

TOPOGRAFINIO PLANO TIKSLUMO, MATUOJANT SKIRTINGAIS GEODEZINIAIS PRIETAIS AIS, TYRIMAS

Tomas ZERNOVAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: tomas.zernovas@vdu.lt

Donatas REKUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: donatas.rekus@vdu.lt

Santrauka

Atliekant šį tyrimą buvo siekiama išsiaiškinti, ar bepilotis orlaivis yra toks pats tikslus kaip GPNS imtuvai ir elektroninis tacheometras. Šiame tyrime buvo išmatuotas objektas elektroniniu tacheometru ir GPNS imtuvu ir sudarytas topografinis planas, nupieštas *GeoMap* programa. Kiti matavimai buvo atlikti bepiločiu orlaiviu, kuriuo buvo padarytos 143 nuotraukos ir sumodeliuoti 2D ir 3D modeliai su *AgisoftMetashape* programa.

Dviem topografijoms palyginti buvo pasirinkti 4 objektai. Pastebėta, kad kai objektai, užima daug užstatytos teritorijos ir nėra atviri, nepatartina naudoti bepiločiais orlaiviais, nes užstatytoje vietoje atsiranda daug šešėlių, kurie trukdo išgauti kokybišką nuotrauką; medžiai užstoja takelių, kelių ir aikštelių kontūrus. Tuomet atsiranda nuotraukose nelygumų ir sunku tiksliai nubraižyti topografiją.

Reikšminiai žodžiai: topografija, bepilotis orlaivis, elektroninis tacheometras, GPNS.

Įvadas

Bepiločiai orlaiviai yra naudojami kariuomenės tikslams, žmonių paieškoms bei gelbėjimui, statybos procesų stebėjimams, duomenų, reikalingų žemėlapiams sudaryti, rinkimui, topografiniams darbams geodezijoje (Matuš, Peter, 2019). Bepiločiai orlaiviai vis labiau tobulėja – atsiranda vis daugiau bepiločių orlaivių su didelės raiškos fotokameromis ir su GNSS imtuvais viduje. Atliekant matavimus bepiločiu orlaiviu yra matuojami kontūrženkliai, kurie leidžia susieti nuotrauką su realiomis koordinatėmis. Galima teigti, kad neturint GNSS imtuvo pačiame drone bet turint geros raiškos fotokamerą galima gauti tikslas nuotraukas, kurias vėliau būtų galima susieti su pamatuotais kontūrženkliais (Peter et al, 2016). Bepiločių orlaivių privalumai: mažiau išteklių reikalaujantys matavimai, paprastas skridimas (žemai arba aukštai), galimybė greitai atlikti fotografavimą realiu laiku su geros kokybės fotokameromis (Birutė, Česlovas, 2013).

Bepiločiai orlaiviai vis plačiau naudojami atliekant geodezinius matavimus, sudarant topografinius planus. Topografija – mokslas, egzistuojantis gana ilgai. Visuomet egzistavo noras ar būtinybė įsivertinti turimą turtą ir įvairius objektus, nors ne visada buvo tam reikiamų pažangių technologijų (DronEng, 2020). Topografijos aiškų ir suprantamą apibrėžimą galime rasti knygoje „Geodezijos pagrindai“ (Braziulienė, 2011). Šioje knygoje rašoma, kad topografija yra geodezijos ir matavimų inžinerijos veiklos sritis, apimanti žemės paviršiaus gamtinių ir fizinių, antropogeninių ir pavienių topografinių objektų erdvinius matavimus bei vaizdavimą topografiniuose žemėlapiuose ir planuose.

Topografiniai planai gali būti sudaryti įvairiais būdais: matuojant su GPNS, matuojant elektroniniu tacheometru, niveliuojant plotus arba naudojant fotogrametrinius metodus (Balevičius, Kriauciūnaitė-Neklejonovienė, 2008).

Vis ieškoma naujų lengvesnių ir greitesnių būdų atlikti matavimus topografiniams planams, Vienas iš būdų yra naudoti bepiločius orlaivius, palengvinančius darbą vietovėse, prie kurių fiziškai prieiti su GPNS ir elektroniniu tacheometru yra gan sunku (Mateo, Dubravko, 2016).

Darbo aktualumas. Naujausių technologijų taikymas topografiniuose matavimuose, naudojant bepiločius orlaivius.

Darbo naujumas. Yra žinoma, kad, matuojant su GPNS imtuvu ir elektroniniu tacheometru, galutiniams matavimų rezultatams įtakos turi naudojamų prietaisų tikslumas bei naudojama metodika. Naudojant bepilotį orlaivį, atsiranda nauji specifiniai paklaidų šaltiniai, turintys įtakos galutiniams matavimų rezultatams. Tikslumą lyginant su tradiciniais geodeziniais matavimų metodais reikia tirti papildomai. Šiame straipsnyje minimi topografiniai matavimai atlikti tradiciniais geodeziniais prietaisais: elektroniniu tacheometru ir GPNS imtuvu. Tos pačios vietovės matavimų rezultatai buvo gauti ir bepiločiu orlaiviu, taip pat buvo atliktas fotogrametrinis duomenų apdorojimas. Buvo palygintas gautų rezultatų tikslumas.

Tyrimo tikslas – iširti topografinio plano tikslumą, naudojant bepilotį orlaivį, ir palyginti gautus duomenis su GPNS imtuvo ir elektroninio tacheometro gautais duomenimis.

Tyrimo uždaviniai

1. Atlikti topografinio plano tikslumo analizę, sudarytą pagal bepiločio orlaivio matavimo duomenis;
2. Naudojant skirtingus matavimo metodus, sudaryti topografinius planus ir atlikti tikslumo analizę.

Tyrimų objektas ir metodai

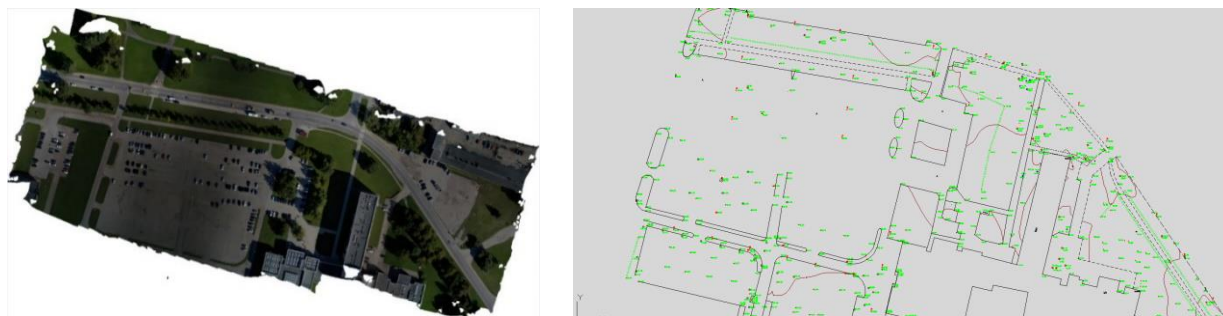
Norint sužinoti, ar bepiločiai orlaiviai yra tiksūs ir tinkami kokybiškam topografiniam planui atlikti, pirmiausia reikia pamatuoti pasirinktą objektą GPNS imtuvu ir tacheometru, sudaryti topografinį planą bei palyginti gautus rezultatus apskridus tą patį objektą bepiločiu orlaiviu. Lyginami pastatai, keliai bei kiti neįprasti linijiniai objektai.

Topografiniam planui sudaryti pasirinkti trys prietaisai. Pirmam matavimui pasirinktas GPNS imtuvas *Trimble R8* ir elektroninis tacheometras *Trimble VX*. Antram matavimui pasirinktas bepilotis orlaivis *DJI Matrice 200* aerofotonuotrukoms sudaryti. Prietaisas *Trimble R8* yra vienas iš patikimesnių ir patvaresnių prietaisų geodezijoje, jo horizontalus tikslumas siekia apie 8 mm, o vertikalus – apie 15mm. Elektroninio tacheometro *Trimble VX* tikslumas matuojant per prizmę yra apie 2 mm, o matuojant lazeriu – apie 4 mm. Bepilotis orlaivis *DJI Matrice 200* yra labai patvarus ir skirtas darbui specialiose srityse ar situacijose, pavyzdžiui, geodezijoje ir gelbėjimo misijose. Šis dronas gali skristi iki 5 km diapazonu, prie jo taip pat galima pritaikyti GPS modulį, RTK modulį M200 RTK V2 ar tam tikras kameras.

Pasirinktas objektas yra netoli Kauno, Akademijos miestelyje, priklausančiame Kauno rajono savivaldybei. Objekto adresas – Universiteto g. 10A, prie VDU ŽŪA Vandens ūkio ir žemėtvarkos fakulteto III rūmų.

Pirmų matavimų metu gautos X,Y koordinatės ir Z altitudės naudotos topografiniam planui *GeoMap* programa braižyti. Antrų matavimų metu automatiškai sudarytas skridimo kelias ir gautos 143 nuotraukos, kurios apdorotos naudojant programą *Agisoft Metashape*. Šios nuotraukos susietos su realiomis koordinatėmis, kurios pamatuotos GPNS imtuvu kaip kontroliniai taškai.

Apdoroti ir susieti pirmu matavimu gauti topografiniai duomenys, o antru matavimu – 2D modelis buvo palyginti (1pav.).



1 pav. Topografinis planas ir 2D modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus (2022)

Fig. 1. Topographic plan and 2D model

Source: compiled by the author (2022)

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Atlikus visus pasirengimo darbus, buvo pradėta tikslumo analizė. Jos metu buvo naudota programa *GeoMap*. Turint 2D modelį, sudarytą iš bepiločiu orlaiviu padarytų nuotraukų, jis buvo įkeltas į topografinį planą ir analizei pasirinktos keturios vietos. Šios vietos buvo pasirinktos atsižvelgiant į šešėlius, įvairius lenktus linijinius objektus, tai pat medžius, galinčius trukdyti bepiločiui orlaiviui skrendant gauti aiškius vietovės vaizdus. Taip pat pasirinkta viena nuotrauka, vaizduojanti didelį pastatą, kuris turi daug įvairių formų, metančių šešėlius, galinčius stipriai pakenkti sudarant nuotraukas ir 2D modelį (2pav.).



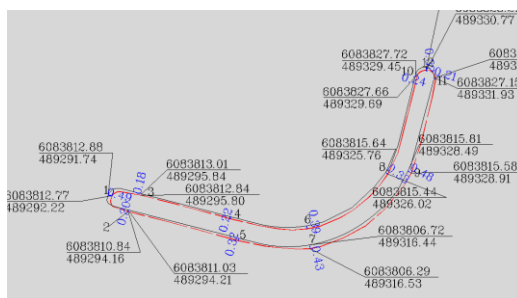
2 pav. Keturi objektai

Šaltinis: sudaryta autoriaus (2022)

Fig. 2. Four objects

Source: compiled by the author (2022)

Išanalizavus šias vietas, 2D modelyje nubraižyti pagrindiniai linijiniai objektai: pastatas, aikštelė, takelis ir aikštelės bordiūro kontūras. Vėliau į *GeoMap* programą įkeltos iš topografinio plano 2D modelio pasirinktos vietos. Įkėlus pasirinktus objektus, buvo pamatuotas atstumas, t. y. kiek skiriasi objekto lokacijos topografiniai duomenys pamatuoti elektroniniu tacheometru, GPNS ir 2D modelio. Raudona spalva ir punktyrine linija pažymėtas iš 2D modelio nubrėžtas objektas, o paprasta juoda linija – objektas iš topografinio plano. Visos šios linijos pažymėtos koordinatėmis ir sunumeruotos (3pav.).



3 pav. Topografinio plano ir 2D modelio objektų palyginimas
Šaltinis: sudaryta autoriaus (2022)

Fig. 3. Comparison of topographic plan and 2D model objects
Source: compiled by the author (2022)

Visas šitas darbas atliktas su keturiais pasirinktais objektais, sudarytos lentelės, pateiktos koordinatės bei jų skirtumai, matuojant tradiciniais metodais, ir koordinatės, gautos iš bepiločio orlaivio duomenų. Pirmas objektas yra pastatas, turintis daug išsikišimų ir įdubimų. Jis pasirinktas, kadangi pats pastatas matuotas elektroniniu tacheometru (1 lentelė).

1 lentelė. Pirmo objekto tikslumo


Table 1. First object accuracy table

	Topografinis planas, matuotas GNSS ir elektroniniu tacheometru		Topografinis planas, matuotas bepiločiu orlaiviu iš 2D modelio		Skirtumas tarp taško padėties (m)
	X	Y	X	Y	
1	6083820.29	489345.19	6083819.96	489345.42	0.41
2	6083816.53	489360.70	6083816.15	489361.03	0.51
3	6083814.59	489360.22	6083814.44	489360.62	0.43
4	6083814.01	489362.83	6083813.68	489363.77	0.99
5	6083822.88	489365.03	6083822.92	489366.02	0.99
6	6083819.15	489380.41	6083819.35	489381.86	1.46
7	6083814.96	489379.45	6083813.17	489380.46	2.05
8	6083814.21	489382.69	6083812.73	489382.42	1.51
9	6083816.31	489383.15	6083816.21	489383.21	0.12
10	6083813.57	489395.70	6083813.12	489395.82	0.47
11	6083811.59	489395.26	6083811.83	489395.50	0.34
12	6083805.77	489417.60	6083806.41	489418.18	0.87
13	6083845.59	489427.27	6083845.50	489427.64	0.38
14	6083877.15	489434.94	6083877.05	489435.05	0.15
15	6083873.73	489451.90	6083873.09	489451.80	0.65
16	6083842.47	489444.35	6083842.40	489444.64	0.30
17	6083799.73	489434.03	6083799.42	489434.50	0.56
18	6083796.94	489445.75	6083796.57	489446.57	0.90
19	6083793.22	489445.00	6083794.21	489446.02	1.42
20	6083792.39	489449.09	6083793.25	489450.06	1.30
21	6083799.81	489450.95	6083800.90	489451.87	1.42
22	6083798.27	489457.43	6083799.43	489458.82	1.80
23	6083796.40	489456.99	6083797.76	489458.46	2.01
24	6083795.78	489459.62	6083797.09	489461.26	2.11
25	6083793.88	489459.16	6083795.18	489460.82	2.11

Apskaičiuotus skirtumus tarp elektroniniu tacheometru pamatuoto pastato ir pastato, nupiešto ant 2D modelio, yra daug netikslumų. Iš skirtumo skilties galima matyti, kad pusė taškų siekia daugiau nei 1 metrą, o tai reiškia, kad yra labai netikslu. Viena iš priežasčių – modeliavimas nepavyko dėl daug išsikišimų, kurie sudaro šešėlius.

Antras pasirinktas objektas yra gana gerai matomas pėsčiųjų takelis. Topografiniam planui jis pamatuotas GPNS imtuvu, kadangi nebuvo daug želdinių (2 lentelė).

2 lentelė. Antro objekto tikslumo lentelė
Table 2. Second object accuracy table




	Topografinis planas, matuotas GNSS ir elektroniniu tacheometru		Topografinis planas, matuotas bepiločiu orlaiviu iš 2D modelio		Skirtumas tarp taško padėties (m)
	X	Y	X	Y	
1	6083946.56	489206.77	6083946.17	489206.91	0.41
2	6083950.08	489207.79	6083949.60	489207.85	0.48
3	6083945.44	489214.28	6083944.96	489214.23	0.49
4	6083939.08	489213.03	6083938.38	489212.63	0.81
5	6083938.68	489215.10	6083938.15	489215.16	0.53
6	6083944.97	489216.57	6083944.62	489216.72	0.38
7	6083946.59	489230.34	6083946.11	489230.46	0.49
8	6083955.00	489232.81	6083954.92	489233.07	0.27
9	6083954.87	489234.97	6083954.82	489235.13	0.17
10	6083946.25	489232.45	6083945.78	489232.59	0.47
11	6083942.50	489232.04	6083942.14	489231.99	0.36
12	6083942.18	489257.75	6083941.80	489257.69	0.39
13	6083937.35	489264.25	6083937.02	489264.20	0.34
14	6083936.23	489294.70	6083935.90	489294.65	0.33
15	6083932.15	489296.80	6083931.88	489296.75	0.27
16	6083931.05	489326.93	6083930.73	489326.88	0.32
17	6083925.40	489339.08	6083925.14	489339.04	0.26
18	6083923.92	489348.33	6083923.75	489348.44	0.20
19	6083923.52	489350.92	6083923.19	489351.15	0.40
20	6083916.14	489347.03	6083915.86	489347.31	0.40
21	6083915.69	489349.49	6083915.51	489349.71	0.28
22	6083921.26	489363.52	6083921.14	489364.13	0.63
23	6083924.78	489365.04	6083924.63	489365.15	0.19

Šis objektas didelių skirtumų ir nukrypimų neturėjo, nors keletas taškų buvo peršokę 50 cm skirtumą. Didžiausią skirtumą turėjo 4 taškas – jo skirtumas buvo 0,81m. Šio taško netikslumų priežastis gali būti tai, kad aikštelėje esantis automobilis galėjo mesti šešėlį ir, bandant nupiešti, buvo sunku nusakyti, kur yra takelio pabaiga.

Trečias objektas išsiskiria tuo, kad paties objekto forma yra lenkta ir turi ant vienos vietos didelį šešėlį, kuris trukdo sugeneruoti tikslų, be pašalinių trikdžių, 2D modelį (3 lentelė).

3 lentelė. Trečio objekto tikslumo lentelė
Table 3. Third object accuracy table



	Topografinis planas, matuotas GNSS ir elektroniniu tacheometru		Topografinis planas, matuotas bepiločiu orlaiviu iš 2D modelio		Skirtumas tarp taško padėties (m)
	X	Y	X	Y	
1	6083856.56	489343.69	6083856.41	489343.75	0.17
2	6083851.14	489366.35	6083850.95	489366.30	0.20
3	6083850.22	489367.75	6083850.32	489367.83	0.13

4	6083848.12	489368.21	6083848.08	489368.59	0.39
5	6083834.70	489365.38	6083834.63	489365.72	0.36
6	6083825.72	489363.41	6083825.59	489363.72	0.34
7	6083823.30	489374.53	6083823.01	489374.46	0.29
8	6083821.87	489381.08	6083821.39	489381.23	0.51
9	6083825.65	489381.99	6083825.31	489382.15	0.37
10	6083826.12	489379.46	6083825.92	489379.64	0.27
11	6083838.09	489380.90	6083831.79	489381.07	0.34
12	6083834.19	489372.82	6083833.83	489372.73	0.37
13	6083835.20	489370.73	6083835.06	489370.57	0.21
14	6083838.17	489370.34	6083838.15	489370.44	0.11
15	6083853.34	489373.74	6083853.25	489373.88	0.17
16	6083854.60	489375.34	6083854.46	489375.37	0.15
17	6083853.88	489379.45	6083853.76	489379.55	0.16
18	6083859.61	489380.70	6083859.58	489380.84	0.14

Braižant 2D modelį galima pastebėti, kad borteliai nuotraukoje blogai sugeneruoti. Taip pat galima matyti ir skirtumus tarp taško padėčių 1 ir 9. Taškai siekia beveik 0,50 m, bet žiūrint į visumą, skirtumai gan nedideli, kas reiškia, kad pamatuota panašiai kaip su GPNS ir elektroniniu tacheometru.

Trečias objektas buvo aikštelė, esant šalia pastato. Ji pasirinkta, nes turi nemažą šešėlių bei daug medžių, kurie užstoja aikštelės bortus, pagal kuriuos piešiami kelias ir aikštelė. (4 lentelė).

4 lentelė. Ketvirtą objekto tikslumo lentelė

Table 4. Fourth object accuracy table

	Topografinis planas, matuotas GNSS ir elektroniniu tacheometru		Topografinis planas, matuotas bepiločiu orlaiviu iš 2D modelio		Skirtumas tarp taško padėties (m)
	X	Y	X	Y	
1	6083812.88	489291.74	6083812.77	489292.22	0.49
2	6083811.03	489294.21	6083810.84	489294.16	0.20
3	6083813.01	489295.84	6083812.84	489295.80	0.18
4	6083810.16	489306.84	6083809.95	489306.79	0.22
5	6083807.58	489307.76	6083807.26	489307.68	0.32
6	6083809.10	489316.08	6083808.72	489316.14	0.39
7	6083806.72	489316.44	6083806.29	489316.53	0.43
8	6083815.64	489325.76	6083815.44	489326.02	0.33
9	6083815.81	489328.49	6083815.58	489328.91	0.48
10	6083827.72	489329.45	6083827.66	489329.69	0.24
11	6083827.21	489331.73	6083827.15	489331.93	0.21
12	6083828.53	489330.75	6083828.21	489330.77	0.32

Skirtumus surašius į lentelę, galima matyti, kad 8 taške didžiausias skirtumas yra 0,50 m. Taip yra todėl, kad pastato šešėlis labiausiai krito ant aikštelės kampo, dėl to nebuvo galima tiksliai nupiešti jo kontūro. Analizuojant kitus taškus, galima matyti, kad gana tiksliai nupieštas aikštelės kontūras, netgi esant minimaliems trikdžiams.

Išvados

1. Atlikus matavimus su bepiločiu orlaiviu, buvo gautos 143 nuotraukos ir sudaryti 2D bei 3D modeliai. 2D modelis naudotas topografiniams objektams nubraižyti. Analizuojant 2D modelį galima pastebėti, kad dėl tam tikrų objektų, tokių kaip medžiai, pastatai arba mašinos, ir jų sudaromų šešėlių, pats modelis turi tam tikrų nelygumų, kurių nebuvo galima ištaisyti.

2. Atlikus tyrimą, galima pastebėti, kad pagrindiniai netikslumai susidarė dėl šešėlių ir medžių, kurie užstojo kelių ir takelių kontūrus. Padaryta išvada, kad pastatus geriausia matuoti tacheometru, nes padarius 2D modelį, objektų kontūrai gali labai išsikraipyti ir būti labai netikslūs. Kai kuriose vietose galima matyti, kad netikslumai siekia net iki 2 metrų. Matavimus su bepiločiu orlaiviu geriausia atlikti tose vietose, kur nėra daug šešėlių ir medžių, tokiose kaip takai,

takeliai arba didelės aikštelės. Juos galima matuoti, nes skirtumai yra maži, o pastatus patartina matuoti su elektroniniu tacheometru.

Literatūra

1. Balevičius G., Kriaučiūnaitė-Neklejonovienė V. 2008. Geodeziniai matavimai. Mokomoji knyga. Kaunas: Ardiviva. 42 p.
2. Braziulienė G. 2011. Geodezijos pagrindai Mokomoji knyga. Klaipėdos valstybinė kolegija, 5 p.
3. Tkáč M., Mésároš P. 2019. Utilizing drone technology in the civil engineering. *SSP - Journal of Civil Engineering*. Vol. 14, Issue 1.
4. DronEng .2019. Learn real Conheça experiências reais de mapeamento aéreo com drones.
5. Gabrlik P., Jelinek A., Janata P. 2016. Precise Multi-Sensor Geofencing System for Micro UAVs. *IFAC-PapersOnLine*, p. 49–25.
6. Ruzgienė B., Aksamitauskas C. 2013. The use of UAV systems for mapping of built-up area, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-1/W2. P. 349–353.
7. Gašparovic M., Dubravko Gajski D. 2016. Unmanned aerial photogrammetric Systems in the service of engineering Geodesy. *New technologies in engineering geodesy*.

INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF A TOPOGRAPHIC PLAN MEASURED BY DIFFERENT GEODESIC INSTRUMENTS

Summary

The aim of this study was to determine whether an unmanned aircraft is accurate as a GPNS receiver and an electronic tacheometre. In this study, an object with an electronic tachometer and a GPNS receiver was measured and a topographic plan was drawn with the GeoMap program. Subsequent measurements were performed with an unmanned aircraft with 143 photographs taken and 2D and 3D models modeled with AgisoftMetashape software.

Comparing the two topographies, 4 objects were selected in which it was observed that with objects that are not open and have a lot of built-up area, it is not recommended to use drones as there are a lot of shadows that obstruct the quality of the objects (e.g. tracks, roads and sites). In this case, unevenness occurs in the photo and cannot be accurately drawn.

Keywords: topographic plan, unmanned aircraft, electronic tacheometre, GPNS.