

UDK 528.481:551.24

DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ ŠIAURĖS RYTINĖJE LIETUVOS DALYJE REGRESINIAI MODELIAI

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*

Įteikta 2007 06 27, priimta 2007 09 27

Santrauka. Šiaurės rytinėje Lietuvos teritorijos dalyje atlikta išmatuotų vertikalųjų judesių bei kristalinio pamato reljefo ir nuosėdinės dangos geologinių rodiklių koreliacinė analizė. Nustatytas artimas koreliacinis ryšys tarp vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių ir teritorijos geologinių, geomorfologinių rodiklių. Teritorijos tektoniniam fonui detalizuoti bei jo prognozei taikytas regresinis modelis.

Reikšminiai žodžiai: vertikalieji Žemės plutos judesiai, regresinis modelis.

1. Įvadas

Dabartiniai tektoniniai procesai, o kartu ir dabartiniai Žemės plutos judesiai, yra ankstesnių geologinių periodų tektoninio aktyvumo tęsinys [1, 2]. Su Žemės tektoninio aktyvumo raida susiję geologinių paviršių deformacijos, susiformavusios geologinės struktūros, nuosėdinės dangos struktūrinės ir geometrinės savybės. Išmatuotus Žemės plutos judesius galima vertinti kaip dabartinius sudėtingos fizinės sistemos raidos išorinius būvio parametrus [3, 4]. Kadangi dabartiniai tektoniniai procesai yra ankstesnės Žemės tektoninės raidos tęsinys, tai ir išmatuotieji dabartiniai sistemos būvio parametrai turi būti akivaizdūs konkrečios teritorijos geologinės sandaros ir geofizinių laukų charakteristikose. Ir atvirkščiai, kai kurios geologinės, ypač tektoninės, Žemės plutos savybės gali turėti įtakos sistemos veikimo išoriniams parametrams.

Nors platforminiuose rajonuose tektoniniai judesiai yra lėti, greito poveikio geologinių ir geomorfologinių procesų raidai neturi, tačiau per ilgesnius laiko tarpusnius jie šiuos procesus veikia. Pagal stebimus kitus geologinius bei geomorfologinius ilgesnio laikotarpio raidos dėsningumus galima spręsti ir apie dabartinių Žemės plutos judesių raidos tendencijas.

Nagrinėjant geodezinius matavimus kompleksiskai su teritorijos geologiniais, geomorfologiniais, geofiziniais ypatumais, interpretuojant daugelį požymių kaip sudėtingų tarpusavio sąveikų sistemą, galima taikyti matematiniais metodais pagrįstas sisteminės analizės metodikas [2, 5].

Geologinė sandara teritoriniu požiūriu yra nevienalytė, todėl sąsajų tarp geodezinių metodais išmatuotų dabartinių Žemės plutos judesių bei teritorijos geologinių rodiklių nustatymo ir kitus tyrimus reikia atlikti regioniniu principu. Skirtingą sąsajų pobūdį

pavieniuose regionuose patvirtina ir anksčiau Lietuvos teritorijoje atlikti tyrimai [6–8].

Šio darbo tikslas – nustatyti matematinės statistinės sąsajos tarp vertikalųjų Žemės plutos judesių greičių ir jomis remiantis sudaryti Žemės plutos judesių modelį dabartiniam tektoniniam fonui prognozuoti.

Tyrimo objektas – Šiaurės Rytų Lietuvos regionas. Šiame Rytų Lietuvos regione geodeziniais matavimais nustatyti intensyvūs dabartiniai Žemės plutos judesiai [1, 2, 5, 9] bei judesių krypties inversijos einant laikui. Šiame regione tirti dabartinius geodinaminis procesus labai aktualu ir praktiniu požiūriu vertinant Ignalinos AE aplinkos geodinaminio bei seisminio pobūdžio riziką [7, 8].

Tyrimų metodas – išmatuotų Žemės plutos judesių ir teritorijos geologinių rodiklių koreliacinė bei regresinė analizė.

Tyrimo rezultatų naujumas – patikslintos tiriamojo regiono dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių charakteristikos ir nustatytos matematinės statistinės jų sąsajos su teritorijos geologinės sandaros ypatumais, sudarytas vertikalųjų Žemės plutos judesių prognozavimo regresinis modelis.

2. Išmatuotų vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiai

Šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiams apskaičiuoti remtasi 1935, 1936, 1948, 1968, 1970, 1971, 1980, 1985, 1987, 1998, 2005, 2006 metų precizinio niveliavimo rezultatais. Vertikalųjų judesių tarp gretimų reperų sąlyginiai greičiai pradinio trasos taško atžvilgiu apskaičiuoti pagal [9] darbe pateiktus algoritmus.

Atlikus matematinę statistinę šio regiono matavimo rezultatų analizę, nustatyta, kad vertikalųjų Žemės plutos

judesių greičių kaitos amplitudė siekia iki 4–6 mm per metus, taip pat su ne mažesne nei $p = 0,95$ tikimybe nustatyta, kad einant laikui keičiasi vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių kryptis: *Turmanto – Vilniaus* linijoje 2005–2006–1985–1987 m. bei 1985–1987–1968 m., *Jonavos – Zarasų – Turmanto* linijoje 2005–1980 m. bei 1980 – 1935–1936 m. ir linijoje *Vilnius – Jonava* 1998–1970–1971 ir 1970–1971–1948 m. laiko tarpais vertikaliųjų judesių kryptys yra priešingos [9].

Atsižvelgdami į tai, kad nustatyta vertikaliųjų Žemės plutos judesių savybių kaita einant laikui, nagrinėjamosios teritorijos Žemės plutos judesių modeliui sudaryti naudosime paskutiniųjų dviejų geodezinių matavimų ciklų rezultatus.

3. Vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių ir teritorijos geologinių rodiklių koreliacinės priklausomybės

Tiriant vertikaliųjų Žemės plutos judesių sąsajas su teritorijos geologiniais rodikliais, atsižvelgiama į šiuos teritoriją apibūdinančius rodiklius, su kuriais ieškoma dabartinių vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių v sąsajų:

- x_1 – gravitacinis laukas;
- x_2 – magnetinis laukas;
- x_3 – dabartinis Žemės paviršiaus reljefas;
- x_4 – kristalinio pamato reljefas;
- x_5 – prekvartero (pagrindinių sluoksnių) reljefas;
- x_6 – kvartero dangos storis;
- x_7 – nuosėdinės dangos storis;
- x_8 – prekvartero (pagrindinių sluoksnių) dangos storis.

Geologinių rodiklių ir vertikaliųjų Žemės plutos judesių tarpusavio sąsajos apibūdinamos koreliacijos koeficientų matrica [10]:

$$K = [k] = \frac{1}{n-1} Q^T Q, \quad (1)$$

čia Q – centruotoji ir normuotoji pradinių duomenų matrica; T – matricos transponavimo simbolis, n – pakartotinai niveliuotų reperų skaičius.

Tiriant vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių sąsajų su geologiniais rodikliais ypatumus, apskaičiuotos koreliacinės matricos linijose *Vilnius – Jonava* (1998–1970 m.); *Jonava – Zarasai – Turmantas* (2005–1980 m.); *Turmantas – Vilnius* (2005/06–1985/87 m.) bei šias linijas sujungiant į visumą.

1 lentelė. Vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių greičių bei geologinių rodiklių koreliacija
Table 1. The correlation of the vertical Earth's surface movements with the geological rates

Linija/ poligonas	$r(vx_1)$	$r(vx_2)$	$r(vx_3)$	$r(vx_4)$	$r(vx_5)$	$r(vx_6)$	$r(vx_7)$	$r(vx_8)$
<i>Vilnius – Jonava</i>	0,25	0,07	0,89	0,88	0,77	0,64	–0,85	–0,85
<i>Jonava – Zarasai – Turmantas</i>	0,31	–0,11	0,89	0,12	0,80	0,62	0,44	0,32
<i>Turmantas – Vilnius</i>	–0,86	–0,31	0,69	–0,94	0,22	0,45	0,93	0,95
<i>Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius</i>	–0,69	0,02	0,29	–0,57	0,45	–0,03	0,70	0,67

Kaip pradiniai duomenys, skaičiuojant koreliacines matricas minėtose niveliacijos linijose, apskaičiuotos reperų judesių greičių reikšmės paimtos iš [9] darbo, o geologinių rodiklių reikšmės nustatytos pagal reperų koordinates iš skaitmeninės duomenų bazės.

Išmatuotų vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių greičių koreliacijos su teritorijos geologiniais rodikliais koeficientai pateikti 1 lentelėje.

Iš lentelėje pateiktų duomenų analizės matyti, kad stipriausi vertikaliųjų Žemės plutos judesių koreliaciniai ryšiai linijoje *Vilnius – Jonava* yra su visais geologiniais rodikliais, išskyrus gravitacinį lauką bei magnetinį lauką, kurių koreliacijos koeficientai $R \leq 0,25$. Linijoje *Jonava–Zarasai – Turmantas* stipriausi koreliaciniai ryšiai su dabartiniu Žemės paviršiaus reljefu, kvartero dangos storiumi bei prekvartero (pagrindinių sluoksnių) reljefu, $R \geq 0,62$. Linijoje *Turmantas – Vilnius* stipriausi vertikaliųjų Žemės plutos judesių koreliaciniai ryšiai yra su gravitaciniu lauku, dabartiniu Žemės paviršiaus reljefu, kristalinio pamato reljefu, nuosėdinės dangos storiumi bei prekvartero (pagrindinių sluoksnių) dangos storiumi $-0,94 \leq R \leq 0,95$. Sujungus visas linijas į bendrą uždara poligoną stipriausi koreliaciniai ryšiai yra su gravitaciniu lauku, kristalinio pamato reljefu, prekvartero (pagrindinių sluoksnių) reljefu, nuosėdinės dangos storiumi bei prekvartero (pagrindinių sluoksnių) dangos storiumi $-0,69 \leq R \leq 0,70$.

4. Regresinio modelio sudarymo metodika

Pagal matematinės statistinės vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių analizės rezultatus nustatyta, kad yra koreliacinis ryšys tarp dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių ir teritorijos geologinių bei geofizinių rodiklių. Galima teigti, kad dabartiniai Žemės plutos judesiai Šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje yra natūrali geologinių procesų raidos tąsa, o tai reiškia, kad yra reali galimybė pagal teritorijos geologinius bei geofizinius rodiklius prognozuoti pagrindinius nūdienos tektoninių procesų vyksmo bruožus, apibūdinti dabartinį tektoninį foną.

Teritorijos tektoninio fono prognozei galima taikyti regresinį modelį. Turint pakartotinų niveliacijų linijų reperų išmatuotų vertikaliųjų judesių [9] (jie sutapatinami su Žemės paviršiaus judesiais) duomenis ir minėtųjų teritorijos geologinių rodiklių skaitmenines reikšmes, galima sudaryti regresinį modelį:

$$V = \beta X + \varepsilon, \quad (2)$$

čia V – išmatuotų vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių reikšmių vektorius; X – teritorijos geologinių rodiklių skaitmeninių reikšmių matrica; β – modelio parametru vektorius; ε – atsitiktinių paklaidų vektorius.

Modelio parametrai (2) nustatomi mažiausių kvadratų metodu [1, 2, 10]. Jų reikšmės:

$$b = (X^T X)^{-1} X^T V. \quad (3)$$

Tuomet empiriškai nustatytą regresinį modelį galima rašyti

$$\hat{V} = bX. \quad (4)$$

Regresinio modelio adekvatumas matavimo rezultatams tikrinamas taikant determinacijos koeficientą R^2 ir Fišerio F statistiką.

Determinacijos koeficiento

$$R^2 = \frac{b^T X^T V - n\bar{V}^2}{V^T Y - n\bar{V}^2} \quad (5)$$

kitimo ribos – $0 \leq R^2 \leq 1$. Šis koeficientas byloja apie regresinio modelio efektyvumą. Kuo determinacijos koeficientas artimesnis vienetui, tuo regresinis modelis geriau atitinka matavimo rezultatus.

Determinacijos koeficientas rodo santykį tarp išmatuotų ir regresijos modeliu aprašytų vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių reikšmių. Determinacijos koeficientą padauginę iš 100, gausime procentais išreikštą rodiklį, kuris rodo, kokią išmatuotų dydžių dalį įvertina regresinis modelis.

Vertinant sudaryto regresinio modelio adekvatumą nagrinėjamoje trasoje išmatuotiems vertikaliųjų Žemės

plutos judesių greičiams taip pat skaičiuojama F statistika:

$$F = \frac{(b^T X^T V - n\bar{V}^2)(n - m - 2)}{(V^T V - bX^T V)(m - 1)}, \quad (6)$$

čia n – geodezinių ženklų (išmatuotų judesių greičių) skaičius, m – regresinio modelio parametru skaičius.

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 regresinis modelis adekvatus išmatuotiems dydžiams ir įvertina $100R^2, \%$, išmatuotų vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių reikšmių.

Atliekant tyrimus, taikyti tiesiniai regresiniai modeliai

$$\hat{V} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n. \quad (7)$$

Regresiniai modeliai skaičiuoti trim būdais:

1) taikant visus koreliacinei analizei naudotus geologinius rodiklius;

2) atsižvelgiant tik į tuos teritoriją apibūdinančius rodiklius, kurių koreliacijos su vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiais koeficiento reikšmė $r \geq 0,50$;

3) taikant atvirkštinę žingsninę regresiją, kol regresijos lygtyje lieka 2–4 didžiausiąją įtaką turintys rodikliai, esant pakankamos tikimybės modelio adekvatumo rodikliams.

Gauti pavienių nagrinėtų linijų bei šių linijų sujungtų į vieną uždara poligoną, tiesiniai regresijos modeliai ir jų adekvatumo matavimo rezultatams rodikliai.

Regresinių modelių adekvatumui įvertinti apskaičiuotas determinacijos koeficientas $R^2, \%$, statistika F bei $F_{q(k_1, k_2), q=0,05}$ (2 lentelė; regresijos modeliai – 3 lentelė).

2 lentelė. Regresinės analizės rezultatai

Table 2. The results of the regression analysis

Eil. nr.	Analizės žingsniai	Geologiniai rodikliai								$R^2, \%$	F	$F_{q(k_1, k_2), q=0,05}$
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8			
<i>Vilnius – Jonava</i>												
1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	96,21	15,87	4,82
2	2			x	x	x	x	x	x	94,84	21,46	3,87
3	3			x	x		x	x		92,85	29,24	3,63
<i>Jonava – Zarasai – Turmantas</i>												
4	1	x	x	x	x	x	x	x	x	92,23	25,21	2,55
5	2			x		x	x			80,27	29,84	3,05
6	3		x		x	x		x		91,03	53,29	2,84
<i>Turmantas – Vilnius</i>												
7	1	x	x	x	x	x	x	x	x	96,14	52,95	2,55
8	2	x		x	x			x	x	96,00	96,04	2,71
9	3	x					x		x	96,05	178,37	3,05
<i>Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius</i>												
10	1	x	x	x	x	x	x	x	x	81,00	30,90	2,06
11	2	x			x	x		x	x	76,20	39,06	2,35
12	3	x				x		x		75,40	64,38	2,73

Iš 2 lentelėje pateiktų duomenų galima daryti išvadą, kad, regresiniams modeliams sudaryti naudojant tik tuos geologinius rodiklius, kurių koreliacijos su vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiais koeficientas $r \geq 0,50$, arba taikant atvirkštinės žingsninės regresijos metodiką, galima sumažinti regresijos lygties kintamųjų skaičių, įskaitant beveik tuos pačius regresinio modelio adekvatumo matavimo rezultatams rodiklius. Niveliavimo linijų *Jonava – Zarasai – Turmantas* ir *Turmantas – Vilnius* modelio adekvatumo rodikliai visais trim atvejais išlieka iš esmės tie patys. Linijos *Vilnius–Jonava*, kurios Žemės plutos judesių greičių sklaida nedidelė (amplitudė iki 0,7 mm ir yra apie 5 kartus mažesnė negu kitų linijų), taikant lygtyje mažiau kintamųjų, modelio adekvatumas pirmais dviem atvejais išlieka iš esmės tas pats, o žingsninės regresijos atveju – sumažėja apie 15 %, tačiau išlieka pakankamai geras (determinacija apie 83 %). Regresijos lygtyse sumažinti kintamųjų skaičių be didelio nuostolio modelių adekvatumui galima dėl to, kad teritoriją apibūdinantys rodikliai tarpusavyje taip pat statistiškai priklausomi, t. y. vertikalieji Žemės paviršiaus judesiai ir geologiniai

teritorijos rodikliai tos pačios sudėtingos fizinės sistemos, kurią veikia tektoninės įtampos, išoriniai būvio parametrai. Skirtumas tik tai, kad geologiniai rodikliai byloja apie ilgą geologinės raidos laikotarpį, o dabartiniai Žemės plutos judesiai – paskutiniuosius dešimtmečius.

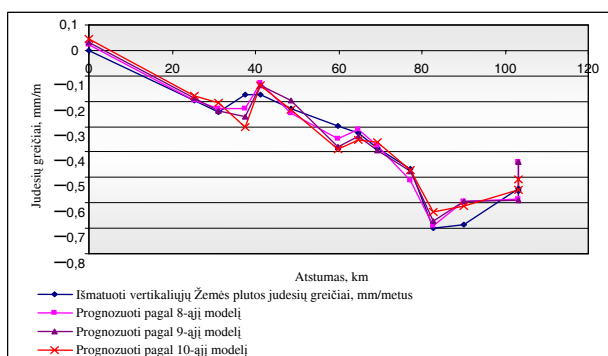
Nevienodas geologinių rodiklių pasiskirstymas pavienėse linijose antrajame bei trečiajame analizės variantuose patvirtina, kad sąsajos tarp geologinių rodiklių ir Žemės plutos judesių ne visur vienodos. Todėl nagrinėjant šiuo požiūriu dideles teritorijas, būtina išsamia analizę atlikti teritoriniu principu, atsižvelgiant į geologinę sandarą.

Uždarojo poligono *Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius* regresinių modelių (3 lentelė) adekvatumo matavimo duomenims rezultatai kiek prastesni nei pavienių linijų, tačiau visais atvejais determinacija yra didesnė kaip 75%. Dispersinės analizės rezultatai rodo, kad ir pavienių linijų, ir uždaro poligono visų modelių bei matavimo duomenų atitikimo tikimybė $p \geq 0,95$.

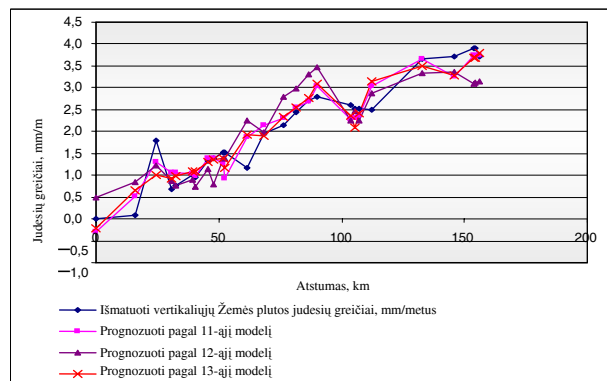
3 lentelė. Regresijos modeliai
Table 3. Regression models

Eil. nr.	Regresinės analizės žingsniai	Regresijos modeliai
<i>Vilnius – Jonava</i>		
1	1	$\hat{V} = 3,327 - 0,625 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 0,887 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 7,122 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 9,530 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 3,532 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 + 3,092 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 3,560 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 5,509 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (8)
2	2	$\hat{V} = 2,914 - 7,705 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 10,016 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 3,148 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 + 3,297 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 3,846 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 5,757 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (9)
3	3	$\hat{V} = 4,424 - 8,667 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 7,315 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 + 0,953 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 6,739 \cdot 10^{-2} \cdot x_7$ (10)
<i>Jonava – Zarasai – Turmantas</i>		
4	1	$\hat{V} = 8,431 + 1,723 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 7,961 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 0,0956 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 8,170 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 4,226 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 - 3,964 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 8,170 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 - 1,458 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (11)
5	2	$\hat{V} = -1,499 + 7,895 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 - 4,980 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 - 4,709 \cdot 10^{-2} \cdot x_6$ (12)
6	3	$\hat{V} = 8,055 - 9,275 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 + 5,597 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 1,685 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 + 4,193 \cdot 10^{-2} \cdot x_7$ (13)
<i>Turmantas – Vilnius</i>		
7	1	$\hat{V} = -5,579 - 5,104 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 + 5,247 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 0,776 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 2,159 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 1,617 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 - 2,726 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 - 2,020 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 5,679 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (14)
8	2	$\hat{V} = -5,378 - 5,065 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 1,436 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 0,880 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 3,727 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 6,070 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (15)
9	3	$\hat{V} = -5,846 - 4,976 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 4,976 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 1,451 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (16)
<i>Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius</i>		
10	1	$\hat{V} = -7,669 - 3,189 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 1,627 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 + 10,046 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 - 8,160 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 + 1,252 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 + 2,213 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 - 10,399 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 3,093 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (17)
11	2	$\hat{V} = -6,562 - 3,333 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 0,251 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 + 3,405 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 1,390 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 - 0,909 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (18)
12	3	$\hat{V} = -5,590 - 3,689 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 + 3,147 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 + 0,667 \cdot 10^{-2} \cdot x_7$ (19)

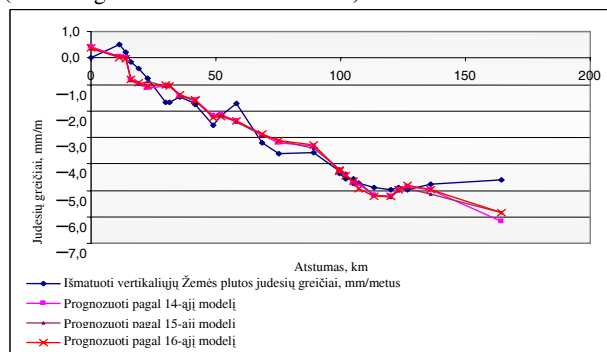
Išmatuotų vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiai ir prognozavimo rezultatai pagal visų trijų tipų regresinius modelius niveliacijų linijose (*Vilnius – Jonava*, *Jonava – Zarasai – Turmantas*, *Turmantas – Vilnius*) pavaizduoti 1–3 paveiksluose. Poligone *Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius* – 4 paveiksle. Iš 1–4 paveikslų matyti, kad visi regresijos modeliai pakankamai gerai atspindi matavimų rezultatus. Modeliai gauti visais trim nagrinėtais būdais, labai nedaug skiriasi ir atspindi bendruosius dėsningumus. Modeliai, sudaryti taikant tik rodiklius, kurių koreliacijos su vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiais koeficientų reikšmės $r \geq 0,50$, bei žingsninę regresiją, geriau eliminuoja lokaliausias išmatuotų reikšmių anomalijas, t. y. pagal juos gaunami labiau apibendrinti prognozavimo rezultatai.



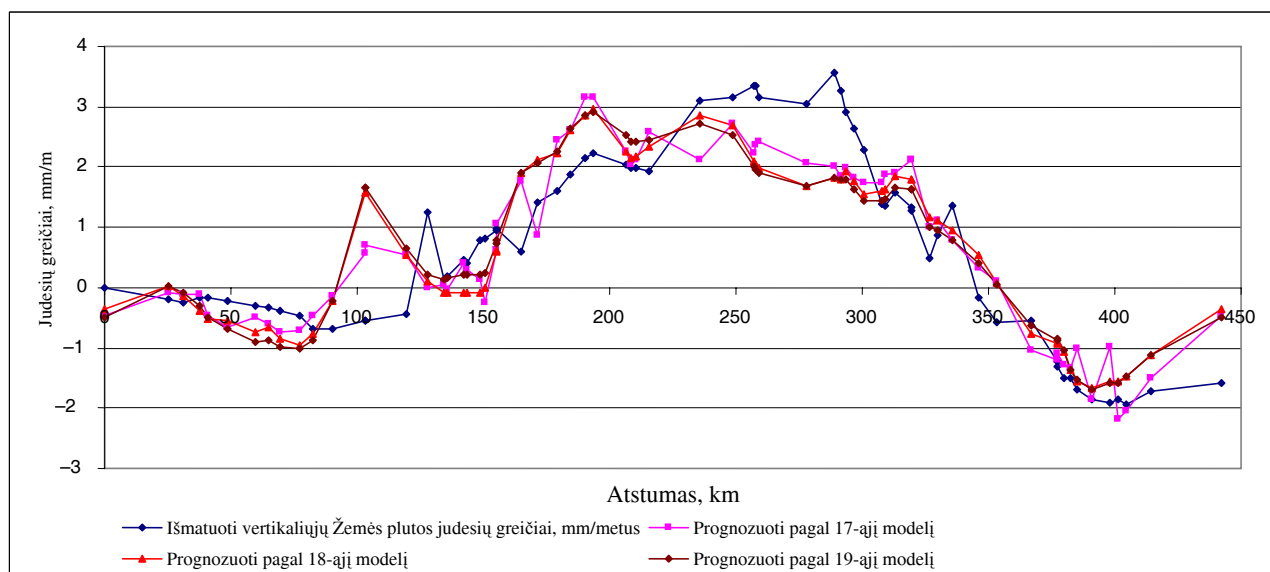
1 pav. Išmatuotų ir prognozuotų vertikaliųjų Žemės plutos judesių linijoje *Vilnius – Jonava* grafikas (pagal 1998–1970 m. matavimo duomenis)
Fig 1. The graphs of measured and forecasted vertical earth crust movements at a line of *Vilnius – Jonava* (according to the data of 1998–1970)



2 pav. Išmatuotų ir prognozuotų vertikaliųjų Žemės plutos judesių linijoje *Jonava – Zarasai – Turmantas* grafikas (pagal 2005–1980 m. matavimo duomenis)
Fig 2. The graphs of measured and forecasted vertical earth crust movements at a line of *Jonava – Zarasai – Turmantas* (according to the data of 2005–1980)



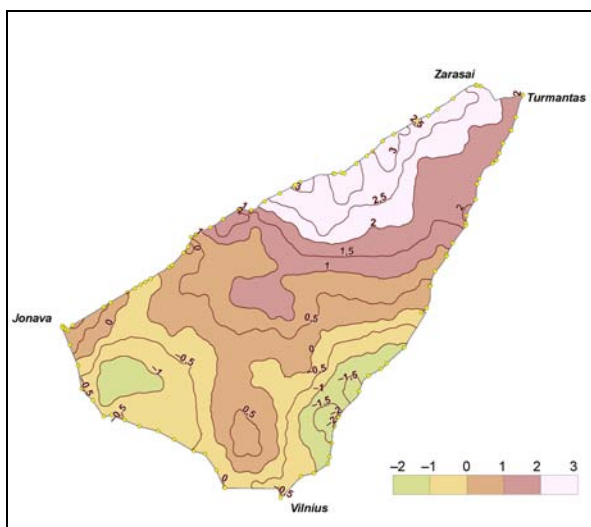
3 pav. Išmatuotų ir prognozuotų vertikaliųjų Žemės plutos judesių linijoje *Turmantas – Vilnius* grafikas (pagal 2005/06–1985/87 m. matavimo duomenis)
Fig 3. The graphs of measured and forecasted vertical earth crust movements at a line of *Turmantas – Vilnius* (according to the data of 2005/06–1985/87)



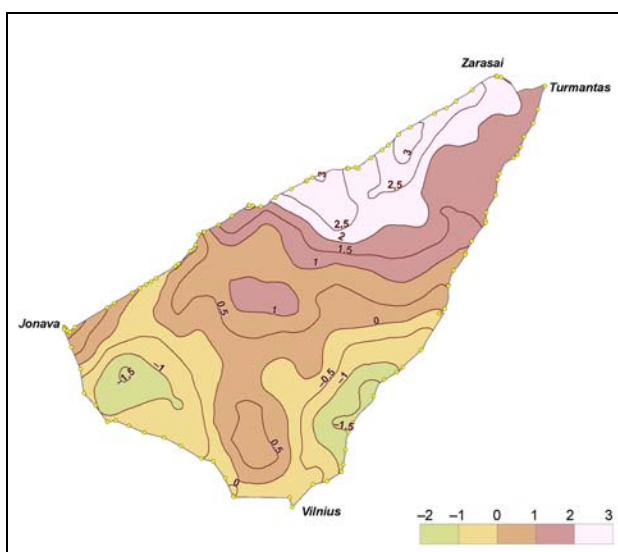
4 pav. Išmatuotų ir prognozuotų vertikaliųjų Žemės plutos judesių poligone *Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius* grafikas
Fig 4. The graphs of measured and forecasted vertical earth crust movements at a polygon of *Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius*

5. Dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių Šiaurės Rytų Lietuvoje greičių žemėlapiai, sudaryti pagal regresinius modelius

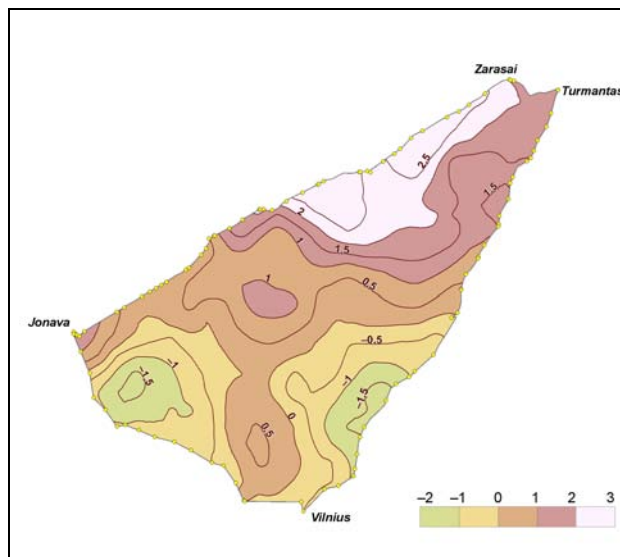
Taikant visais trim minėtais būdais sudarytus regresinius modelius (3 lentelė, (17–19) modeliai) parengti uždaro poligono *Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius*, sutampančio su Šiaurės Rytų Lietuvos regionu, vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių žemėlapiai. Prognozuojant vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičius, į regresijos lygtis įeinančių argumentų (geologinių rodiklių) reikšmės nustatytos iš skaitmeninių geologinių duomenų bazių diskrečiuose taškuose, išdėstytoose 5×5 km kvadratų tinklelio viršūnėse. Žemėlapiai pateikti 5–7 paveiksluose.



5 pav. Pagal (17) regresinį modelį prognozuotas dabartinis tektoninis fonas (judesių greičiai mm per metus)
Fig 5. The present tectonic background (movements mm per year) according to the regression model (17)



6 pav. Pagal (18) regresinį modelį prognozuotas dabartinis tektoninis fonas (judesių greičiai mm per metus)
Fig 6. The present tectonic background (movements mm per year) according to the regression model (18)



7 pav. Pagal (19) regresinį modelį prognozuotas dabartinis tektoninis fonas (judesių greičiai mm per metus)
Fig 7. The present tectonic background (movements mm per year) according to the regression model (19)

Iš šių paveikslų matyti, kad pagal visais trim būdais gautus regresinius modelius sudaryti žemėlapiai labai panašūs ir byloja apie tuos pačius bendruosius dabartinius Žemės plutos judesių dėsningumus, tačiau antruoju atveju (kai taikomi rodikliai, kurių $r \geq 0,50$) ir trečiuoju (žingsninė regresija) atveju gaunami labiau sugludinti, t. y. labiau apibendrinti rezultatai. Turint omenyje, kad regresijos modeliuose argumentai yra rodikliai, kuriuos lėmė procesai, trukę ilgus geologinius periodus, o funkcija (dabartiniai Žemės plutos judesiai) nusako, palyginti su argumentais, labai trumpą periodą, netikslinga nagrinėjant dabartinę teritorijos tektoninį foną bei sudarant Žemės plutos judesių greičių žemėlapius labai detalizuoti. Rekomenduojame taikyti labiau apibendrintus, t. y. antruoju arba trečiuoju būdu sudarytus regresinius modelius.

6. Išvados

1. Nustatytos vertikaliųjų Žemės plutos judesių ir teritorijos geologinių rodiklių koreliacinės priklausomybės. Koreliacinių priklausomybių struktūra priklauso nuo geologinės sandaros regioninių ypatumų ir ne visose nagrinėjamos teritorijos dalyse yra ta pati.
2. Sudaryti Šiaurės Rytų Lietuvos teritorijos dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių regresiniai modeliai su tikimybe, ne mažesne kaip 0,95, adekvačiai atkartoja geodeziniais metodais išmatuotų judesių reikšmes.
3. Dėl geologinių rodiklių tarpusavio koreliacinių priklausomybių regresinių modelių kintamųjų skaičių galima sumažinti taikant žingsninės regresijos analizės metodiką.
4. Kadangi dabartinių Žemės plutos judesių ir teritorijos geologinių rodiklių koreliacinės priklausomybės ne visur vienodos, nagrinėjant dabartinius Žemės plutos judesius didelėse teritorijose,

tyrimus būtina diferencijuoti teritoriniu principu pagal regiono geologinę sandarą.

5. Pagal geologinius rodiklius sudaryti dabartinių Žemės plutos judesių regresiniai modeliai teikia galimybių prognozuoti Žemės plutos judesius kartotinės niveliacijos poligonų vidinėje dalyje, t. y. ten, kur neatliekami tiesioginiai geodeziniai matavimai.

Literatūra

1. ZAKAREVIČIUS, A. *The research of the present vertical Earth's crust movements in Lithuania* (Dabartinių vertikalių Žemės plutos judesių Lietuvos teritorijoje tyrimas). Vilnius: Technika, 1994. 276 p. (in Lithuanian).
2. 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).
3. SUVEIZDIS, P. *Tectonic structure of Lithuania*. Vilnius: Institute of Geology and Geography, 2003. 160 p. (in Lithuanian).
4. ILGINYTĖ, V. The seismic active tectonic areas of Lithuania. *Geologija*, 1998, No 23, p. 61–64 (in Lithuanian).
5. RANDJARV, J. Vertical movements of the Earth's crust in the Baltic Region. *Reports of the Finish Geodetic institute*, 1993, 93(2), 38 p.
6. ŽELNIN, G. O. The trustiness of the maps (schemes) of the Earth's crust movement speeds (based on the example of Baltic territory maps). In *The Modern Movements of Baltic Territory*. Tartu, 1975, p. 13–27 (in Russian).
7. ŠLIAUPA, S.; ZAKAREVIČIUS, A.; STANIONIS, A. Strain and stress fields in the Ignalina NPP area from GPS data and thin-shell finite element modelling. *Geologija*, 2006, Vol 56, p. 27–35 (in Lithuanian).
8. ZAKAREVIČIUS, A. The results of investigation of vertical movements of the Earth's Crust in Ignalina Nuclear power plant geodynamic polygon. *Geodezija ir kartografija*, 1997, No 1 (25), p. 78–85 (in Lithuanian).
9. ZAKAREVIČIUS, A.; ANIKĖNIENĖ, A. Peculiarities of present geodynamic processes in the North-eastern Lithuania. In *Baltic Surveying'07: Transactions of the Estonian University of Life Sciences. May 9-11, 2007/ Ministry of Agriculture of Lithuania, Lithuanian University of Agriculture*. Tartu, 2007, No 224, p. 122–147. ISSN 1406–4049.
10. MARTIŠIUS, S. A.; KĖDAITIS, V. *Statistics, part II. The conclusions and solutions of statistics*. Vilnius: VU publishing, 2004. 341 p. (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 200 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.

MSc (2000).

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