



ORTOFOTOGRAFINIŲ ŽEMĖLAPIŲ ANALIZĖ PANAUDOJANT TRIMBLE INPHO UASMASTER PROGRAMĄ

Agneška Sinkevič¹, Jūratė Sužiedelytė Visockienė²

¹magistrantas, ²profesorė

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Geodezijos ir kadastro katedra

El. p.: agneska.sinkevic@stud.vgtu.lt, juratesuziedelyte-visockiene@vilniustech.lt

Anotacija. Darbo tikslas – įvertinti ortofotografinių žemėlapių tikslumą priklausomai nuo atraminių taškų skaičiaus ir jų išdėstymo trianguliacijos bloke. Ortofotografinių žemėlapių sudarymui yra naudojama nemažai kompiuterinių projektavimų (angl. Computer-aided design) (CAD) ir geografinių informacinių sistemų (GIS) programų. Tiriamojo objekto ortofotografinių žemėlapių generavimui, atsižvelgiant į darbų sąnaudas ir tikslumą, parinktas fotonuotraukų apdorojimo metodas ir komercinė, fotogrametrinė programa Trimble Inpho UASMaster. Straipsnyje pristatyta ortofotografinių žemėlapių sudarymo darbų eiga. Pagal aerotrianguliacijos skaičiavimų rezultatus įvertintas dešimties ortofotografinių žemėlapių, sudarytų naudojant skirtingą atraminių taškų skaičių ir išdėstymą, rezultatų tikslumas. Suskaičiuotos atraminių taškų paklaidos, lyginant koordinacinių reikšmes su geodeziniu metodu išmatuotomis taškų koordinatėmis. Gauti planiniai nesutapimai yra nuo 0,1 iki 3,4 cm, o aukščių paklaidos yra didesnės – iki 13,5 cm. Klaidas įtakoja atraminių taškų skaičius ir jų išsidėstymo konfigūracija.

Reikšminiai žodžiai: ortofotografiniai žemėlapiai, aerofotogrametrija, Trimble Inpho UASMaster, atraminiai taškai, tikslumo analizė

Įvadas

Ortofotografiniai žemėlapiai itin plačiai naudojami GIS, kaip pagrindas įvairių sričių analizei. GIS duomenų bazė sudaroma skaitmeninant objektus ortofotografiniuose žemėlapiuose. Visame pasaulyje ortofotografiniai žemėlapiai populiarėja, kaip aplinkos analizės priemonė, atliekant erdvinės analizės (Noszczyk, Gawronek, 2020). Pavyzdžiui, parengti žemėlapiai ir GIS duomenų bazė naudojamos stebėti ir optimizuoti žemės ūkio plastiko atliekų surinkimą ir jų gabenimą į perdirbimo įmones (Blanco ir kt., 2018). Nors žemėlapių kūrimo procesas yra ganėtinai brangus, jo panaudojimas laikomas geriausiu variantu norint gauti didelio tikslumo duomenis apie objektų padėtį. Panaudojant kuo mažesnes sąnaudas siekiama gauti kuo didesnio tikslumo rezultatą. Atsirado galimybė atlikti nepiltuojamo orlaivio (UAV) skrydį su įjungta realaus kinematinio laiko (angl. Real Time Kinematic) (RTK) sistema, todėl sumažėjo naudojamas atraminių taškų skaičius, pagerėjo aerotrianguliacijos efektyvumas ir patikimumas. Nepaisant to, pagrindinis tikslumo elementas išlieka atraminių taškų kokybė (Pyka ir kt., 2016), kurių kiekio ir tikslumo santykis nėra išnagrinėtas. Šiam tikslui atliekama įvairaus pobūdžio analizė: kokybės ir geometrinio taškų tikslumo įvertinimas.

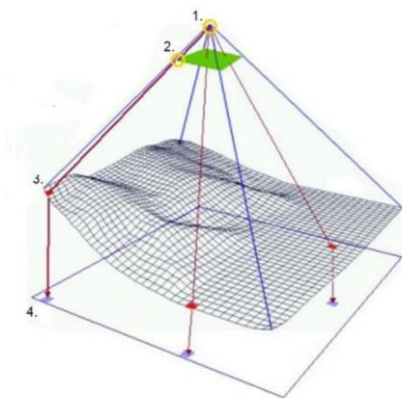
Darbo tikslas – įvertinti ortofotografinių žemėlapių tikslumą priklausomai nuo atraminių taškų skaičiaus ir jų išsidėstymo trianguliacijos bloke.

Ortofotografinių žemėlapių generalizavimas ir tikslumo įvertinimas tiriamajame objekte

Skaitmeninis ortofotografinis žemėlapis, tai rastrinis, ortogonalinis ir kartometrinis vaizdas, kuris sukuriamas skaitmeniniu būdu apdorojant aerofotonuotraukas (fotonuotraukas) (analoginius, skenuotus arba gautus tiesiogiai naudojant skaitmeninius fotoaparatus arba iš palydovinių sistemų). Fotonuotraukų apdorojimo metu pašalinami neatitikimai atsirandantys dėl fotoaparato geometrijos (posvyrio ir objektyvo lęšių distorsijos), reljefo įtakos ir Žemės kreivumo bei atmosferos refrakcijos, jei tai yra didelės teritorijos objektas (Lalak, 2019).

Ortofotografiniai žemėlapiai kuriami jungiant pataisytas pavienes fotonuotraukas į mozaiką. Proceso metu georeferenciškai orientuota fotonuotrauka iš centrinės vaizdų projekcijos transformuojama į ortogonaliją projekciją, kuri naudojama kartografijoje. Šis procesas vadinamas ortorektifikacija arba generalizavimas (1 pav.) (Królewicz, 2015). Ortofotografinio žemėlapių generalizavimo uždavinys – praveisti spindulį per kiekvieną fotonuotraukos elementą, projekcijos centrą, reljefo modelio elementą ir stačiu kampu suprojektuoti į horizontaliąją plokštumą. Spindulio susikirtimas su projektuojamąja plokštuma – tai gautoji elemento padėtis ortogonalioje

projekcijoje (Ruzgienė ir kt., 2012). Šio proceso metu taip pat vykdomas fotonuotraukų apjungimas, spalvų suvienodinimas ir vietovės objektų sugretinimas.



1 pav. Ortorektifikacijos procesas (Greger, 2019)

Ortofotografinių žemėlapių tikslumą lemia (Aljab'ev, Litvincev, Kobzeva, 2018):

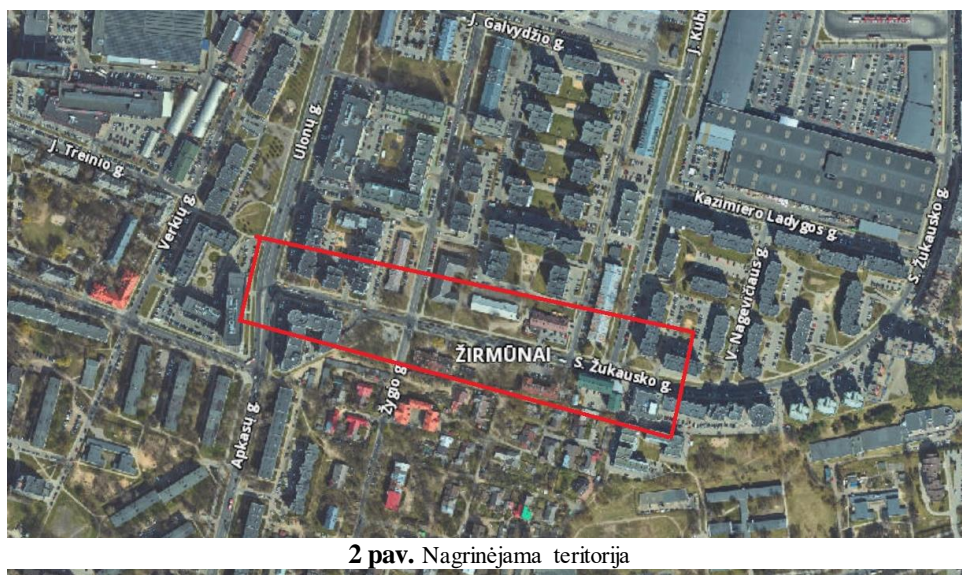
- fotonuotraukų kokybė, jų skiriamoji geba (vidinio orientavimo klaidos, objektyvo distorsija, fotonuotraukų neryškumas);
- fotogrametrinio atramos tinklo tikslumas (atraminių taškų koordinacių ir aukščio matavimo tikslumas, matavimo tikslumas fotogrametrinėje programoje);
- ryšio taškų atpažinimas;
- lėktuvo charakteristikos ir skrydžio aukštis;
- naudojamo generalizacijoje skaitmeninio paviršiaus modelio tikslumas.

Skaitmeninio ortofotografinio žemėlapio generalizavimo tikslumą apibūdina vieno arba dviejų vaizdo elementų (pikselių) dydis, kuris priklauso ir nuo fotonuotraukos mastelio. Pavyzdžiui, jei ortofotografinio žemėlapio mastelis yra 1:1000, o vieno pikselio dydis yra 0,10 m, tai sudaromojo ortofotografinio žemėlapio tikslumas – 0,20 m. Ortofotografinio žemėlapio, sudaryto pagal 1:2000 mastelio fotonuotrauką, vidutinis geometrinis tikslumas – apie 0,4 m (Ruzgienė ir kt., 2012). Realus ortofotografinio žemėlapio tikslumas įvertinamas lyginant tarpusavyje aerotrianguliacijos skaičiavimais gautas atraminių taškų koordinates su geodeziniu metodu matavimų koordinacių išmatuotomis reikšmėmis. Taip pat išskaičiuojamos vidutinės kvadratinės paklaidos ir standartinio nuokrypio vertės.

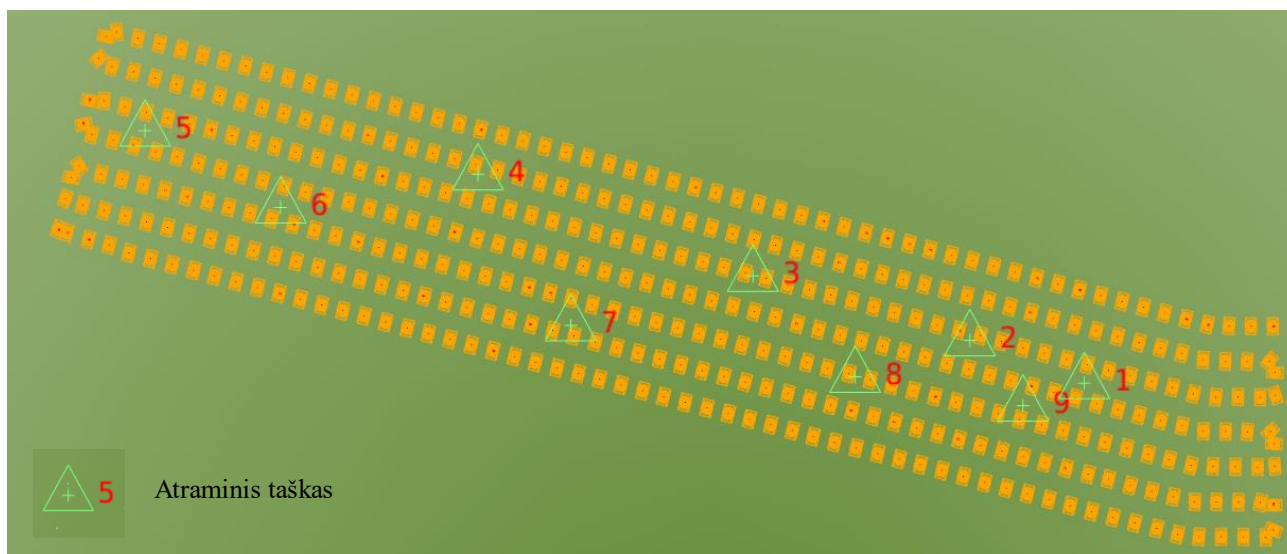
Ortofotografinio žemėlapio tikslumas priklauso nuo tyrimo vietos konfigūracijos, dydžio ir gali būti 30 cm ar daugiau. Tam tikruose projektuose (antžeminės fotogrametrijos atveju) didžiausia leistina paklaida gali būti 5–7 cm ir mažiau. Šiandien įmonės, naudojamos naujas technologijas pasiekia mažesnę nei 3 cm santykinę planinį tikslumą, tai yra 3 cm XY ašies kryptimi ir apie 9 cm Z kryptimi (Mulakala, 2019).

Užskridimas atliktas urbanizuotoje Vilniaus miesto, Žirmūnų seniūnijos vietovėje. Skrydžio schema yra stačiakampio formos, plotas – apie 9,36 ha (2 pav.). Reljefas objekte yra gana tolygus. Teritorijoje vyrauja skirtingų aukštų pastatai, keliai ir augmenija.

Ortofotografinių žemėlapių generalizavimo metodika



2 pav. Nagrinėjama teritorija



3 pav. Skrydžio maršrutas su koordinuotais atraminiais taškais

Ortofotografinių žemėlapių kūrimui panaudota Trimble Inpho UASMaster programa. Pagal Tichonov (2018) ši programa yra viena iš šešių žinomiausių fotogrametrinių programinių įrangų. 2017 m. Michael Schwind ir Michael Starek atliko išsamų žinomų fotogrametrinių įrangų palyginimą ir nustatė, kad ši programa yra tiksli ir tinkanti fotogrametrinėms procesams vykdyti.

Objektas fotografuotas fotoaparatu integruotu į DJI Phantom 4 droną ankstyvo pavasario metu nuo 13:21 val. iki 13:38 val. su įjungta RTK sistema (nuo LitPos tinklo). Tai Globalinės padėties sistemos (GPS) koordinacinių korekcijos technologija teikianti vietos koordinacinių duomenų pataisymus realiuoju laiku, kai drono fotoaparatas fotografuoja teritoriją. Atraminiai taškai matuoti vietovėje su Spectra SP60 globalios padėties nustatymo sistemos (GNSS) imtuvu. Tiriamoje teritorijoje gautos 403 (5472 × 3648 pikselių matricos) fotonuotraukos. Pikselio dydis – 2,4 × 2,4 mm. Fotoaparato objektyvo židinio nuotolis iki fotonuotraukų apdorojimo proceso – 9 mm. Skrydis atliktas 86,154 m aukštyje. Gautas fotonuotraukose vieno pikselio atitiktumo teritorijoje (angl. Ground Sampling Distance) (GSD) 0,024 m. Skrydžio maršruto schema pateikta 3 paveiksle. Skrydis suprojektuotas automatiškai su Trimble Inpho UASMaster programa.

Į sukurtą projektą įkelti visi duomenys (fotonuotraukos (įkėlus jas programa automatiškai atpažįsta fotoaparato charakteristikas), atraminiai taškai. Nustatyta GNSS paklaida – 5 cm. Prie atraminių taškų standartinių nuokrypių įvesta 1 cm paklaida. Visi įvesties duomenys yra pateikti vienoje koordinacinių sistemoje, plotas nedidelis, todėl be transformacijų pasirinkta LKS 94 koordinacinių sistema. Aukščių analizei įkeltas geoido modelis.

Atraminiai taškai projekte matuoti rankiniu būdu 10 fotonuotraukose, stengiamasi matavimams pasirinkti

fotonuotraukas su skirtingų fotografavimo kampų. Matavimo tikslumas apibrėžiamas 2 pikseliais, tai yra apie 0,05 m. Atraminiai taškai išmatuoti 31 – 40 fotonuotraukose. Skaičiavimuose nedalyvaujantys atraminiai taškai matuoti 3 fotonuotraukose. Jie nenaudojami aerotrianguliacijos skaičiavimuose, tačiau galutinėje ataskaitoje pateiktos gautos paklaidos. Matavimų eigoje pastebėta, kad Nr.8 ir Nr.9 atraminiai taškai nesimato fotonuotraukose dėl pastatų šešėlių, todėl šie taškai nematuoti.

Atlikus taškų matavimą, vykdomi aerotrianguliacijos skaičiavimai. Pasirinktas aukščiausios skiriamosios gebos lygis. Šiame metode programa pikselio dydį palieka tokį patį kaip pradinėse fotonuotraukose. Galimi du ryšio tarp nuotraukų taškų gavimo būdai: silpno ir tikslaus išrinkimo. Pasirinktas tikslus išrinkimo būdas. Taip pat atlikta fotonuotraukų išorinė orientacija, kurios metu skaičiavimai vyko pagal nustatytą pagrindinį tašką, įvertinant fotoaparato objektyvo distorsijos koeficientus ir GNSS duomenis.

Paviršiaus taškų masyvas sukurtas pagal vietovės elementų suderinamumą (angl. Cost Based Matching) (CBM) – paviršiaus generalizavimo metodą. Tai yra vidutinio tikslumo metodas, tačiau jis sukuria tankų taškų masyvą. Kadangi nebus analizuojami objektai esantys virš žemės paviršiaus, nėra būtinybės kurti tikslesnio pagrįsto visuotinu derinimo metodu (angl. semi-global matching (SGM) masyvo. Pasirinkta vidutinė skiriamoji geba, kai taškų masyvo detalumas atitinka $GSD \times 3 \times 2$. Teritorijos vaizdų GSD yra 0,024 m, tai taškų masyvo detalumas – 0,144 m.

Pasirinktas klasikinio ortofotografinio žemėlapių generalizacijos būdas, nes objektai esantys virš žemės paviršiaus neanalizuojami ir neturi įtakos žemės paviršiaus geometriniam tikslumui (4 pav.).



4 pav. Gautas ortofotografinis žemėlapis

Ortofotografinių žemėlapių analizė

Atraminiai taškai išdėstyti visame fotografuotame plote (3 pav.). Tikslumo vertinimui sukurta 10 ortofotografinių žemėlapių su skirtingu atraminių taškų skaičiumi:

1 var. – skaičiavimai atlikti su atraminiu tašku Nr.5, kuris yra bloko kairiajame šone;

2 var. – skaičiavimai atlikti su atraminiu tašku Nr.3, kuris yra bloko viduryje;

3 var. – skaičiavimai atlikti su atraminiais taškais Nr.1 ir 5, kurie yra bloko pakrasčiuose;

4 var. – skaičiavimai atlikti su atraminiais taškais Nr.3 ir 5, tarp kurių vienas yra bloko viduryje, o kitas kairiajame šone;

5 var. – skaičiavimai atlikti su atraminiais taškais Nr.1, 3 ir 5, tarp kurių du yra bloko pakrasčiuose ir vienas viduryje;

6 var. – skaičiavimai atlikti su atraminiais taškais Nr.1, 3, 5 ir 7, tarp kurių du yra bloko pakrasčiuose ir du viduryje;

7 var. – skaičiavimai atlikti su atraminiais taškais Nr.1, 3, 5, 6 ir 7, tarp kurių du yra bloko pakrasčiuose, du viduryje ir vienas prie kairiojo šono;

8 var. – skaičiavimai atlikti su atraminiais taškais Nr.1, 3 – 7, tarp kurių du yra bloko pakrasčiuose, du viduryje ir du arčiau kairiojo šono;

9 var. – skaičiavimai atlikti su visais atraminiais taškais Nr.1 – 7, kurie išsidėstę po visą bloko plotą;

10 var. – skaičiavimai atlikti be atraminių taškų.

Aerotrianguliacijos skaičiavimų ataskaitose pateiktos atraminių taškų paklaidos lyginant jas su geodeziniu metodu išmatuotomis taškų koordinatėmis (1 lentelė).

1 lentelė. Atraminių taškų paklaidos po aerotrianguliacijos

Koordinatės ašis	Vidutinė paklaida, cm	Didžiausia paklaida, cm	Mažiausia paklaida, cm
1 var.			
X	0,8	3,1	0,0
Y	1,2	2,6	0,2
Z	3,7	6,3	0,0

2 var.			
X	0,6	1,6	0,1
Y	0,9	2,2	0,0
Z	2,1	6,1	0,1
3 var.			
X	0,6	2,2	0,1
Y	0,8	2,4	0,1
Z	1,3	2,5	0,6
4 var.			
X	0,6	1,3	0,2
Y	0,6	2,0	0,2
Z	2,3	5,3	0,3
5 var.			
X	0,5	0,8	0,3
Y	0,7	1,6	0,1
Z	1,3	5,8	0,0
6 var.			
X	0,5	0,9	0,1
Y	0,6	2,4	0,0
Z	1,4	3,6	0,2
7 var.			
X	0,4	0,8	0,1
Y	0,5	1,3	0,1
Z	0,6	2,0	0,1
8 var.			
X	0,5	1,1	0,1
Y	0,4	1,0	0,1
Z	0,3	1,6	0,0
9 var.			
X	0,4	0,7	0,1
Y	0,4	1,0	0,1
Z	0,2	0,5	0
10 var.			
X	1,3	2,9	0,6
Y	1,3	2,8	0,3
Z	9,0	13,5	4,2

Išanalizuotas ortofotografinių žemėlapių tikslumas, fotogrametriškai išmatuotos 7 atraminių taškų koordinatės palygintos su gautomis matuojant GNSS imtuvu. Matavimų paklaida eliminuota pakartotiniais matavimais, kai taškas fotogrametriškai matuotas po 3 kartus, analizuojant gautą vidutinę vertę. Gauti skirtumai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Atraminių taškų planinių koordinatė paklaidos

Koordinatės ašis	Vidutinė paklaida, cm	Didžiausia paklaida, cm	Mažiausia paklaida, cm
1 var.			
X	1,0	1,2	0,6
Y	1,1	2,2	0,4
2 var.			
X	1,0	1,5	0,4
Y	0,7	1,0	0,1

3 var.			
X	1,0	2,6	0,3
Y	1,0	3,3	0,1
4 var.			
X	1,1	2,5	0,3
Y	0,9	3,4	0,0
5 var.			
X	0,8	2,2	0,1
Y	0,7	2,6	0,2
6 var.			
X	0,9	2,2	0,1
Y	1,0	3,4	0,4
7 var.			
X	0,8	1,7	0,2
Y	0,5	0,8	0,1
8 var.			
X	0,7	1,2	0,2
Y	0,4	0,8	0,1
9 var.			
X	0,8	2,3	0,1
Y	0,5	0,9	0,1
10 var.			
X	1,2	2,5	0,2
Y	1,1	3,3	0,2

Generalizuojant ortofotografinius žemėlapius, atraminių taškų skaičius įtakoja geometrinį tikslumą. Analizuojant aerotrianguliacijos rezultatų vidutines paklaidas, matoma, kad kuo daugiau naudojamų atraminių taškų, tuo mažesnė paklaida. 70% atveju, didesnės paklaidos yra Y ašyje. Skaičiavimuose naudojamų atraminių taškų paklaidos buvo mažiausios. Nagrinėjant X ašį, pastebėta, kad paklaidos didėja tolstant nuo matuotų taškų. Y ašyje tokios tendencijos nepastebėta. Planinių koordinatų paklaidų diapazonas yra nuo 0,0 iki 3,2 cm, tuo tarpu analizuojant aukščius, diapazonas yra nuo 0,0 iki 13,5 cm. Bloko kairioji pusė tikslesnė nei dešinioji. Manoma, kad tuo priežastimi yra atraminių taškų išsidėstymas, nes dešiniajame bloke atraminiai taškai yra išsidėstę vienoje linijoje. Analizuojant sugeneralizuotų ortofotografinių žemėlapių tikslumus, priklausomybės tarp atraminių taškų skaičiaus ir tikslumo nėra. Tuo priežastimi gali būti fotogrametrinio matavimo paklaidos. Pastebėta, kad skaičiavimuose dalyvaujančių atraminių taškų paklaidos nėra mažiausios, o kai kuriuose atvejuose net didžiausios (ypač, kai skaičiavimuose dalyvavo vienas atraminis taškas). Naudojant vieną atraminį tašką šone, gaunamos netolygiai paskirstytos paklaidos. Kituose atvejuose pastebėta tendencija, kad pagal X ašį mažesnės paklaidos yra bloko kairioje pusėje, pagal Y – bloko apačioje. Didžiausios paklaidos atraminio taško Nr. 6, kuris įrengtas prie aukšto pastato, nustatytos fotogrametriniu būdu koordinatės skyrėsi nuo geodeziniu būdu nustatytų iki 3,4 cm.

Paklaida sumažėjo, kai taškas, kaip atraminis dalyvavo skaičiavimuose.

Išvados

1. Sugeneralizuotuose ortofotografiniuose žemėlapiuose pastebėti objektų nesutapimai, ypač prie aukštų pastatų ir ant jų stogų.
2. Nustatyta, kad 7 cm aukščio tikslumui užtikrinti, reikalingas bent vienas atraminis taškas, tuo tarpu norint gauti vidutinį tikslumą objektams iki 1 m – mažiausiai 5 atraminiai taškai.
3. Vidutinių paklaidų skirtumas tarp aerotrianguliacijų ir galutinių ortofotografinių žemėlapių rezultatų yra 2 mm, 75 % atveju, aerotrianguliacijos paklaidos buvo mažesnės.
4. Visų ortofotografinių žemėlapių vidutinis tikslumas – $0,9 \pm 0,3$ cm.
5. Generalizuojant 1 : 200 mastelio ortofotografinį žemėlapi su 1 cm vidutiniu tikslumu, reikalingas minimalus 3 atraminių taškų skaičius.
6. Generalizuojant žemėlapi mažesnio nei 1,2 cm vidutiniu tikslumu, atraminiai taškai nereikalingi, jei naudojama RTK sistema.
7. Rekomenduojama skaičiavimuose naudoti atraminius taškus įrengtus prie aukštų pastatų.

Padėkos

Dėkoju įmonei UAB „GeoNovus“ už pateiktus pradinis duomenis, prieigą prie programinės įrangos ir konsultacijas vykdant skaičiavimus.

Literatūra

- Aljab'ev, A. A., Litvincev, K.A., Kobzeva, E.A. (2018). Fotogrammetričeskij metod v kadastryh rabotah: cifrovyte stereomodeli i ortofotoplany. *Geoprofi*, 2: 4-8.
- Blanco, I., Loisi, R. V., Sica, C., Schettini, E., Vox, G. (2018). Agricultural plastic waste mapping using GIS. A case study in Italy. *Resources, Conservation and Recycling*, 137: 229-242.
- Greger, H. (2019). Performance of photogrammetric software packages on marshlands: magistro baigiamasis darbas. University of Oslo.
- Królewicz, S., Wyczałek, M., Ceglarek, J., Piekarczyk, J., Kaźmierowski, C., Lewińska, K., Herodowicz, K. (2015). Geodezyjna ocena dokładności ortofotomapy i cyfrowego modelu powierzchni terenu kampusu WNGIG wykonanej na podstawie zdjęć fotograficznych z UAV. *Prace z zakresu geografii i geologii*, 2:17-30.
- Lalak, M. (2019). Analysis of accuracy of the generous orthophotomap on the basis of digital aerial photos collected for the airport Dęblin, *Journal of Konbin*, 49(3): 471-496.

- Mulakala, J. (2019). Measurement Accuracy of the DJI Phantom 4 RTK & Photogrammetry | DroneDeploy. Report. p. 18. https://img1.wsimg.com/blobby/go/17e54efb-8b6c-4b18-adc1bf15b5c380fc/downloads/dji_phantom_4_rtk_book_F4.pdf?ver=1553889527109.
- Noszczyk, T., Gawronek, P. (2020). Remote Sensing and GIS for Environmental Analysis and Cultural Heritage. *Remote sensing*, 12(23):3960.
- Ruzgienė, B., Jankauskienė, D., Kuklienė, L., Kuklys, I. (2012). Ortofotografinių nuotraukų tikslumo analizė. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos*, 2: 45-51.
- Schwind, M., Stark, M. (2017). Producing High-quality 3D Point Clouds from Structure-from-Motion Photogrammetry. *GIM International* <https://www.gim-international.com/content/article/structure-from-motion-photogrammetry>.
- Tichonov, A. A., Akmatov, D. Ž. (2018). Obzor programm dlja obrabotki dannyh aërofotos'emki. *Gornyj informaciono-analitičeskij bjulleten' (naučno-tehničeskij žurnal)*, 12: 192-198.

ANALYSIS OF ORTHOPHOTOGRAPHIC MAPS USING TRIMBLE INPHO UASMASTER PROGRAM

A. Sinkevič, J. Sužiedelytė Visockienė

The aim of the work is to evaluate the accuracy of orthophotographic maps depending on the number of ground points and their location. Computer-aided design (CAD) and geographic information systems (GIS) applications are used to create orthophotographic maps. For the generation of orthophotographic maps, taking into account the cost and accuracy of the works, the method of photo processing and the commercial, photogrammetric program Trimble Inpho UASMaster are chosen. The article presents the process of orthophotographic mapping. Based on the results of aerotriangulation calculations, the accuracy of the results of ten orthophotographic maps generated using different number and arrangement of ground points is evaluated. The errors of the ground points were calculated by comparing the coordinate values with the coordinates of the points measured by the geodetic method. The obtained planimetric discrepancies are from 0,1 to 3,4 cm, and the height errors are larger - up to 13,5 cm. Errors are affected by the number of ground points and the configuration of their location.