

## TOLIMAČIO GEOMETRINIŲ PARAMETRŲ TIKSLUMO ĮTAKOS MATUOJANT STATYBOS OBJEKTUS TYRIMAS

**Renata Bagdžiūnaitė**

*Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,  
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva,  
el. paštas: renata@adm.vtu.lt*

*Įteikta 2004 01 09; priimta 2004 06 14*

**Santrauka.** Darbe modeliavimo būdu tiriama tolinačio ašių nelygiagretumo įtaka atliekant matavimus statybos aikštelėse, kai dirbama be prizminio reflektoriaus, esant skirtingiems parametrms tarp pagrindinių tolinačio ašių bei įvairioms matavimų sąlygoms. Ašių nelygiagretumo įtaka tiriama pagal jau taikomą ir pagal mūsų pasiūlytą metodikas. Skaičiavimai atlikti panaudojus ankstesnių tyrimų duomenis.

**Raktažodžiai:** atstumo pataisa, vizavimo ašies nuokrypis, horizontalusis necentriškumas, vertikalusis necentriškumas.

### 1. Įvadas

Nūdienos statybose svarbu, kad matavimai būtų labai tikslūs. Jie atliekami specifinėmis, dažnai matuoti labai sudėtingomis sąlygomis. Atliekant matavimus statybose, dažnai esti dideli vizavimo spindulio posvyrio kampai, vizavimo spinduliai ne visada statmeni plokštumai, į kurią vizuojama. Dėl geodezinių prietaisų konstrukcinių ypatumų bei matavimų sąlygų atsiranda tam tikrų sistemingųjų matavimo paklaidų.

Atliekant geodezinius matavimus statybose, kontrolinėms montavimo darbų nuotraukoms sudaryti, statybos konstrukcijų ir statinių deformacijoms matuoti dažniausiai taikomi elektroniniai tolinačiai ir tacheometrai. Dirbti tolinačiais, kuriais matuojama su reflektoriais, statybose nepatogu, nes ne visada šias prizmes galima pastatyti matuojamame taške. Todėl patogiausia naudoti prietaisus, kuriems nereikalingi reflektoriai su prizmėmis. Tačiau dėl to gali atsirasti papildomų sistemingųjų matavimo paklaidų. Ypač reikšmingos matavimo paklaidos, priklausančios nuo prietaisų konstrukcijų, atliekant geodezinius darbus statybose esti dirbant su horizontaliojo ir vertikaliojo necentriškumo prietaisais [1]. Šių paklaidų įtaka ir jų sumažinimo būdai nagrinėti [1–6] darbuose.

Naujausieji prietaisai konstruojami taip, kad nebūtų horizontaliojo bei vertikaliojo necentriškumo. Tačiau ir naujausiuose tolinačiuose tarp pagrindinių žiūrono ašių (optinės vizavimo ašies, tikrosios vizavimo ašies, atstumų matavimo linijos) yra tam tikro dydžio kampai (nelygiagretumas). Tai patvirtina tolinačių patikros rezultatai. Todėl labai aktualu yra įvertinti ašių nelygiagretumo įtaką matavimų rezultatams.

Teoriniai tolinačio ašių nelygiagretumo įtakos matavimų rezultatams klausimai nagrinėti [1, 4–6] darbuose.

Šio darbo tikslas – remiantis [6] darbe pateikta tolinačio ašių nelygiagretumo įtakos išmatuotiems atstumams įvertinimo teorija modeliavimo būdu iširti dėl

tolinačio ašių nelygiagretumo atsirandančias matavimo statybose duomenų paklaidas bei išnagrinėti, ar gautieji rezultatai atitinka geodezinių matavimų statybose reikalavimus, reglamentuojamus statybos taisyklėse [7].

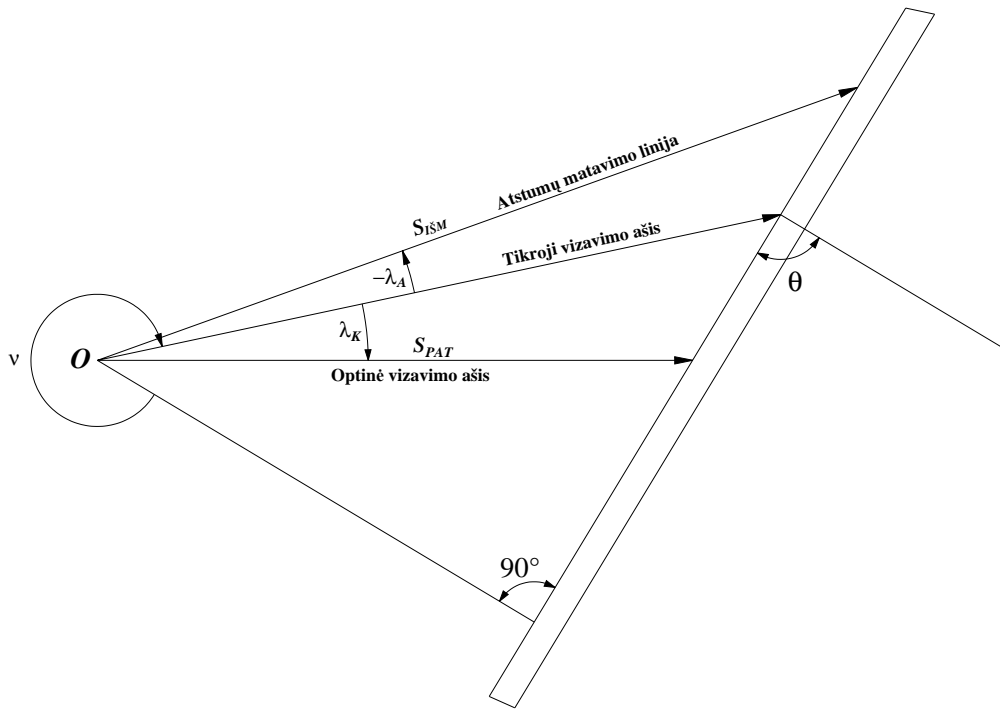
### 2. Tolinačio ašių nelygiagretumo įtakos išmatuotiems atstumams tyrimas

Paklaidos, kurioms įtakos turi tolinačio ašių (optinė vizavimo ašis, tikroji vizavimo ašis, atstumų matavimo linija) nelygiagretumas, atliekant matavimus statybose nagrinėtos modeliuojant. Paklaidos apskaičiuotos pagal [6] išdėstytą metodiką.

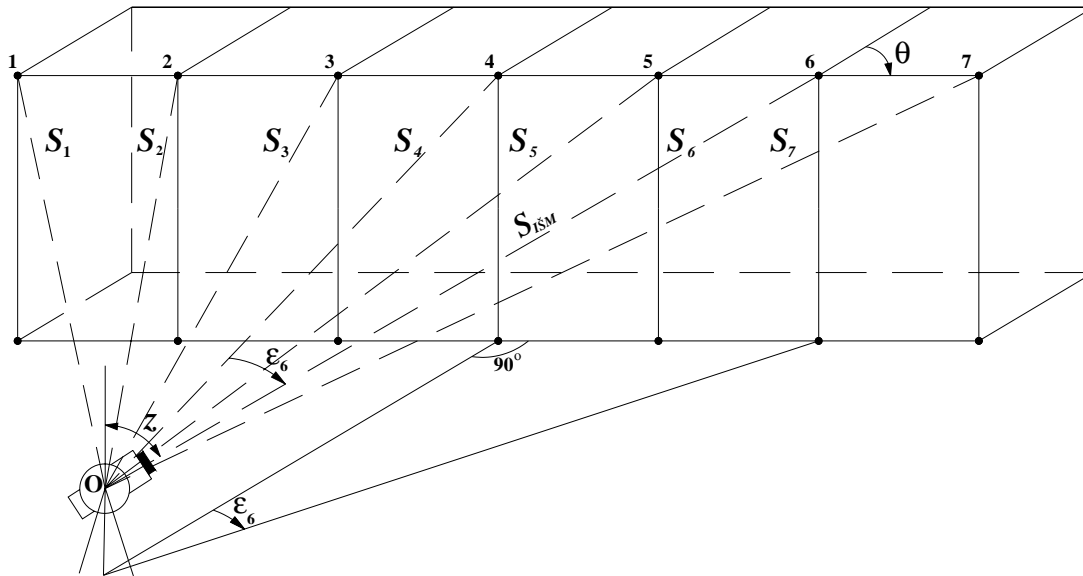
Pagal [1] išdėstytą metodiką galima apskaičiuoti atstumo pataisą taške dėl prietaiso ašių nelygiagretumo horizontaliosios komponentės (kampai tarp pagrindinių tolinačio ašių yra horizontaliojoje plokštumoje – 1 pav.). Bet tai nėra tikslu, nes tarp ašių kampas gali būti ir vertikaliaja kryptimi – gausime dėl prietaiso ašių nelygiagretumo atsirandančią vertikaliają atstumo paklaidos komponentę [6].

1 pav.  $\lambda_A$  – kampas tarp atstumų matavimo linijos ir tikrosios vizavimo ašies;  $\lambda_K$  – kampas tarp optinės ir tikrosios vizavimo ašies;  $\theta$  – kampas tarp  $x$  koordinatės ašies ir vizuojamosios plokštumos;  $v$  – kampas tarp per prietaiso stovėjimo tašką išvestos vertikaliosios plokštumos, statmenos sienai, ir tikrosios vizavimo ašies;  $O$  – prietaiso stovėjimo taškas.

Pastato modelyje numatyti 7 matavimo ženklai. Modeliuojant laikyta, kad prietaisais nuo 4-ojo matavimo ženklo pastatytas 17,658 m atstumu taip, kad kampas, kurį sudaro vizavimo spindulio plokštuma į 4-ąjį matavimo ženklą, su pastato siena būtų  $90^\circ$  (2 pav.). Modeliuota su 7 viršutiniais matavimo ženklais. Skirtingais modeliavimo atvejais laikyta, kad vizavimo ašies kampinė nuokrypa horizontaliojoje ir vertikaliojoje plokštumose yra  $10''$ ,  $20''$ ,  $30''$ . Modeliuoti atstumai iki visų 7 viršutinių matavimo ženklų ir gautas išmatuotasis atstumas  $S_{ISM}$ .



1 pav. Atstumo matavimo geometrinė schema (horizontalioji projekcija)  
 Fig 1. Geometric scheme of distance measurement (horizontal plane)



2 pav. Matavimų schema  
 Fig 2. Scheme of measurements

Skaičiuojant pagal pasiūlytą metodiką [6], įvertinama ir vizavimo ašies nuokrypio vertikalioji komponentė (bendras kampas tarp pagrindinių žiūrono ašių vertikaliojoje plokštumoje). Taikant [1] metodą įvertinama tik horizontalioji komponentė.

Skaičiavimai atlikti pagal [1] darbe pateiktą (1 lentelė) ir pagal mūsų pasiūlytą [6] (2 lentelė) metodikas. 1-osios lentelės duomenys gauti pagal formulę [1]:

$$S_{PAT} = S_{ISM} \cdot \left( \cos \left( \frac{(+\lambda_K) - (-\lambda_A)}{\sin z} \right) - \sin \left( \frac{(+\lambda_K) - (-\lambda_A)}{\sin z} \right) \times \operatorname{ctg} \left( v - \theta + \frac{\lambda_K}{\sin z} \right) \right), \quad (1)$$

čia  $S_{ISM}$  – išmatuotas atstumas;  $\lambda_A$  – kampas tarp atstumų matavimo linijos ir tikrosios vizavimo ašies horizontaliojoje plokštumoje;  $\lambda_K$  – kampas tarp optinės vizavimo ašies ir tikrosios vizavimo ašies horizontaliojoje plokštumoje;  $\theta$  – kampas tarp per matuojamąjį tašką išvesto statmens į pastato sieną ir vizuojamosios plokštumos;  $v$  – kampas tarp per prietaiso stovėjimo tašką išvestos vertikaliosios plokštumos, statmenos pastato sienai, ir per atstumo matavimo liniją išvestos vertikaliosios plokštumos, skaičiuojamas laikrodžio rodyklės kryptimi. Kampų  $\lambda_A$  ir  $\lambda_K$  reikšmės taikomos 10", 20", 30". Matavimų schema pateikta 2 pav.

Zenitinio kampo reikšmė kito nuo 65° iki 70°. Iš 1 pav. matyti, kad  $\lambda_A$  yra mažas kampas, taigi skaičiuojant galima laikyti, kad  $v \approx \epsilon$ .

Iš pateiktų rezultatų matyti, kad didėjant kampams  $\lambda_A$  ir  $\lambda_K$  tarp ašių didėja dėl ašių nelygiagretumo horizontaliaja kryptimi atsirandančios atstumo paklaidos reikšmė. Atstumo paklaidos reikšmė dar priklauso ir nuo kampo  $\epsilon$ . Didėjant šio kampo reikšmei labai skiriasi išmatuotos linijos reikšmė nuo apskaičiuotos pataisytos. Šiuo atveju mažai kintantis zenitinis kampas didelės įtakos nedaro.

Išmatuotieji ir pataisytieji atstumai skiriasi nuo  $\pm 1$  iki  $\pm 8$  mm. Atstumo paklaidos reikšmė didžiausia esant kampams  $\lambda_A$  ir  $\lambda_K$  tarp ašių horizontalia kryptimi 30".

Skaičiuojant pagal [6] darbe pasiūlytą metodiką, patikslintas atstumas gautas pagal formulę:

$$S_{PAT(V,H)} = S_{ISM} + \frac{\lambda_V}{\rho} \cdot S_{ISM} \times \times \operatorname{tg}[(\gamma + z) - 90^\circ] + + \frac{\lambda_H}{\rho} \cdot S_{ISM} \cdot \operatorname{tg}[(\theta + \epsilon) - 90^\circ], \quad (2)$$

**1 lentelė.** Ašių nelygiagretumo įtakos skaičiavimas (pagal [1] metodiką)

**Table 1.** Calculation of the influence of axis unparallelism (according to the methods [1])

Linija	$\lambda_V/\lambda_A$	$z$	$\epsilon$	$\theta$	$S_{ISM}$ (m)	$S_{PAT}$ (m)
$S_1$	10"	70°	315°	90°	25,252	25,249
$S_2$		67°	326°		21,364	21,363
$S_3$		66°	341°		18,656	18,655
$S_4$		65°	180°		17,658	17,658
$S_5$		66°	19°		18,642	18,643
$S_6$		67°	34°		21,335	21,336
$S_7$		70°	45°		25,204	25,206
$S_1$	20"	70°	315°	90°	25,252	25,247
$S_2$		67°	326°		21,364	21,361
$S_3$		66°	341°		18,656	18,655
$S_4$		65°	180°		17,658	17,658
$S_5$		66°	19°		18,642	18,643
$S_6$		67°	34°		21,335	21,338
$S_7$		70°	45°		25,204	25,209
$S_1$	30"	70°	315°	90°	25,252	25,244
$S_2$		67°	326°		21,364	21,36
$S_3$		66°	341°		18,656	18,654
$S_4$		65°	180°		17,658	17,658
$S_5$		66°	19°		18,642	18,644
$S_6$		67°	34°		21,335	21,339
$S_7$		70°	45°		25,204	25,212

čia  $\lambda_V$  – vertikalusis kampas tarp atstumų matavimo linijos ir optinės vizavimo ašies;  $\gamma$  – kampas tarp pastato plokštumos, į kurią vizuojame, ir vertikalės (pastato sienos posvyrio kampas). Kai siena vertikali,  $\gamma = 0$ ;  $z$  – vizavimo spindulio zenitinis kampas;  $\lambda_H$  – horizontalusis kampas tarp atstumų matavimo linijos ir optinės vizavimo ašies.

Apskaičiuoti rezultatai pateikti 2 lentelėje.

Iš pateiktų rezultatų, skaičiuojant pagal [6] darbe pasiūlytą metodiką, matyti, kad kai kampai tarp ašių  $\lambda_H$  ir  $\lambda_V$  yra po 10", ašių nesutapimas trumpiems atstumams turės palyginti mažai įtakos, nes pataisytais atstumais išliks toks pats arba sumažės 2 mm. Tai priklauso nuo vizavimo ašies horizontaliojo posūkio kampo  $\epsilon$  bei zenitinio kampo  $z$  ir nuo linijos nestatmenumo vizuojamam paviršiui. Didesnė įtaka atstumui bus tada, kai vizavimo spindulys bus nestatmenas vizuojamam paviršiui. Šiuo atveju nuo prietaiso į abi puses labiausiai nutolę matavimo ženklai yra 1 ir 7. Matuojant linijas  $S_1$ , ir  $S_7$  – vizavimo spindulys nestatmenas matuojamam paviršiui (2 pav.), ir šio toks vizavimo spindulio nestatmenumas įtakos neturės, kai vizavimo spindulys bus beveik statmenas vizuojamam paviršiui.

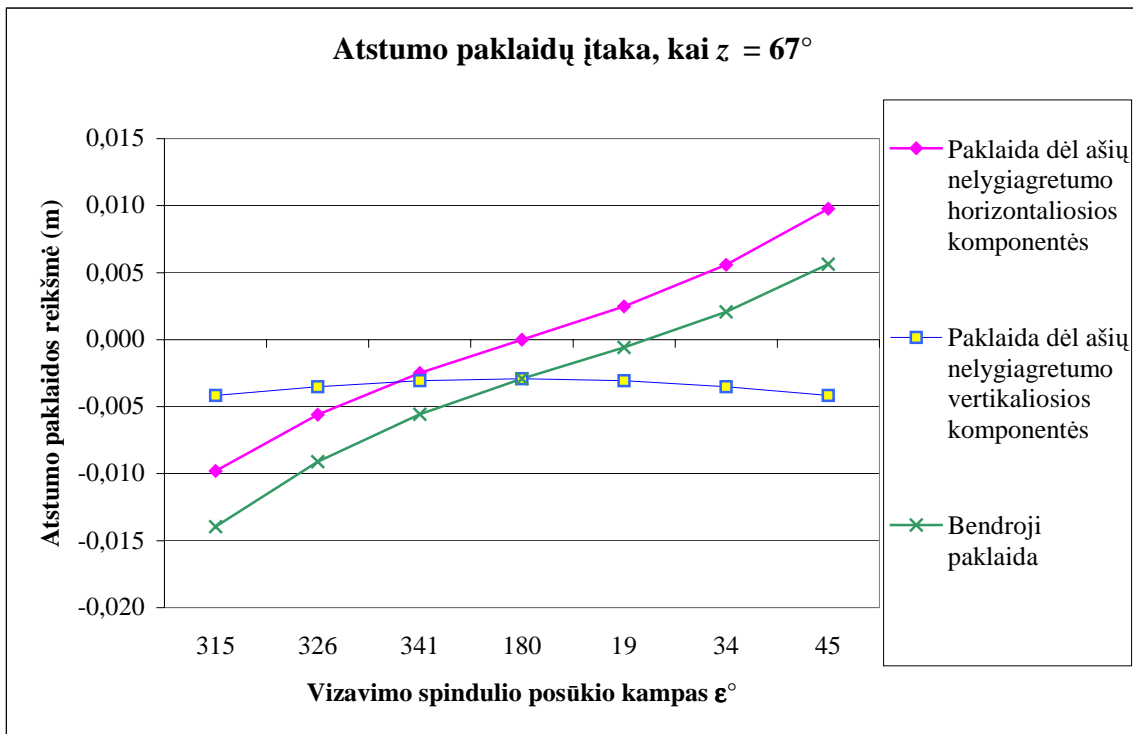
**2 lentelė.** Ašių nelygiagretumo įtakos skaičiavimas (pagal [6] pasiūlytą metodiką)

**Table 2.** Calculation of the influence of axis unparallelism (according to the methods [6])

Linija	$\lambda_V/\lambda_H$	$z$	$\epsilon$	$\theta$	$S_{ISM}$ (m)	$S_{PAT}$ (m)
$S_1$	10"	70°	315°	90°	25,252	25,250
$S_2$		67°	326°		21,364	21,363
$S_3$		66°	341°		18,656	18,655
$S_4$		65°	180°		17,658	17,658
$S_5$		66°	19°		18,642	18,642
$S_6$		67°	34°		21,335	21,335
$S_7$		70°	45°		25,204	25,205
$S_1$	20"	70°	315°	90°	25,252	25,249
$S_2$		67°	326°		21,364	21,362
$S_3$		66°	341°		18,656	18,655
$S_4$		65°	180°		17,658	17,657
$S_5$		66°	19°		18,642	18,642
$S_6$		67°	34°		21,335	21,335
$S_7$		70°	45°		25,204	25,206
$S_1$	30"	70°	315°	90°	25,252	25,247
$S_2$		67°	326°		21,364	21,361
$S_3$		66°	341°		18,656	18,654
$S_4$		65°	180°		17,658	17,657
$S_5$		66°	19°		18,642	18,642
$S_6$		67°	34°		21,335	21,336
$S_7$		70°	45°		25,204	25,206

**3 lentelė.** Paklaidų priklausomybė nuo vizavimo linijos zenitinio kampo  
**Table 3.** Dependence of errors on the angle of line of sight

Linija	$\lambda_v/\lambda_H$	$\epsilon$	$\theta$	$S_{I\dot{S}M}$	Atstumo pataisa (m)		$S_{I\dot{S}M}$	Atstumo pataisa (m)	
					$z=67^\circ$	$z=45^\circ$		$z=67^\circ$	$z=45^\circ$
$S_1$	20"	315°	90°	25,252	-0,003	-0,003	101,008	-0,014	-0,020
$S_2$		326°		21,364	-0,002	-0,002	85,456	-0,009	-0,014
$S_3$		341°		18,656	-0,001	-0,001	74,624	-0,006	-0,010
$S_4$		180°		17,658	-0,001	-0,001	70,632	-0,003	-0,007
$S_5$		19°		18,642	0,000	0,000	74,568	-0,001	-0,005
$S_6$		34°		21,335	0,000	0,000	85,34	0,002	-0,003
$S_7$		45°		25,204	0,002	0,002	100,816	0,006	0,000



**3 pav.** Atstumo paklaidos priklausomybės nuo zenitinio kampo grafikas, kai  $z = 67^\circ$ .  
**Fig 3.** Graph of dependence of the distance error on the zenith angle, when  $z = 67^\circ$ .

Paklaida dėl ašių nelygiagretumo vertikaliosios komponentės neigiama visų linijų – nepriklausomai nuo kampo tarp ašių ir zenitinio kampo dydžio.

Apskaičiavus galima daryti išvadą, kad ašių nesutapimas turi įtakos matuojamam atstumui, taigi ir koordinatėms.

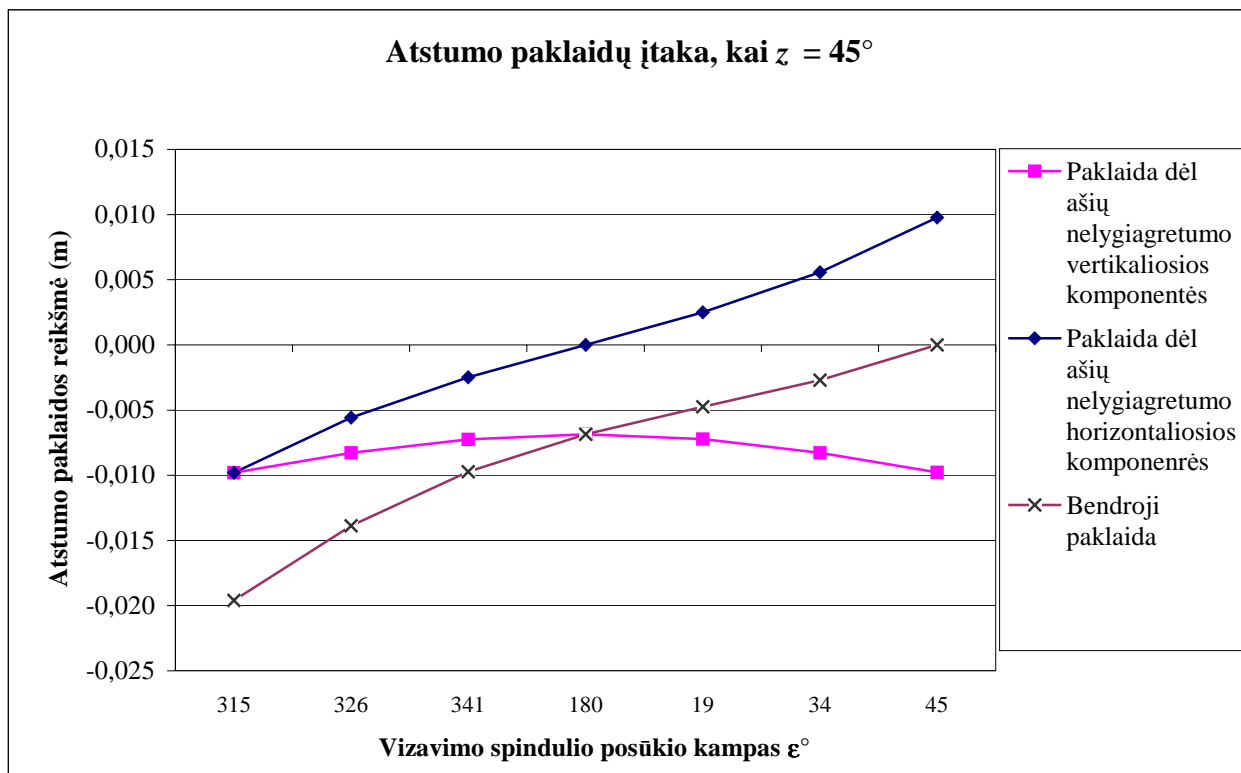
Atliktas ir kitas skaičiuojamasis eksperimentas. Apskaičiuota paklaidų priklausomybė nuo vizavimo linijos zenitinio kampo (3 lentelė). Zenitinio kampo reikšmės pasirinktos  $67^\circ$  ir  $45^\circ$ . Kampas tarp ašių nelygiagretumo horizontaliosios ir vertikaliosios komponentių –  $20''$ . 3 lentelėje pateiktos atstumų pataisos modeliuojant trumpesnius bei ilgesnius atstumus iki pastato (pradinės modeliuotų atstumų reikšmės padidintos 4 kartus). Linijų padėtis vietovėje parodyta 2 pav.

Kai zenitiniai kampai skirtingi, nedidelių išmatuotų atstumų paklaida labai nedidelė (3 lentelė). Iš esmės ji įtakos neturi. Padidinus pradinės atstumų reikšmes

paklaidos dalis didėja proporcingai atstumui. 3–5 pav. braižyti esant didesnėms linijų ilgių reikšmėms. Netgi šiuolaikiškų precizinių tolimačių, kurie gali matuoti atstumą iki 170 m be reflektoriaus prizmių, matavimo paklaida yra leistina nuo  $2\pm 5$  mm. Ji priklauso nuo matavimų sąlygų ir pasirinktos matavimo programos.

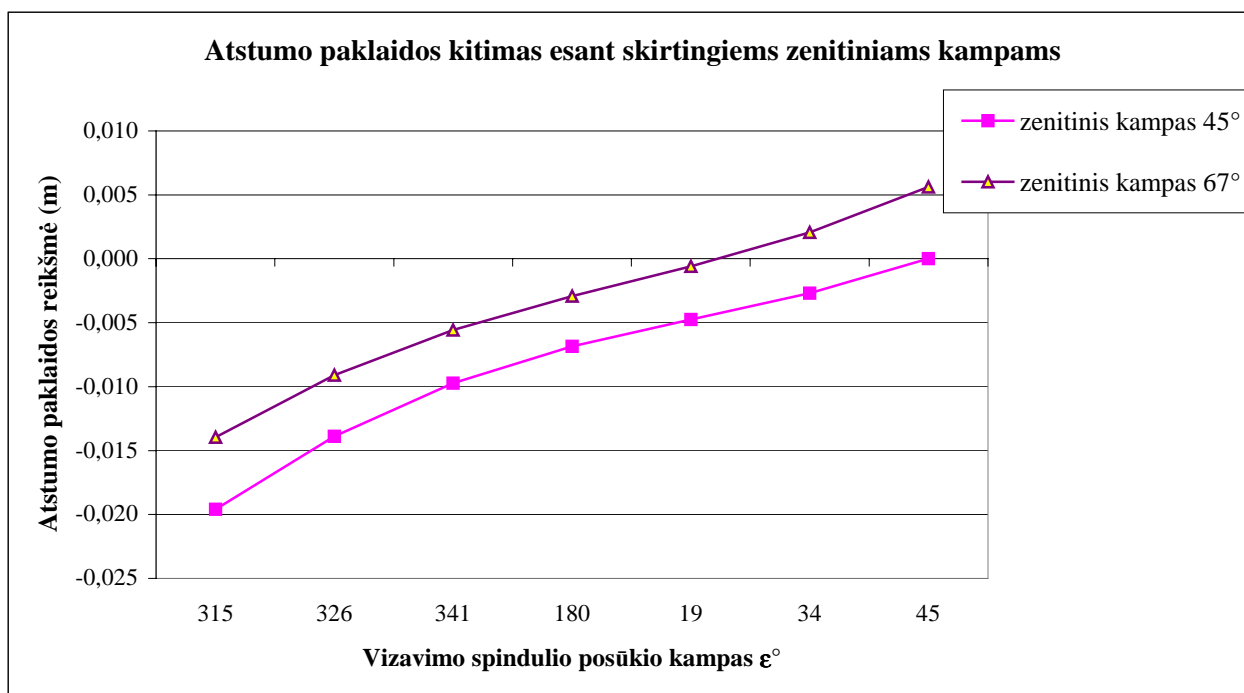
Paklaidos reikšmė dėl ašių nelygiagretumo horizontaliosios komponentės gaunama vienoda. Taip yra todėl, kad skaičiuojant pataisą dėl ašių nelygiagretumo horizontaliosios komponentės skaičiavimo formulėje nėra zenitinio kampo reikšmės.

Skaičiuojant paklaidą dėl ašių nelygiagretumo vertikaliosios komponentės, kai didesni zenitiniai kampai, pataisos reikšmė gaunama mažesnė negu esant mažesniems zenitiniams kampams. Kai  $z$  yra  $45^\circ$ , paklaida dėl ašių nelygiagretumo vertikaliosios komponentės gaunama dvigubai didesnė negu kai  $z=67^\circ$ . Bendroji paklaidos reikšmė skiriasi apie 1,5 karto. Ji didesnė, kai zenitinis kampas mažesnis, t. y.  $45^\circ$ .



4 pav. Atstumo paklaidos priklausomybės nuo zenitinio kampo grafikas, kai  $z = 45^\circ$ .

Fig 4. Graph of dependence of the distance error on the zenith angle, when  $z = 45^\circ$ .



5 pav. Atstumo paklaidos kitimas esant skirtingiems zenitiniams kampams

Fig 5. Variance of the distance error due to different zenith angle

Atstumo paklaidos priklausomybę nuo zenitinio kampo esant skirtingiems  $\epsilon$  kampams galima pavaizduoti grafiškai. Kai zenitinis kampas  $z=67^\circ$ , gautoji paklaidų priklausomybė pavaizduota 3 pav., o kai  $z=45^\circ$ , 4 pav.

Iš 3 pav. ir 3 lentelės matyti, kad paklaidų reikšmės nevienodai kinta 4 matavimo ženklų atžvilgiu. Bendroji atstumo paklaida yra nuo  $-14$  iki  $+6$  mm.

Iš 4 pav. ir 3 lentelės matome, kad paklaida dėl ašių nelygiagretumo vertikaliosios komponentės yra neigiama ir simetriškai išsidėsčiusi 4 matavimo ženklo atžvilgiu. Zenitinio kampo dydis neturėjo įtakos horizontaliosios paklaidos kitimo intervalui. Ji išlieka tokia pati. Bendroji atstumo paklaida siekia nuo 0 iki –20 mm.

5 pav. matome, kaip kinta bendros paklaidos dėl ašių nelygiagretumo horizontaliosios ir vertikaliosios komponentių, esant skirtingiems zenitiniams kampams. Iš 5 pav. galima teigti, kad grafike pavaizduotos linijos yra lygiagrečios tarpusavyje, tik skiriasi paklaidų reikšmės. Kai  $z=67^\circ$  – bendrosios atstumo paklaidos kitimo kreivė yra aukščiau negu  $45^\circ$  kreivė.

Statybos taisyklėse [7] reikalaujama, kad atliekant sienų ir pertvarų montavimo darbus, ašių nuokrypiai nuo projektinių apatiniame arba viršutiniame pjūvyje būtų ne didesni kaip 5 mm, kolonų atraminių paviršių ir atramų altitudžių nuokrypiai nuo projektinių leistini iki 5 mm; pokraninių sijų ašių nesutapimai su projektinėmis – iki 5 mm. Palyginus šiuos statybos normų [7] reikalavimus su gautais tyrimų rezultatais (1–3 lentelės, 3–5 paveikslai), galima daryti išvadą, kad atliekant geodezinius matavimus statybos objektuose būtina įvertinti sistemingąsias matavimo paklaidas, kurias lemia tolimačio ašių nelygiagretumas. Esant tolimačio ašių nelygiagretumui išmatuotus atstumus reikia pataisyti pagal šiame darbe pateiktą metodiką.

### 3. Išvados

Atlikus skaičiuojamuosius eksperimentus prieita prie išvadų:

Skaičiuojant pagal taikomą metodiką [1] gaunama pataisa tik dėl optinės vizavimo ašies, tikrosios vizavimo ašies, atstumų matavimo linijos nelygiagretumo horizontaliosios komponentės lemiamų paklaidų ir visiškai neįvertinama pataisa paklaidų dėl ašių nelygiagretumo vertikaliosios komponentės. Gautas pataisytas atstumas neatitinka tikrosios jo reikšmės. Visa atstumo pataisa gaunama pagal siūlomą metodiką įvertinus ašių nelygiagretumo horizontaliosios ir vertikaliosios komponentių bendrąją įtaką išmatuotam atstumui.

Be reflektoriaus prizmių išmatuotų atstumų pataisos esant tom pačioms nelygiagretumo riboms priklauso nuo vizavimo spindulio zenitinio kampo, kampo tarp sienos plokštumos ir vizavimo spindulio brėžiamos plokštumos bei sienos posvyrio.

Taip pat galima tvirtinti, kad atstumo matavimo paklaida priklauso ne tik nuo tolimačio ašių nelygiagretumo, bet ir nuo matavimo sąlygų.

Palyginus gautus rezultatus pagal statybos taisyklių reikalavimus galima daryti išvadą, kad matuojant atstumus būtina įvertinti tolimačio ašių nelygiagretumą.

### Literatūra

1. Buchmann, P. Entwicklung eines Meßsystems zur automatischen polaren Objekterfassung am Beispiel der Bauaufnahme. München: Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, 1996. 84 S.
2. Beckmann, A. Dreidimensionale Koordinatenberechnungen und Transformation. Schriftenreihe der Fachhochschule Neubrandenburg. Fachbereich Bauingenieur und Vermessungswesen. Reihe B: Band 3. Tagungsband zum Seminar am 24. 2000, S. 7–20.
3. Weferling, U. Bauaufnahme als Modellierungsaufgabe. Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, 2002. 170 S.
4. Bagdžiūnaitė, R. Building structures measuring errors due to geodetic instruments. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXVIII, No 2. Vilnius: Technika, 2002, p 58–65 (in Lithuanian).
5. Bagdžiūnaitė, R. Influence of the horizontal eccentricity on geodetic measurements in construction. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXVIII, No 4. Vilnius: Technika, 2002, p 145–150 (in Lithuanian).
6. Bagdžiūnaitė, R. Corrections to measured distances and coordinates due to unparallelism of main axes of EDM. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXIX, No 4. Vilnius: Technika, 2003, p 131–136 (in Lithuanian).
7. General building proceedings. Building rules. (Bendrieji statybos darbai. Statybos taisyklės). ST 2189567.02:2003. Lithuanian builders' association. Vilnius, 2003. 172 p (in Lithuanian).