

## GEODEZINIŲ IR NUOTOLINIŲ TYRIMO DUOMENŲ NAUDOJIMO TOPOGRAFINIAMS PLANAMS SUDARYTI TIKSLUMAS IR ANALIZĖ

Audrius JAKUTIS\*, Jūratė SUŽIEDELYTĖ VIŠOCKIENĖ

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,*

*Geodezijos ir kadastro katedra, Vilnius, Lietuva*

*\*El. paštas [audrius.jakutis@stud.vilniustech.lt](mailto:audrius.jakutis@stud.vilniustech.lt)*

Gauta 2023 m. kovo 6 d.; priimta 2023 m. balandžio 3 d.

**Santrauka.** Iš pilotuojamų orlaivių duomenų gauti tradiciniai tyrimai yra brangūs, o padarytų nuotraukų skiriamoji geba dažnu atveju yra ribota. Pagrindinis nepilotuojamų orlaivių (angl. *Unmanned Aerial Vehicle*, UAV) sistemos, veikiančios kaip fotogrametrinio jutiklio platforma, pranašumas, palyginti su tradicine pilotuojama orlaivių sistema, yra didelis lankstumas, leidžiantis gauti didelės raiškos nuotraukas iš netradicinių pozicijų ir maža kaina. Šiais laikais, matuojant nedidelius objektus, neekonomiška naudoti pilotuojamus orlaivius, todėl tobulinamos skaitmeninės fotokameros integruojamos į UAV programinę įrangą patogiam nuotraukų apdorojimui. UAV sistemos naudojamos įvairių objektų ortofotografinių aukščių modeliams (angl. *Digital Elevation Model*, DEM) formuoti, topografiniams planams gaminti. Tiriamajame darbe pagal UAV nuotraukas ir geodezinius matavimus tacheometru sukurtas 5000 m<sup>2</sup> teritorijos paviršiaus DEM, kuris panaudotas topografiniam planui sudaryti. Vadovaujantis geodezijos ir kartografijos techninių reikalavimų (GKTR) reglamente pateiktais reikalavimais, išanalizuotas topografinio žemėlapiu, sudaryto įprastiniais geodeziniais metodais, tikslumas ir pagal UAV nuotraukas, padarytas DJI PHANTOM 4 PRO su integruota 8,8 mm židinio nuotolio objektyvo FC6310 fotokamera. Rezultatas parodė, kad topografinių planų sudarymas, kombinuojant įprastinius geodezinius matavimus su fotogrametriniais metodais naudojant UAV, suteikia kur kas detalesnį vaizdą, tačiau būtina atsižvelgti į teritorijos užstatymo tankumą. DTM gali būti iškraipytas ir neatitikti realybėje esančio paviršiaus. Tačiau gautas planinis ir aukščių tikslumas atvirose vietovėse atitiko GKTR pateiktus reikalavimus.

**Reikšminiai žodžiai:** topografinis planas, fotogrametrija, aukščio modelis, GKTR, UAV.

### Įvadas

Tikslūs topografiniai matavimai tradiciškai siejami su didelėmis kapitalo ir logistikos išlaidomis, todėl duomenų rinkimas dažnai perduodamas specializuotoms trečiųjų šalių organizacijoms. Didelės duomenų rinkimo išlaidos siejasi su vietovės dislokacija, neprieinamumu, reljefo sudėtingumu, tuomet tradiciniai geodezinių matavimų metodai (t. y. geodezinis ėjimas su tacheometru arba globalinės padėties nustatymo sistemos GPS imtuvu) tampa nepraktiški (Westoby et al., 2012; Pérez et al., 2013). Kaip alternatyvą mokslininkai siūlo fotografuoti teritorijas iš nepilotuojamų orlaivių UAV (Zhang & Kovacs, 2012). Pastaraisiais metais padaugėjo UAV civilinio pritaikymo atvejų, pvz., tokiose srityse kaip kultūros paveldas (Chiabrande et al., 2011) ar žemės ūkis (Zarco-Tejada et al., 2009). Iš UAV gautų nuotraukų, naudojant įvairių plačiai prieinamą programinę įrangą, sudaromas teritorijos skaitmeninis aukščio modelis

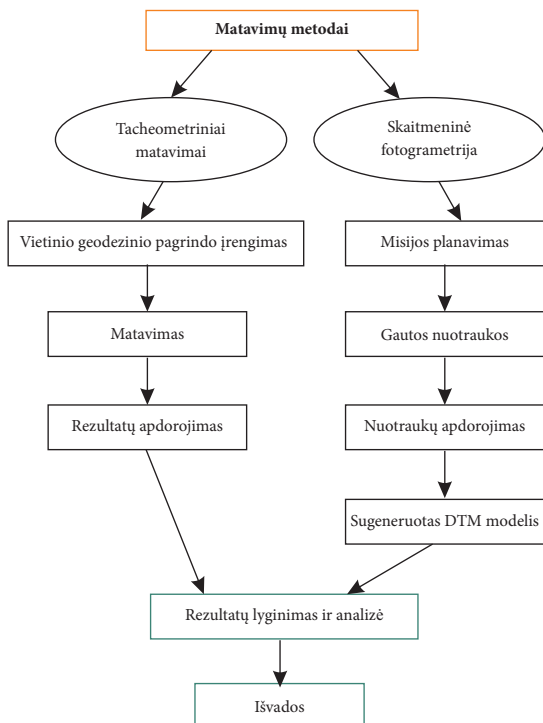
DEM. Fotogrametrijos tikslumo įvertinimas apskaičiuojamas naudojant vidutinę kvadratinę paklaidą (RMSE). Kai kurie autoriai (Li, 1988; Yang & Hodler, 2000) teigia, jog tai plačiausiai naudojamas pasaulinis tikslumo matas DEM tikslumui įvertinti. Skaitmeninis aukščio modelis yra įprastas būdas teritorijos paviršiaus reljefo morfologijai apibūdinti ir išvestinei informacijai gauti. Be to, ši informacija yra būtina civilinės inžinerijos projektams vykdyti, kai reikia stebėti reljefo pokyčius. DEM generuojama iš įvairių duomenų šaltinių: matavimai tacheometru, lazerinis skenavimas, aerofotogrametrija, globalinė navigacinė palydovų sistema (GPS, GNSS), LIDAR, sintetinės diafragmos radaro sistemos (SAR) ir kt. (Stefanik et al., 2011). Aerofotogrametrijoje būtina žinoti vidines naudojamos fotokameros charakteristikas, siekiant generuoti trimatę erdvinę ir aprašomąją informaciją iš dvimatės informacijos. Šie parametrai gaunami kalibruojant fotokameros objektyvo optiką

arba apdorojant fotonuotraukas. Fotokameros objektyvo vidinių parametrų kalibravimo procese išskaičiuojamas tikrasis objektyvo židinio nuotolis ( $c$ ), vaizdo projekcijos centro koordinatės ( $x_p, y_p$ ), radialinio lęšio iškraipymo koeficientai ( $k_1, k_2, k_3$ ) ir decentruojantis objektyvo iškraipymas ( $p_1, p_2$ ) (Fryer, 1996). Dabartinė programinė įranga fotokameros objektyvo parametrus kalibruoja automatiškai, formuodama paviršiaus modelį. Lietuvoje topografinių planų sudarymą reglamentuoja geodezijos ir kartografijos techninių reikalavimų reglamentai (GKTR). Remiantis Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministro 2021 m. liepos 1 d. įsakymu Nr. 3D-420 „Dėl Geodezijos ir kartografijos techninių reikalavimų reglamento GKTR 1:01:2020 „Topografinių objektų geodezinių matavimų atlikimo ir topografinių planų sudarymo tvarka“ patvirtinimo“ V skyriaus 14 punktu, taikant lazerinio skenavimo arba aerofotogrametrinius metodus būtina matavimus kombinuoti su kitais topografinio plano sudarymo metodais ir geodezine įranga, norint pasiekti reikalaujamą objektų padėties tikslumą.

*Darbo tikslas* – sudaryti teritorijos topografinį planą derinant geodezinių ir aerofotogrametrinių metodus, išanalizuoti pasirinktų topografinių objektų padėčių paklaidas ir pagal rezultatus taikytą metodą priskirti 1 lentelėje pateiktai tikslumo klasei.

## 1. Metodologija

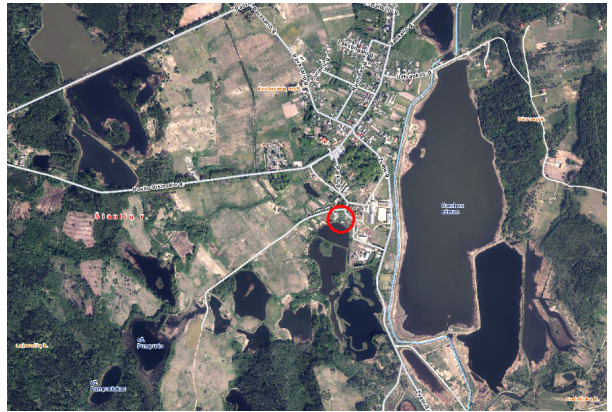
Tyrimas atliktas pagal technologinę darbų schemą, pateiktą 1 pav.



1 paveikslas. Technologinė darbų schema

## 1.1. Tyrimo objektas

Tyrimas atliktas Parko g. 5, Kurtuvėnuose, Bubių sen., Šiaulių r. savivaldybėje esančiame žemės sklype (2 pav.).

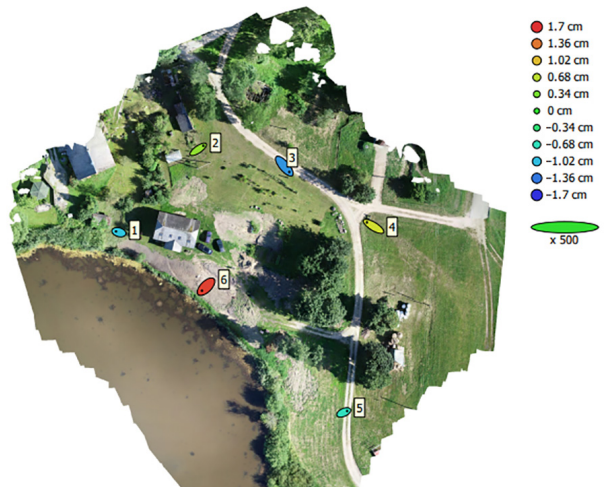


2 paveikslas. Tyrimų objekto vieta: Parko g. 5, Kurtuvėnai, Bubių sen., Šiaulių r. sav.

Teritorijoje tacheometru koordinuoti šeši kontūrženkliai (1 lentelė). Kontūrženkliai reikalingi atliekant UAV nuotraukų apdorojimo procesus ir vėliau panaudoti padėties paklaidai įvertinti. Kontūrženklių išsidėstymo schema parodyta 3 paveiksle.

1 lentelė. Kontūrženklių koordinatės (LKS94 koordinatinių sistemoje)

Kontūrženkliai Nr.	X, m	Y, m	Altitudė H, m
1.	6 188 222.164	440 386.068	114.649
2.	6 188 250.854	440 415.317	118.219
3.	6 188 242.106	440 444.097	118.694
4.	6 188 225.197	440 470.140	117.393
5.	6 188 162.018	440 463.460	115.077
6.	6 188 202.313	440 414.878	114.532



3 paveikslas. Atraminė kontūrženklių išsidėstymo schema

## 1.2. Tyrimui atlikti naudota įranga

Topografiniam planui sudaryti reikalingiems duomenims surinkti naudota ši geodezinė įranga (4 pav.): UAV DJI PHANTOM 4 PRO; „E-Survey E300 Pro GNSS“ imtuvas; „Leica Viva GNSS GS08 plus GPS“ imtuvas; tacheometras „Leica TS12“.

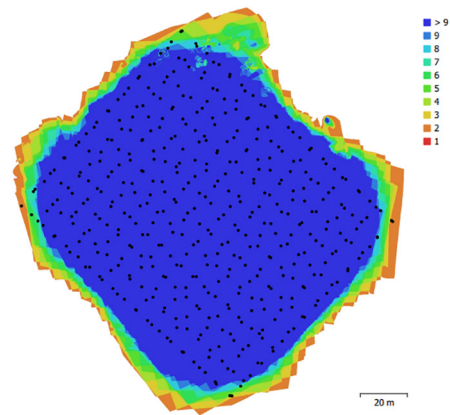
UAV charakteristikos: valdymo atstumas siekia iki 7 km, skrydžio laikas – iki 30 min, 2,4 Ghz arba 5,8 Ghz valdymo dažnio keitimas, skrydžio greitis – iki 72 km/h. GNSS imtuvo charakteristikos: palydovų sekimas – GNSS IMTUVAS L1CA/L1P/L1C/L2P/L2C/L5; GLONASS: G1, G2, G3; „BeiDou“ – B1I, B2I, B3I, B1C, B2a, B2b, ACEBOC; „Galileo“ – E1, E5a, E5b, ALTBOC, E6; SBAS: L1/L5; IRNSS; QZSS – L1C/A, L1C, L2C, L5, LEX; L juosta – ATLAS H10/H30/H50; statinis tikslumas (horizontalus: 2,5 mm + 0,5 ppm; vertikalus: 5 mm + 0,5 ppm); RTK tikslumas (horizontalus: 8 mm + 1 ppm; vertikalus: 15 mm + 1 ppm). „Leica Viva GS08 Plus GPS“ imtuvas: palydovų sekimas L1, L2, L2C (C/A, P, C kodas); GLONASS: L1, L2 (C/A, P siauras kodas); SBAS: WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS; RTK statinis režimas (horizontalus: 5 mm + 0,5 ppm; vertikalus: 10 mm + 0,5 ppm; atitinka ISO 17123-8 standartą); RTK judėjimo režimas (horizontalus: 10 mm + 1 ppm; vertikalus: 20 mm + 1 ppm). „Leica TS12 Robotic“ tikslumas Hz: 1' (0,3 mgon), 2'' (0,6 mgon), 3'' (1 mgon), 7'' (2 mgon) keturių ašių kompensavimas, atstumo matavimas su 360° prizme – 2000 m, tikslumas – 1 mm + 1,5 ppm / 2,4 s, kampo tikslumas – 1'' (0,3 mgon).

## 1.3. Metodologija

Teritorijos skrydžio maršrutas sudarytas su mobiliąja programa „Pix4Dcapture“. UAV valdytas išmaniuoju įrenginiu „iPad mini 4“ su programine įranga „iPadOS“ (ver. 15.1). Drone įmontuota FC6310 fotokamera, nuotraukų skiriamoji geba – 5472×3648 pikseliai, židinio nuotolis – 8,8 mm, pikselio dydis – 2,41×2,41 μm. Skrydis vykdytas 35 m aukštyje virš žemės paviršiaus. Padarytos 449 viena kitą iš dalies dengiančios nuotraukos (5 pav.).

Nuotraukos apdorotos „Agisoft Metashape“ programa. Programa automatiškai nustato fotokameros optikos kalibravimo koeficientus. Jie pateikti 6 paveiksle.

Programa „Agisoft Metashape“ automatiškai apskaičiuoja atraminių kontūrženklų vidutinį kvadratinį nuokrypį, kuris pateiktas 2 lentelėje.



5 paveikslas. Nuotraukų dalinis sutapimas



a)



b)



c)



d)

4 paveikslas. Geodezinė įranga: a) UAV; b) GNSS imtuvas; c) GPS imtuvas; d) tacheometras

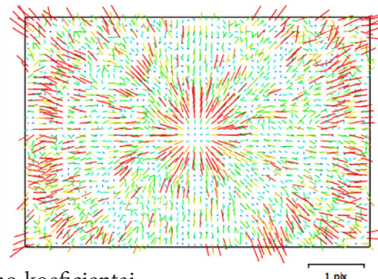


Gautą DEM taškų debesį sudaro daugiau nei 1,1 milijono taškų (7 ir 8 pav.).

Tacheometru „Leica TS12“ koordinuoti kontūrženkliai ir atsitiktine tvarka išmatuoti penki taškai, kurie kaip etalonas naudoti padėties paklaidai

įvertinti tarp tacheometru išmatuotų taškų ir gautų iš taškų debesies. Penkiems išmatuotiems etaloniniams taškams DEM parenkami artimiausi taškai, padėties paklaidos cm pateiktos diagramose (9–11 pav.).

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3649,74	0,1	1,00	-0,01	-0,94	0,04	0,00	0,03	-0,04	-0,15
Cx	-3,50972	0,013		1,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,78	0,05
Cy	19,3616	0,043			1,00	-0,15	0,04	-0,07	0,04	0,36
K1	-0,00207924	1,3e-05				1,00	-0,92	0,86	-0,01	-0,33
K2	-0,0117775	3,6e-05					1,00	-0,98	0,00	0,07
K3	0,0122047	3,2e-05						1,00	-0,00	-0,07
P1	0,000305115	1,4e-06							1,00	0,04
P2	0,00107882	1,6e-06								1,00



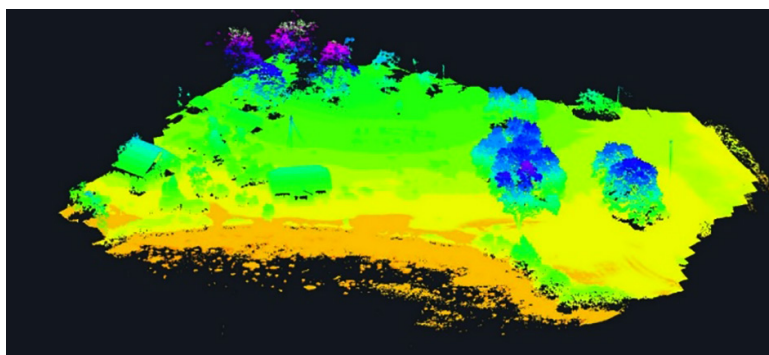
6 paveikslas. Fotokameros optikos kalibravimo koeficientai

2 lentelė. Atraminių kontūrženklių vidutinis kvadratinis nuokrypis

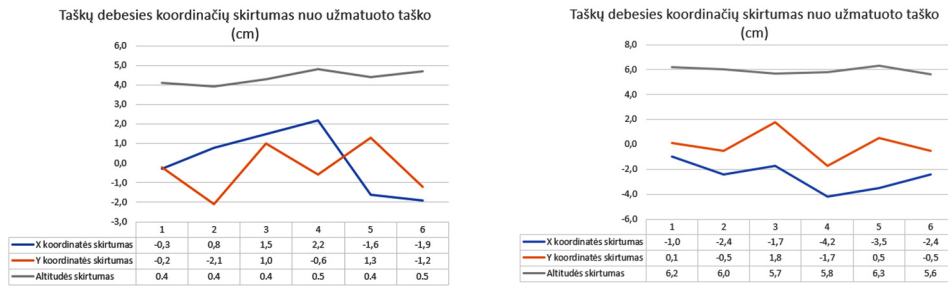
Nr.	X paklaida, cm	Y paklaida, cm	Altitudės paklaida, cm	Erdvinė bendra paklaida, cm	Pav. paklaida (pix)
1.	-0,38	0,10	-0,97	1,05	0,12 (65)
2.	0,69	0,47	0,46	0,95	0,11 (63)
3.	0,66	-0,78	-1,21	1,58	0,15 (77)
4.	-0,89	0,54	0,78	1,30	0,12 (61)
5.	0,45	0,20	-0,68	0,84	0,18 (32)
6.	-0,53	-0,53	1,62	1,79	0,10 (154)
IŠ VISO	0,62	0,49	1,03	1,30	0,12



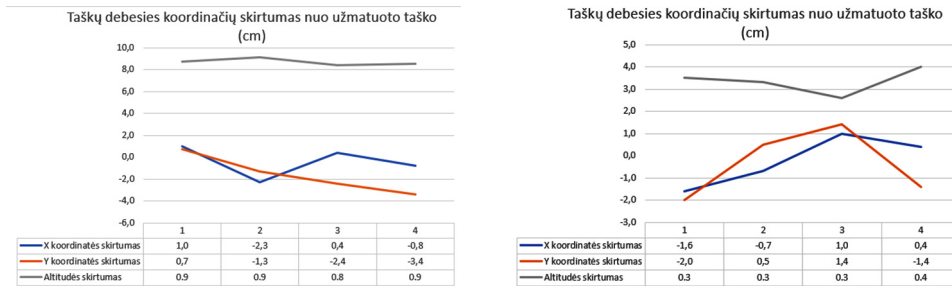
7 paveikslas. Taškų debesis „AutoCAD Geomap 2022“ programos aplinkoje



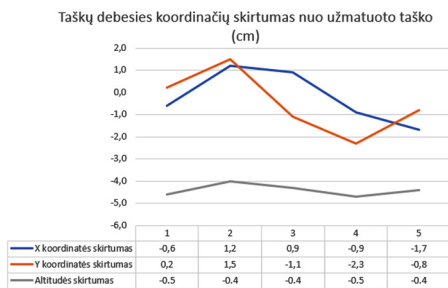
8 paveikslas. Aukščių spektras



9 paveikslas. 1 ir 2 taško ir taškų debesies koordinacių skirtumai



10 paveikslas. 3 ir 4 taško ir taškų debesies koordinacių skirtumai



11 paveikslas. 5 taško ir taškų debesies koordinacių skirtumai

vertikaliojoje plokštumoje nesiekia 10 cm. Topografinio plano tikslumas skirstomas į klases, pateiktas 3 lentelėje. Pagal 3 lentelėje pateiktą maksimalų leidžiamąjį objektų padėties tikslumą išmatuotas objektas patenka į A kategorijos tikslumo klasę. Iš taškų debesies pagal GKTR nubraižomas topografinis planas (12 pav.).

## 2. Rezultatai ir diskusija

Iš gautų rezultatų matyti, jog atsitiktinai parinktų taškų skirtumai horizontaliojoje plokštumoje svyruoja nuo -4,2 cm iki 2,2 cm, o vertikaliojoje plokštumoje – nuo -4,7 cm iki 9,1 cm. Įvertinus paklaidas, gautas palyginus koordinates, ir kontūrženklių paklaidas, gautas sudarant taškų debesį, galima teigti, jog šiuo atveju maksimalios paklaidos horizontaliojoje plokštumoje nesiekia 5 cm, o



12 paveikslas. Topografinis planas

3 lentelė. Topografinio plano tikslumo klasės

Tikslumo klasė	Išmatuotų topografinių objektų padėties paklaida (vid. kv. paklaida, 95 proc. tikimybė), cm			Rekomenduojama masteliui	Mažiausias objekto dydis, vaizduojamas masteliu, cm
	horizontalios	vertikalios			
		tvirtų kontūrų	kietų paviršių		
A	10	10	20	1:200	10
B	20	10	20	1:500	20
C	50	25	50	1:1000	50
D	80	80	100	1:2000	80

## Išvados

Sudarant topografinius planus, derinant įprastinius matavimus su fotogrametriniais metodais, naudojant bepilotį orlaivį, gaunamas gerokai detalesnis vaizdas, nei tik taikant įprastinius matavimo metodus. Tikslumas atvirose vietovėse atitinka keliamus reikalavimus, tačiau reikėtų atsižvelgti į tai, jog būtų užtikrintos tinkamos sąlygos naudoti bepilotį orlaivį, taip pat reikėtų įvertinti ir tai, jog ne visada įmanoma tacheometrą pakeisti bepiločiu orlaiviu. Priklausomai nuo užstatymo tankumo ir augalijos, taškų debesis gali būti iškraipytas ir neatitikti tikro esamo paviršiaus. Į tai reiktų atsižvelgti prieš renkantis matavimo būdą.

## Literatūra

- Chiabrando, F., Nex, F., Piatti, D., & Rinaudo, F. (2011). UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaeological areas: Two tests in the Piedmont region (Italy). *Journal of Archaeological Science*, 38(3), 697–710. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.10.022>
- Fryer, J. G. (1996). *Close range photogrammetry and machine vision*. Whittles.
- Yang, X., & Hodler, T. (2000). Visual and statistical comparisons of surface modeling techniques for point-based environmental data. *Cartography and Geographic Information Science*, 27(2), 165–176. <https://doi.org/10.1559/152304000783547911>
- Li, Z. (1988). On the measure of digital terrain model accuracy. *The Photogrammetric Record*, 12(72), 873–877. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.1988.tb00636.x>
- Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerija. (2021). *Dėl Geodezijos ir kartografijos techninių reikalavimų reglamento GKTR 1:01:2020 „Topografinių objektų geodezinių matavimų atlikimo ir topografinių planų sudarymo tvarka“ patvirtinimo*. Vilnius.
- Pérez, M., Agüera, F., & Carvajal, F. (2013). Low cost surveying using an unmanned aerial vehicle. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-1/W2, 311–315. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-311-2013>
- Stefanik, K., Gassaway, J., Kochersberger, K., & Abbott, A. L. (2011). UAV-based stereo vision for rapid aerial terrain mapping. *GIScience & Remote Sensing*, 48, 24–49. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.48.1.24>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- Zarco-Tejada, P. J., Berni, J. A. J., Suárez, L., Sepulcre-Cantó, G., Morales, F., & Miller, J. R. (2009). Imaging chlorophyll fluorescence with an airborne narrow-band multispectral camera for vegetation stress detection. *Remote Sensing of Environment*, 113(6), 1262–1275. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.02.016>
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>

## ACCURACY AND ANALYSIS OF THE USE OF GEODETIC AND REMOTE SENSING DATA TO CREATE TOPOGRAPHIC PLANS

A. JAKUTIS,  
J. SUŽIEDELYTĖ VISOCKIENĖ

**Abstract.** Traditional studies derived from data from manned aircraft are expensive, and the resolution of captured images is often limited. The main advantage of the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system as a photogrammetric sensor platform, along with the traditional manned aircraft, is the high flexibility that allows obtaining high-resolution photos from non-traditional positions and low cost. Nowadays, when measuring small objects, it is uneconomical to use manned aircraft, therefore, improved digital cameras are integrated into UAVs, software for convenient photo processing. Using the UAV system to create orthophotographic, height (Digital Elevation Model (DEM)) models of various objects, to produce topographic plans. In the research work, a DEM of the surface of the territory of 5000 m<sup>2</sup> was created based on the UAV photo and geodetic measurements with a tacheometer, which was used to create a topographic plan. In accordance with the requirements set out in the Geodesy and Cartography Technical Requirements Regulation (GKTR), accurate topographical mapping was analyzed using pleasant geodetic methods and a photo was taken by DJI PHANTOM 4 PRO with an integrated 8.8 mm focal length lens camera FC6310 based on UAV photos. The result shows that the combination of drawing up topographic plans is better to observe geodetic with photogrammetric methods, using UAV, a much more detailed image, but it is necessary to take into account the density of the territory law. DTM can be distorted and neat in reality on the surface. However, the obtained plan and height accuracy in open areas meets the requirements given by GKTR.

**Keywords:** topographic plan, photogrammetry, elevation model, GKTR, UAV.