



IŠMATUOTŲ AUKŠČIŲ SKIRTUMŲ REDUKAVIMAS ĮVERTINANT VERTIKALIUOSIUS ŽEMĖS PAVIRŠIAUS JUDESĖSIUS

Algimantas Zakarevičius, Rūta Puzienė

*Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva, el. paštas gkk@vgtu.lt*

Įteikta 2010 02 08; priimta 2010 04 01

Santrauka. Atliekant niveliavimo matavimus darbai dažnai tęsiasi keletą metų. Dėl šios priežasties niveliavimo matavimų duomenims įtakos gali turėti vertikalieji Žemės plutos judesiai. Siekiant išvengti šios įtakos, išmatuoti aukščių skirtumai turi būti redukuojami atsižvelgiant į pasirinktą epochą. Tyrimai atlikti Lietuvos vertikaliojo geodezinio tinklo pavyzdžiu. Nustatyta, kad eksperimentiniame objekte niveliavimo matavimo rezultatų redukavimo, atsižvelgiant į pasirinktą epochą, pataisos yra reikšmingos ir didesnės už kitas apdorojant niveliavimo matavimų rezultatus skaičiuotas pataisas. Pataisų dėl vertikalųjų Žemės plutos judesių įtaką skaičiuoti niveliaciniuose ėjimuose rekomenduojama taikant regresinius vertikalųjų judesių greičių prognozavimo arba judesių greičių horizontaliųjų gradientų modelius.

Reikšminiai žodžiai: išmatuoti aukščių skirtumai, vertikalieji Žemės plutos judesiai, redukavimas į vieną laiko momentą, pataisos dėl vertikalųjų Žemės plutos judesių.

1. Įvadas

Sudarant vertikaliosios geodezinio tinklo arba atliekant kartotinius tinklo matavimus darbai trunka keletą metų. Dėl nuolat vykstančių geodinaminių procesų kinta Žemės taškų aukštis (Lietuvos geologija 1994), todėl skirtingu metu atlikus matavimus tarp tų pačių taškų gaunamos skirtingos aukščių skaitinės reikšmės. Siekiant išvengti geodinaminės kilmės įtakos matavimų rezultatams, reikia taikyti atitinkamas pataisas, matavimų rezultatus redukuojant į pasirinktą laiko momentą.

Siekiant apskaičiuoti šias dėl vertikalųjų Žemės plutos judesių įtakos atsiradusias matavimų rezultatų pataisas, reikia žinoti tiriamos teritorijos arba teritorijos palei niveliacijos trasas vertikalųjų Žemės plutos judesių greičių arba greičių gradientų matematinius modelius. Skaičiuojant geodinamines pataisas, reikia remtis ir pačių naujausių niveliacijų rezultatais, nes ištyrus nustatyta, kad einant laikui kinta vertikalųjų Žemės plutos judesių pobūdis. Kinta ne tik judesių greitis, bet gali pasikeisti ir kryptis (Amoruso *et al.* 2005; Battaglia *et al.* 2003; Fukahata *et al.* 1996; Gottsmann *et al.* 2006; Уломов 2004; Юн *et al.* 2009; Lanari *et al.* 2004; Langbein 2003; Mizoue 1967; Mrlina 2000; Nielsen, Bayer 2003; Zakarevičius, Anikėnienė 2007). Paskutinių matavimų rezultatams įtakos turi dabartiniai tektoniniai procesai, todėl šie duomenys tinka toms procesų charakteristikoms nustatyti, kurios savo ruožtu, taikant atvirkštinę sąsają, naudojamos šių matavimų pataisoms apskaičiuoti.

Kai turime ne vieną kartą niveliuotose niveliacijos linijose kartotiniai niveliuoti reperius, galime rasti dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių greičių ar jų horizontaliųjų gradientų tose linijose empirines funkcijas. Horizontaliųjų judesių greičių gradientai ir išmatuotų dydžių pataisos priklauso ne nuo judesių absoliučiuoju greičių reikšmių, o tik nuo greičių pokyčių toje atkarpoje, kurios pataisa skaičiuojama, t. y. nuo greičių horizontaliųjų gradientų reikšmių, todėl galima skaičiuoti sąlyginius greičius niveliacijos linijose, nulinę greičių reikšmę sutapatinus su pradinės niveliacijos linijos tašku (Zakarevičius 2003). Taikant šią metodiką, sąlyginių greičių bei pataisų skaičiavimas tiesiogiai susijęs tik su toje trasoje atliktais matavimais. Kitose linijose atlikti matavimai bei greičių nustatymo paklaidos pradiniais laikomų punktų atžvilgiu apskaičiuojant pataisas įtakos neturi. Pavienių ir palyginti neilgų niveliacijos linijų greičių funkcijos pavidalas yra paprastesnis ir tiksliau aprašomas polinominiais regresiniais modeliais, lygties parametrus įvertinant pagal matavimų rezultatus.

Šio darbo tikslas – ištirti išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo, atsižvelgiant į pasirinktą epochą ir vertikaliosios Žemės plutos judesius, įtaką sudaromų niveliacijos tinklo kokybei bei pagrįsti matavimų rezultatų redukavimo tikslingumą.

Tyrimai atlikti Lietuvos vertikaliojo geodezinio tinklo matavimų pavyzdžiu.

2. Tyrimų metodika

Projektuojant geodezinius tinklus dažnai susiduriama su situacija, kai šalies teritorijoje yra jau anksčiau nutiestos niveliacijos linijos, kuriose atliekami kartotiniai geodeziniai matavimai.

Niveliacijos linijoje atliekant kartotinius matavimus, vertikalųjų Žemės plutos judesių greičius linijoje galima įvertinti pagal geodezinių matavimų duomenis. Taikant šį metodą vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiai apskaičiuojami pagal kartotinių niveliamų rezultatus.

Vertikalųjų Žemės plutos judesių greičių pokytis tarp gretimų geodezinių ženklų skaičiuojamas pagal formulę:

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

čia h'_{ij} , h''_{ij} – pirmojo bei antrojo matavimų metu išmatuoti aukščių skirtumai tarp i ir j geodezinių ženklų, Δt – laiko tarpas tarp kartotinių niveliamų. Pagal niveliacijos linijos matavimų rezultatus apskaičiuoti sąlyginiai vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiai pradinio linijos punkto atžvilgiu skaičiuojami pagal šią formulę:

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

čia $i = 1, \dots, k$ – geodezinių punktų numeriai.

Siekiant eliminuoti atsitiktinių priežasčių nulemtas anomalijas, nustatyti bendrusius Žemės plutos judesių dėsningumus bei sudaryti apibendrintą skaitmeninį judesių modelį, galima taikyti regresinę analizę (Дрейпер, Смит 1986; Čekanavičius, Murauskas 2002):

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

čia v_i – m -ojo laipsnio daugianariu apibendrintų vertikalųjų judesių greičių reikšmė; S_i – taško atstumas nuo linijos pradžios; β_j ($j = 0, 1, \dots, m$) – regresinio modelio parametrai.

Turint vertikalųjų judesių greičių daugianarius regresinius modelius (3) arba greičių gradientų modelius

$$\text{grad}(v) = F'_S(S) = f(S), \quad (4)$$

tarp taškų i ir j išmatuotų aukščių skirtumų h_{ij} pataisos, kai atstumai nuo pradinio linijos taško S_i ir S_j , skaičiuojamos pagal formules (Zakarevičius 2007):

$$\delta h_{ij} = (T_0 - T) [F(S_j) - F(S_i)], \quad (5)$$

arba

$$\delta h_{ij} = (T_0 - T) \int_{S_i}^{S_j} f(S) ds, \quad (6)$$

čia T_0 – laiko momentas, į kurį redukuojami matavimų rezultatai; T – niveliamų laiko momentas; S_j , S_i – atstumai nuo niveliacijos linijos pradžios iki geodezinių ženklų i , j .

Šią išmatuotų niveliamų duomenų redukavimo į pasirinktą laiko momentą metodiką būtų rekomenduojama taikyti tuomet, kai niveliacijos linijoje yra daug tolygiai išsidėsčiusių kartotiniai niveliamų geodezinių ženklų.

Tyrėjų įrodyta, jog vertikalieji Žemės plutos judesiai yra kintamo intensyvumo, tam tikrais atvejais nustatytos jų inversijos (Amoruso *et al.* 2005; Battaglia *et al.* 2003; Fukahata *et al.* 1996; Gottsmann *et al.* 2006; Юн *et al.* 2009; Lanari *et al.* 2004; Langbein 2003; Mizoue 1967; Mrlina 2000; Nielsen, Bayer 2003). Siekiant kiek įmanoma išvengti šių veiksnių įtakos geodinaminių procesų skaičiavimo pataisų rezultatui, pataisoms skaičiuoti pasirinkama paskutinio bei priešpaskutinio niveliamų matavimų rezultatai.

3. Tyrimo rezultatai

Tirti pasirinktas Lietuvos pirmosios klasės vertikaliojo geodezinio tinklo poligonas *Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius – Jonava*, kurį sudaro niveliacijos linijos *Jonava – Zarasai – Turmantas, Vilnius – Jonava* bei *Turmantas – Vilnius*. Šioje šalies dalyje nustatyti Lietuvos teritorijoje intensyviausi dabartiniai vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiai bei jų horizontalieji gradientai (Zakarevičius *et al.* 2008; Zakarevičius *et al.* 2009).

Tyrimams pasirinktose niveliacijos linijose *Jonava – Zarasai – Turmantas, Vilnius – Jonava, Turmantas – Vilnius* matavimai atlikti $\pm 0,18 \pm 0,50$ mm/km tikslumu.

Tyrimams taikyti kelių laikotarpių vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiai, apskaičiuoti niveliacijos linijose

Vilnius – Jonava (1970/71–1998 m.);

Jonava – Zarasai – Turmantas (1980–2005 m.);

Turmantas – Vilnius (1985/87–2005/06 m.).

Pagal matavimų rezultatus tiriamose niveliacijų linijose apskaičiuota vertikalųjų Žemės plutos judesių greičiai bei jų daugianariais regresiniais modeliais aproksimuotos reikšmės. Tyrimų metu buvo sudaryti antrojo ir trečiojo laipsnio regresiniai modeliai. Atsižvelgiant į jų adekvatumą matavimo rezultatams, skirtingose linijose tolesniems tyrimams taikyta skirtingo laipsnio regresiniai modeliai. Regresiniai ir greičių horizontaliųjų gradientų modeliai pateikti 1 lentelėje. Taikant 1 lentelėje pateiktus regresinius modelius, vertikalųjų judesių greičių reikšmės apskaičiuojamos milimetrais per metus, kai atstumai S išreikšti kilometrais.

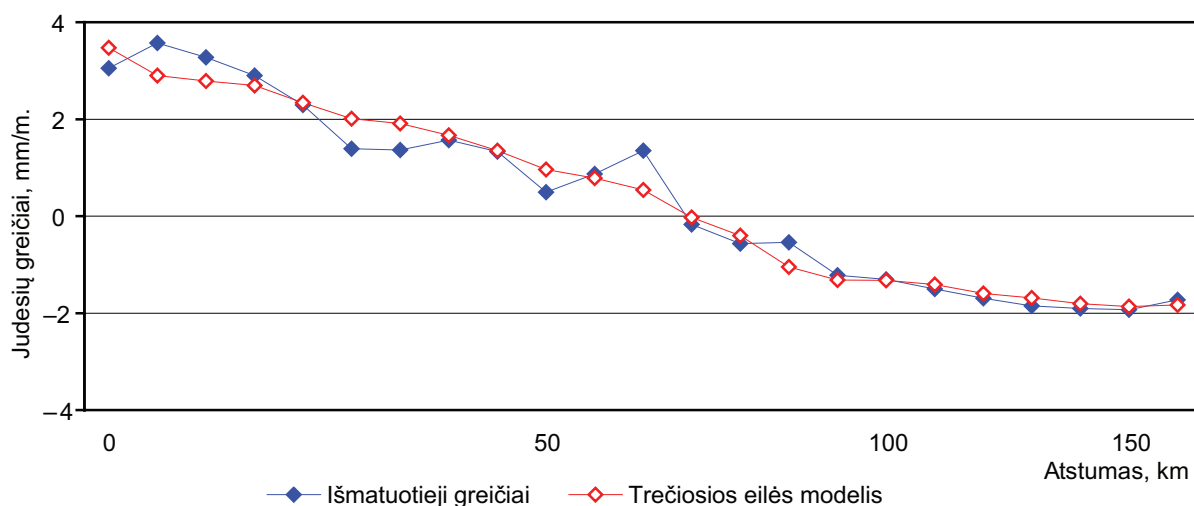
Iš 1 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad tirtose niveliacijos linijose išmatuotus vertikaluosius Žemės plutos judesių greičius gan adekvačiai ($p \geq 0,99$) atspindi antrosios bei trečiosios eilės daugianariai modeliai. Visose linijose $F > F_q$, vadinasi, su tikimybe $p = 1 - q > 0,99$ galima teigti, kad pagal šiuos regresinius modelius aproksimuotos reikšmės yra statistiškai adekvačios vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių reikšmėms.

Niveliacijos linijoje *Turmantas – Vilnius* išmatuotų vertikalųjų Žemės plutos judesių reikšmės bei jų aproksimuotos reikšmės grafiškai pavaizduotos 1 paveiksle.

1 lentelė. Daugianariai regresiniai vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių ir jų horizontaliųjų gradientų modeliai

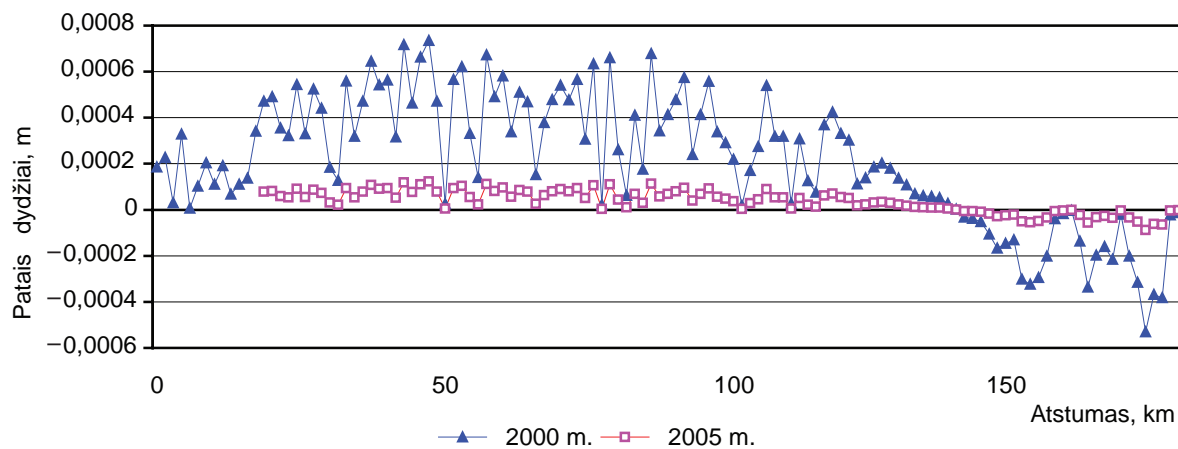
Table 1. The models of multi-component regression and the models of horizontal velocity gradients of the vertical movements of the Earth's crust

Regresinis modelis	R^2 , %	F	F_q , $q = 0,01$	Greičių horizontaliųjų gradientų modulis
<i>Jonava – Zarasai – Turmantas</i>				
$v = -0,735 + 0,032 \cdot S - 0,4 \cdot 10^{-4} \cdot S^2$	96,44	284,42	5,82	$\text{grad } v = 0,032 - 0,8 \cdot 10^{-4} \cdot S$
$v = -0,729 + 0,032 \cdot S - 0,3 \cdot 10^{-4} \cdot S^2 - 0,3 \cdot 10^{-7} \cdot S^3$	96,44	180,61	4,93	$\text{grad } v = 0,032 - 0,6 \cdot 10^{-4} \cdot S - 0,9 \cdot 10^{-7} \cdot S^2$
<i>Turmantas – Vilnius</i>				
$v = 3,987 - 0,061 \cdot S + 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot S^2$	95,81	274,71	5,61	$\text{grad } v = 0,061 + 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot S$
$v = 3,471 - 0,022 \cdot S - 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 + 0,3 \cdot 10^{-5} \cdot S^3$	96,82	233,75	4,64	$\text{grad } v = -0,022 - 0,1 \cdot 10^{-2} \cdot S + 0,9 \cdot 10^{-5} \cdot S^2$
<i>Vilnius – Jonava</i>				
$v = 0,015 - 0,005 \cdot S - 0,2 \cdot 10^{-5} \cdot S^2$	81,03	23,49	7,24	$\text{grad } v = -0,005 - 0,4 \cdot 10^{-5} \cdot S$
$v = -0,038 + 0,002 \cdot S - 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 + 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot S^3$	83,96	17,45	6,55	$\text{grad } v = 0,002 - 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot S + 0,24 \cdot 10^{-5} \cdot S^2$



1 pav. Išmatuoti bei daugianariais regresiniais modeliais aprašyti vertikalieji Žemės plutos judesiai niveliacijos linijoje *Turmantas – Vilnius* (1985/87–2005/06 m.)

Fig. 1. The vertical movements of the Earth's crust measured and described by multi-component regression models in the levelling line of *Turmantas – Vilnius* (1985/87–2005/06 m.)



2 pav. Niveliacijos linijoje *Turmantas – Vilnius* išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo, atsižvelgiant į pasirinktus laiko momentus, pataisai (2000, 2005 m.)

Fig. 2. Corrections to the levelling line *Turmantas – Vilnius* to reduce differences in the measured altitudes considering the selected time moment (2000, 2005)

Pagal (5) formulę, taikant 1 lentelėje pateiktus antrą ar trečiojo laipsnio regresinius modelius, apskaičiuotos pataisos niveliacijų linijose išmatuotiems aukščių skirtumams redukuoti į pasirinktą laiko momentą.

Apskaičiuotos poligoną *Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius – Jonava* sudarančių tiksliosios niveliacijos linijų pataisos dėl vertikaliųjų Žemės plutos judesių įtakos. Atliekant eksperimentus, išmatuoti aukščių skirtumai poligone buvo redukuojami į du laiko momentus – 2000 ir 2005 metus.

Apskaičiuotosios *Turmantas – Vilnius* niveliacijos linijos pataisų skaitinės reikšmės grafiškai pavaizduotos 2 paveiksle.

Iš tyrimo rezultatų matyti, kad pataisų aukščių skirtumui redukuoti, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, reikšmės priklauso nuo laikotarpio, kuris skiria pasirinktą laiko momentą, į kurį redukuojami išmatuoti aukščių skirtumai, nuo matavimo momento. Taip pat šių pataisų reikšmės priklauso nuo Žemės plutos deformacijų greičių, jų pokyčių, kuriuos geriausiai apibūdina vertikaliųjų Žemės plutos judesių horizontalieji gradientai. Tų teritorijų, kurių didelės vertikaliųjų Žemės plutos judesių horizontaliųjų gradientų skaitinės reikšmės, gaunamos didesnės aukščių skirtumų pataisų dėl vertikaliųjų Žemės plutos judesių įtakos skaitinės reikšmės.

Analogiškai išmatuotiems aukščių skirtumams apskaičiuotos pataisos ir niveliacijos linijose *Vilnius – Jonava, Jonava – Zarasai – Turmantas*. Apskaičiuoti išmatuotų bei redukuotų į 2000 m. bei 2005 m. aukščių skirtumų nesąryšiai poligone (2 lentelė).

Poligone gauti nesąryšiai, neredukavus įvairiais metais išmatuotų aukščių skirtumų į pasirinktą laiko momentą bei juos redukavus į 2000, 2005 metus, pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Poligone *Jonava – Turmantas – Vilnius – Jonava* gauti nesąryšiai

Table 2. Obtained disconnections in the polygon of *Jonava – Turmantas – Vilnius – Jonava*

Aukščių skirtumai	Išmatuotieji	Redukuotieji į	
		2000 m.	2005 m.
Nesąryšiai, mm	+4,39	+5,76	+2,19

Leistinasis nesąryšis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$f_{h_{leist.}} = \pm 1,5 \text{ mm} \sqrt{L}, \tag{7}$$

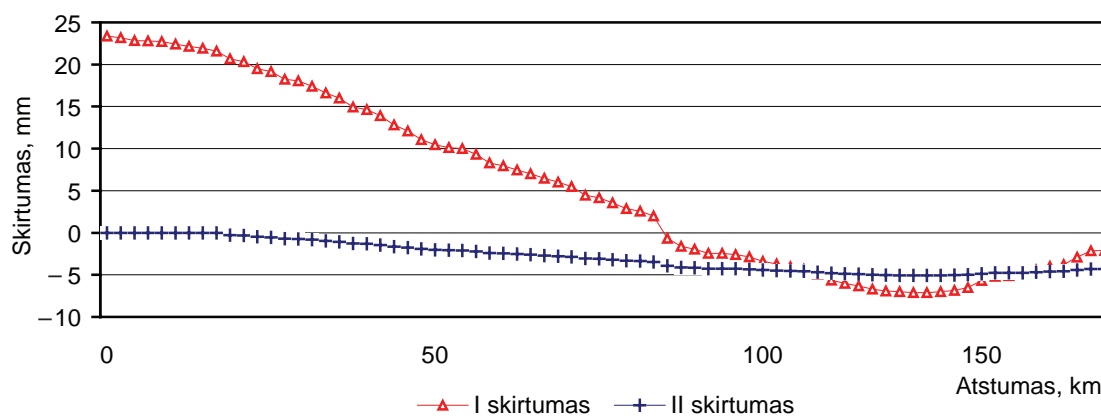
čia L – poligono perimetras, km.

Poligono *Jonava – Turmantas – Vilnius* perimetras – 451,05 km, vadinasi, leistinasis nesąryšis – $\pm 31,86$ mm. Matome, kad redukuotų aukščių skirtumų nesąryšiai poligone yra leistinieji.

Normalinių aukščių tikslumas geodezijoje – aktuali ir pakankamai sudėtinga problema. Ši problema susijusi ir su taikomais aukščių nustatymo metodais, geofizinėmis konstantomis. Apskaičiuojamo normalinio aukščio tikslumas priklauso ne tik nuo niveliavimo tikslumo, jam įtakos turi sunkio nustatymo metodų, jų tikslumo bei taikomų algoritmų patikimumas. Normalinio aukščio tikslumas apibrėžiamas aukščio standartinio nuokrypio įverčiu (Skeivalas, Krikštaponis 2001). J. Skeivalas ir B. Krikštaponis (2001) atliko normalinių aukščių nustatymo tikslumo, realaus ir normalinio sunkio įtakos nustatant normalinius aukščius analizę. Gauta, kad normalinio aukščio standartinio nuokrypio įvertis taške, nutolusiame 1 km atstumu nuo pradinio taško, yra 0,5 mm (kai sunkio nustatymo vidutinė kvadratinė klaida 1 mGal) ir 0,57 mm, kai sunkio nustatymo vidutinė kvadratinė klaida 5 mGal.

Norint ištirti išmatuotų aukščių skirtumų redukavimo, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, įtaką geodezinių ženklų aukščiams, poligonas išlyginamas ir, remiantis išmatuotais bei redukuotais aukščių skirtumais, apskaičiuojami geodezinių ženklų aukščiai. Grafiškai aukščių nesutapimai niveliacijos linijoje *Turmantas – Vilnius* pavaizduoti 3 paveiksle.

Kaip matyti iš grafiškai pateiktų tyrimo rezultatų (3 pav.), didžiausi pagal išmatuotus bei redukuotuosius duomenis apskaičiuoti aukščių nesutapimai linijoje *Turmantas – Vilnius* yra 23,5 mm (2000 m.) bei –5,1 mm (2005 m.). Kadangi paskutinį kartą matavimai nagrinėjamosiose niveliacijos linijose *Jonava – Zarasai – Turmantas* ir *Turmantas – Vilnius* atlikti 2006 ir 2005 m., skirtumai tarp išmatuotų ir redukuotųjų į 2005 m. normalinių aukščių yra žymiai mažesni nei tarp išmatuotų ir redukuotųjų į 2000 metus aukščių. Matyti, kad pataisos dėl geodinaminų procesų gana didelės ir į jas neatsižvelgti negalime.



3 pav. Skirtumas tarp išmatuotųjų ir atitinkamai tarp redukuotųjų į 2000 (I skirtumas) bei į 2005 metus (II skirtumas) normalinių aukščių niveliacijos linijoje *Turmantas – Vilnius*

Fig. 3. Difference between the measured and correspondingly reduced into 2000 (1st difference) and 2005 (2nd difference) normal altitudes in the levelling line of *Turmantas – Vilnius*

Kadangi niveliacijos linijose išmatavus aukščių skirtumus skaičiuojamos pataisos dėl įvairių veiksnių poveikio (refrakcijos, normalinė ir kt. pataisos), siekiant iširti, ar pataisų dėl vertikaliųjų Žemės plutos judesių poveikio skaitinės reikšmės yra reikšmingos, palyginti su skaičiuojamomis pataisomis, kurias lemia kitų veiksnių poveikis matavimo rezultatui, atliktas normalinių pataisų bei pataisų dėl vertikaliųjų Žemės plutos judesių poveikio skaitinių reikšmių palyginimas. Gautieji tiksliosios niveliacijos linijos *Turmantas – Vilnius* rezultatai grafiškai pavaizduoti 4 paveiksle. Kadangi nemažai niveliacijos poligoną *Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius – Jonava* sudarančių niveliacijos linijų paskutinį kartą niveliuota 2005 m., kad išsamiau iširtume pataisų matavimų rezultatams redukuoti atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą, insime niveliavimo matavimų rezultatų, redukuotųjų į 2000 metus, pataisas.

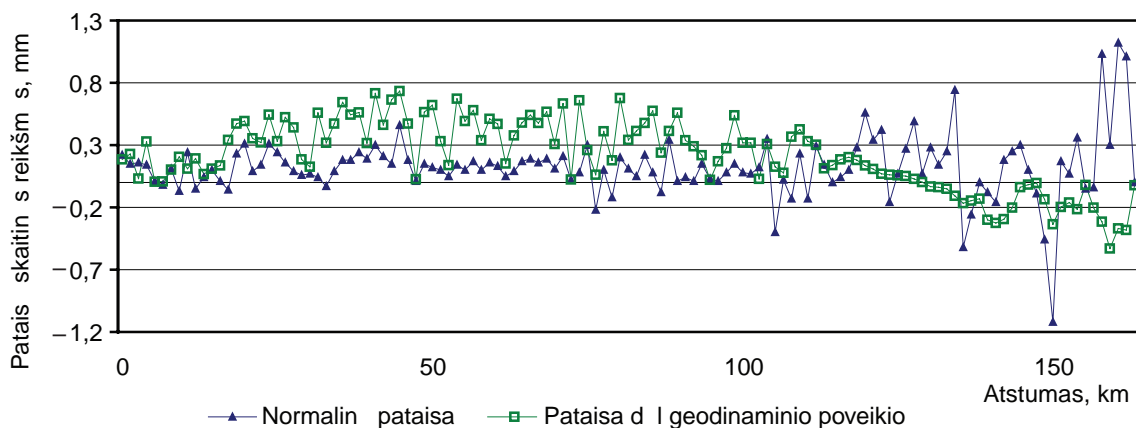
Iš 4 pav. matyti, kad didžiosios dalies pataisų dėl Žemės plutos judesių poveikio reikšmės viršija normalinių pataisų reikšmes.

Siekiant iširti poligono šių pataisų sankaupas, imtos aukščių skirtumų normalinių pataisų bei pataisų dėl dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių poveikio reikšmės ir apskaičiuota geodeziniam ženklui tenkančios šių tarpusavyje lyginamų pataisų sankaupos. Niveliacijos linijos *Jonava – Zarasai – Turmantas* rezultatai grafiškai pavaizduoti 5 paveiksle.

Iš 5 pav. matyti, kad poligoną *Jonava – Zarasai – Turmantas – Vilnius – Jonava* sudarančiose niveliacijos linijose aukščių skirtumų redukavimo į 2000 m. pataisų reikšmių sankaupos viršija normalinių pataisų sankaupas apie 4,5 karto. Vidutinė vieno kilometro niveliacinio ėjimo pataisos reikšmė yra apie 0,17 mm.

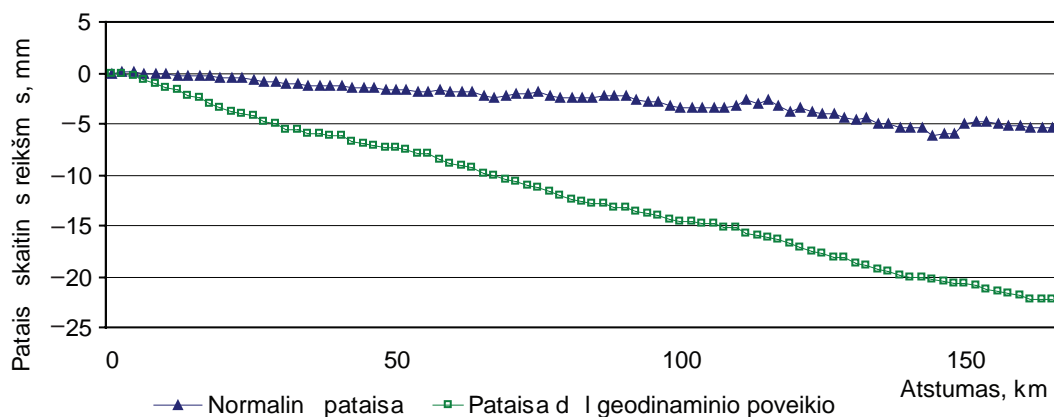
Aiškintina tuo, kad pavienių aukščių skirtumų geodinaminės pataisos yra ne tik didesnės, bet ir turi žymią sistemingą įtaką, o normalinių pataisų ženklas dažnai keičiasi.

Iš tyrimų rezultatų galima daryti išvadą, kad pataisos dėl geodinaminės procesų įtakos matavimo rezultatams yra reikšmingos, ir jų nepaisyti negalime.



4 pav. Niveliacijos linijoje *Turmantas – Vilnius* išmatuotų aukščių skirtumų pataisos – normalinė ir dėl vertikaliųjų Žemės plutos judesių poveikio (redukuojant į 2000 metus)

Fig. 4. Corrections to the measured differences in the altitudes: normal and caused by an impact of the vertical movements of the Earth's crust (reducing into 2000) in the levelling line of *Turmantas – Vilnius*



5 pav. Niveliacijos linijos *Jonava – Zarasai – Turmantas* normalinių pataisų bei pataisų dėl vertikaliųjų Žemės plutos judesių įtakos (redukuojant į 2000 m.) sankaupos

Fig. 5. Collections of normal corrections and corrections caused by an impact of the vertical movements of the Earth's crust (reducing into 2000) in the levelling line of *Jonava – Zarasai – Turmantas*

4. Išvados

Atlikus tyrimus, remiantis Lietuvos pirmosios klasės vertikaliojo geodezinio tinklo niveliacijų pavyzdžiais, nustatyta:

1. Lietuvos vertikaliojo geodezinio tinklo poligone *Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas*, kuriame matavimai atlikti nuo 1998 iki 2006 m., redukuojant išmatuotus aukščių skirtumus į 2000 m. epochą geodezinių ženklų aukščių pataisos siekia iki 24 mm.
2. Pataisų dėl vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių įtakos, redukuojant matavimų rezultatus į pasirinktą laiko momentą, sankaupos, atlikus niveliacinius ėjimus, akivaizdžiai yra sistemingojo pobūdžio. Redukuojant *Vilnius – Jonava – Zarasai – Turmantas* poligono matavimų rezultatus į 2000 m. epochą, vidutinė vieno kilometro niveliacinio ėjimo pataisų reikšmė yra 0,17 mm.
3. Lyginant nagrinėjamų niveliacinių ėjimų aukščių skirtumų dėl vertikalųjų Žemės plutos judesių pataisų ir normalinių pataisų sankaupas, Žemės paviršiaus judesių įtaką įvertinančių pataisų sankaupa yra apie 4,5 karto didesnė už normalinių pataisų sankaupas.
4. Apibūdinant galutinius tyrimų rezultatus galima argumentuotai teigti, kad vertikalųjų Žemės plutos judesių įtaką matavimų rezultatams įvertinančios pataisos yra reikšmingos, ir, apdorojant niveliacijos tinklų matavimų duomenis, būtina į jas atsižvelgti.
5. Vertikalųjų Žemės plutos judesių įtaką rekomenduojama vertinti taikant regresinius vertikalųjų Žemės plutos judesių prognozavimo niveliacijos linijose modelius arba vertikalųjų Žemės plutos judesių greičių horizontaliųjų gradientų modelius.

Tyrimus rėmė Lietuvos valstybinis mokslo ir studijų fondas (sutartis Nr. V-05/2009).

Literatūra

- Amoruso, A.; Crescentini, L.; Scarpa, R. 2005. Faulting geometry for the complex 1980 Campania–Lucania earthquake from levelling data, *Geophysical Journal International* 162(1): 156–168. doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02652.x
- Battaglia, M.; Segal, P.; Murray, J.; Cervelli, P.; Langbein, J. 2003. The mechanics of unrest at Long Valley caldera, California: 1. Modeling the geometry of the source using GPS, levelling and two color EDM data, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 127(3–4): 195–217. doi:10.1016/S0377-0273(03)00170-7
- Čekanašius, V.; Murauskas, G. 2002. *Statistika ir jos taikymai* [Statistics and they use]. Vilnius: TEV. 240 p.
- Fukahata, Y.; Honsho, C.; Matsu'ura, M. 1996. Crustal movements on Shikoku, southwestern Japan, inferred from inversion analysis of levelling data using ABIC, *Tectonophysics* 257(2–4): 239–252. doi:10.1016/0040-1951(95)00176-X
- Gottsmann, J.; Rymer, H.; Berrino, G. 2006. Unrest at the Campi Flegrei caldera (Italy): A critical evaluation of source parameters from geodetic data inversion, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 150(1–3): 132–145. doi:10.1016/j.jvolgeores.2005.07.002
- Lanari, R.; Bernardino, P.; Borgström, S.; Del Gaudio, C.; De Martino, P.; Fornaro, G.; Guarino, S.; Ricciardi, G. P.; Sansosti, E.; Lundgren, P. 2004. The use of IFSAR and classical geodetic techniques for caldera unrest episodes: application to the Campi Flegrei uplift event of 2000, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 133(1–4): 247–260. doi:10.1016/S0377-0273(03)00401-3
- Langbein, J. O. 2003. Deformation of the Long Valley Caldera, California: inferences from measurements from 1988 to 2001, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 127(issues 3–4): 247–267.
- Lietuvos geologija*. 1994. Sudarė Grigelis, A.; Kadūnas, V. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla. 447 p.
- Mizoue, M. 1967. Modes of Secular Vertical Movements of the Earth's Crust, *Bulletin of the Earthquake Research Institute* 45: 1019–1090.
- Mrlina, J. 2000. Vertical displacements in the Nový Kostel seismic active area, *Studia Geophysic et Geodesy* 44: 336–345. doi:10.1023/A:1022179329713
- Nielsen, S. B.; Bayer, U. 2003. Dynamics of sedimentary basin inversion: observations and modelling, *Tectonophysics* 373(1–4): 1–3. doi:10.1016/S0040-1951(03)00278-6
- Skeivalas, J.; Krikštaponis, B. 2001. Normalinių aukščių nustatymo tikslumo analizė, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 3(27): 101–103.
- Zakarevičius, A. 2003. *Dabartinių geodinaminių procesų Lietuvos teritorijoje tyrimas* [Investigation of the recent geodynamic processes in the territory of Lithuania]. Vilnius: Technika. 195 p.
- Zakarevičius, A. 2007. Dabartinių geodinaminių procesų įvertinimas sudarant vertikaliosios geodezinio tinklo, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 3(33): 65–68.
- Zakarevičius, A.; Anikėnienė, A. 2007. Dabartinių geodinaminių procesų tyrimas šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 33(2): 41–46.
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Anikėnienė, A. 2009. Naujas Lietuvos teritorijos vertikaliosios Žemės plutos judesių žemėlapis, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 35(1): 5–13. doi:10.3846/1392-1541.2009.35.5-13
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, A.; Anikėnienė, A.; Dėnas, Ž.; Šliaupienė, R. 2008. A model of recent vertical movements of the earth's surface in Lithuania: integration of geodetic levelling data and geological parameters, *Geologija* 4(64): 254–263. doi:10.2478/v10056-008-0051-0
- Дрейпер, Н.; Смит, Г. 1986. *Прикладной регрессионный анализ*. Москва: Финансы и статистика. 365 с.
- Уломов, В. И. 2004. О роли горизонтальных тектонических движений в сейсмогеодинамике и прогнозе сейсмической опасности, *Физика земли* 9: 14–30.
- Юн, Л. П.; Лучкин, А. Ю.; Кулева, Л. К. 2009. Карта современных вертикальных движений земной коры на территории г. Ташкента и его окрестностей, *Устойчивое развитие горных территорий* 1: 64–67.

Algimantas ZAKAREVIČIUS. Doctor Habil., Professor, the Head of the Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania (Ph +370 5 2744 701), e-mail: *Algimantas.Zakarevicius@ap.vgtu.lt*.

A graduate from Kaunas Polytechnic Institute (presently, Kaunas University of Technology), geodetic engineer, 1965. Doctor's degree at Vilnius University, 1973. Dr Habil 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 130 publications and 3 monographs.

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

Rūta PUZIENĖ. Doctoral student at the Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania (Ph +370 5 2744 703), e-mail: *gkk@ap.vgtu.lt*

A graduate from Vilnius Gediminas Technical University (Master of Science, 2003), a co-author of 2 publications.

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