

UDK 528.389

## GEODINAMINIŲ ŽEMĖS PLUTOS ĮTAMPŲ POKYČIAI IGNALINOS ATOMINĖS ELEKTRINĖS REGIONE

Algimantas Zakarevičius, Arminas Stanionis

Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,  
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva, el. paštas: [gkk@ap.vtu.lt](mailto:gkk@ap.vtu.lt)

Įteikta 2004 06 18; priimta 2004 09 28

**Santrauka.** Tyrimas atliktas siekiant pritaikyti atvirkštinį Huko fizinį dėsnį horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų bei geodinaminių įtampų sąsajoms aprašyti, teoriškai pagrįsta tenzorinė įtampų įvertinimo metodika bei atlikti eksperimentiniai žemės plutos įtampų Ignalinos atominės elektrinės regiono teritorijoje skaičiavimai. Gauti nauji geodinaminių įtampų pokyčių duomenys, kurie akivaizdžiai yra susiję su teritorijos tektonine sandara. Išanalizavus skaičiavimo pagal geodezinių matavimų duomenis rezultatus ir apibendrinus, nustatytas tektoninis aktyvumas Dūkšų grabeno aplinkoje. Daroma išvada, kad atvirkštinis Huko dėsnis, nusakant horizontaliųjų Žemės plutos judesių bei geodinaminių įtampų sąsajas, gali būti taikomas praktiškai bei įvertinant geodinaminių įtampų pokyčių dėsningumus.

**Raktažodžiai:** GPS, geodinaminiai procesai, tektoninės įtampos, Žemės plutos deformacijos.

### 1. Įvadas

Horizontaliosioms Žemės plutos deformacijoms Ignalinos atominės elektrinės regione nustatyti pagal gruntinių punktų koordinacių pokyčius taikytas naujas deformacijų parametrų įvertinimo metodas, darant prielaidą, kad horizontaliosios deformacijos pagal pobūdį yra vienalytės bei izotropinės. Apskaičiuotos svarbiausiosios deformacijos: didžiausiasis bei mažiausiasis santykinis pailgėjimai bei jų kryptys, baigtinio elemento santykinė dilatacija, linijinės bei šlyties deformacijos.

Teoriškai pagrįsta geodinaminių Žemės plutos įtampų tenzorinė skaičiavimo metodika. Taikant fizinę sąsają tarp horizontaliųjų deformacijų bei įtampų gauti nauji eksperimentinio tyrimo rezultatai, kuriais remiantis įvertinti Ignalinos atominės elektrinės regiono tektoninės sandaros ypatumai. Nustatyta, kad teritorija geodinaminiu požiūriu tebėra aktyvi ir dabar.

Pagal apibrėžtas Žemės plutos geodinaminių įtampų kitimo tendencijas galima detaliau ir tiksliau nustatyti dabartinį tektoninių struktūrų aktyvumą, nes atsižvelgiama į teritorijos fizines bei mechanines savybes. Platesnės gautų rezultatų interpretavimo galimybės geotektoniniu požiūriu, nes gautieji skaičiavimo duomenys išreiškiami ne santykiniu dydžiu – kaip horizontaliųjų deformacijų parametrai bei jų įverčiai, o jėgos vienetais, tenkančiais ploto vienetai.

Geodinaminių įtampų laukų charakteristikos praktiniu požiūriu yra labai svarbios ir aktualios prognozuojant tektoninių lūžių seismiškumą.

### 2. Horizontaliųjų deformacijų skaičiavimo metodika

Horizontaliosios Žemės plutos deformacijos nustatomos pagal geodezinių tinklų kartotinių matavimų duomenis. Pagal juos galima apibūdinti horizontaliųjų Žemės plutos judesių, vykusių per laiko intervalą tarp

kartotinių matavimų, savybes. Plačiai taikomas horizontaliųjų Žemės plutos judesių nustatymo būdas – identišku punktų koordinacių, apskaičiuotų pagal skirtingu laiku atliktų matavimų rezultatus, palyginimas [1–7].

Turint geodezinio tinklo punktų plokštumos koordinacių horizontaliuosius poslinkius, Žemės plutos homogeninius deformacijų parametrus baigtiniame elemente (trikampyje) galima apskaičiuoti pagal [8] darbe pateiktą metodiką. Žemės plutos horizontaliąsias deformacijas galima nustatyti taikant taškų poslinkio vienalytėje bei izotropinėje dvimatėje erdvėje modelį [8]:

$$\Delta X = A \cdot E, \quad (1)$$

čia

$$\Delta X = \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \Delta x_3 \\ \Delta y_1 \\ \Delta y_2 \\ \Delta y_3 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_{s_1} & y_{s_1} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & x_{s_2} & y_{s_2} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & x_{s_3} & y_{s_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_{s_1} & y_{s_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_{s_2} & y_{s_2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_{s_3} & y_{s_3} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$E = \begin{bmatrix} \alpha_x \\ \varepsilon_{xx} \\ \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_{xy} - \omega \\ \alpha_y \\ \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_{xy} + \omega \\ \varepsilon_{yy} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

čia  $\Delta X$  – punktų plokštumos koordinatinių poslinkių vektorius,  $A$  – punktų plokštumos koordinatinių nuokrypių nuo jų vidurkio matrica,  $E$  – horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų parametrų vektorius;  $\Delta x_i = x'_i - x_i$ ,  $\Delta y_i = y'_i - y_i$ ,  $x_i$ ,  $y_i$  – pirmojo matavimo punktų plokštumos koordinatės,  $x'_i$ ,  $y'_i$  – antrojo matavimo punktų plokštumos koordinatės,  $i = 1, 2, \dots, n$  – punktų numeriai;  $x_{S_i}$ ,  $y_{S_i}$  – geodezinio tinklo punktų plokštumos koordinatinių nuokrypių nuo jų vidurkio,  $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$  – baigtinio elemento poslinkiai abscisų ir ordinačių kryptimis,  $\varepsilon_{xx}$ ,  $\varepsilon_{yy}$  – santykinės linijinės deformacijos,  $\varepsilon_{xy}$  – santykinės šlyties deformacijos;  $\omega$  – baigtinio elemento posūkis.

Horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų parametrų rezultatų vektorius apskaičiuojamas [8]:

$$E = A^{-1} \cdot \Delta X. \quad (5)$$

Tačiau pagal [8] darbe pateiktas (2, 3, 5) formules horizontaliųjų Žemės plutos judesių deformacijų parametrus galima apskaičiuoti baigtinio elemento plotui, kuris šiuo atveju yra trikampis.

Sudarant baigtinių elementų tinklą trikampaiais, 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.

Tiriant Žemės plutos horizontaliuosius judesius bei atliekant dabartinių geodinaminių procesų analizę – [8] darbe pateiktą metodiką reikėtų išplėsti, t. y. pritaikyti geodezinio tinklo, sudaryto iš blokinių struktūrų ar jų fragmentų, horizontaliųjų deformacijų parametrus skaičiuoti ir įvertinti.

Blokinės struktūros punktų plokštumos koordinatinių poslinkių vektorius:

$$\Delta X = \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \vdots \\ \Delta x_i \\ \Delta y_1 \\ \vdots \\ \Delta y_i \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Punktų plokštumos koordinatinių nuokrypių nuo jų vidurkio matrica:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_{S_1} & y_{S_1} & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{S_i} & y_{S_i} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_{S_1} & y_{S_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_{S_i} & y_{S_i} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų parametrų vektorius įvertinamas mažiausiųjų kvadratų metodu:

$$E = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot \Delta X. \quad (8)$$

Baigtinio elemento santykinė dilatacija:

$$\Delta = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}. \quad (9)$$

Svarbiausios horizontaliosios deformacijos didžiausias bei mažiausias santykinis pailgėjimas:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} \cdot (\Delta + \gamma), \quad (10)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{2} \cdot (\Delta - \gamma), \quad (11)$$

čia

$$\gamma = \left\{ \left( \varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy} \right)^2 + \varepsilon_{xy}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

Didžiausiojo santykinio pailgėjimo kryptis

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctg \left( \frac{\varepsilon_{xy}}{\varepsilon_{yy} - \varepsilon_{xx}} \right). \quad (13)$$

Nustatytos Žemės plutos judesių horizontaliosios deformacijos siejamos su baigtinio elemento svorio centru.

### 3. Geodinaminių įtampų ir horizontaliųjų deformacijų sąsajos

Turint apskaičiuotas horizontaliąsias santykinės linijinės bei šlyties deformacijas, gali būti įvertinta geodinaminių įtampų pokyčiai, t. y. nustatyti įtampų prieaugiai per tam tikrą laiko tarpą.

Geodinaminės įtampoms modeliuoti horizontaliojoje plokštumoje gali būti pritaikytas atvirkštinis Huko dėsnis, įtempimus išreiškus deformacijomis [9, 10]:

$$\begin{cases} \sigma_{xx} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot (\varepsilon_{xx} + \nu \cdot \varepsilon_{yy}), \\ \sigma_{yy} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot (\varepsilon_{yy} + \nu \cdot \varepsilon_{xx}), \\ \sigma_{xy} = G \cdot \varepsilon_{xy} = \frac{E}{2 \cdot (1+\nu)} \cdot \varepsilon_{xy}, \end{cases} \quad (14)$$

čia  $G$  – šlyties modulis,  $E$  – tamprumo modulis  $\left(7 \cdot 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)$ ,  $\nu$  – Puasono koeficientas (0,25),  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$  – normaliniai įtempimai,  $\sigma_{xy}$  – tangentiniai įtempimai.

Fizines priklausomybes (14) galima užrašyti matricine forma [11–13]:

$$\sigma = K \cdot \varepsilon, \quad (15)$$

čia

$$\sigma = [\sigma_{xx} \quad \sigma_{yy} \quad \sigma_{xy}]^T, \quad (16)$$

$$K = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}, \quad (17)$$

$$\varepsilon = [\varepsilon_{xx} \quad \varepsilon_{yy} \quad \varepsilon_{xy}]^T, \quad (18)$$

čia  $\sigma$  – geodinaminė įtampų vektorius,  $\varepsilon$  – horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų vektorius,  $K$  – standumo matrica.

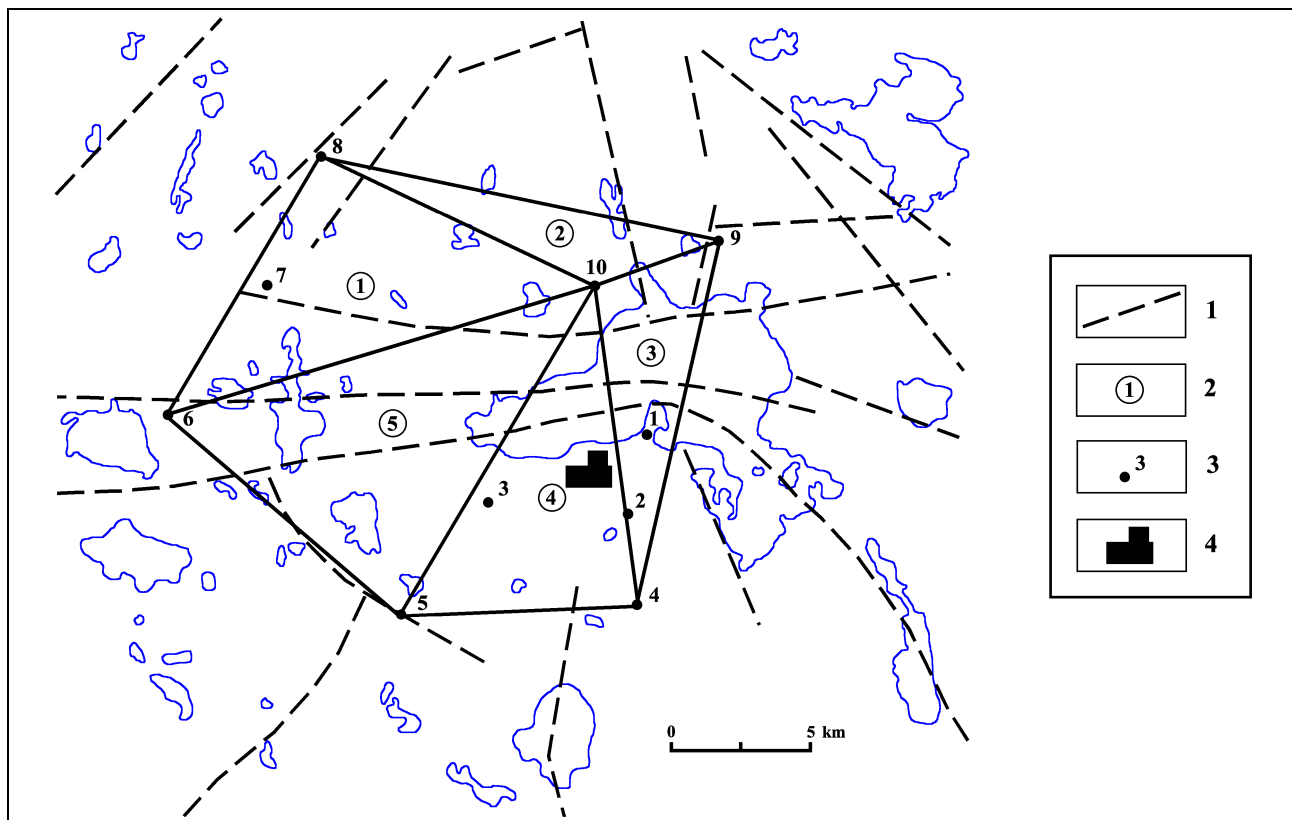
Pagal tangentiųjų įtempimų dualumo dėsnį [9]  $\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$ . Tada geodinaminė įtempimų horizontaliojoje plokštumoje būvis nusakomas simetriniu įtempimų tenzoriumi [9–13]:

$$\tilde{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Antrojo rango įtempimų tenzorius  $\tilde{\sigma}$  yra invariantinis koordinatinių sistemos atžvilgiu, t. y. nepriklauso nuo koordinatinių sistemos parinkimo.

#### 4. Horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų ir geodinaminė įtampų skaičiavimo rezultatai

Tyrimams atlikti pasirinktas Ignalinos atominės elektrinės geodinaminis poligonas (1 pav.), nes šioje



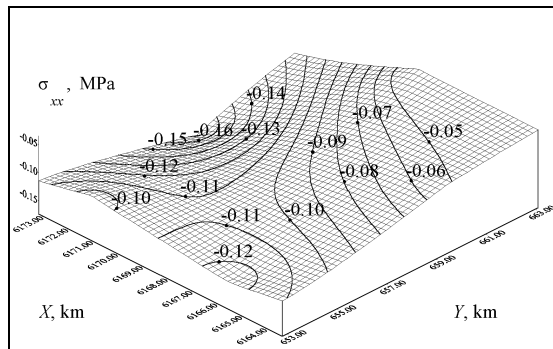
**1 pav.** Tektoninių lūžių išsidėstymo ir baigtinių elementų tinklo Ignalinos atominės elektrinės rajono teritorijoje schema: 1 – tektoniniai lūžiai (sudarė P. Suveizdis), 2 – trikampio numeris, 3 – GPS punktas, 4 – Ignalinos atominė elektrinė  
**Fig 1.** The location scheme of the tectonic breaks and network of the finite elements at the Ignalina Nuclear Power Plant: 1 – tectonic breaks (according to P. Suveizdis), 2 – number of triangles, 3 – GPS points, 4 – Ignalina NPP

**1 lentelė.** Deformacijų parametrai  
**Table 1.** Parameters of deformations

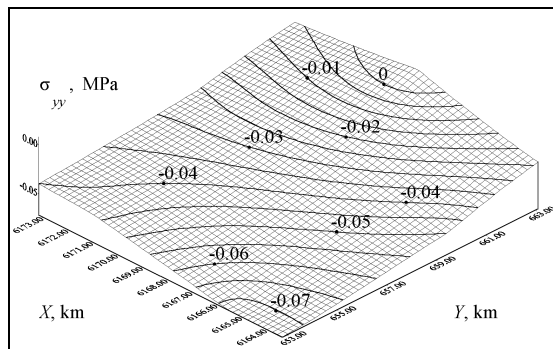
Trikampio Nr.	$\varepsilon_1 \cdot 10^{-6}$	$\varepsilon_2 \cdot 10^{-6}$	$\Delta \cdot 10^{-6}$	$\varphi^\circ$	$\varepsilon_{xx} \cdot 10^{-6}$	$\varepsilon_{yy} \cdot 10^{-6}$	$\varepsilon_{xy} \cdot 10^{-6}$
1	-0,269	-1,194	-1,463	3,381	-1,191	-0,272	0,109
2	0,284	-2,430	-2,146	6,890	-2,391	0,245	0,647
3	0,243	-0,511	-0,268	-1,343	-0,511	0,243	-0,035
4	-0,318	-0,769	-1,086	-43,812	-0,553	-0,534	-0,450
5	-0,277	-1,850	-2,127	26,264	-1,542	-0,585	1,248

**2 lentelė.** Geodinaminių įtempimų prieaugiai  
**Table 2.** Increments of geodynamic stresses

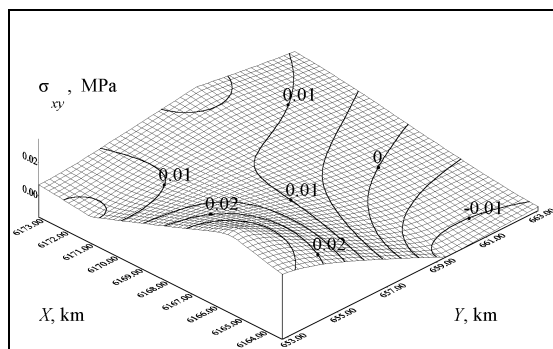
Trikampio Nr.	$\sigma_{xx}$ , MPa	$\sigma_{yy}$ , MPa	$\sigma_{xy}$ , MPa
1	-0,094	-0,043	0,003
2	-0,174	-0,026	0,018
3	-0,034	0,009	-0,001
4	-0,051	-0,050	-0,013
5	-0,126	-0,072	0,035



**2 pav.**  $\sigma_{xx}$  įtempimų izograma  
**Fig 2.** Isogram of  $\sigma_{xx}$  stresses



**3 pav.**  $\sigma_{yy}$  įtempimų izograma  
**Fig 3.** Isogram of  $\sigma_{yy}$  stresses



**4 pav.**  $\sigma_{xy}$  įtempimų izograma  
**Fig 4.** Isogram of  $\sigma_{xy}$  stresses

teritorijoje tektoninė sandara sudėtinga – kristalinis pamatas suskilęs nevienodo dydžio blokais. Dėl pagrindinių lūžių sistemų – submeridianinės ir platuminės – susidarė daug subregioninių struktūrų bei platuminės krypties Drūkšių grabenas [14, 15].

Šiam regionui būdingos ir labai ryškios magnetinio lauko anomalijos: fiksuotas Drūkšių  $\Delta T$  anomalijų plotas, jame itin išsiskiria grandinė anomalijų, kurių maksimalioji reikšmė – 1350 nT [14].

Taikant pateiktą metodiką, pagal (1–13) formules – apskaičiuoti penkių geodinaminio poligono trikampių horizontaliųjų deformacijų parametrai. Išanalizavus gautuosius rezultatus bei palyginus (1 lent.) su ankstesniųjų tyrimų duomenimis [16, 17], daroma išvada, kad pasiūlytoji metodika gali būti taikoma įvertinant horizontaliąsias Žemės plutos judesių deformacijas.

Pagal geodezinių matavimų duomenis nėra galimybės nustatyti absoliučiąjų Žemės plutos deformacijų rodiklių nuo deformacijų atsiradimo pradžios. Tegalima nustatyti tik deformacijų prieaugį (pokyti) per tam tikrą laiko tarpą nuo pradinių iki kartotinių matavimų. Todėl, remiantis geodezinių matavimų rezultatais ir funkicine deformacijų bei geodinaminių įtampų priklausomybe, galima apskaičiuoti geodinaminių įtampų prieaugius per laikotarpį tarp kartotinių matavimų. Pagal (15–18) formules įvertinti geodinaminių įtampų pokyčiai (2 lent.): apskaičiuoti normalinių bei tangentinių įtempimų prieaugiai, jų pokyčiai pavaizduoti 2–4 paveiksluose. Pagal modeliavimo analizės rezultatus Ignalinos atominės elektrinės rajone pastebimi tam tikri Žemės plutos įtampų prieaugių pasiskirstymo dėsningumai. Jie susiję su teritorijos tektonine sandara [15] ir geofiziniais laukais [18].

Remiantis tyrimų duomenų analizės rezultatais galima daryti preliminarias išvadas, kad regioninių struktūrų, Latvijos balno bei Mozūrijos-Baltarusijos anteklizės sandūros zona yra aktyvi ir dabar, nes yra nustatytas tangentinių įtempimų mažėjimo pokytis, teigiamo ženklo įtempimų prieaugiai Drūkšių grabeno aplinkoje įgyja neigiamas reikšmes (4 pav.), t. y. vyksta Žemės plutos bloko grimzdimas.

## 5. Išvados

1. Nustatant horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų bei geodinaminių įtampų tarpusavio sąsajas bei kaitos dėsningumus gali būti taikoma invariantiška koordinacių sistemos atžvilgiu tenzorinės analizės metodika. Išreiškus įtempimus deformacijomis, pagal atvirkštinį Huko dėsnį gauti nauji duomenys – geodinaminių įtampų prieaugiai.

2. Taikant siūlomą plokštuminių įtampų įvertinimo metodiką galima nustatyti Žemės plutoje vykstančių dabartinių tektoninių bei lokaliųjų judesių geodinamines tendencijas.

3. Atlikus eksperimentinio skaičiavimo pagal geodezinių matavimų duomenis rezultatų analizę nustatyta, kad geodinaminių įtampų pokyčiai yra susiję su Ignalinos atominės elektrinės regiono tektonine sandara. Pastebimas regioninių struktūrų (Latvijos balno bei Mozūrijos-Baltarusijos anteklizės) tektoninis aktyvumas Drūkšių grabeno aplinkoje.

4. Ignalinos atominės elektrinės regione įvertinti geodinaminių Žemės plutos įtampų pokyčiai, nustatyti įtampų kitimo tarp kartotinių matavimų prieaugiai: normalinių įtempimų  $\sigma_{xx}$  prieaugių kitimo ribos – nuo  $-0,034$  MPa iki  $-0,174$  MPa;  $\sigma_{yy}$  kinta nuo  $0,009$  MPa iki  $-0,072$  MPa; tangentinių įtempimų prieaugiai – nuo  $0,035$  MPa iki  $-0,013$  MPa. Iš gautųjų rezultatų matyti, kad teritorijoje vyksta akivaizdi geodinaminių įtampų kaita.

## Literatūra

1. Zakarevičius, A. Investigation of the recent geodynamic processes in the territory of Lithuania (Dabartinių geodinaminių procesų Lietuvos teritorijoje tyrimas). Vilnius: Technika, 2003. 195 p. (in Lithuanian).
2. Zakarevičius, A. Analysis of deformations of zero order GPS network (Nulinės klasės GPS tinklo deformacijų analizė). *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, No 1(23). Vilnius: Technika, 1996, p. 53–61 (in Lithuanian).
3. Vaníček, P.; Krakiwsky, E. J. *Geodesy: The concepts*. 2<sup>nd</sup> rev. ed. North-Holland, Amsterdam, 1986. 697 p.
4. Vaníček, P.; Craymer, M. R.; Krakiwsky, E. J. Robustness analysis of geodetic horizontal networks. *Journal of geodesy*, Vol 75, No 4. Springer-Verlag, 2001, p. 199–209.
5. Sue, C.; Martinod, P.; Tricart, P.; Thouvenot, F.; Gamond, J-F.; Fréchet, J.; Marinier, D.; Glot, J-P.; Grasso, J-R. Active deformation in the inner Western Alps inferred from comparison between 1972-classical and 1996-GPS geodetic surveys. *Tectonophysics*, Vol 320, Issue 1. Elsevier Science B. V., 2000, p. 17–29.
6. Gamal, S. El-Fiky. Elastic and inelastic strains in the Japanese Islands deduced from GPS dense array. *Earth Planets and Space*, Vol 52, No 11. Terra Scientific Publishing Company, 2000, p. 1107–1112.
7. Chang, C-P.; Chang, T-Y.; Angelier, J.; Kao, H.; Lee, J-C.; Yu, S-B. Strain and stress field in Taiwan oblique convergent system: constraints from GPS observation and tectonic data. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol 214, Issues 1–2. Elsevier B. V., 2003, p. 115–127.
8. Gamal, S. El-Fiky; Kato, T. Continuous distribution of the horizontal strain in the Tohoku district, Japan, predicted by least-squares collocation. *Journal of Geodynamics*, Vol 27, Issue 2. Pergamon, 1998, p. 213–236.
9. Atkočiūnas, J.; Nagevičius, J. Foundations of the theory of elasticity (Tamprumo teorijos pagrindai). Vilnius: Technika, 2000. 264 p. (in Lithuanian).
10. Zadro, M.; Braitenberg, C. Measurements and interpretations of tilt-strain gauges in seismically active areas. *Earth-Science Reviews*, Vol 47, Issues 3–4. Elsevier Science B. V., 1999, p. 151–187.
11. Čyras, A. Structural mechanics (Statybinė mechanika). Vilnius: Mokslas, 1989. 446 p (in Lithuanian).
12. Singiresu, S. Rao. The finite element method in engineering. Third edition. Butterworth-Heinemann, 1999. 556 p.
13. Hughes, Thomas J. R. The finite element method: linear static and dynamic finite element analysis. Dover Publications, Inc., 2000. 682 p.
14. Tectonic structure of Lithuania (Lietuvos tektoninė sandara). Compiled and edited by P. Suveizdis, Institute of Geology and Geography, Vilnius, 2003. 160 p. (in Lithuanian).
15. Marcinkevičius, V.; Laškovas, J. Tectonic conditions of Ignalina Nuclear Power Plant region (Ignalinos atominės elektrinės rajono tektoninės sąlygos). *Geological horizons (Geologijos akiračiai)*, No 1–2. Vilnius, 1996, p. 8–23 (in Lithuanian).
16. Zakarevičius, A.; Stanionis, A. The features of dispersion of horizontal deformations of the Earth's crust in the region of Ignalina nuclear power plant (Horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų Ignalinos atominės elektrinės rajone sklaidos ypatumai). *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXIX, No 4, Vilnius: Technika, 2003, p. 119–123 (in Lithuanian).
17. Zakarevičius, A.; Aksamitauskas, Č.; Stanionis, A. Horizontal deformations of the Earth's crust in Ignalina nuclear power plant region (Горизонтальные деформации Земной коры в районе Игналинской атомной электростанции). *Инженерная геодезия*, № 49, КИИВ, 2003, p. 102–110 (in Russian).
18. Petroškevičius, P. Gravitation field effect on geodetic observations (Gravitacijos lauko poveikis geodeziniam matavimams). Vilnius: Technika, 2004. 292 p. (in Lithuanian).