



Optimizacija horizontalne tačnosti u projektima digitalnog fotogrametrijskog premera primenom bespilotnih letelica

Nikola Santrač^{a*}, Pavel Benka^a, Mehmed Batilović^b,
Nenad Antonić^c, Radoš Zemunac^a

^aUniverzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad, Srbija

^bUniverzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju, Novi Sad, Srbija

^cCinteraction, Nikolajevska 2, Novi Sad, Srbija

*Autor za kontakt: nikola.santrac@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Bespilotne letelice danas predstavljaju jedan od najatraktivnijih tehnoloških proizvoda. Njihova primena u prikupljanju prostornih podataka je značajno porasla. Upotreba istih na brz, jednostavan i ekonomičan način omogućava prikupljanje prostornih podataka. Povećana je tačnost modela koji su kreirani obradom snimaka dobijenih fotogrametrijskom metodom premera primenom bespilotnih letelica. Za potrebe ovog istraživanja izvršen je premer područja od interesa pomoću bespilotne letelice DJI Phantom 4 sa tri različite visine leta. Postavljena je 41 kontrolna tačka, čije su koordinate određene GNSS RTK metodom i upoređivane sa koordinatama dobijenim obradom fotogrametrijskih snimaka. Istraživana je promena vrednosti dva ključna parametra koji utiču na tačnost modela. Prvi se odnosi na plan leta: visina leta, objedinjavanje nekoliko visina leta ili uzimanje samo uzdužnog smera leta. Drugi parametar se odnosi na uticaj broja kontrolnih tačaka upotrebljenih za georeferenciranje modela i postignute tačnosti modela. Analizirana je horizontalna tačnost modela u zavisnosti od obima terenskog rada, utrošenog vremena za akviziciju i obradu podataka, finansija, resursa i slično.

KLJUČNE REČI: Fotogrametrija, bespilotne letelice, GNSS, optimizacija parametara leta

Uvod

Prikupljanje podataka na terenu i kreiranje topografskih planova i karata uz što manje utrošenog vremena, finansijskih resursa, sa što većom tačnošću i detaljnošću je svakodnevni zadatak geodeta. Topografski planovi i karte sadrže podatke o parcelama, nagnutosti terena, objektima, katastarskoj kulturi i klasi i spadaju u najvažnije izvore informacija o nekom delu Zemljine površi. Topografske podloge su neophodne prilikom uređenja zemljišne teritorije, izvršavanja agrarnih operacija (eksproprijacija, arondacija, komasacija), izradi i realizaciji projekata odvodnjavanja, navodnjavanja i slično. U poslednjih nekoliko godina fotogrametrijska metoda premera primenom bespilotnih letelica postaje sve popularnija. Mogućnost kreiranja ortofoto mozaika, DSM (Digital Surface Model), DTM (Digital Terrain Model) sa velikom preciznošću omogućava primenu u različitim oblastima kao što su šumarstvo, poljoprivreda, geodezija, praćenje prirodnih katastrofa, zaštita životne sredine i mnoge druge (James and Robson, 2012; Tarolli 2014). Ortofoto snimak je fotografija na kojoj je prikazan teren u horizontalnoj projekciji i na kojoj je izvršen postupak ortorektifikacije (Wolf et al., 2014). Predstavlja fotografiju snimljenu iz vazduha ili satelitske platforme koja je ortorektifikovana tako da se dobije prikaz u ortogonalnoj projekciji. Shodno tome, moguće je meriti rastojanja i koordinate specifičnih delova terena, jer predstavlja detaljan prikaz Zemljine površi u projekciji (Gary, 2009). Metoda fotogrametrijskog premera primenom bespilotnih letelica vrši akviziciju podataka na daljinu, automatski ili poluautomatski pomoću integrisane digitalne kamere (Eisenbeiss, 2009). Osim digitalne kamere, bespilotne letelice imaju mogućnost integracije sa optičkim kamerama, termalnim, infracrvenim kamerama (Goddijn-Murphy et al. 2022), multispektralnim, hiperspektralnim kamerama (Imai et al., 2019), kao i sa LiDAR-om (Light Detection And Ranging) (Curcio et al., 2022). Na taj način se povećava broj podataka prikupljenih na terenu i proširuje se oblast primene. Bespilotne letelice imaju mogućnost integracije sa GNSS (Global Navigation Satellite Systems) uređajem, što omogućava veću tačnost i preciznost, posebno prilikom georeferenciranja modela (Alptekin and Yakar, 2020; Forlani et al., 2014). Metode premera RTK (Real Time Kinematic) i PPK (Post Processing Kinematic) omogućavaju direktno georeferenciranje bez kontrolnih tačaka postavljenih na terenu, što umanjuje vreme provedeno na terenu (Pfeifer et al., 2012). Praksa je da se snimci dobijeni ovim putem transformišu iz lokalnog koordinatnog sistema kamere koja se nalazi na bespilotnoj letelici u državni koordinatni sistem. Transformaciju koordinata je moguće izvršiti georeferenciranjem modela sa ili bez kontrolnih tačaka u

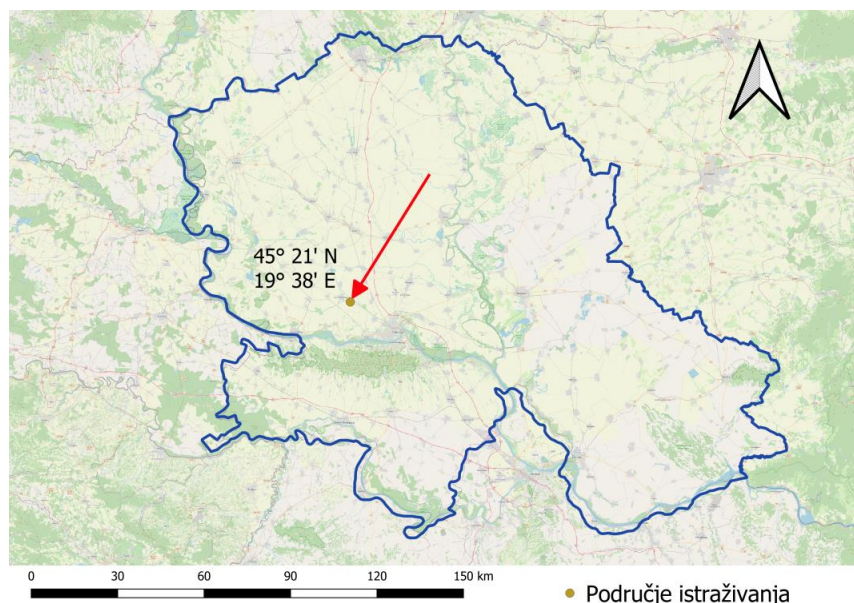
zavisnosti od integracije bespilotne letelice sa GNSS uređajem (Turk et al., 2022). Brojne studije su se bavile ispitivanjem tačnosti prikupljanja podataka fotogrametrijskom metodom premera primenom bespilotnih letelica, kao i uticajem rasporeda i broja kontrolnih tačaka prilikom georeferenciranja modela. Istraživanjem se došlo do zaključka da su tačke koje se nalaze na ivicama, naročito na uglovima područja, od suštinskog značaja, dok raspored tačaka unutar područja nije od velikog značaja (Martínez-Carricondo et al., 2018; Oniga et al., 2020). Kvalitet dobijenih modela zavisi od kvaliteta prikupljenih podataka. Na kvalitet i tačnost prikupljenih podataka utiču razni parametri kao što su metode, specifikacije bespilotne letelice, kvalitet kamere, tačnost određivanja kontrolnih tačaka GNSS metodom (Fraser et al., 2013) kalibracija kamere (Remondino et al., 2006; Forlani et al., 2018; Peppas et al., 2019) i način georeferenciranja (Dering et al., 2019). Kontrolne tačke su postavljene na terenu u cilju identifikacije grešaka na krajnjim modelima. One su izmerene GNSS RTK metodom u državnom koordinatnom sistemu. Pomoću njih je izvršeno indirektno georeferenciranje i služe za određivanje parametara spoljne orijentacije (Eltner et al., 2016). Uzimajući u obzir istraživanja navedenih autora, definisan je eksperiment kroz koji se želi utvrditi uticaj parametara od kojih se prvi odnosi na visinu leta, spajanje snimaka sa nekoliko visina leta i upotreba samo snimaka sa uzdužnog smera leta. Drugi parametar se odnosi na broj kontrolnih tačaka koji je upotrebljen u postupku georeferenciranja snimaka.

Material i metod rada

U cilju ispitivanja horizontalne tačnosti ortofoto mozaika dobijenih fotogrametrijskom metodom premera primenom bespilotne letelice izvedeno je eksperimentalno snimanje. U okviru istraživanja je izvršeno je postavljanje 41 kontrolne tačke na području snimanja. Koordinate postavljenih kontrolnih tačaka su izmerene GNSS RTK metodom. Nakon toga, započeta je druga faza istraživanja koja se sastoji od planiranja leta i snimanja područja uz upotrebu bespilotne letelice. Snimanje je izvedeno tako da je izvršeno nekoliko misija na različitim visinama. Poslednju fazu čini obrada fotografija, kreiranje ortomozaika i upoređivanja horizontalnog položaja kontrolnih tačaka dobijenih na osnovu ortomozaika i horizontalnog položaja dobijenog na osnovu GNSS RTK metode. Prilikom obrade snimaka, definisane su varijante gde je menjan parametar koji se odnosi na broj kontrolnih tačaka u postupku georeferenciranja modela.

Područje istraživanja

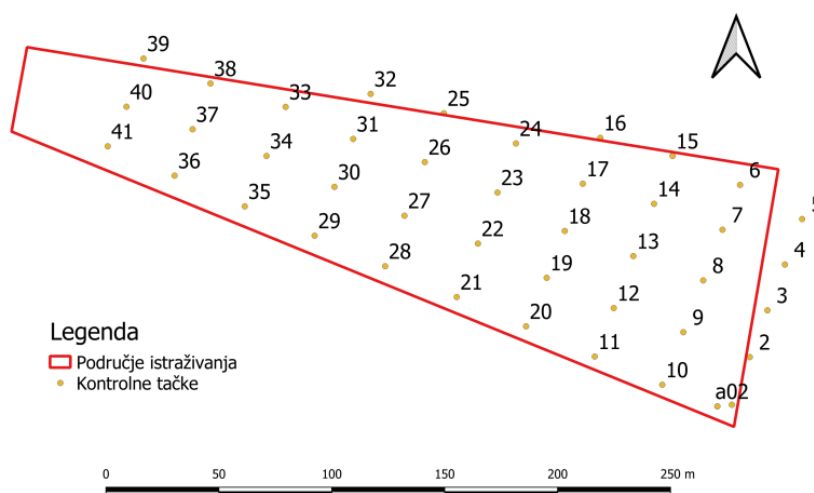
Područje istraživanja se nalazi u ataru naselja Bački Petrovac, na teritoriji Vojvodine (Slika 1). Područje je poljoprivredna parcela sa blagom depresijom, uzvišeno po obodima atara u odnosu na središnji deo. Površina područja iznosi oko 2,5 ha sa visinskom razlikom od oko 2 m između najviše i najniže tačke. Najveća nadmorska visina istraživnog područja iznosi 83,6 m, a najmanja 81,6 m. U toku istraživanja, snimanje je izvršeno u vegetativnom periodu soje, koja je bila visine do nekoliko centimetara.



Slika 1. Lokacija istraživnog područja - Vojvodina
Figure 1. Location of investigated area – Vojvodina Province

Akvizicija podataka

Materijalizacija kontrolnih tačaka na terenu predstavlja prvi korak prikupljanja podataka. Udaljenost između dve susedne kontrolne tačke je 20-30 m, njihov raspored je prikazan na Slici 2. Kontrolne tačke su materijalizovane markerima veličine 25x25 cm. Prilikom određivanja koordinata kontrolnih tačaka korišćen je Trimble R2 prijemnik (Slika 3). Na svakoj od 41 tačke je izvršeno 5 merenja (ukupno vreme merenja je 5 sekundi) GNSS RTK metodom.



Slika 2. Raspored kontrolnih tačaka
Figure 2. Position of control points



Slika 3. Merenje kontrolnih tačaka
Figure 3. Measuring of control points

Pre snimanja pomoću bespilotne letelice, definisani su plan leta, mesto poletanja i sletanja, visina leta, procenat preklapanja snimaka, rezolucija i ostali parametri (Tabela 1). Plan leta je definisan u programu DroneDeploy. Na Slici 4 je prikazan je plan i karakteristike leta za visinu od 50 m u okviru programa DroneDeploy. Fotogrametrijsko snimanje izvršeno je pomoću bespilotne letelice DJI Phantom 4 Pro.

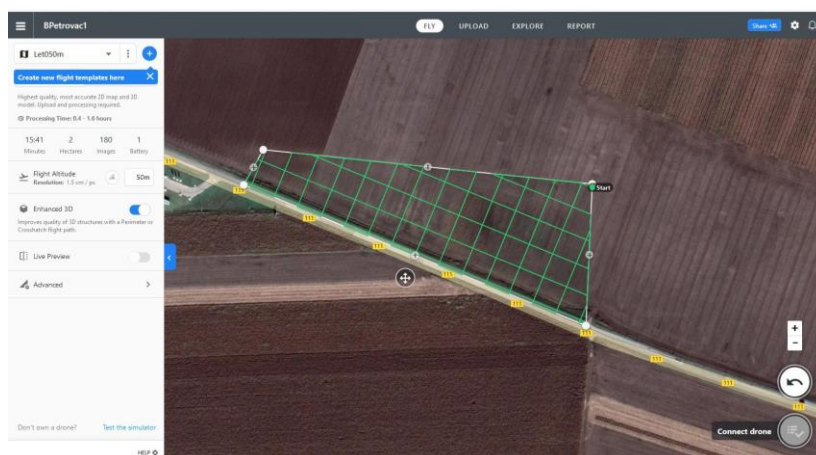
Tabela 1

Karakteristike plana leta

Table 1

Flight plan specifications

	Visina leta	Vreme leta	Očekivani broj snimaka	Očekivana rezolucija piksela	Preklap	
					Uzdužni	Poprečni
1	50 m	15 min 41 s	180	1,5 cm	75%	70%
2	80 m	11 min 48 s	72	2,4 cm	75%	70%
3	120 m	6 min 39 s	35	3,6 cm	75%	70%

**Slika 4.** Plan leta za visinu od 50m**Figure 4.** The flight plan for flight altitude of 50m**Obrada podataka**

Nakon prikupljanja podataka na terenu započeta je obrada podataka prilikom koje su korišćeni softveri Pix4D Mapper pomoću kojeg je izvršena fotogrametrijska obrada snimaka, kreiranje ortomozaika (Slika 5), DEM, DTM i DSM modela i QGIS pomoću kojeg su određene koordinate kontrolnih tačaka na dobijenim modelima. Optimizacija prvog parametra koji se odnosi na visinu leta, objedinjavanje nekoliko visina leta ili upotreba samo uzdužnog smera leta izvršena je analiziranjem varijanti koje su prikazane u tabeli 2. Pored prethodno navedenih varijanti koje utiču na prvi parametar, ispitana je i veza između broja kontrolnih tačaka upotrebljenih za georeferenciranje modela i postignute tačnosti modela, što predstavlja drugi parametar. U razmatranje su uzeti modeli sa 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15 i 21 kontrolnom tačkom. U postupku georeferenciranja modela odabir kontrolnih tačaka se zasnivao na ravnomernom i što pravilnijem geometrijskom rasporedu. Tačke koje su iskorišćene u postupku georeferenciranja modela nisu upotrebljene u postupku određivanja horizontalne tačnosti modela. Zbog prethodno navedenog, skup tačaka upotrebljenih u postupku određivanja horizontalne tačnosti modela je varirao od 38 (model sa 3 tačke) do 20 (model sa 21 tačkom).

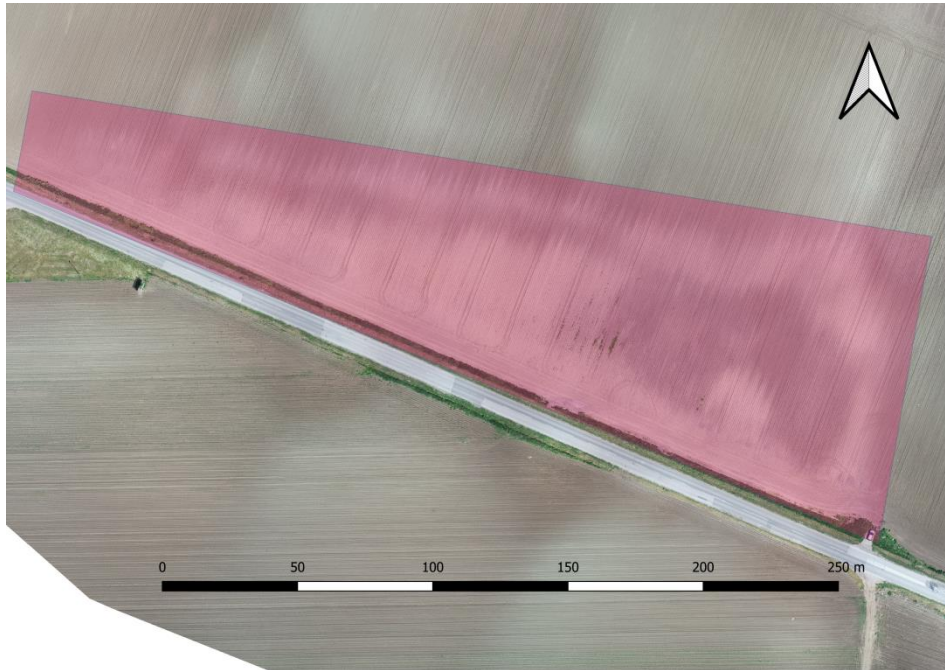
Tabela 2

Varijante prvog parametra

Table 2

Cases of the first parameter

Karakteristike leta/Varijanta	Visina leta od 50 m	Visina leta od 80 m	Visina leta od 120 m	Uzdužni smer leta	Poprečni smer leta
I	X	X	X	X	X
II	X		X	X	X
III	X			X	X
IV		X		X	X
V			X	X	X
VI	X			X	
VII		X		X	
VIII			X	X	



Slika 5. Ortomozaik područja istraživanja
Figure 5. Orthomosaic area of interest

Različite metode se mogu primeniti prilikom određivanja tačnosti modela dobijenih obradom snimaka koji su prikupljeni metodom fotogrametrije primenom bespilotnih letelica. U studijama koje su rađene (Güngör et al., 2022, Turk et al. 2022) najčešće su se koristile procentualne greške i srednja kvadratna greška (standardna devijacija).

U okviru ovog istraživanja za ocenu tačnosti dobijenih modela, korišćena je metoda srednje kvadratne greške po obe ose državnog koordinatnog sistema (northing-N i easting-E). Jednačine pomoću kojih su izračunate greške po N i E osi su prikazane u formulama 1 i 2, dok je u formuli 3 prikazana ukupna horizontalna tačnost modela.

$$RMSE_N = \sqrt{\frac{\sum \Delta N^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_E = \sqrt{\frac{\sum \Delta E^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_{NE} = \sqrt{RMSE_N^2 + RMSE_E^2} \quad (3)$$

gde su ΔN razlika N koordinate i -te tačke dobijene GNSS metodom i koordinate očitane sa ortomozaika u pravcu ose N, ΔE razlika u pravcu koordinatne ose E i n broj tačaka.

Rezultati i diskusija

Rezultat istraživanja predstavlja ocenu horizontalne tačnosti kreiranih modela na osnovu podataka prikupljenih metodom digitalnog fotogrametrijskog premera primenom bespilotne letelice. U zavisnosti od promenljivih parametara modeli su imali različitu prostornu rezoluciju i različit broj snimaka. Koordinate kontrolnih tačaka izmerene pomoću GNSS RTK metode su upoređivane sa koordinatama kontrolnih tačaka dobijenih modela. U tabeli 3 su tabelarno prikazani rezultati ukupne horizontalne greške u zavisnosti od promenljivih parametara kao i prosečna greška za svaku kombinaciju promenljivih parametara. U tabeli 3 kolone prikazuju broj kontrolnih tačaka upotrebljenih u postupku georeferenciranja modela, a redovi prikazuju varijante koje su date u tabeli 2. Na slici 6 je grafički prikazana standardna devijacija dobijenih modela. Na osnovu prosečne greške zaključuje se da prvi

parametar koji se odnosi na visinu leta, objedinjavanje nekoliko visina leta ili upotreba samo uzdužnog smera leta nema uticaj na tačnost dobijenih modela. Svih 8 varijanti u okviru prvog parametra imaju približno iste rezultate ($3 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}$). Međutim, drugi parametar daje očekivane rezultate. Najveća prosečna horizontalna greška se javlja kod modela koji su upotrebili 3 ili 4 kontrolne tačke u postupku georeferenciranja (4 cm i 4,1 cm), dok je model sa 21 upotrebjenom kontrolnom tačkom prikazao najbolje rezultate (1,8 cm). Naime postignuta tačnost modela je na nivou veličine 1 do 2 piksela što možemo da pripisemo i tačnosti poentiranja tačke na ortomozaiku, kao i tačnosti GNSS RTK metode jer pomenute vrednosti predstavljaju razliku između koordinata određenih GNSS RTK metodom i očitanih koordinata sa ortomozaika. Mugnai et al.(2022) su u svom radu koristili 4 visine leta (30 m, 45 m, 60 m i 80 m) i 27 kontrolnih tačaka u postupku georeferenciranja. Postignuta tačnost je u saglasnosti sa prethodnim istraživanjima (za visinu leta od 80 m postignuta je horizontalna tačnost od 1,7 cm), odnosno tačnost je svedena na veličinu 1 do 2 piksela. U istraživanju Sertić et al. (2022) izvršeno je poređenje koordinata tačaka dobijenih premerom terestičkim laserskim skenerom i ortofoto mozaika dobijenog na osnovu premera bespilotnom letelicom na visini od 28 m. U eksperimentu je korišćeno 300 tačaka od kojih je jedan deo upotrebljen za georeferenciranje modela (najviše 150), dok su preostale tačke iskorišćene za određivanje tačnosti. Krajnji zaključak je da se povećanjem broja kontrolnih tačaka upotrebjenih za georeferenciranje modela, povećava i sama tačnost modela. Model sa 8 upotrebjenih tačaka je postigao horizontalnu tačnost od 4,4 cm, dok je model sa 150 upotrebjenih tačaka postigao tačnost od 2,0 cm.

Tabela 3

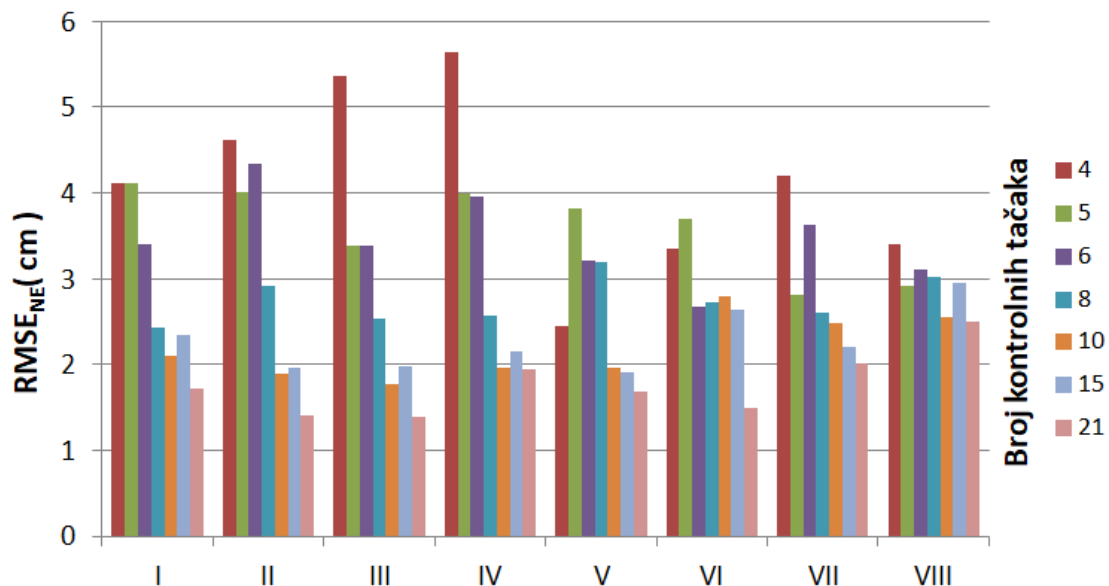
Prikaz standardne devijacije dobijenih modela

Table 3

Representation of the standard deviation of the obtained models

	3	4	5	6	8	10	15	21	AS*
I	4,7	4,1	4,1	3,4	2,4	2,1	2,3	1,7	3,1
II	3,8	4,6	4,0	4,3	2,9	1,9	2,0	1,4	3,1
III	4,1	5,4	3,4	3,4	2,5	1,8	2,0	1,4	3,0
IV	3,8	5,6	4,0	4,0	2,6	2,0	2,2	1,9	3,2
V	4,1	2,5	3,8	3,2	3,2	2,0	1,9	1,7	2,8
VI	3,3	3,3	3,7	2,7	2,7	2,8	2,6	1,5	2,8
VII	3,8	4,2	2,8	3,6	2,6	2,5	2,2	2,0	3,0
VIII	4,4	3,4	2,9	3,1	3,0	2,6	2,9	2,5	3,1
AS*	4,0	4,1	3,6	3,5	2,8	2,2	2,3	1,8	

* (Aritmetička sredina)



Slika 6. Grafički prikaz standardne devijacije grešaka dobijenih modela
Figure 6. Graphic representation of the RMSE of the obtained models

Zaključci

Postupak određivanja horizontalne tačnosti modela dobijenih obradom snimaka koji su prikupljeni fotogrametrijskom metodom premera primenom bespilotne letelice i optimizacija parametara koji utiču na tačnost modela je cilj ovog rada. Dobijeni rezultati ukazuju da prvi parametar koji se odnosi na visinu leta, objedinjavanje nekoliko visina leta i upotreba samo uzdužnog smera leta, samostalno nije mnogo uticao na horizontalnu tačnost modela. Međutim sa povećanjem broja kontrolnih tačaka, povećava se i tačnost dobijenih modela.

Ako uzmemo u obzir kombinaciju prethodna dva parametra dolazimo do zaključka da je kod modela sa malim brojem kontrolnih tačaka mnogo uticajni faktor visine leta, dok kod modela sa većim brojem kontrolnih tačaka visina leta nema velikog uticaja na krajnju horizontalnu tačnost. Prethodni zaključak potvrđuje i činjenica da je model sa 4 kontrolne tačke u okviru IV varijante imao najveću grešku (5,6 cm), dok su modeli sa 21 kontrolnom tačkom u okviru varijanti II i III imali najmanju grešku (1,4 cm).

Izbor dva parametra koji su ispitivani u ovoj studiji zavisi od mnogo faktora kao što su zahtevana horizontalna tačnost modela, obim terenskog rada, utrošeno vreme na akviziciju i obradu podataka, finansije, resursi i slično. Na osnovu dobijenih rezultata i prethodno navedenih zaključaka prilikom odabira optimalne kombinacije parametara potrebno je veću pažnju posvetiti broju kontrolnih tačaka nego visini leta, odnosno kombinaciji visina.

Fotogrametrijskom metodom premera primenom bespilotnih letelica se dobija neuporedivo detaljnija topografska podloga, odnosno sa mnogo većim nivoom detalja, u odnosu na klasične metode premera (uključujući GNSS) uz neznatno degradiranu tačnost pozicije snimljenih tačaka.

Literatura

- Alptekin, A., Yakar, M. 2020. Determination of pond volume with using an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (2), 59-63.
- Curcio, A.C., Peralta, G., Aranda, M., Barbero, Luis. 2022. Evaluating the Performance of High Spatial Resolution UAV-Photogrammetry and UAV-LiDAR for Salt Marshes: The Cadiz Bay Study Case. *Remote Sens.* 14,3582.
- Dering, G.M. Micklethwaite, S. Thiele, S.T., Vollgger, S.A. Cruden, A.R.. 2019. Review of drones, photogrammetry and emerging sensor technology for the study of dykes: Best practises and future potential. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 373, 148-166.
- Eisenbeiss, H. 2009. UAV photogrammetry (Doctoral dissertation, University of Technology Dresden)
- Eltner, A., Kaiser, C., Castillo, G. 2016. Image-based surface reconstruction in geomorphometry: Merits, limits and developments. *Earth Surface Dyn* 4 (2):359-389.
- Forlan, G., Pinto, L., Roncella, R., Pagliari, D. 2014. Terrestrial photogrammetry without ground control points. *Eartg Sci Inform* 7, 71-81.
- Forlani, G., DallAsta, E., Diotri, F., di Cella, U.M., Roncella, R., Santise, M. 2018. Quality assesment of DSMs produced from UAVflight georeferenced with on-board RTK positioning. *Remote Sens.* 10,311.
- Fraser, C.S. 2013. Automatic camera calibration in close range photogrammetry. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 79, 381-388.
- Gary S. S. 2009. Digital orthophotography and GIS. <https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc95/to150/p124.html>. Pristupljeno 15. novembra 2016.
- Goddijn-Murphy, L., Williamson, B.J., McIlvenny, J., Corradi, P. 2022. Using a UAV Thermal Infrared Camera for Monitoring Floating Marine Plastic Litter. *Remote Sens.* 14,3179.
- Güngör, R., Uzar, M., Atak, B., Yilmaz, O.S., Gümüş, E. 2022. Orthophoto production and accuracy analysis with UAV photogrammetry. *Mersin Photogrammetry Journal* 4(1), 01-06.
- Imai, N.N., Tommaselli, A.M.G., Berveglieri, A., Moriya, E.A.S. 2019. Shadow detection in hyperspectral images acquired by UAV. *Int.Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 42,371-377
- James, M.R., Robson, S. 2012. Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *Journal of geophysical research* 117,F3017
- Martinez-Carriocondo, P., Aguera-Vega, F., Carvajal-Ramirez, F., Mesas-Carrascosa, F.J., Garcia-Ferrer, A., Perez-Porras, F. J. 2018. Assessment of UAV- Photogrammetric Mapping Accuracy Based on Variation of Ground Control Points. *Int. J. Appl. Earth. Obs. Geoinfo.* 72,1-10.
- Mugnai, F., Tucci, G., 2022. A Comparative Analysis of Unmanned Aircraft Systems in Low Altitude Photogrammetric Surveys. *Remote Sens.* 14,726.
- Oniga, V.E. Breaban, A.I., Pfeifer, N., Chirila, C., 2020. Determining the Suitable Number of Ground COntrol POints for UAS Images Georeferencing by Varying Number and Spatial Distribution. *Remote Sens.* 12,876.
- Peppas, M.V., Hall, J., Goodyear, J. Mills, J.P.. Photogrammetric assesment and comparison of DJI Phantom 4 pro and Phantom 4 RTK small unmanned aircraft systems. In *Proceedings of the ISPRS Geospatial Week 2019*, Enschede, The Netherlands, 10-14 Juner 2019.
- Pfeifer, N., Glira, P., Briese, C. 2012. Direct georeferencing with on board navigation components of light weight UAV platforms. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 39, 487-492.
- Remondino, F., Fraser, C., 2006. Digital camera calibration methods: Considerations and comparisons. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 36,266-272.

- Sertić, H., Paar, R., Tomić, H., Ravlić, F. 2022. Influence of Flight Height and Image Sensor on the Quality of the UAS Orthophotos for Cadastral Survey Purposes. *Land*, 11,1250.
- Tarolli, P.,2014. High-resolution topography for understanding Earth surface processe: Opportunities and challenges. *Geomorphology*. 216. 295-312.
- Turk, T., Tunalioglu, N., Erdogan, B., Ocala, T., Gurturk, M.2022. Accuracy assessment of UAV-post-proccesing kinematic (PPK) and UAV-traditional (with ground control points) georeferencing methods. *Environmental Monitoring and Assessment*. 194, 476.
- Wolf, P. R., Dewitt, B. A., Wilkinson, B. E. 2014. *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*. McGraw-Hill Education.

Optimization of horizontal accuracy in projects of digital photogrammetry using unmanned aerial vehicle

Nikola Santrač^a, Pavel Benka^a, Mehmed Batilović^b,
Nenad Antonić^c, Radoš Zemunac^a

^aUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of water management, Novi Sad, Serbia

^bUniversity of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of civil engineering, Novi Sad, Serbia

^cCinteraction, Nikolajevska 2, Novi Sad, Serbia

*Corresponding author: nikola.santrac@polj.uns.ac.rs

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles are one of the most attractive technological products today. Their application in the collection of spatial data has grown significantly. Using them in a fast, simple and economical way enables the collection of spatial data. The accuracy of the models created by processing the images obtained by the photogrammetric method of surveying using unmanned aerial vehicles has increased. For the purposes of this research, a survey of the area of interest was carried out using a DJI Phantom 4 drone at three different flight heights. 41 control points were set, whose coordinates were determined by the GNSS RTK method and compared with the coordinates obtained by processing photogrammetric images. The change in the value of two key parameters that affect the accuracy of the model was investigated. The first relates to the flight plan: flight height, combining several flight heights or taking only the longitudinal direction of flight. The second parameter refers to the influence of the number of control points used for georeferencing the model and the achieved accuracy of the model. The horizontal accuracy of the model was analyzed depending on the scope of fieldwork, time spent on data acquisition and processing, finances, resources, and the like.

KEY WORDS: Photogrammetry, UAV, GNSS, flight parameters optimization

PRIMLJEN: 15.12.2022.

PRIHVAĆEN: 20.12.2022.