

**DABARTINIŲ GEODINAMINIŲ PROCESŲ TYRIMAS ŠIAURĖS RYTINĖJE  
LIETUVOS DALYJE****Algimantas Zakarevičius, Asta Anikėnienė***Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,  
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva  
El. paštas: gkk@ap.vgtu.lt**[teikta 2006 02 12, priimta 2006 03 30]*

**Santrauka.** Lietuvos vertikaliojo geodezinio tinklo poligone *Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius* pagal geodezinių matavimų rezultatus atlikta nustatytų dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių statistinė analizė.

Darbo tikslas – remiantis naujausių geodezinių matavimų duomenimis nustatyti dabartinių Žemės plutos judesių intensyvumą šiame regione ir jų kitimą einant laikui.

Pagal 1934, 1935–1936, 1948, 1968, 1970, 1980, 1985–1987, 1998, 2005, 2006 metų niveliacijų matavimo rezultatus nustatyta, kad poligone *Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius* dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių amplitudė siekia iki 5–6 mm/metus. Atliekant matavimo rezultatų matematinę statistinę analizę, su 95 % tikimybe pagrįsta, kad Žemės plutos judesiai bėgant laikui yra svyruojamojo pobūdžio. Per pastarųjų 25 metų laikotarpį *Zarasų – Turmanto* linija *Vilniaus – Jonavos* atžvilgiu kyla iki 4–6 mm per metus greičiu. Tokio intensyvumo geodinaminis procesas būtina įvertinti atliekant tikslias niveliacijas.

**Reikšminiai žodžiai:** vertikalieji Žemės plutos judesiai, regresinis modelis.

**1. Įvadas**

Dabartinių geodinaminių procesų tyrimas yra svarbi ne tik mokslinė, bet ir praktinė problema, susijusi su geodezinių tinklų sudarymu bei naudojimu [1, 2]. Šie tyrimai yra vieni iš prioritетinių Žemės mokslų srityje ir atliekami seismiškai aktyvioms teritorijoms bei jų pavojingumo laipsniui nustatyti [3, 4].

Norint įvertinti dabartinius geodinaminis procesus sudarant ir eksploatuojant geodezinius tinklus, prognozuojant teritorijų seisminį pavojingumą bei sprendžiant kitus mokslinius ir praktinius uždavinius, reikia žinoti Žemės plutos judesių savybes ir jų kaitą. Vienas svarbių klausimų yra nustatyti, ar judesių intensyvumas bei kryptis einant laikui yra pastovi, ar kinta. Apie Žemės plutos judesių savybių kaitą laikui bėgant yra nemažai duomenų ir hipotezių [1, 2, 5, 6]. Konstatuoti ne tik greičių pokyčiai, bet ir judesių krypties inversijos, tačiau ne visi šie rezultatai pakankamai pagrįsti matavimais. Dažnai šioms išvadoms pagrįsti nepakakdavo kartotinių matavimų arba nepakankamas būdavo matavimų tikslumas.

Šio darbo tikslas – remiantis naujausių tikslųjų niveliacijų matavimų duomenimis Šiaurės Rytų Lietuvos teritorijos pavyzdžiu iširti dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių savybes ir teritorinę sklaidą bei kaitą laikui bėgant.

Lietuvos Šiaurės Rytų regionas pasirinktas iš ankstesnių tyrimų žinant, kad šioje teritorijoje vyksta gana intensyvūs geodinaminiai procesai, konstatuotos Žemės plutos judesių krypties inversijos einant laikui [1,

2, 5]. Šios inversijos kėlė nemažai mokslinio pobūdžio klausimų, tačiau į juos nebuvo pagrįstai atsakyta dėl patikimų matavimų stokos. Prielaidos apie judesių inversiją padarytos remiantis ir dvidešimtojo šimtmečio pradžios niveliacijomis, kurios nebuvo labai tikslios, bei nedideliu pakartotinai niveliuotų ženklų skaičiumi. Kad tam tikrose Rytų Lietuvos teritorijose pasireiškia Žemės plutos judesių ne tik greičių kaita, bet ir inversijos, nustatyta atliekant tyrimus Ignalinos atominės elektrinės geodinaminiam poligone [2, 7, 8] bei netoliese esančiame Baltarusijos geodinaminiam poligone [9].

Tyrimams naudota 1934–2006 m. laikotarpiu atliktos tiksliosios niveliacijos duomenys.

Darbo mokslinis naujumas – patikslintos dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių charakteristikos Šiaurės Rytų Lietuvos regione bei statistiškai patikimai įrodyta judesių greičių kaita ir judesių krypties inversijos einant laikui.

Autoriai dėkoja Vilniaus Gedimino technikos universiteto Geodezijos mokslo institutui už suteiktą galimybę atliekant mokslinius tyrimus pasinaudoti sudaromo Lietuvos vertikaliojo geodezinio tinklo matavimų duomenimis.

**2. Tyrimų metodika**

Vertikaliesiems Žemės plutos judesiams Šiaurės Rytų Lietuvos dalyje nustatyti remtasi poligone *Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius* 1934–2006 m. laikotarpiu atliktos tiksliosios niveliacijos duomenimis.

Vertikaliųjų judesių greičiams apskaičiuoti taikomi tiesiogiai tarp gretimų geodezinių ženklų išmatuoti aukščių skirtumai. Tuomet reliatyvusis vieno geodezinio ženklo vertikaliojo judesio greitis kito geodezinio ženklo atžvilgiu yra

$$v_{ij} = \frac{h_{ij}'' - h_{ij}'}{t}, \quad (1)$$

čia  $h_{ij}'$ ,  $h_{ij}''$  – pirmojo ir antrojo matavimų metu išmatuoti aukščių skirtumai tarp geodezinių ženklų  $i$  ir  $j$ ,  $t$  – laiko tarpas tarp kartotinių matavimų.

Geodezinių ženklų niveliavimo trasoje vertikaliųjų judesių reliatyvieji greičiai pradinio trasos taško atžvilgiu apskaičiuojami kaip gretimų reperų vertikaliųjų judesių vienas kito atžvilgiu greičių kumuliacinės sumos:

$$v_k = \sum_{i=1}^k v_{i-1,i}, \quad (2)$$

čia  $i = 0, 1, \dots, k$  – geodezinių ženklų niveliacijos eigoje numeriai.

Išmatuoti tiegi vertikalieji geodezinių ženklų poslinkiai bei jų greičiai, sutapatinami su Žemės plutos vertikaliosios poslinkiais ir poslinkių greičiais, yra tektoninės ir netektoninės kilmės judesiu, kylančių dėl įvairių gamtinių bei antropogeninių priežasčių, algebrinė suma. Šioms lokalioms atsitiktinių priežasčių lemiamoms anomalijoms eliminuoti ir dėsningajam trendui nustatyti bei patikrinti jo adekvatumui matavimo rezultatams taikomi matematiniai statistiniai matavimų rezultatų analizės metodai [10].

Vienas iš tokių metodų, gerai tinkantis nagrinėjant Žemės plutos judesių dėsningumus pagal niveliacijos linijas, yra regresinė analizė. Darbe taikytas daugianaris regresijos modelis:

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

$v_i$  –  $i$ -tojo geodezinio ženklo vertikaliojo judesio, aprašyto regresiniu modeliu, greitis,  $\beta_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, m$ ) – regresinio modelio parametrai,  $S_i$  –  $i$ -tojo geodezinio ženklo atstumas nuo linijos pradžios.

Kai  $m = 1$ , gaunamas linijinis regresinis modelis.

Matricine forma galima parašyti

$$V = \beta X, \quad (4)$$

čia

$$V = (v_1 v_2 \dots v_n)^T, \quad (5)$$

$$\beta = (\beta_0 \beta_1 \beta_2 \dots \beta_m)^T, \quad (6)$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & S_1 & S_1^2 & \dots & S_1^m \\ 1 & S_2 & S_2^2 & \dots & S_2^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & S_n & S_n^2 & \dots & S_n^m \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$m$  – daugianario modelio eilė (laipsnis),  $n$  – geodezinių ženklų nagrinėjamoje trasoje skaičius.

Tariant, kad matavimai vienodo tikslumo, mažiausiųjų kvadratų metodu įvertinti regresinio modelio lygties koeficientai:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T V. \quad (8)$$

Vertinant sudaryto regresinio modelio adekvatumą nagrinėjamoje trasoje išmatuotiems vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiams skaičiuojama  $F$  statistika

$$F = \frac{(\hat{\beta} X^T - n\bar{v}^2)(n-m-2)}{(X^T X - \hat{\beta} X^T V)(m-1)}, \quad (9)$$

čia  $\bar{v}$  – vidutinė priklausomojo kintamojo (Žemės paviršiaus vertikaliųjų judesių greičių) reikšmė nagrinėjamoje linijoje,  $n$  – geodezinių ženklų (išmatuotų judesių greičių) skaičius,  $m$  – daugianario laipsnis.

Statistika  $F$  turi  $k_1 = m-1$  ir  $k_2 = n-m-2$  laisvės laipsnius. Jeigu  $F > F_{q(k_1, k_2)}$ , tai su tikimybe  $p = 1 - q$  galima teigti, kad reikšmės, gautos taikant regresinį modelį, yra adekvačios išmatuotų vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių reikšmėms, t. y. regresiniu modeliu aprašytų Žemės plutos judesių trendas adekvatus matavimais nustatytam tikrajam fiziniam procesui. Jeigu  $F < F_{q(k_1, k_2)}$ , tai su tikimybe  $p = 1 - q$  galima teigti, kad regresinis modelis neatitinka tikrojo judesių modelio, t. y. jis neadekvačiai atspindi vykstančius tikruosius Žemės paviršiaus judesius ir yra netaikytinas.

Regresijos modelio sąsajoms su tikroju fiziniu procesu įvertinti skaičiuojamas determinacijos koeficientas:

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}^T X^T \hat{V} - n\bar{v}^2}{V^T V - n\bar{v}^2}, \quad (10)$$

$V, \hat{V}$  – išmatuotų ir pagal regresinį modelį apskaičiuotų vertikaliųjų judesių greičių vektoriai. Nustatytų vertikaliųjų judesių greičių sklaidos dalis įvertinama pagal regresinį modelį.

Regresijos lygties koeficientų dispersijų įverčiai

$$\sigma^2(\beta_i) = \sigma^2 K_{ii}, \quad (11)$$

čia

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v}_i)^2}{n - m - 1}, \quad (12)$$

$K_{ii}$  ( $i = 0, 1, 1, \dots, n$ ) matricos

$$K = (X^T X)^{-1} \quad (13)$$

diagonalieji elementai,  $m$  – daugianario laipsnis.

Regresinės lygties parametrų pasikliautinieji intervalai su tikimybe  $p = 1 - q$  yra

$$P \left[ \begin{array}{l} (\hat{\beta}_i - t_{\frac{q}{2}; n-m-1} \sigma(\beta_i) \leq \beta_i \leq \hat{\beta}_i \\ + t_{\frac{q}{2}; n-m-1} \sigma(\beta_i)) \end{array} \right] = 1 - q. \quad (14)$$

Koeficientas  $t_{\frac{q}{2}; n-m-1}$  gaunamas iš  $t$  skirstinio [10].

Regresinės funkcijos pasikliautinis intervalas su tikimybe  $p = 1 - q$  yra

$$P \left[ \begin{array}{l} \bar{v}_i - t_{\frac{q}{2}; n-m-1} \cdot \sigma \sqrt{1 + \bar{X}_i^T (X^T X)^{-1} \bar{X}_i} \leq \\ v_i \leq \bar{v}_i + t_{\frac{q}{2}; n-m-1} \cdot \sigma \sqrt{1 + \bar{X}_i^T (X^T X)^{-1} \bar{X}_i} \end{array} \right] = 1 - q, \quad (15)$$

čia

$$\bar{X}_i = (1 \ S_i \ S_i^2 \ \dots S_i^m)^T. \quad (16)$$

Regresinio modelio greičių gradientas yra regresinės lygties išvestinė pagal kintamąjį  $\zeta$ . Tiesinio regresinio modelio atveju

$$\text{grad}(v) = \beta_1. \quad (17)$$

Tarpusavyje palyginamų regresinių modelių greičių gradientų skirtumas

$$\Delta = \text{grad}(v)' - \text{grad}(v)'' = \beta_1' - \beta_1'', \quad (18)$$

čia  $\beta_1'$  ir  $\beta_1''$  – tarpusavyje palyginamų regresinių modelių koeficientai.

Gradientų standartiniai nuokrypiai yra lygūs regresijos koeficiento  $\beta_1$  standartiniam nuokrypiui, t. y.  $\sigma(\text{grad}v) = \sigma(\beta_1)$ .

Tuomet skirtumo  $\Delta$  dispersija įvertinama:

$$\sigma^2(\Delta) = \sigma^2(\beta_1') + \sigma^2(\beta_1''). \quad (19)$$

Statistikos  $t$  įvertis

$$t = \frac{\Delta}{\sigma(\Delta)}. \quad (20)$$

Kai  $t > t_{q,k}$  su tikimybe  $p = 1 - q$  galima teigti, kad greičių gradientų skirtumai statistiškai reikšmingi. Šiuo atveju su ta pačia tikimybe galima teigti, kad lyginamaisiais laikotarpiais greičių gradientų reikšmės pakito. Čia  $t_{q,k}$  –  $t$  statistikos teorinė reikšmė esant patikimumo  $q$  ir  $k = (n_1 - 2) + (n_2 - 2)$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  – pakartotinai niveliuotų geodezinių ženklų, panaudotų sudarant regresinius modelius, skaičius.

### 3. Tyrimų rezultatai

Vertikaliųjų Žemės plutos judesių šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje savybėms nustatyti remtasi kartotinių niveliacijų poligone *Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius* 1935–2006 m. laikotarpiu atliktų tikslųjų niveliacijų duomenimis.

*Jonavos – Zarasų* linijos precizinė niveliacija daryta:

- 1935–1936 m. – atliko Lietuvos krašto apsaugos ministerija; matavimų tikslumas – 0,27 mm/km [11];

- 1980 m. – atliko Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė; matavimų tikslumas – 0,62 mm/km [12];

- 2005 m. – atliko VGTU Geodezijos institutas; matavimų tikslumas – 0,38 mm/km [13];

*Turmanto – Vilniaus* linijos:

- 1948 m. – atliko Vyriausioji geodezijos ir kartografijos valdyba; matavimų tikslumas – 0,98 mm/km [14];

- 1968 m. – atliko Vyriausiosios geodezijos ir karografijos valdybos 7-oji įmonė; matavimų tikslumas – 0,68 mm/km [12];

- 1985–1987 m. – atliko Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė; matavimų tikslumas – 0,69 mm/km [12];

- 2005–2006 m. – atliko VGTU Geodezijos institutas; matavimų tikslumas – 0,34 mm/km [15];

*Vilniaus – Jonavos* linijos:

- 1934 m. – atliko Lietuvos krašto apsaugos ministerija; matavimų tikslumas – 0,27 mm/km [11];

- 1948 m. – atliko Vyriausioji geodezijos ir kartografijos valdyba; matavimų tikslumas – 0,60 mm/km [14];

- 1970–1971 m. – atliko Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 7-oji įmonė; matavimų tikslumas – 0,53 mm/km [12];

- 1998 m. – atliko VGTU Geodezijos institutas; matavimų tikslumas – 0,36 mm/km [16];

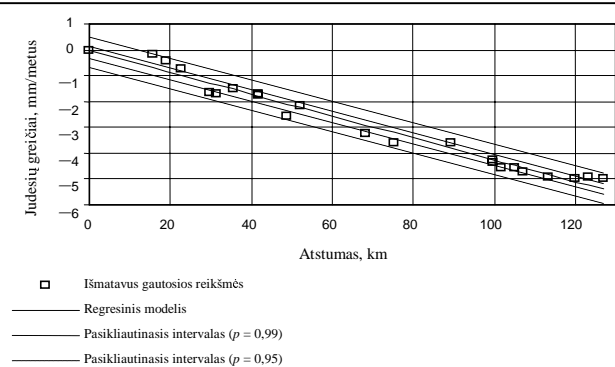
Poligono linijų skirtingų laiko tarpų matavimo rezultatų analizė atlikta pagal pateiktą metodiką.

Vertikaliųjų Žemės plutos judesių pirmosios ir antrosios eilės regresiniai modeliai (3), jų patikimumą ir adekvatumą matavimų rezultatams apibūdinantys rodikliai (9) bei (10) pateikti 1 lentelėje.

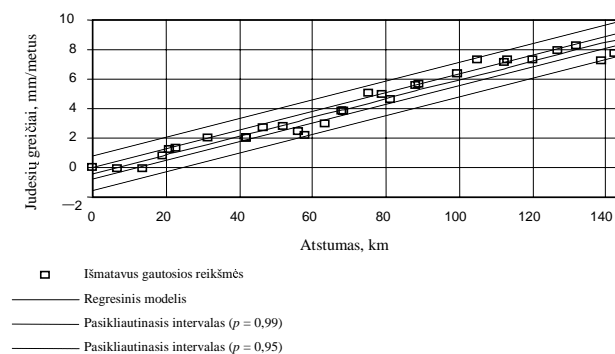
Iš 1 lentelės duomenų matyti, kad taikant tiesinį bei pirmosios eilės daugianarį regresinį modelį Šiaurės Rytų Lietuvos teritorijoje pakankamai adekvačiai (su tikimybe  $p \geq 0,95$ ) bendruosius vertikaliųjų judesių greičius atspindi pirmosios eilės (tiesiniai) modeliai. Nagrinėjamosiose linijose  $F > F_{q(k_1, k_2)}$ , taigi su tikimybe  $p = 1 - q \geq 0,95$  galima teigti, kad reikšmės, gautos

taikant tiesinį regresinį modelį, yra adekvačios išmatuotų vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių reikšmėms.

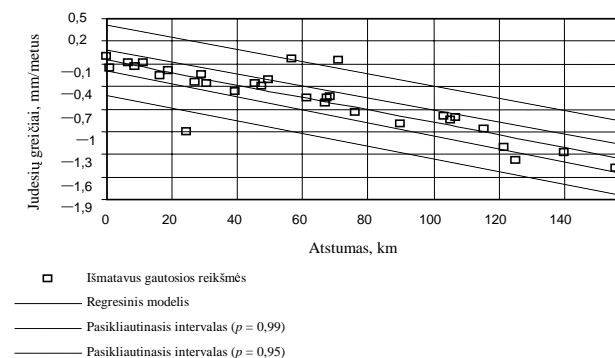
Niveliacijos linijų matavimų rezultatai, tiesiniai regresijos modeliai (3) ir jų pasikliautiniai intervalai (15) su tikimybėmis  $p = 0,95$  ir  $p = 0,99$  būdingiausiai skirtingų vertikaliųjų judesių savybių laikotarpiais grafiškai atvaizduoti 1–6 paveiksluose.



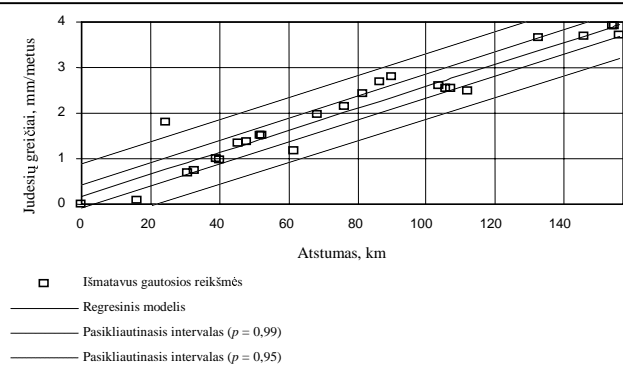
**1 pav.** Žemės paviršiaus judesiai 2005–2006 – 1985–1987 m. *Turmanto – Vilniaus* linijoje (tiesinis modelis)  
**Fig 1.** Earth surface movements (2005–2006 – 1985–1987) in line *Turmantas – Vilnius* (linear model)



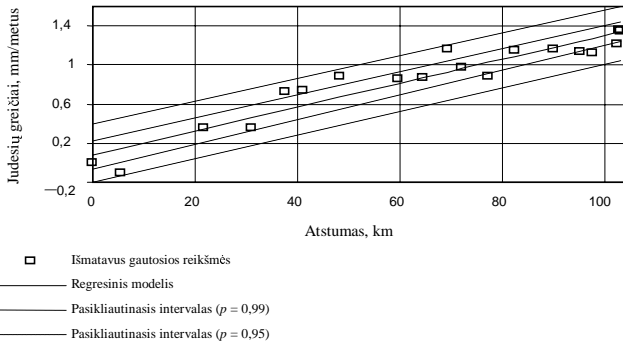
**2 pav.** Žemės paviršiaus judesiai 1985–1968 m. *Turmanto – Vilniaus* linijoje (tiesinis modelis)  
**Fig 2.** Earth surface movements (1985–1968) in line *Turmantas – Vilnius* (linear model)



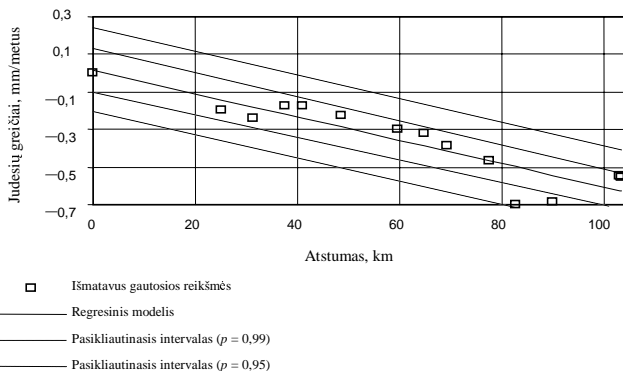
**3 pav.** Žemės paviršiaus judesiai 1980–1935–1936 m. *Jonavos – Zarasų – Turmanto* linijoje (tiesinis modelis)  
**Fig 3.** Earth surface movements (1980–1935–1936) in line *Jonava – Zarasai – Turmantas* (linear model)



**4 pav.** Žemės paviršiaus judesiai 2005–1980 m. *Jonavos – Zarasų – Turmanto* linijoje (tiesinis modelis)  
**Fig 4.** Earth surface movements (2005–1980) in line *Jonava – Zarasai – Turmantas* (linear model)



**5 pav.** Žemės paviršiaus judesiai 1970–1948 m. *Vilniaus – Jonavos* linijoje (tiesinis modelis)  
**Fig 5.** Earth surface movements (1970–1948) in line *Vilnius – Jonava* (linear model)



**6 pav.** Žemės paviršiaus judesiai 1998–1970 m. *Vilniaus – Jonavos* linijoje (tiesinis modelis)  
**Fig 6.** Earth surface movements (1998–1970) in line *Vilnius – Jonava* (linear model)

**1 lentelė.** Vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių greičių kartotinių niveliacijų linijose regresiniai modeliai  
**Table 1.** Regressive models of Earth surface vertical movements velocities in repeated levelling lines

Eil. nr.	Laikotarpis, metai	Modelio tipas	Regresinis modelis	$R^2\%$	$F$	$F_{q(k_1, k_2)}$ $q = 0,05$
<i>Vilnius – Jonava</i>						
1	1970–1971 – 1948	tiesinis	$V = 0,0794306 + 0,0122182 S$	90,39	159,87	4,45
2	1970–1971 – 1948	daugianaris	$V = -0,0876459 + 0,0214171 S - 0,0000822368 S^2$	94,01	125,59	3,63
3	1998 – 1970–1971	tiesinis	$V = 0,0145198 - 0,00619995 S$	82,95	58,39	4,75
4	1998 – 1970–1971	daugianaris	$V = 0,00426268 - 0,00569516 S - 0,00000448455 S^2$	82,99	26,85	3,98
<i>Jonava – Zarasai – Turmantas</i>						
5	1980 – 1935–1936	tiesinis	$V = -0,0506656 - 0,0082783 S$	73,78	81,62	4,19
6	1980 – 1935–1936	daugianaris	$V = -0,166305 - 0,00285029 S - 0,0000385096 S^2$	76,69	46,05	3,30
7	2005–1980	tiesinis	$V = 0,17389 + 0,0241615 S$	92,17	282,58	4,26
8	2005–1980	daugianaris	$V = 0,0506179 + 0,0282679 S - 0,0000242864 S^2$	92,35	138,75	3,42
9	2005 – 1935–1936	tiesinis	$V = 0,111733 + 0,00455362 S$	74,66	35,36	4,75
10	2005 – 1935–1936	daugianaris	$V = -0,0404743 + 0,0105668 S - 0,0000401561 S^2$	88,67	43,03	3,98
<i>Turmantas – Vilnius</i>						
11	1968–1948	tiesinis	$V = 0,806167 - 0,034928 S$	91,6	262,88	4,26
12	1968–1948	daugianaris	$V = 0,446864 - 0,0234874 S - 0,0000664643 S^2$	92,3	138,53	3,42
13	2005–2006 – 1985–1987	tiesinis	$V = 0,358233 - 0,0437929 S$	96,38	399,18	4,55
14	2005–2006 – 1985–1987	daugianaris	$V = 0,457215 - 0,0480879 S + 0,0000313674 S^2$	96,44	189,43	3,74
15	1985–1987 – 1968	tiesinis	$V = -0,604423 + 0,0627611 S$	95,62	311,06	4,19
16	1985–1987 – 1968	daugianaris	$V = -0,719286 + 0,0670938 S - 0,0000286866 S^2$	95,65	297,07	3,36

Nagrinėjant tiesinius regresinius modelius, vertikaliųjų Žemės plutos judesių intensyvumo ir krypties pokyčius einant laikui galima nustatyti iš greičių gradientų analizės. Gradientų ženklų pokyčiai reiškia Žemės plutos judesių krypties nagrinėjamoje linijoje pokytį, o greičių gradientų absoliučiuoju reikšmių pokyčiai – judesių greičių pokyčius.

Tiesinių regresijos modelių nagrinėjamojo poligono linijose gradientų analizės rezultatai pateikti 2 ir 3 lentelėse.

2 lentelėje judesių greičių gradientų reikšmės grad(v) ir gradientų standartiniai nuokrypiai  $\sigma(\text{grad } v)$ ,  $t$  – statistikos įverčiai ir jų patikimumo lygmuo. Iš 2 lentelės duomenų matyti, kad gradientų reikšmės statistiniu požiūriu nustatytos patikimai, nes visais nagrinėtais atvejais  $t$  – statistikos patikimumo lygmuo  $q < 0,01$ , t. y. tikimybė, kad apskaičiuotos gradientų

reikšmės apibūdina Žemės plutos vertikaliųjų judesių savybes,  $p \geq 0,99$ .

Kad būtų galima nustatyti, ar vertikaliųjų Žemės plutos judesių savybės keičiasi einant laikui, atlikta greičių gradientų skirtumų analizė. Palyginti nevienodo judesių pokyčio tose pačiose linijose laikotarpiais tarp kartotinių niveliacijų (žr. 1–6 pav.) regresijos modelių greičių gradientai. Apskaičiuoti gradientų skirtumai (18), standartiniai nuokrypiai (19),  $t$  – statistika (20) ir  $t$  – statistikos reikšmė, esant patikimumo lygmeniui  $q = 0,05$ .

Analizės rezultatai pateikti 3 lentelėje. Jais remiantis, su tikimybe, ne mažesne nei  $p = 0,95$ , galima teigti, kad vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių pobūdis (intensyvumas ir kryptis) einant laikui kinta, nes visais lygintais atvejais  $t > t_{k,q}$ .

**2 lentelė.** Vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių greičių niveliacijų linijose tiesinių modelių gradientų analizė  
**Table 2.** The analysis of the vertical Earth surface movements speed linear model gradients at the levelling lines

Linija	Laiko tarpas, metai	grad (v)	$\sigma(\text{grad } v)$	Statistika $t$	Patikimumo lygmuo $q$
<i>Vilnius – Jonava</i>	1970–1948	0,0122	0,0010	12,6	$q < 0,01$
<i>Vilnius – Jonava</i>	1998–1970	-0,0062	0,0008	7,6	$q < 0,01$
<i>Jonava – Zarasai – Turmantas</i>	1980 – 1935–1936	-0,0082	0,0009	9,0	$q < 0,01$
<i>Jonava – Zarasai – Turmantas</i>	2006–1980	0,0242	0,0014	16,8	$q < 0,01$
<i>Jonava – Zarasai – Turmantas</i>	2005–2006 – 1935–1936	0,0045	0,0008	5,9	$q < 0,01$
<i>Turmantas – Vilnius</i>	1968–1948	-0,0349	0,0021	16,2	$q < 0,01$
<i>Turmantas – Vilnius</i>	2006 – 1985–1987	-0,0438	0,0022	20,0	$q < 0,01$
<i>Turmantas – Vilnius</i>	1985–1968	0,0628	0,0025	24,7	$q < 0,01$

**3 lentelė.** Regresinių modelių vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių greičių gradientų skirtumų analizė

**Table 3.** The differential analysis of the vertical earth surface movements speed regressive models

Linija	Laiko tarpas, metai	$\Delta\sigma$	$\sigma(\Delta)$	$t$	$t_{q,k}$ ( $q = 0,05$ )	Pastabos
Jonava – Vilnius	1970 – 1948 – 1998–1970	0,0184	0,0013	14,2	2,08	$t > t_{q,k}$
Jonava – Turmantas	2006 – 1980 – 2006–1935–1936	0,0197	0,0016	12,3	2,06	$t > t_{q,k}$
Jonava – Turmantas	1980 – 1935–1936 – 2006–1980	0,0334	0,0017	19,6	2,02	$t > t_{q,k}$
Turmantas – Vilnius	2006 – 1985–1987 – 1985–1987 – 1968	0,1066	0,0033	32,3	2,02	$t > t_{q,k}$
Turmantas – Vilnius	1968 – 1948 – 2006 – 1985–1987	0,0089	0,0031	2,9	2,03	$t > t_{q,k}$

Iš 1 ir 2 paveikslų matyti, kad Turmanto – Vilniaus linijoje 2006 – 1985–1987 m. bei 1985–1968 m. laikotarpiu vertikalųjų judesių kryptys yra priešingos, o judesių greičių kaitos amplitudė panaši. Panašus dėsningumas Jonavos – Zarasų – Turmanto linijoje 2006–1980 m. bei 1980 – 1935–1936 m. (3, 4 pav.) ir linijoje Vilnius – Jonava (5, 6 pav.) 1998–1970 ir 1970–1948 m. laiko tarpais.

#### 4. Išvados

1. Dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių greičių kaitos amplitudė Šiaurės Rytų Lietuvos regione siekia iki 4–6 mm per metus. Per pastarųjų 25 metų laikotarpį Zarasų – Turmanto teritorija Vilniaus – Jonavos atžvilgiu kyla iki 4–6 mm per metus greičiu.

2. Su ne mažesne už  $p = 0,95$  tikimybe nustatyta, kad einant laikui keičiasi ne tik vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiai, bet ir kryptis.

3. Su tikimybe  $p = 0,95$  nustatyta, kad nagrinėjamame Šiaurės Rytų Lietuvos regione apibendrintasis vertikalųjų Žemės plutos greičių modelis yra tiesinio pobūdžio. Tai gali būti paaiškinama didelio Žemės plutos bloko kaip vienalyčio kūno erdviniu judesiu.

4. Tokio intensyvumo judesius būtina įvertinti sudarant vertikaliosios geodezinius tinklus.

#### Literatūra

- ZAKAREVIČIUS, A. *The research of the present vertical earth crust movements in Lithuania* (Dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių Lietuvos teritorijoje tyrimas). Vilnius: Technika, 1994. 276 p. (in Lithuanian).
- ZAKAREVIČIUS, A. *The research of the present geodynamic processes on the territory of Lithuania* (Dabartinių geodinaminių procesų Lietuvos teritorijoje tyrimas). Vilnius: Technika, 2003. 195 p. (in Lithuanian).
- SUVEIZDIS, P. *Tectonic structure of Lithuania*. Vilnius: Institute of Geology and Geography, 2003. 160 p. (in Lithuanian).
- ILGINYTĖ, V. The seismic active tectonic areas of Lithuania. *Geologija*, 1998, Nr. 23, Vilnius, p. 61–64 (in Lithuanian).
- RANDJARV, J. Vertical movements of the Earth's crust in the Baltic Region. *Reports of the Finish Geodetic institute*, 93:2, Helsinki, 1993. 38 p.
- ŽELNIN, G. O. The trustiness of the maps (schemes) of the earth crust movement speeds (based on the example Baltic territory maps). In *The modern movements of Baltic territory*. Tartu, 1975, p. 13–27 (in Russian).
- ŠLIAUPA, S.; ZAKAREVIČIUS A.; STANIONIS, A. Strain and stress fields in the Ignalina NPP area from GPS data and thin-shell finite element modeling. *Geologija*, 2006, Vol 56, Vilnius, p. 27–35 (in Lithuanian).

- ZAKAREVIČIUS, A. The results of investigation of vertical movements of the Earth Crust in Ignalina Nuclear power plant geodynamic polygon. *Geodezija ir kartografija*, 1997, Nr 1 (25), p. 78–85 (in Lithuanian).
- ZAKAREVIČIUS, A.; TURIJ, N. The partial removal of measuring bias at the Borisov–Vileika geodynamical polygon vertical earth crust movements research. *The news of universities, Geodesy and air photo*, 1988, No 5, p. 57–64 (in Russian).
- MARTIŠIUS, S. A.; KĖDAITIS, V. *Statistics, part II. The conclusions and solutions of statistics*. Vilnius: VU publishing, 2004. 341 p. (in Lithuanian).
- KAZAKEVIČIUS, S. V. The first land levelling nets in Lithuania. *Earth Planning and Melioration*, 1998, No 3 (95), p. 72–82 (in Lithuanian).
- KAZAKEVIČIUS, S. V. The renewal and organisation of the main levelling net of Lithuania 1970–1987 m. *Earth Planning and Melioration*, 2000, No 1 (101), p. 95–106 (in Lithuanian).
- The creation of the first class nation vertical geodetic net of Lithuania*. The report of the scientific work (part VI). VGTU, The faculty of environmental engineering, Institute of geodesy, 2005 (in Lithuanian).
- The technical report of the first class lines Riga – Elgava – Liepaja – Elgava – Baranovich levelling. Object 3 – 327 North – West geodetic aero geodetic company GUGK, Leningrad, 1949. 107 p. (in Russian).
- The creation of the first class nation vertical geodetic net of Lithuania*. The report of the scientific work. VGTU, The faculty of environmental engineering, Institute of geodesy 2006 (in Lithuanian).
- The research and development of the gravimetric and height base of Lithuania*. The report of the scientific work, VGTU The faculty of environmental engineering, Institute of geodesy. 1998 (in Lithuanian).

**Algimantas ZAKAREVIČIUS.** Professor, Doctor Habil. Dept of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania, Ph +370 5 274 4703, e-mail: Algimantas.Zakarevicius@ap.vgtu.lt.

A graduate of Kaunas Polytechnic Institute (now Kaunas University of Technology), geodetic engineer, 1965. Doctor's degree at Vilnius University, 1973. Dr Habil degree at VGTU, 2000. Member of the Geodetic Commission of Estonia, Latvia and Lithuania. Research training at Geodetic Institute of Norwegian Mapping Authority, 1994. Author of over 140 publications and 3 monographs.

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

**Asta ANIKĖNIENĖ.** Doctoral student. Dept of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania, Ph +370 5 274 4703, e-mail: asta@ap.vgtu.lt

Master of Science, 2000. Research interests: investigation of geodynamic processes, GIS, investigations of deformations.