

## Optimizacija broja i rasporeda orijentacionih tačaka konfigurisanih za snimanje UAV metodom

STEFANIJA M. STOJKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd

BOJANA N. OBRENOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd

Stručni rad

UDC: 528.715:623.746.2-519

DOI: 10.5937/tehnika2106731S

*Cilj ovog istraživanja je da prikaže najoptimalnije rešenje u pogledu položaja i broja orijentacionih tačaka (GCP) za potrebe snimanja terena primenom UAV metode na području prigradskog naselja Duboko kod Umke. Obrada prikupljenih slika izvršena je u softverskom rešenju AgiSoft primenom metode SfM - Structure from Motion (SfM), koja je integrisana u okviru ovog softverskog rešenja. Referentni podaci, dobijeni obradom sa kompletnim skupom od 36 pouzdanih orijentacionih tačaka su proglašeni „tačnim“ na samom početku studije. Analizirajući različite kombinacije, kreirane na osnovu četiri pravila definisana u postupku odabira tačaka i upoređujući ih sa „tačnim“, kao najbolji rezultat usvojena je kombinacija sa 20 orijentacionih tačaka ravnomerno raspoređenih na području snimanja površine 50 ha.*

**Ključne reči:** UAV fotogrametrija, Structure-from-Motion, optimizacija orijentacionih tačaka

### 1. UVOD

Fotogrametrija se definiše kao metoda premera kojom se dobijaju pouzdane informacije o fizičkim objektima i pojavama na fizičkoj površi Zemlje, postupkom merenja i analiziranja fotografskih snimaka [1]. Fotogrametrija se deli na aerofotogrametriju i terestričku fotogrametriju, u zavisnosti od položaja senzora u trenutku snimanja. Ukoliko se senzor nalazi na površini zemlje reč je o terestričkoj fotogrametriji, dok aerofotogrametrija, kako sam naziv kaže, podrazumeva da se senzor nalazi u vazduhu, odnosno da se snimanje vrši iz vazduha.

U poslednjih nekoliko godina prisutna je sve veća upotreba bespilotnih letelica (Unmanned Aerial Vehicle, UAV), što je dovelo do same transformacije njihove primene. Bespilotni aerofotogrametrijski sistem je daljinski kontrolisana, automatska platforma opremljena fotogrametrijskim senzorom (kamera, multi-spektralna kamera, termalna kamera, LiDAR, kao i kombinacija dva ili više senzora) [2].

Provobitno, ove letelice su korišćene u vojne svrhe,

---

Adredsa autora: Stefaniya Stojković, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

e-mail: stojkovicstefanija@gmail.com

Rad primljen: 13.09.2021.

Rad prihvaćen: 20.09.2021.

ali se njihova primena kasnije proširila i na druge oblasti, poput geodezije (za premer terena gde nije moguć direktan pristup parcelama na terenu), građevine (kontrola geometrije građevinskih objekata), industrije, poljoprivrede (kartiranje useva na osnovu vegetacionih indeksa), zaštite životne sredine (procena štete nakon prirodnih nepogoda) itd [3]. Razlog tome leži u jednostavnosti njihove primene u udaljenim i složenim sredinama, kao i u uštedi resursa u pogledu troškova.

U poređenju sa tradicionalnom vazdušnom fotogrametrijom, pokazalo se da bespilotne letelice imaju značajan uticaj u pogledu efikasnosti izvođenja letova, prenosivosti platforme, operativnih troškova i integracije različitih vrsta senzora [4].

U pogledu geoinformacionih podataka, najčešća primena ove tehnologije je kod kartiranja vremenskih efikasnih operacija, praćenja i upravljanja katastrofa, procena šteta prouzrokovanih prirodnim nepogodama, otkrivanju promena zemljinog pokrivača, praćenju useva i drugo. Tržište primene bespilotnih letelica zahteva dalja istraživanja u pogledu načina dobijanja što preciznijih fotografija, odnosno krajnjih produkata. U tom pogledu, realizovano je više studija koje kao krajnji cilj imaju unapređenje tačnosti izlaznih proizvoda UAV tehnologije [4]:

- Uticaj okoline i parametara leta tokom snimanja;
- Uticaj minimalnog rastojanja između kontrolnih tačaka i primena njihovog različitog rasporeda;

- Procena različitih sistema za pozicioniranje na parametre obrade kao što su izdvajanje određenih karakteristika, podudaranje slika (engl. Image matching) i podešavanje snopa (engl. Bundle adjustment);
- Algoritam za kreiranje gustog oblaka tačaka;
- Polinomska transformacija za rektifikaciju slika pomoću orijentacionih tačaka.

Jedan od faktora koji je značajan za kvalitet izlaznih produkata je upotreba tačnih i dobro raspoređenih orijentacionih tačaka (GCP, engl. Ground Control Points) da bi se model pravilno povezo sa koordinatnom osnovom premera. Kako bi se osigurala globalna i interna tačnost u skupovima podataka u različitim periodima, prilikom njihovog uspostavljanja u oblasti od interesa, treba uzeti u obzir lokaciju, raspored i broj GCP-a. Budući da se upotreba GCP-a ogleda u vremenu i novcu, cilj ovog istraživanja je da se obezbedi upotreba tačnih i doslednih podataka uz optimalan broj orijentacionih tačaka, uz adekvatan raspored i lokaciju, što dalje utiče na smanjenje vremena i troškova rada.

Dakle, ovaj rad ima za cilj optimizaciju orijentacionih tačaka kako bi se osigurala tačnost i efikasnost tokom obrade podataka dobijenih primenom UAV tehnologije. Drugim rečima, fokus ovog istraživanja usmeren je na procenu uticaja rasporeda i broja orijentacionih tačaka na tačnost izlaznih produkata snimanja UAV metodom.

## 2. PODRUČJE SNIMANJA

UAV fotogrametrijsko merenje realizovano je u martu 2019. godine, na području prigradskog naselja Duboko kod Umke, na teritoriji opštine Čukarica, s ciljem procene štete i sanacije klizišta.



Slika 1 - Područje snimanja sa rasporedom GCP-a

Za potrebe istraživanja ovog rada upotrebljeno je 36 orijentacionih tačaka sa korespondentnim snimcima područja obeleženog na slici 1.

Orijentacione tačke se po pravilu postavljaju po obodu područja snimanja i po profilima upravnim na pravac snimanja kako bi se obezbedila stabilna geometrija bloka snimaka. Tačke na terenu su signalisane oznakama kvadratnog oblika dimenzija 10 x 10 cm tako da se svaka tačka može nedvosmisleno identifikovati na snimcima. Merenja koordinata tačaka izvršena su primenom GNSS tehnologije i naknado su obrađena pomoću standardnog paketa za obradu GNSS merenja.

## 3. UAV PLATFORMA - BESPILOTNA LETELICA

U postupku aerofotogrametrijskog snimanja, UAV sistem koji je korišćen za dobijanje slika je DJI MATRICE 600 PRO, industrijski heksakopter sa montiranom DSLR kamerom Canon EOS 6D rezolucije 20 megapiksela i sočivima žižne daljine 24 mm (Slika 2).

UAV sistem je dizajniran za prikupljanje snimaka u različitim situacijama i uključuje A3 Pro kontrolor leta, Lightbridge 2 HD sistem prenosa kao i smart baterije zajedno sa sistemom za upravljanje baterijama. Na ovakav način je letelica obezbeđena od gubitka signala u neželjenim situacijama, a takođe obezbeđuje i bezbedno sletanje u slučaju kvara jedne baterije.

M600 Pro sistem za upravljanje baterijama pojednostavljuje održavanje, istovremeno povećavajući sigurnost. A3 Pro sistem uključuje tri GPS modula i dve INS jedinice koje obezbeđuju redundantnost podataka, koja je od ključne važnosti u slučaju gubitka signala. DJI Lightbridge 2 je dizajniran da zadovolji sve zahteve profesionalnog emitovanja, nudeći visoku brzinu kadrova i HD streaming uživo, što omogućava još kreativnije mogućnosti za snimanje iz vazduha. Modularni dizajn omogućava jednostavno sklapanje letelice što je čini lakom za transport, čuvanje i pripremu za let [5].



Slika 2 - UAV bespilotna letelica - DJI Matrice 600 Pro [9]

Snimanje je realizovano po nizovima snimaka, kako sa podužnim tako i sa poprečnim preklapom, čime je obezbeđena stabilna geometrija bloka snimaka. UAV je leteo na visini od 80 m iznad poletišta postizući prosečnu veličinu piksela od 2,2 cm. Tom prilikom snimljeno je više od 2000 snimaka rezolucije 5.472x3.648 piksela sa podužnim i poprečnim preklapom od 90% i 60% respektivno. Međutim, nakon ručnog uklanjanja zamućenih i kosih slika, 1102 slike su korišćene u daljoj obradi.

#### 4. REKONSTRUKCIJA TERENA PRIMENOM SFM METODE

U cilju rekonstrukcije terena korišćena je metoda Structure-from-Motion (SfM) na osnovu koje je moguće kreirati trodimenzionalne modele, koristeći prilikom toga prikupljene dvodimenzionalne snimke. Sam princip zasnovan je na principima tradicionalne stereofotogrametrije, gde je za dobijanje trodimenzionalnih informacija potreban međusobni preklap između snimaka [6].

Glavne razlike između SfM metode i tradicionalnih fotogrametrijskih metoda ogledaju se kroz sledeća tri aspekta [7]:

- Automatskom rekonstrukcijom geometrije – primenom SfM metode karakteristike se mogu automatski identifikovati i upariti na slikama koje su nastale sa različitih lokacija, odnosno na slikama dobijenim u različitim razmerama, uglovima gledanja i orijentaciji.
- Dobijanje parametara unutrašnje i spoljašnje orijentacije - jednačine koje se koriste u algoritmima mogu se rešiti bez informacija o položajima kamere ili orijentacionim tačkama.
- Automatska kalibracija kamere, kao i poboljšanje tokom samog procesa snimanja.



Slika 3 - Opšti algoritam za SfM procesiranje

Razvoj računara doveo je do pojave različitih softverskih paketa koji u mnogome olakšavaju složene postupke obrade podataka. Prilikom obrade slika prikupljenih primenom UAV tehnologije korišćeno je AgiSoft softversko rešenje u okviru koga je integrisana SfM metoda. Sam postupak obrade podrazumeva nekoliko neophodnih koraka prikazanih na slici 3.

#### 5. REFERENTNI PODACI

Referentna vrednost, sa kojom su kasnije upoređene ostale simulacije, određena je na samom početku, tako što je najpre SfM algoritam primenjen nad potpunim skupom orijentacionih tačaka, koga čini 36 GCP. Polazeći od pretpostavke da se boljim rasporedom orijentacionih tačaka dolazi do najoptimalnijeg izlaznog modela, referentna vrednost upoređivana je sa svim izlazima simulacione konfiguracije.

Neposredno pre procesiranja izvršeno je preliminarno podešavanje parametara za SfM algoritam. Ovo uključuje podešavanje tačnosti, definisanje granica karakterističnih i veznih tačaka, filtere, DEM (engl. Digital Elevation Model) kao i rezoluciju. Podešavanjem tačnosti određuje se procena položaja kamere. Bolje podešeni parametri utiču na veću tačnost proizvoda, dok sam postupak procesiranja duže traje. Ova studija je odabrala visoko podešavanje jer je akcentat na tačnosti. Da bi se uspostavila ravnoteža između tačnosti i efikasnosti vremena bolje je upotrebiti nisko podešavanje.

Ograničenje broja karakterističnih i veznih tačaka određuje maksimalan broj veznih tačaka i karakteristika koje treba izdvojiti za svaki snimak. Podrazumevane vrednosti su 40 000 i 4 000 koje se primenjuju u obradi. Opšta i referentna preselekcija su omogućene kako bi se u potpunosti izvršilo preklapanje slika u cilju detekcije karaktera. U studiji se ne primenjuje filter jer postoji tendencija da će se narušiti kvalitet podataka u cilju otklanjanja odstupanja.

Prilikom izbora ulaznih podešavanja cilj je napraviti balans između kraćeg računarskog vremena bez ugrožavanja tačnosti podataka. Konačno, odabrani parametri su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. SfM podešavanje parametara u Agisoft Photoscan softveru

Tačnost	Visoka
Generička preselekcija	Omogućena
Referentna preselekcija	Da
Vezne tačke	4 000
Karakteristične tačke	40 000
Filter	Nema filtera
DEM rezolucija	0,1 m

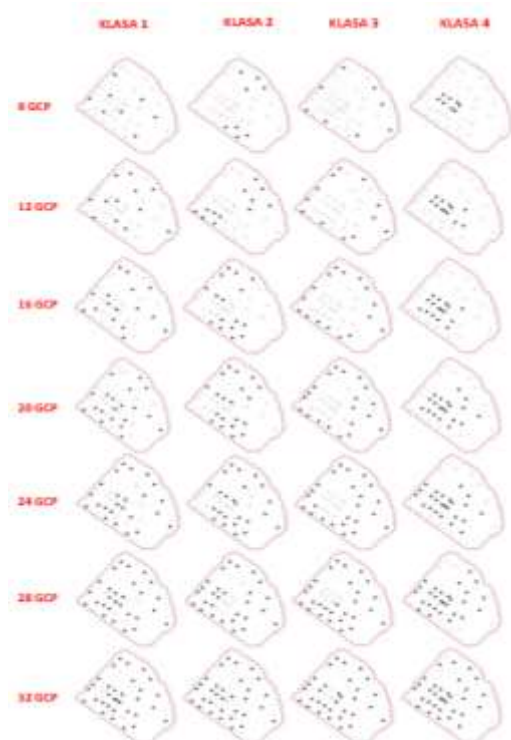
Predefinisani SfM parametri se primenjuju na 28 simulacionih konfiguracija, pri čemu se menja broj i raspored orijentacionih tačaka kako bi se procenilo ponašanje distribucije GCP-a. Simulacione konfiguracije kao i detaljna procena koja, zavisi od količine i međusobne zavisnosti orijentacionih tačaka, su opisani u narednim odeljcima.

## 6. PROSTIRANJE GREŠAKA - TEST DISTRIBUCIJE

U cilju procene uticija distribucije orijentacionih tačaka na tačnost izlaznih produkata definisane su po četiri kategorije distribucije, u daljem tekstu klase, orijentacionih tačaka za grupe od 8, 12, 16, 20, 24, 28 i 32 orijentacione tačke respektivno. Klase obuhvataju tačke koje se mogu podeliti na:

- Tačke raspoređene duž granice i u centru;
- Tačke grupisane na granici;
- Tačke duž granice;
- Tačke grupisane u centru.

U prvoj klasi orijentacione tačke su pravilno (jednako) raspoređene po području od interesa, dok su u trećoj klasi pravilno raspoređene uz granicu područja snimanja. U drugoj klasi orijentacione tačke su grupisane u dve populacije uz ivicu, dok je u četvrtoj fokus na orijentacionim tačkama grupisanim u sredini snimališta. Na ovakav način se proverava uticaj položaja i broja orijentacionih tačaka na izlaznost proizvoda SfM algoritma.



Slika 4 - Konfiguracija orijentacionih tačaka po grupama

Na slici 4 su prikazane sve simulacione konfiguracije GCP-a nad kojima je primenjen SfM algoritam i čiji izlazi se porede sa pomenutim referentnim vrednostima. Prazni trouglovi predstavljaju kontrolne tačke dok su tamni trouglovi orijentacione tačke.

Ukratko, postoji 28 simulacionih konfiguracija, za sedam iteracija skupova orijentacionih tačaka za svaku klasu konfiguracije.

Kao parametar tačnosti analiziran je koren srednje kvadratne greške RMSE (engl. Root Mean Square Error) orijentacionih tačaka za sve simulacione konfiguracije. SfM platforma automatski izračunava RMSE tokom podešavanja snopa. Koren srednje kvadratne greške se računa po sledećoj formuli:

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2)} \quad (1)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta Z_i^2)} \quad (2)$$

gde je:

$\Delta X_i$  = rezidual i-te vrednosti po X osi

$\Delta Y_i$  = rezidual i-te vrednosti po Y osi

$\Delta Z_i$  = rezidual i-te vrednosti po Z osi

$n$  = broj orijentacionih tačaka

Analiza dobijenih vrednosti u odnosu na broj orijentacionih tačaka je prikazana i diskutovana u odeljku sa rezultatima.

## 7. REZULTATI I DISKUSIJA

Za svaku definisanu simulacionu konfiguraciju (klasu) procenjuje se kriterijum tačnosti. Automatski se generišu izveštaji koji sadrže informacije o greškama duž X, Y i Z ose, kao i ukupnu grešku.

Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 2 i odnose se na količinu korišćenih orijentacionih tačaka. Ovo se vrši za svaku klasu konfiguracije radi daljeg upoređivanja i procene ponašanja svake klase povećanjem količine GCP -a.

Tabela 2. Prikaz RMSE

Br GCP	Klasa	X greška (cm)	Y greška (cm)	Z greška (cm)	XY greška (cm)	Ukupna greška (cm)
8	1	1.5	1.1	2.7	1.9	3.3
	2	1.2	1.6	3.9	2.0	4.3
	3	1.2	1.1	0.7	1.6	1.8
	4	1.6	4.1	4.7	4.4	6.4
12	1	1.2	3.3	5.9	3.5	6.8
	2	2.1	1.4	3.6	2.5	4.4
	3	1.4	1.2	2.8	1.8	3.3
	4	1.5	3.8	5.9	4.1	7.2



Br GCP	Klasa	X greška (cm)	Y greška (cm)	Z greška (cm)	XY greška (cm)	Ukupna greška (cm)
16	1	0.9	1.8	4.5	2.0	5.0
	2	1.5	1.2	4.1	1.9	4.5
	3	1.4	1.4	3.3	2.0	3.8
	4	2.0	3.6	5.6	4.1	7.0
20	1	1.4	1.7	4.3	2.2	4.8
	2	2.0	1.1	4.5	2.3	5.1
	3	1.2	1.5	3.7	2.0	4.2
	4	2.0	3.3	5.5	3.8	6.7
24	1	2.0	1.4	4.3	2.5	4.9
	2	1.9	1.2	4.8	2.3	5.3
	3	1.3	1.6	3.8	2.1	4.3
	4	1.8	3.1	5.2	3.6	6.3
28	1	1.9	1.5	4.5	2.4	5.1
	2	1.3	2.9	4.6	3.2	5.6
	3	1.8	1.5	3.9	2.3	4.5
	4	1.8	2.9	5.6	3.4	6.5
32	1	1.8	1.6	4.7	2.4	5.3
	2	1.4	2.8	5.1	3.1	6.0
	3	1.8	2.6	5.1	3.2	6.0
	4	1.8	2.8	5.4	3.3	6.4
36		1.7	2.4	5.4	3.1	6.2

Dobijene vrednosti su iscrtnane u odnosu na broj kontrolnih tačaka koje se koriste za svaku iteraciju. Generisana su tri grafika upoređujući prostiranje grešaka u horizontalnom odnosno XY prostoru (slika 5) i vertikalnom odnosno Z prostoru (Slika 6).



Slika 5 - Ukupni GCP RMSE za četiri klase konfiguracije u odnosu na XY osu i broj orijentacionih tačaka

Maksimalna vrednost greške dobijena u horizontalnoj ravni duž X i Y osa je 4.4 cm, dok je minimalna vrednost 1.6 cm.

U pravcu Z ose maksimalna vrednost greške iznosi 5.9 cm, a minimalna greška je 0.7 cm. Može se uočiti da su greške koje se dobijaju duž Z ose većih vrednosti u odnosu na greške u odnosu na X i Y ose respektivno. To se može objasniti činjenicom da je preciznost pozicioniranja GNSS-a dva puta manja po visini od horizontalnog položaja [8].



Slika 6 - Ukupni GCP RMSE za četiri klase konfiguracije u odnosu na Z osu i broj orijentacionih tačaka



Slika 7 - Ukupni GCP RMSE za četiri klase konfiguracije u odnosu na broj orijentacionih tačaka

U pogledu ukupne RMSE greške (slika 7), najveća vrednost greške iznosi 7.2 cm, dok je najmanja vrednost greške 1.8 cm.

Na osnovu analize RMSE greške u pogledu količine orijentacionih tačaka, ne možemo uticati na smanjenje greške, ali se povećava pouzdanost ocena. Ako bi se uključili dodatni uticaji, poput greške SCE (engl. Surface Checkpoint Error), ishod bi bio drugačiji.

Najbolji rezultati se dobijaju u grupama čije je broj orijentacionih tačaka 8 i 20. Budući da se radi o snimalištu čija je površina približno 50 ha, optimalnije je izabrati konfiguraciju sa 20 orijentacionih tačaka.

Kada se detaljno analizira svaka od klasa konfiguracije, može se izvesti zaključak da konfiguracija klase 4 daje najveće greške, što je i očekivano, s obzirom da su tačke grupisane u centru snimališta. Konfiguracija klase 3 rezultuje najmanjim greškama, a to se ne poklapa sa polaznim pretpostavkama koje se odnose na ravnomernu rasprostranjenost tačaka u bloku.

Očekivano je da će se dobiti bolji rezultati u klasi 1 u odnosu na klasu 3. Podsećanja radi, klasa 1 se odnosi na pravilno raspoređene tačke po celom snimalištu dok klasa 3 uzima tačke duž granice snimališta.

S obzirom da je pravilan raspored orijentacionih tačaka na području snimanja nešto čemu se u fotogrametriji teži, bez obzira na dobijene rezultate, veću težinu dajemo konfiguraciji orijentacionih tačaka iz klase 1.

## 8. ZAKLJUČAK

Analizirajući samo RMSE grešku u pogledu konfiguracije i količine orijentacionih tačaka ne može se zaključiti da najveći broj orijentacionih tačaka daje najbolje rezultate, kako je prvobitno pretpostavljeno. Iz samog eksperimenta može se videti da se najoptimalnije rešenje dobija kada je broj orijentacionih tačaka 20 na području od skoro 50 ha i to tako što su orijentacione tačke postavljene ravnomerno na području od interesa. Kako je za jednu orijentacionu tačku neophodno izdvojiti oko 10 minuta za njeno obeležavanje na terenu i oko 10 - 15 minuta za snimanje primenom GNSS tehnologije, može se zaključiti da ovakvim odabirom dolazi do značajne uštede u pogledu vremena neophodnog za samu realizaciju snimanja. Sa druge strane, uzimajući u obzir da su orijentacione tačke raspoređene duž čitavog snimališta, putni troškovi transporta od jedne tačke do druge značajno se povećavaju, pa se na osnovu toga može zaključiti da se smanjenjem broja orijentacionih tačaka pored uštede vremena vrši i ušteda troškova rada.

Preporuka za dalja istraživanja, u cilju potpunog sagledavanja distribucije greške prema količini i konfiguraciji orijentacionih tačaka, odnosi se na analizu dodatnog parametra tačnosti - Surface Checkpoint Error zajedno sa RMSE. Pored testa distribucije, u ovom slučaju, moguće je primeniti i dva dodatna testa prostiranja greške, a to su kvantitativni test i test distance.

## 9. ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Laboratoriji za fotogrametriju i daljinsku detekciju, Građevinskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu koja im je omogućila korišćenje podatka snimanja kako bi se realizovala ova studija.

Inspiracija za ovu studiju nastala je u toku razvoja inovativnog slučaja primene UAV tehnologije u privredi, kreirajući „innovative business-problem based

cases“ u okviru Geobiz, Erasmus projekta: <http://geobiz.eu/>, čiji je cilj uspostavljanje poslovno-akademske saradnje u oblasti Geoinformatike.

## LITERATURA

- [1] Wolf and Dewitt, 2000; McGlone, 2004.
- [2] Vučenov V, Analiza normativnog uređenja primene bespilotnih aerofotogrametrijskih sistema sa predlozima za unapređenje, Master rad, Visoka građevinsko-geodetska škola strukovnih studija u Beogradu, 2019.
- [3] Eisenbeiss H, *UAV Photogrammetry*, ETH Zurich, 2009.
- [4] Villanueva J. K. S, Optimization of ground control point (GCP) configuration for unmanned aerial vehicle (UAV) survey using structure from motion (SFM), Department of Geodetic Engineering, College of Engineering, University of the Philippines-Diliman, Quezon City, Philippines, 2019.
- [5] DJI Matrice 600 Pro User Manual, 2018 [https://dl.djicdn.com/downloads/m600%20pro/20180417/Matrice\\_600\\_Pro\\_User\\_Manual\\_v1.0\\_EN.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/m600%20pro/20180417/Matrice_600_Pro_User_Manual_v1.0_EN.pdf)
- [6] Westoby M J, Brasington J, Glasser NF, Hambrey MJ and Reynolds J. M, 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications, 2012.
- [7] Iglhaut, Jakob & Cabo, Carlos & Puliti, Stefano & Piermattei, Livia & O'Connor, James & Rosette, Jacqueline, *Structure from Motion Photogrammetry in Forestry*, 2019.
- [8] Samardžić-Petrović M, Popović J, Đurić U, Abolmasov B, Pejić M. and Marjanović M, Permanent GNSS monitoring of landslide Umka. In *XIV International Conference On Contemporary Theory And Practice In Construction XIV Stepgrad XIV Proceedings*, 2020. University of Banja Luka Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geode, 2020.
- [9] [www.dji.com](http://www.dji.com)

## SUMMARY

### OPTIMIZATION OF THE NUMBER AND POSITION OF GROUND CONTROL POINT CONFIGURED FOR UAV SURVEY

*This research aims to present the most optimal solution in terms of position and number of orientation points (GCP) for surveying using the UAV method in the area of the suburban settlement of Duboko in Umka. The images were processed in the AgiSoft software using the SfM - Structure from Motion approach, which is integrated within this software system. At the very beginning of the study, reference data which was obtained by processing with a complete set of 36 reliable reference points, were declared as "truth". The result of different combinations, which were created based on four rules defined in the process of selecting points, were analyzed and compared with "truth" values. Based on that analysis, the most optimal result was the combination of 20 GCP evenly distributed in the survey area of 50 ha.*

**Key Words:** UAV photogrammetry, Structure-from-Motion, optimization of orientation points