



ERDVINIŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ APIBENDRINTŲJŲ CHARAKTERISTIŲ NUSTATYMAS PAGAL GPS MATAVIMŲ DŪOMENIS

Algimantas Zakarevičius¹, Vladislovas Česlovas Aksamitauskas²,
Arminas Stanionis³, Daiva Levinskaitė⁴

^{1, 2, 3, 4}Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva
El. paštas: gkk@vgtu.lt

Iteikta 2009 06 22; priimta 2009 09 23

Santrauka. Erdvinių Žemės plutos judesių apibendrintosios charakteristikos pagal GPS matavimų duomenis Ignalinos atominės elektrinės rajone įvertintos taikant tenzorinės analizės metodiką. Svarbiausių tektoninių įtempių pokyčiai nustatyti trigonometrinio metodu. Apskaičiuoti nauji erdvinių Žemės plutos judesių apibendrintųjų charakteristikų duomenys – poslinkiai koordinacių ašių kryptimis; blokinės struktūros posūkis; santykinės linijinės bei šlyties deformacijos; normalinių, tangentiųjų bei svarbiausių tektoninių įtempių pokyčiai. Apibendrintosios santykinės deformacijos kinta nuo $-0,012 \cdot 10^{-6}$ iki $-0,760 \cdot 10^{-6}$, įtempiai svyruoja nuo $-0,003$ MPa iki $-0,059$ MPa. Nustatyta, kad santykinės deformacijų ir įtempių pokyčių reikšmės visame nagrinėjamame Ignalinos atominės elektrinės rajone yra neigiamo ženklo, t. y. teritorija yra veikiamą bendrojo tektoninio spaudimo.

Reikšminiai žodžiai: atvirktinis Huko dėsnis, apibendrintieji erdvinių įtempių pokyčiai, apibendrintosios erdvinės Žemės plutos deformacijos, GPS.

1. Įvadas

Žemės plutos judesiams tirti naudojami tikslūs geodezinių tinklų kartotinių matavimų duomenys (Badawy *et al.* 2008; Borghi *et al.* 2009; Ching *et al.* 2007; Song, Yun 2008; Zakarevičius 2003; Zakarevičius *et al.* 2008a; Zakarevičius *et al.* 2008b). Precizinio tikslumo erdviniai geodeziniai tinklai dažniausiai sudaromi taikant globalinės padėties nustatymo sistemas – GPS (Kahmen 2006; Petroškevičius 2004; Skeivalas 2008).

Horizontaliosios, vertikaliosios bei erdvinės Žemės plutos judesių charakteristikos Ignalinos atominės elektrinės rajone nagrinėtos daugelyje darbų (Aksamitauskas *et al.* 2006; Stanionis 2005; Šliaupa *et al.* 2006; Zakarevičius 1994; Zakarevičius 2003; Zakarevičius *et al.* 2007; Zakarevičius, Stanionis 2006; Zakarevičius, Stanionis 2007). Tokių tyrimų rezultatai skelbti ir kituose mokslo darbuose, tačiau nėra nustatytos Ignalinos atominės elektrinės teritorijos erdvinės Žemės plutos judesių apibendrintosios charakteristikos. Pagal nustatytas charakteristikas galima vertinti bei interpretuoti lokaliai teritorijos bendruosius Žemės plutos judesių ypatumus atsižvelgiant į sąsajas su regioninėmis tektoninio fono savybėmis bei struktūromis.

Atsižvelgiant į geodinaminių procesų raidą ir ypatumus (Gailius *et al.* 1991; Vaníček, Krakiwsky 1986), patobulinta Žemės plutos judesių tyrimų metodika pritaikant trigonometrinių metodą svarbiausių įtempių pokyčiams įvertinti.

Darbo tikslas – sudaryti svarbiausių erdvinių Žemės plutos įtempių pokyčių įvertinimo algoritmą taikant trigonometrinių metodą bei įvertinti erdvinės Žemės plutos judesių apibendrintąsias charakteristikas Ignalinos atominės elektrinės rajone.

2. Erdvinių Žemės plutos judesių apibendrintųjų charakteristikų tyrimo metodika

Vertinant Žemės plutos apibendrintąsias erdvinės deformacijas, taikyta mažųjų deformacijų prielaida. Laikytasi prielaidos, kad erdvinės deformacijos pagal pobūdį yra vienalytės bei izotropinės.

Blokinių struktūrų apibendrintųjų erdvinių Žemės plutos deformacijų parametru vektorius įvertinamas mažiausių kvadratų metodu (Zakarevičius, Stanionis 2006):

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

čia

$$T = \begin{bmatrix} \alpha_X \\ \alpha_Y \\ \alpha_Z \\ \omega \\ \varepsilon_{XX} \\ \varepsilon_{YY} \\ \varepsilon_{ZZ} \\ \varepsilon_{XY} \\ \varepsilon_{XZ} \\ \varepsilon_{YZ} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -Y_{S_1} & X_{S_1} & 0 & 0 & Y_{S_1} & Z_{S_1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & X_{S_1} & 0 & Y_{S_1} & 0 & X_{S_1} & 0 & Z_{S_1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & Z_{S_1} & 0 & X_{S_1} & Y_{S_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & -Y_{S_i} & X_{S_i} & 0 & 0 & Y_{S_i} & Z_{S_i} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & X_{S_i} & 0 & Y_{S_i} & 0 & X_{S_i} & 0 & Z_{S_i} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & Z_{S_i} & 0 & X_{S_i} & Y_{S_i} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & -Y_{S_n} & X_{S_n} & 0 & 0 & Y_{S_n} & Z_{S_n} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & X_{S_n} & 0 & Y_{S_n} & 0 & X_{S_n} & 0 & Z_{S_n} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & Z_{S_n} & 0 & X_{S_n} & Y_{S_n} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\Delta E = \begin{bmatrix} \Delta X_1 \\ \Delta Y_1 \\ \Delta Z_1 \\ \vdots \\ \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \\ \vdots \\ \Delta X_n \\ \Delta Y_n \\ \Delta Z_n \end{bmatrix}, \quad (4)$$

čia T – blokinės struktūros apibendrintųjų erdvių Žemės plutos deformacijų parametrų vektorius, H – punktų erdvių koordinatų nuokrypių nuo jų vidurkio matrica, ΔE – punktų erdvių koordinatų poslinkių vektorius.

Reikšmės iš (1–4):

$\Delta X_i = X'_i - X_i$, $\Delta Y_i = Y'_i - Y_i$, $\Delta Z_i = Z'_i - Z_i$, 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_{S_i} , Y_{S_i} , Z_{S_i} – erdvinio geodezinio tinklo punktų koordinatų nuokrypiai nuo jų vidurkio, α_X , α_Y ,

α_Z – poslinkiai koordinatų ašių kryptimis, ω – blokinės struktūros posūkis, ε_{XX} , ε_{YY} , ε_{ZZ} – santykinės linijinės deformacijos, ε_{XY} , ε_{XZ} , ε_{YZ} – santykinės šlyties deformacijos.

Turint apskaičiuotas apibendrintąsias erdvinės deformacijas, galima nustatyti apibendrintųjų erdvių normalinių bei tangentinių tektoninių įtempių pokyčius. Erdviniams tektoninių įtempių pokyčiams modeliuoti taikytas atvirkštinis Huko dėsnis. Fizinės priklausomybės, įtempius išreiškus deformacijomis, užrašomos (Zakarevičius, Stanionis 2007):

$$\begin{cases} \sigma_{XX} = 2G \cdot \left(\varepsilon_{XX} + \frac{\nu \cdot \vartheta}{1-2\nu} \right), & \sigma_{XY} = G \cdot \varepsilon_{XY}, \\ \sigma_{YY} = 2G \cdot \left(\varepsilon_{YY} + \frac{\nu \cdot \vartheta}{1-2\nu} \right), & \sigma_{XZ} = G \cdot \varepsilon_{XZ}, \\ \sigma_{ZZ} = 2G \cdot \left(\varepsilon_{ZZ} + \frac{\nu \cdot \vartheta}{1-2\nu} \right), & \sigma_{YZ} = G \cdot \varepsilon_{YZ}, \end{cases} \quad (5)$$

čia

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad (6)$$

G – šlyties modulis, E – tamprumo modulis $\left(7 \cdot 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$,

$\vartheta = \varepsilon_{XX} + \varepsilon_{YY} + \varepsilon_{ZZ}$ – pirmasis deformacijų tenzoriaus $\tilde{\varepsilon}$ invariantas I_1 , ν – Puasono koeficientas (0,25), σ_{XX} , σ_{YY} , σ_{ZZ} – normalinių tektoninių įtempių pokyčiai, σ_{XY} , σ_{XZ} , σ_{YZ} – tangentinių tektoninių įtempių pokyčiai.

Apibendrintųjų svarbiausiųjų erdvių įtempių pokyčiai apskaičiuojami iš kubinės lygties (Atkočiūnas, Nagevičius 2004; Stanionis 2008):

$$\sigma^3 - I_1 \cdot \sigma^2 + I_2 \cdot \sigma - I_3 = 0, \quad (7)$$

čia

$$\begin{cases} I_1 = \sigma_{XX} + \sigma_{YY} + \sigma_{ZZ}, \\ I_2 = \sigma_{XX}\sigma_{YY} + \sigma_{YY}\sigma_{ZZ} + \sigma_{XX}\sigma_{ZZ} - \sigma_{XY}^2 - \sigma_{XZ}^2 - \sigma_{YZ}^2, \\ I_3 = \sigma_{XX}\sigma_{YY}\sigma_{ZZ} + 2\sigma_{XY}\sigma_{XZ}\sigma_{YZ} - \sigma_{XX}^2\sigma_{YZ}^2 - \sigma_{YY}^2\sigma_{XZ}^2 - \sigma_{ZZ}^2\sigma_{XY}^2, \end{cases} \quad (8)$$

σ – svarbiausiųjų erdvių įtempių pokyčiai, I_1 , I_2 , I_3 – įtempių tenzoriaus invariantai.

Kubinei lygčiai (7) spęsti trigonometriu būdu galima pakeisti kintamuosius (Atkočiūnas, Nagevičius 2004):

$$\sigma = x + \frac{1}{3}I_1. \quad (9)$$

Tuomet (7) lygtis užrašoma:

$$x^3 + 3px + 2q = 0, \quad (10)$$

čia

$$p = \frac{1}{3} \left(I_2 - \frac{1}{3} I_1^2 \right), \quad (11)$$

$$q = -\frac{1}{27} I_1^3 + \frac{1}{6} I_1 I_2 - \frac{1}{2} I_3. \quad (12)$$

Visos trys kubinės lygties (10) šaknys yra realiosios, jeigu diskriminantas $\Delta = p^3 + q^2 < 0$. Nagrinėjamame uždavinyje diskriminantas Δ visada neigiamas (Atkočiūnas, Nagevičius 2004; Корн, Г., Корн, Т. 1970). Kai $\Delta < 0$, kubinė lygtis (10) gali būti sprendžiama trigonometriniu metodu. Lygties (10) šaknys x_1, x_2, x_3 išreiškiamos taip:

$$x_1 = 2\sqrt{|p|} \cos \varphi, \quad (13)$$

$$x_2 = 2\sqrt{|p|} \cos(\varphi + 120^\circ), \quad (14)$$

$$x_3 = 2\sqrt{|p|} \cos(\varphi - 120^\circ), \quad (15)$$

čia

$$\varphi = \frac{1}{3} \arccos \frac{-q}{|p|^{3/2}}, \quad (16)$$

$|p|$ – absoliučioji koeficiento reikšmė.

Paeilui įrašius lygties (10) gautąsias x_1, x_2, x_3 reikšmes į priklausomybę (9), gaunamos svarbiausiųjų įtempių pokyčių $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ reikšmės ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$).

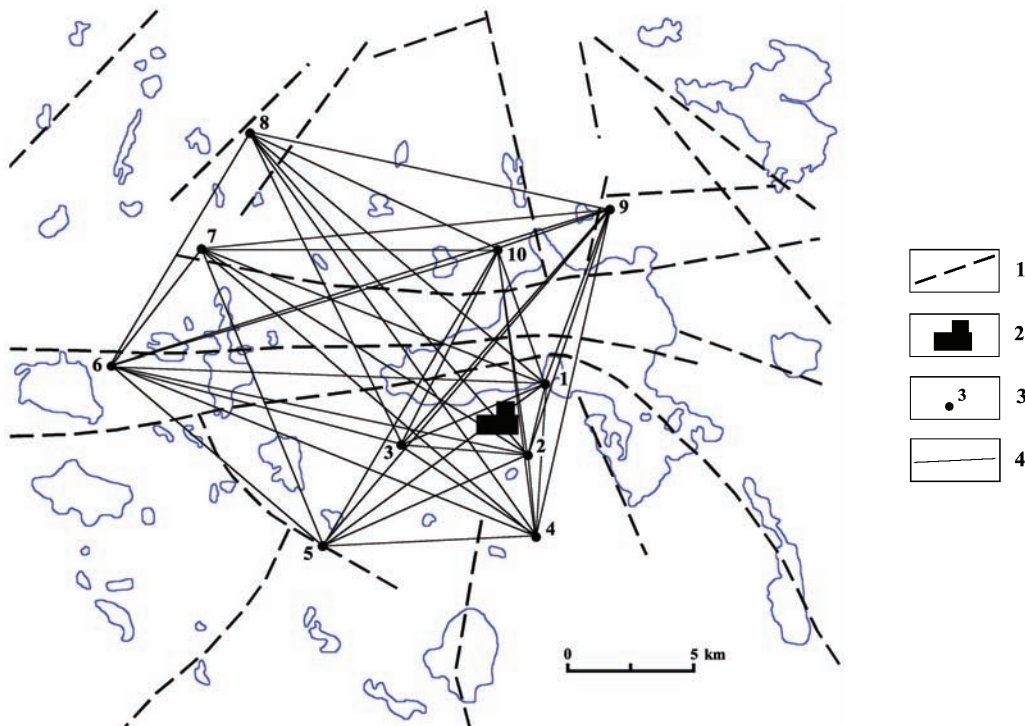
3. Erdvinių Žemės plutos judesių apibendrintųjų charakteristikų skaičiavimo rezultatai

Erdvinėms Žemės plutos judesių charakteristikoms tirti Ignalinos atominės elektrinės rajone 1998 m. įrengtas specialus GPS tinklas. Tinklą sudaro 10 gruntinių punktų, išdėstymo schema pateikta paveiksle. Erdvinio GPS tinklo sudarymo darbai, matavimų programa, prietaisai bei kartotinių matavimų duomenys pateikti Č. Aksamitausko ir kitų (2006), A. Stanionio (2005; 2008), A. Zakarevičiaus (2003), A. Zakarevičiaus, A. Stanionio (2003) darbuose.

Pagal (1–16) formules, naudojant kartotinius GPS tinklo matavimų duomenis (antras ciklas atliktas 1999 m.), įvertintos Ignalinos atominės elektrinės teritorijos erdvinės apibendrintosios Žemės plutos judesių charakteristikos: poslinkiai koordinatinių ašių kryptimis, blokinės struktūros posūkis, santykinės linijinės bei šlyties deformacijos, normalinių ir tangentinėjų įtempių pokyčiai, svarbiausiųjų tektoninių įtempių pokyčiai.

Ignalinos atominės elektrinės teritorijos, kaip vientiso bloko, poslinkis α_x yra teigiamas (0,006 1 m), ordinačių kryptimi poslinkio kitimo nenustatyta, α_z – neigiamas (–0,000 3 m), lokalios teritorijos blokinės struktūros posūkis $\omega = 0,101$.

Įvertintos erdvinės Žemės plutos judesių apibendrintosios charakteristikos pateiktos 1 ir 2 lentelėse.



Geodezinio tinklo punktų ir GPS matavimų schema: 1 – tektoniniai lūžiai (sudarė P. Suveizdis), 2 – Ignalinos atominė elektrinė, 3 – GPS punktas, 4 – matuoti styga

The layout of the geodetic network and GPS observations points: 1 – tectonic faults (composed by P. Suveizdis), 2 – Ignalina Nuclear Power Plant, 3 – GPS points, 4 – observed vectors

Erdvinių apibendrintųjų santykinųjų linijinių deformacijų kitimo ribos – nuo $-0,012 \cdot 10^{-6}$ iki $-0,472 \cdot 10^{-6}$, santykinės šlyties deformacijos kinta nuo $-0,233 \cdot 10^{-6}$ iki $-0,760 \cdot 10^{-6}$ (1 lentelė).

Erdvinių Žemės plutos normalinių įtempių pokyčiai svyruoja nuo $-0,017$ 4 MPa iki $-0,043$ 1 MPa bei tangentinių įtempių pokyčiai kinta nuo $-0,006$ 5 MPa iki $-0,021$ 3 MPa (2 lentelė).

1 lentelė. Erdvinės Žemės plutos deformacijos

Table 1. Spatial deformations of the Earth-crust

$\epsilon_{XX} \cdot 10^{-6}$	-0,472	$\epsilon_{XY} \cdot 10^{-6}$	-0,233
$\epsilon_{YY} \cdot 10^{-6}$	-0,113	$\epsilon_{XZ} \cdot 10^{-6}$	-0,760
$\epsilon_{ZZ} \cdot 10^{-6}$	-0,012	$\epsilon_{YZ} \cdot 10^{-6}$	-0,377

2 lentelė. Erdvinių tektoninių įtempių pokyčiai

Table 2. Changes of spatial tectonic stresses

σ_{XX} (MPa)	-0,043 1	σ_{XY} (MPa)	-0,006 5
σ_{YY} (MPa)	-0,023 0	σ_{XZ} (MPa)	-0,021 3
σ_{ZZ} (MPa)	-0,017 4	σ_{YZ} (MPa)	-0,010 6

Svarbiausiųjų apibendrintųjų įtempių pokyčių reikšmės nustatytos trigonometriiniu būdu: $\sigma_1 = -0,003$ 3 MPa, $\sigma_2 = -0,021$ 7 MPa bei $\sigma_3 = -0,058$ 5 MPa.

Erdvinių Žemės plutos judesių Ignalinos atominės elektrinės teritorijoje apibendrintųjų charakteristikų reikšmės yra neigiamos. Remiantis tyrimo rezultatais galima teigti, kad Ignalinos atominės elektrinės teritorija yra veikiamą bendrojo tektoninio spaudimo.

Erdviniai apibendrintieji deformacijų bei įtempių pokyčių Ignalinos atominės elektrinės teritorijoje rezultatai koreliuoja su lokaliaisiais bei regioniniais Žemės plutos judesių tyrimų rezultatais (Aksamitauskas *et al.* 2006; Stanionis 2005; Šliaupa *et al.* 2006; Zakarevičius 1994; Zakarevičius 2003; Zakarevičius, Stanionis 2002; Zakarevičius, Stanionis 2003; Zakarevičius, Stanionis 2005).

Įvertintos Žemės plutos judesių charakteristikos apibendrina ankstesnių tyrimų rezultatus, galima kompleksškai vertinti ir interpretuoti dabartinių geodinaminio procesų kaitos dėsningumus sisteminio požiūriu principu.

Pateikti rezultatai atspindi bendrą geodinaminę situaciją Ignalinos AE rajone – modelyje tiriamas plotas traktuojamas, kaip vientisas blokas. Tačiau būtina atsižvelgti į tikimybę, kad tektoninės deoformacijos ir įtempiai bloko viduje greičiausiai pasiskirstę netolygiai ir yra kontroliuojamų stambių lūžinių zonų, kurios kerta tyrimų plotą (pav.).

4. Išvados

1. Sudarytas erdvinių svarbiausiųjų įtempių pokyčių skaičiavimo algoritmas taikant trigonometriinį metodą.
2. Gauti nauji erdvinių Žemės plutos judesių Ignalinos atominės elektrinės rajone duomenys – apibendrintosios erdvinės santykinės deformacijos bei apibendrintieji erdvinių tektoninių įtempių pokyčiai.

3. Metinės apibendrintosios santykinės deformacijos kinta nuo $-0,012 \cdot 10^{-6}$ iki $-0,760 \cdot 10^{-6}$, tektoninių įtempių pokyčiai svyruoja nuo $-0,003$ MPa iki $-0,059$ MPa.
4. Erdvinės Žemės plutos judesių apibendrintosios charakteristikos yra neigiamo ženklų, t. y. Ignalinos atominės elektrinės teritoriją veikia tektoninis spaudimas.

Straipsnis parengtas tyrimus remiant Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui (sutartis Nr. V-05/2009).

Literatūra

Aksamitauskas, Č.; Zakarevičius, A.; Stanionis, A. 2006. Modeling of strains and stresses of the Earth-crust in the zones of ecologically dangerous objects, in *IAG Symposium “Geodetic deformation monitoring: from geophysical to engineering roles”*: Selected papers, vol. 131. Ed. by F. Sansò, A. J. Gil. March 17–19, 2005, Jaén, Spain. Berlin: Springer-verlag Berlin Heidelberg, 233–238.

Atkočiūnas, J.; Nagevičius, J. 2004. *Tamprumo teorijos pagrindai* [Fundamentals of elasticity theory]. Vilnius: Technika. 528 p. ISBN 9986-05-793-0.

Badawy, A.; Mohamed, A. M. S.; Abu-Ali, N. 2008. Seismological and GPS constraints on Sinai sub-plate motion along the Suez rift, *Studia Geophysica et Geodaetica* 52(3): 397–412. doi:10.1007/s11200-008-0028-9

Borghi, A.; Aoudia, A.; Riva, R. E. M.; Barzaghi, R. 2009. GPS monitoring and earthquake prediction: a success story towards a useful integration, *Tectonophysics* 465(1–4): 177–189. doi:10.1016/j.tecto.2008.11.022

Ching, K. E.; Rau, R. J.; Lee, J. C.; Hu, J. C. 2007. Contemporary deformation of tectonic escape in SW Taiwan from GPS observations, 1995–2005, *Earth and Planetary Science Letters* 262(3–4): 601–619. doi:10.1016/j.epsl.2007.08.017

Gailius, R.; Grigelis, A.; Jankauskas, T., *et al.* 1991. *Lietuvos geologija* [Geology of Lithuania]. Vilnius: Mokslas. 447 p. ISBN 5-420-01040-2.

Kahmen, H. 2006. *Angewandte Geodäsie: Vermessungskunde* [Applied Geodesy: Measurement Science]. Berlin: Walter De Gruyter. 679 S. ISBN-10: 3-11-018464-8.

Petroškevičius, P. 2004. *Gravitacijos lauko poveikis geodeziniam matavimams* [Gravitation field effect on geodetic observations]. Vilnius: Technika. 292 p. ISBN 9986-05-738-8.

Skeivalas, J. 2008. *GPS tinklų teorija ir praktika* [Theory and practice of GPS networks]. Vilnius: Technika. 288 p. ISBN 978-9955-28-228-0.

Song, D. S.; Yun, H.-S. 2008. Crustal strain pattern analysis of Korean Peninsula using repeated GPS measurements, *KSCE J. Civil Eng.* 12(4): 267–273. doi:10.1007/s12205-008-0267-x

Stanionis, A. 2005. *Research of the Earth’s crust horizontal movements in the Ignalina nuclear power plant region by geodetic methods*: Summary of Doctoral dissertation. Vilnius Gediminas Technical University. Vilnius: Technika. 24 p.

Stanionis, A. 2008. Svarbiausiųjų erdvinių Žemės plutos įtempių pokyčių nustatymas pagal GPS matavimų rezultatus [The determination of the spatial principal stresses changes based on the results of GPS measurements], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 34(2): 71–74. doi: 10.3846/1392-1541.2008.34.71-74

- Šliaupa, S.; Zakarevičius, A.; Stanionis, A. 2006. Strain and stress fields of the Ignalina NPP area from GPS data and thin-shell finite element modeling, NE Lithuania, *Geologija* 56: 27–35.
- Vaniček, P.; Krakiwsky, E. J. 1986. *Geodesy: The concepts*. Second edition. Elsevier Science Publishers B. V. 697 p. ISBN 0-444-87777-0.
- Zakarevičius, A. 1994. *Dabartinių vertikalių Žemės plutos judesių Lietuvos teritorijoje tyrimas* [The investigation of present vertical Earth's crust movements in the territory of Lithuania]. Vilnius: Technika. 276 p. ISBN 9986-05-097-9.
- Zakarevičius, A. 2003. *Dabartinių geodinaminių procesų Lietuvos teritorijoje tyrimas* [Investigation of the recent geodynamic processes in the territory of Lithuania]. Vilnius: Technika. 195 p. ISBN 9986-05-691-8.
- Zakarevičius, A.; Paršeliūnas, E.; Šliaupa, S.; Stanionis, A.; Stephenson, R. 2008a. Horizontal deformations of the Earth's crust in the Baltic region from GPS data, in *The 7th International Conference "Environmental Engineering"*: Selected papers, vol. 3. Ed. by D. Čygas, K. D. Froehner. May 22–23, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1503–1507.
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Paršeliūnas, E.; Stanionis, A. 2008b. Geodezinių tinklų deformacijų tyrimas Baltijos regione pagal GPS matavimų duomenis [Deformation of geodetic network based on GPS data in the Baltic region], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 34(4): 122–126. doi: 10.3846/1392-1541.2008.34.122-126
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Stragys, V. V.; Stanionis, A. 2007. Deformations of the Earth crust in Lithuania and seismic risk for buildings and structures, in *The 9th International Conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques"*: Selected papers, vol. 3. Ed. by M. J. Skibniewski, P. Vainiūnas, E. K. Zavadskas. May 16–18, 2007, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1134–1142.
- Zakarevičius, A.; Stanionis, A. 2002. Lietuvos geodezinių tinklų horizontaliųjų deformacijų sklaidos struktūra [The dispersion structure of horizontal deformations of Lithuanian geodetic networks], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 28(4): 117–124.
- Zakarevičius, A.; Stanionis, A. 2003. Horizontaliųjų Žemės plutos Ignalinos atominės elektrinės rajone sklaidos ypatumai [The features of dispersion of horizontal deformations of the Earth's crust in the region of Ignalina power plant], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 29(4): 119–123.
- Zakarevičius, A.; Stanionis, A. 2005. Estimation of horizontal deformations and stresses of the Earth-crust in the Ignalina nuclear power plant area by the finite element method, *Vagos* 67(20), 1: 103–108.
- Zakarevičius, A.; Stanionis, A. 2006. Žemės plutos erdvinių deformacijų nustatymas taikant GPS matavimų duomenis [Deformation of spatial strains of the Earth crust using GPS measurements], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 32(4): 88–91.
- Zakarevičius, A.; Stanionis, A. 2007. Erdvinių geodinaminių įtempių tyrimas pagal geodezinių matavimų rezultatus [Research into spatial geodynamic strains according to results of geodetic observations], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 33(1): 21–25.
- Корн, Г.; Корн, Т. 1970. *Справочник по математике для научных работников и инженеров* [Korn, G.; Korn, T. Mathematical handbook for scientists and engineers]. Москва: Наука. 720 с.

Algimantas ZAKAREVIČIUS. Prof., Dr. Habil. at the Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania, Ph +370 5 237 0630, Fax +370 5 274 4705, e-mail *Algimantas.Zakarevicius@ap.vgtu.lt*.

A graduate from Kaunas Polytechnic Institute (now Kaunas University of Technology), geodetic engineer, 1965. Doctor's degree at Vilnius University, 1973. Dr Habilis degree at VGTU, 2000. A member of the Geodetic Commission of Estonia, Latvia and Lithuania. Research training at Geodetic Institute of Norwegian Mapping Authority, 1994. The author of more than 150 publications and 3 monographs.

Research interests: investigations into the recent geodynamic processes, formation of geodetic networks.

Vladislovas Česlovas AKSAMITAUSKAS. Assoc. Prof., Dr. at the Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania, Ph +370 5 2744 701, Fax +370 5 2744 705, e-mail *caks@ap.vgtu.lt*.

Doctor of Science (1993). The author of two teaching books and more than 50 scientific papers. Participated in a number of international conferences.

Research interests: geodetic instrumentation, automation of measurements, angular and distance measurements.

Arminas STANIONIS. Assoc. Prof., Dr. at the Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 237 0629, Fax +370 5 274 4705, e-mail *Arminas.Stanionis@ap.vgtu.lt*.

A graduate from Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) (Master of Science, 2002). Doctor's degree at VGTU, 2005. The author and co-author of more than 30 research papers. Participated in a number of international conferences.

Research interests: investigation of geodynamic processes, GIS, investigations of deformations.

Daiva LEVINSKAITĖ. Doctoral student at the Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705, e-mail *gkk@ap.vgtu.lt*.

A graduate from Vilnius Gediminas Technical University (Master of Science, 2008). A co-author of 2 publications.

Research interests: investigation of geodynamic processes, investigations of deformations.