

UDK 528.14

## GEODEZINIO VERTIKALIOJO TINKLO KLAIDŲ ANALIZĖ TAIKANT SKIRTINGUS IŠLYGINIMO MODELIUS

Jonas Skeivalas<sup>1</sup>, Silvija Gečytė<sup>2</sup>, Edita Aleknienė<sup>3</sup>, Evelina Zigmantienė<sup>4</sup>

*Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,  
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva*

*El. paštas: <sup>1</sup>Jonas.Skeivalas@ap.vgtu.lt, <sup>2</sup>Silvija.Gecyte@ap.vgtu.lt, <sup>3</sup>Edita.Aleknienė@ap.vgtu.lt, <sup>4</sup>evelina@ap.vgtu.lt*

*[teikta 2007 02 05, priimta 2007 03 30]*

**Santrauka.** Geodezinėje praktikoje taikomi įvairūs normalinio aukščio nustatymo ir tikslumo įvertinimo metodai. Straipsnyje analizuojamas papildomų parametru ir sąlyginių lygčių taikymas vertikaliojo tinklo išlyginimo procedūrose niveliavimo matavimų sistemingsioms klaidoms eliminuoti. Nagrinėjama pradinių duomenų klaidų įtaka išlygintųjų dydžių ir parametru tikslumui, nelaisvojo ir laisvojo tinklo išlyginimo variantai. Tinklo išlyginimas atliekamas mažiausiųjų kvadratų metodu, išlygintųjų dydžių ir parametru tikslumas įvertinamas kovariacijų matricų pavidalu.

**Reikšminiai žodžiai:** vertikalusis tinklas, atsitiktinės ir sistemingosios klaidos, mažiausiųjų kvadratų metodas, kovariacijų matrica.

### 1. Įvadas

Sudarant valstybines aukščių sistemas taikoma normalinių aukščių sistema. Ši sistema pagrįsta rusų mokslininko M. S. Molodensko sukurta teorija [1, 2], pagal kurią normaliniams aukščiams skaičiuoti naudojama normalinio sunkio  $\gamma$  reikšmė  $\bar{\gamma}$  aukštyje  $\bar{H} = 1/2 H_A$  virš elipsoido. Normaliniam sunkiui  $\gamma$  reikiama tikslumu nustatyti taikomi atitinkami metodai. Taigi normalinis aukštis nustatomas kaip normalės į elipsoidą atkarpa, atidėta tarp kvazigeoido ir Žemės paviršiaus taško. Tokiu būdu Žemės paviršiaus taško aukštis  $H_A$  šioje sistemoje nustatomas vienareikšmiškai. Normalinių aukščių tikslumas geodezinėje praktikoje yra pakankamai aktuali ir sudėtinga problema, susijusi ir su taikomais aukščių nustatymo metodais, ir su geofizinėmis konstantomis. Šie matavimai atliekami remiantis IGSN 71 sunkio sistema [1, 3–5]. Taikoma LKS 94 koordinacių sistema bei GRS 80 normalusis sunkio laukas.

Straipsnyje analizuojama papildomų parametru taikymas siekiant eliminuoti niveliavimo matavimų sistemingasias klaidas, vertikaliojo tinklo išlyginimas, įvertinant pradinių duomenų klaidų įtaką išlygintųjų dydžių bei parametru tikslumui, bei nelaisvojo ir laisvojo vertikaliojo tinklo išlyginimo variantai.

### 2. Išlyginimo modelių variantai

Vertikaliojo tinklo parametru atsitiktinėms ir sistemingsioms klaidoms analizuoti taikomi tikimybiniai bei matematinės statistikos metodai.

Teorinei bei praktinei analizei naudoti Lietuvos geodezinio vertikaliojo 1-osios klasės tinklo (1 pav.) matavimų duomenys. Vertikalusis tinklas buvo išlygintas mažiausiųjų kvadratų metodu taikant keturis modelius:

1. Tinklas išlygintas kaip nelaisvasis tinklas (rango defektas  $d = 0$ ), t. y. laikant pradinius duomenis neklaidingais.

2. Tinklas išlygintas įvertinant pradinių duomenų klaidų įtaką išlygintųjų dydžių ir parametru tikslumui.

3. Tinklas išlygintas kaip laisvasis tinklas (rango defektas  $d = 1$ ), t. y. pradiniai duomenys kaip išlyginimo parametrai taikomi išlyginimo procedūrose.

4. Tinklas išlygintas taikant papildomus parametrus matavimų sistemingsioms klaidoms eliminuoti.

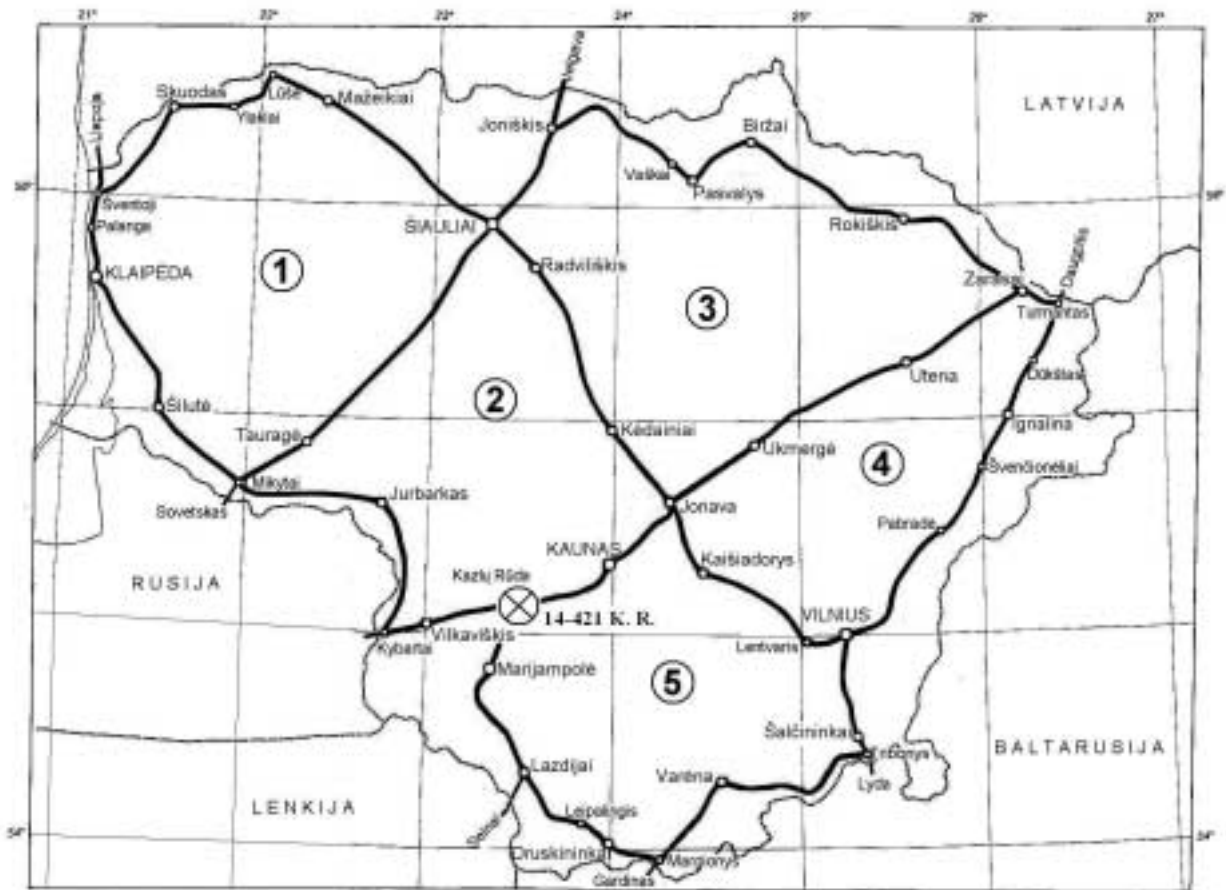
Vertikalusis tinklas buvo susietas su vienu pradiniu tašku 12–421 K. R., kurio normalinis aukštis žinomas.

Skaičiavimai atlikti taikant mažiausiųjų kvadratų metodą pagal algoritmus, išdėstytus darbuose [6–11] ir kompiuterinę programą, sudarytą taikant „Matlab“ programinio paketo operatorius. Kiekvieno išlyginimo modelio atveju buvo apskaičiuoti matavimo rezultato, kurio svoris lygus vienetui, standartinio nuokrypio  $\sigma_0$  įverčiai  $m_0$ . Matavimo rezultatu, kurio svoris  $p = 1$ , laikytas aukščių skirtumas tarp taškų, nutolusių vienas nuo kito 200 km atstumu. Gautieji rezultatai rodo, kad standartinio nuokrypio įverčiai  $m_0$  maždaug vienodi:

$m_0 = 0,0098$  m – kai išlyginamas nelaisvasis tinklas,

$m_{0u} = 0,0098$  m – kai tinklas išlyginamas įvertinant pradinių duomenų klaidas,

$m_0 = 0,0110$  m – kai išlyginamas laisvasis tinklas.



**1 pav.** Lietuvos valstybinio geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo schema  
**Fig 1.** The scheme of the firstclass national geodetic vertical network of Lithuania

1 lentelėje tinklo mazginių taškų išlygintieji normaliniai aukščiai parodyti keturių modelių variantais. Pagal pirmųjų trijų modelių variantus normalinių aukščių reikšmių tarpusavio skirtumai yra nedideli (<1 mm). Tačiau ketvirtojo modelio taškų normalinių aukščių reikšmių nuokrypiai nuo pirmųjų trijų modelių gana ryškūs: nuo 3 mm taške 0739 *Zarasai* iki 12 mm taške 1021 *Lazdijai*. Tai rodo apie pavienių eigų sistemingas klaidas. Pagal ketvirtojo modelio variantą buvo atliekama 1-osios, 7-osios, 11-osios ir 13-osios eigų aukščių skirtumų sistemingųjų klaidų paieška. Visų eigų tai padaryti neįmanoma, nes turi būti paisoma nelygybės sąlygos, kad išmatuotųjų dydžių skaičius  $n$  turi būti didesnis už bendrą parametru skaičių  $k+s$ , t. y.  $n > k+s$ , čia  $k, s$  – atitinkamai pagrindinių ir papildomų parametru skaičius.

2 lentelėje pateikti tinklo eigų išlygintųjų normalinių aukščių skirtumai ir išlyginimo metu nustatytos pataisos. Pagal pirmųjų trijų modelių variantus išlygintųjų normalinių aukščių skirtumų tarpusavio nuokrypiai nėra dideli (<1 mm). Ketvirtojo modelio atitinkamų aukščių skirtumų nuokrypiai pirmųjų trijų modelių atžvilgiu yra didesni: pirmosios eigos aukščių skirtumo nuokrypis apie 2 mm, o penktosios – apie 10 mm.

3 lentelėje mazginių taškų išlygintųjų normalinių aukščių standartinių nuokrypių įverčiai, kurių reikšmės pirmųjų trijų modelių yra artimos,  $m_{\bar{H}} \rightarrow 4-9$  mm. Ketvirtojo modelio tikslumui įtakos turi pavienių eigų sistemingosios klaidos, kurioms nustatyti naudojama dalis matavimų informacijos. Todėl kai kurių mazginių taškų, pvz., 2-ojo – 8-ojo, išlygintųjų normalinių aukščių standartinių nuokrypių įverčių reikšmės du kartus didesnės.

4 lentelėje parodyti tinklo eigų išlygintųjų normalinių aukščių skirtumų standartinių nuokrypių įverčiai, kurių reikšmės visų keturių modelių skiriasi nedaug (<2 mm).

5–8 lentelėse pateikti tinklo mazginių taškų išlygintųjų normalinių aukščių vektorių kovariacijų matricių įverčiai  $K_m, K_{t0}, K_{tu}, K_{ts}$  keturių modelių variantais. 1-ojo, 2-ojo ir 4-ojo modelių kovariacijų įverčiai yra teigiamieji, o 3-ojo modelio (kai išlyginamas laisvasis tinklas) – teigiamieji ir neigiamieji. Ketvirtojo modelio išlygintųjų normalinių aukščių vektoriaus kovariacijų įverčių absoliučiosios reikšmės daugelyje matricos narių yra maždaug 2–3 kartus didesnės nei kitų modelių. 2 pav. parodytas kovariacijų matricos  $K_{ts}$  įverčio grafinis vaizdas.

**1 lentelė.** Mazginių taškų išlygintieji normaliniai aukščiai**Table 1.** Adjusted normal heights of nodal points

Eil. nr.	Mazginiai taškai	Išlygintieji normaliniai aukščiai, m			
		$\tilde{H}$	$\tilde{H}_o$	$\tilde{H}_u$	$\tilde{H}_s$
1	10201 <i>Mikytai</i>	16,5601	16,5601	16,5610	16,5662
2	10300 <i>Šventoji</i>	9,1865	9,1865	9,1873	9,1933
3	0128 <i>Šiauliai</i>	141,2848	141,2848	141,2856	141,2942
4	11 <i>Joniškis</i>	60,6365	60,6365	60,6373	60,6442
5	0739 <i>Zarasai</i>	144,8047	144,8047	144,8055	144,8027
6	217 <i>Jonava</i>	68,7223	68,7223	68,7231	68,7169
7	3 <i>Vilnius</i>	212,8530	212,8530	212,8538	212,8470
8	1021 <i>Lazdijai</i>	131,8443	131,8443	131,8451	131,8333
9	12-421 <i>Kazlų Rūda</i>	64,963			

Išlygintųjų normalinių aukščių žymenys:

$\tilde{H}$  – kai išlyginamas nelaisvasis tinklas;

$\tilde{H}_o$  – kai tinklas išlyginamas pagal pradinių duomenų klaidas;

$\tilde{H}_u$  – kai išlyginamas laisvasis tinklas;

$\tilde{H}_s$  – kai tinklas išlyginamas pagal pavienių išmatuotų dydžių sistemingąsias klaidas.

**2 lentelė.** Tinklo eigų išlygintųjų normalinių aukščių skirtumai ir išlyginimo pataisos**Table 2.** Differences in adjusted normal heights of network traverses and adjustment corrections

Eil. nr.	Taškai, tarp kurių nustatomi aukščių skirtumai	Išlygintųjų normalinių aukščių skirtumai, m				Išmatuotųjų aukščių skirtumų pataisos, m			
		$\tilde{h}$	$\tilde{h}_o$	$\tilde{h}_u$	$\tilde{h}_s$	$v$	$v_o$	$v_u$	$v_s$
1	10300 <i>Šventoji</i> – 10201 <i>Mikytai</i>	7,3737	7,3737	7,3737	7,3718	0,0019	0,0019	0,0019	0,0000
2	10201 <i>Mikytai</i> – 0128 <i>Šiauliai</i>	124,7246	124,7246	124,7246	124,7279	-0,0003	-0,0003	-0,0003	0,0030
3	0128 <i>Šiauliai</i> – 10300 <i>Šventoji</i>	-132,0983	-132,0983	-132,0983	-132,1009	0,0026	0,0026	0,0026	0,0000
4	11 <i>Joniškis</i> – 0128 <i>Šiauliai</i>	80,6483	80,6483	80,6483	80,6500	-0,0026	-0,0026	-0,0026	0,0009
5	0739 <i>Zarasai</i> – 11 <i>Joniškis</i>	-84,1682	-84,1682	-84,1682	-84,1585	-0,0151	-0,0151	-0,0151	0,0054
6	217 <i>Jonava</i> – 0739 <i>Zarasai</i>	76,0824	76,0824	76,0824	76,0858	-0,0067	-0,0067	-0,0067	0,0033
7	0128 <i>Šiauliai</i> – 217 <i>Jonava</i>	-72,5625	-72,5625	-72,5625	-72,5536	-0,0089	-0,0089	-0,0089	0,0000
8	217 <i>Jonava</i> – 12-421 <i>Kazlų Rūda</i>	-3,7593	-3,7593	-3,7593	-3,7539	-0,0034	-0,0034	-0,0034	0,0020
9	12-421 <i>Kazlų Rūda</i> – 10201 <i>Mikytai</i>	-48,4029	-48,4029	-48,4029	-48,3968	-0,0025	-0,0025	-0,0025	0,0036
10	12-421 <i>Kazlų Rūda</i> – 1021 <i>Lazdijai</i>	66,8813	66,8813	66,8813	66,8829	-0,0017	-0,0017	-0,0017	0,0000
11	1021 <i>Lazdijai</i> – 3 <i>Vilnius</i>	81,0088	81,0088	81,0088	81,0137	-0,0049	-0,0049	-0,0049	0,0000
12	3 <i>Vilnius</i> – 217 <i>Jonava</i>	-144,1307	-144,1307	-144,1307	-144,1301	-0,0007	-0,0007	-0,0007	0,0000
13	3 <i>Vilnius</i> – 0739 <i>Zarasai</i>	-68,0483	-68,0483	-68,0483	-68,0454	-0,0029	-0,0029	-0,0029	0,0000

Išlygintųjų normalinių aukščių skirtumų ir pataisų žymenys:

$\tilde{h}$  – kai išlyginamas nelaisvasis tinklas, atitinkamai pataisa lygi  $v$ ;

$\tilde{h}_o$  – kai tinklas išlyginamas pagal pradinių duomenų klaidas, atitinkamai pataisa lygi  $v_o$ ;

$\tilde{h}_u$  – kai išlyginamas laisvasis tinklas, atitinkamai pataisa lygi  $v_u$ ;

$\tilde{h}_s$  – kai tinklas išlyginamas pagal pavienių išmatuotų dydžių sistemingąsias klaidas, atitinkamai pataisa lygi  $v_s$ .

**3 lentelė.** Mazginių taškų išlygintųjų normalinių aukščių standartinių nuokrypių įverčiai  
**Table 3.** Estimations of standard deviations of adjusted normal heights of nodal points

Eil. nr.	Mazginiai taškai	Standartinių nuokrypių įverčiai, m			
		$m_{\tilde{H}}$	$m_{\tilde{H}_o}$	$m_{\tilde{H}_u}$	$m_{\tilde{H}_s}$
1	10201 <i>Mikytai</i>	0,0070	0,0070	0,0056	0,0081
2	10300 <i>Šventoji</i>	0,0090	0,0090	0,0074	0,0139
3	0128 <i>Šiauliai</i>	0,0070	0,0070	0,0044	0,0098
4	11 <i>Joniškis</i>	0,0078	0,0078	0,0056	0,0100
5	0739 <i>Zarasai</i>	0,0077	0,0077	0,0061	0,0092
6	217 <i>Jonava</i>	0,0054	0,0055	0,0041	0,0063
7	3 <i>Vilnius</i>	0,0069	0,0069	0,0058	0,0097
8	1021 <i>Lazdijai</i>	0,0055	0,0055	0,0065	0,0142
9	12-421 <i>K. R.</i>		0,0004	0,0049	

Standartinių nuokrypių įverčių žymenys:

$m_{\tilde{H}}$  – kai išlyginamas nelaisvasis tinklas;

$m_{\tilde{H}_o}$  – kai tinklas išlyginamas pagal pradinių duomenų klaidų įtaką;

$m_{\tilde{H}_u}$  – kai išlyginamas laisvasis tinklas;

$m_{\tilde{H}_s}$  – kai tinklas išlyginamas pagal pavienių išmatuotų dydžių sistemingąsias klaidas.

**4 lentelė.** Tinklo eigų išlygintųjų normalinių aukščių skirtumų standartinių nuokrypių įverčiai  
**Table 4.** Estimations of standard deviations of adjusted normal heights of network traverses

Eil. nr.	Taškai, tarp kurių nustatomi normalinių aukščių skirtumai	Standartinių nuokrypių įverčiai, m			
		$m_{\tilde{h}}$	$m_{\tilde{h}_o}$	$m_{\tilde{h}_u}$	$m_{\tilde{h}_s}$
1	10300 <i>Šventoji</i> – 10201 <i>Mikytai</i>	0,0069	0,0069	0,0077	0,0084
2	10201 <i>Mikytai</i> – 0128 <i>Šiauliai</i>	0,0061	0,0061	0,0068	0,0076
3	0128 <i>Šiauliai</i> – 10300 <i>Šventoji</i>	0,0072	0,0072	0,0081	0,0098
4	11 <i>Joniškis</i> – 0128 <i>Šiauliai</i>	0,0043	0,0043	0,0048	0,0045
5	0739 <i>Zarasai</i> – 11 <i>Joniškis</i>	0,0076	0,0076	0,0085	0,0093
6	217 <i>Jonava</i> – 0739 <i>Zarasai</i>	0,0061	0,0061	0,0069	0,0078
7	0128 <i>Šiauliai</i> – 217 <i>Jonava</i>	0,0059	0,0059	0,0066	0,0076
8	217 <i>Jonava</i> – 12-421 <i>Kazlų Rūda</i>	0,0054	0,0054	0,0061	0,0063
9	12-421 <i>Kazlų Rūda</i> – 10201 <i>Mikytai</i>	0,0070	0,0070	0,0078	0,0081
10	12-421 <i>Kazlų Rūda</i> – 1021 <i>Lazdijai</i>	0,0055	0,0055	0,0062	0,0061
11	1021 <i>Lazdijai</i> – 3 <i>Vilnius</i>	0,0074	0,0074	0,0082	0,0104
12	3 <i>Vilnius</i> – 217 <i>Jonava</i>	0,0057	0,0057	0,0063	0,0074
13	3 <i>Vilnius</i> – 0739 <i>Zarasai</i>	0,0067	0,0067	0,0075	0,0093

Standartinių nuokrypių įverčių žymenys:

$m_{\tilde{h}}$  – kai išlyginamas nelaisvasis tinklas;

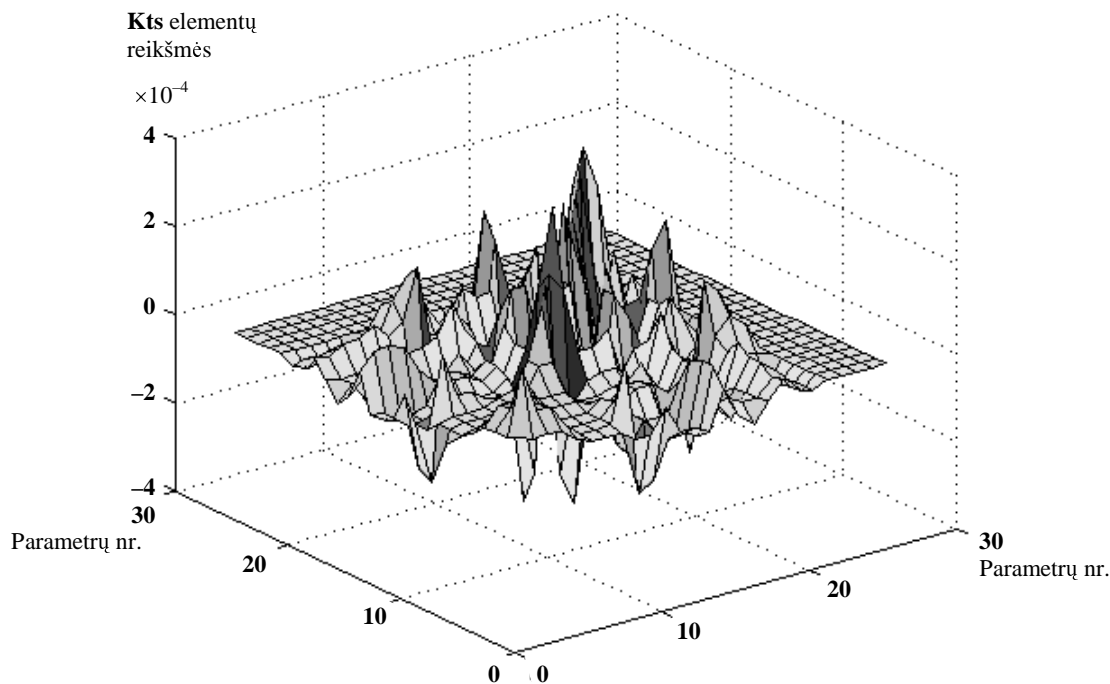
$m_{\tilde{h}_o}$  – kai tinklas išlyginamas pagal pradinių duomenų klaidų įtaką;

$m_{\tilde{h}_u}$  – kai išlyginamas laisvasis tinklas;

$m_{\tilde{h}_s}$  – kai tinklas išlyginamas pagal pavienių išmatuotų dydžių sistemingąsias klaidas.

**5 lentelė.** Išlygintųjų normalinių aukščių vektorius kovariacijų matricos įvertis **Ktn** (kai išlyginamas nelaisvasis tinklas)  
**Table 5.** Estimations of the co-variations matrix of vector of adjusted normal heights **Ktn** (when non-arbitrary network is adjusted)

4.9721e-005	4.1615e-005	3.0687e-005	2.8663e-005	1.6858e-005	1.3712e-005	1.2125e-005	3.0847e-006
4.1615e-005	8.1231e-005	3.8528e-005	3.5988e-005	2.1165e-005	1.7216e-005	1.5223e-005	3.8729e-006
3.0687e-005	3.8528e-005	4.9098e-005	4.5861e-005	2.6972e-005	2.1939e-005	1.94e-005	4.9354e-006
2.8663e-005	3.5988e-005	4.5861e-005	6.1816e-005	3.176e-005	2.2507e-005	2.1173e-005	5.3865e-006
1.6858e-005	2.1165e-005	2.6972e-005	3.176e-005	5.9701e-005	2.5822e-005	3.1522e-005	8.0192e-006
1.3712e-005	1.7216e-005	2.1939e-005	2.2507e-005	2.5822e-005	3.0115e-005	2.3148e-005	5.8889e-006
1.2125e-005	1.5223e-005	1.94e-005	2.1173e-005	3.1522e-005	2.3148e-005	4.8735e-005	1.2398e-005
3.0847e-006	3.8729e-006	4.9354e-006	5.3865e-006	8.0192e-006	5.8889e-006	1.2398e-005	3.0854e-005



2 pav. Kovariacijų matricos **Kts** grafinis vaizdas  
 Fig 2. Graphic view of the covariations matrix **Kts**

6 lentelė. Išlygintųjų normalinių aukščių vektoriaus kovariacijų matricos įvertis **Kto** (kai tinklas išlyginamas pagal pradinių duomenų klaidų įtaką)

Table 6. Estimation of the co-variations matrix of vector of adjusted normal heights **Kto** (when network is adjusted by introducing the effect of initial data errors)

4.9962e-005	4.1855e-005	3.0927e-005	2.8904e-005	1.7098e-005	1.3953e-005	1.2366e-005	3.3254e-006	2.4071e-007
4.1855e-005	8.1471e-005	3.8768e-005	3.6228e-005	2.1406e-005	1.7457e-005	1.5464e-005	4.1136e-006	2.4071e-007
3.0927e-005	3.8768e-005	4.9338e-005	4.6102e-005	2.7212e-005	2.218e-005	1.9641e-005	5.1761e-006	2.4071e-007
2.8904e-005	3.6228e-005	4.6102e-005	6.2057e-005	3.2e-005	2.2748e-005	2.1414e-005	5.6272e-006	2.4071e-007
1.7098e-005	2.1406e-005	2.7212e-005	3.2e-005	5.9942e-005	2.6063e-005	3.1762e-005	8.2599e-006	2.4071e-007
1.3953e-005	1.7457e-005	2.218e-005	2.2748e-005	2.6063e-005	3.0356e-005	2.3389e-005	6.1296e-006	2.4071e-007
1.2366e-005	1.5464e-005	1.9641e-005	2.1414e-005	3.1762e-005	2.3389e-005	4.8976e-005	1.2639e-005	2.4071e-007
3.3254e-006	4.1136e-006	5.1761e-006	5.6272e-006	8.2599e-006	6.1296e-006	1.2639e-005	3.1095e-005	2.4071e-007
2.4071e-007	2.4071e-007	2.4071e-007	2.4071e-007	2.4071e-007	2.4071e-007	2.4071e-007	2.4071e-007	2.4071e-007

7 lentelė. Išlygintųjų normalinių aukščių vektoriaus kovariacijų matricos įvertis **Ktu** (kai išlyginamas laisvasis tinklas)

Table 7. Estimation of the co-variations matrix of vector of adjusted normal heights **Ktu** (when arbitrary network is adjusted)

3.1995e-005	1.3754e-005	2.5132e-006	-2.2012e-006	-1.2606e-005	-8.0004e-006	-1.3231e-005	-9.3531e-006	-2.8701e-006
1.3754e-005	5.5167e-005	4.2073e-006	-1.1533e-006	-1.5329e-005	-1.1728e-005	-1.7465e-005	-1.6475e-005	-1.0977e-005
2.5132e-006	4.2073e-006	1.9839e-005	1.3608e-005	-5.6515e-006	-3.4045e-006	-9.8254e-006	-1.2728e-005	-8.5581e-006
-2.2012e-006	-1.1533e-006	1.3608e-005	3.1366e-005	-1.8519e-006	-4.88e-006	-9.7943e-006	-1.4349e-005	-1.0744e-005
-1.2606e-005	-1.5329e-005	-5.6515e-006	-1.8519e-006	3.7427e-005	3.6156e-006	7.4936e-006	-6.7061e-006	-6.3912e-006
-8.0004e-006	-1.1728e-005	-3.4045e-006	-4.88e-006	3.6156e-006	1.7519e-005	5.564e-006	-8.3169e-007	2.146e-006
-1.3231e-005	-1.7465e-005	-9.8254e-006	-9.7943e-006	7.4936e-006	5.564e-006	3.4301e-005	4.0583e-006	-1.1005e-006
-9.3531e-006	-1.6475e-005	-1.2728e-005	-1.4349e-005	-6.7061e-006	-8.3169e-007	4.0583e-006	4.2307e-005	1.4078e-005
-2.8701e-006	-1.0977e-005	-8.5581e-006	-1.0744e-005	-6.3912e-006	2.146e-006	-1.1005e-006	1.4078e-005	2.4417e-005

8 lentelė. Išlygintųjų normalinių aukščių vektoriaus kovariacijų matricos įvertis **Kts** (kai tinklas išlyginamas pagal pavienių išmatuotų dydžių sistemingąsias klaidas)

Table 8. Estimation of the co-variations matrix of vector of adjusted normal heights **Kts** (when network is adjusted by assessing systematic errors of single measured values)

6.5437e-005	5.1871e-005	5.1871e-005	4.7722e-005	2.3512e-005	8.7944e-006	8.7944e-006	8.7944e-006
5.1871e-005	0.00019193	9.5823e-005	8.8159e-005	4.3434e-005	1.6246e-005	1.6246e-005	1.6246e-005
5.1871e-005	9.5823e-005	9.5823e-005	8.8159e-005	4.3434e-005	1.6246e-005	1.6246e-005	1.6246e-005
4.7722e-005	8.8159e-005	8.8159e-005	0.00010053	4.9527e-005	1.8525e-005	1.8525e-005	1.8525e-005
2.3512e-005	4.3434e-005	4.3434e-005	4.9527e-005	8.5081e-005	3.1824e-005	3.1824e-005	3.1824e-005
8.7944e-006	1.6246e-005	1.6246e-005	1.8525e-005	3.1824e-005	3.9908e-005	3.9908e-005	3.9908e-005
8.7944e-006	1.6246e-005	1.6246e-005	1.8525e-005	3.1824e-005	3.9908e-005	9.4299e-005	9.4299e-005
8.7944e-006	1.6246e-005	1.6246e-005	1.8525e-005	3.1824e-005	3.9908e-005	9.4299e-005	0.00020318

### 3. Išvados

1. Atlikta teorinė ir praktinė vertikaliųjų tinklų išlyginimo mažiausių kvadratų metodu analizė, taikant keturis išlyginimo modelius: išlyginant tinklą kaip nelaisvąjį ir kaip laisvąjį, pagal pradinių duomenų klaidų įtaką bei taikant papildomus parametrus sistemingsioms klaidoms eliminuoti.

2. Nustatyta, kad išlyginimo procedūrose taikant papildomus parametrus galima tikimybine prasme eliminuoti išmatuotų dydžių sistemingas klaidas. Tai rodo pastarojo modelio išlygintųjų normalinių aukščių vektorius kovariacijų įverčių absoliučiosios reikšmės, kurios yra maždaug 2–3 kartus didesnės nei kitų modelių. Sistemingsioms klaidoms nustatyti naudojama tam tikra dalis matavimų informacijos, todėl išlygintųjų normalinių aukščių tikslumas taikant šį modelį sumažėja.

### Literatūra

1. MORITZ, H. Geodetic Reference System 1980. *Bulletin Geodesique, the Geodesists Handbook*. International Union of Geodesy and Geophysics, 1988, p. 348–358.
2. ЯКОВЛЕВ, Н. В. *Высшая геодезия*. Москва: Недра, 1989. 446 с.
3. ADAM, J.; AUGATH, F.; BROUWER, A. A. Status and Development of the European Height Systems. *IAG Symposia*, 2000, Vol 121, Geodesy beyond year 2000. Springer: Berlin Heidelberg, p. 55–60.
4. PETROŠKEVIČIUS, P. Sunkio anomalijų ir pagreičio redukavimas. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, 2000, Vol XXVI, No 4, p. 167–170 (in Lithuanian).
5. ARDLAN, A.; GRAFAREND, E.; KAKKURI, J. National height datum, the Gauss-Listing geoid level value  $\dot{W}_0$  and its time variation  $\dot{W}_0$  (Baltic Sea Level Project: epochs 1990.8, 1993.8, 1997.4). *Journal of Geodesy*, Berlin: Springer Verlag, 2002, Vol 76, No 1, p. 1–28.
6. KOCH, K. R. *Einführung in die Bayes-Statistik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2000. 225 S.
7. SKEIVALAS, J. *Treatment of correlated geodetic measurements* (Koreliuotų geodezinių matavimų rezultatų matematinis apdorojimas). Vilnius: Technika, 1995. 272 p. (in Lithuanian).
8. SKEIVALAS, J. Geodezinio vertikaliojo tinklo išlyginimo modelis eliminuojant sisteminės klaidas. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, 2007, Vol XXXIII, No 2, p. 41–46.
9. SKEIVALAS, J.; STANKEVIČIUS, Ž. Pradinių duomenų klaidų įtakos GPS tinklų tikslumui analizė. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, 2003, Vol XXIX, No 2, p. 45–50.

10. SKEIVALAS, J.; URBŠYS, A. Pradinių duomenų klaidų įtakos GPS tinkluose analizė. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, 1998, Vol XXIV, No 3, p. 146–155.
11. SKEIVALAS, J.; STANKEVIČIUS, Ž. Elipsoidinių ir normalinių aukščių sąsaja, taikant kolokacijos metodą. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, 2004, Vol XXX, No 1, p. 9–13.

---

**Jonas SKEIVALAS**. Prof, Doctor Habil. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705, e-mail: [jonas.skeivalas@ap.vgtu.lt](mailto:jonas.skeivalas@ap.vgtu.lt).

Author of two monographs and more than 130 scientific papers. Participated in many intern conferences; research visits to the Finish Geodetic Institute.

Research interests: processing of measurements with respect to tolerances, adjustment of geodetic networks.

---

**Silvija GEČYTĖ**. Master of Science. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705, e-mail: [silvija.gecyte@ap.vgtu.lt](mailto:silvija.gecyte@ap.vgtu.lt).

A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (Master of Science 2002). Co-author of one research paper.

Research interests: digital maps, GPS satellite surveyings.

---

**Edita ALEKNIENĖ**. Master of Science. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705, e-mail: [edita.alekniene@ap.vgtu.lt](mailto:edita.alekniene@ap.vgtu.lt)

A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (Master of Science 1998). Co-author of one study guide and 3 research papers.

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

---

**Evelina ZIGMANTIENĖ**. Master of Science. Vilnius Gediminas Technical University. Institute of Geodesy, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 274 4705, Fax +370 5 274 4705, e-mail: [evelina@ap.vgtu.lt](mailto:evelina@ap.vgtu.lt)

A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (Master of Science 1997). Author of 9 publications.

Research interests: land management, cadastral surveying, geodetic networks.