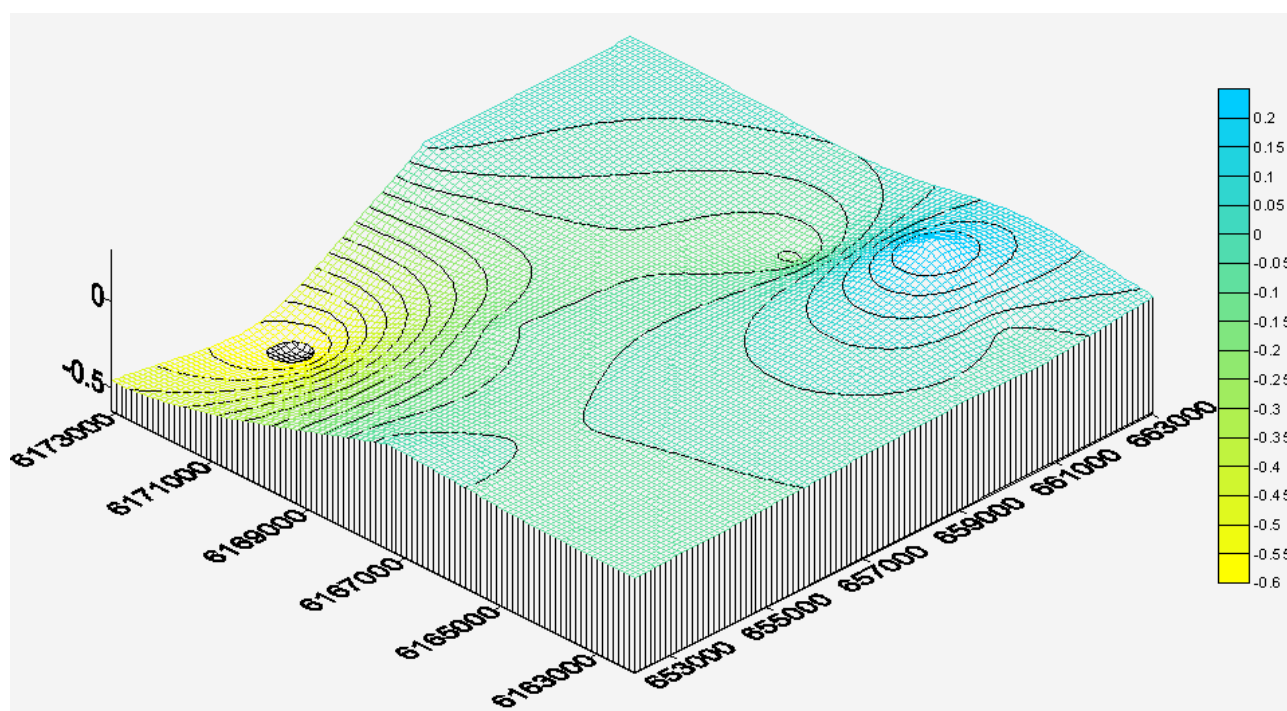


3.2.E pav. σ_{xz} įtempių izograma

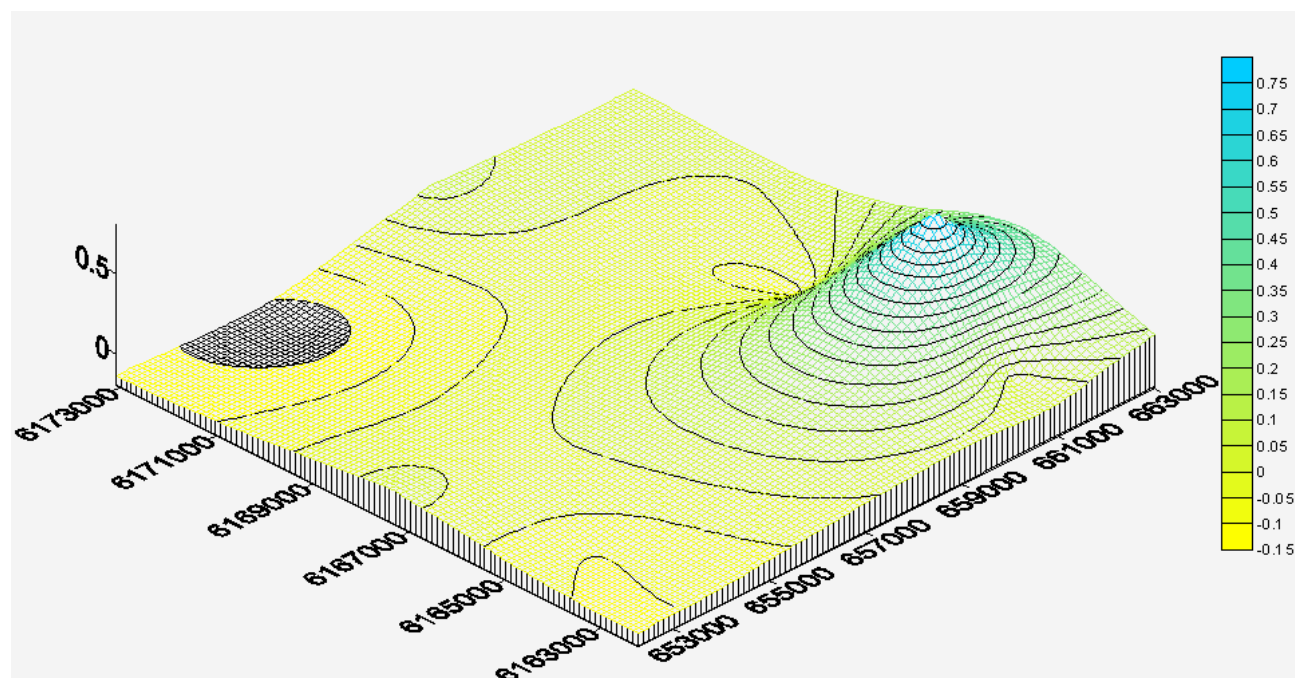


3.2.F pav. σ_{yz} įtempių izograma

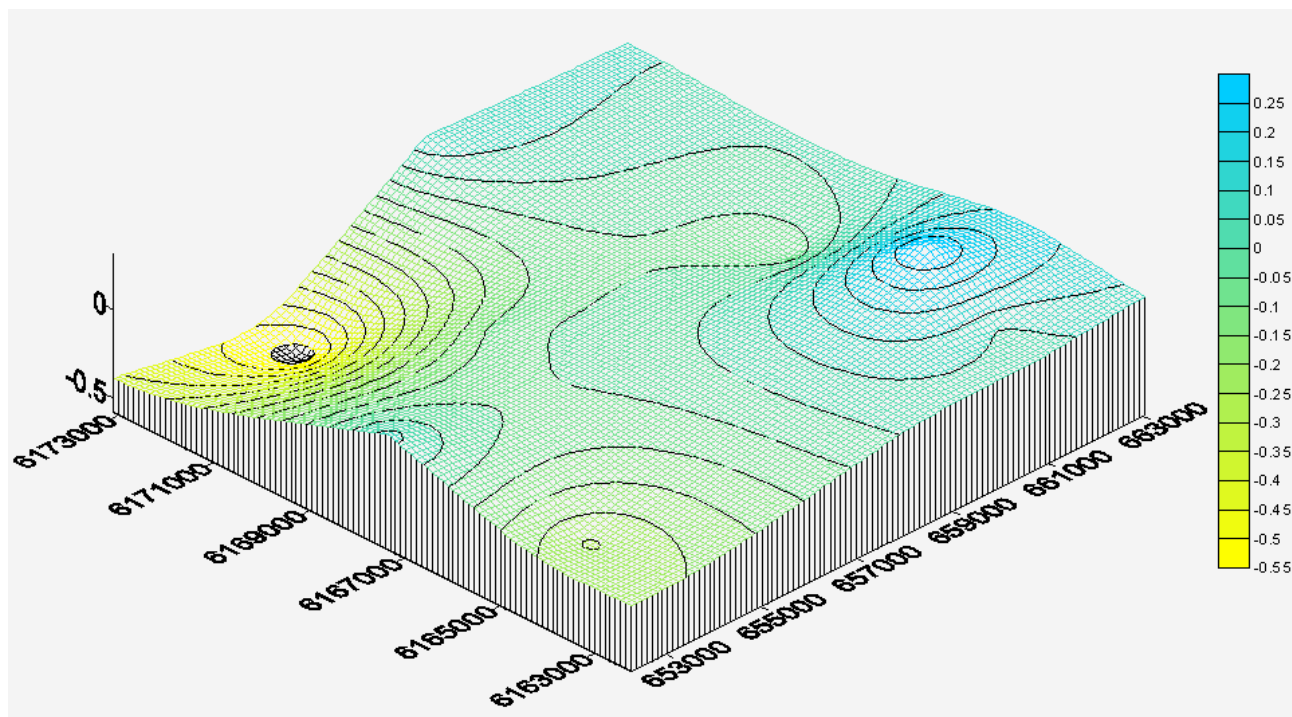
3.3 priedas. Geodinaminių įtempių izogramos (3 variantas)



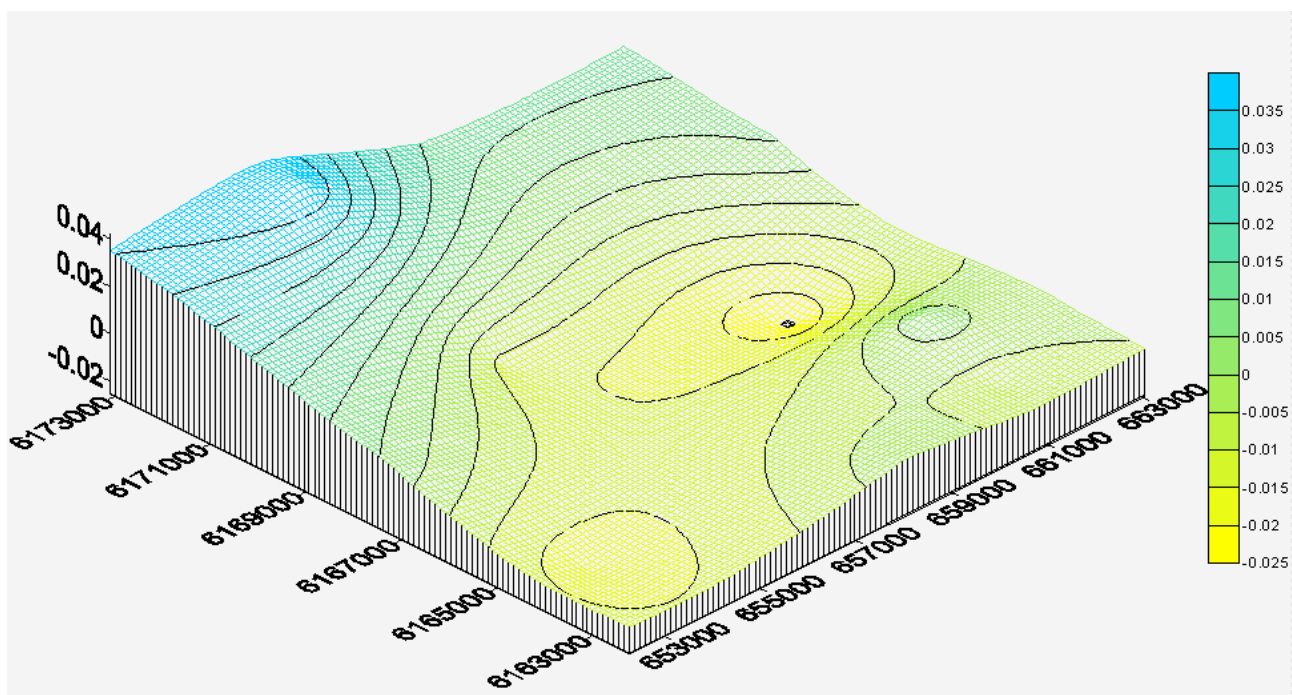
3.3.A pav. σ_{xx} įtempių izograma



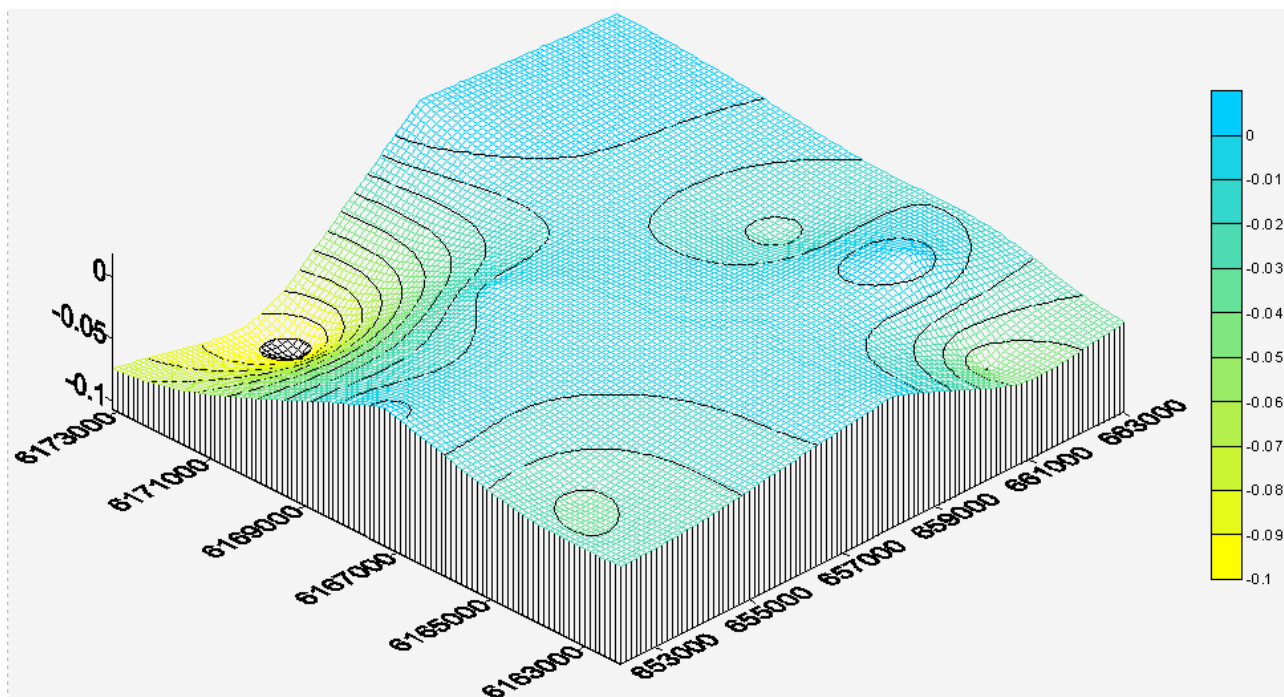
3.3.B pav. σ_{yy} įtempių izograma



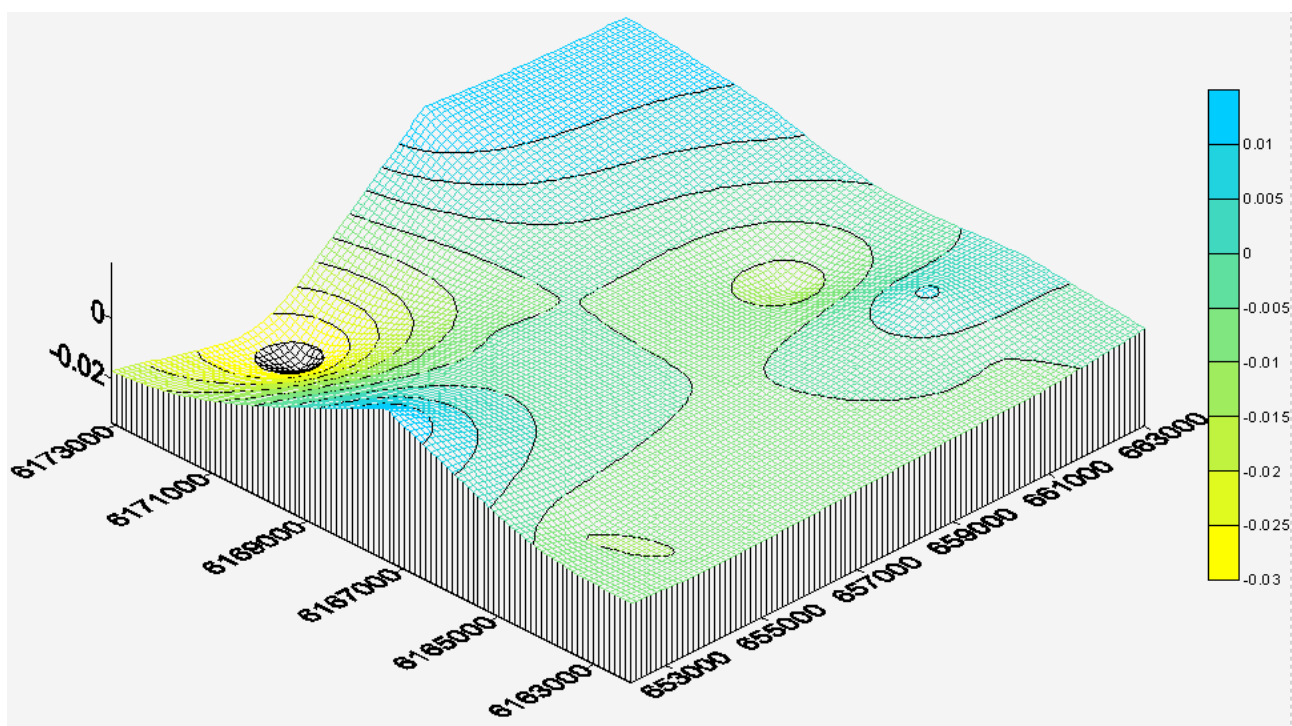
3.3.C pav. σ_{zz} įtempių izograma



3.3.D pav. σ_{xy} įtempių izograma

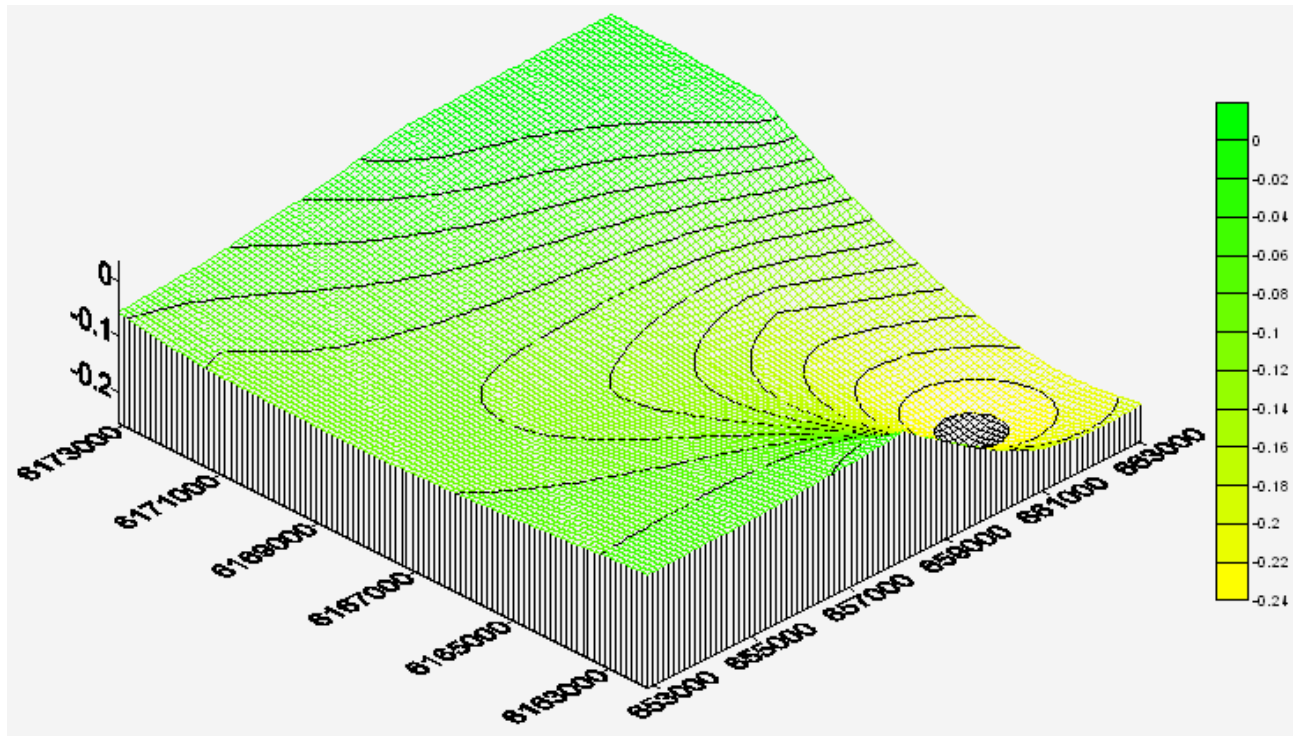


3.3.E pav. σ_{xz} įtempių izograma

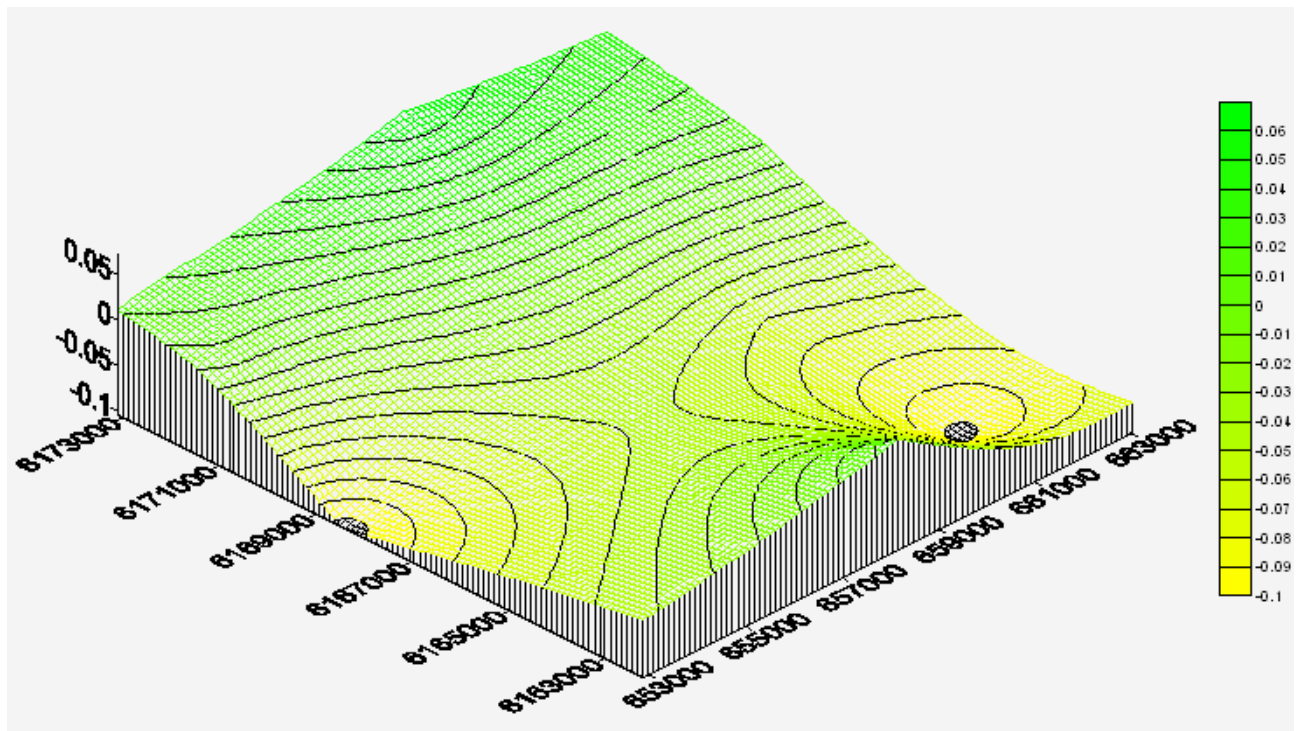


3.3.F pav. σ_{yz} įtempių izograma

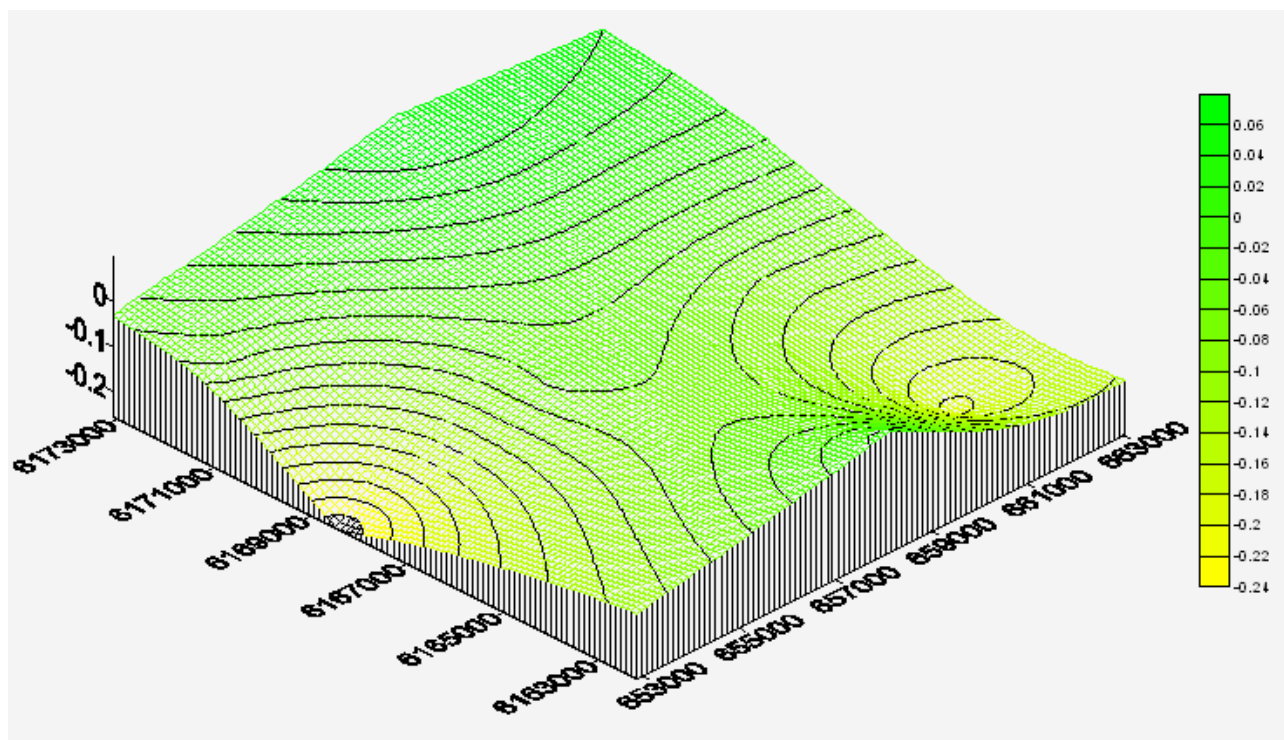
3.4 priedas. Geodinaminių įtempių izogramos (4 variantas)



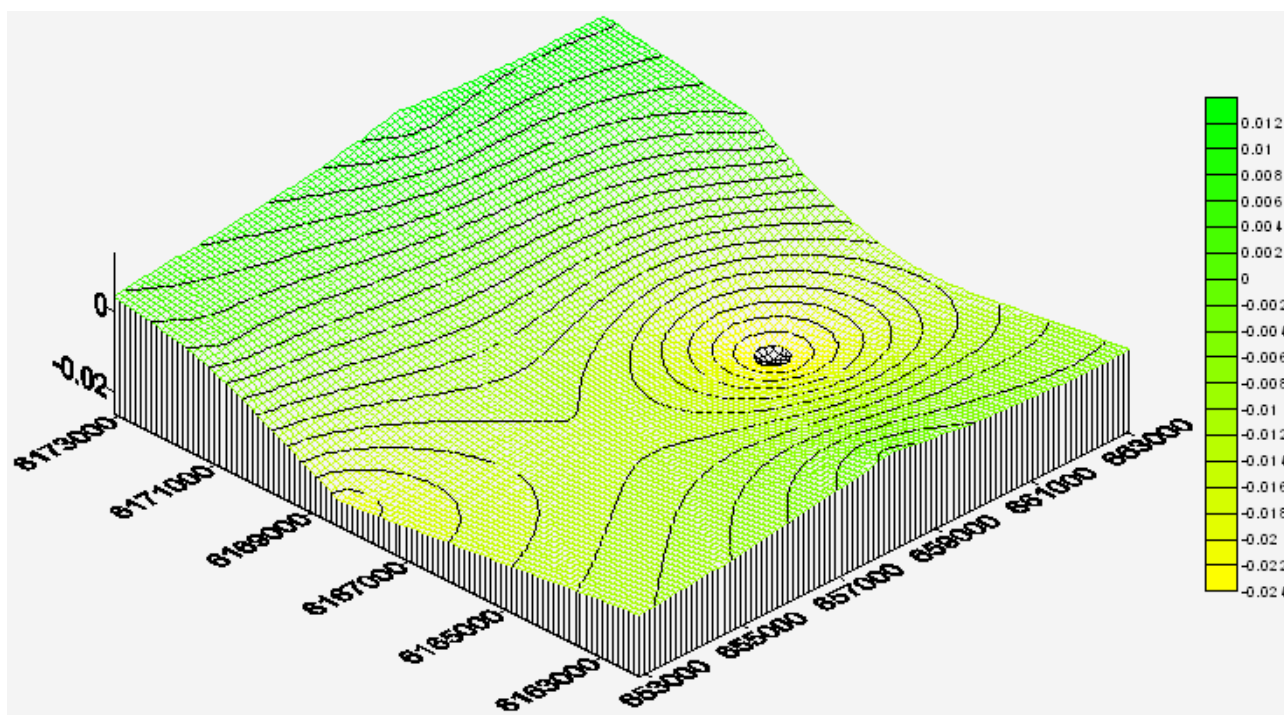
3.4.A pav. σ_{xx} įtempių izograma



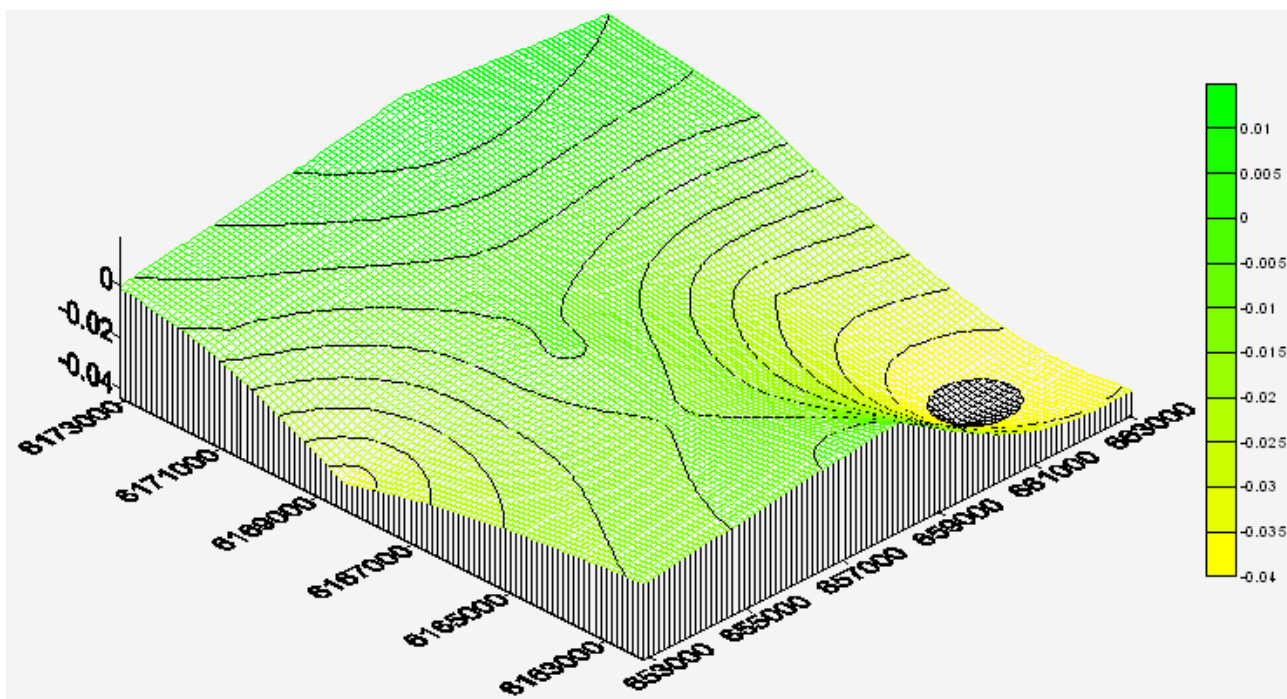
3.4.B pav. σ_{yy} įtempių izograma



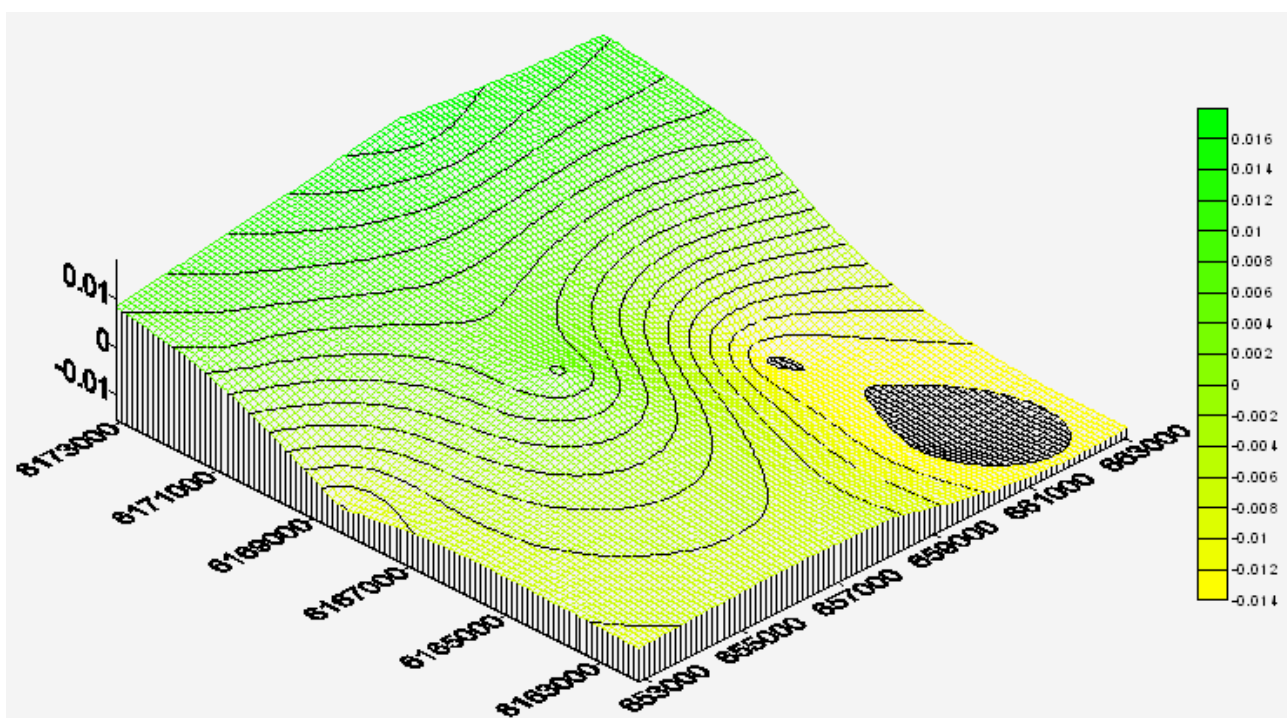
3.4.C pav. σ_{zz} įtempių izograma



3.4.D pav. σ_{xy} įtempių izograma

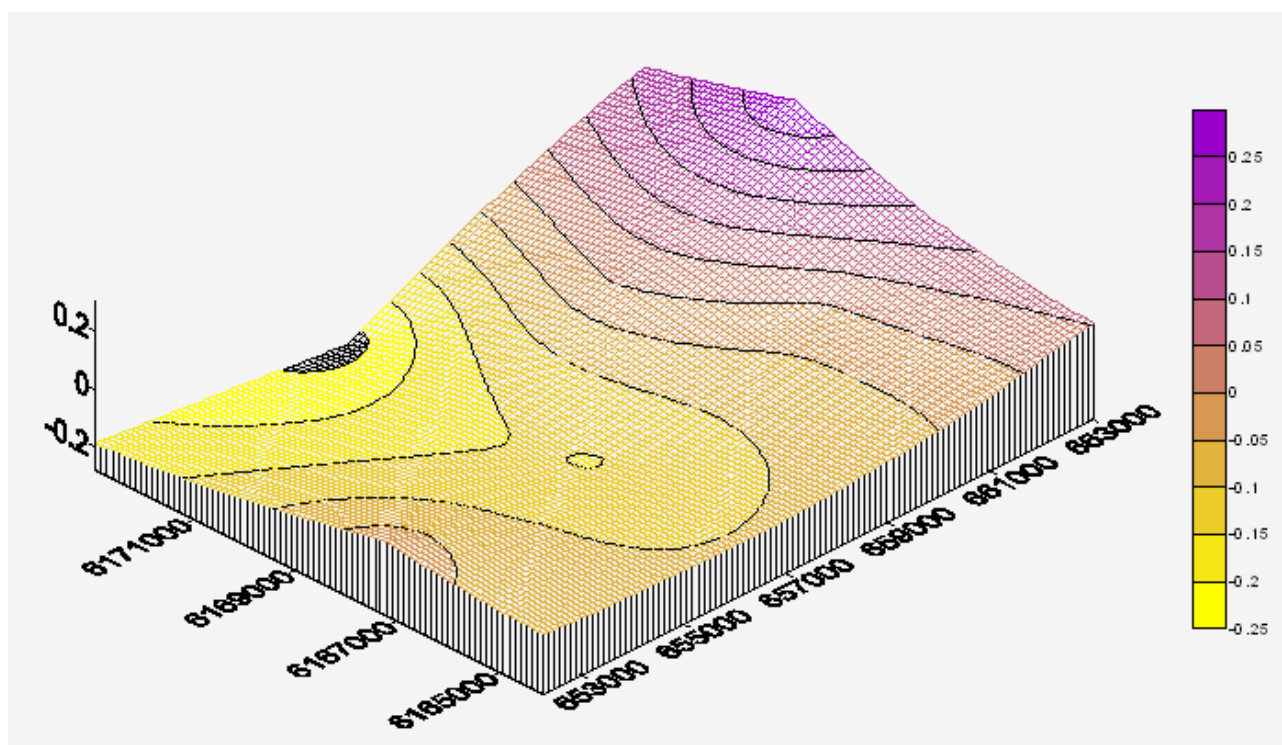


3.4.E pav. σ_{xz} įtempių izograma

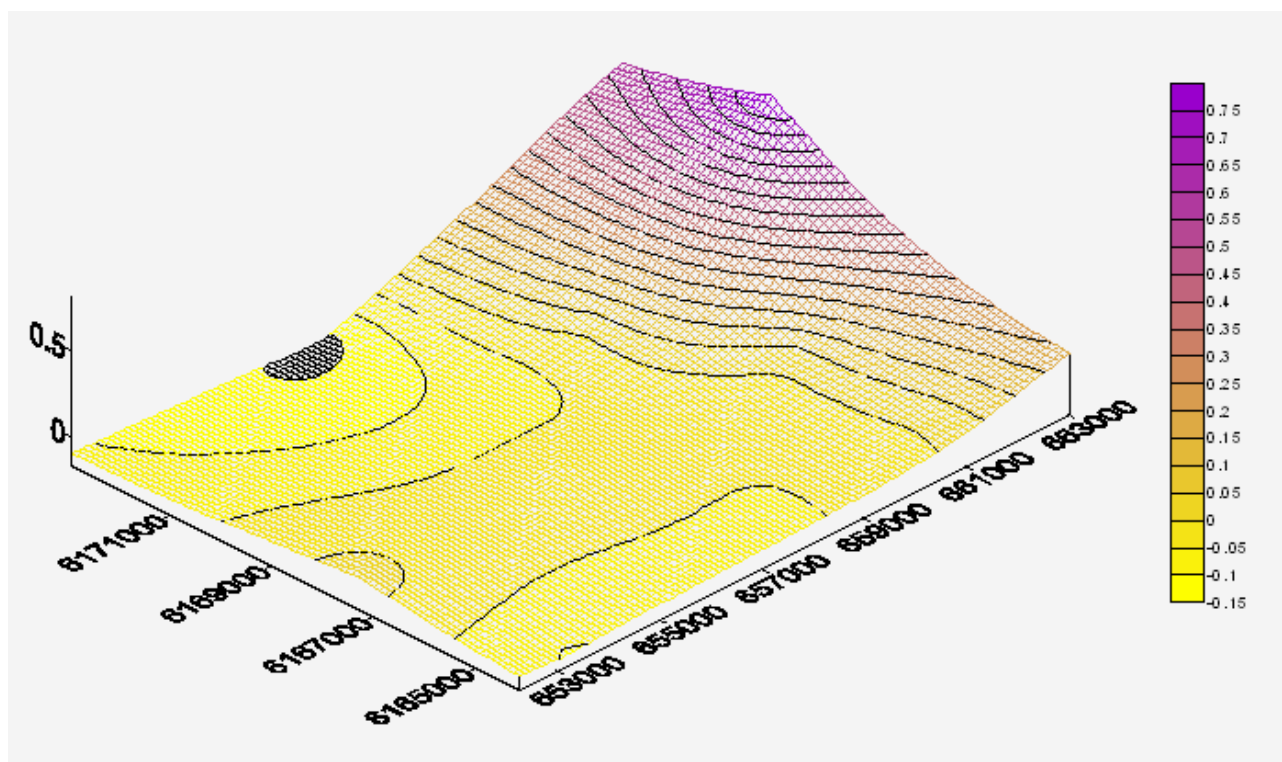


3.4.F pav. σ_{yz} įtempių izograma

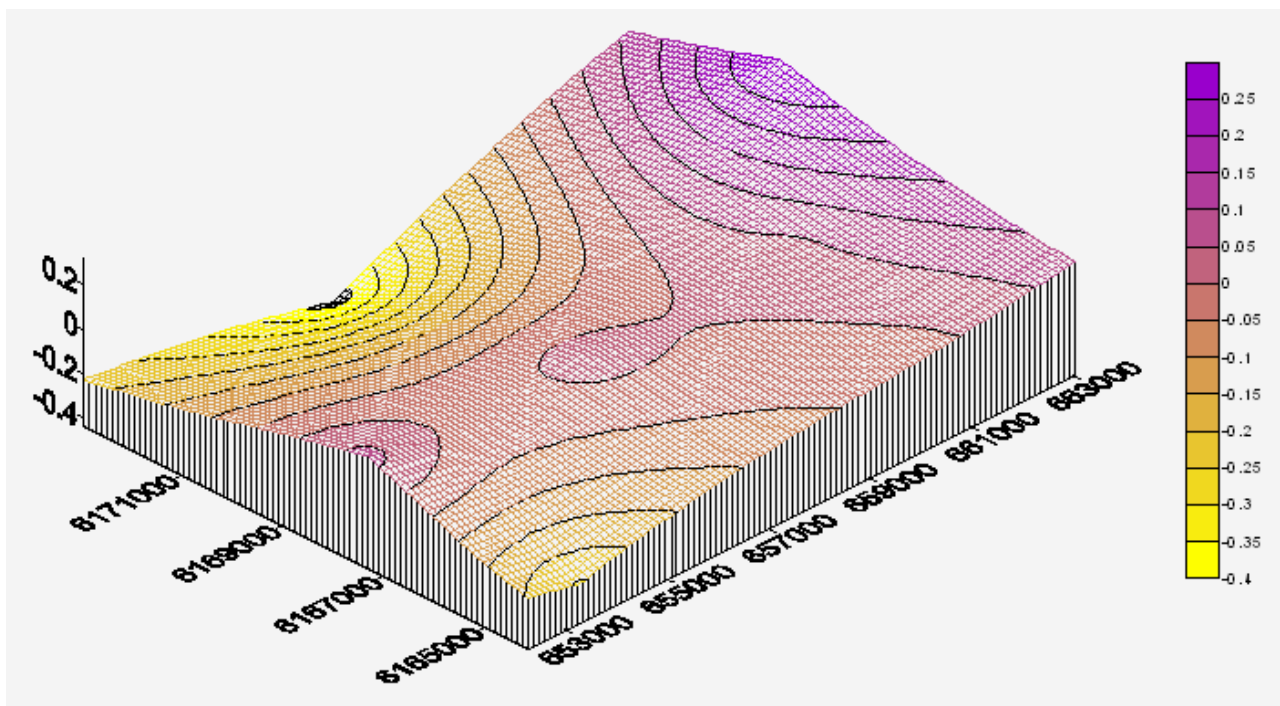
3.5 priedas. Geodinaminių įtempių izogramos (5 variantas)



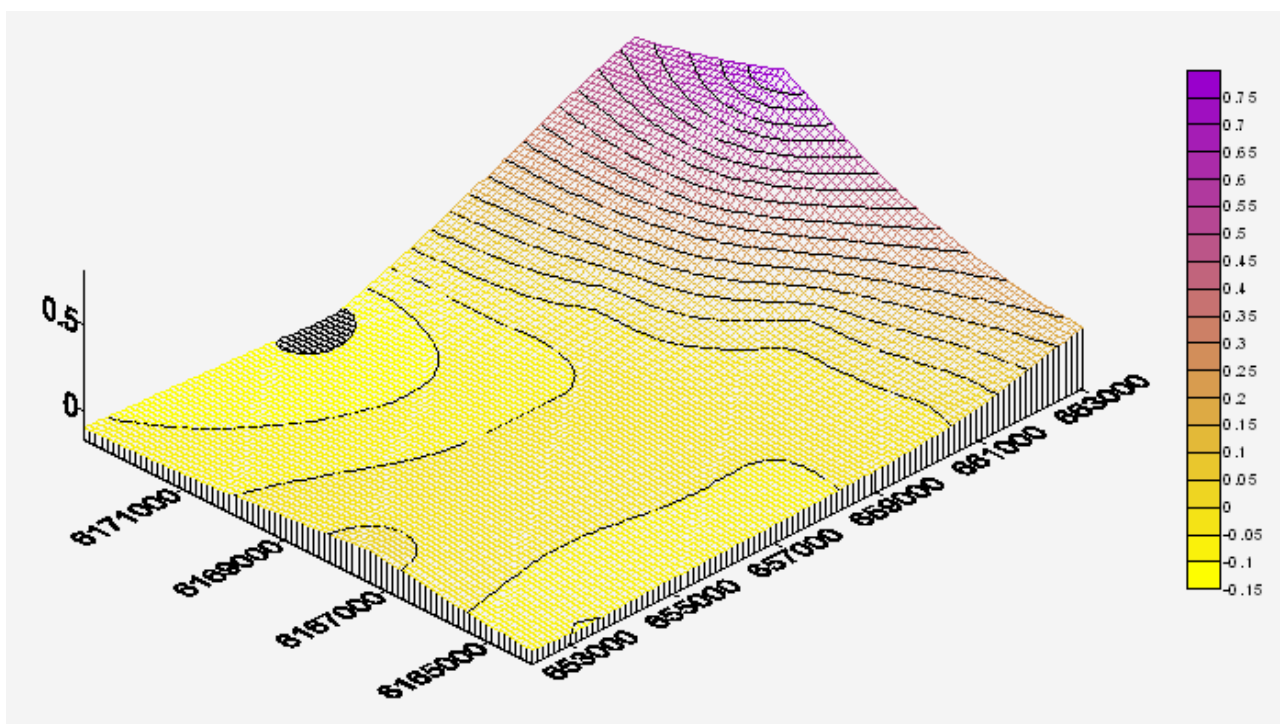
3.5.A pav. σ_{xx} įtempių izograma



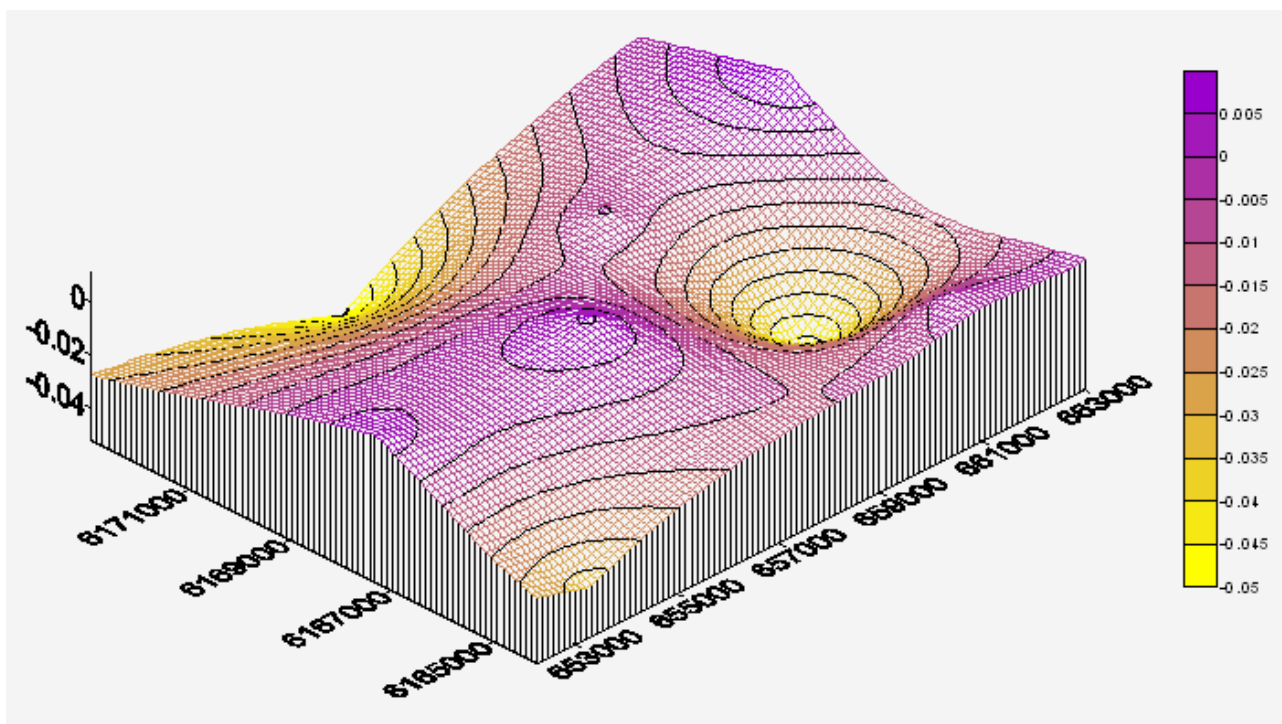
3.5.B pav. σ_{yy} įtempių izograma



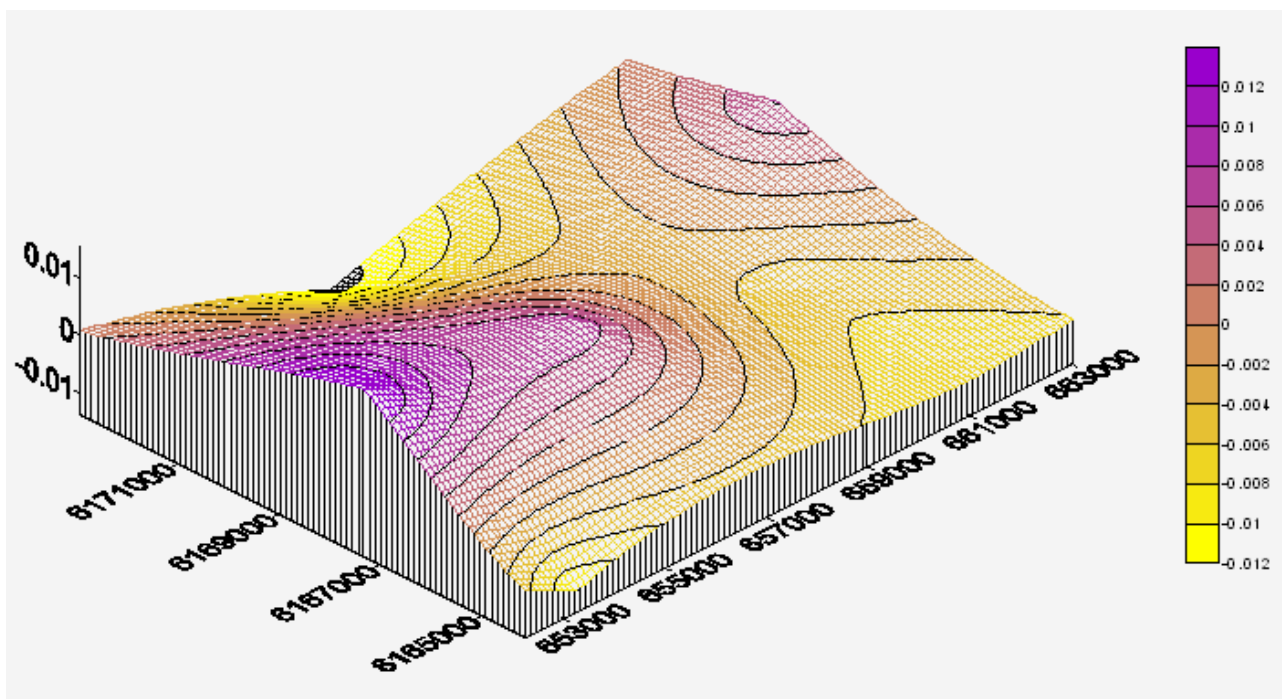
3.5.C pav. σ_{zz} įtempių izograma



3.5.D pav. σ_{xy} įtempių izograma

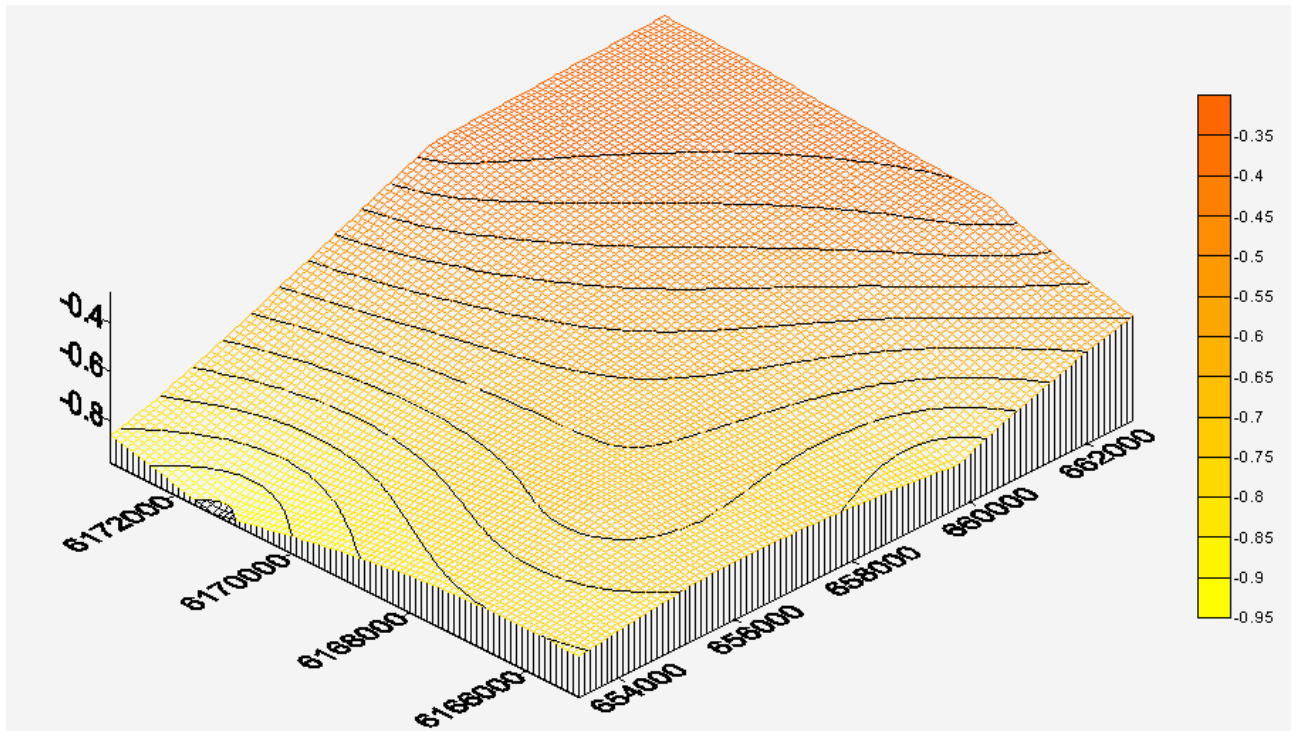


3.5.E pav. σ_{xz} įtempių izograma

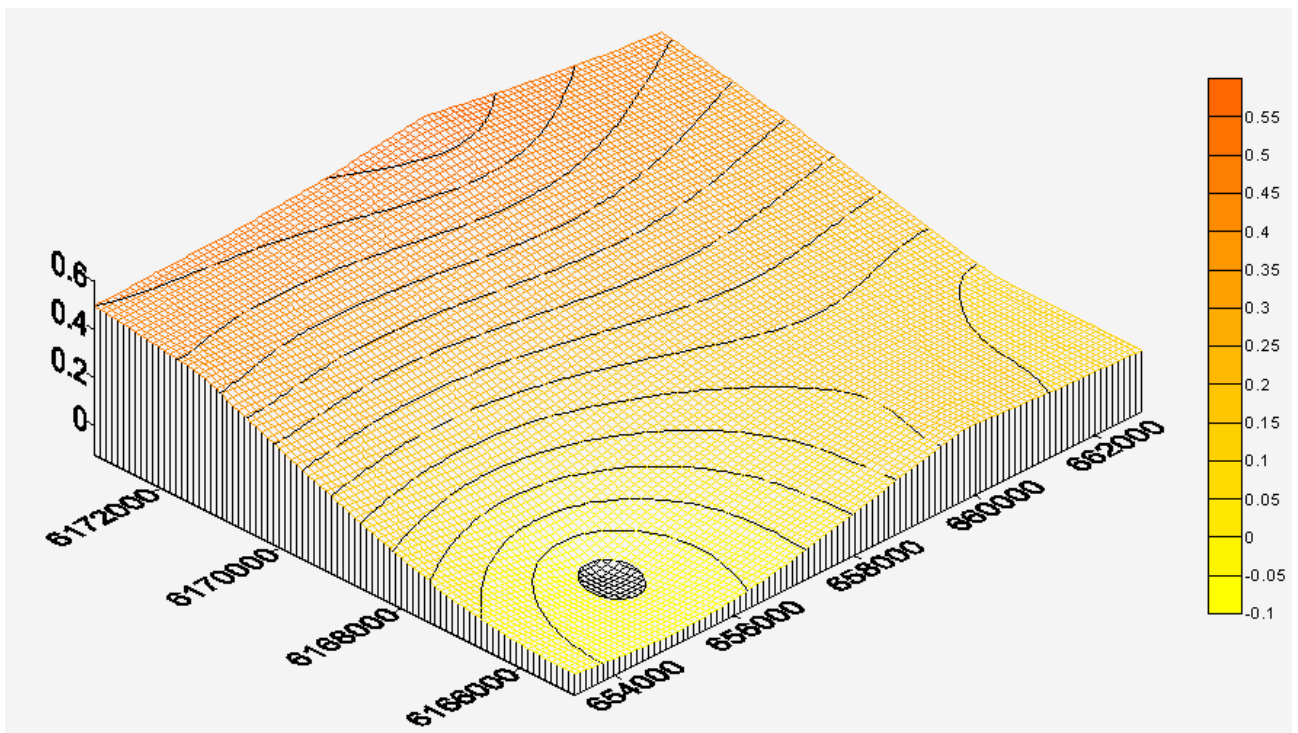


3.5.F pav. σ_{yz} įtempių izograma

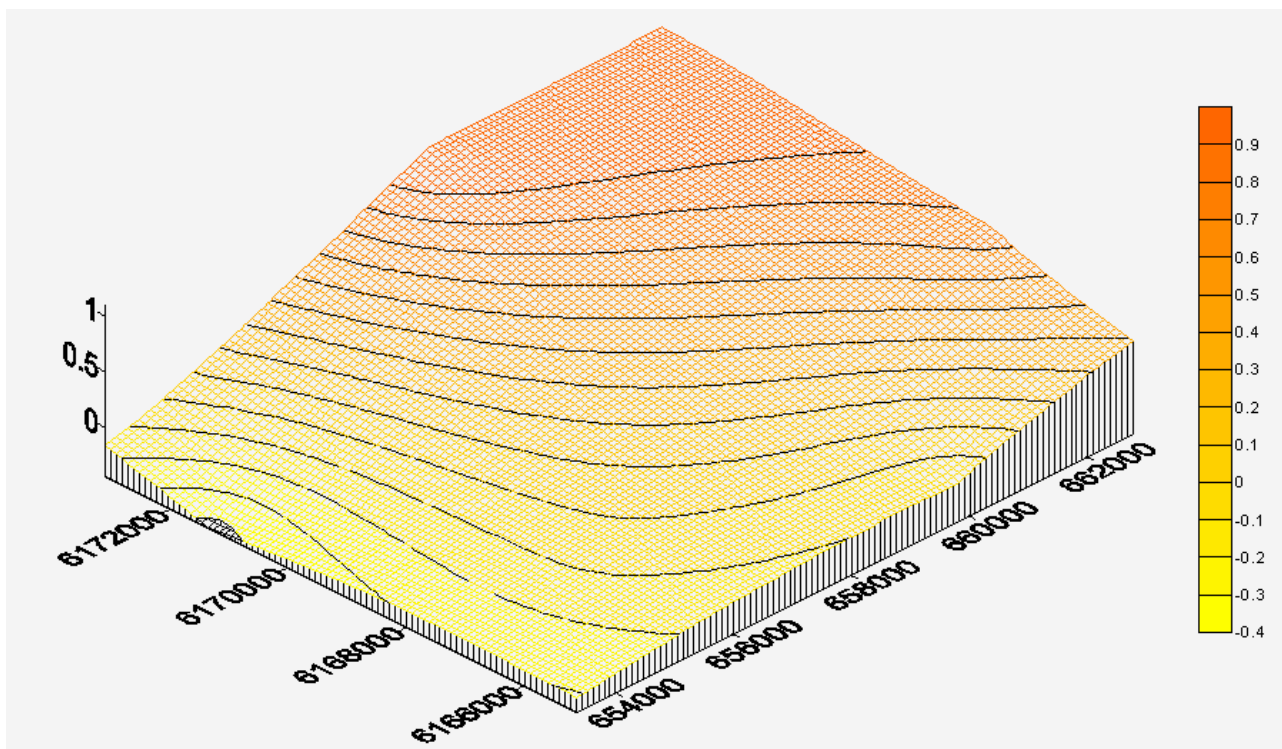
3.6 priedas. Geodinaminių įtempių izogramos (6 variantas)



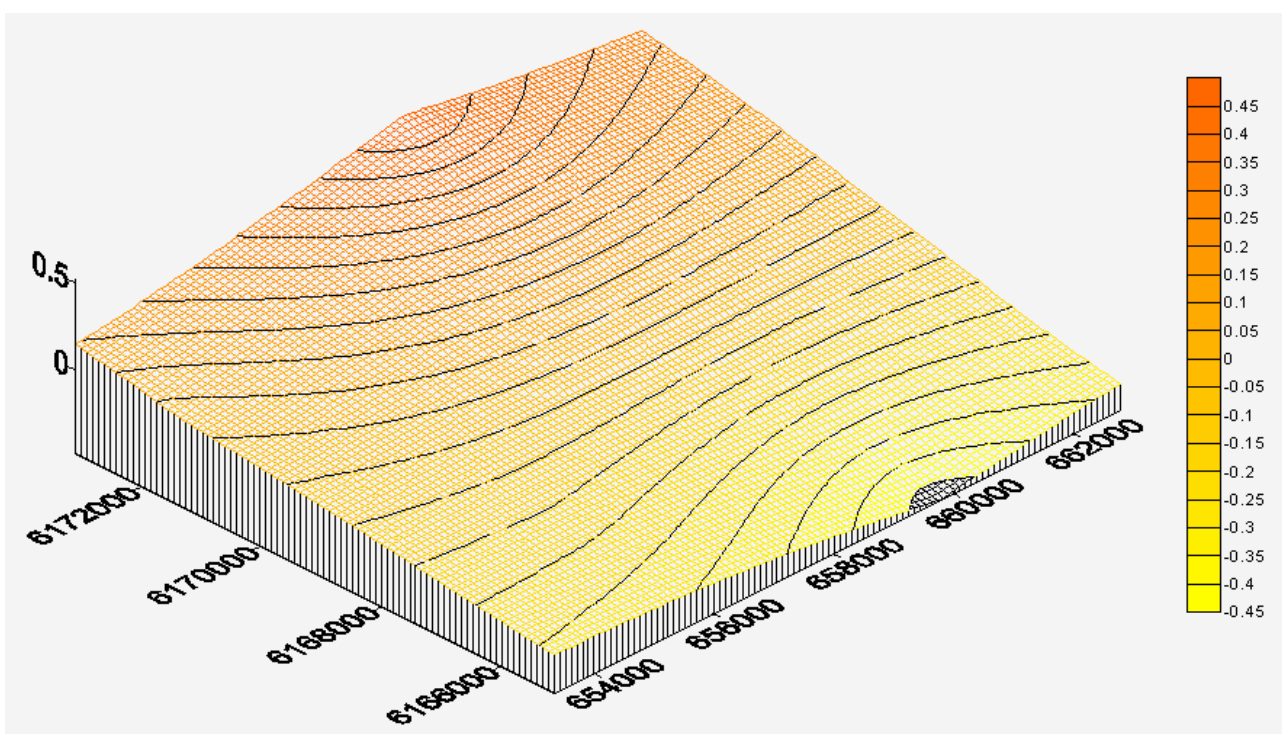
3.6.A pav. σ_{xx} įtempių izograma



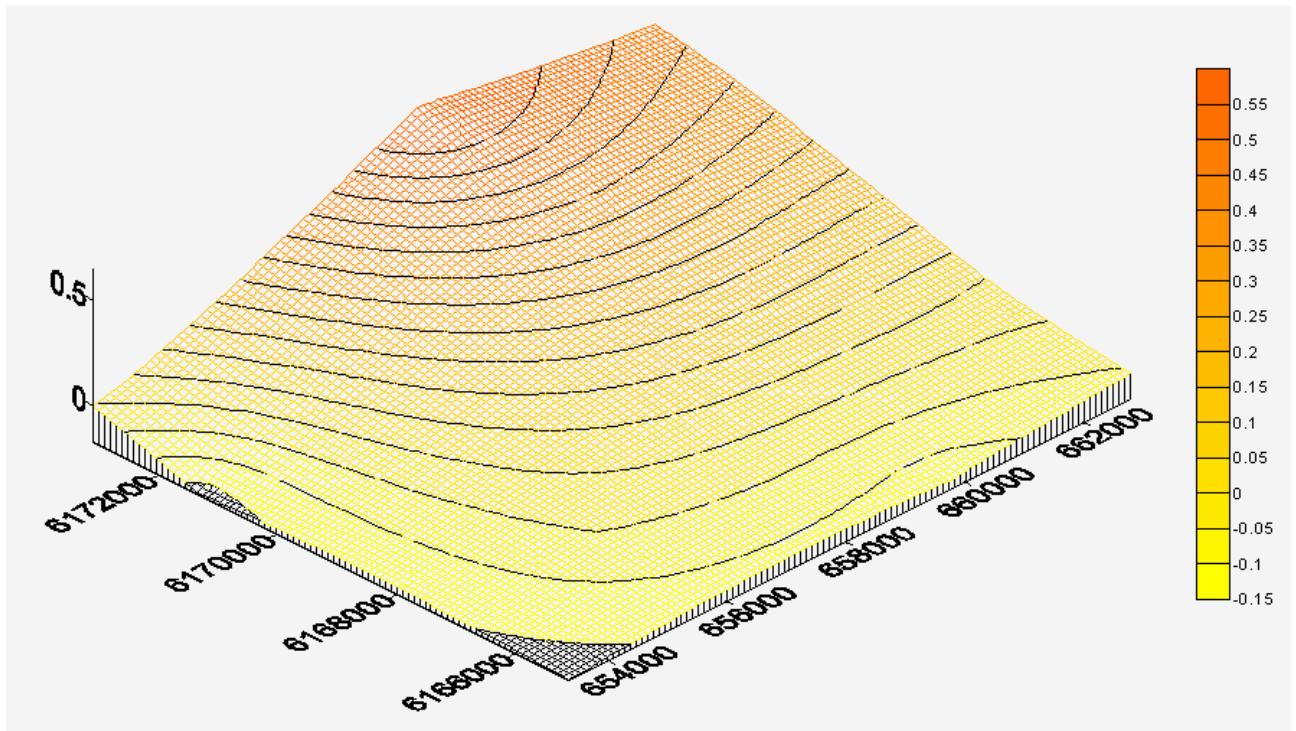
3.6.B pav. σ_{yy} įtempių izograma



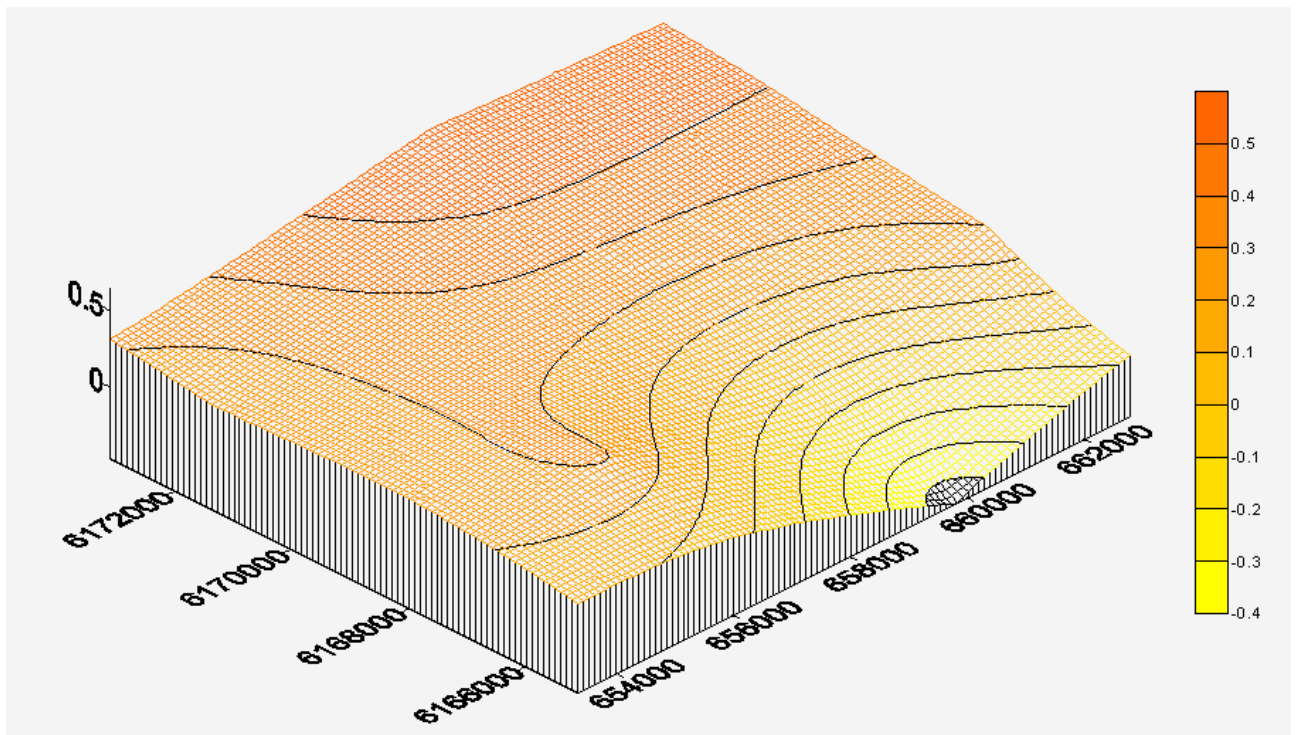
3.6.C pav. σ_{zz} įtempių izograma



3.6.D pav. σ_{xy} įtempių izograma



3.6.E pav. σ_{xz} įtempių izograma



3.6.F pav. σ_{yz} įtempių izograma