

# ĮVAIRIŲ GEODEZINIŲ METODŲ PANAUDOJIMO KELIŲ AUKŠČIŲ MATAVIMAMS ANALIZĖ

Donatas Rekus<sup>1</sup>, Jurgis Krilavičius<sup>1</sup>, Vilma Kriaučiūnaitė-Neklejonovienė<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kauno kolegija, <sup>2</sup> Kauno Technologijos universitetas

**Anotacija.** Keliai ir gatvės yra vienas svarbiausių infrastruktūros objektų, todėl labai svarbu juos tiksliai įrengti ir atlikti jų išpildomąsias geodezines nuotraukas. Norint kokybiškai ir efektyviai atlikti šiuos darbus, reikia įvertinti šiems darbams naudojamų geodezinių metodų bei naudojamų prietaisų privalumus ir trūkumus. Matuojant kelio aukščius neišvengiamos aukščių matavimo paklaidos, kurios daro įtaką kelio konstrukcijų storiui. Konstrukcijų storis daro įtaką viso kelio stiprumui, ilgaamžiškumui ir jo kainai. Pagrindinis šio tyrimo tikslas yra pasirinktame kelio atkarpos ruože atlikti kelio piketų aukščių matavimus naudojant įvairius geodezinius matavimo metodus bei prietaisus, atlikti jų tikslumo analizę. Šiame straipsnyje analizuojami geometrinio niveliavimo, GPNS, trigonometrinio niveliavimo bei fotogrametrinis aukščių nustatymo metodai, aprašyti kiekvieno metodo privalumai ir trūkumai matuojant kelio aukščius. Taip pat pateikta informacija apie šių metodų technologines ypatybes, efektyvumą ir galimybes. Matavimų ir analizės metu buvo tiriamos kelio aukščių paklaidos ir galimos jų atsiradimo priežastys. Gauti matavimų ir analizės rezultatai parodė, kuris iš naudotų metodų yra tiksliausias, greičiausias, kuriam reikia mažiausiai žmogiškųjų resursų, taip pat atskleidė naujų technologijų panaudojimą kelių matavimams. Analizės ir matavimų metu buvo nustatyta, kad geometrinis niveliavimo metodas yra pats tiksliausias naudojant šiuolaikinius skaitmeninius nivelyrus. GPNS ir trigonometrinis niveliavimo metodai tikslumo atžvilgiu labai panašūs. Fotogrametrinio niveliavimo metodo naudojant droną tikslumas yra mažesnis už anksčiau minėtus metodus. Tam turėjo įtakos prietaiso techninės charakteristikos, naudota programinė įranga. Išanalizavus geometrinio niveliavimo, GPNS, trigonometrinio niveliavimo, fotogrametrinio (drono) aukščių matavimų metodus, pastebėta, kad nors jie yra skirtingi, tačiau pritaikomumas matuojant kelio aukščius yra galimas specialiose kelio darbų fazėse ar pasirenkamumas priklausytų nuo matavimų reikalaujamo tikslumo bei tinkamumo. Geometrinis niveliavimas labiausiai tinkamas tiksliam aukščių nustatymui. GPNS ir trigonometrinis metodai tinkamesni taško pozicijai nustatyti. Fotogrametrinis (drono) metodas tinkamesnis statybinių medžiagų (gamybinėse bazėse, karjeruose ir kt.) kiekiui skaičiuoti.

**Raktiniai žodžiai:** kelių aukščių matavimai, niveliavimas, paklaida.

## Įvadas

Šiuolaikinė geodezija apima nemažai sričių: žemėlapių sudarymą, kadastrinius matavimus, pastatų statybą, kelių tiesimą, navigaciją, archeologiją ir kt. Vystantis ir tobulėjant žmonijos pasiekimams kartu tobulėjo ir geodezijos mokslas. Atsirandant naujoms matavimų technologijoms, kuriami nauji ir tobulinami senesni geodeziniai prietaisai.

Plečiant kelių infrastruktūrą reikia vis tiksliau atlikti statybos, žymėjimo bei kitus įvairius inžinerinius geodezinius matavimo darbus, kuriems reikalingi šiuolaikiniai matavimo prietaisai bei technologijos. Kelių statyboje vienas iš svarbiausių uždavinių yra kelio trasos, jos konstrukcijų, požeminių komunikacijų niveliavimas (aukščių nustatymas). Niveliavimas – tai aukščio nustatymo procesas, kurio metu yra nustatomas aukščių skirtumas tarp skirtingų vietovės taškų. Niveliavimui naudojami optiniai bei skaitmeniniai nivelyrai, tačiau taško aukštį galima nustatyti naudojant ir kitus geodezinius prietaisus: tacheometrą, GPS imtuvą su programine įranga, bepilotį skraidantį aparatą (droną) su programine įranga.

Keliai ir gatvės yra vienas svarbiausių infrastruktūros objektų, todėl labai svarbu juos tiksliai įrengti ir atlikti jų išpildomąsias geodezines nuotraukas. Norint kokybiškai ir efektyviai atlikti

šiuos darbus, reikia įvertinti šiems darbams naudojamų geodezinių metodų, naudojamų prietaisų privalumus ir trūkumus. Matuojant kelio aukščius neišvengiamos aukščių matavimo paklaidos, kurios daro įtaką kelio konstrukcijų storiui. Konstrukcijų storis daro įtaką viso kelio stiprumui, ilgaamžiškumui ir jo kainai. Pagrindinis šio tyrimo tikslas yra pasirinktame kelio atkarpos ruože atlikti kelio piketų aukščių matavimus naudojant įvairius geodezinius matavimo metodus bei prietaisus, atlikti jų tikslumo analizę.

Šiame straipsnyje analizuojami geometrinio niveliavimo, GPS, trigonometrinio niveliavimo bei fotogrametrinis aukščių nustatymo metodai, aprašyti kiekvieno metodo privalumai ir trūkumai matuojant kelio aukščius. Taip pat pateikta informacija apie šių metodų technologines ypatybes, efektyvumą ir galimybes. Matavimų ir analizės metu buvo tiriamos kelio aukščių paklaidos ir galimos jų atsiradimo priežastys.

Šiame straipsnyje tyrimams buvo naudotos pačios naujausios kelių aukščių matavimų technologijos, prietaisai: skaitmeninis nivelyras *GeoMax ZDL 700*, elektroninis tacheometras *Leica TCRP1205+ R400*, GPS imtuvas *GeoMax Zenith35 Pro* ir bepilotis orlaivis *DJI Inspire 1V2.0*.

## Aukščių matavimo metodika bei būdai

Didelė pažanga niveliavimo technologijoje pasiekta išradus naujus prietaisus – skaitmeninius nivelyrus. Jie 1990 m. sukurti Šveicarijoje. Skaitmeninių nivelyrų veikimo principas pagrįstas kodinių matuoklių vaizdo apdorojimu. Skaitmeninių nivelyrų privalumas (automatinis atskaitų kodinėse matuoklėse atskaičiavimas, registravimas ir saugojimas prietaiso atminties bloke, matavimų niveliavimo stotyje kontrolė pagal pasirinktas tolerancijas, pirminis rezultatų apdorojimas ir t. t.), skaitmeninių nivelyrų trūkumai pastebimi tik atliekant daug gamybinių matavimų, todėl būtini konkrečių modelių skaitmeninių nivelyrų ir kodinių matuoklių tikslumo, techninių, geometrinių ir metrologinių parametrų stabilumo tyrimai. Preciziniam niveliavimui taikant skaitmeninius nivelyrus, reikia įvertinti papildomai veikiančius specifinius paklaidų šaltinius, dėl kurių keičiasi niveliavimo metodika. Užsienio ir Lietuvos specialistams 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 reglamentuojama dirbant su analoginiais optiniais nivelyrais. Dėl šios priežasties padidėja sistemingųjų paklaidų įtaka, pasireiškianti nemaža teigiama aukščių skirtumų, gautų atliekant dvipusį (tiesioginį ir atgalinį) niveliavimą, nesutapimų sankaupa ilgose niveliacijos linijose, (Krištaponis, Tumelienė, Rekus, 2005).

Matavimams naudojant skaitmeninius nivelyrus dalyvauja visa sistema. Šią sistemą sudaro: skaitmeninio nivelyro kamera, brūkšninė kodinė matuoklė ir programinė įranga. Esant pažeistiems sistemos komponentams gaunamos klaidingos atskaitos, nes šie defektai daro įtaką matavimo procesams. Dėl šios priežasties tikslinga atlikti vientisos sistemos (bendrai nivelyro ir matuoklių) kalibravimą.

Kitas alternatyvus aukščių matavimo metodas yra matavimams pasitelkiant dirbtinius navigacinius Žemės palydovus. *GPS* (angl. *Global position system*) – pasaulinė geografinės padėties nustatymo sistema, leidžianti gauti objekto koordinatas bet kuriame Žemės paviršiaus ar jos atmosferos taške.

Kiekvienas *GPS* palydovas radijo signalais į Žemę perduoda informaciją apie savo buvimo vietą (koordinatas), tikslų laiką ir identifikavimo kodą. Žemėje *GPS* signalą priima *GPS* imtuvas. *GPS* imtuvą paprastai sudaro dvi pagrindinės dalys –

pagrindinis imtuvo mazgas (*GPS engine*) ir vartotojiška taikomoji programa.

*GPS* imtuvas priima signalus iš 3–5 artimiausių *GPS* palydovų, esančių tiesioginio matomumo zonoje. Mažiausias stebimų palydovų kiekis – 3. Po to algoritmais apdoroja gautus signalus ir pateikia tokias vartotojo buvimo vietos koordinatas:

- platumą;
- ilgumą;
- aukštį virš jūros lygio;
- judėjimo greitį;
- judėjimo kryptį;
- grafinę ir tekstinę informaciją vartotojui pateikiama į ekraną. (prieiga per internetą <http://www.gpsmeistras.lt/lt/informacija...> žiūrėta 2017 m. gruodžio 19 d.).

Gaunamus signalus iš palydovų gali vėlinti jonosfera ir troposfera. Ir jonosferoje, ir troposferoje *GPS* signalai lūžta, *GPS* signalo greitis skiriasi nuo greičio vakuume. Kad duomenys, gaunami iš *GPS* palydovų, būtų tikslesni, su ženkliai mažesnėmis paklaidomis, *GPS* signalą Lietuvos teritorijoje apdoroja Lietuvos *GPS* stočių tinklas *LitPOS*.

Kelių statyboje *GPS* prietaisai naudojami plačiai, kelio projektinių koordinačių bei aukščių nužymėjimui, išpildomųjų geodezinių nuotraukų sudarymui. Vis daugiau *GPS* sistema diegiama į savaeigius, kelių tiesimui naudojamus mechanizmus (buldozerius, greiderius, ekskavatorius, asfalto klotuvus ir kt.), kurie užprogramuojami esamo projekto duomenims ir atlieka darbus patys su minimalia mechanizmo operatoriaus įtaka. Taip pat naudojant *GPS* prietaisą galima greita objektų kontrolė (patikrinti, ar esami konstrukcijų aukščiai atitinka projektinius aukščius).

Kitas tyrimuose naudotas aukščių matavimo metodas yra trigonometrinis niveliavimas. Skaitmeniniai trigonometriniai matavimai – tai nesudėtingų ir greitų matavimų visuma, kai matuojamas horizontalus ir vertikalus atstumas. Tokiu būdu randama matuojamo taško planinė padėtis ir aukštis, netaikant sudėtingų kameralinių skaičiavimų (ne automatizuotų) ar palydovinių signalų perdavimų.

Matavimo taškai, vadinami piketais, jų planinės padėties nustatymas atliekamas polinių koordinačių metodu, o aukščiai nustatomi trigonometrinio niveliavimo metodu pagal vertikalųjį kampą ir tolimatinį atstumą, arba niveliuojant tacheometro horizontaliu spinduliu (Balevičius, 2008; Krištaponis, 2012).

Pagrindinis trigonometrinio (tacheometrinio) metodo pranašumas toks, jog galimi matavimai vietose, kur negalimas palydovinis ryšys (uždarose patalpose ar tankiuose miškuose). Šis metodas naudojamas matuojant nedidelius objektus, kai kitų matavimo metodų neįmanoma panaudoti arba

ekonomiškai nenaudinga. Pagal dr. Krištonio aprašytus tyrimus, pagrindinis tokių matavimų trūkumas – „kameraliai sudaromo plano dažnai negalima palyginti su vietove, todėl būna praleidžiamos kai kurios detalės arba iškreipiamas reljefas“.

Kartu su visais anksčiau analizuotais metodais dar yra naudojamas fotogrametrinis. Fotogrametrija – mokslas, nagrinėjantis objektų formos, dydžio ir padėties nustatymo metodus naudojantis jų fotografijomis. Aerofotografiniai ir kosminiai vaizdai yra vieni svarbiausių ir pagrindinių informacijos apie Žemės paviršių ir jame esančių objektų rinkimo priemonių.

Aerofotografinių skaitmeninių vaizdų kokybės gerinimui ir vaizdinės informacijos automatiniam apdorojimui taikomi vaizdų apdorojimo metodai. Šiais metodais keičiamos nuotraukų charakteristikos, o kompiuterinės regos (matymo) principais fotografiniuose vaizduose atpažįstami taškai.

- Skaitmeninių vaizdų apdorojimo procesai:
- gavyba – tai aukštos kokybės fotografinio vaizdo sukūrimas,
- išsaugojimas ir suglaudėjimas – labai didelės apimties skaitmeninių vaizdų pertvarkymas, sumažinant jų užimamos kompiuterinės atminties talpą,
- radiometrinių savybių gerinimas – fotografinių vaizdų spalvinės sklaidos vienodinimas,
- glodinimas – atsitiktinių vaizdo „šiukšlių“ ar „triukšmų“ šalinimas, vaizdų kraštų išryškėjimas,
- segmentavimas – vaizdų išskaidymas, apibrėžiant segmentų ribas,
- vizualizavimas – vaizdų pateikimas, (Ruzgienė, 2008, 2010).
- Lietuvoje ir visame pasaulyje dideliu tempu tobulinamos naujosios technologijos, kurios padidina darbo našumą. Lietuvoje populiarėjant dronams (bepiločiams skraidymo aparatams), su kuriais šiuo metu dažniausiai dirba žurnalistai bei fotografai, nes lengviau pasiekti vietas, kurias fiziškai ar laiko atžvilgiu nepatogu pasiekti. Tačiau palapsniui dronai žengia ir į geodezijos sritį pakeisdami didžiulius orlaivius, sraigasparnius ir sudėtingų konstrukcijų fotokameras.

Pagal Tito Deveikio straipsnį, matavimai su dronu yra kiek kitokie, negalima visiškai atsiriboti nuo GPS imtuvo, siekiant kuo didesnio tikslumo. Matavimo objektas turėtų būti neapaugęs krūmais, medžiais, neturėtų būti apstatytas aukštais pastatais, tai yra vieni iš pagrindinių matavimų kriterijų matuojant su dronu (Deveikis, 2015). Programoje suplanuojamas skrydžio maršrutas, nustatoma, kaip dronas apskris

objektą, kokiam aukštyje jis skris ir kas kiek laiko bus atliekamas objekto fotografavimas. Titas Deveikis teigia, kad su dronu galima matuoti apie 10–12 minučių. Per tą laiką apskriejama 3–4 ha plotas ir nufotografuojama apie 150 nuotraukų, (Deveikis, 2015).

Nuotraukos fotografuojamos fotokamera, kuri pritvirtinta prie drono dugno. Tvirtinimui naudojamas gimbalas. Gimbalas – tai kameros valdymui skirtas prietaisas, kuris yra tvirtinamas ant drono dugno, o ant jo uždedama fotokamera. Paprasčiausias gimbalas turi tik vieną judėjimo ašį, kokybiškas ir matavimams pats tinkamiausias ir patogiausias turi 3 judėjimo ašis. Atrinktos nuotraukos sukeliama į programą, kurioje visos yra sugeneruojamos. Jeigu fotoaparatas yra be įmontuoto GPS vietos nustatymo sistemos, tuomet reikia pažymėti keletą papildomų taškų (kontūrženkių). To reikia siekiant gauti kuo geresnį tikslumą. Sugeneravus taškų debesį, gaunamas vertekšų tinklėlis, jame yra gauto objekto aukščiai. Matavimų tikslumas priklauso nuo ant drono pritvirtintos fotokameros: kuo kameroje daugiau pikselių, tuo vaizdas yra geresnis, tankesnis taškų debesies, mažesnės paklaidos atlikus nuotraukų apdorojimą. Didelis privalumas, jei fotokamera gali fokusuoti vaizdus, kol dronas skrenda, tuomet ir matavimų spartumas padidėja.



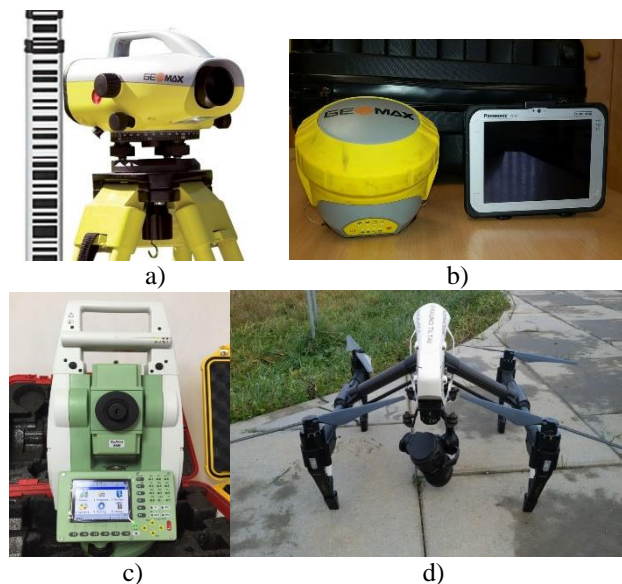
1 pav. Kontūrženklis naudojamas matuojant aukščius dronu.

Fotogrametrijos metodas naudojamas kelių matavimuose naudojant dronus. Kol kas tai naujovė. Kelininkai šiuo metodu dažniausiai naudojami karjeruose, gamybinių bazių teritorijose, didelio masto objektuose sukrautų statybinių medžiagų kiekiui matuoti ir apskaičiuoti. Taip pat matuojant iškasto grunto kiekį galima greitai pamatuoti paklotų kelio konstrukcijų plotus. Naudojant šį metodą galimas ir norimo taško aukščio radimas.

## Įvairių geodezinių metodų panaudojimas aukščių matavimams bei tikslumo tyrimai

Aukščių tikslumo tyrimo matavimams atlikti buvo panaudoti keturi skirtingų matavimo tipų geodeziniai prietaisai:

- Skaitmeninis nivelyras GeoMax ZDL 700.
- GPS (GNSS) imtuvas GeoMax Zenith35 Pro.
- Elektroninis tachometras Leica TCRP1205.
- Dronas DJI Inspire 1V2.0.



**2 pav.** Geodeziniai prietaisai naudoti aukščių matavimo tyrime (a-skaitmeninis nivelyras; b-GPS imtuvas; c-Elektroninis tacheometras; d-dronas)

Matavimams pasirinkta kelio atkarpa nėra sudėtinga: atvira, neužstatyta teritorija, be krūmų ir medžių, kurie gali trukdyti atliekant matavimus. Šalia matuojamo kelio yra įrengtas valstybinis GPS antros klasės punktas, kuris yra pavaizduotas 3 paveiksle.



**3 pav.** GPS punkto ženklas (Prieiga per internetą <http://www.qrz.lt> žiūrėta 2018 m. rugpjūčio 13 d.)

Matavimams buvo pasirinkta Lietuvos rajoninio kelio Nr. 1918 [Palemonas–Neveronys–Ramučiai](#) 700 metrų atkarpa (žalia spalva), 4 paveiksle. Kelias yra Kauno rajono savivaldybėje Karmėlavos ir Neveronių seniūnijose, jo ilgis 5,9 km. Kelias su asfaltbetonio danga. Kelias prasideda nuo greitkelio Vilnius–Kaunas–Klaipėda 88-ojo kilometro. Jis jungia greitkelį su Palemono ir Neveronių gyvenvietėmis.

Per Neveronis kelias eina kaip Keramikų gatvė, toliau kelias tęsiasi per [Pabiržio](#) kaimą, kirtęs Karmėlavos mišką, eina per [Sergeičikų](#) gyvenvietę. Už gyvenvietės kelias posūkyje išsišakoja į [Kauno LEZ](#) oro parko teritoriją, kita kelio atšaka nutiesta į [Ramučių](#) gyvenvietę (Davalgonių g.), kurioje kelias baigiasi sankryžoje su rajoniniu keliu Nr. 1919 Ramučiai – Martinava.

Matavimo darbų pradžioje skaitmeniniu nivelyru ir tacheometrui buvo patikrintos pagrindinės geometrinės sąlygos ir svarbiausia kolimacinė paklaida. GPS įranga buvo nustatyta 2 klasės punkto aukštis ir atliktas punkto niveliavimas su skaitmeniniu nivelyru ir tacheometru. Skaitmeninio nivelyro bei tacheometro paklaida buvo 1 mm. Dar prieš darbų pradžią 700 metrų pasirinkta kelio atkarpa buvo padalinta į 50 metrų smulkesnes atkarpas. Gauta 15 piketų, kuriuose ir buvo atliekami matavimai. Grafiškai nustatytos piketų koordinatės įrašytos į GPS prietaisą, juo vietovėje buvo nužymėta kelio ašis ir sukaltos nužymėjimo viny.

Naudojant skaitmeninį nivelyrą nuo 2 klasės geodezinio punkto 12-ame matuojamos kelio atkarpos pikete buvo įrengtas atskaitos taškas, kurio altitudė 76,857 m. Nuo šio taško buvo atliekamas kelio piketų niveliavimas. Skaitmeninio nivelyro *GeoMax ZDL 700* maksimalus matavimo atstumas 105 metrai, nivelyras buvo statomas atkarpų viduryje tarp piketų. Matuoklė statoma ant kelio dangoje įkaltų vinių ir buvo atliekami matavimai stotyje pirmyn–atgal, atgal–pirmyn. Atlikus visų piketų niveliavimą, didžiausia paklaida stotyse buvo 2 mm, niveliuota sudėtinio niveliavimo metodu. Niveliavimo pradžios ir pabaigos (tas pats piketas) piketuose gautas aukščių nesąryšis 0,001 m.

Gautos skaitmeninio niveliavimo piketų altitudės buvo prilygintos etaloniniam dydžiui bei pagal jas tikrintos altitudės gautos kitais geodeziniais matavimų metodais: elektroniniu tacheometru, GPS imtuvu bei dronu.



Matavimai su elektroniniu tacheometru *Leica TCRP1205+ R400* buvo atlikti iš vienos stoties, kuri buvo tarp 11 ir 12 piketų. Pasirinkus tokį būdą norėta patikrinti, kokia įtaka daroma matavimo duomenų paklaidoms esant didesniems atstumams ir didesniems matavimo kampams. Atlikus piketų niveliavimą su elektroniniu tacheometru buvo gauti piketų aukščiai, prie kurių buvo pridėta 3 mm minutės paklaida.

Gauti aukščiai buvo palyginti su išmatuotais aukščiais skaitmeniniu nivelyru. Apskaičiuojami skirtumai tarp skaitmeniniu nivelyru gautomis altitudėmis bei trigonometriniais matavimais gautais aukščiais. Skirtumai pateikti 2 lentelėje.

**2 lentelė.** Nivelyro bei elektroniniu tacheometru išmatuotų aukščių skirtumai

Piketo Nr.	H nivelyru (m)	Elektroninio tacheometro H (m)	Skirtumai, (m)
1	64,374	64,356	0,018
2	64,648	64,636	0,012
3	64,905	64,892	0,013
4	65,023	65,016	0,007
5	65,204	65,197	0,007
6	65,616	65,607	0,009
7	66,921	66,918	0,003
8	69,329	69,326	0,003
9	71,987	71,983	0,004
10	74,203	74,202	0,001
11	75,79	75,792	-0,002
12	76,857	76,857	0
13	77,479	77,477	0,002
14	77,709	77,704	0,005
15	77,969	77,962	0,007

Diagramoje matyti, kad paklaidos svyruoja nuo -0,002 iki +0,018 metro. Matome, kad paklaidos truputį didesnės. Galimos paklaidų priežastys – tai trigonometrinio metodo netikslumas, vizavimo į prizmę paklaida, atstumo ir posvyrio kampo įtaka, prietaiso techninių charakteristikų paklaidos.

Matome, kad tolstant nuo prietaiso paklaidos didėja. Norint gauti mažesnes paklaidas, reikėtų prietaisą perstatinėti dažniau ir matavimus atlikti trumpesniais ruožais, tačiau tai užtrunka daug laiko, kuris didina atliekamų matavimų sąnaudas.

Prieš pradėdant skraidymo darbus matuojamoje kelio atkarpoje buvo įrengti 6 kontūrženkliai vėlesniam nuotraukų susiejimui. Šie kontūrženkliai išdėstyti atsitiktine tvarka, bet ne vienoje vietoje. Sudėjus kontūrženklus, jie skaitmeniniu nivelyru

užniveliuoti ir *GNSS* prietaisu užkoordinuoti (5 paveikslas).



**5 pav.** Įrengtų kontūrženklių vietos (vaizdas *Agisoft Photoscan Professional* programoje)

Programiniu būdu nustatius drono skridimo maršrutą buvo atliktas skrydis virš pasirinktos kelio atkarpos 60 metrų aukštyje. Kadangi dronas nebuvo susietas su *GPS*, tai skrydis vyko 60 metrų aukštyje nuo pakilimo taško, neatsižvelgiant į objekto reljefo formą. Bendra objekto apskridimo trukmė 34 minutės. Kadangi oro sąlygos buvo ne itin palankios skrydžiui, teko kelis kartus droną leisti žemyn ir tęsti skrydį pagerėjus oro sąlygoms, 6 paveikslas.



**6 pav.** Drono kilimas nuo pakilimo kilimėlio

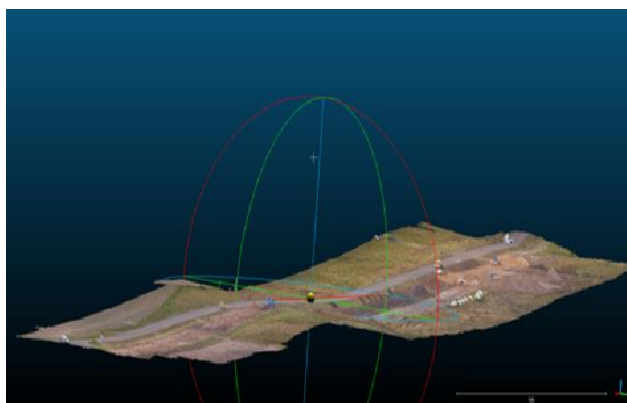
Skrydžio metu buvo padarytos 203 nuotraukos, kurios buvo perkeltos į *Agisoft Photoscan Professional* programą. *Agisoft Photoscan Professional* – tai šiuolaikinė 3D fotogrametrijos programinė įranga. Ji skirta taškų debesų (masyvo), aerofotografiniu žemėlapių, paviršiaus ir 3D modelių generavimui iš fotovaizdų. Duomenys gaunami naudojant antžemines fotokameras arba bepiločius orlaivius (dronus). Dėl gausaus programinės įrangos modeliavimo ir skaičiavimo galimybių norimas rezultatas gaunamas greitai, o specialių žinių,

reikalingų tiksliam darbui, poreikis sumažinamas iki minimumo.

Sukėlus nuotraukas į kompiuterinę programą, pirmiausia jos yra sujungiamos. Nuotraukų jungimas vyksta nuo kelių iki keliolikos minučių, priklauso nuo nuotraukų skaičiaus. Konkrečiu atveju nuotraukos sujungtos per 1min. 45s

Nuotraukoms sujungti reikia, kad bent 20 pikselių, nuotraukų esančių viena šalia kitos sutaptų. Sujungus nuotraukas, gauti 636092 sąryšio taškai. Kai buvo baigtas nuotraukų jungimas, jos konvertuojamos į koordinatinių sistemą, gaunamas nuotraukų susiejimas su LKS94 koordinatinių sistema. Projektas jungiamas prie įrengtų kontūrženklių. Sujungus projektą su kontūrženkliais, reikalingas rankinis kontūrženklių centravimas. Atlikus rankinį centravimą, kuris padidina projekto tikslumą, programa dar kartą projektą susiejo su centruotais kontūrženkliais.

Kai yra atliktas projekto susiejimas su kontūrženkliais, gaunamas 3D modelis, kuris yra susietas su geoidu (7 paveikslas). Jį sudaro daugiau nei 104 milijonai pikselių. Jei nesusetume projekto su kontūrženkliais, gautume plokštuminį vaizdą ir negalėtume nustatyti norimų taškų altitudžių.



7 pav. Kelio atkarpos 3D modelis

Norint palyginti skaitmeninio nivelyro ir drono aukščių skirtumus, reikia eliminuoti GPS prietaiso paklaidas piketuose. Eliminavus GPS prietaiso paklaidas, gaunamos drono paklaidos lyginant su skaitmeniniu nivelyru, duomenys pateikti 3 lentelėje.

## Išvados

1. Išanalizavus geometrinio niveliavimo, GPNS, trigonometrinio niveliavimo, fotogrametrinio (drono) niveliavimo metodus, galima teigti, kad geometrinis niveliavimas labiausiai tinkamas tiksliam aukščių nustatymui kelių matavimuose. GPNS ir trigonometrinis metodai tinkamesni taško pozicijai nustatyti. Fotogrametrinis (drono) metodas tinkamesnis

3 lentelė. Nivelyro bei dronu išmatuotų aukščių skirtumai.

Piketo Nr.	H nivelyru (m)	H dronu (m)	Skirtumai, (m)
1	64,374	64,441	-0,06
2	64,648	64,685	-0,028
3	64,905	64,931	-0,023
4	65,023	65,038	-0,01
5	65,204	65,238	-0,029
6	65,616	65,652	-0,03
7	66,921	66,942	-0,015
8	69,329	69,362	-0,031
9	71,987	72,024	-0,042
10	74,203	74,211	-0,002
11	75,79	75,785	0,006
12	76,857	76,794	0,055
13	77,479	77,377	0,1
14	77,709	77,625	0,092
15	77,969	77,891	0,085

Atlikus pasirinkto kelio ruožo matavimus dronu, lyginant su skaitmeniniu nivelyru, matoma, kad paklaidos yra nuo -0.06 iki +0,1 m. Galimos paklaidų priežastys galėtų būti kontūrženklių retumas, nuotraukų kokybė (išplaukusios, neryškios), naujų technologijų metodo netobulumas, gamtiniai faktoriai (vėjo gūsių pablogina drono stabilumą). Lentelėse matoma, kad GPS imtuvo ir elektroninio tacheometro aukščių paklaidos piketuose lyginant su skaitmeninio nivelyro aukščiais yra neženklios. Didžiausias skirtumas tarp skaitmeninio nivelyro ir GPS imtuvo – 0,009 m, o tarp skaitmeninio nivelyro ir tacheometro – 0,018 m. Kelių aukščių matavimams gautos GPS imtuvo ir tacheometro paklaidos nedaro didelės įtakos. Iš lentelės matome, kad didžiausi aukščių skirtumai yra tarp skaitmeninio nivelyro ir drono aukščių, 13 pikete aukščių skirtumas siekia 0,1 m, tai parodo nevisišką metodo tobulumą, netinkamai parinktų kontūrženklių vietas ir jų kiekį bei gamtinių sąlygų daromą įtaką drono skrydžio stabilumui.

statybinių medžiagų (gamybinėse bazėse, karjeruose ir kt.) kiekiams skaičiuoti.

2. Atlikus matavimus, matavimų duomenys buvo apskaičiuoti ir lyginami su skaitmeninio nivelyro GeoMax ZDL 700 duomenimis. Palyginus nivelyro GeoMax ZDL 700 ir elektroninio tacheometro Leica TCRP1205+R400 matavimus tikslumas svyruoja nuo – 0,002 iki +0,018 metro. Skaitmeninio nivelyro

*Zenith35 Pro* matavimų tikslumas svyruoja nuo  $-0,009$  iki  $+0,008$  metro. Paklaidų atsiradimui įtaką daro *RTK* metodo aukščių netikslumas  $\pm 10$  cm, geoido modelio netobulumas (skirtingi to paties geoido failai), piketo matavimo trukmė 1–5 sekundės, neteisingas paties *GPS* imtuvo skaičiavimo metodas.

3. Palyginus skaitmeninio nivelyro *GeoMax ZDL 700* ir drono *DJI Inspire 1V2.0*. matavimus tikslumas svyruoja nuo  $-0.06$  iki  $+0,1$  m. Galimos paklaidų atsiradimo priežastys galėtų būti kontūrženklių retumas, nuotraukų kokybė, gamtiniai veiksniai (vėjo gūšiai pablogina drono stabilumą).

## Literatūra

1. Balevičius, V. (2008). *Skaitmeninė optika*. Vilnius: Biznio mašinų kompanija.
2. Deveikis, T. (2015). *Drono taikymas darbo našumui gerinti geodezijoje*. Vilnius.
3. Krištaponis, B., Tumeliene, E., Rekus D. (2005). Precizinio niveliavimo skaitmeniniais nivelyrais wild NA3003 metodikos tobulinimas. *Geodezija ir Kartografija*, 31:3, 97-102,.
4. Krištaponis B. (2012). *Geodezija: niveliavimas ir topografinės nuotraukos*. Vilnius, Technika, 98 p.
5. Ruzgienė, B. (2008). *Fotogrametrija*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius.
6. Ruzgienė, B. (2010). Skaitmeninio reljefo modelio kūrimo metodai ir tikslumo tyrimas, taikant skaitmenines fotogrametrijos technologija, *Geodezija ir Kartografija*, 36:2, 57-62

## ANALYSIS OF THE USAGE OF DIFFERENT GEODETIC METHODS FOR MEASURING SEVERAL LEVELS

### Summary

Roads and streets are one of the most important infrastructures, so it is very important to accurately construct and make control geodesic pictures of them. In order to qualitatively and effectively carry out the following operations, it is necessary to assess the methods (advantages and disadvantages) used for this task. The article analyses the methods of geometric levelling, GPNS, trigonometric levelling and photogrammetry, describing the advantages and disadvantages of each method (measuring levels of the roads). Also, the research provides information about the methods of technological features, efficiency and opportunities. The article describes the use of measurement devices, their specifications, data analysis and comparison with the most efficient devices. At the time of the measurements and the analysis, the errors of the road altitude and possible causes were analysed. The results of the measurements and analysis revealed which of those methods is the most accurate, fastest, and requires minimum human resources. The usage of new technologies in road measuring was studied as well. The data of the measurements and analysis revealed that the geometric level measuring method is the most accurate by using a digital level. The GPNS and trigonometric level measuring methods are very similar. However, the trigonometric level measuring method requires more human resources. The photogrammetric level measuring method using a drone is not very precise because of its novelty and software imperfections.

**Keywords:** height measurements of the roads, levelling, error.

## Informacija apie autorius

**dr. Donatas Rekus.** Kauno kolegijos, Technologijos fakulteto, Aplinkos inžinerijos katedros docentas. Mokslinių tyrimų laukas: matavimų inžinerija.  
El pašto adresas: [donatas.rekus@go.kauko.lt](mailto:donatas.rekus@go.kauko.lt)

**Jurgis Krilavičius.** Kauno kolegijos, Technologijos fakulteto, Aplinkos inžinerijos katedros absolventas. Mokslinių tyrimų laukas: matavimų inžinerija.  
El pašto adresas: [guttiss@gmail.com](mailto:guttiss@gmail.com)

**dr. Vilma Kriaučiūnaitė-Neklejonovienė.** Kauno Technologijos universiteto, Statybos ir architektūros fakulteto lektorė. Mokslinių tyrimų laukas: matavimų inžinerija.  
El pašto adresas: [vilma.kriauciunaite@ktu.lt](mailto:vilma.kriauciunaite@ktu.lt)