

UDK 528.541

**PRECIZINIO NIVELIAVIMO SKAITMENINIAIS NIVELYRAIS *Wild NA3003*
METODIKOS TOBULINIMAS****Boleslovas Krikštaponis, Eglė Tumelienė, Donatas Rekus***Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva, el. paštas: gi@ap.vtu.lt**Įteikta 2005 06 15, priimta 2005 06 29*

Santrauka. Skaitmeniniais nivelyrais *Wild NA3003* precizinis niveliavimas atliekamas vienintele darbo stotyje numatyta seka *BFFB* (angl. *backsight, foresight, foresight, backsight*). Pagrindinai dėl šios priežasties gaunama nemaža teigiama dvipusio niveliavimo būdu nustatytų aukščių skirtumų nesutapimų sandauba, viršijanti leistinąją. Eksperimentiniai matavimai patvirtina, kad taikant simetrišką atskaičiavimų seką stotyse, aukščių skirtumų nesutapimas labai sumažėja. Nesant galimybės programiškai pakeisti skaitmeniniuose nivelyruose numatytos matavimų sekos, pasiūlyta taikyti simetrišką atskaičiavimų seką. Ją taikant matavimų rezultatus būtina fiksuoti niveliavimo žurnale ir lauke apskaičiuoti tikrąsias aukščių skirtumų sumas. Be netinkamos matavimų sekos, matavimų skaitmeniniais nivelyrais rezultatams įtakos turi specifinės atskaičiavimų kodinių matuoklių galuose, matuoklių apšviestumo, vertikaliųjų nivelyro ir matuoklių poslinkių paklaidos.

Raktažodžiai: skaitmeninis nivelyras, kodinė matuoklė, dvipusis precizinis niveliavimas, simetriškoji atskaičiavimų seka.

1. Įvadas

Didelė pažanga niveliavimo technologijoje pasiekta išradus naujus prietaisus – skaitmeninius nivelyrus [1–4]. Jie sukurti 1990 m. Šveicarijoje, o vėliau ir Vokietijoje bei Japonijoje. Skaitmeninių nivelyrų veikimo principas pagrįstas kodinių matuoklių vaizdo skaitmeniniu apdorojimu. Be akivaizdžių privalumų (automatinis atskaitų kodinėse matuoklėse atskaičiavimas, registravimas ir saugojimas prietaiso atminties bloke, matavimų niveliavimo stotyje kontrolė pagal pasirinktas tolerancijas, pirminis rezultatų apdorojimas ir t. t.), skaitmeniniai nivelyrai turi trūkumų, kurie pastebimi tik atliekant daug gamybinių matavimų. Todėl būtini konkrečių modelių skaitmeninių nivelyrų ir kodinių matuoklių tikslumo, techninių, geometrinių ir metrologinių parametrų stabilumo tyrimai. Preciziam niveliavimui taikant skaitmeninius nivelyrus, reikia įvertinti papildomai veikiančius specifinius paklaidų šaltinius, dėl kurių keičiasi niveliavimo metodika.

Sudarant Lietuvos geodezinį vertikalųjį tinklą aukščių skirtumai tarp punktų nustatomi skaitmeniniais nivelyrais *Wild NA3003* ir precizinėmis kodinėmis matuoklėmis *Wild GPCL3* su invarinėmis juostelėmis. Skaitmeniniai nivelyrai ir kodinės matuoklės tyrinėta užsienio šalyse [2, 4] ir Lietuvoje [5–8]. Atlikus detalius gamybinius ir laboratorinius tyrimus nustatyta, kad matavimų tikslumą lemiančios skaitmeninių nivelyrų ir matuoklių prietaiso paklaidos nėra didesnės nei analoginių optinių nivelyrų [5, 8]. Tačiau skaitmeninių nivelyrų konstruktorių įdiegta matavimų seka niveliavimo stotyse yra kitokia, nei daugelio šalių niveliavimo instrukcijose bei normose reglamentuojama

dirbant su analoginiais optiniais nivelyrais. Dėl šios priežasties padidėja sistemingųjų paklaidų įtaka, galop pasireiškianti nemaža teigiama aukščių skirtumų, gautų atliekant dvipusį (tiesioginį ir atgalinį) niveliavimą, nesutapimų sandauba ilgose niveliacijos linijose. Metodika šio pobūdžio matavimų paklaidoms sumažinti pateikta darbe [9].

Šio darbo tikslas – remiantis skaitmeniniais nivelyrais atliktų gamybinių matavimų rezultatais, ištirti sistemingųjų paklaidų įtaką ir parengti metodiką, kuri leistų sumažinti dvipusių ėjimų aukščių skirtumų nesutapimų kaupimąsi.

2. Aukščių skirtumų matavimų metodikos tobulinimas

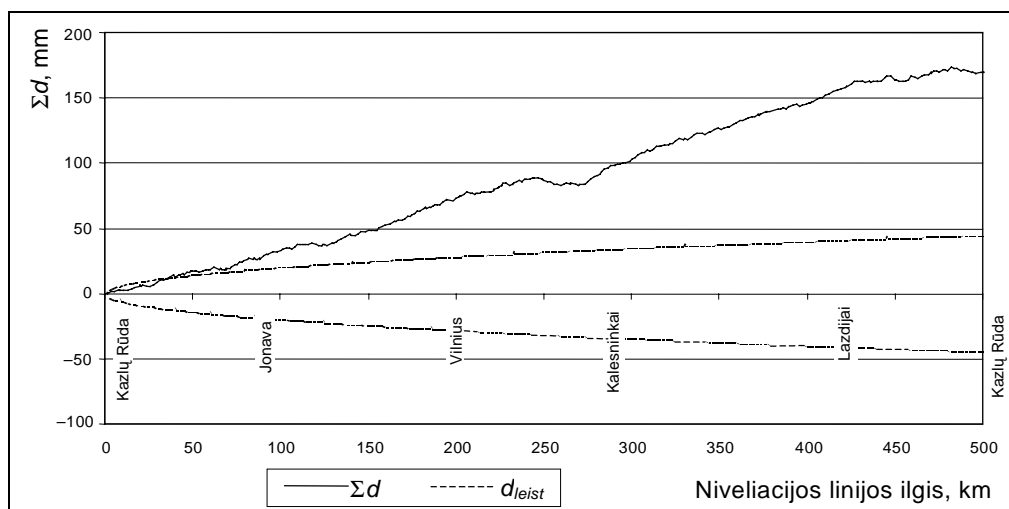
Lietuvos geodezinio vertikaliojo tinklo punktų aukščių skirtumai nustatomi atliekant precizinį niveliavimą dviem skaitmeninių nivelyrų *Wild NA3003* bei precizinių kodinių invarinių matuoklių *GPCL3* komplektais pagal reglamento [10] reikalavimus. Skaitmeninio nivelyro *NA3003* veikimo principas pagrįstas 2° kampu matomo matuoklės kodinio vaizdo skaitmeniniu apdorojimu. Kodinių matuoklių rodmenys automatiškai įrašomi į duomenų kaupiklį (*REC* modulį); jie taip pat parodomi displėjuje. Tuo sutrumpinama matavimų lauke trukmė, padidėja niveliavimo tikslumas, nes nereikia niveliuotojui atskaičiuoti matuoklėse, panaikinamos atskaičiavimų iš matuoklių ir rezultatų užrašymo apsirikimo galimybės. Darbo efektyvumas labai priklauso nuo niveliavimo stotyje trukmės, kuri yra susijusi su optimalaus atskaičiavimų kodinėse matuoklėse skaičiaus parinkimu. Dirbant skaitmeniniais nivelyrais *NA3003*, galima taikyti norimą (1–99) atskaičiavimų

matuoklėje skaičių. Eksperimentiniais tyrimais [7] įrodyta, kad kodinių atskaitų tikslumas nėra tiesiogiai susijęs su atskaičiavimų skaičiumi, ir nėra tikslinga taikyti didesnį nei „5“ atskaičiavimų skaičių. Skaitmeninio nivelyro programinė įranga pagal parinktas tikslumo tolerancijas kontroliuoja matavimų procesą. Dviejų aukščių skirtumų nesutapimas stotyje S palyginamas su nivelyre įvesta tolerancija $Stat Tol$ (pvz., 0,2 mm) (čia ir toliau pateikiami nivelyro programinėje įrangoje vartojami žymenys), ir kai šios sąlygos laikomasi, displėjuje matoma aukščių skirtumų vidurkio vertė. Atstumų iki matuoklių skirtumų sanaupta kontroliuojama tolerancija $Dist Tol$ (pvz., 1,0 m). Baigus niveliavimą stotyje galima sužinoti aukščių skirtumą, niveliuoto taško altitudę $GrHt$ (aukščių skirtumų sumą, jei laikoma, kad pradinio reperio altitudė $GrHt = 0$), atstumų iki matuoklių skirtumų sanaupta, ėjimo ilgį, aukščių skirtumų nesutapimų stotyse sanaupta. Skaitmeninis nivelyras pataiso kodinių matuoklių atskaitas kolimacijos paklaidos (kampo i) pataisomis. Kolimacijos paklaidos vertė būna nustatyta ir įvesta į prietaiso atmintį – tai absoliučioji kolimacijos paklaida $absColl$. Šių nivelyrų kolimacijos paklaida gali būti nustatoma naudojantis priežiūros programa $CHECK \& ADJUST$ ir atliekant dvigubą 45–50 m ilgio vietovės atkarpos niveliavimą. Tikrinant nustatoma kintančioji kolimacijos paklaidos dalis $CollDif$. Atlikti skaitmeninių nivelyrų $NA3003 CollDif$ duomenų kaitos per dieną tyrimai įrodo, kad $CollDif$ labiausiai priklauso nuo oro temperatūros [6]. Naujoji absoliučioji kolimacijos paklaida yra lygi senosios absoliučiosios ir naujai nustatytos kintančiosios paklaidų sumai. Absoliučioji kolimacijos paklaida $absColl$, atsižvelgiant į $CollDif$ reikšmę, gali būti įvesta nauja arba palikta senoji. Niveliuojant Lietuvos valstybinio geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo punktus, svarbiausioji skaitmeninių nivelyrų $NA3003$ sąlyga paprastai tikrinama esant vidutinėms meteorologinėms sąlygoms. Kuo nivelyro tikrinimo metu meteorologinės sąlygos panašesnės į visos ekspedicijos vidutines sąlygas, tuo $CollDif$ esti mažesnė. Skaitmeninis nivelyras pataiso

atskaitas tik dėl $absColl$. Esant didesniems oro temperatūros šuoliams kolimacijos paklaidą tikslinga nustatyti iš naujo. Matavimų rezultatai programiškai taisomi pataisa dėl Žemės kreivumo.

Svarbus skaitmeninių nivelyrų $NA3003$ trūkumas yra vienintelė operacinėje sistemoje numatyta precizinio niveliavimo veiksmų seka stotyje – atskaičiavimai atgalinėje, priekinėje, priekinėje ir atgalinėje matuoklėse $BFFB$. 1998–1999 m. Lietuvos geodezinio vertikaliojo pirmosios klasės tinklo matavimų metu įsitikinta, kad dvipusio niveliavimo aukščių skirtumų nesutapimai d gaunami daugiausia teigiami, turi tendenciją kauptis vidutiniškai po 0,3–0,4 mm/km. Todėl aukščių skirtumų nesutapimų d sanaupta ilgose niveliacijos linijose iki 3 kartų viršija leistiną sanaupta [10] – $2,0 \text{ mm} \sqrt{L}$, čia L – linijos ilgis, km (1 pav.). Tai gali būti dėl kelių priežasčių: kampo $CollDif$ kaitos, kompensatoriaus liekamosios paklaidos, matuoklių ir nivelyro vertikalųjų poslinkių ir t. t. Šių paklaidų įtaką sumažintų simetriškoji matavimų seka dviejose niveliavimo stotyse – $BFFB$, $FBBF$.

Atliktas niveliavimo skaitmeniniais nivelyrais $NA3003$ metodikos įtakos rezultatams eksperimentas. Buvo parinkta 0,94 km ilgio niveliavimo trasa, jungianti keturis gruntiniais ženklais paženklintus punktus. Nužymėta 18 niveliavimo stočių, išlaikant vizavimo spindulių vienodumą 0,2 m tikslumu. Didžiausias atstumas iki matuoklių buvo 32 m, o vidutinis – 26 m. Siekiant eliminuoti galimus vertikaluosius matuoklių poslinkius, ryšio taškuose metaliniai kuolai buvo sukalti iš vakaro. Kitą dieną du skaitmeniniai nivelyrai $NA3003$ bei kodinių matuoklių komplektas, kad įgautų aplinkos temperatūrą, į lauką išnešti 40 min. prieš niveliavimo pradžią. Trasa niveliuota atliekant dvipusį niveliavimą, t. y. tiesioginį ir atgalinį ėjimus. Kiekvienoje stotyje niveliuota vienu metu abiem nivelyrais, atskaičiuojant atskaitas dviejose matuoklėse. Nivelyru Nr. 92432 dvipusis niveliavimas visose stotyse atliktas pagal numatytąją niveliavimo seką $BFFB$ (atskaičiavimai atgalinėje, priekinėje, priekinėje ir atgalinėje matuoklėse).



1 pav. Aukščių skirtumų nesutapimų sanaupta penktajame poligone
Fig 1. Accumulation of heights differences incoincidences in the fifth polygon

Nivelyru Nr. 92426 niveliuota pagal simetriškąją schemą, tiesioginio niveliavimo nelyginėse stotyse taikant atskaičiavimų seką *BFFB*, o lyginėse stotyse – seką *FBBF* (atskaičiavimai priekinėje, atgalinėje, atgalinėje ir priekinėje matuoklėse). Atliekant atgalinį ėjimą matuoklės sukeistos vietomis ir dirbant nivelyru Nr. 92426 nelyginėse stotyse taikyta atskaičiavimų seka *FBBF*, o lyginėse stotyse – seka *BFFB*, t. y. visose dvipusio niveliavimo stotyse niveliuoti pradėta nuo pirmosios matuoklės. Kadangi skaitmeninio nivelyro procesorius visais atvejais skaičiuoja pagal *BFFB* matavimų seką, nivelyru Nr. 92426 tiesioginio ėjimo lyginėse stotyse ir atgalinio ėjimo nelyginėse stotyse gauti aukščių skirtumai yra priešingų ženklų. Apskaičiuoti atskirai kiekvienu nivelyru išmatuotų aukščių skirtumų nesutapimai d , sankaupos Σd ir leistinieji nesutapimai d_{leist} nuo ėjimo pradžios. Taikytos formulės:

$$d = h_{ij} + h_{ji} , \quad (1)$$

$$d_{leist} = 0,5 \text{ mm} \sqrt{n} , \quad (2)$$

čia n – stočių skaičius.

Matavimų ir skaičiavimų rezultatai pateikti 2 paveiksle.

Iš 2 pav. matyti sisteminė d_1 sankaupa nivelyro *NA3003* Nr. 92432, kuriuo visą laiką matuota pagal *BFFB* metodiką. Nivelyru Nr. 92426, matavusiu pagal *BFFB*, *FBBF* metodiką, gauta d_2 sankaupa yra artima nuliui. Eksperimento rezultatai patvirtina, kad skaitmeniniu nivelyru *Wild NA3003* niveliuojant pagal simetriškąją atskaičiavimų stotyse seką (*BFFB*, *FBBF*,...) gaunama mažesnė dvipusio niveliacijos ėjimo aukščių skirtumų nesutapimų sankaupa.

Išvada – niveliuojant skaitmeniniais nivelyrais *NA3003* ir norint gauti patikimus matavimų rezultatus, būtina lyginėse tiesioginio ėjimo stotyse arba visose niveliavimo stotyse matavimus pradėti nuo tos pačios (pirmosios) matuoklės. Taikant tokią metodiką ir norint lauke apskaičiuoti niveliacijos ėjimo nesąryšį, reikia

pildyti niveliacijos žurnalą, užrašyti aukščių skirtumų reikšmes, o baigus niveliacijos ėjimą, lauke apskaičiuoti lyginių stočių aukščių skirtumų sumas, tikrąsias tiesioginio ir atgalinio ėjimų aukščių skirtumų sumas bei aukščių skirtumų nesutapimą d . Be to, nelieka atstumų iki matuoklių skirtumų kontrolės. Atstumų iki matuoklių skirtumų sankaupą galima sužinoti tik perrašius niveliavimo duomenis į kompiuterį ir atlikus papildomus skaičiavimus. Tikroji niveliacijos ėjimo aukščių skirtumų suma Σh gaunama iš formulės

$$\Sigma h = \Sigma h_n - \Sigma h_l , \quad (3)$$

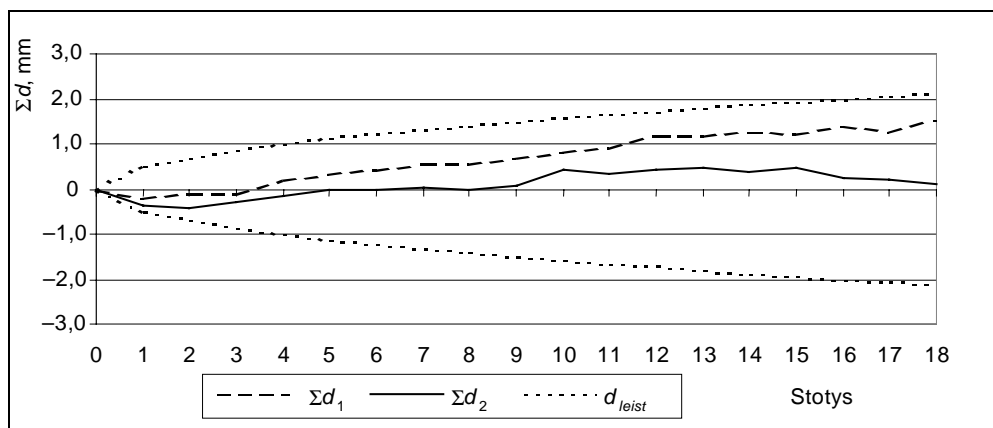
čia Σh_n ir Σh_l – atitinkamai nelyginių ir lyginių stočių aukščių skirtumų sumos. Skaitmeniniu nivelyru *NA3003* nustatytoji aukščių skirtumų suma *GrHt* gaunama iš išraiškos

$$GrHt = \Sigma h_n + \Sigma h_l . \quad (4)$$

Iš (3) ir (4) formulių skirtumo randama tikroji aukščių skirtumų suma:

$$\Sigma h = GrHt - 2\Sigma h_l . \quad (5)$$

Dabar vertikaliojo tinklo punktų precizinis skaitmeninis niveliavimas atliekamas taip. Antrojeje ir kitose lyginėse tiesioginio ėjimo bei nelyginėse atgalinio ėjimo stotyse matavimai pradedami nuo pirmosios matuoklės (t. y. nors displėjuje rodoma *BK1*, matuojama *FRI* ir t. t.). Dėl šios priežasties gaunamas priešingo ženklo aukščių skirtumas *HDif*, o atstumų iki matuoklių nevienodumo sankaupa d yra neteisinga. Lyginių stočių *HDif* rašomas į niveliavimo žurnalo (3 pav.) patamsintąjį langelį (stočių *HDif* nuskaitomas ypač atidžiai, nes jų reikšmės naudojamos lauke skaičiuojant niveliacijos ėjimų nesąryšius). Baigus matavimus paskutinėje tiesioginio ėjimo stotyje, paspaudus atitinkamus meniu mygtukus nuskaitoma galinio reperio altitudė *GrHt* (išmatuotų aukščių skirtumų vidurkių suma) ir ėjimo ilgis ΣD . Jie įrašomi į niveliavimo žurnalą. Pradedant atgalinį ėjimą, ant reperio statoma antroji matuoklė (t. y.



2 pav. Eksperimentinių matavimų aukščių skirtumų nesutapimų sankaupa

Fig 2. Accumulation of heights differences coincidences of the experimental measurements

matuoklės keičiamos vietomis). Žurnale atgalinio ėjimo aukščių skirtumų skiltis pildoma nuo apačios. Pravartu palyginti gaunamus tiesioginio ir atgalinio ėjimo aukščių skirtumus (jų ženklai turi būti skirtingi, priešingai – yra sukeista stebėjimų seka). Iš (1) formulės galima apskaičiuoti aukščių skirtumų nesutapimą ir iš (6) formulės – nesutapimų kaupimąsi kiekvienoje atgalinio ėjimo stotyje:

$$\sum d = -d_1 + d_2 - d_3 + d_4 \dots \quad (6)$$

Jei kurio niveliacijos kuolo aukštis pakito, skirsis dviejų gretimų stočių aukščių skirtumai. Jei viso ėjimo kuolai išliko stabilūs, gaunamos panašios, bet skirtingų ženklų GrH_t ir GrH_a reikšmės. Turint tiesioginio ir atgalinio niveliavimo rezultatus, randamos lyginių (patamsintuose langeliuose įrašytų) stočių aukščių

skirtumų sumos $\sum h_t$ ir skaičiuojamos tikrosios aukščių skirtumų sumos $\sum h$. Jos turėtų būti beveik vienodos, bet priešingų ženklų. Skaičiuojamas niveliacijos ėjimo aukščių skirtumų nesutapimas (nesąryšis) $d = \sum h_t + \sum h_a$. Niveliacijos ėjimo matavimų rezultatai yra kokybiški, jei $d \leq 2 \text{ mm} \sqrt{L}$, kai $L \geq 1 \text{ km}$, arba $d \leq 0,5 \text{ mm} \sqrt{n}$, kai $L < 1 \text{ km}$ (čia n – stočių skaičius), ir galima pradėti kito ėjimo niveliavimą. Niveliacijos žurnale taip pat įrašoma ėjimo pradinio ir galinio punktų įtvirtinimo pobūdis ir numeriai pagrindine linijos niveliavimo kryptimi, tiesioginio ir atgalinio ėjimų niveliavimo data, niveliavimo pradžios ir pabaigos antrosios juostos vasaros laikas V_2 , matuoklių numeriai. Žurnale apibūdinamas debesuotumas, vėjo stiprumas ir trasos gruntas. Niveliavimo žurnalo pavyzdys duotas 3 pav.

Ėjimas nuo *sien.* rp. 15342 iki *grunt.* rp. 10285
Tiesiog. ėj. 2004 05 14, pradėta 10:15, baigta 11:25, ant rp. mat. 26600,
atgal. ėj. 2004 05 14, pradėta 17:50, baigta 18:45, ant rp. mat. 26605
Debesuotumas *vidutinis*. Vėjas *silpnas*. Gruntas *žvyras*

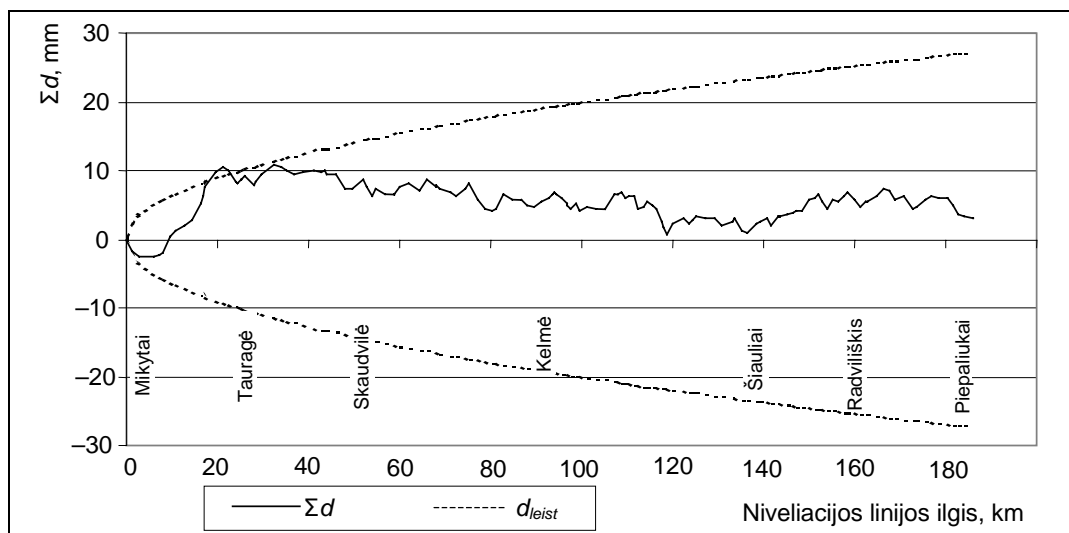
Stoties Nr.	Taško Nr.	Aukščių skirtumas, m				$\frac{d}{\sum d}$ 10^{-2} mm
		tiesioginis ėjimas		atgalinis ėjimas		
1	Rp. 15342	0	14591	-0	14628	-37/-89
2	1	-0	84498	0	84518	-20/-52
3	2	0	29686	-0	29723	-37/-32
4	3	-0	27322	0	27337	-15/5
5	4	-0	11179	0	11152	-27/20
6	5	0	22996	-0	23036	40/47
7	6	0	02345	-0	02328	17/7
8	7	0	00133	-0	00167	34/-10
9	8	0	02800	-0	02786	14/-44
10	9	0	17722	-0	17751	29/-58
11	10	0	05786	-0	05819	-33/-87
12	11	0	03091	-0	03055	-36/-54
13	12	-0	05547	0	05560	13/-18
14	13	0	14182	-0	14189	7/-31
15	14	-0	07482	0	07447	-35/-38
16	15	0	11041	-0	11044	3/-3
17	16	-0	09811	0	09802	-9/-6
18	17	1	81167	-1	81170	3
19	Rp. 10285					
20	19					
21	20					
	21					

$$D = 1077 \text{ m} \quad GrH_t = 1,59701 \text{ m} \quad GrH_a = -1,59880 \text{ m}$$

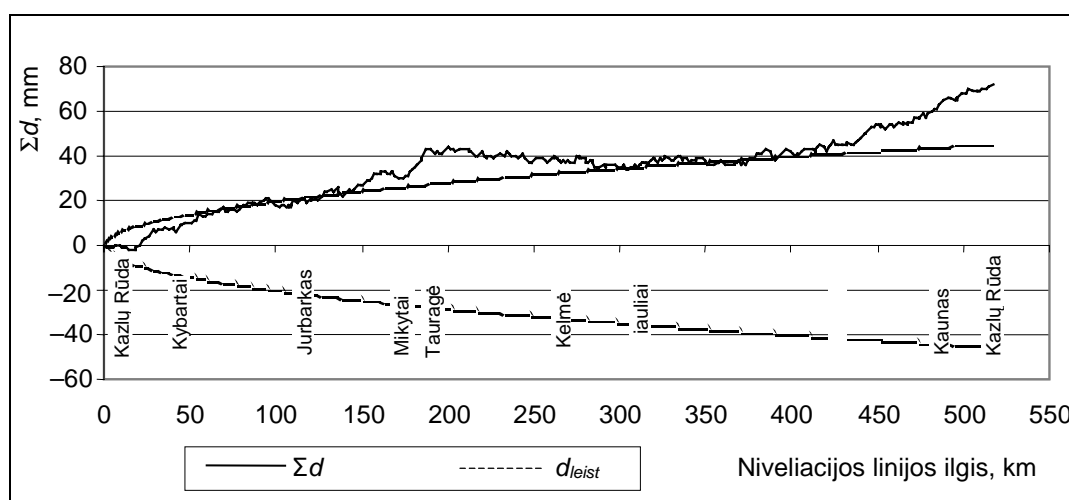
$$-2 \sum h_t = -2,77024 \text{ m} \quad -2 \sum h_a = 2,77114 \text{ m} \quad d_{leist} = \pm 2,08 \text{ mm}$$

$$\sum h_t = -1,17323 \text{ m} \quad \sum h_a = 1,17234 \text{ m} \quad d = -0,89 \text{ mm}$$

3 pav. Precizinio niveliavimo žurnalo pavyzdys
Fig 3. Example of journal of precise levelling



4 pav. 2002 m. gautas aukščių skirtumų nesutapimų sanakaupa
Fig 4. Accumulation of heights differences incoincidences of the 2002 year



5 pav. Aukščių skirtumų nesutapimų sanakaupa antrajame poligone
Fig 5. Accumulation of heights differences incoincidences of the second polygon

2002 m. atlikto vertikaliojo pirmosios klasės tinklo linijos Mikytai – Šiauliai bei linijos Šiauliai – Jonava atkarpos Šiauliai – Piepaliukai precizinio niveliavimo rezultatai nuteikė optimistiškai. 4 pav. parodyta dvipusių ėjimų aukščių skirtumų nesutapimų sanakaupa iš lauko matavimų duomenų. Niveliavimo rezultatai patvirtina, kad, taikant pasiūlytą niveliavimo metodiką, dvipusių niveliacijos ėjimų aukščių skirtumų nesutapimų sanakaupa sumažėja, o niveliacijos linijų sistemingųjų paklaidų reikšmės gaunamos maždaug perpus mažesnės.

Tačiau pastarųjų metų Lietuvos vertikaliojo tinklo punktų precizinio niveliavimo rezultatai rodo, kad taikoma metodika negarantuoja visiško sistemingųjų paklaidų eliminavimo (5 pav.). Pastebėta, kad sudėtingo reljefo vietovėje ypač didelės įtakos turi specifinės skaitmeninio nivelyro paklaidos dėl kodinių matuoklių nevienodo apšviestumo, judančių šešėlių ant matuoklių ir ypač atskaičiavimų kodinių matuoklių galuose.

Straipsnyje [7] įrodyta, kad skaitmeninis nivelyras *NA3003* atskaičiuoja atskaitą (matuoja) esant 33 % uždengtai apatinei arba atitinkamai viršutinei stebimo kodinės matuoklės vaizdo daliai. Bet darbe [11] teigiama, kad atskaičiuojant matuoklių galuose atskaitos paklaida gali siekti 0,5 mm. Be to, turi įtakos pažeisti matuoklių kodiniai elementai.

3. Išvados

1. Skaitmeniniais nivelyrais *Wild NA3003* niveliuojant pagal užprogramuotą matavimų seką stotyje *BFFB*, dvipusio niveliavimo aukščių skirtumų nesutapimai d gaunami daugiausia teigiami, kaupiasi vidutiniškai po 0,3–0,4 mm/km ir niveliacijos linijose iki 3 kartų viršija leistiną aukščių skirtumų nesutapimų sanakaupą.

2. Taikant pasiūlytą darbo stotyje seką labai sumažėja aukščių skirtumų nesutapimų sanakaupa.

3. Niveliuojant skaitmeniniais nivelyrais pastebėta, kad dvigubųjų matavimų nesutapimų vertė priklauso nuo aukščių skirtumo dydžio. Matavimų tikslumui įtakos turi specifinės skaitmeninių nivelyrų paklaidos.

Literatūra

1. Takalo, M. On the digital levelling instruments. *Surveying science in Finland*, Vol 14, No 1–2, The Finnish society of surveying sciences, Helsinki, 1996, p. 69–85.
2. Becker, J. M.; Andersson, B.; Eriksson, P. O.; Nordquist, A. A new generation of levelling instruments: NA2000 and NA3000. FIG XX. International congress, Melbourne, Australia, 1994, TS509.1/11.
3. Ingensand, H. The evolution of digital levelling techniques – limitations and new solutions. In: Geodesy surveying in the future, the importance of heights, Gävle, Sweden, 15–17th of March, 1999, p. 59–68.
4. Menzel, M. 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: Geodesy surveying in the future, the importance of heights, Gävle, Sweden, 15–17th of March, 1999, p. 85–93.
5. Krikštaponis, B.; Tulevičius, V. Investigation of precise levelling invar rods with bar code scale. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXVII, No 1. Vilnius: Technika, 2001, p. 13–19 (in Lithuanian).
6. Krikštaponis, B. Investigation of collimation error of digital levels NA3003. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXVII, No 1. Vilnius: Technika, 2001, p. 36–39 (in Lithuanian).
7. Krikštaponis, B. Research on digital level Wild NA3003 reading system peculiarities. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXVIII, No 2. Vilnius: Technika, 2002, p. 39–44 (in Lithuanian).
8. Krikštaponis, B. Investigation of observation accuracy of analog and digital levels. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXVI, No 2. Vilnius: Technika, 2000, p. 69–72 (in Lithuanian).
9. Zakarevičius, A.; Baškienė, R. Measurements by digital levels: analysis of outliers and possibilities of their reducing. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir*

kartografija), Vol XXVIII, No 3. Vilnius: Technika, 2002, p. 83–87 (in Lithuanian).

10. Lithuanian National Geodetic Vertical Network. Technical regulation of requirements. GKTR 2.12.01:2001. National Service of Geodesy and Cartography under the Government of Republic of Lithuania, Vilnius, 2001. 23 p. (in Lithuanian).
11. Woschitz, H.; Brunner, F. K. System calibration of digital levels – experimental results of systematic effects. INGENIO 2002. In: 2nd Conference of Engineering Surveying, Bratislava, November 2002, p. 165–172.

Boleslovas KRIKŠTAPONIS. Associate Professor, Doctor. Vilnius Gediminas Technical University, Dept of Geodesy and Cadastre. Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania (Ph +370 5 2744705, Fax +370 5 2744705), e-mail: gi@ap.vtu.lt
A graduate of Vilnius Civil Engineering institute (engineer of geodesy, 1974). Doctor (Vilnius Gediminas Technical University, 2002). Training at Moscow Institute of Geodesy, Aerial Surveying and Cartography (1976). Author of more than 10 scientific papers.
Research interests: geodetic networks.

Eglė TUMELIENĖ. Assistant. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre. Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania (Ph +370 5 2744705, Fax +370 5 2744705), e-mail: petru@ap.vtu.lt
A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) (MSc, 1995). Master of science studies at Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden in 1999. Author of 3 publications.
Research interests: cadastral surveying, establishing and improving the geodetic networks.

Donatas REKUS. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre. Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania (Ph +370 5 2744705, Fax +370 5 2744705).
A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) (MSc, 2005).
Research interests: geodetic networks.