



## NIVELIACIJOS MATUOKLIŲ KODINIŲ SKALIŲ TIKSLUMO TYRIMAI PAGAL JŲ SKAITMENINES NUOTRAUKAS

Vladislovas Česlovas Aksamitauskas, Donatas Rekus

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

Įteikta 2009 06 23; priimta 2009 09 23

**Santrauka.** Pristatomas kodinių niveliavimo matuoklių tikslumo tyrimas pagal jų skaitmenines nuotraukas. Niveliavimo matuoklių brūkšnių padėties tikslumas nustatomas lyginant atraminės ir tikrinamos matuoklių fotogrametrinius vaizdus arba atraminį matą pakeitus fotogrametriniu atraminės matuoklės vaizdu, užfiksuotu skaitmeniniu fotoaparatu ir perkeltu į kompiuterio atmintį. Šiuo atveju atraminės kodinės niveliavimo matuoklės skalės brūkšnių padėtis yra lyginama su kalibruojamos matuoklės brūkšnių padėtimi. Pagal tai galima įvertinti matuoklių kodinių brūkšnių tarpusavio nuokrypius. Tyrimo tikslas – atlikti kodinių niveliavimo matuoklių tikslumo tyrimą pagal jų skaitmenines nuotraukas.

**Reikšminiai žodžiai:** kodinės niveliavimo matuoklės, kalibravimas, skaitmeninis fotoaparatas, pikseliai.

### 1. Įvadas

Precizinis niveliavimas yra vienas iš plačiausiai taikomų geodezijos matavimo darbų. Niveliavimo prietaisai pastaruoju metu, kaip ir daugelis kitų geodezinių prietaisų, tapo labai modernūs – skaitmeniniai matavimo prietaisai turi fotoelektrinių elementų matricas ir optinę-elektroninę kamerą, fiksuojančią aukščio padėtį pagal matuojamame taške pastatytą matuoklę. Patobulintos ir matuoklės žymės, jos susideda iš kodinių brūkšnių, tam tikra tvarka sužymėtų per visą matuoklės ilgį. Nuo šių brūkšnių padėties tikslumo labai priklauso viso niveliavimo komplekso darbo tikslumas.

Kiekviena skaitmeninius nivelyrus gaminanti firma turi savo kodines skales ir duomenų apdorojimo metodus. Šiandien yra taikomi trys vaizdo apdorojimo metodai: koreliacijos (*Leica* sistemose), geometrinis (*Zeiss* sistemose) ir fazinis metodas (*Topcon* sistemose) (Skeivalas, Giniotis 2000).

Skaitmeniniuose nivelyruose *NA3003* įdiegta automatizuota kodinių matuoklių atskaitų registravimo prietaiso indikatoriuje sistema. Matuoklės atskaita yra registruojama pagal nivelyro optinę ašį. Kodinės matuoklės skaitmeninei atskaitai gauti taikomas koreliacijos metodas.

Prietaiso sensorius atpažįsta koduotas matuoklės padalis ir jas panaudoja signalo vaizdui sudaryti, kad skaitmeninis nivelyrus jį galėtų analizuoti koreliacijos būdu. Apskaičiuojami ir matuoklės rodmenys, ir atstumas iki analizavimo taško (Becker *et al.* 1994; Becker 1999).

Matuoklių kalibravimo komparatoriuje iš dalies pakartojamos matavimo operacijos, kurios yra atliekamos niveliuojant.

Precizinių, skaitmeninių nivelyrų sistemai kalibruoti naudojami vertikalieji komparatoriai yra įrengti Graco technologijos universitete (Austrija), Suomijos geodezijos institute, Miuncheno Bundesvero universitete (Vokietija). Šiuose universitetuose naudojami įrenginiai yra sudėtingi, brangūs, didelių gabaritų, nes yra būtina žingsniais matuoklę perstumti į tokį pat kaip ir jos ilgis aukštį. Komparatoriai turi turėti žingsninę pavarą, kad matuoklės žymės atsiderėtų fotokameros fiksavimo (optiniame) židinyje. Be to, yra naudojamas labai brangus ir sudėtingas įrenginys – lazerinis interferometras (Krikštaponis 2000, 2001, 2002). Dėl šių priežasčių komparatoriaus konstrukcija labai sudėtinga, brangi. Tai ekonomiškai yra brangu, daug darbo, ir būtini aukštos kvalifikacijos specialistai. Viso to galima išvengti kodinių niveliavimo matuoklių tikslumo tyrimams ir kalibravimui naudojant jų skaitmeninius vaizdus.

Straipsnyje pristatomas kodinių niveliavimo matuoklių tikslumo tyrimas pagal jų skaitmenines nuotraukas.

### 2. Kodinių niveliavimo matuoklių tikslumo tyrimai

Komplekte prie skaitmeninių nivelyrų yra naudojamos kodinės matuoklės, kurios taip pat daro didelę įtaką skaitmeninio niveliavimo rezultatams. Matuoklių tipo pasirinkimą

lemia matuoklių ilgis, jų medžiaga ir metrologiniai parametrai. Viena matuoklės pusė turi kodines padalas skaitmeniniam niveliavimui, kitoje matuoklės pusėje yra tradicinės padalos (centimetrais arba pėdomis).

Matuoklės referencinis kodas yra saugomas prietaiso atmintyje ir matavimų metu koreliuojamas (lyginamas) su matuoklės kodiniu vaizdu tiesiniame keitiklyje (detektoriuje). Taikoma dviejų pakopų koreliacija – apytikslė ir tikslioji. Apytikslė koreliacija sumažinama paieškos sritis ir apskaičiavimų apimtis bei sutrumpinama matavimų trukmė. Tiksliąją koreliaciją nustatoma tiksliai matuoklės kodinių brūkšnių vaizdo padėtis referencinio kodo atžvilgiu, t. y. sutapdinamas matuoklės kodinis vaizdas su referenciniu kodu. Tokiam sutapdinimui panaudotas tiesinis detektorius, sudarytas iš 256 fotodiodų (pikselių). Tikslumas priklauso nuo pikselių matmenų, jų skaičiaus bei detektoriaus jautrio funkcijos. Tai savo ruožtu turi įtakos atskaitų, gautų nivelyro indikatoriuje, tikslumui (Krikštaponis 2000, 2001, 2002).

Paprastai, tikrinant tikslumą, stengiamasi tikrinamąją matuoklę padėti į padėtį, kurioje ji naudojama darbo metu, t. y. į vertikaliąją padėtį, tačiau esti atvejų, kai matuoklės tikrinamos ir horizontalioje padėtyje, – toks komponavimas žymiai palengvina matavimą, pakanka žemesnės patalpos.

Galimi matuoklių komparatorių struktūriniai variantai išvardyti 1 lentelėje.

1 lentelė. Komparatorių principinė struktūra

Table 1. The principal structure of comparators

Komponuotė	Naudojamas etalonas	Judamoji dalis
Vertikaliaji	lazerinis interferometras	kalibruojamoji matuoklė
Horizontalioji	lazerinis interferometras	karietėlė su CCD kamera ir atspindinčia prizme
Vertikaliaji, horizontalioji	etaloninės matuoklės skaitmeninis vaizdas	be judesio arba dalinio judesio (kai tam tikru žingsniu perstatomas skaitmeninis fotoaparatas)

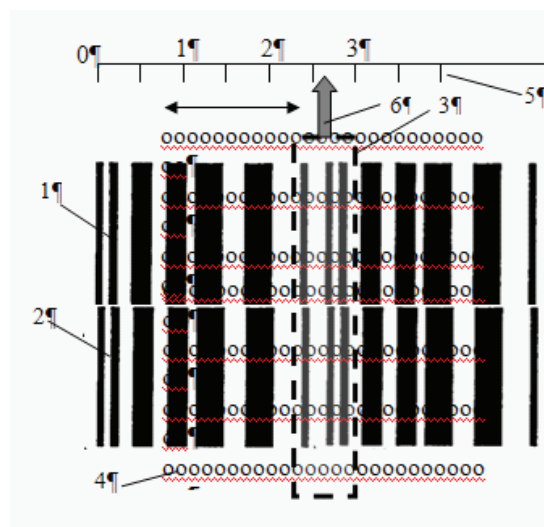
Matuoklės kalibruojamos tokiu principu: matuoklė komparatoriuje juda naudojant specialią kėlimo sistemą ir žingsninę pavarą. Matuoklės padėtis atskaitoma lazeriniu interferometru, o matuoklės skalės briaunos registruojamos specialia CCD kamera. Automatinė klimato kontrolės sistema registruoja aplinkos temperatūrą, slėgį, drėgmę, nes matuoklės ilgį ir lazerio bangų sklaidimą reikia redukuoti, atsižvelgiant į aplinkos parametrus. Visa ši sistema yra valdoma kompiuterine programa (Skeivalas, Giniotis 2000; Giniotis ir kt. 2007).

Straipsnyje pristatomas kodinių niveliavimo matuoklių tikslumo tyrimas pagal jų skaitmenines nuotraukas. Niveliavimo matuoklių brūkšnių padėties tikslumas nustatomas lyginant atraminės ir tikrinamos matuoklių fotogrametrinius vaizdus arba atraminę matą pakeitus fotogrametriniu atraminės matuoklės vaizdu, užfiksuotu

skaitmeniniu fotoaparatu ir perkeltu į kompiuterio atmintį. Šiuo atveju lyginamos atraminės kodinės niveliavimo matuoklės skalės brūkšnių ir kalibruojamos matuoklės brūkšnių padėties, naudojant analizuojamąjį langą, sudarytą registravimo įrenginyje ir apimantį abiejų matuoklių lyginamus brūkšnius. Abiejų matuoklių brūkšnių padėtis įvertinama atliekant jų skaitmeninės informacijos vietinę (lyginamųjų brūkšnių zonoje) koreliacinę analizę, o kalibravimo rezultatas nustatomas pagal rodmenų skirtumą tarp etaloninės ir kalibruojamosios matuoklių brūkšnių padėčių ties skaitmeninės brūkšnių padėties (brūkšnių briaunos) informacijos ekstremumais.

Šio įrenginio esmė yra tai, kad matuoklei kalibruoti kaip etaloninis matas yra naudojama etaloninė (atraminė) matuoklė ir skaitmeninė fotokamera (CCD), perstatoma į keletą padėčių lygiagrečiai su matuoklių ašimis bei registruojanti abiejų matuoklių brūkšnių vaizdus ir jų tarpusavio padėtį, o kalibravimo rezultatai yra vertinami pagal papildomos skalės, esančios kompiuterio ekrane, matavimo duomenis, nustatant skaitinį skirtumą tarp matuojamosios ir etaloninės skalės brūkšnių padėčių.

Fotografuojant etaloninę ir kalibruojamąją matuoklės, greta jų kontrolei įmontuojama papildoma milimetrinė skalė (arba analoginė matuoklė). Ją naudodami skaitmeninio vaizdo rezultatams apdoroti kompiuteriu, galime išilgai skalių daryti atskaitymus tarp etaloninės milimetrinės skalės, etaloninės ir kalibruojamosios matuoklės brūkšnių padėčių. Skalės padalos nuskaitomos rodykle, sujungta su analizuojančiuoju langu – diafragma. Vietoj skalės tyrimams buvo taikyta AutoCad programinės įrangos koordinatinis tinklėlis. Principinė kalibravimo schema pavaizduota 1 paveiksle.



1 pav. Principinė kalibravimo sistema: 1 – kalibruojamos matuoklės fotogrametrinis vaizdas, 2 – etaloninės matuoklės fotogrametrinis vaizdas, 3 – analizuojančioji diafragma, 4 – fotokameros pikselių matrica, 5 – papildoma milimetrinė skalė, 6 – indikatorinė atskaitymo rodyklė

Fig. 1. The principal system of calibration: 1 – a photometric view of the calibrated measure, 2 – a photometric view of the standard measure, 3 – analyzing diaphragm, 4 – the matrix of camera pixels, 5 – additional millimetre scale, 6 – deduction indicator

Pradinėje padėtyje perslenkant analizuojančią diafragmą (3) su rodykle (6), yra atskaitoma pradinė matuoklės brūkšnių padėtis. Tai daroma diafragmą (3) pastatant ant pradinių brūkšnių ir kompiuterio koreliacijos bloke fiksuojant tam tikrą koreliacijos koeficiento vertę. Toliau pasirinktu žingsniu diafragma (3) perstumama išilgai matuoklių vaizdo, diafragmos padėtis patikslinama perstumiant iki tokios padėties ties matuojamąja matuokle (1), kai koreliacijos koeficientas yra lygus pradiniam pasirinktam koreliacijos koeficientui. Užfiksuojama diafragmos padėtis pagal skalę (5) – rodyklę (6) arba kompiuterio grafinę koordinacių sistemą. Tada tas pats padaroma su etaloniniu vaizdu (2), vėl patikslinant diafragmos padėti koordinacių sistemoje iki pasirinktosios koreliacijos koeficiento vertės, tik dabar fiksuojant iš vaizdo (2). Gautųjų verčių skirtumas rodo dviejų matuoklių brūkšnių padėčių linijinę paklaidą. Procedūra kartojama iki viso kalibruojamųjų matuoklių ilgio.

### 3. Niveliacijos matuoklių kodinių skalių tikslumo tyrimai

Skaitmeninė fotokamera, kuria atliekamos kodinių matuoklių skaitmeninės nuotraukos, turi būti kalibruota, ir nustatyti vidinio orientavimo elementai – simetrinės ir nesimetrinės distorsijos. Kalibravimas atliekamas kompiuterinėmis programomis, naudojant specialų standą su žinomomis taškų koordinatėmis. Įvertintas gautų rezultatų tikslumas. Fotokameros kalibravimo rezultatai naudojami tolesniam nuotraukų apdorojimui (Sužiedelytė-Visockienė 2007).

Visos nuotraukos naudotos tiriant buvo transformuotos į plokštumą fotokameros objektyvo distorcijai panaikinti, kad objektai fonuotruokose būtų detalesni.

Kodinių matuoklių kalibravimo tikslumui įvertinti bei kodinių niveliavimo matuoklių kodinių skalių tikslumui nustatyti, taikant specialiai sukurtą kompiuterinę programą, buvo atlikti bandymai skaitmeninių kodinių niveliacijos matuoklių nuotraukų dalis paversti skaitmenine informacija.

2 pav. pavaizduota viena iš tiriant naudotų kodinių skalių. Apskritimu išskirta zona centrinėje kodinės skalės dalyje buvo paversta skaitmenine informacija (skaičių matrica). Centrinė dalis pasirinkta, kad būtų kuo mažesni skaičių matricos duomenų netikslumai.

Ekspirimentuota matuojant kodinių niveliavimo matuoklių skalių skaitmeninių nuotraukų fragmentus: JPEG, BMP 16 bitų, BMP 256 bitų, BMP 24 bitų, BMP MONOCHROME, TIFF ir GIFF formatais.

Kodinių skalių briaunoms nustatyti ir tyrimams atlikti geriausiai tiko BMP 24 bitų formatas, nes aiškiausiai buvo matyti kodinių skalių briaunų ribos tarp juodų ir baltų brūkšnių, ir buvo mažiausi skaitmeninių nuotraukų iškraipymai.

Gautose kodinių skalių skaičių matricose tamsesnės pikselių spalvos išreiškiamos mažesnės vertės skaičiais, o šviesesnės – didesnės. Dėl to galime nustatyti ribą tarp juodų ir baltų kodinės skalės brūkšnių briaunų arba matyti kodinės skalės mechaninius pažeidimus.

Pagal skaičių matricos rezultatus galime nustatyti kiekvienos kodinės skalės brūkšnių storius, kurie bus reikalingi tolesniam matuoklių kalibravimui. Kodinių skalių

brūkšnių storis buvo gautas *AutoCad* programine įranga, į jos darbinį langą įkėlus kodinių skalių skaičių matricos rezultatus. Atliktų tyrimų tikslumui įvertinti kontrolei tų pačių kodinių skalių brūkšnių storiai buvo išmatuoti mikroskopu *UIM-21*, Nr. 640072. Matavimų rezultatai bei jų skirtumai pateikti 2 lentelėje.

I skalės skirtumas 1 ir 2 bei III skalės skirtumą 3 gavome labai didelius, todėl tolesnei analizei jų nenaudojime (blogai buvo atlikti matavimai mikroskopu, didelės paklaidos).

Išanalizavus kitus galutinius rezultatus matome, kad mažiausias skirtumas yra apie 2  $\mu\text{m}$ , o didžiausias neviršija 10  $\mu\text{m}$ . Abiejų variantų matavimų tikslumas yra beveik vienodas, nes matavimų rezultatai mažai skiriasi.

**2 lentelė.** Kodinių skalių brūkšnių storiai, išmatuoti mikroskopu ir *AutoCad* aplinkoje

**Table 2.** Coded scale thickness of the lines measured using a microscope in the *AutoCAD* environment

I skalė			
Eil. nr.	kodinės skalės brūkšnių storis išmatavus <i>UIM</i> (mm)	kodinės skalės brūkšnių storis išmatavus <i>AutoCad</i> (mm)	skirtumas $\Delta$ (mm)
1	2,084 9	1,849 7	0,235 2
2	1,921 6	1,599 9	0,321 7
3	4,759 9	4,750 0	0,009 9
4	0,933 3	1,600 0	-0,666 7
5	1,805 6	1,799 7	0,005 9
6	1,609 0	1,600 3	0,008 7
7	14,803 9	14,800 1	0,003 8
II skalė			
Eil. nr.	kodinės skalės brūkšnių storis išmatavus <i>UIM</i> (mm)	kodinės skalės brūkšnių storis išmatavus <i>AutoCad</i> (mm)	skirtumas $\Delta$ (mm)
1	1,048 1	1,049 8	-0,001 7
2	0,955 7	0,949 8	0,005 9
3	2,755 1	2,750 3	0,004 8
4	0,946 7	0,950 2	-0,003 4
5	1,051 2	1,049 5	0,001 7
6	0,990 5	1,000 2	-0,009 7
7	8,554 9	8,549 9	0,005 0
III skalė			
Eil. nr.	kodinės skalės brūkšnių storis išmatavus <i>UIM</i> (mm)	kodinės skalės brūkšnių storis išmatavus <i>AutoCad</i> (mm)	skirtumas $\Delta$ (mm)
1	0,603 2	0,600 3	-0,002 9
2	0,406 4	0,400 9	0,005 5
3	1,336 2	1,399 0	-0,062 8
4	0,457 8	0,449 0	0,008 8
5	0,552 8	0,550 2	0,002 6
6	0,456 0	0,450 5	0,005 5
7	4,394 9	4,398 8	-0,003 9



2 pav. Kodinės niveliacijos matuoklės skalės fragmentas

Fig. 2. A fragment of the coded levelling meter scale

#### 4. Išvados

1. Sukurta kompiuterinė programa, kuria galima niveliacijos matuoklių kodinių skalių skaitmeninių nuotraukų pikselių reikšmėms suteikti skaitines vertes. Tamsesnės pikselių spalvos išreiškiamos mažesnės vertės skaičiais, šviesesnės – didesniais.
2. Pagal sukurtą kompiuterinę programą atlikti kodinių skalių brūkšnių briaunų nustatymo tikslumo tyrimai.
3. Atliktų tyrimų tikslumui įvertinti tų pačių kodinių skalių brūkšnių storiai kontrolei buvo išmatuoti mikroskopu UIM-21. Mažiausias skirtumas tarp abiejų tipų matavimų yra apie 2  $\mu\text{m}$ , o didžiausias neviršija 10  $\mu\text{m}$ . Abiejų variantų matavimų tikslumas beveik vienodas, nes matavimų rezultatai mažai skiriasi.
4. Iš pradinių tyrimų akivaizdu, kad skaitmeninė vaizdo analizė labai priklauso nuo apšvietimo fotografuojant, matuoklių paviršiaus šviesos atspindžio koeficiento ir to paviršiaus švarumo, atstumo tarp fotoaparato ir matuoklės paviršiaus, kodinių brūkšnių kontrastingumo.

#### Literatūra

- Becker, J. M.; Andersson, B.; Eriksson, P. O.; Nordquist, A. 1994. A new generation of levelling instruments: NA2000 and NA3000, in FIG XX. *International Congress*, Melbourne, Australia, 294–305.
- Becker, J. M. 1999. History and evolution of height determination techniques especially in Sweden, in *Geodesy Surveying in the Future, The Importance of Heights*, Gävle, Sweden, 15–17th of March, 43–57.
- Giniotis, V.; Rekus, D.; Aksamitauskas, Č. 2007. Accuracy calibration of the bars of levelling meters, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 33(4): 102–105.
- Krikštaponis, B. 2000. Matavimų analoginiais ir skaitmeniniais nivelyrais tikslumo tyrimai, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 26(2): 69–72.
- Krikštaponis, B. 2001. *Precizinio niveliavimo paklaidos ir jų įtaka matavimų rezultatams*: Kvalifikacinio mokslo darbo ataskaita. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Geodezijos institutas. 60 p.
- Krikštaponis, B. 2002. Skaitmeninio nivelyro Wild NA3003 atskaitos sistemos ypatumų tyrimai, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 28(2): 39–44.
- Skeivalas, J.; Giniotis, V. 2000. Elektroninių nivelyrų atskaitymo sistemos tikslumo analizė, *Matavimai* 1(13): 30–32.
- Sužiedelytė-Visockienė, J. 2007. Skaitmeninės matuojamosios fotokameros kalibravimo parametrų įtaka nuotraukas transformuojant į plokštumą, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 28(1): 26–30.

**Česlovas AKSAMITAUSKAS**. Assoc. Prof., Dr. at the Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2744 703, Fax +370 5 2744 705, e-mail [gkk@vgtu.lt](mailto:gkk@vgtu.lt).

Doctor of Science (1990). The author of two teaching books and more than 15 scientific papers. Participated in a number of international conferences.

Research interests: geodetic instrumentation, automation of measurements, angular and distance measurements

**Donatas REKUS**. Doctoral student at the Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre. Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2744 705, Fax +370 5 2744 705, e-mail [gkk@vgtu.lt](mailto:gkk@vgtu.lt).

A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) (MSc, 2005).

Research interests: geodetic networks, calibration of geodetic instruments.