



DABARTINIŲ VERTIKALIŲJŲ ŽEMĖS PLOTOS JUDESIŲ ĮTAKOS NIVELIAVIMO MATAVIMAMS VERTINIMAS

Algimantas Zakarevičius, Rūta Puzienė, Asta Anikėnienė

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

Įteikta 2009 06 12; priimta 2009 06 15

Santrauka. Dėl vertikalųjų Žemės plotos judesių einant laikui keičiasi niveliavimo ženklų aukščiai, ir niveliacijos praranda pirminį tikslumą. Darbe teoriškai pagrįsta ir parengta metodika vertikalųjų Žemės plotos judesių įtakai niveliavimo matavimams ir tinklams įvertinti taikant judesių greičių horizontaliuosius gradientus. Pagal siūlomą metodiką įvertinta vertikalųjų Žemės plotos judesių įtaka Lietuvos vertikaliojo geodezinio tinklo niveliacijoms. Norint išlaikyti reikiamą vertikaliojo tinklo tikslumą, tinklą reikia kas 15–20 metų niveliuoti pakartotinai.

Reikšminiai žodžiai: vertikalieji Žemės plotos judesiai, niveliacija, gradientai, vertikalusis tinklas.

1. Įvadas

Žemės paviršiuje vyksta įvairios prigimties horizontalieji ir vertikalieji judesiai, kurių pagrindinis faktorius tektoninis. Patikimiausias būdas nustatyti skaitmeninius Žemės paviršiaus judesių rodiklius – geodeziniai matavimai. Vertikalieji Žemės paviršiaus judesiai nustatomi pagal kartotinių tikslųjų niveliacijų rezultatus (Liesis 1962; Zakarevičius 1994, 2003).

Geodeziniai ženklai įrengti Žemės paviršiuje, todėl dėl vykstančių vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių einant laikui kinta geodezinių ženklų aukščiai (Zakarevičius, Puzienė 2005). Geodezinių ženklų aukščių pokyčiai turi įtakos niveliacijos tinklų tikslumui, nes einant laikui didėja niveliacijos ženklais žymimų aukščių paklaidos. Aukščių paklaidos dėl Žemės paviršiaus judesių kritinę ribą pasieks greičiausiai tose teritorijose, kur didesni Žemės paviršiaus judesių greičiai ir didesnė greičių kaita, t. y. ten, kur didesnė greičių horizontaliųjų gradientų įtaka. Todėl, norint įvertinti vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių įtaką niveliacijos tinklams, reikia nustatyti vertikalųjų judesių lauko anizotropines savybes ir jų teritorinę kaitą. Tam reikalinga sudaryti vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių greičių horizontaliųjų gradientų planus. Tokius planus galima sudaryti remiantis vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių greičių žemėlapiams (Zakarevičius 1976, 1994).

Sudarant geodezinius tinklus arba atliekant kartotinius matavimus darbai trunka kelerius metus. Dėl netrūkstamai vykstančių geodinaminių procesų kinta Žemės taškų aukštis, todėl skirtingu metu atlikus matavimus gaunamos skirtingos net tų pačių taškų aukščių

skaitinės reikšmės. Turint visą išmatuotų niveliacijos linijų visumą, sujungiant linijas į poligonus, dėl geodinaminio poveikio išmatuotiems aukščių skirtumams gausiami nevienodo tikslumo matavimų rezultatai. Siekiant išvengti geodinaminės kilmės poveikio matavimų rezultatams, reikia įvesti atitinkamas pataisas, matavimų rezultatus redukuojant į pasirinktą laiko momentą.

Šio darbo tikslas – pateikti vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių įtakos į niveliavimo matavimams ir niveliacijos tinklams įvertinimo metodiką ir, ją taikant, atlikti vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių įtakos Lietuvos tiksliosios niveliacijos tinklams tyrimus.

2. Tyrimų metodika

Vertikaluosius Žemės paviršiaus judesius galima vertinti kaip nenutrūkstamai tam tikroje plokštumoje vykstančius fizinius reiškinius. Jei turimą plokštumą suskaidytume į taškus, gautume skaliarinių dydžių aibę. Ši erdvės dalis sudarytų skaliarinį lauką. Kiekviename šio lauko taške atitinkamas skaliarinis dydis apibūdina tam tikrą fizinį reiškinį, vykstantį tame taške tam tikru laiko momentu, mūsų atveju – vertikaluosius Žemės paviršiaus judesius. Tarsime, kad šis skaliarinis dydis kinta tik tuo atveju, kai pereinama iš vieno lauko taško į kitą jo tašką. Tuo atveju skaliarinis dydis yra erdvės, kurioje kinta laukas, taško funkcija.

Vietovėje vykstančius vertikaluosius Žemės paviršiaus poslinkius galima aprašyti trijų nepriklausomų kintamųjų funkcija:

$$h = f(x, y, t), \quad (1)$$

čia h – vertikalieji Žemės paviršiaus poslinkiai, x, y – stačiakampės koordinatės, t – laikotarpis tarp kartotinių niveliacijų.

Tardami, kad laikotarpiu tarp kartotinių matavimų vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių kryptis ir greitis nesikeitė, ir diferencijuodami (1) formulę skaliarinio lauko kintamuoju t , gauname vertikalųjų judesių greičių skaliarinį lauką

$$v = f(x, y). \quad (2)$$

Šį lauką galima atvaizduoti izolinijomis, t. y. sudaryti vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių greičių žemėlapi.

Diferencijuodami skaliarinio lauko (2) funkciją plokštuminių koordinatėlių x, y atžvilgiu, gauname horizontaliųjų greičių gradientų modulių funkciją (Корн, Г., Корн, Т. 1970):

$$|\text{grad} V| = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right)^2}. \quad (3)$$

Atlikę skaičiavimus pagal (3) formulę, gausime vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių horizontaliųjų greičių konkrečiuose taškuose gradientų modulių reikšmes. Taškus galima atvaizduoti grafiškai, sudarant planus. Kai judesių greičiai išreiškiami mm/m., o koordinatės – kilometrais, greičių horizontaliųjų gradientų dimensijos gaunamos (mm/m.)km.

Neturint vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių greičių skaliarinio lauko funkcijos (3) analitinės išraiškos, o turint tik lauką, atvaizduotą grafiškai (vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių greičių žemėlapi), arba skaitmenines reikšmes taškuose, judesių greičių horizontaliųjų gradientų reikšmes (3) galima apskaičiuoti skaitmeniniais diferencijavimo metodais (Zakarevičius 1976, 1994).

Vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių įtaką niveliacijos tinklo tikslumo pokyčiams einant laikui galima apskaičiuoti pagal judesių greičių horizontaliųjų gradientų reikšmes ir laiką, praėjusį po tinklo sudarymo.

Tuomet po t metų niveliacijos tinklo eksploatavimo išmatuotų aukščių skirtumų sistemingosios paklaidos 1 km niveliacinio ėjimo pasiektų absoliučiasias reikšmes m_v :

$$m_v = |\text{grad} V| \cdot t, \quad (4)$$

čia m_v – aukščių skirtumo paklaida dėl vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių, t – laikas, metais, nuo matavimų (Zakarevičius 1976, 1994).

Vertikalieji Žemės plutos judesiai einant laikui išmatuotiems aukščių skirtumams turi įtakos pagal tuos pačius dėsningumus kaip sistemingosios matavimo paklaidos. Įvertinant atsitiktines bei sistemingasias matavimų paklaidas, suminė niveliacinio ėjimo išmatuotų aukščių skirtumų vidutinė kvadratinė paklaida bus (Гайдаев, Большаков 1969)

$$M = \sqrt{Lm_{\Delta}^2 + \eta^2 m_{\delta}^2}, \quad (5)$$

čia L – niveliacinio ėjimo ilgis, km, m_{Δ}, m_{δ} – atsitiktinės ir sistemingosios matavimo paklaidų reikšmės vieno kilometro niveliacinio ėjimo atkarpoje.

Sistemingosios paklaidos visada turi būti mažesnės nei atsitiktinės matavimų paklaidos (Skeivalas 2001), t. y.

$$m_{\delta} = km_{\Delta}, \quad (6)$$

čia k – koeficientas, priklausantis nuo sąlygos, apibūdinančios, kurią atsitiktinės paklaidos dalį gali sudaryti didžiausia leidžiamoji sistemingosios paklaidos reikšmė vieno kilometro niveliacinio ėjimo atkarpoje.

Iš (5), (6) gauname

$$M = \sqrt{Lm_{\Delta}^2 + L^2 k^2 m_{\Delta}^2}. \quad (7)$$

Atsižvelgiant į sąlygą, kad L (km) ilgio niveliacinio ėjimo atkarpos suminės paklaidos ir jos sistemingosios dalies sando santykio reikšmė yra q , galime (7) išreikšti:

$$\frac{(L^2 m_{\Delta}^2 + k^2 L^2 m_{\Delta}^2)}{(k^2 n^2 m_{\Delta}^2)} = q^2. \quad (8)$$

Išsprendę (8) lygtį L atžvilgiu, gauname

$$L = \frac{1}{k^2 (q^2 - 1)}. \quad (9)$$

Faktinė koeficiento k reikšmė, įvertinus vertikalųjų judesių greičių horizontaliuosius gradientus, bus

$$k = \frac{m_{\Delta}}{|\text{grad} V|}. \quad (10)$$

Iš (9) lygties, taikant koeficientų k ir q reikšmes, galima apskaičiuoti didžiausią niveliacinio ėjimo ilgį, kurio sistemingasias matavimų paklaidas galima eliminuoti.

Geodezijoje iš daugelio tyrimų nustatyta (Seto et al. 1999; Menzel 1999; Wehmann 1999; Lilje, Eriksson 1999; Csepregi 1999; Mäkinen, Saaranen 1999; Villadsen 1999; Kasser 1999; Ellmann et al. 1999; Kääriäinen 1999; Busics 1999; Paršeliūnas ir kt. 2000), kad atlikus tiksliąją niveliaciją sistemingosios matavimo paklaidų reikšmės, jei matavimai kokybiški, sudaro apie 10 % atsitiktinių matavimų paklaidų, t. y. šiuo atveju koeficientas $k \approx 0,1$.

Geodezijoje priimta (Гайдаев, Большаков 1969), kad išmatuotų dydžių funkcijose, jeigu vieno iš dviejų paklaidų šaltinių įtaka nusakoma vidutine kvadratine paklaida, neviršijančia 1/3 dalies vidutinės kvadratinės paklaidos, apibūdinančios suminių tikslumą, tai, įvertinant matavimų tikslumą, šio paklaidų šaltinio galima nepaisyti. Pagal šią sąlygą koeficiento (8) reikšmė būtų $q \approx 3$, o niveliavimo matavimai neatitiktų tikslumo reikalavimų, atsižvelgiant į (4), po

$$t \geq \frac{m_{\Delta}}{3|\text{grad} V|} \quad (11)$$

metų.

Vieno kilometro niveliacinio ėjimo atsitiktinių vidutinių kvadratinių paklaidų reikšmė atlikus tiksliausias krašto niveliacijas vidutiniškai yra $m_{\Delta} = 5 \text{ mm}$ (Seto *et al.* 1999; Menzel 1999; Wehmann 1999; Lilje, Eriksson 1999; Csepregi 1999; Mäkinen, Saaranen 1999; Villadsen 1999; Kasser 1999; Ellmann *et al.* 1999; Kääriäinen 1999; Busics 1999).

3. Vertikaliųjų Žemės plutos judesių įtaka Lietuvos vertikaliajam geodeziniam tinklui

Pagal Lietuvoje galiojančius reikalavimus (GKTR 2.12.01.: 2001 Lietuvos valstybinis geodezinis vertikalusis tinklas, 2001) pirmosios tikslumo klasės niveliacijos leidžiamoji paklaida yra 0,5 mm/km, antrosios klasės – 0,7 mm/km.

Atsižvelgdami į tikslumo reikalavimus ir taikydami $k = 0,1$, iš (6) formulės gauname, kad pirmosios klasės niveliacijos neatitikimo reikalavimų, jei paklaida (4) bus didesnė kaip 0,17 mm/km, o antrosios klasės – 0,23 mm/km.

Norint įvertinti vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių įtaką Lietuvos vertikaliajam geodeziniam tinklui, reikia nustatyti vertikaliųjų judesių lauko anizotropines savybes ir jų teritorinius pokyčius. Tam reikia sudaryti vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių horizontaliųjų

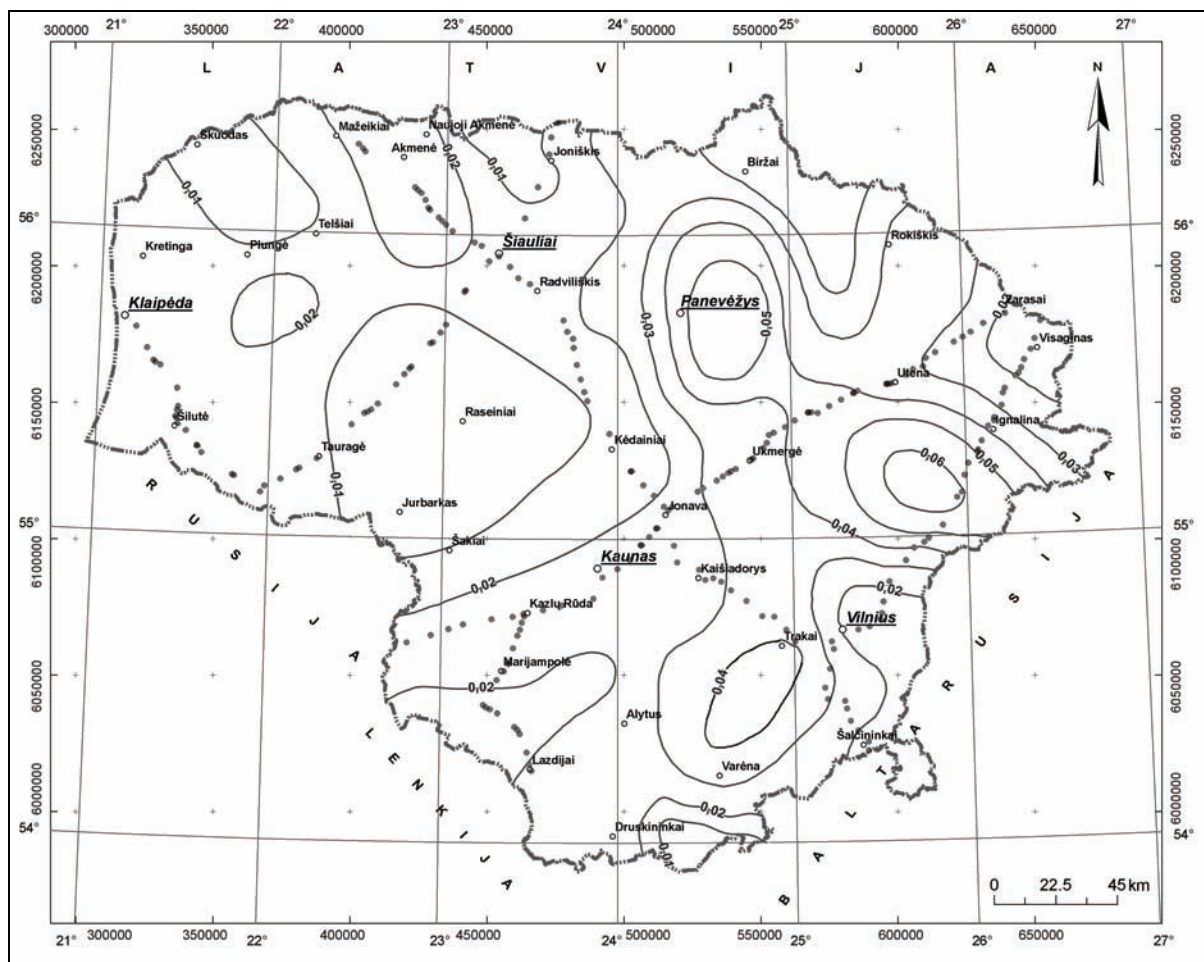
gradientų planą. Judesių greičių horizontaliųjų gradientų planas sudarytas remiantis dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių planu (Zakarevičius *et al.* 2008, 2009).

Siekiant gauti gradientų reikšmes, atliktas skaitmeninis vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių žemėlapio diferencijavimas. Teritorija suskaidyta kvadratais kas 15 km, kampiniuose taškuose nustatytos dabartinių vertikaliųjų judesių greičių reikšmės. Taip pat buvo atliktas duomenų generalizavimas, siekiant gauti labiau apibendrintas vertikaliųjų greičių reikšmes. Atliekant duomenų generalizavimą, kad būtų išvengta vienodos vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių greičių reikšmių įtakos generalizuotam dydžiui, taikytas slenkamasis svorinis vidurkis.

Turint šiuos duomenis, atliekant skaitmeninį diferencijavimą apskaičiuotos vertikaliųjų judesių greičių horizontaliųjų gradientų modulių reikšmės.

Sudarytasis vertikaliųjų Žemės paviršiaus judesių horizontaliųjų gradientų modulių planas pateiktas paveiksle.

Turint horizontaliųjų gradientų modulių skaitines išraiškas, (11) apskaičiuota, kokios būtų vidutinės kvadratinės aukščių skirtumų paklaidos vienam kilometrui po 10, 15 ir 20 tinklo eksploatavimo metų. Gauti rezultatai palyginti su niveliacijai keliamais tikslumo reikalavimais. Gauti rezultatai pateikti lentelėje.



Vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių horizontaliųjų gradientų modulių planas (gradientų reikšmės pateiktos (mm/m.)km)

Map of gradient module of vertical movement Earth crust rate (meaning of gradient is in (mm/m.)km)

Vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių įtaka niveliacijos tinklų tikslumui
Influence vertical movement crust of precision levelling network

Niveliavimo linija	Neatitiks tikslumo reikalavimų					
	po 10 m.		po 15 m.		po 20 m.	
	I kl.	II kl.	I kl.	II kl.	I kl.	II kl.
Šiauliai – Kužiai – Mažeikiai – Lūšė	–	–	–	–	–	–
Šiauliai – Tauragė – Mikytai	+	+	+	+	–	+
Mikytai – Šilutė – Klaipėda – Palanga – Būtingė	+	+	–	+	–	+
Jonava – Gaižiūnai – Palemonas – Kaunas – Kazlų Rūda – Kybartai	–	–	–	–	–	–
Vilnius – Jonava	–	–	–	–	–	–
Jonava – Zarasai – Turmantas	–	–	–	–	–	–
Turmantas – Vilnius	–	–	–	–	–	–
Jonava – Šiauliai – Joniškis	+	+	+	+	–	–
Kazlų Rūda – Šeštakai – Lazdijai – Lenkijos siena	–	+	–	–	–	–

Kaip matyti iš tyrimų rezultatų (žr. lent.), po 10 metų ne tik I klasės, bet ir II klasės niveliacijos tikslumo reikalavimų nebeatitiks šios niveliavimo linijos: Šiauliai – Kužiai – Mažeikiai – Lūšė, Jonava – Gaižiūnai – Palemonas – Kaunas – Kazlų Rūda – Kybartai, Vilnius – Jonava, Jonava – Zarasai – Turmantas, Turmantas – Vilnius (apie 50 % Lietuvos teritorijoje esančių tinklų); I kl. keliamų reikalavimų nebeatitiks linijos: Kazlų Rūda – Šeštakai – Lazdijai – Lenkijos siena (apie 70 %).

Po 15 metų ne tik I klasės, bet ir II klasės niveliacijos tikslumo reikalavimų nebeatitiks niveliavimo linijos: Šiauliai – Kužiai – Mažeikiai – Lūšė, Jonava – Gaižiūnai – Palemonas – Kaunas – Kazlų Rūda – Kybartai, Vilnius – Jonava, Jonava – Zarasai – Turmantas, Turmantas – Vilnius, Kazlų Rūda – Šeštakai – Lazdijai – Lenkijos siena (apie 70 %); I kl. keliamų reikalavimų neatitiks linijos: Mikytai – Šilutė – Klaipėda – Palanga – Būtingė (apie 80 %).

Po 20 metų ne tik I klasės, bet ir II klasės niveliacijos tikslumo reikalavimų nebeatitiks niveliavimo linijos: Šiauliai – Kužiai – Mažeikiai – Lūšė, Jonava – Gaižiūnai – Palemonas – Kaunas – Kazlų Rūda – Kybartai, Vilnius – Jonava, Jonava – Zarasai – Turmantas, Turmantas – Vilnius, Jonava – Šiauliai – Joniškis, Kazlų Rūda – Šeštakai – Lazdijai – Lenkijos siena (apie 80 %); I kl. keliamų reikalavimų neatitiks linijos: Šiauliai – Tauragė – Mikytai, Mikytai – Šilutė – Klaipėda – Palanga – Būtingė (100 %).

Atsižvelgiant į tyrimų rezultatus (žr. lent.), matyti, jog 67 % niveliacijos tinklų jau po dešimties metų dėl vertikalųjų Žemės plutos judesių įtakos neatitiks jiems keliamų tikslumo reikalavimų. Taigi galima teigti, jog Lietuvos teritorijoje pirmosios ir antrosios klasės niveliacijos tinklų kartotinius matavimus būtina atlikti ne rečiau kaip kas 15–20 metų.

Taip pat galima teigti, jog vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių įtaką reikia įvertinti ir apdorojant niveliacijos tinklų matavimų rezultatus. Matavimų rezultatus reikėtų redukuoti į vieną laiko momentą, apskaičiuojant pataisais dėl vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių įtakos skirtingu laiku atliktų matavimų duomenims.

Taikydami $k = 0,1$, $q = 3$, iš (9) formulės gauname, kad vertikalųjų Žemės plutos judesių įtaką būtina įvertinti niveliacijos linijose, kurių ilgis $L \geq 12$ km, o esant $k = 0,2$, $L \geq 3$ km.

4. Išvados

1. Teoriškai pagrįsta ir parengta metodika dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių įtakai niveliavimo matavimams ir vertikaliesiems geodeziniam tinklams įvertinti.
2. Sudarytas Lietuvos teritorijos vertikalųjų Žemės plutos judesių greičių horizontaliųjų gradientų planas ir, juo remiantis, nustatyta Žemės plutos judesių įtaka Lietuvos vertikaliam geodeziniam tinklui.
3. Ištyrus nustatyta, kad jau po dešimties Lietuvos pirmosios klasės vertikaliojo geodezinio tinklo eksploatavimo metų apie 50 % tinklo neatitiks tikslumo reikalavimų.
4. Norint išlaikyti reikiamą Lietuvos vertikaliojo geodezinio tinklo tikslumą, tinklų reikia kas 15–20 metų niveliuoti pakartotinai.

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

Literatūra

- Busics, G. 1999. The past and the future of levelling networks in Hungary, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 407–414.
- Csepregi, S. 1999. Some questions of the precise height measurement, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 205–212.
- Ellmann, A.; Torim, A.; Abols, N.; Kaminskis, J.; Sleiteris, E. 1999. Different solutions adopted to modernise the height networks in the Baltic countries, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 349–360.
- GKTR 2.12.01.2001. Lietuvos valstybinis geodezinis vertikalusis tinklas. Techninių reikalavimų reglamentas. Vilnius. 23 p.

- Kasser, M. 1999. Best use of different altimetric determination techniques, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 339–346.
- Kääriäinen, J. 1999. Precise levellings in Finland, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 379–386.
- Liesis, I. 1962. Dabartiniai žemės plutos vertikalieji judesiai Pietrytiniame Pabaltijyje, *Geografinis metraštis* 5: 214–330.
- Lilje, M.; Eriksson, P.-O. 1999. The production line used in the third precise levelling of Sweden, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 107–118.
- Mäkinen, J.; Saaranen, V. 1999. Computation of postglacial land uplift from the three precise levellings in Finland, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 287–288.
- Menzel, M. 1999. The Development of levels during the past 25 years, with special emphasis on the NI002 optical geodetic level and the DiNi 11 digital level, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 85–94.
- Paršeliūnas, E. K.; Sacher, M.; Ihde, J. 2000. Preparation of Lithuanian levelling network data for united European levelling network, *Geodezija ir kartografija* 4(26): 171–186.
- Seto, T.; Chiba, M.; Nagao, T.; Muraki, M. 1999. Results of test and experiments with SDL30 digital level, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 69–78.
- Skeivalas, J. 2001. *Metrologinių ir geodezinių matavimų apdorojimas*. Vilnius: Technika. 220 p.
- Villadsen, S. S. 1999. Implementation of a new, common height datum in Denmark, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 333–338.
- Villadsen, S. S. 1999. The 1998 national levelling report from Denmark, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 397–400.
- Wehmann, W. 1999. Experience with various digital levels in both motorised and conventional “on foot” precise levelling in east Germany, in *The importance of Heights PROCEEDINGS Geodesy and Surveying in the future, March 15–17, 1999*. Gävle, Sweden, 95–106.
- Zakarevičius, A. 1976. Kai kurie vertikalųjų Žemės paviršiaus judesių gradientų planų sudarymo ir panaudojimo klausimai, *Geodezijos darbai* 8: 20–25.
- Zakarevičius, A. 1994. *Dabartinių vertikalųjų Žemės plutos judesių Lietuvos teritorijoje tyrimas* [The research of the present vertical Earth's crust movements in Lithuania]. Vilnius: Technika. 276 p.
- 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.; Puzienė, R. 2005. Išmatuotų Lietuvos pajūrio Žemės paviršiaus judesių ir teritorijos geologinių rodiklių sąsajos, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 31(3): 92–96.
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; 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* [Geology] 4(64): 254–263. doi:10.2478/v10056-008-0051-0
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Anikėnienė, A. 2009. Naujas Lietuvos teritorijos vertikalųjų Žemės plutos judesių žemėlapis, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 35(10): 5–13.
- Гайдаев, П. А.; Большаков, В. Д. 1969. *Теория математической обработки геодезических измерений* [Theory of processing of mathematical for geodesy measurement]. Москва: Наука. 400 с.
- Корн, Г.; Корн, Т. 1970. *Справочник по математике* [Mathematical handbook for scientists and engineers]. Москва: Наука. 720 с.

Algimantas ZAKAREVIČIUS. Prof. Dr Habil, the Head of the Department of Geodesy and Cadastre, at Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania (tel. +370 5 274 4701), e-mail: Algimantas.Zakarevicius@ap.vgtu.lt

A graduate of Kaunas Polytechnic Institute (presently, Kaunas University of Technology), geodetic engineer, 1965. A Doctoral Degree from Vilnius University, 1973. Dr. Habil. degree at VGTU, 2000. A member of the Geodetic Commission of Estonia, Latvia and Lithuania. Research training at the Geodetic Institute of Norwegian Mapping Authority, 1994. The author of more than 130 publications and 3 monographs.

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

Rūta PUZIENĖ. A doctoral student at Vilnius Gediminas Technical University, Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania (tel. +370 5 274 4703), e-mail: gkk@ap.vgtu.lt

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

Research interests: investigation of geodynamic processes, investigations of deformations

Asta ANIKĖNIENĖ. Dr Department 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. Dr, 2009. Research interests: geodynamic processes, GIS, deformations.