

NIVELIAVIMO SKAITMENINIAIS NIVELYRAIS TIKSLUMO TYRIMAI

Donatas Rekus, Robertas Ališauskas

Kauno kolegija

Anotacija. Šiame straipsnyje pristatomi skaitmeninio niveliavimo tikslumo tyrimai, atlikti Kauno kolegijos naujajame mokomajame geodeziniame poligone, naudojant skaitmeninį nivelyrą TOPCON DL-102C bei inžineriniams geodeziniam darbams skirtas kodines niveliavimo matuokles. Pagrindinis šių tyrimų tikslas - atlikti skaitmeninio niveliavimo metodų tikslumo tyrimus bei gautų rezultatų analizę. Buvo atlikti šie tyrimai: skaitmeninio niveliavimo matavimo metodų tikslumo tyrimai, gautų rezultatų palyginamoji analizė, skaitmeninio niveliavimo atstumo iki matuoklių tikslumo tyrimai bei atlikta gautų rezultatų analizė ir skaitmeninio nivelyro nevisiškos kompensacijos tikslumo tyrimai, palyginti gauti rezultatai su anksčiau tyrėjų gautais rezultatais skaitmeniniame niveliavime. Visi gauti rezultatai buvo matematiškai, statistiškai apdoroti bei atliktas jų tikslumo įvertinimas. Šiame darbe buvo pritaikytos teorinės žinios, atlikti eksperimentiniai tyrimai taikant skaitmeninio nivelyro TOPCON DL-102C atskaitymo tikslumo analizės principą bei atliekant palyginamuosius tikslumo nustatymo matavimus. Atlikus skaitmeninio niveliavimo matavimo metodų tikslumo tyrimus, nustatyti didžiausi nuokrypiai niveliuojant BFFB (atgal, pirmyn, pirmyn, atgal) metodu bei matuojant BF (atgal, pirmyn) metodu. Atlikus skaitmeninio niveliavimo atstumo iki matuoklių tikslumo tyrimus, nustatyta, kad didžiausi netikslumai yra, kai matuoklės būna pastatytos 60 metrų atstumu nuo prietaiso ir vidutinė kvadratinė paklaida siekia net iki 0,108 mm. Mažiausia vidutinė kvadratinė paklaida buvo gauta, kai matuoklės nuo nivelyro buvo pastatytos 30 metrų atstumu, ji buvo vos 0,03 mm. Visais kitais pasirinktais atstumais vidutinė kvadratinė paklaida svyravo per $\sim 0,02$ mm. Atlikus skaitmeninio nivelyro nevisiškos kompensacijos tikslumo tyrimus bei palyginus gautus rezultatus su anksčiau tyrėjų gautais rezultatais buvo nustatyta, jog didžiausi aukščių skirtumų vidurkiai yra esant išilginiam pokrypiui. Mažiausi aukščių skirtumų vidurkiai (iki $-0,09$ mm) buvo esant skersiniam pokrypiui -5 (kai skaitmeninis nivelyras buvo pakreiptas į dešinę pusę). Atlikus palyginimą su anksčiau tyrėjų gautais rezultatais nustatyta, jog tendencija išlieka ta pati ir didžiausi aukščių skirtumų vidurkiai būna esant išilginiam pokrypiui.

Raktiniai žodžiai: skaitmeninis niveliavimas, skaitmeninis nivelyras, niveliavimo paklaida, tikslumas.

Įvadas

Skaitmeniniai nivelyrai buvo sukurti 1990 m. Šveicarijoje, vėliau tobulinami Vokietijoje ir Japonijoje. Skaitmeninių nivelyrų veikimo principas pagrįstas kodinių matuoklių vaizdo skaitmeniniu apdorojimu. Be akivaizdžių privalumų (automatinio atskaitų kodinėse matuoklėse atskaičiavimo, registravimo ir saugojimo prietaiso atminties bloke, matavimo niveliavimo stotyje kontrole, pirminio rezultatų apdorojimo ir t. t.), skaitmeniniai nivelyrai nėra tobuli ir taip pat turi trūkumų, tačiau tie trūkumai pastebimi, tik atliekant daug gamybinių matavimų. Todėl yra būtini konkrečių modelių skaitmeninių nivelyrų ir kodinių matuoklių tikslumo, techninių, geometrinių ir metrologinių parametrų stabilumo tyrimai. Preciziniame niveliavime taikant skaitmeninius nivelyrus, reikia įvertinti papildomai veikiančius specifinius paklaidų šaltinius, dėl kurių keičiasi niveliavimo metodika (Krikštaponis, 2002, Rekus, 2010).

Skaitmeniniai nivelyrai ir kodinės matuoklės yra tyrinėtos užsienio šalyse ir Lietuvoje. Atlikus detalius gamybinius ir laboratorinius tyrimus nustatyta, kad matavimų tikslumą lemiančios skaitmeninių nivelyrų ir matuoklių prietaiso paklaidos nėra didesnės nei analoginių optinių nivelyrų. Tačiau skaitmeninių nivelyrų konstruktorių įdiegta matavimų seka niveliavimo stotyse yra kitokia nei daugelio šalių niveliavimo instrukcijose bei normose regla-

mentuojama dirbant su analoginiais optiniais nivelyrais. Dėl šios priežasties padidėja sisteminių paklaidų įtaka, pasireiškianti nemaža teigiama aukščių skirtumų, gautų atliekant dvipusį (tiesioginį ir atgalinį) niveliavimą, nesutapimų sanakaupa ilgose niveliacijos linijose.

Tyrimo aktualumas: gaunant niveliavimo rezultatus, neišvengiamai atsiranda ir paklaidų, kurios gali iškilti dėl aplinkos poveikio, kuris turi įtakos atliekant niveliacijos darbus, naudojamo prietaiso ar matuojančio asmens klaidų. Dėl to, norint gauti kuo tikslesnius niveliavimo matavimus, reikia atlikti prietaiso tikslumo tyrimus bei išanalizuoti gautus rezultatus.

Tyrimo objektas: skaitmeninio nivelyro TOPCON DL-102C tikslumo tyrimai, kurie yra preciziniai niveliavimo prietaisai, plačiai naudojami gamybiniuose inžineriniuose geodeziniuose matavimuose bei Kauno kolegijos studentų Geodezijos mokomųjų praktikų metu.

Darbo tikslas: atlikti skaitmeninio niveliavimo metodų tikslumo tyrimus bei gautų rezultatų analizę.

Darbai atlikti naudota metodika: mokslinių straipsnių analizė skaitmeninių nivelyrų tematika, jų veikimo principas bei kodinės matuoklės, nivelyrų raidos tendencijos; nivelyro TOPCON DL-102C matavimų tikslumo analizė; gautų rezultatų apdorojimas bei tikslumo įvertinimas.

Skaitmeninių nivelių bei kodinių niveliavimo matuoklių raidos tendencijos

XIX amžiuje buvo pradėti naudoti optiniai - mechaniniai nivelyrai aukščiams matuoti, tačiau norint, kad darbai vyktų sparčiau ir būtų sugaišta kuo mažiau laiko, prietaisai buvo pradėti automatizuoti antroje šio amžiaus pusėje.

Taškų aukščių nustatymo geometriniu niveliavimu automatizavimas vyko sunkiausiai ir lėčiausiai. Tik 1960–1970 m. sukurti nivelyrai su kompensatoriais, o nuo 1974 m. Skandinavijos šalys pradėjo motorizuotą niveliavimą (Takalo, 1996, 1997).

Po Antrojo pasaulinio karo esant tuometinei politinei situacijai Vokietijoje egzistavo dvi geodezinius matavimo prietaisus gaminančios kompanijos – Carl Zeiss kompanija Jenoje, Rytų Vokietijoje, ir kita – Oberkochene, Vakarų Vokietijoje.

Viena nuo kitos jos skyrėsi tik pardavimo faktūromis, tačiau prietaisų gamybos ir tobulinimo srityse buvo priklausomos viena nuo kitos, nors jų bendradarbiavimo tikrai nebūtum galėjęs pavadinti labai draugišku. 1990 m. pasikeitus politinei situacijai Vokietijoje, minėtos geodezinius prietaisus gaminančios įmonės susijungė ir pasiekė gerų rezultatų, kurdamos skaitmeninius nivelyrus (Krikštaponis, 2001).

Pirmąjį pasaulyje skaitmeninį nivelyrą sukūrė Šveicarijos firma Leica 1990 metais. Tai buvo tikslus nivelyras Wild NA2000. 1991 metų pabaigoje išleistas precizinis nivelyras Wild NA3000. Vėliau sukurti antros kartos skaitmeniniai nivelyrai: Wild NA2002 ir Wild NA3003. Pastarojo tipo skaitmeniniai nivelyrai buvo naudojami Lietuvoje sudarant vertikalųjį tinklą (Krikštaponis, 2001, Krikštaponis et al., 2005). 1994 metais Japonijos firma Topcon išleido skaitmeninius nivelyrus: DL101 ir DL102. Topcon sistema naudoja fazinį matavimo metodą, kitaip vadinamą EDM. Vėliau gaminti tobulesni nivelių tipai: DL101C ir DL102C (Becker, 1999).

Japonijos geodezinių prietaisų gamintoja kompanija Topcon sistema naudoja fazinį matavimo metodą, kaip ir elektrooptiniuose tolimačiuose, kitaip vadinamą EDM (Rueger, 2000). Topcon matuoklėje yra paženklinėti 30 mm ilgio kodiniai elementai, kurių kiekvieną sudaro trys šablonai: R, A ir B.

R yra bazinis šablonas, sudarytas iš padalų trejokės. Atstumas tarp šablonų ašių yra nuolatinis ir lygus 10 mm. Visi šablonai paskirstyti matuoklėje taip, kad jų pasiskirstymo dažnis priklauso nuo matuoklės atstumo iki nivelyro fokusavimo plokštumos. A ir B šablonų ilgis kinta pagal sinuso funkciją nuo 2 iki 10 mm, tai atitinka 600 mm ir 570 mm bangos ilgius. Todėl tarp šių signalų tolygiai pasiskirstęs per visą matuoklę fazės poslinkis. Matuojant fazės skirtumą tarp A ir B kodų bei R kodo pasikartojimo dažnumą, gaunama tiksli aukščio ir atstumo informacija. Vėliau gaminti patobulinti

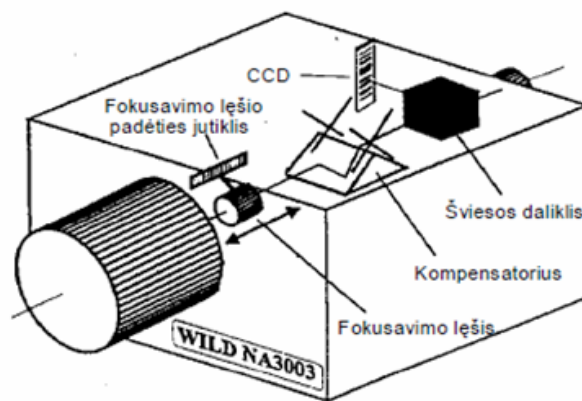
nivelių tipai: DL101C ir DL102C (Rueger 2000).

Skaitmeniniai nivelyrai - tai geriausi geometrinio niveliavimo prietaisai, kuriais naudojantis niveliavimo darbų tempas padidėja iki 50 procentų.

Pagrindinės skaitmeninių nivelių dalys yra:

- lęšiai;
- fokusavimo lęšio padėties jutiklis;
- kompensatorius su posvyrio davikliu;
- šviesos daliklis;
- kodinės informacijos vaizdo jutiklis CCD.

Pagrindinės skaitmeninių nivelių dalys parodytos 1 paveiksle (Anderson et al. 1994, Rekus 2010):



1 pav. Skaitmeninio nivelyro sandara (Krikštaponis, 2002)

Elektroninė ir programinė įranga CCD jutiklio sukurtą vaizdo signalą pertvarko į atstumo ir aukščio informaciją. Dabar naudojami keli vaizdo apdorojimo metodai:

1. koreliacijos – skaitmeniniuose niveliuose Wild NA2000/3000/3003;
2. geometrinis niveliuose Zeiss DiNi10/20;
3. fazinis – Topcon DL101/102.

Skaitmeninių nivelių privalumai yra pateikti 2 paveiksle. Kartu su skaitmeniniais niveliavimais naudojamos kodinės matuoklės. Kodo piešinys yra individualus kiekvienos firmos skaitmeniniam niveliavimui. Matuoklės gali būti: stiklo pluošto, medinės ar aliumininės su invaro juoste. Jų būna įvairių ilgių (2,3,4 m ir visai trumpos), ištisinės arba sudamos iš kelių sekcijų. Kodinės matuoklės turi sferinius gulsčiukus, laikymo rankenėles ir dažnai teleskopinius paramščius.



2pav. Skaitmeninių nivelyrų privalumai

Niveliavimo tikslumui taip pat labai daug įtakos turi naudojamų matuoklių tipas. Matuoklių tipo pasirinkimą lemia matuoklių ilgis, jų medžiaga ir metrologiniai parametrai. Kodines niveliavimo matuokles visų tipų skaitmeniniams nivelyrams gamina Vokietijos kompanija NEDO (Krikštaponis, 2001).

Specialios invarinės matuoklės GPCL2/3 su kodinių brūkšnių padalomis buvo sukurtos preciziam niveliavimui. Kodinės padalos invaro juostelėje pažymimos naudojant sudėtingą lazerinę įrangą. Kodinė invarinė juostelė susideda iš: 64 proc. geležies, 31 proc. nikelio ir 5 proc. kobalto (Rekus, 2010). Atsižvelgiant į invarinio lydinio sudėtį yra gaunamas skirtingas temperatūros plėtimosi koeficientas.

Elektroniniuose nivelyruose taikoma automatizuota kodinių matuoklių (brūkšnių liniuočių) atskaitų registravimo prietaiso indikatoriuje sistema (Skeivalas, 2010).

Vaizdinis jutiklis (CCD) (Skeivalas, 2010) atpažįsta koduotas matuoklės padalas ir jas panaudoja vaizdo signalui sudaryti, kad skaitmeninis nivelyras jį galėtų analizuoti koreliacijos būdu.

Analitinės procedūros metu yra apskaičiuojama matuoklės atskaita ir atstumas iki atitinkamo matuoklės taško (Krikštaponis, 2000).

Dirbant skaitmeniniu nivelyru, brūkšninio kodo vaizdas per šviesos pluošto daliklį patenka į detektoriaus diodų įrenginį (1 pav.). Šviesos daliklis dalija šviesos pluoštą į matomą ir infraraudoną komponentus. Matomas komponentas per siūlelių tinklelį patenka į matuotojo akis, o infraraudonųjų komponentų dalys patenka į detektorius, kuris labiausiai jautrus šviesai infraraudonojoje spektro dalyje. Detektorius - tai 65 mm ilgio įrenginys ir jame kas 25 mikrometrai išdėstyti 256 šviesai jautrūs fotodiodai (pikseliai) (Krikštaponis, 2000).

Optinės sistemos kampinis matymo laukas – 2° , mažiausias fokusavimo nuotolis yra 1,8 metro. Tai atitinka 61 mm matuoklės atvaizdą detektoriuje. Didžiausias fokusavimo atstumas yra 100 m, kuriam esant apimamas visas matuoklės ilgis. Židinio atstumo (fokusavimo) keitiklis nustato fokusavimo lęšio padėtį ir tokiu būdu pateikia apytikrio atstumo informaciją koreliacijai. Elektroninis padėties detektorius valdo kompensatoriaus pasvirimą matavimo metu.

Procesoriaus veikimas yra pagrįstas vienos mikroschemos mikroprocesoriumi. Detektorinis diodo įrenginys verčia gautą kodinių juostų vaizdą į analogišką vaizdo signalą.

Atskaitymo elektronika sustiprina ir paverčia vaizdo signalą į skaitmeninę formą, pateikiama 256 pikselių 8 bitų signalu, parodant jį 256 tamsiomis juostomis. Matavimo signalą gauna mikroprocesorius.

Išanalizuoti matavimo duomenys – tai galutinis rezultatas dviejų eilučių skaitmeniniame ekrane. Skaitmeniniai duomenys ir komandos surašomi klaviatūra, esančia prie prietaiso okuliario. Matavimo klavišas matavimų pradžioje yra šalia fokusavimo sraigto. Visi matavimo duomenys gali būti saugomi REC modulyje (nivelyro atmintyje) arba perduodami į lauko kompiuterį (Ingensand, 1999).

Sensorius esantis prietaise atpažįsta koduotas padalas, kurios yra matuoklėje ir paskui jas panaudoja signalo vaizdai sudaryti, kurį vėliau pats prietaisas analizuoja koreliacijos būdu. Taip yra apskaičiuojami matuoklės rodmenys bei atstumas iki analizuojamo taško. Matuoklės referencinis kodas yra saugomas prietaiso atmintyje ir matavimų metu jis lyginamas su matuoklės kodiniu vaizdu detektoriuje.

Koreliacija būna dviejų pakopų: apytikslė ir tiksloji. Apytikslė koreliacija sumažinama paieškos sritis, apskaičiavimų apimtis ir sutrumpinamas matavimų laikas. Tiksliaja koreliacija yra nustatoma referencinio kodo tiksli kodinės matuoklės brūkšnių vaizdo padėtis. Vadinasi, matuoklės kodinis vaizdas sutapdinamas su referenciniu kodu.

Kai šie keturi etapai yra atlikti, matavimų rezultatai toliau apdorojami, parodomi ekrane ir įrašomi pagal pasirinktą darbo režimą ir programą. Koreliacijos metodas panaudotas skaitmeniniuose nivelyruose reikalauja dviejų parametru optimizavimo:

aukščio ir mastelio. Aukščio skirtumas tarp prietaiso ir matuoklės atspindi koduotų juostų persislinkimą, o vaizdo mastelis priklauso nuo atstumo tarp prietaiso ir matuoklės.

Bandymai parodė, kad iki 20 proc. matuoklės gali būti uždengta: dėl to nesumažėja rezultato tikslumas ir patikimumas. Kliūtis užstojama matuoklės vieta yra nesvarbi, tačiau precizinei niveliacijai atskaitymų matuoklės galuose reikėtų vengti (Krikštaponis, 2001).

Kadangi matuoklės kodas yra analizuojamas koreliacijos metodu, nepasikartojantis pseudostochastinis kodas yra panaudotas šablonui. Šis kodas turi ypatybių, kurios leidžia naudoti koreliacijos metodą nuo 1,8 m iki 100 m (Takalo, 1994, 1996).

Optinės sistemos vaizdo kokybė, kompensatoriaus veikimo tikslumas ir vizavimo linijos stabilumas turi įtakos rezultatui. Šie vidiniai tikslumą veikiantys veiksniai turėjo įtakos kuriant prietaisą ir jo analitines funkcijas.

Vizavimo ir fokusavimo tikslumas turi įtakos ir rezultato tikslumui. Prietaiso optiniai duomenys rodo, kad kai taikiny yra atitinkamai 2,0 m ir 100 m atstumu, matuoklės vaizdo plotis detektoriuje yra nuo 0,3 mm iki 14,0 mm. Matuoklės GKNL4 plotis yra 50 mm, todėl prietaiso padėtis nėra ypač svarbi. Vengiant nesimetriškos refrakcijos poveikio, reikia vengti, kad maksimalus atstumas preciziniame niveliavime viršytų 35 m, tai atitinka 22 mm pločio invarinę juostelę. Dėl šios priežasties galima atskaityti niveliavimo matuoklėje pasuktoje iki 45 laipsnių kampu apie jos vertikalią ašį.

Bandymai parodė, kad nors aukščio matavimo tikslumas nepriklauso nuo to, kaip tiksliai fokusuojamas matuoklės vaizdas, tačiau rūpestingas fokusavimas trumpina matavimo laiką, kadangi nuo fokusavimo lęšių padėties priklauso koreliacijos paieškos sritis (Krikštaponis, 2002).

Koreliacijos nustatymo tikslumas priklauso nuo pikselių matmenų, jų skaičiaus bei detektoriaus jautrio funkcijos. Tai lemia atskaitų, gautų nivelyro indikatoriuje, tikslumą. Kodinių matuoklės atskaitų redukavimo į skaitmenines atskaitas tikslumas priklauso nuo detektoriaus konstrukcijos bei kovariacijos tikslumo.

Skaitmeniniame nivelyre automatinio režimu galima atlikti matuoklės, esančios nekintančioje padėtyje, daugkartinius tos pačios koordinatės matavimus. Paprastai daromi keli pakartotiniai tos pačios koordinatės atskaitymai ir galutiniu rezultatu užrašomas atskaitų aritmetinis vidurkis (Kirkštaponis, 2001, Skeivalas, 2010).

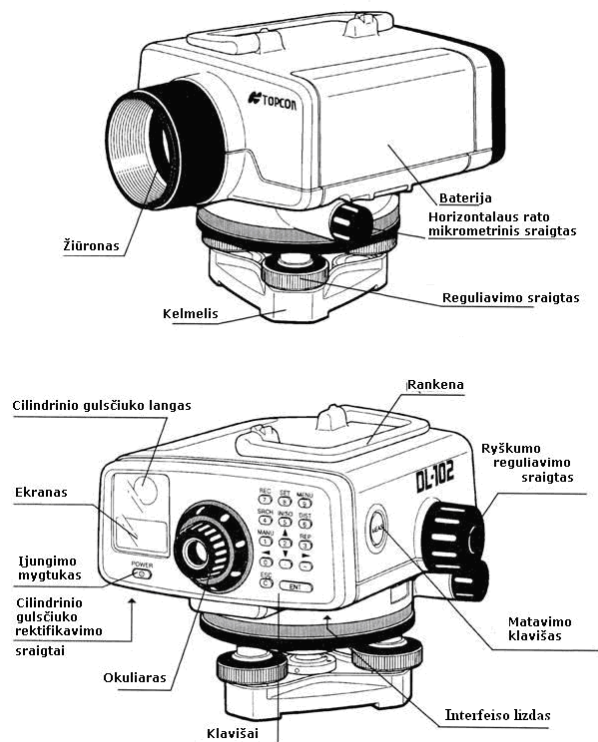
Skaitmeninių nivelyrų veikimo principas yra gana sudėtingas. Vaizdinis jutiklis, esantis prietaise, sugeba atpažinti koduotas matuoklės padalas, jas išanalizuoja ir panaudoja vaizdo signalui sudaryti, kurį skaitmeninis nivelyras vėliau analizuoja koreliacijos būdu. Tai pagrindinis nivelyrų veikimo principas.

Skaitmeninis nivelyras Topcon DL-102C

Charakteringas TOPCON nivelyrų bruožas yra naujoviška automatinio matuoklės nuskaitymo sistema, suteikianti galimybę atlikti precizinius matavimus net esant labai blogam apšvietimui. Tobula mechaninė konstrukcija maksimaliai pašalina drebbėjimo ir vibracijos įtaką nuskaitymo sistemai, leidžianti atlikti matavimus, esant visokioms sąlygoms.

DL102C serijos nivelyrai turi atminties kortas atitinkančias tarptautiniam standartui PCMCIA. Todėl matavimai gali būti įrašyti tiesiai kortoje arba gali būti kopijuojami iš vidinės atminties į kortą. Automatinis matuoklės nuskaitymas, atstumo matavimas bei duomenų registravimas pašalina nuskaitymo bei įrašymo klaidas, tai labai paspartina ir palengvina darbą. Dėl PCMCIA jungties nėra būtina jungti instrumentą prie kompiuterio, norint perrašyti duomenis.

Matavimai atliekami būtent šiuo skaitmeniniu nivelyru yra visiškai nesudėtingi ir palyginus gana lengvi. Norint atlikti matavimus TOPCON DL – 102C skaitmeniniu nivelyru, reikia pirmiausia susikurti savo darbą prietaise, į kurį bus surašyti visi matavimų duomenys. Vėliau yra svarbu prietaisą pamatuoti sferiniu gulsčiu. Po to, reikia vizuoti prietaiso žiūroną į pastatytą kodinę matuoklę ir nuspaušti šone esantį matavimo klavišą. Taip prietaiso ekrane atsiranda matavimų rezultatai, kurie gali būti kaupiami prietaiso atmintyje ar atminties kortoje, iš kurios vėliau galima duomenis persikelti į kompiuterį, o vėliau importuoti į reikiamą programinę įrangą.



3 pav. Nivelyro TOPCON DL-102C konstrukcija

Šiuo nivelyru galima atlikti gana tikslius matavimus. Tiesa, TOPCON DL-102C nusileidžia tikslumu šveicarų firmos Leica nivelyru Leica DNA 03, bet tai nesutrukdo atlikti tam tikro tikslumo reikalaujančius matavimus ir šiuo prietaisu.

Skaitmeninio niveliavimo metodų tikslumo tyrimai

Aukščių skirtumas tarp vertikaliojo tinklo punktų turi būti nustatomas geometrinio niveliavimu. Nivelyrai turi garantuoti ne didesnę kaip 0,5 mm du kartus niveliuoto vieno kilometro ilgio linijos aukščių skirtumų vidurkio vidutinę kvadratinę paklaidą pirmos klasės tinkle ir atitinkamai ne didesnę kaip 0,7 mm – antrosios klasės tinkle. Matuoklės turi būti išsisinės, invarine juoste, sferiniais gulsčiukais ir papadėmis bei juostelės jutikliais oro temperatūrai matuoti. Matuoklės yra statomos ant sukaltų į gruntą 30–60 cm ilgio metalinių kuolų, o esant asfalto ar betono dangai – ant 6–7 cm ilgio sukaltų plieninių vinių sferinėmis galvutėmis. Nivelyrų ir matuoklių sferiniai gulsčiukai turi būti tikrinami kasdien prieš matavimus. Nivelyro vizavimo ašies polinkio kampo reikšmės leistinumai tikrinami ne rečiau kaip vieną kartą per darbo savaitę.

Vertikaliojo tinklo punktų aukščių skirtumai matuojami tiesiogine ir atgaline kryptimis. Stočių skaičius tarp gretimų geodezinių punktų turi būti lyginis. Keičiant niveliavimo kryptį matuoklės turi būti sukeičiamos vietomis. Kuolai turi būti sukalti ne vėliau kaip prieš dvi valandas iki matavimų pradžios. Matuojant dvi stovo kojos turi būti statomos išilgai matavimo linijos, o trečioji – paeiliui iš kairės ir dešinės. Kiekvienoje stotyje nivelyrą būtina gulsčiuoti, žiūroną nukreipus į tą pačią matuoklę. Rodmenys fiksuojami ne mažesniu kaip 0,05 mm tikslumu. Du kartus išmatuotų aukščių skirtumų nesutapimas stotyje neturi viršyti 0,3 mm.

Kiekvienoje stotyje nustatomi atstumai iki ma-

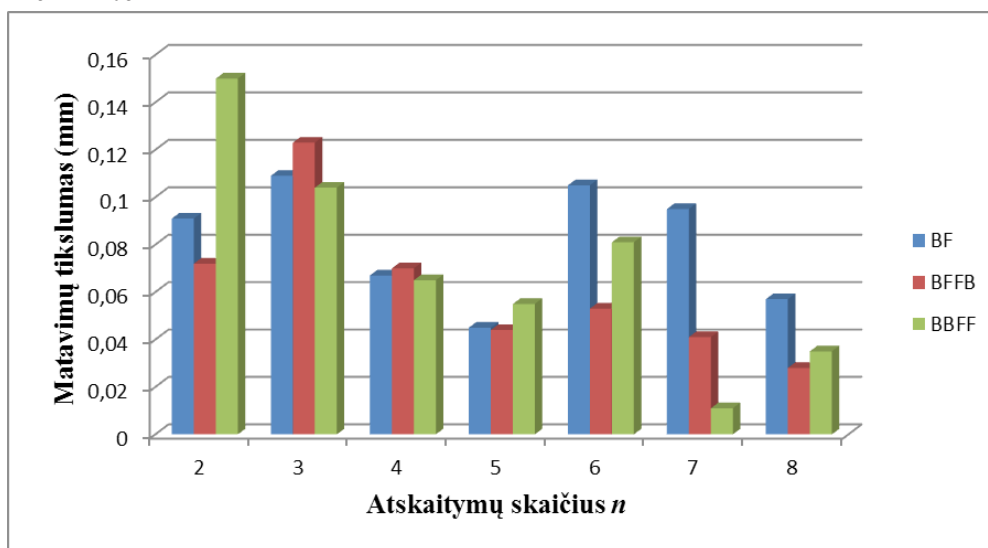
tuoklių ne mažesniu kaip 0,1 m tikslumu, o vizavimo spindulio ilgis neturi viršyti 50 metrų. Vizavimo spindulių ilgių skirtumas stotyje turi būti ne didesnis nei 0,5 m, o skirtumų susikaupimas tarp gretimų punktų ne didesnis nei 1,0 m.

Vizavimo spindulio atstumas nuo žemės paviršiaus ar kitų kliūčių turi būti ne mažesnis kaip 0,8 m. (Krikštaponis, 2001).

Pradėjus naudoti skaitmeninius nivelyrus, kurių laiką buvo abejojama gautų rezultatų tikslumu. Atlikus detalius laboratorinius ir gamybinius tyrimus paaiškėjo, kad matavimų tikslumą apibūdinančios skaitmeninių nivelyrų ir matuoklių instrumentinės paklaidos prilygsta analoginių optinių nivelyrų paklaidoms. Šios išvados taikytinos prietaiso paklaidoms. Tačiau skaitmeninių nivelyrų konstruktorių numatytas matavimų eiliškumas dirbant stotyje yra kitoks nei per daugelį metų nusistovėjęs, praktiškai patikrintas, reglamentuojamas niveliavimo instrukcijose, normose ir reikalavimuose darbas su analoginiais optiniais nivelyrais.

Matavimų tvarkos pakeitimas gali turėti įtakos sistemingųjų paklaidų, susijusių su matavimo aplinkos pokyčiais, padidėjimu. Matavimų aplinkos pokyčiais yra laikomas pastatyto ant stovo nivelyro ir matuoklių nepastovumas. Matuoklių svorio veikiami kuolai bei nuo nivelyro svorio stovas matavimo metu gali keisti padėtį vertikalioje plokštumoje (Krikštaponis, 2002).

Skaitmeniniame nivelyre TOPCON DL – 102C yra trys pagrindiniai niveliavimo būdai: BF, BFFB ir BBFF. Atliekant tyrimą buvo naudojamos dvi, nejudamai pastatytos matuoklės 30 m atstumu į abi puses nuo nivelyro. Toliau buvo atlikti matavimai keičiant režimus pagal atskaitymų skaičių n . Atskaitymų skaičius n buvo keistas kiekviename matavimų režime nuo 2 iki 8 kartų, niveliuojant tą pačią stotį vienodomis matavimų sąlygomis, atliekant po 4 matavimus kiekviename matavimų cikle.



4 pav. Matavimo būdų tikslumo grafinė išraiška

4 paveiksle yra pateikiami apskaičiuoti matavimų tikslumas pagal atskaitymų skaičių n, kurie buvo gauti pritaikant nivelyre TOPCON DL – 102C esančius niveliavimo metodus (BF;BFFB;BBFF).

Atlikus visų trijų metodų palyginamąją analizę akivaizdžiai yra matoma, jog matuojant BF (BF vid. kvad. paklaida, kai n=2, 0.091 mm; kai n=3, 0.109mm, kai n=4, 0.067mm; kai n=5, 0.045mm; kai n=6, 0.105mm; kai n=7, 0.095mm; kai n=8, 0.057mm) ir BBFF (BBFF vid. kvad. paklaida, kai n=2, 0.150mm; kai n=3, 0.104mm, kai n=4, 0.065mm; kai n=5, 0.055mm; kai n=6, 0.081mm; kai n=7, 0.011mm; kai n=8, 0.035mm) metodais yra gaunami didesni nuokrypiai nuo aritmetinio vidurkio ir vidutinės kvadratinės paklaidos negu BFFB (BFFB vid. kvad. paklaida, kai n=2, 0.072mm; kai n=3, 0.123mm, kai n=4, 0.070mm; kai n=5, 0.044mm; kai n=6, 0.053mm; kai n=7, 0.041mm; kai n=8, 0.028mm) metodu.

Didžiausi nuokrypiai matuojant BF metodu yra gaunami, kai n<7 (siekia iki 0,109 mm), o kai n>7 matavimų tikslumas didėja (nuo 0,057 ir aukštytyn). Matuojant BBFF metodu didžiausi nuokrypiai yra gaunami taip pat, kai n<7 (siekia iki 0,150 mm), o kai n>7 matavimų kokybė didėja (nuo 0,035 ir aukštytyn).

Didžiausias tikslumas yra gaunamas matuojant BFFB niveliavimo metodu. Čia didžiausi nuokrypiai yra, kai n<6 (siekia iki 0,123 mm), o didinant atskaitymų skaičių nuokrypiai palaipsniui mažėja.

Skaitmeninio niveliavimo atstumo iki matuoklių tikslumo tyrimai

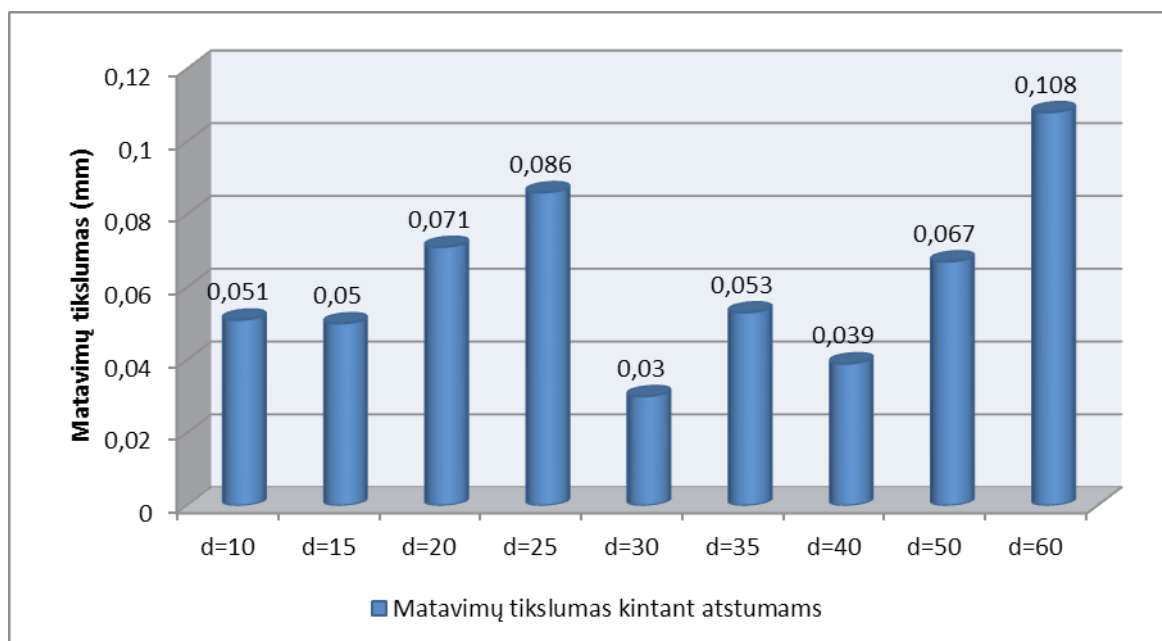
Skaitmeniniais nivelyrais TOPCON DL – 102C

galima naudoti norimą (1 ÷ 99) atskaitymų kodinėje matuoklėje skaičių. Iš šių atskaitymų gaunama galutinė matuoklės atskaita. Yra atlikti tyrimai, tačiau nėra nustatyta, koks atskaitymų skaičius yra optimalus ir kaip kinta atskaitos tikslumas dėl atskaitymų skaičiaus (Krikštaponis, 2011, 2002, Rekus, 2010).

Atliekant skaitmeninio niveliavimo iki matuoklių tikslumo tyrimą nivelyru TOPCON DL – 102C, prietaiso gamintojas teigia, jog galima vizuoti į matuokles, kurios yra nutolusios nuo nivelyro nuo 2 iki 60 metrų atstumu. Norėdami tuo įsitikinti, pasirinkome 120 metrų ilgio bazę, kurioje būtų kuo mažiau judėjimo ir kitokių pašalinių veiksnių. Pirmiausia buvo pasirinkta vieta, kurioje bus pastatytas skaitmeninis nivelyras, kadangi jis bus nejudinamas viso matavimo metu. Vieta buvo parinkta atvira, kad prietaisas laisvai galėtų „matyti“ abi matuokles, jas pastatius didžiausiu reikiamu atstumu, t.y. po 60 metrų nuo nivelyro į abi puses, toje pačioje atkarpoje. Toliau ruletės pagalba buvo matuojami reikiami atstumai nuo skaitmeninio nivelyro, tiek į vieną, tiek į kitą puses toje pačioje atkarpoje ir nejudamai statomos invarinės matuoklės. Atskaitant atskaitas matuoklėje, buvo atlikta po 8 matavimus kiekvienam pasirinktam atstumui.

Matuoklės nuo skaitmeninio nivelyro buvo nutolusios tokiais nuotoliais: 10 m; 15 m; 20 m; 25 m; 30 m; 35 m; 40 m; 50 m; 60 m. Skaitmeninio niveliavimo atstumo iki matuoklių tikslumo įvertinimui buvo pasirinktas atskaitymų skaičius 5 ir naudotas BFFB niveliavimo metodas.

5 paveiksle yra pateikti suvestiniai eksperimentinių matavimų tikslumo rodikliai, kurie buvo apskaičiuoti iš gautų matavimų duomenų.



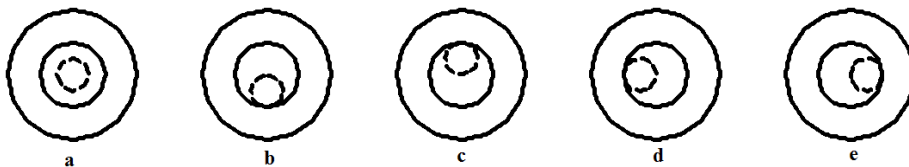
5 pav. Matavimų tikslumas kintant atstumams

Atlikę gautų rezultatų analizę pasitelkiant grafinę išraišką pastebėjome, jog nepriklausomai nuo atstumo, ilgio matavimų tikslumas keičiasi, bet vis dėlto išlieka tendencija, kad kuo labiau pasirinktas atstumas priartėja prie prietaiso galimybių ribos, tuo matavimai darosi netikslesni. Kadangi buvo matuota prietaisu, kurio maksimalus matavimų atstumas yra 60 metrų, tai tokiam atstumui vidutinė kvadratinė paklaida buvo net 0,108 mm, o tai nėra labai gerai. Optimaliausias variantas yra pasirinkti matavimo prietaiso galimybių vidurį. Kaip rodo diagrama, pasirinkus prietaiso galimybių vidurį, yra gaunamas tiksliausias rezultatas, šiuo atveju, matuojant skaitmeniniu nivelyru TOPCON DL – 102C,

tai būtų 30 metrų ir vidutinė kvadratinė paklaida yra tikrai 0,03 mm. Visais kitais pasirinktais atstumais ($d=10$; $d=15$; $d=20$; $d=25$; $d=35$; $d=40$; $d=50$) vidutinė kvadratinė paklaida svyravo per $\sim 0,02$ mm.

Skaitmeninio nivelyro nevisiškos kompensacijos tyrimas

Nivelyro nevisiška kompensacija tiriama niveliuojant tą pačią stotį gulsčiuku nustatytu ir pakrypusiu nivelyru. Tam tikslui nivelyras yra statomas viduryje tarp matuoklių, pastatytų ant sukaltų kuolų. Tada matuojamas aukščių skirtumas (6 paveikslas).



6 pav. Sferinio gulsčiuuko burbulėlio padėtys tiriant nivelyro kompensatorių: a – burbulėlis ampulės viduryje, b ir c – esant išilginiam pokrypiui, d ir e – esant skersiniam pokrypiui

Pirmosios klasės niveliacijai skirto nivelyro aukščių skirtumo vidurkių Δh neturi viršyti 0,5 mm arba 0,05 mm vienai gulsčiuuko posvyrio minūtei (Krikštaponis, 2002).

Nevisiška nivelyro posvyrio kompensacija tirta, kai atstumas nuo prietaiso iki matuoklių buvo 30 metrų. Skaitmeniniais nivelyrais gaunama atskaita yra kelių (šiuo atveju 5) atskaitų vidurkis. Iš viso daryti keturi matavimo ruožtai.

Pasirinktos atkarpos pradžioje ir pabaigoje buvo pastatytos matuoklės, o per vidurį skaitmeninis nivelyras TOPCON DL – 102C, kuris pradžioje buvo nustatytas taip, jog sferinio gulsčiuuko burbulėlis būtų ampulės viduryje.

Nustatytu prietaisu atlikus reikiamus matavi-

mus, buvo pakeistas prietaiso pokrypis į skersinį, tai yra pakreipus prietaisą į kairę pusę, o vėliau į priešingą – dešinę pusę. Atlikus reikiamus matavimus skersiniu pokrypiu, buvo pakeista gulsčiuuko padėtis į išilginį pokrypį, vadinasi, prietaisas turėjo būti pakreiptas atgal, o po to į priekį. Tokiu principu buvo atlikti visi keturi matavimai.

Matavimų rezultatai yra pateikti 1 lentelėje. Lentelėje yra pateikti apskaičiuoti aukščių skirtumų vidurkiai ir tų vidurkių skirtumai Δh nuo vidutinio aukščių skirtumo, gauto esant sferinio gulsčiuuko burbulėliui ampulės viduryje. Visi šie skaitmeninio nivelyro nevisiškos kompensacijos tikslumo tyrimai buvo atlikti skaitmeniniu nivelyru TOPCON DL – 102C, kurio numeris yra: 01632176.

1 lentelė. Nivelyro posvyrio nevisiškos kompensacijos tyrimas

Ruožto Nr.	Aukščių skirtumas (m)				
	Esant burbulėliui viduryje	Esant išilginiam pokrypiui		Esant skersiniam pokrypiui	
		-5	+5	-5	+5
	s = 30m				
1	-0,01248	-0,01298	-0,01184	-0,01228	-0,01250
2	-0,01246	-0,01298	-0,01192	-0,01252	-0,01256
3	-0,01258	-0,01312	-0,01194	-0,01242	-0,01264
4	-0,01254	-0,01302	-0,01178	-0,01228	-0,01262
5	-0,01230	-0,01314	-0,01184	-0,01240	-0,01264
Vidurkis (m)	-0,01247	-0,01305	-0,01186	-0,01238	-0,01259
Δh (mm)		0,58	-0,61	-0,09	0,12

Nivelyro Nr. 01632176

Norint sužinoti ir palyginti nivelyro posvyrio nevisiškos kompensacijos tyrimo rezultatus apskaičiuoti aukščių skirtumų vidurkiai ir tų vidurkių skirtumai Δh . Iš rezultatų matyti, kad didžiausi aukščių skirtumų vidurkiai buvo esant išilginiam pokrypiui +5 (kai skaitmeninis nivelyras buvo pakreiptas atgal). Mažiausi aukščių skirtumų vidurkiai (iki -0,09 mm) buvo esant skersiniam pokrypiui -5 (kai skaitmeninis nivelyras buvo pakreiptas į dešinę pusę).

Atlikus skaitmeninio nivelyro nevisiškos kompensacijos tikslumo tyrimą nustatyta, kad šie TOPCON DL – 102C skaitmeniniai nivelyrai tenkina pirmos klasės prietaisui iškeltą sąlygą.

Šis skaitmeninio nivelyro nevisiškos kompensacijos tikslumo tyrimas nėra pirmas, kuris buvo atliktas. Anksčiau tokie tyrimai taip pat buvo atliekami, apdorojami gautų matavimų rezultatai, stebimi vidurkių skirtumo pokyčiai, kai sferinio gulsčiuoko burbulėlis būna išplaukęs į kairę arba dešinę pusę bei aukštyrą ar žemyn nuo centro.

Palyginus gautus rezultatus su anksčiau atliktais tyrimais, kuriuos atliko D. Rekus ir Č. Aksamitauskas (2010), nivelyro aukščių skirtumo vidurkiai Δh neviršija 0,5 mm arba 0,05 mm vienai gulsčiuoko posvyrio minutei. Šiuo atveju leistinumai yra viršytas, tačiau tam įtakos galėjo turėti matuoklės, kadangi jos dėvėsi, ilgainiui silpnėja matuoklių šarnyrai, kurie jungia niveliavimo matuoklės sekcijas.

Išvados

1. Atliekant matavimo darbus skaitmeniniais nivelyrais bei kodinėmis matuoklėmis, atsiranda specifinių paklaidų šaltinių, kuriuos reikia ištirti atidžiau.
2. Atlikus skaitmeninio niveliavimo matavimo metodų tikslumo tyrimus, nustatyta, kad geriausi matavimo rodikliai gaunami pasirinkus matavimo būdą BFFB, nes matuojant šiuo būdu gaunami mažiausi nuokrypiai nuo aritmetinio vidurkio ir vidutinės kvadratinės paklaidos. Didžiausi nuokrypiai gauti niveliuojant šiuo metodu yra, kai atskaitymų skaičius būna $n < 6$ (siekia iki 0,123 mm), o didinant atskaitymų skaičių nuokrypiai palaipsniui mažėja ir gali būti 0,028 mm ar dar mažesni. Didžiausi nuokrypiai matuojant BF metodu yra gaunami, kai $n < 7$ (siekia iki 0,109 mm), o kai $n > 7$ matavimų tikslumas didėja (nuo 0,057 mm ir gerėja). Matuojant BBFF metodu didžiausi nuokrypiai yra gaunami taip pat, kai $n < 7$ (siekia iki 0,150 mm), o kai $n > 7$ matavimų kokybė didėja (nuo 0,035 mm ir gerėja).
3. Atlikus skaitmeninio niveliavimo atstumo iki matuoklių tikslumo tyrimus, nustatyta, kad didžiausi netikslumai yra, kai matuoklės būna pastatytos 60 metrų atstumu nuo prietaiso, o vidutinė kvadratinė paklaida siekia net iki 0,108 mm. Mažiausia vidutinė kvadratinė paklaida

buvo gauta, kai matuoklės nuo nivelyro buvo pastatytos 30 metrų atstumu, ji buvo vos 0,03 mm. Visais kitais pasirinktais atstumais vidutinė kvadratinė paklaida svyravo per $\sim 0,02$ mm.

4. Atlikus skaitmeninio nivelyro nevisiškos kompensacijos tikslumo tyrimus bei palyginus gautus rezultatus su anksčiau tyrėjų gautais rezultatais, buvo nustatyta, jog didžiausi aukščių skirtumų vidurkiai yra esant išilginiam pokrypiui. Mažiausi aukščių skirtumų vidurkiai (iki -0,09 mm) buvo esant skersiniam pokrypiui -5 (kai skaitmeninis nivelyras buvo pakreiptas į dešinę pusę). Atlikus palyginimą su anksčiau tyrėjų gautais rezultatais nustatyta, jog tendencija išlieka ta pati ir didžiausi aukščių skirtumų vidurkiai būna esant išilginiam pokrypiui.

Literatūra

1. Andersson, B; Becker, J. M; Eriksson, P. O; Nordquist A. (1994). A new generation of levelling instruments: NA2000 and NA3000. International congress, Melbourne, Australia, p. 294–305.
2. Becker, J. M. (1999). History and evolution of height determination techniques especially in Sweden // Geodesy Surveying in the Future, The Importance of Heights, Gävle, Sweden, 15-17th of March, p. 43–57.
3. Ingensand, H. (1999). The Evolution of digital levelling techniques – limitations and new solutions, “Geodesy Surveying in the Future”, 15–17th of March, Gävle, Sweden, 59–68.
4. Krikštaponis, B. (2001). Precizinio niveliavimo paklaidos ir jų įtaka matavimų rezultatams. Kvalifikaacinio mokslo darbo ataskaita / Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Geodezijos institutas, 60 p.
5. Krikštaponis, B. (2002). Skaitmeninio nivelyro Wild NA3003 atskaitos sistemos ypatumų tyrimai // Geodezija ir kartografija. XXVIII t., Nr. 2. V.: Technika, p. 39–44.
6. Krikštaponis, B. (2001). Geodezinių vertikalinių tinklų sudarymo skaitmeniniais nivelyrais analizė. Daktaro disertacijos santrauka. V.: Technika, 36 p.
7. Rekus, D. (2010). Niveliavimo matuoklių skalių fotometrinių kalibravimas. Daktaro disertacija. V.: Technika, 80p.
8. Takalo, M. (1994). Determination of the accuracy of the Wild NA2000 using the method of simultaneous setup observations, Surveying Science in Finland 2(12): 38–50.
9. Takalo M. (1996). On the digital levelling instruments, Surveying Science in Finland 1(14): 69–85.
10. Takalo M. (1997). Experiences of Automated Calibration of Levelling Roads in Finland. Finnish Geodetic Institute. Helsinki. Surveying Science in Finland 2(12): p.17–37.
11. Rueger J., M. (2000). The Topcon DL- Digital level. The Australian Surveyor 45: 62–70.
12. Rueger J., M; Brunner, F. K. (2000). On system calibration and tape testing of digital levels. Zeitschrift

- fur Vermessungswesen 125: 120–130.
13. Skeivalas, J. (2010). Elektroniniai geodeziniai prietaisai. Vilnius: Technika, 193 p.

INVESTIGATIONS OF THE ACCURACY OF DIGITAL LEVELLING USING DIGITAL LEVELS

Summary

In this paper the following investigations were made while using digital level: investigation of the accuracy of digital levelling methods and the comparable analysis of the results; investigation of the accuracy of the digital levelling distance towards measuring instrument and the results of the analysis; investigation of the accuracy of the partial digital level compensation and the results of this research were compared with those made by other researchers of digital levelling. All the results were processed and the analysis was performed. In this paper theoretical knowledge was applied, experiment was carried out by applying deduction accuracy analysis principle of *TOPCON DL-102C* and by carrying out comparative measurements of accuracy determination.

After carrying out the research of measuring methods of digital levelling it was established that the deflections made by levelling with *BFFB* method were the biggest when the number of readings is $n < 6$ (reaches up to 0,123 mm). Deflections decrease while increasing the number of deductions and can reach up to 0,028 mm and less. The biggest deflections while levelling with *BF* method can occur when number n is less than 7 (reaches up to 0,109 mm). The accuracy of the measurements increases (0,057 mm and up) when number n is bigger than 7. The same is when measuring with *BBFF* method: the biggest deflections are when number n is less than 7 (deflections reach up to 0,150 mm), and when n is more than 7 the quality of the measurements increases (0,035 mm and more).

After carrying out the research of the accuracy of digital levelling distance towards measuring instrument it was concluded that the biggest inaccuracy occurs when staff is positioned at 60 metres from the device and the mean squared error reaches up to 0,108 mm. The smallest mean square error (only 0,03 mm) was calculated when staff was positioned at 30 meters from the level. In case of all other chosen distances mean square error fluctuated by $\sim 0,02$ mm.

The research of not full compensation accuracy and its results compared with previous ones showed that the biggest averages of height differences are in the case of lengthwise inclination. The smallest averages of height differences were observed when the transverse inclination was -5 (when a digital level was tilted to the right). After the comparison of the results of the research it can be concluded that tendency remains the same and the biggest averages of height differences are when lengthwise inclination is observed.

Keywords: digital levelling, digital level, error of levelling, accuracy.

Informacija apie autorius:

Doc. dr. **Donatas REKUS**. Technologijos mokslų srities, Matavimų inžinerijos mokslų krypties (10T) daktaras. Kauno kolegijos, Kraštotvarkos fakulteto, Geodezijos katedros absolventas. Dabar Technologijų ir Kraštotvarkos fakulteto, Geodezijos katedros dėstytojas. Mokslinių tyrimų interesų sritis: geodezinių prietaisų tikslumo tyrimai ir matavimo metodikos tobulinimas. Adresas: Technologijų ir Kraštotvarkos fakultetas, Geodezijos katedra, Pramonės pr.20-118 kab., Kaunas. El.paštas: donatas.rekus@go.kauko.lt

Robertas ALIŠAUSKAS. Technologijų ir Kraštotvarkos fakulteto, Geodezijos katedros absolventas. Mokslinių tyrimų interesų sritis: geodezinių prietaisų tikslumo tyrimai ir matavimo metodikos tobulinimas. El. paštas: alisauskas.robortas@gmail.com