



NAUJAS LIETUVOS TERITORIJOS VERTIKALIŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESŲ ŽEMĖLAPIS

Algimantas Zakarevičius¹, Saulius Šliaupa^{2,3}, Asta Anikėnienė³

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

² Geologijos ir geografijos institutas,

T. Ševčenkos g. 13, LT-03223 Vilnius, Lietuva, el. paštas sliaupa@geo.lt.

² Geologijos ir mineralogijos katedra, Vilniaus universitetas,
M. K. Čiurlionio g. 21/27, LT-03101 Vilnius, Lietuva

Įteikta 2008 09 12, priimta 2008 12 23

Santrauka. Sudarytas naujas Lietuvos teritorijos dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių greičių žemėlapis, judesiams modeliuoti taikant autorių pasiūlytą metodiką. Metodika pagrįsta vertikalųjų judesių reikšmių ir teritorijos svarbiausių georodiklių koreliacinėmis ir regresinėmis priklausomybėmis, gautomis atlikus geodezinius matavimus. Dabartiniai vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiai Lietuvos teritorijoje yra nuo –3,5 iki +2,5 mm per metus. Intensyviausias Žemės plutos kilimas ir didžiausia judesių greičių gradientų kaita yra šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje, o grimzdimas – pietinėje ir pietvakarinėje srityse. Iširtas pagal regresinį matematinį modelį sudaryto žemėlapio patikimumas ir nustatyta, kad žemėlapio atitikimo pagal geodezinių matavimų rezultatus tikimybė yra ne mažesnė nei 0,95.

Reikšminiai žodžiai: vertikalieji Žemės plutos judesiai, regresinis modelis.

1. Įvadas

Sudarant dabartinių Žemės plutos judesių žemėlapius, judesių skaitmeninės reikšmės nustatomos remiantis kartotinių geodezinių matavimų rezultatais. Vertikaliesiems Žemės plutos judesiams nustatyti taikomas kartotinis niveliavimas. Lyginant skirtingu laiku atliktų niveliacijų matavimų rezultatus, gaunama objektyvi informacija apie vertikaliosios Žemės plutos judesius. Beje, šis metodas turi ir esminių trūkumų. Atstumai tarp kartotinio niveliavimo linijų yra dideli, o ir palyginti rečiau niveliacijų linijose išdėstyti kartotiniai niveliuoti geodeziniai ženklai, todėl lieka didelis neapibrėžtumas nustatant vertikalųjų Žemės plutos judesių reikšmes ir jų kaitos ypatumus kartotinio niveliavimo metu sudarytų poligonų viduje bei kitose vietose, kur tarp geodezinių ženklų dideli atstumai.

Iki šiol visi Lietuvos teritorijos (Лесис 1960; Рандярв 1968, 1975, Рандярв 1993; Матцкова 1963) ir kiti vertikalųjų Žemės plutos judesių žemėlapiai buvo sudaromi tik pagal geodezinių matavimų duomenis, brėžiant greičių izolinijas tiesioginio geometrinio interpretavimo būdu arba jas poligonų viduje tam tikru laipsniu koreguojant įvertinus teritorijos geologinės sandaros ypatumus. Taip buvo koreguojama remiantis subjektyviomis žemėlapių autorių nuostatomis, nepagrindžiant objektyviais rodikliais, todėl atsirado nemaža netgi beveik pagal tuos pačius matavimų

duomenis sudarytų vertikalųjų Žemės plutos judesių žemėlapių įvairovė (Лесис 1960; Рандярв 1993).

Grindžiant metodologiniais principais, kad dabartiniai vertikalieji Žemės plutos judesiai yra ankstesnių geologinių periodų tektoninių procesų tęsinys, pasiūlyta metodika dabartiniams Žemės plutos judesiams modeliuoti atsižvelgiant ne tik į geodezinius matavimų rezultatus, bet ir teritorijos georodiklius (Dėnas ir kt. 2005; Zakarevičius ir kt. 2008; Zakarevičius 2003). Atlikti ankstesni tyrimai patvirtino (Zakarevičius, Anikėnienė 2007c), kad tokią metodiką patikimai galima taikyti tiariant Lietuvos teritoriją.

Šio darbo tikslas – taikant minėtą metodiką, sudaryti naują Lietuvos teritorijos dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių greičių žemėlapi ir iširti jo patikimumą.

Darbo mokslinis naujumas – pirmą kartą sudarytas dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių greičių žemėlapis, judesiams modeliuoti taikant matematiniais statistiniais metodais nustatytas sąsajas su teritorijos georodikliais ir jų pagrindu sudarytus regresinius modelius.

2. Žemės plutos judesiams nustatyti naudoti niveliacijos ir geologiniai duomenys

Pradiniai geodezinių matavimų duomenys, kuriuos išanalizavus sudarytas dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių žemėlapis, yra pagal pakartotų tikslųjų niveliacijų

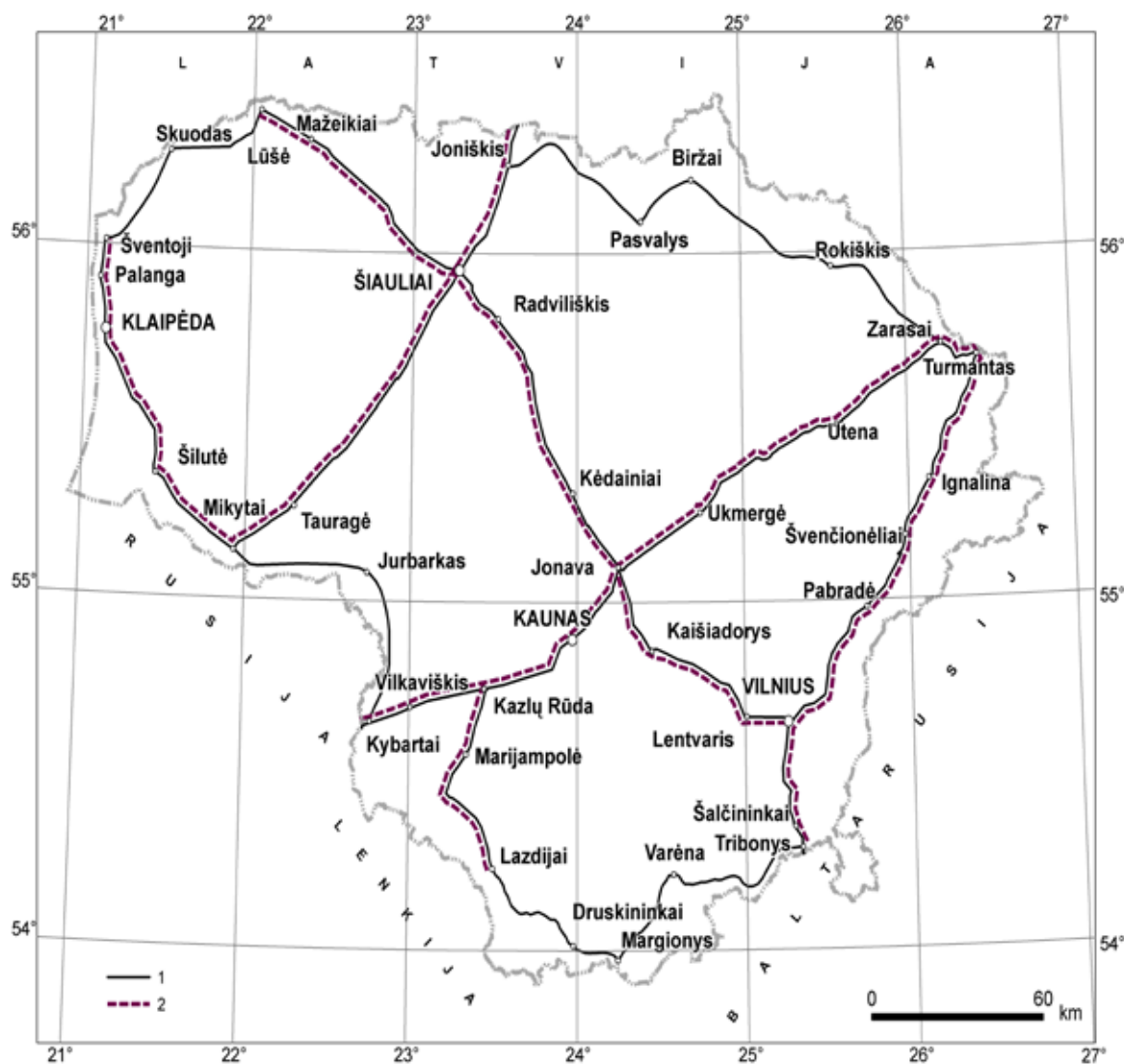
matavimų rezultatus apskaičiuoti reperių vertikaliųjų judesių greičiai per laikotarpį tarp kartotinių niveliacijų ir teritorijos georodikliai (gravitacinis laukas (mGal), magnetinis laukas (nT), dabartinis Žemės paviršiaus reljefas (m), kristalinio pamato reljefas (m), prekvartero (pagrindinių sluoksnių) reljefas (m), kvartero dangos storis (m), nuosėdinės dangos storis (m), prekvartero (pagrindinių sluoksnių) dangos storis (m). Georodikliai gauti iš Lietuvos geologijos tarnybos skaitmeninių duomenų bazių.

Lietuvos teritorijoje kai kuriose niveliacijų tinklo linijose yra atlikta po kelias kartotines niveliacijas (Kazakevičius 1998, 2000). Iš ankstesnių tyrimų nustatyta, kad dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių savybės einant laikui kinta (Zakarevičius, Anikėnienė 2007a, b). Keičiasi ne tik Žemės plutos judesių greitis, bet dažnai atvejais – ir kryptis, todėl, sudarant vertikaliųjų Žemės plutos judesių žemėlapi, panaudoti paskutiniųjų dviejų tiksliausių niveliacijų duomenys. Naujausieji, t. y. paskutiniojo matavimų ciklo rezultatai paimti iš 1998–2006 me-

tais sudaryto Lietuvos vertikalojo geodezinio tinklo (Petroškevičius ir kt. 1996, 2005; Petroškevičius, Paršeliūnas 1998; Paršeliūnas ir kt. 2000; Skeivalas 2007) duomenų.

Kiti duomenys – vėliausių prieš tai atliktų niveliacijų, kurių linijos sutampa su vertikalojo geodezinio tinklo linijomis (1 paveikslas). Laiko tarpai tarp kartotų skirtingų linijų niveliacijų yra nuo 1965 m. iki 2006 m. Linijos, kuriose pagal kartotinių geodezinių matavimų duomenis apskaičiuoti dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiai, pažymėti 1 paveiksle. Kartotinių matavimų tinklo linijose atliktų niveliacijų charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

Georodikliai ties geodeziniais ženklais, kurių vietoje vertikaliųjų judesių greičiai apskaičiuoti pagal matavimų duomenis, ir kituose sudarant žemėlapi reikalinguose taškuose paimti iš skaitmeninių duomenų bazių. (Apskaičiuota pagal LKS 94 koordinacijų sistemos tų taškų plokštumines koordinatas).



1 pav. Lietuvos valstybinio geodezinio vertikalojo pirmosios klasės tinklo schema:

1 – vertikalojo tinklo niveliacijos linijos, 2 – kartotinės niveliacijos linijos

Fig 1. First-level geodetic levelling network of Lithuania

1 lentelė. Niveliacijų charakteristikos

Table 1. Levelling characteristics

Metai	Įmonė, atlikusi matavimus	Matavimų tikslumas, mm/km	Pakartotinai niveliuotų reperių skaičius
<i>Šiauliai – Kužiai – Mažeikiai – Lūšė</i>			
1965	KPI Geodezijos katedra	0,46	16
2004	VG TU Geodezijos institutas	0,47	
<i>Šiauliai – Tauragė – Mikytai</i>			
1976	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė	0,63	27
2002	VG TU Geodezijos institutas	0,40	
<i>Mikytai – Šilutė – Klaipėda – Palanga – Būtingė</i>			
1973–1975	VISI Geodezijos katedra	0,37	19
2003	VG TU Geodezijos institutas	0,42	
<i>Jonava – Gaižiūnai – Palemonas – Kaunas – Kazlų Rūda – Kybartai</i>			
1970	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 7-oji įmonė	0,47	22
1998	VG TU Geodezijos institutas	0,39	
<i>Vilnius – Jonava</i>			
1970–1971	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 7-oji įmonė	0,53	14
1998	VG TU Geodezijos institutas	0,36	
<i>Jonava – Zarasai – Turmantas</i>			
1980	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė	0,62	26
2005	VG TU Geodezijos institutas	0,38	
<i>Turmantas – Vilnius</i>			
1985–1987	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė	0,69	29
2005–2006	VG TU Geodezijos institutas	0,34	
<i>Jonava – Šiauliai – Joniškis</i>			
1970–1971	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 7-oji įmonė	0,53	22
2002	VG TU Geodezijos institutas	0,41	
2004	VG TU Geodezijos institutas	0,48	
<i>Kazlų Rūda – Šeštokai – Lazdijai – Lenkijos siena</i>			
1982	Vyriausiosios geodezijos ir kartografijos valdybos 5-oji įmonė	0,92	20
1998	VG TU Geodezijos institutas	0,47	

3. Žemėlapiu sudarymo metodika ir rezultatai

Atliekant kartotinės niveliacijos matavimus nustatyti dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių ir teritorijos georodiklių sąsajoms rasti taikyta A. Zakarevičiaus, A. Anikėnienės (2007a, b, c) darbuose nagrinėta koreliacinės ir regresinės analizės metodika bei galimybės sudaryti prognostinius dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių modelius.

Vertikaliųjų Žemės plutos judesių prognostinis modelis išreiškiamas regresijos lygtimi (Martišius, Kėdaitis 2004)

$$v = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8, \tag{1}$$

čia v – pagal sudarytą modelį prognozuojami dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiai, 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 storio skaitmeninės reikšmės, a_0, a_1, \dots, a_8 – regresinio modelio koeficientai. Regresinio modelio koeficientai gauti žinant išmatavus apskaičiuotas vertikaliųjų judesių greičių reikšmes ir georodiklių skaitmenines reikšmes. Regresinių modelių koefici-

entų reikšmės apskaičiuotos taikant matavimų duomenų statistinės analizės programinį paketą *STATGRAPHICS*.

Prognostinio modelio (1) taikymo visoje Lietuvos teritorijoje galimybėms bei prognozavimo kokybei įvertinti atlikta pavienių kartotinių niveliacijų linijų išmatuotų ir prognozuotų judesių greičių analizė.

Iš ankstesnių tyrimų nustatyta (Zakarevičius, Anikėnienė 2007c; Zakarevičius 1994, 2003), kad išmatuotų dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių bei georodiklių koreliacinės priklausomybės ne visur vienodos. Be to, yra tarpusavio koreliacinė priklausomybė tarp skirtingų georodiklių, kuri taip pat ne visur vienoda. Norint išsiaiškinti, kaip kinta šios priklausomybės Lietuvos teritorijoje, sudaryti pavienių linijų prognozavimo modeliai (2–28). Prognozavimo modeliai sudaryti trimis būdais: 1 – taikant visus georodiklius, 2 – atsižvelgiant tik į tuos georodiklius, kurių koreliacijos su vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiais koeficiento reikšmė $r \geq 0,50$, 3 – atvirkštinės žingsninės regresijos būdu (2 lentelė).

Prognozavimo regresiniai modeliai ir jų kokybės rodikliai (determinacijos koeficientas R^2 , %, Fišerio F_q statistika ir jos reikšmė F_q , esant patikimumo lygmeniui $q = 0,005$) pateikti 2 lentelėje.

Išmatuotų ir prognozuojamų pagal minėtus tris regresinius modelius vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių reikšmės grafiškai parodyta 2 paveiksle.

2 lentelė. Regresijos modeliai

Table 2. Regression models

Regresinės analizės žingsniai	Regresijos modeliai	R^2 , %	F	$F_{q(k_1, k_2)}$ $q=0,05$	
<i>Vilnius – Jonava</i>					
1	$\hat{V} = 3,327 - 0,625 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 0,887 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 7,122 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 9,530 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 3,532 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 + 3,092 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 3,560 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 5,509 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$	(2)	96,21	15,87	4,82
2	$\hat{V} = 2,914 - 7,705 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 10,016 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 3,148 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 + 3,297 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 3,846 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 5,757 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$	(3)	94,84	21,46	3,87
3	$\hat{V} = 4,424 - 8,667 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 7,315 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 + 0,953 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 6,739 \cdot 10^{-2} \cdot x_7$	(4)	92,85	29,24	3,63
<i>Jonava – Zarasai – Turmantas</i>					
1	$\hat{V} = 8,431 + 1,723 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 7,961 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 0,0956 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 8,170 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 4,226 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 - 3,964 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 8,170 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 - 1,458 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$	(5)	92,23	25,21	2,55
2	$\hat{V} = -1,499 + 7,895 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 - 4,980 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 - 4,709 \cdot 10^{-2} \cdot x_6$	(6)	80,27	29,84	3,05
3	$\hat{V} = 8,055 - 9,275 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 + 5,597 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 1,685 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 + 4,193 \cdot 10^{-2} \cdot x_7$	(7)	91,03	53,29	2,84
<i>Turmantas – Vilnius</i>					
1	$\hat{V} = -5,579 - 5,104 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 + 5,247 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 0,776 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 2,159 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 1,617 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 - 2,726 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 - 2,020 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 5,679 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$	(8)	96,14	52,95	2,55
2	$\hat{V} = -5,378 - 5,065 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 1,436 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 0,880 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 3,727 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 6,070 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$	(9)	96,00	96,04	2,71
3	$\hat{V} = -5,846 - 4,976 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 4,976 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 1,451 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$	(10)	96,05	178,37	3,05
<i>Šiauliai – Kužiai – Mažeikiai – Lūšė</i>					
1	$\hat{V} = -14,944 + 4,996 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 0,316 \cdot x_2 + 1,206 \cdot x_3 + 3,616 \cdot x_4 - 4,769 \cdot x_5 - 1,690 \cdot x_6 + 0,490 \cdot x_7 + 3,133 \cdot x_8$	(11)	86,04	5,39	3,73
2	$\hat{V} = 1,203 + 1,582 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 + 0,424 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 - 2,078 \cdot x_5$	(12)	76,42	12,97	3,49
3	$\hat{V} = 0,596 + 1,855 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 0,111 \cdot x_2 - 1,096 \cdot 10^{-2} \cdot x_6$	(13)	63,67	7,01	3,49
<i>Šiauliai – Tauragė – Mikytai</i>					
1	$\hat{V} = 3,347 - 1,042 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 + 0,514 \cdot x_2 + 0,395 \cdot x_3 + 0,460 \cdot x_4 - 0,856 \cdot x_5 + 4,770 \cdot x_6 - 5,173 \cdot x_7 + 5,632 \cdot x_8$	(14)	73,55	6,26	2,51
2	$\hat{V} = 0,208 - 2,334 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 0,045 \cdot 10^{-2} \cdot x_7$	(15)	27,74	4,61	3,40
3	$\hat{V} = 3,258 - 0,813 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 0,618 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$	(16)	64,18	21,50	3,40
<i>Mikytai – Šilutė – Klaipėda – Palanga – Būtingė</i>					
1	$\hat{V} = -5,898 - 2,280 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 1,256 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 5,654 \cdot x_3 - 1,186 \cdot x_4 + 6,824 \cdot x_5 + 5,672 \cdot x_6 - 0,339 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 - 1,180 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$	(17)	88,29	9,42	3,07
2	$\hat{V} = -4,964 - 4,494 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 0,175 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 + 3,502 \cdot 10^{-2} \cdot x_6$	(18)	86,31	31,54	3,29
3	$\hat{V} = -0,200 - 2,939 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 + 0,107 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 + 2,424 \cdot 10^{-2} \cdot x_6$	(19)	69,00	11,13	3,29
<i>Jonava – Gaižiūnai – Palemonas – Kaunas – Kazlų Rūda – Kybartai</i>					
1	$\hat{V} = -0,632 + 0,397 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 2,299 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 0,212 \cdot x_3 + 0,086 \cdot x_4 + 0,122 \cdot x_5 + 0,124 \cdot x_6 + 0,087 \cdot x_7 - 0,001 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$	(20)	78,18	5,82	2,77
2	$\hat{V} = -0,599 + 0,477 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 1,438 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 0,242 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 0,171 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 - 0,206 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 - 0,004 \cdot x_8$	(21)	73,59	6,97	2,79
3	$\hat{V} = -0,732 + 0,558 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 0,030 \cdot 10^{-2} \cdot x_4$	(22)	71,43	23,75	3,52
<i>Jonava – Joniškis</i>					
1	$\hat{V} = -0,918 + 0,992 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 + 1,020 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 0,291 \cdot x_3 - 0,287 \cdot x_4 + 0,575 \cdot x_5 + 0,307 \cdot x_6 - 3,141 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 - 0,254 \cdot x_8$	(23)	81,20	7,02	2,77
2	$\hat{V} = -0,983 + 0,689 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 0,429 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 + 0,017 \cdot x_6 - 0,031 \cdot x_7 + 0,028 \cdot x_8$	(24)	77,33	10,92	2,85
3	$\hat{V} = -0,946 - 0,107 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 - 1,581 \cdot 10^{-2} \cdot x_6$	(25)	75,97	30,04	3,52
<i>Kazlų Rūda – Šeštokai – Lazdijai – Lenkijos siena</i>					
1	$\hat{V} = -0,701 + 4,211 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 + 1,341 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 + 1,491 \cdot x_3 + 4,779 \cdot x_4 - 6,295 \cdot x_5 - 2,250 \cdot x_6 + 0,742 \cdot x_7 + 4,037 \cdot x_8$	(26)	95,99	32,87	2,95
2	$\hat{V} = -0,701 + 4,211 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 + 1,341 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 + 1,491 \cdot x_3 + 4,779 \cdot x_4 - 6,295 \cdot x_5 - 2,250 \cdot x_6 + 0,742 \cdot x_7 + 4,037 \cdot x_8$	(27)	95,99	32,87	2,95
3	$\hat{V} = -0,207 + 4,151 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 2,564 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 - 1,668 \cdot 10^{-2} \cdot x_6$	(28)	95,00	101,31	3,24

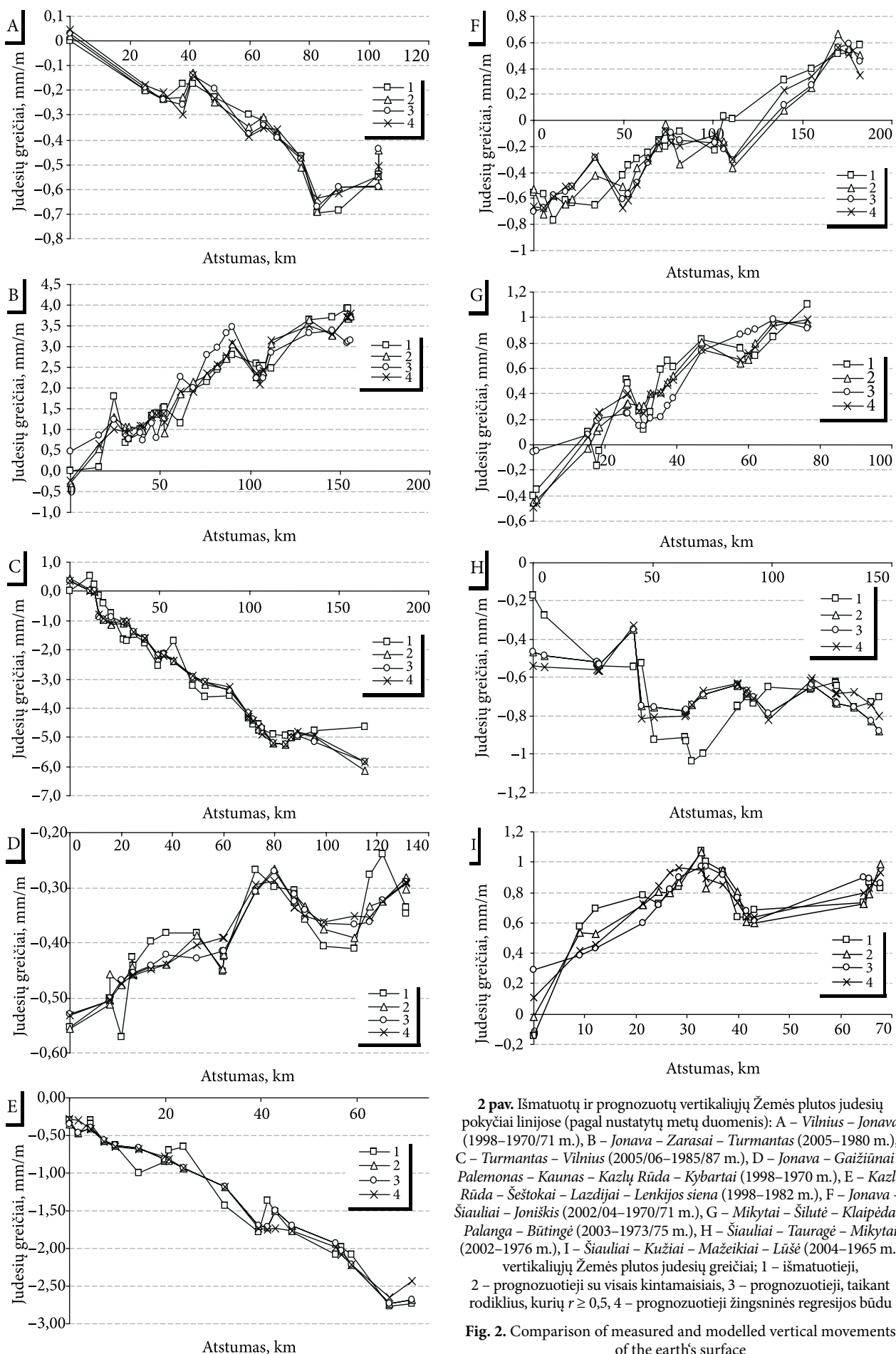


Fig. 2. Comparison of measured and modelled vertical movements of the earth's surface

Iš 2 lentelės duomenų galima teigti, kad visais trimis nagrinėtais būdais sudaryti regresiniai modeliai yra statistiškai patikimi (tikimybė $p \geq 0,95$).

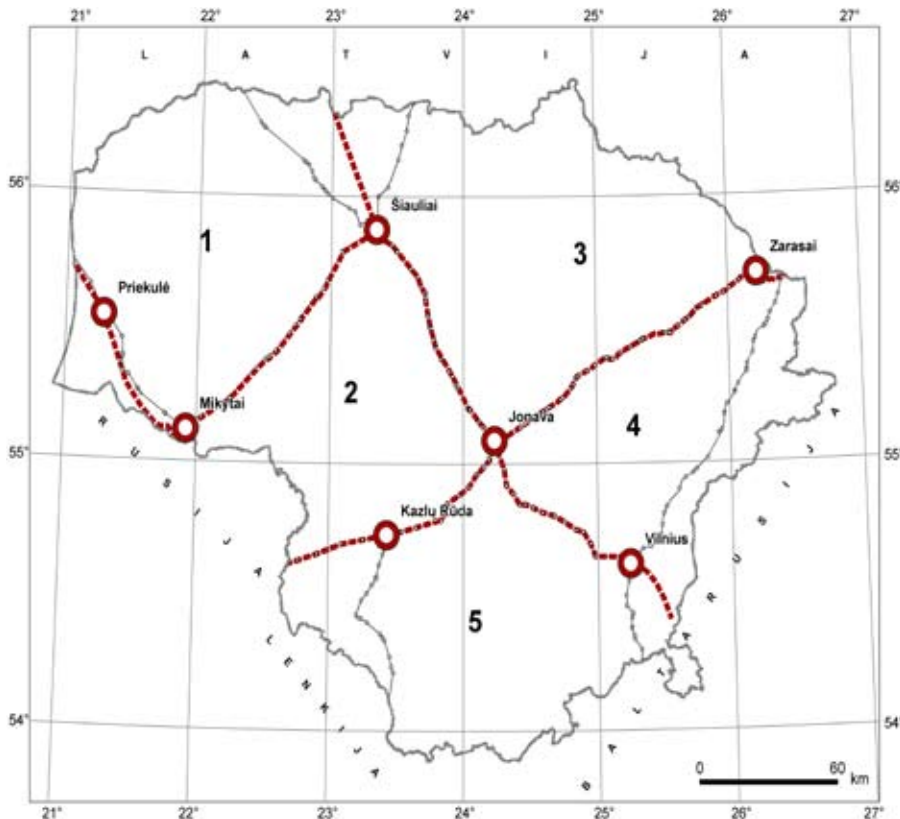
Iš 2 pav. analizės galima teigti, kad visi trys modeliai (su visais kintamaisiais, su tais kintamaisiais, kurių koreliacijos su vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiais koeficiento reikšmė $r \geq 0,50$, ir gautieji žingsninės regresijos būdu) pakankamai gerai atvaizduoja bendruosius išmatuotų Žemės plutos judesių dėsningumus. Šie būdai gali būti taikomi Žemės plutos judesių greičiams modeliuoti kartotinių niveliacijų linijose. Gi išnagrinę žingsninės regresijos būdu sudarytų modelių struktūrą, matome, kad pavienį linijų ji yra skirtinga, t. y. modelių kiti priežastiniai kintamieji. Norint prognozavimo modelius pritaikyti didesnio ploto

teritorijoms, sudarant vertikaliųjų judesių žemėlapi, remtasi modeliais su visais priežastiniais kintamaisiais.

Atsižvelgiant į gautuosius pavienių linijų tyrimo rezultatus ir įvertinant, kad ne visų teritorijos dalių statistinės priklausomybės tarp išmatuotų dydžių tos pačios, sudarant vertikaliųjų Žemės plutos judesių žemėlapi Lietuvai buvo suskaidyta į penkis fragmentus, atitinkančius vertikaliojo geodezinio tinklo poligonus (3 paveikslas). Pagal tą pačią metodiką kaip ir linijų, taikant visus minėtus georodiklius, sudaryti kiekvieno fragmento regresiniai prognozavimo modeliai (3 lentelė), bei apskaičiuota, kaip jie atitinka geodezinius matavimų duomenis. Visų apskaičiuotų regresinių modelių ir matavimų rezultatų atitikimo tikimybės yra ne mažesnės nei 0,95.

3 lentelė. Regresijos modeliai
Table 3. Regression models

Poligono numeris	Regresijos modeliai	R^2 , %	F	$F_{q(k_1, k_2)}_{q=0,05}$
1	$\hat{V} = -6,520 + 3,261 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 0,110 \cdot x_2 + 7,104 \cdot x_3 - 5,008 \cdot x_4 - 2,084 \cdot x_5 - 3,021 \cdot x_6 - 4,083 \cdot x_7 - 0,922 \cdot x_8$ (29)	61,78	10,91	2,06
2	$\hat{V} = -0,220 + 1,134 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 0,921 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 0,441 \cdot x_3 + 0,139 \cdot x_4 + 0,307 \cdot x_5 + 0,299 \cdot x_6 + 0,139 \cdot x_7 - 0,008 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (30)	44,91	5,20	2,01
3	$\hat{V} = 0,438 + 5,831 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 + 0,764 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 1,575 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 - 1,017 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 + 5,489 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 - 1,482 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 + 3,762 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 - 4,952 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (31)	78,66	17,97	2,17
4	$\hat{V} = -7,669 - 3,189 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 1,627 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 + 10,046 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 - 8,160 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 + 1,252 \cdot 10^{-2} \cdot x_5 + 2,213 \cdot 10^{-2} \cdot x_6 - 10,399 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 3,093 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (32)	81,00	30,90	2,06
5	$\hat{V} = 1,708 + 4,250 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 + 7,864 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 - 0,153 \cdot x_3 + 3,554 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 + 0,121 \cdot x_5 + 0,095 \cdot x_6 + 3,394 \cdot 10^{-2} \cdot x_7 + 0,005 \cdot 10^{-2} \cdot x_8$ (33)	57,11	8,99	2,03



3 pav. Poligonų mazginių punktų schema

Fig. 3. Scheme of polygons node points

Taikant sudarytus modelius (3 lentelė), pagal geodidklus prognozuotos dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių reikšmės apskaičiuotos ne tik geodezinių matavimų taškuose niveliacijos linijose, bet ir visame poligono plote 15×15 km tinklelio kertėse. Šia procedūra dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių prognozavimą galima išplėsti į teritorijų, kuriose geodeziniai matavimai neatlikti.

Fragmentų modelių mazginiuose taškuose (3 paveikslas) pagal skirtingus modelius prognozuotos reikšmės dėl matavimo paklaidų ar kitų atsitiktinių priežasčių ne visada sutampa, todėl būtina modelius susieti ir išlyginti.

Modeliams susieti mazginiuose taškuose apskaičiuoti dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių reikšmių, gautų iš gretimų su tašku besiribojančių linijų, vidurkiai. Šios mazginių taškų judesių greičių reikšmės taikomos tolesniais žemėlapių sudarymo etapais.

Fragmentinius modelius susiejus mazginiuose taškuose, pagal (29–33) formules apskaičiuotas reikšmes būtina transformuoti. Transformavimas atliekamas sudarant kiekvieno poligono regresinio prognozavimo modelio pataisų lygtį. Pataisų lygčių koeficientai apskaičiuojami žinant mazginiuose taškuose pagal regresinius modelius nustatytų vertikaliųjų Žemės plutos judesių reikšmių nuokrypas nuo galutinėmis reikšmėmis pripažintų vertikaliųjų judesių greičių vidurkių ir mazginių taškų plokštumines koordinatas.

Gautos lygtys iš regresinių modelių (29–33) apskaičiuotiems vertikaliųjų judesių greičiams redukuoti į bendrąją susietą sistemą:

$$\Delta v_1 = 57,983 + 1,554 \cdot 10^{-5}y - 1,048 \cdot 10^{-5}x, \quad (34)$$

$$\Delta v_2 = -10,993 - 9,530 \cdot 10^{-7}y + 0,188 \cdot 10^{-5}x, \quad (35)$$

$$\Delta v_3 = -78,090 + 1,026 \cdot 10^{-5}y + 1,184 \cdot 10^{-5}x, \quad (36)$$

$$\Delta v_4 = -6,443 + 2,452 \cdot 10^{-5}y - 0,124 \cdot 10^{-5}x, \quad (37)$$

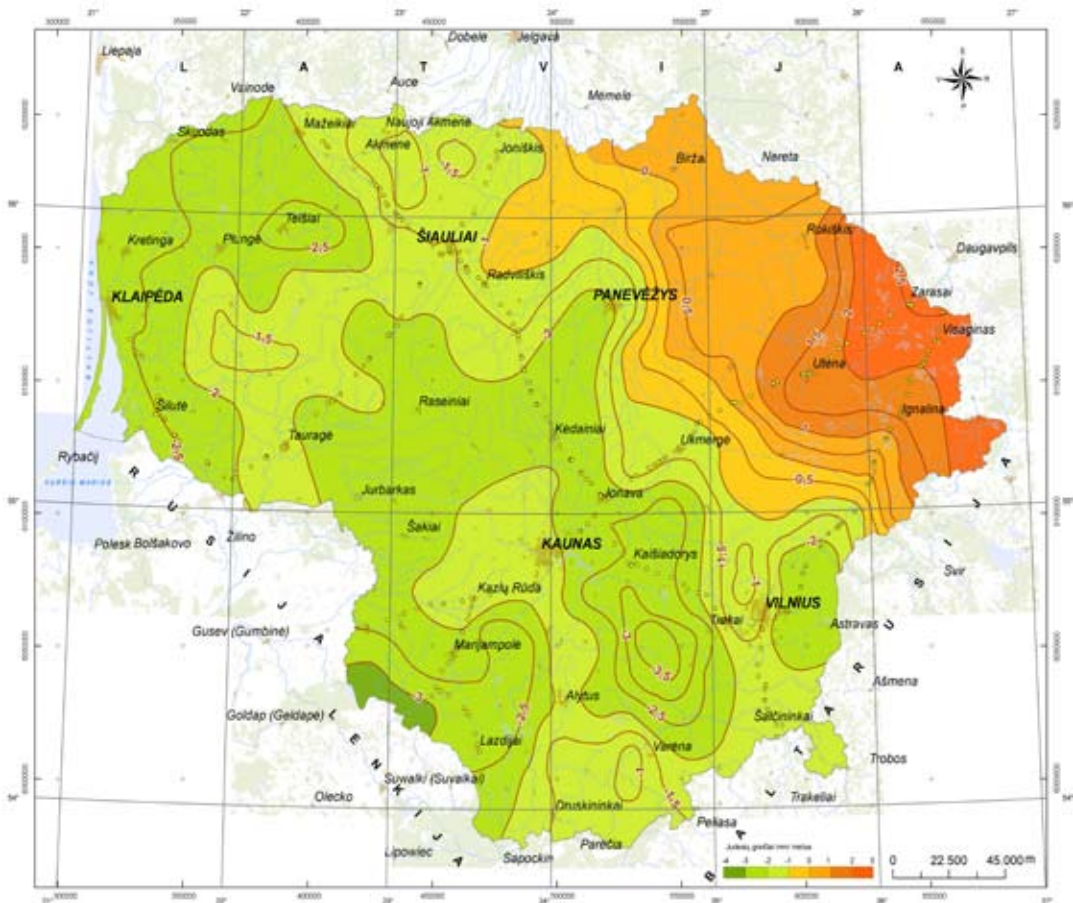
$$\Delta v_5 = 40,130 + 1,926 \cdot 10^{-7}y - 0,662 \cdot 10^{-5}x, \quad (38)$$

čia $\Delta v_1, \Delta v_2, \Delta v_3, \Delta v_4, \Delta v_5$ – 1–5 poligonų regresinių modelių judesių greičių pataisos (mm/metus), x, y – LKS 94 koordinacių sistemos taškų plokštuminės koordinatės (m).

Redukuotosios reikšmės gaunamos prie regresinių modelių (29–33) apskaičiuotų reikšmių pridėjus pagal (34–38) formules apskaičiuotas pataisas.

Pagal šią metodiką sudarytas Lietuvos teritorijos dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių žemėlapis parodytas 4 paveiksle.

Sudaryto žemėlapių dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių reikšmės susietos su Lenkijos teritorijos žemėlapių (Kowalczyk 2005; 2006) greičių reikšmėmis. Lenkijos teritorijos išmatuotieji dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiai skaičiuoti nuo



4 pav. Lietuvos teritorijos dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių žemėlapis

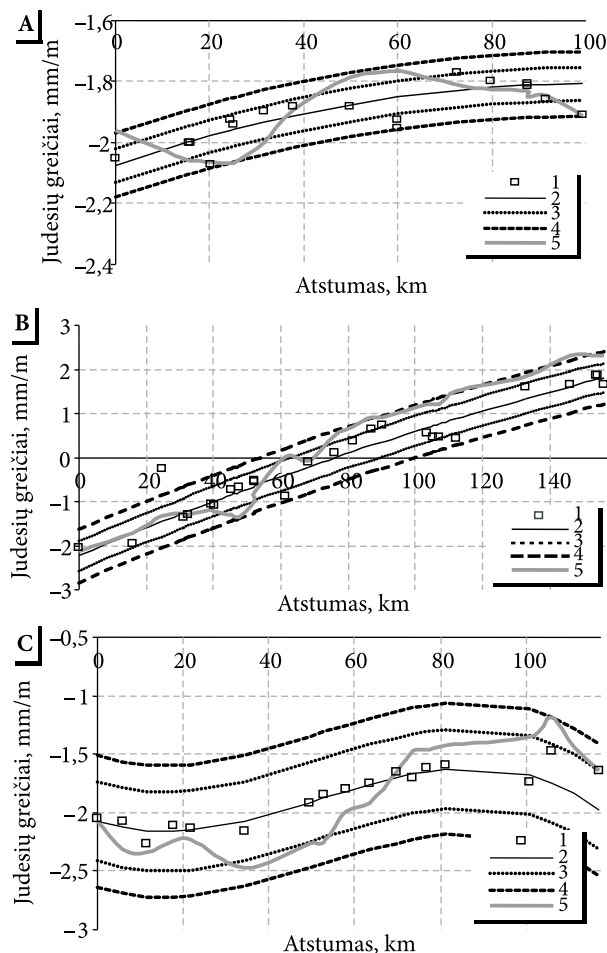
Fig. 4. Map of Lithuania current Earth crust vertical movements

Wladyslawowo mareografinio punkto, kurio vertikaliųjų judesių greičių reikšmė nustatyta išanalizavus Wladyslawowo, Ustka, Kolobrzeg ir Swinoujscie mareografinių punktų duomenis.

4. Vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių žemėlapiu ir matavimų rezultatų atitikimo analizė

Analizuojant sudaryto žemėlapiu patikimumą ir kaip jis atitinka matavimo duomenis, atliktas linijų Jonava – Gaižiūnai – Palemonas – Kaunas – Kazlų Rūda, Jonava – Zarasai – Turmantas, Jonava – Šiauliai tyrimas. Palygintos šiose linijose išmatuotos dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių reikšmės, išmatuotosios reikšmės, sugludintos daugianariais, jų 0,95 ir 0,99 tikimybių pasiklojimo intervalai ir sudaryto vertikaliųjų Žemės plutos judesių žemėlapiu reikšmės (5 paveikslas).

Iš šių paveikslų matome, kad žemėlapyje atvaizduotas dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių reikšmės patenka į 0,99 tikimybių išmatuotų reikšmių



5 pav. Vertikaliųjų Žemės plutos judesių žemėlapiu ir matavimų rezultatų atitikimo palyginimas: A – linijos Jonava – Gaižiūnai – Palemonas – Kaunas – Kazlų Rūda, B – linijos Jonava – Zarasai – Turmantas, C – linijos Jonava – Šiauliai; 1 – išmatuotosios reikšmės, 2 – sugludintos reikšmės, 3 – 0,99 tikimybių pasiklojimo intervalas, 4 – 0,95 tikimybių pasiklojimo intervalas, 5 – žemėlapiu reikšmės

Fig. 5. Comparison of vertical Earth crust movements map with measured results

pasikliautinąjį intervalą. Galima teigti, kad pagal taikytą prognozavimo metodiką sudarytas dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių žemėlapis matematinio statistiniu požiūriu neprieštarauja tiesioginių geodezinių matavimų rezultatams.

5. Išvados

1. Taikant siūlomą kartotinių niveliacijų matavimo rezultatų ir tyrimų regioną apibūdinančių geodetinių bendrą matematinio apdorojimo metodiką, sudarytas naujas Lietuvos teritorijos dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių žemėlapis.
2. Sudarytasis žemėlapis atspindi dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių savybes paskutiniųjų 30–40 metų laikotarpiu.
3. Dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių amplitudė Lietuvos teritorijoje yra nuo $-3,5$ iki $+2,5$ mm per metus. Intensyviausias Žemės plutos kilimas (didžiausia judesių greičių gradientų kaita) yra šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje, o grimzdimas – pietrytinėje ir vakarinėje srityse.
4. Žemės plutos judesių greičiams modeliuoti taikant regresinius modelius, yra galimybė, remiantis objektyviomis matematinėmis statistinėmis sąsajomis, modeliuoti judesius kartotinių niveliacijų poligonuose. Žymiai pagerėja žemėlapiu kokybė, palyginti su žemėlapiu, sudarytu tik pagal geodezinių matavimų rezultatus.
5. Ištirtas pagal regresinius modelius sudaryto naujojo žemėlapiu patikimumas ir geodezinių matavimų rezultatų atitikimas. Nustatyta, kad žemėlapiu adekvatumo matavimo rezultatams tikimybė ne mažesnė nei 0,95.

Straipsnis parengtas tyrimus remiant Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui (sutartis Nr. V–51/2008).

Literatūra

- Dėnas, Z.; Kumetaitis, A.; Šliaupa, S.; Zakarevičius, A. 2005. Application of GIS for Surface Erosion Model of Lithuania, *Social Strategies* 40: 209–220. Peter Lang AG, European Academic Publishers.
- Kazakevičius, S. V. 1998. Pirmieji krašto niveliacijos tinklai Lietuvoje [The first land levelling nets in Lithuania], *Žemėtvarka ir melioracija* [Earth Planning and Melioration] 3(95): 72–82.
- Kazakevičius, S. V. 2000. Pagrindinio Lietuvos niveliacijos tinklo atnaujinimas ir sutankinimas 1970–1987 m. [The renewal and organisation of the main levelling net of Lithuania 1970–1987 m.], *Žemėtvarka ir melioracija* [Earth Planning and Melioration] 1(101): 94–106.
- Kowalczyk, K. 2005. Determination of land uplift in the area of Poland. Environmental Engineering, in *6th International Conference*, May 26–27, Vilnius, Lithuania [on-line]: proceedings [CD], 903–907.
- Kowalczyk, K. 2006. New model of the vertical crustal movements in the area of Poland, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 4(32): 83–87.
- Martišius, S. A.; Kėdaitis, V. 2004. *Statistika*, II dalis [Statistics, part II. The conclusions and solutions of statistics]. Vilnius: VU leidykla. 341 p.
- Paršeliūnas, E. K.; Sacher, M.; Ihde, J. 2000. Preparation of Lithuanian levelling network data for united European level-

- ling network, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 4(26): 171–186.
- Petroškevičius, P.; Paršeliūnas, E. K. 1998. Europos vertikaliojo tinklo plėtimasis Lietuvos teritorijoje [European Vertical Network expansion to Lithuania], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 3(24): 133–145.
- Petroškevičius, P.; Putrimas, R.; Krikštaponis, B.; Būga, A.; Ne-seckas, A.; Obuchovski, R.; Stepanovienė, J.; Tumelienė, E.; Viskontas, P.; Zigmantienė, E. 2005. Analysis of normal height differences determination in Lithuanian national geodetic vertical network, in *Proceedings of the 6th International Conference “Environmental Engineering”*. Selected Papers, Vol. II, 26–27 May, 2005, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 975–984.
- Petroškevičius, P.; Zakarevičius, A.; Tulevičius, V. 1996. Possibilities of the Geodynamic Investigation in Lithuania, in *Studies of the Baltic Sea*, Riga, 18–32.
- Randjarv, J. 1993. *Vertical movements of the Earth's crust in the Baltic Region*. Reports of the Finish Geodetic Institute, 93: 2, Helsinki. 38 p.
- Skeivalas, J. 2008. *GPS tinklų teorija ir praktika* [Theory and Practice of GPS Networks]. Vilnius: Technika. 288 p.
- Zakarevičius, A. 1994. *Dabartinių vertikalių Žemės plutos judesių Lietuvos teritorijoje tyrimas* [The research of the present vertical earth crust movements in Lithuania]. Vilnius: Technika. 276 p.
- Zakarevičius, A. 2003. *Dabartinių geodinaminių procesų Lietuvos teritorijoje tyrimas* [The research of the present geodynamic processes on the territory of Lithuania]. Vilnius: Technika. 195 p.
- Zakarevičius, A.; Anikėnienė, A. 2007a. Peculiarities of present geodynamic processes in the Northeastern 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: Estonian University of Life Sciences, 224: 122–147.
- Zakarevičius, A.; Anikėnienė, A. 2007b. Dabartinių geodinaminių procesų tyrimas šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje [The research on the present geodynamic processes in the North- West part of the territory of Lithuania], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 2(33): 41–46.
- Zakarevičius, A.; Anikėnienė, A. 2007c. Dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje regresiniai modeliai [The regression models of the present earth crust movements in the North - East part of Lithuania], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 4(33): 91–97.
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Dėnas, Ž.; Stanionis, A.; Anikėnienė, A.; Puzienė, R. 2008. Inheritance of the recent vertical movements of the earth's crust and relationship to the topography in Lithuania, in *The 7th International Conference “Environmental Engineering”*. Selected Papers, Vol. II, 22–23 May, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1508–1513.
- Лесис, И. 1960. Современные движения земной коры на территории юго-западной Прибалтики по данным точных и высокоточных нивелировок, в кн.: *Неотектонические движения в Прибалтике*. Тарту, 42–55.
- Матцкова, В. А. 1963. Уточненная карта скорости современных вертикальных движений земной коры на западе Европейской части СССР и некоторые соображения о периоде этих движений, в кн.: *Современные движения земной коры*. Москва. Т. 1: 73–87.
- Рандярв, Ю. Ю. 1968. *Исследование современных вертикальных движений земной коры в Прибалтике геодетическим методом*: Автореф. дис... канд. техн. н. Москва. 30 с.
- Рандярв, Ю. Ю. 1975. Современные вертикальные движения земной коры в Прибалтике по данным высокоточных нивелировок 1930–1970 г. г., *Труды ЛСХА*, Т. 5, Елгава, 21–37.

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.

Saulius ŠLIAUPA. Doctor Habil. Vilnius University. Dept of Geology and Mineralogy, M. K. Čiurlionio g. 21/27, LT-03101 Vilnius and Institute of Geology & Geography, T. Ševčenkos g. 13, LT-03223 Vilnius, Lithuania (Ph +370 5 210 4698, Fax +370 5 210 4695), e-mail: sliaupa@geo.lt.

Published 3 monographs, more than 100 scientific papers, participated in many intern conferences.

Research interests: regional geology, tectonics, geodynamics, lithology, petrophysics.

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.