

Primjena vertikalnih i kosih aerosnimaka u izradi 3D modela i digitalne ortofoto karte

Hranilović, Monika

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:966031>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-01**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 001/GIG/2024

**Primjena vertikalnih i kosih aerosnimaka u izradi 3D
modela i digitalne ortofoto karte**

Monika Hranilović, 0336058440

Varaždin, lipanj 2024. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za geodeziju i geomatiku

Završni rad br. 001/GIG/2024

Primjena vertikalnih i kosih aerosnimaka u izradi 3D modela i digitalne ortofoto karte

Student

Monika Hranilović, 0336058440

Mentor

doc.dr.sc. Sanja Šamanović

Varaždin, lipanj 2024. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Geodezija i geomatika		
STUDIJ	Sveučilišni prijediplomski studij geodezije i geomatike		
PRISTUPNIK	Monika Hranilović	MATIČNI BROJ	0336058440
DATUM	1.7.2024.	KOLEGIJ	Fotogrametrija
NASLOV RADA	Primjena vertikalnih i kosih aerosnimaka u izradi 3D modela i digitalne ortofoto karte		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU The application of vertical and oblique aerial photographs in the creation of 3D models and digital orthophoto maps

MENTOR	Sanja Šamanović	ZVANJE	Docentica
--------	-----------------	--------	-----------

ČLANOVI POVJERENSTVA	1.	Doc.dr.sc. Olga Bjelotomić Oršulić - predsjednica povjerenstva
	2.	Doc.dr.sc. Sanja Šamanović - mentorica
	3.	Doc.dr.sc. Hrvoje Matijević - član
	4.	Izv.prof.dr.sc. Danko Markovinović - zamjenski član
	5.	

Zadatak završnog rada

BROJ	001/GIG/2024
------	--------------

OPIS
U završnom radu izrađuje se 3D model i digitalna ortofoto karta primjenom vertikalnih i kosih aerosnimki. Rad pruža uvod u bespilotne letjelice, vertikalne i kose snimke te postupak prikupljanja i obrade podataka. Također, rad pruža usporedbu 3D modela i digitalnih ortofoto karata kreiranih iz vertikalnih i iz kosih aerosnimki. Cilj ovog rada je prikazati točnost dobivenih rezultata korištenjem vertikalnih i kosih snimki na konkretnim primjerima te pružiti rješenja za daljnju upotrebu podataka.

ZADATAK URUČEN 15.04.2024.



Sanja Šamanović

Sveučilište Sjever

UNIVERSITY
HILSON



SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Monika Hranilović pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključiva autorica završnog rada pod naslovom Primjena vertikalnih i kosih aerosnimaka u izradi 3D modela i digitalne ortofoto karte te da unavedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Studentica:

Monika Hranilović

Monika Hranilović

(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

Predgovor

Temu ovoga završnog rada odabrala sam smatrajući je vrlo zanimljivom za proučavanje i diskutiranje. S obzirom na to da me zanimaju moderne metode koje se primjenjuju u geodeziji, ali i to da bih se u budućnosti htjela baviti fotogrametrijom, smatram da je ova tema idealna za mene. Osim što tema govori o područjima moga interesa, u svrhu izrade ovoga završnog rada kreirani su konkretni proizvodi. Moguća je daljnja upotreba dobivenih rezultata i proizvoda, ali i korištenje prikupljenih i obrađenih podataka u druge svrhe, što mi kao autoru ovoga rada pruža zadovoljstvo.

Zahvaljujem se svih profesorima Odjela za geodeziju i geomatiku Sveučilišta Sjever na prenesenom znaju i iskustvu te kvalitetnom radu sa studentima tijekom moga obrazovanja. Posebno se zahvaljujem svojoj mentorici doc.dr.sc. Sanji Šamanović na trudu i stručnoj pomoći tijekom izrade završnog rada te na podršci i motivaciji. Zahvaljujem se i svojim kolegama, prijateljima, rodbini, a posebno obitelji na nesebičnoj podršci, motivaciji i vjeri od prvoga do posljednjega dana moga školovanja.

Hvala Vam.

Sažetak

Razvojem znanosti i tehnologije, raste potražnja za geoprostornim podacima. Ubrzani razvoj instrumenata i metoda korištenih u geodetske svrhe potaknuo je sve veću upotrebu 3D modela za prikaz objekata te digitalnih ortofoto karata (DOF) za prikaz tla. U današnje vrijeme, za dobivanje zračnih snimki, odnosno aerosnimki, najčešće se koriste bespilotne letjelice. Ovim završnim radom istražuje se kvaliteta digitalnog ortofota (DOF) i 3D modela dobivenog temeljem fotogrametrijske izmjere bespilotnom letjelicom iz vertikalnih i kosih aerosnimki. Rad pruža cjelokupan postupak prikupljanja i obrade podataka u svrhu kreiranja ovih proizvoda, ali i informacije o bespilotnim letjelicama i GNSS prijemnicima. Osim toga, u radu su opisane metode prikupljanja vertikalnih i kosih aerosnimki zajedno sa njihovom geometrijom i primjenom. Također, na konkretnim primjerima 3D modela i DOF-a, dobivenih pomoću Agisoft Metashape softvera, omogućeno je donošenje odluka ili daljnja primjena dobivenih rezultata.

Ključne riječi: 3D model, DOF, bespilotna letjelica, vertikalne aerosnimke, kose aerosnimke

Summary

With the development of science and technology the demand for geospatial data also grows. The rapid development of instruments and methods used for geodetic purposes has encouraged the increasing use of 3D models for the representation of objects and digital orthophoto maps (DOF) used for the representation of terrain. Today, drones are most often used to obtain aerial photographs. In this final paper, the quality of the digital orthophoto (DOF) and 3D model obtained on the basis of photogrammetric measurement by an unmanned aerial vehicle from vertical and oblique aerial photographs is examined. The work provides the entire process of collecting and processing data for the needs of creating these products, but also information about unmanned aerial vehicles and GNSS receivers. In addition, the paper describes the methods of collecting vertical and oblique aerial photographs, as well as their geometry and application. Also, on concrete examples of 3D models and DOFs, obtained using the Agisoft Metashape software, it is possible to make decisions or further apply the obtained results.

Keywords: 3D model, DOF, unmanned aerial vehicle, vertical aerial photographs, oblique aerial photographs

Popis korištenih kratica

3D	Trodimenzionalni prostor
DOF	Digitalna ortofoto karta
NURBS	Non-UnifoRational B-Splines Neuniformni racionalni B-splin
GNSS	Global Navigation Satellite System Globalni Navigacijski Satelitski Sustav
UAV	Unmanned Aerial Vehicle Bespilotna letjelica
RTK	Real Time Kinematic Kinematika u stvarnom vremenu
HD	High – definition Visoka rezolucija
SD	Standard Definition Standardna definicija
USB	Universal Serial Bus Univerzalna serijska sabirnica
DEM	Digital Elevation Model U prijevodu s eng. digitalni model visina.
DMR	Digitalni model reljefa
DMV	Digitalni model visina

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Bespilotne letjelice.....	5
3.	Vertikalne i kose snimke.....	8
3.1.	Vertikalne snimke	8
3.2.	Kose snimke	10
4.	Prikupljanje podataka.....	13
4.1.	Snimanje bespilotnom letjelicom	13
4.2.	Određivanje orijentacijskih točaka	15
5.	Obrada podataka	18
5.1.	Prebacivanje podataka i organizacija	18
5.2.	Softver – Metashape	18
5.3.	Postupak izrade 3D modela i DOF-a.....	19
6.	Usporedba točnosti proizvoda.....	25
6.1.	Vizualna usporedba	27
6.2.	Dodatni proizvod.....	27
7.	Zaključak.....	29
8.	Literatura.....	31
9.	Popis slika	33
10.	Popis tablica	34
11.	Popis grafikona	35

1. Uvod

Tema ovog završnog rada je kreiranje 3D modela i DOF-a, odnosno digitalnog ortofota pomoću vertikalnih i kosih snimki. Primjenom bespilotne letjelice, prikupljaju se podatci, odnosno zračne snimke. Obradom dobivenih snimaka, moguće je kreirati 3D model ili DOF. Na primjeru zgrade UNIN3 Sveučilišta Sjever, provedena je terenska izmjera, nakon čega su se dobiveni rezultati usporedili.

Izrada 3D modela, odnosno DOF-a se može vezati uz različite grane geodezije. Jedna od grana, koja se bavi suvremenim geodetskim metodama je fotogrametrija. Fotogrametrija je znanost i tehnika koja se bavi određivanjem oblika, veličine i položaja objekta, a temelji se na snimanju, mjerenju i interpretiranju fotografskih snimki [1]. Ova grana se zasniva na činjenici da snimka nastaje temeljem određenih geometrijskih i optičkih zakonitosti. Poznavajući ove zakonitosti moguće je djelomično ili u potpunosti rekonstruirati objekt na temelju snimljenih fotografija. Pomoću jedne snimke, moguće je odrediti dvodimenzionalna svojstva objekta. Dvodimenzionalnost u ovom slučaju omogućuje potpunu rekonstrukciju ravnog objekta ili djelomičnu prostornog objekta. Kako bi se mogao odrediti trodimenzionalni oblik, potrebne su minimalno dvije snimke, koje se nazivaju stereopar. Stereopar su dvije fotografske snimke istog objekta dobivene snimanjem s dva snimališta. Služi za dočaravanje prostornosti prikaza, stereofotogrametrijsku izmjeru i slično [2]. Ako se integriraju ove dvije znanosti krajnji rezultat fotogrametrije i stereoskopije je stereofotogrametrija. Stereofotogrametrija, poseban je vid fotogrametrije, tehnika određivanja oblika ili drugih prostornih informacija o promatranom objektu ili terenu na osnovi *stereoskopije*, tj. snimanja i interpretacije dviju snimaka (stereopar) dobivenih s različitih mjesta snimanja (snimališta) [3].

Prema položaju snimališta razlikujemo aerofotogrametriju i terestričku fotogrametriju. Aerofotogrametrijom se objekti snimaju iz zraka, pri čemu se koriste avioni i bespilotne letjelice, a terestričkom fotogrametrijom snimaju se objekti sa tla, pri čemu se koriste mjerne i amaterske kamere. Područje primjene fotogrametrije je široko, kako u geodeziji, tako i u drugim granama znanosti. Osim za izradu 3D modela i DOF-a, fotogrametrija se u geodeziji primjenjuje kod izmjere zemljišta i izrade karata. U graditeljstvu se koristi za trasiranje prometnica, u hidrotehnici za projektiranje i praćenje vodnih tokova, u urbanizmu za planiranje i razvoj gradskih područja, te u prostornom planiranju za analizu i organizaciju prostora. Osim u svrhu izrade 3D modela i DOF-a metode fotogrametrije se u geodeziji primjenjuju kod izmjere zemljišta te izrade karata. U graditeljstvu, metode fotogrametrije primjenjuju se u svrhu trasiranja prometnica, hidrotehnici te urbanizmu i prostornom planiranju. Snimke nastale aerofotogrametrijom, uglavnom se koriste u području arheologije, geologije i geografije, dok se terestrička fotogrametrija primjenjuje u

kriminalistici, arhitekturi, zaštiti kulturne baštine, ali i u medicinske i industrijske svrhe. Fotogrametrijskim metodama je moguće i praćenje promjena na tlu, deformacija zgrada ili konstrukcija, stoga u današnje vrijeme, bez fotogrametrije nije zamislivo kartiranje, ali ni proučavanje površine tla [1].

Kreiranje DOF-a slično je procesu izrade 3D modela. Digitalni ortofoto, odnosno ortofoto karta je planimetrijski ispravna fotografija iz zraka, koja po metričkim svojstvima, u potpunosti odgovara karti istog mjerila. Postupak izrade ortofoto karte je brži pa time i ekonomičniji u odnosu na izradbu klasične karte [4]. DOF se osim u svrhu provođenja geodetske izmjere, odnosno nove katastarske izmjere ili izrade službenih državnih karti može koristiti u mnoge druge svrhe. Moguće je izraditi DOF krupnijeg mjerila ili na primjer DOF manjeg određenog područja, odnosno područja od interesa. S obzirom na to da se tehnologija svakodnevno razvija, kreiranje DOF-a postalo je svakodnevna praksa. Stoga se kreiranje DOF-a može pronaći u mnogim granama znanosti i područjima, poput šumarstva, poljoprivrede, prostornog planiranja i drugih. Primjenom DOF-a olakšano je praćenje tla i promjena na njemu, poput usjeva, deformacija tla i temperaturnih promjena. DOF omogućuje korisnicima brz i jednostavan pristup podacima koji su potrebni za različite znanstvene i primijenjene svrhe. Primjenom DOF-a praćenje tla i promjena na njemu, značajno je jednostavnije te brže, pa se tako putem digitalnih ortofoto karti mogu pratiti usjevi, deformacije tla, temperaturne promjene te mnogi drugi podatci potrebni korisnicima. No osim praćenja promjena na tlu i iznad njega, putem DOF-a moguće je i praćenje, odnosno upravljanje kriznim situacijama. U takvim situacijama, DOF je izvor geoprostornih podataka i informacija [4].

Prije same izrade 3D modela, potrebno je poznavanje 3D modeliranja. Kako navodi Krulčić, L. „3D modeliranje je proces kreiranja matematičke reprezentacije nekog objekta u trodimenzionalnom prostoru. Tako izrađeni model naziva se 3D model“ [5]. 3D modeliranje pomoću poligona nazvano je poligonalno modeliranje te je jedna od zahtjevnijih metoda upravljanja računalnom grafikom. Iako su ovoj metodi potrebni poligoni kako bi bilo moguće formirati model, u krajnjem rezultatu oni su prekriveni teksturom i detaljima. Osim poligonalnog modeliranja, postoje još dvije osnovne vrste modeliranja, a to su NURBS modeliranje i box modeliranje. NURBS (Non- Uniformal Rational Bezier Splines) je matematički izraz koji za prikaz 3D modela koristi krivulje i površine, a dobiveni rezultat primjenom ove vrste modeliranja je postizanje glatke površine. Ova vrsta modeliranja se temelji na Bézierovoj krivulji. To je interpolacijska krivulja koja glatko bez lomova prolazi kroz niz zadanih točaka. Ovu krivulji program automatski iscrtava između kontrolnih vrhova. Krivulja je određena početkom i krajem te stupnjem zakrivljenosti koji ovisi o kontrolnim vrhovima unutar nje. Moguće je dodavanje vrhova u krivulju, što rezultira nastajanjem novih točaka. Novonastale točke omogućuju manipuliranje koje nema utjecaj na glatkoću i zaobljenost 3D modela, odnosno ne narušava

njegovu kvalitetu. Box modeliranje je vrsta modeliranja koja koristi kocku, kuglu ili cilindar. Odabrani oblik se modelira sve dok se ne postignu željeni rezultati, a nakon toga se dodaju detalji. Ova vrsta modeliranja je jednostavna i brza za učenje, no teška u slučajevima kada se želi postići viša razina. Subdivizijsko modeliranje je još jedna vrsta modeliranja koja za kreiranje površina koristi kombinaciju NURBS i poligonalnog modeliranja. Ova vrsta modeliranja je ustvari poligonalno modeliranje koje koristi matematički izraz NURBS-a. Proces započinje tako da se kreiraju poligonalne mreže na kojima se, nakon usavršavanja, stvaraju novi vrhovi 3D modela. Subdivizijske površine se prerađuju pomoću shema koje se dijele u dvije kategorije, a to su interpoliranje i aproksimiranje. Kod interpolacijskih shema, položaj vrhova mora odgovarati položaju u izravnoj mreži, što kod aproksimirajućih mreža nije slučaj jer se njihove pozicije prilagođavaju u skladu sa potrebama. Veća glatkoća 3D modela postiže se korištenjem aproksimirajućih shema, no u tom slučaju potrebna je i veća optimizacija koraka. Što se tiče načina rada subdivizijskih površina, one ovise o vrstama poligona na kojima se radi, stoga su neke funkcije primjenjive na četverostranim poligonima, dok su druge primjenjive isključivo na trokutima [5,6].

Bespilotnom letjelicom prikupljaju se teže dostupni podaci, potrebni za kreiranje 3D modela i DOF-a, ali i velika količina podataka koja se odnosi na sam objekt ili prostor od interesa. Snimci dobiveni autonomnom bespilotnom letjelicom trebaju se georeferencirati i prostorno povezati. Stoga se u svrhu georeferenciranja, odnosno za određivanje orijentacijskih točaka potrebnih za georeferenciranje koristio se GNSS (Globalni Navigacijski Satelitski Sustav) prijemnik. Nakon završetka terenske izmjere proveda se obrada podataka pomoću Agisoft Metashape softvera. Rezultati dobiveni korištenjem vertikalnih i kosih snimki su se usporedili, a na temelju usporedbe se donio zaključak o njihovoj primjeni u izradi 3D modela i DOF-a. Konačni rezultat poput 3D modela i DOF-a moguće je koristiti u razne svrhe i daljnje projekte vezane uz sam objekt ili područje od interesa.

Cijeli postupak izrade 3D modela i DOF-a, uključujući terensku izmjeru, obradu podataka, konačne rezultate te njihovu usporedbu, podijeljen je u nekoliko cjelina. Pa se tako ovaj završni rad sastoji od šest cjelina, a to su:

1. Uvod
2. Bespilotne letjelice
3. Vertikalne i kose snimke
4. Prikupljanje podataka
5. Obrada podataka
6. Rezultati i zaključak

Drugo poglavlje opisuje bespilotne letjelice, njihovu primjenu i značaj u aerofotogrametriji s naglaskom na kreiranje 3D modela i DOF-a.

Treće poglavlje opisuje vertikalne i kose snimke, odnosno njihove karakteristike, prednosti i nedostatke te primjenu. Uz svaku vrstu zračnih snimki, odnosno položaj kamere na bespilotnoj letjelici, opisana je geometrija snimanja te objašnjena matematička osnova.

U četvrtom poglavlju opisuje se postupak provođenja terenske izmjere, odnosno prikupljanje zračnih snimki bespilotnom letjelicom te postupak određivanja orijentacijskih točaka pomoću GNSS prijemnika.

U petom poglavlju se opisuje postupak obrade prikupljenih podataka, odnosno Agisoft Metashape softver koji se koristi u svrhu obrade podataka te provođenje postupka obrade podataka.

Završno šesto poglavlje prikazuje rezultate obrade i usporedbe dobivenih rezultata. Prvo se međusobno uspoređuju DOF kreiran pomoću kosih snimki te DOF kreiran pomoću vertikalnih snimki, a nakon toga i 3D model kreiran kosim snimkama te 3D model kreiran vertikalnim snimkama.

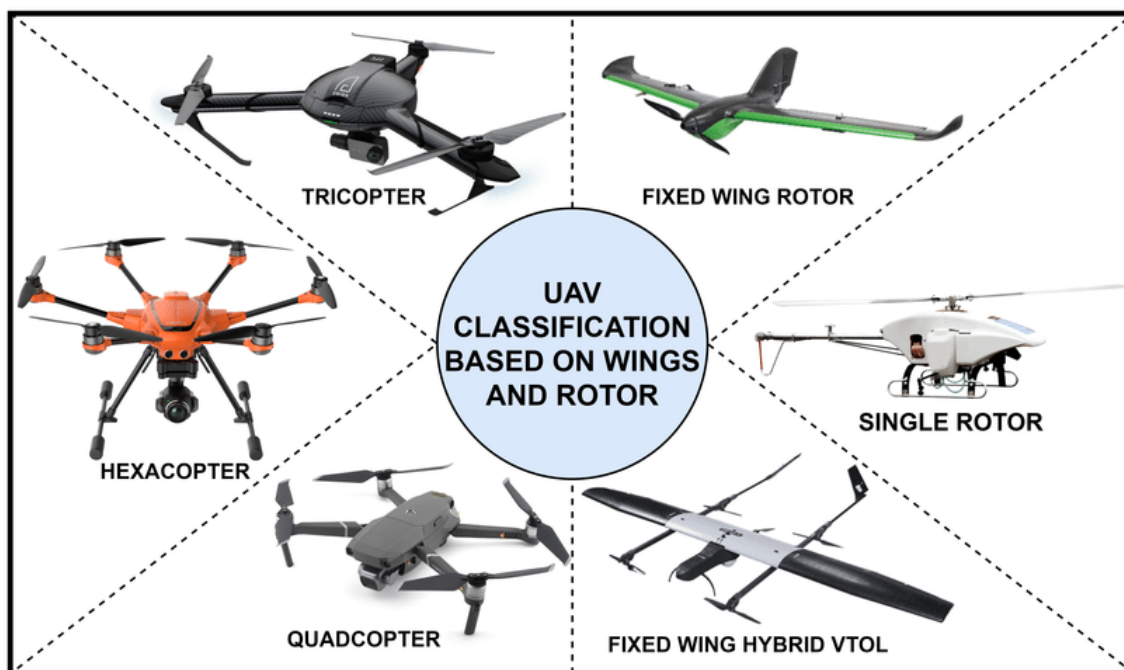
2. Беспилотне летјелце

Bеспилотне летјелце su летјелце koje ne zahtijevaju prisustvo pilota u летјелци, a poznatije su kao dronovi. Dronovi su летјелце s izvorom energije koja ih pokreće, a kojima ljudski operator upravlja s tla, pri čemu se upravljanje летом врши помоћу далјинског управљача или помоћу аутомног система за контролу вођње. Данас dronove koristimo u разне сврхе. U геодезији dronove најчешће koristimo за фотogrametriјску измјеру. Dronovi се такођер користе u промету, филмској индустрији, пољопривреди, градитељству, поморству те свакодневном животу.

Prvi oblici беспилотних летјелца, poput balona, pojavili su se već 1850-ih godina, no tek tijekom 20. stoljeća se dronovi počinju značajnije razvijati. Njihova првенствена namjena je u vojne svrhe, pa su tako prvi vojni dronovi nastali u vrijeme Prvog svjetskog rata, a kasnije se počinju koristiti u civilne svrhe. Nakon rata dolazi do daljnjeg razvoja tehnologije te se u Velikoj Britaniji razvija poznati „Queen Bee“, prvi dron koji je mogao izvesti samostalan povratak. Ovaj dron predstavlja početak razvitka modernog drona, odnosno moderne tehnologije [7].

Standard ili klasifikacija беспилотних летјелца ne postoji, već se dronovi dijele по svojim tehničkim specifikacijama, odnosno osobinama. Беспилотне летјелце možemo podijeliti prema njihovoj veličini, namjeni, načinu upravljanja, konfiguraciji.

Stoga postoji nekoliko jednostavnih podjela, a jedna od njih je prema namjeni. Gledajući namjenu, razlikujemo dronove за vojne svrhe, civilne svrhe, nadzor, истраживање, dostavu i slično.



Slika 1. Vrste беспилотних летјелца obzirom na krila i rotore

Glavna podjela bespilotnih letjelica je na letjelice sa pomičnim krilima te na letjelice sa fiksnim krilima, prikazanih na slici 1 [8]. Primjer letjelice sa pomičnim krilima je multirotor letjelica, odnosno letjelica sa više od dva rotora za uzgon. No, razlikuje se i bespilotna letjelica sa jednim rotorom. Bespilotna letjelica sa fiksnim krilima je letjelica kojoj je za polijetanje potrebna pista kako bi postigla brzinu potrebnu za let. Klasični bespilotna letjelica sa fiksnim krilima za uzgon koristi krila, no postoje i hibridi koji imaju elise. Hibridne letjelice imaju mogućnost vertikalnog polijetanja, odnosno slijetanja bez potrebe upotrebe piste. Bespilotna letjelica sa mobilnim krilima je svaka letjelica koja ima mogućnost sklapanja ili uklanjanja krila zbog čega ova letjelica zauzima manje mjesta tijekom mirovanja, ali i transporta. Također, sve bespilotne letjelice koje rade na principu sličnom letu ptica, odnosno mahanjem krila mogu se smatrati letjelicama s mobilnim krilima. Bespilotne letjelice za kretanje ili uzgon koriste elise, mlazni pogon ili neku drugu vrstu pogona bez pomoći krila. Ovakvi dronovi mogu imati različiti broj elisa, što utječe i na sam dizajn letjelica. Osnovna podjela letjelica bez krila je na letjelice s jednim rotorom i letjelice s više rotora. Letjelice s jednim rotorom koriste jednu veću elisu kao pogon te jednu manju elisu na repu. Mana elisa je vrlo bitna zbog stabilnosti letjelice te kako bi se omogućilo upravljanje njome. Princip rada bespilotne letjelice s više rotora vrlo je sličan letjelici s jednim rotorom, ali postavljanje više rotora postiže se veća sigurnost, odnosno manji rizik od pada letjelice [8,9].

No osim ove podjele iznimno je bitna podjela prema težini. Ova podjela u Republici Hrvatskoj određena je zakonskom regulativom koja se sastoji od zakona i regulativa, kako i sam njen naziv glasi. Zakoni su pravila za upravljanje bespilotnom letjelicom te su propisani. Regulativa obuhvaća niz postupaka i pravila pomoću kojih se prati provedba zakona. Zakonskom regulativom propisana je najveća dopuštena visina leta, namjena leta te područje zračnog prostora. Područje zračnog prostora je prostor unutar kojeg je dozvoljen let bespilotnom letjelicom, a određen je kako bi se mogao ograničiti promet te kako bi bila poznata namjena svakog leta [10].

U današnje vrijeme, sve se češće koristi RTK (Real Time Kinematic) tehnologija koja se može ugraditi na bespilotne letjelice. Ova tehnologija omogućuje bespilotnim letjelicama da vrlo precizno određuju svoj položaj, što je korisno u aplikacijama gdje je potrebna visoka preciznost, poput geodetskih mjerenja i kartiranja. Primjena RTK tehnologije omogućuje dobivanje koordinata s točnošću unutar jednog centimetra. Ova točnost se postiže korištenjem lokalne bazne stanice uz satelitske signale, pri čemu je sustavu omogućeno ispravljanje eventualnih pogrešaka nastalih prilikom preuzimanja podataka sa satelita. Zbog visoke preciznosti, bespilotne letjelice opremljene RTK opremom imaju široku primjenu. U geodeziji se najčešće koriste za izradu detaljnih karata zemljišta, izmjeru zemljišta i inženjerske projekte. Osim toga, letjelice opremljene

RTK sustavom se koriste u preciznoj poljoprivredi što poljoprivrednicima omogućuje detaljno praćenje usjeva i značajno smanjenje troškova [11].

3. Vertikalne i kose snimke

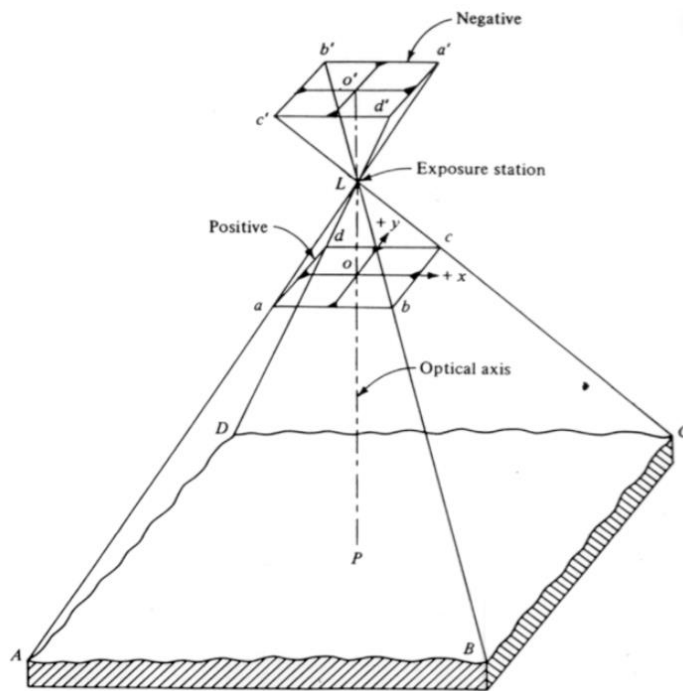
Značaj zračnih snimki prepoznat je na samim počecima razvoja fotogrametrije i tehnologije snimanja. U početku, za postizanje zračnih snimki koristile su se različite platforme, a jedan od najpoznatijih alata je balon. U današnje vrijeme zračne snimke najčešće nastaju pomoću bespilotnih letjelica, letjelica s posadom ili satelita. No neovisno o metodi korištenoj u svrhu prikupljanja zračnih snimki, iznimno je bitno razlikovati vrstu snimki. Osnovnu podjelu zračnih snimki čine vertikalne i kose snimke. Obje vrste snimki imaju svoje prednosti, ali i nedostatke te se koriste u raznim primjenama. Ovisno o vrsti projekta, odabire se i vrsta snimki koja bolje odgovara samom projektu. Stoga prije odabira vrste snimki, odnosno vertikalnih ili kosih snimki, potrebno je poznavanje njihovih specifičnosti, kvalitete i vrijednosti [12].

3.1. Vertikalne snimke

Vertikalne snimke nastaju u potpunosti okomitim snimanjem prema tlu. To su zračne snimke koje za snimanje tla koriste kut od 90° , pri čemu se os snimanja u potpunosti poklapa sa vertikalnom osi. Kod ovakvih snimki nema perspektive, što znači da se slika neće iskriviti. Također, ove snimke imaju konstanto mjerilo preslikavanja što sprječava deformacije na snimkama. Ipak zbog nedostatka perspektive, na ovi snimkama izostaje dubina te 3D efekt. U pravilu, ove snimke je lakše interpretirati [13].

Iako se vertikalne snimke češće koriste od kosih, sa njih je teže odrediti visinske promjene ili definirati 3D oblik. Vertikalne snimke imaju prednost nad kosim jer obuhvaćaju znatno veće područje te se fokusiraju na topologiju. Stoga se vertikalne snimke često koriste za praćenje usjeva ili praćenje promjena na tlu jer pružaju detaljan pregled površine bez izraženih perspektivi izobličenja koje mogu biti prisutne kod kosih snimki.

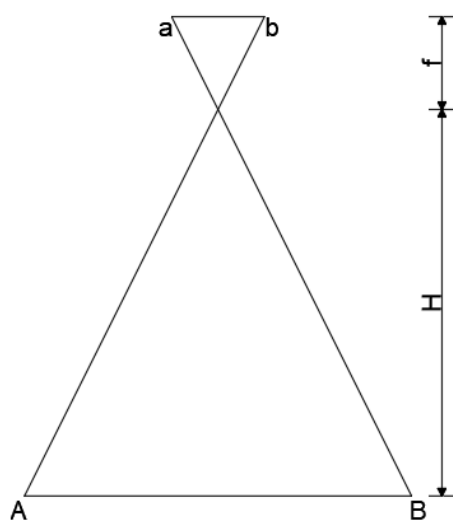
Prije kreiranja vertikalnih snimki, potrebno je poznavanje njihove geometrije. Geometrija snimke formira se unutar kamere, što uključuje vidno polje kamere, žarišnu duljinu leće te visinu leta, a ti faktori zajedno utječu na mjerilo snimke i razlučivost na tlu. S obzirom na to da je vertikalna snimka u potpunosti okomita na tlo, princip nastajanja vertikalne snimke je vrlo jednostavno interpretirati. Geometrija vertikalne snimke, prikazana na slici 2 [14], je u potpunosti prenesena iz stvarnosti na snimku bez pomaka ili promjena. Obzirom da geometrija vertikalne snimke zadržava svoj prvobitni oblik, možemo reći da je ona uzrok konstantnom mjerilu, ali i razlog za izostajanje perspektive [14].



Slika 2. Geometrija vertikalne snimke

Ako pretpostavimo da se točka A projicira na snimci oznakom a, odnosno da se točka B projicira kao b, možemo odrediti udaljenost između točaka te usporediti stvarnu i projiciranu udaljenost.

S obzirom na to da je mjerilo snimke konstanto, moguće ga je jednostavno izračunati. Za određivanje mjerila, potrebno je poznavati dvije točke na tlu, koje su označene s A i B, kao što je prikazano na slici 3 [14].



Slika 3. Varijable koje utječu na mjerilo vertikalne snimke

Stoga formula za određivanje mjerila glasi:

$$\text{mjerilo} = \frac{\text{udaljenost } ab}{\text{udaljenost } AB} \quad (1)$$

Također, promatrajući sliku 3, može se uočiti sličnost između velikog i malog trokuta, pa ako primijenimo načelo sličnosti trokuta formula glasi:

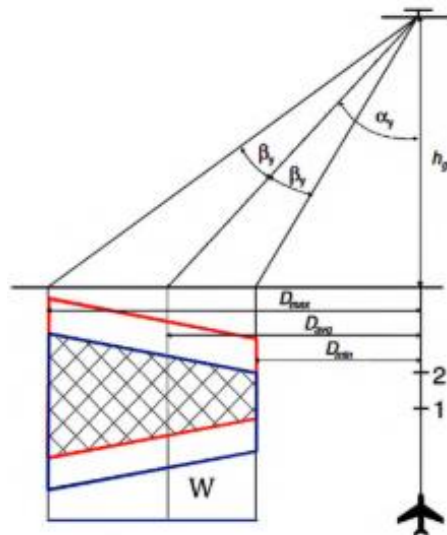
$$\text{mjerilo} = \frac{\text{žarišna duljina leće } (f)}{\text{visina leta } (H)} \quad (2)$$

3.2. Kose snimke

Kose zračne snimke nastaju snimanje iz zraka pri čemu je os snimanja otklonjena od vertikalne osi. Ovakva vrsta snimki počinje se koristiti u samim počecima primjene bespilotnih letjelica. Tada su se kose snimke koristile u svrhu izviđanja, a danas se sve češće koriste u svrhu geodetske izmjere [15].

Kose snimke se značajno razlikuju od vertikalnih, stoga je bitno definirati njihove razlike. Razmatrajući geometriju preslikavanja, uočljivo je da kose snimke imaju svoja svojstva. Kod kosih snimki mjerilo preslikavanja nije konstantno. Uzimajući u obzir čitavi format snimke, mjerilo se značajno razlikuje, što dovodi do promjene veličine piksela. Veličina piksela se značajno mijenja duž cijele snimke. S obzirom da je u prednjem dijelu snimke mjerilo preslikavanja krupnije, odnosno u stražnjem planu mjerilo preslikavanje sitnije, obrnuto proporcionalno tome mijenja se i veličina piksela. Stoga je veličina piksela preslikanog na terenu manja u prednjem dijelu snimke, odnosno u dijelu snimke čije je mjerilo preslikavanje krupnije, dok je u stražnjem dijelu snimke gdje je mjerilo sitnije veća.

Zbog promjena svojstava kosih snimanja, prije početka snimanja potrebno u obzir uzeti i druge faktore. Stoga se tijekom planiranja snimanja, osim vidnog polja kamere, u obzirom moraju uzeti i visina leta te kut otklona osi snimanja. Vidno polje kamere označava se s β_y , visina leta označena je s h_g , a kut otklona osi snimanja označen je s α_y , što je vidljivo na slici 4 [15] koja prikazuje geometriju snimanja kose snimke.



Slika 4. Geometrija kose snimke

Također, prikaz geometrije snimanja daje izraze za udaljenost područja preslikavanja i nazivnik mjerila snimanja. Udaljenost područja preslikavanja se odnosi na putanju leta aviona, pri čemu se razlikuju bliža granica niza od putanje leta aviona (D_{min}), dalja granica niza od putanje leta aviona (D_{max}), sredina niza te širina niza. Bližu i dalju granicu niza od putanje leta aviona moguće je izračunati formulom:

$$D_{min, max} = h_g \tan (\alpha_y \mp \beta_y) \quad (3)$$

Temeljem ovih dviju formula za bližu i dalju granicu niza od putanje leta, vrlo je jednostavno određivanje sredine niza (D_{avg}). Sredina niza je ustvari srednja vrijednost dobivenih vrijednosti bliže i dalje granice niza od putanje leta aviona te je iskazana formulom:

$$D_{avg} = \frac{D_{min} + D_{max}}{2} \quad (4)$$

Određivanje širine niza (W), jednostavna je razlika dalje granice niza od putanje leta aviona i bliže granice niza od putanje leta aviona, što je prikazano formulom:

$$W = D_{max} - D_{min} \quad (5)$$

Također, geometrija snimanja određuje nazivnik mjerila snimanja koji se razlikuje kao nazivnik mjerila snimanja na bližoj granici niza (m_{min}), nazivnik mjerila snimanja na daljoj granici

niza (m_{\max}) te nazivnik mjerila snimanja na sredini niza (m_{avg}). Pa je tako nazivnik mjerila snimanja na bližoj i daljoj granici niza određen formulom:

$$m_{\min, \max} = \frac{hg \cos \beta_y}{f \cos(\alpha_y \mp \beta_y)} \quad (6)$$

Pri čemu je f žarišna duljina.

Nazivnik mjerila snimanja na sredini niza ne uzima u obzir vrijednost vidnog polja kamere β_y , odnosno ona se zanemaruje. Stoga formula glasi:

$$m_{\text{avg}} = \frac{hg}{f \cos \alpha_y} \quad (7)$$

Kose snimke imaju mnoge prednosti u usporedbi s vertikalnim snimkama. Jedna od osnovnih razlika između ovih dviju vrsti zračnih snimki je perspektiva. Kose snimke daju značajnije bolju perspektivu objekata na tlu te prikazuju detalje koji bi na vertikalnim snimkama mogli biti zaklonjeni. Osim toga, pomoću kosih snimki moguće je precizno određivanje visina, a takve snimke daju i više podataka o relativnoj visini. S obzirom na količinu podataka, položajnih i visinskih, kose snimke se koriste za 3D modeliranje. No, kose snimke imaju i mnoge nedostatke koji su najčešće vezani uz proces kreiranja zračnih snimki. Neki nedostaci su visoka cijena opreme i kraće vrijeme leta. Zbog toga se pojedine misije obavljaju u više letova. U geodetskoj struci, primjena kosih snimki postaje sve češća i izuzetno značajna. Stoga se koso snimanje bespilotnom letjelicom te primjena kosih snimki sve više istražuju [16].

4. Prikupljanje podataka

Prikupljanje podataka važan je korak u svakom projektu. Podatci korišteni u svrhu izrade ovog rada, prikupljeni su na terenu, odnosno provođenjem terenske izmjere. Terenska izmjera je najbitniji korak u izradi geodetskih projekata. Da bi dobiveni rezultati bili kvalitetni, izmjera mora biti vrlo precizna i točna. Stoga je vrlo bitno, prije svake izmjere, obaviti rekognosciranje terena. Ovaj korak radi se neposredno prije izmjere u svrhu promatranja terena ili objekta od interesa. Vrlo je bitan za samu izmjeru jer njime ustanovljavamo što bi mogle biti prepreke, problemi, nedostaci ili neki drugi razlozi zbog kojeg bi dobiveni podaci mogli biti smanjene kvalitete ili se terenska izmjera ne bi mogla provesti. Prije početka izmjere, obišli smo zgradu Sveučilišta Sjever i ustanovili sljedeće prepreke: drveće koje zaklanjaju bočno pročelje te automobili koji su parkirani u krugu objekta.

Nakon pregledavanja terena, ključan korak prije početka provođenja geodetske izmjere je odabir instrumentarija. Bez dobrog odabira instrumentarija, kvaliteta dobivenih podataka je upitna, a samim time vrijednost cjelokupnog projekta se umanjuje. Stoga je vrlo bitno dobro poznavanje svakog instrumenta te njegovih specifikacija i mogućnosti. Za odabir instrumentarija, također je potrebno poznavanje osnovnih informacija o samom projektu, odnosno izmjeri. Te informacije govore o opsežnosti projekta, traženoj točnosti i kvaliteti podataka, rezultatima ili traženim proizvodima.

U svrhu izrade ovog rada korištena je bespilotna letjelica te GNSS prijemnik. Izmjera se provela u dva dijela. Prvi dio izmjere obavio se bespilotnom letjelicom pri čemu se područje snimilo dva puta. Prvim letom prikupljene su vertikalne snimke, a drugim kose. Nakon toga, na terenu su se pomoću GNSS prijemnika odredile koordinate orijentacijskih točaka.

4.1. Snimanje bespilotnom letjelicom

Kao što je već prethodno spomenuto, snimanje bespilotnom letjelicom provelo se dva puta. Da bi se odredio plan leta, u obzir se uzimaju projektni kriteriji, kriteriji sustava te parametri okoliša. Stoga su, osim same putanje bespilotne letjelice, unutar softvera implementiranog u letjelicu određeni i ostali parametri leta. Obzirom da je tijekom snimanja bespilotnom letjelicom potrebno postignuti preklope u iznosu od 75%, ovaj parametar podešen je tako da uzdužni preklop iznosi 75% te poprečni također 75%.

Tijekom prvog leta, letjelica je podignuta na visinu od 40 metara bez nagiba kuta kamere, odnosno pod kutom od 90°. Što znači da se os snimanja u potpunosti poklapa sa vertikalnom osi

te u ovom slučaju ne dolazi do otklona vertikale. Korištena je misija „Rectangular“ te je letjelica obavila let u ukupno četiri niza. Tako je prikupljeno oko pedesetak vertikalnih zračnih snimki.

Tijekom drugog leta, nagib kuta kamere mijenja se na 80° pri čemu dolazi do otklona vertikale. Otklon vertikale posljedica je odmicanja osi snimanja od vertikalne osi, što rezultira dobivanjem kosih zračnih snimki. Tijekom ovog leta korištena je ista misija te su ostvareni jednaki preklopi snimki, također u četiri niza. Samim time i broj snimaka je jednak, odnosno snimljeno je pedesetak kosih zračnih snimki.



Slika 5. Bepilotna letjelica EVO II

U svrhu izrade ovog rada, korištena je bespilotna letjelica EVO II, proizvedena od strane tvrtke Autel Robotics koja je prikazana na slici 5 [17]. Ova letjelica je dizajnirana tako da sadrži precizni RTK modul i sinkronizaciju vremena. Omogućuje snimanje 6k Ultra HD videozapisa te omogućuje 38 minuta leta. Težina ove letjelice je oko 2 kilograma, maksimalna horizontalna brzina leta iznosi 20 metara u sekundi, a maksimalna kutna brzina 120 stupnjeva u sekundi. Maksimalna visina leta koju letjelica može postići je sedam kilometra, a maksimalna udaljenost leta iznosi 21 kilometar Također, ova letjelica omogućuje nekoliko misija. Misija je put koji letjelica prođe tijekom svog leta. Najčešće korištene misije su pravokutna i poligonska misija, to znači da se letjelica može programirati da leti duž unaprijed definiranih pravokutnih ili poligonskih putanja. Pravokutne misije se sastoje od nekoliko nizova jednake duljine, ovisno o obuhvatu leta, području ili prostoru koji bespilotna letjelica pokriva tijekom misije. Pri prelasku u sljedeći niz, bespilotna letjelica se okreće za 90° te prelazi u sljedeći niz. Zatim, ponavlja isti okret u istom smjeru kako bi letjelica paralelno nastavila let s prethodnim nizom. Poligonska misija je misija koja svojom strukturom letjelici omogućuje da pokrije određeno područje na način koji nije pravokutan ili pravilan, već je prilagođen specifičnim zahtjevima zadatka. Bepilotna letjelica izvodi poligonsku misiju tako što leti do proizvoljno definiranih točaka unutar zadanog područja [17].

4.2. Određivanje orijentacijskih točaka

S obzirom na to da se prije letu nisu postavljali signali orijentacijskih točaka, bilo je potrebno pronaći karakteristične točke na tlu koje će poslužiti kao orijentacijske točke, odnosno odrediti orijentacijske točke. Određivanje koordinata orijentacijskih točaka provodi se pomoću GNSS prijemnik..

Globalni Navigacijski Satelitski Sustav (GNSS) zajednički je naziv za sve sustave čija je namjena satelitsko pozicioniranje. Zadaća ovih sustava je omogućiti pozicioniranje i navigaciju u realnom vremenu. Cilj ovih sustava je mogućnost određivanja položaja bilo kada i bilo gdje, bilo to na fizičkoj površini Zemlje ili u njenoj blizini. GNSS se temelji na korištenju satelita. Prvi sateliti „Sputnik“ je lansiran 1957. godine od strane Saveza Sovjetskih Socijalističkih Republika, nakon čega se sateliti počinju značajno razvijati [18].

GNSS sustavi su složeni sustavi i kontinuirano se razvijaju. Prednost ovog sustava je potpuna digitalnost i integracija sa drugim sustavima i sensorima. Ipak najznačajnija prednost je što su globalnog karaktera, odnosno dostupni su velikom broju korisnika na području čitavog planeta. Sustavi imaju i nekoliko mana, poput manje preciznosti mjerenja, nekontroliranih smetnji ili nedostupnosti zbog čega nije moguće provođenje izmjere. Do nekontroliranih smetnji dolazi zbog pogrešaka povezanih sa satelitima te zbog pogrešaka koje utječu na širenje signala. Jedna od značajnijih pogrešaka povezanih sa satelitima je geometrija satelita koja utječe na pogrešku pozicioniranja. Točnost određivanja položaja je u ovisnosti o točnosti položaja svakog satelita, geometriji satelita te pseudoudaljenosti. Pseudoudaljenosti je korekcija udaljenosti koja nastaje zbog pogreške sata na prijammniku. S obzirom da je sustavu potrebo minimalno četiri satelita, u slučaju kada je broj satelita manji, sustav nije dostupan.

U svrhu izrade ovog rada, za orijentacijske točke odabrani su rubovi parkirnih mjesta, rubovi slivnika i šahta te rubnjaci. Položaj točaka, odnosno njihove koordinate, određene su pomoću Trimble GNSS prijemnika R12i, dok je za upravljanje prijemnikom i obradu podataka korišten kontrolera TSC7. Slika 6 prikazuje korišteni GNSS prijemnik [19] i korišteni kontroler [20].

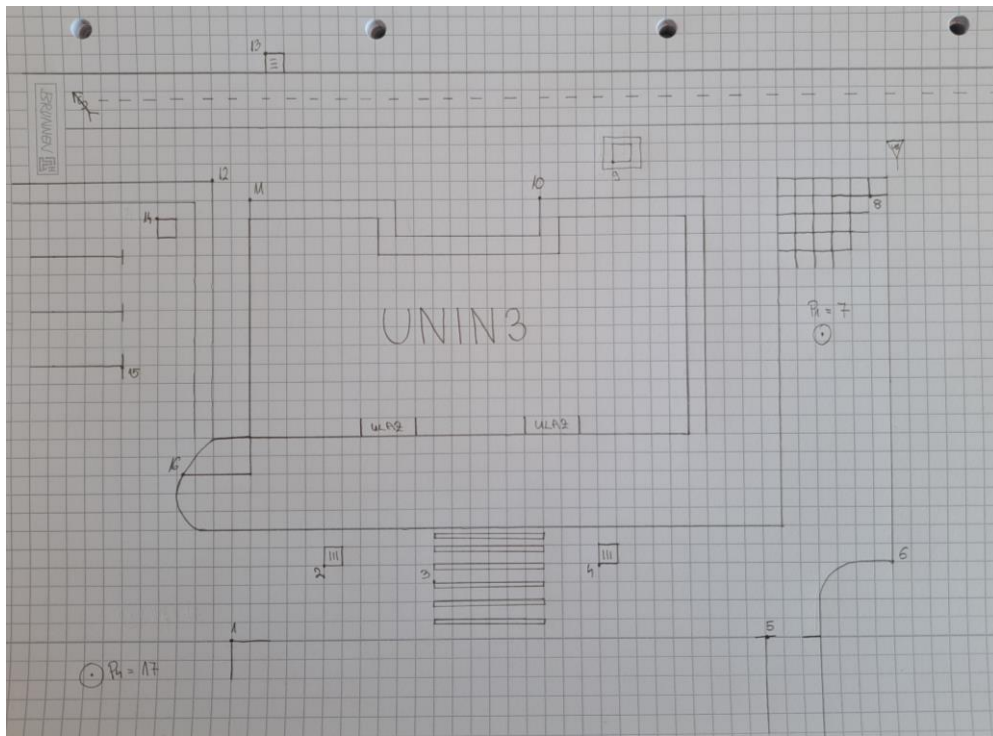


Slika 6. GNSS prijemnik R12i i kontroler TSC7

Ovaj GNSS prijemnik jedan je od najnaprednijih prijamnika na tržištu dizajniran za efikasan rad. Svojom tehnologijom nudi odlične performanse, brzinu i točnost, čime se povećava kvaliteta dobivenih rezultata. Zahvaljujući IMU (Inertial Measuring Unit) tehnologije, ovom prijamniku nije potrebno horizontiranje libele štapa da bi izmjera bila moguća, stoga je mjerenje brže i jednostavnije. Statistička točnost ovog instrumenta je iskazana u milimetrima, odnosno vertikalna točnost iznosi 3.5mm, dok horizontalna samo 3mm [19].

Trimble TSC7 kontroler je uređaj koji služi za praćenje i upravljanje GNSS prijamnikom. Ovaj kontroler se sastoji od zaslona i tipkovnice koji su integrirani unutar kućišta. Kontroler je moguće povezati na Bluetooth, putem USB kabla ili putem Wi-Fi mreže. Podaci se pohranjuju u softver unutar kontrolera te ih je moguće pregledavati ili uređivati, što prijenos podataka čini vrlo brzim i jednostavnim [20].

GNSS izmjera proveda se u smjeru kazaljke na satu pri udaljenosti do maksimalno deset metra od zgrade. Tijekom izmjere vođena je skica, prikazana na slici 7, te se svaka karakteristična točka fotografirala kako bi se sa većom sigurnošću definirao položaja svake točke pri orijentaciji. Slika 8 prikazuje primjer orijentacijskih točaka za koje je odabran vanjski rub okvira šahta (lijevo) i postavljena geodetske točka (desno). Ovom izmjerom prikupljeno je dvadesetak točaka, odnosno koordinata točaka.



Slika 7. Skica orijentacijskih točaka



Slika 8. Primjer orijentacijskih točaka

5. Obrada podataka

Obrada podataka započinje nakon, u potpunosti, obavljene terenske izmjere. Temeljem obrade podataka dobivamo konačni rezultat ili proizvod koji mora biti točan, vjerodostojan, koristan i razumljiv. Da bi se postigla kvaliteta potrebno je pažljivo odabrati softvere koji sadrže potrebne alate za upravljanje podacima. Postoji mnogo različitih softvera kreiranih u svrhu upravljanja prostornim podacima. Tako se i za potrebe 3D modeliranja i stvaranja 3D modela, ali i u kreiranju DOF-a razlikuju komercijalni i softveri otvorenog koda. Softver koji je korišten za fotogrametrijsku obradu podataka i izradu 3D modela i DOF-a je Agisoft Metashape.

5.1. Prebacivanje podataka i organizacija

Prije početka same obrade podataka, sve prikupljene podatke potrebno je prebaciti na računalo. Obzirom na sličnost podataka, konkretno sličnost zračnih snimki, potrebno je pažljivo prebaciti podatke kako se podaci ne bi pomiješali ili zagubili. Stoga su se prije samog preuzimanja podataka, na računalo kreirali novi direktoriji unutar kojih će svaka vrsta podataka biti posebno pohranjena. Podaci prikupljeni bespilotnom letjelicom su se prebacili putem SD kartice. Podaci se prvo pohranjuju na SD karticu, nakon čega se kartica vadi iz letjelice te ubacuje u računalo. Nakon toga podatci se kopiraju te pohranjuju unutar direktorija namijenjenog njima.

Podaci prikupljeni GNSS prijemnikom su se na terenu direktno prebacili na USB stick, a nakon toga su se pohranili u direktorij namijenjen njima. Te podatke, odnosno koordinate, je potrebno pretvoriti u tekstualni oblik. Koordinate se učitavaju u program Excel te pohranjuju kao datoteka s podacima odvojenim zarezom. Provjera kvalitete i točnosti orijentacijskih točaka, provela se pomoću softvera AutoCAD. Ovaj softver omogućuje učitavanje točaka zajedno sa njihovim koordinatama. Stoga je točke moguće smjestiti u prostor, što rezultira prikazom njihovih položaja. Nakon što se točke učitaju u softver, uspoređuje se njihov položaj sa stvarnim položajem, odnosno skicom.

U konačnici, svi prikupljeni podatci su prebačeni na računalo te organizirani u zasebne direktorije kako bi se spriječilo gubljenje ili miješanje podataka.

5.2. Softver – Metashape

Agisoft Metashape je programski proizvod koji je kreiran u svrhu fotogrametrijske obrade digitalnih slika i 3D prostornih podataka. Tvrtka Agisoft posluje još od 2006.godine kada je osnovana kao inovativna tvrtka s fokusom na računalnu tehnologiju. Jedna je od prvih tvrtki koja se bavi razvojem rješenja u domeni digitalne fotogrametrije. Ideja ove tvrtke je omogućiti

korisnicima nesmetan rad s naglaskom na uštedi vremena, tehničkoj učinkovitosti te praćenju trendova digitalne tehnologije. Krajnji cilj ove tvrtke je razviti softver koji će biti točan, stabilan i brz, kako bi svojim korisnicima dodatno olakšali rad. Stoga se ova tvrtka detaljnije bavi i potrošnjom hardverskih resursa, kvalitetom podataka te brzinom obrade. Iako je ovaj softver komercijalni, korisnicima je omogućeno preuzimanje te korištenje 30-dnevne probne verzije [21].

Razlikujemo Matashape standardnu i profesionalnu verziju. Standardna verzija omogućuje osnovne radnje digitalne fotogrametrije, a to su fotogrametrijska triangulacija, generiranje gustog oblaka točaka, 3D model te „sastavljanje panorame“ (eng. Panorama stitching, proces obuhvaća kombiniranje više fotografija ili slika kako bi se dobila šira perspektiva i više detalja) odnosno 3D rekonstrukcija za podatke snimljene s istog položaja kamere. Profesionalna verzija podržava još mnoge druge napredne radnje. Neke od njih su uređivanje i klasifikacija gustog oblaka točaka, izrada digitalnog modela terena, generiranje georeferenciranog ortomozaika, stereoskopska snimanja, 4D modeliranje za dinamične scene, multispektralna obrada slika, obrada satelitskih snimaka i ostalo. Ovaj softver se, osim u području geodezije, koristi u graditeljstvu, rudarstvu, poljoprivredi, filmskoj industriji te industriji videoigara.

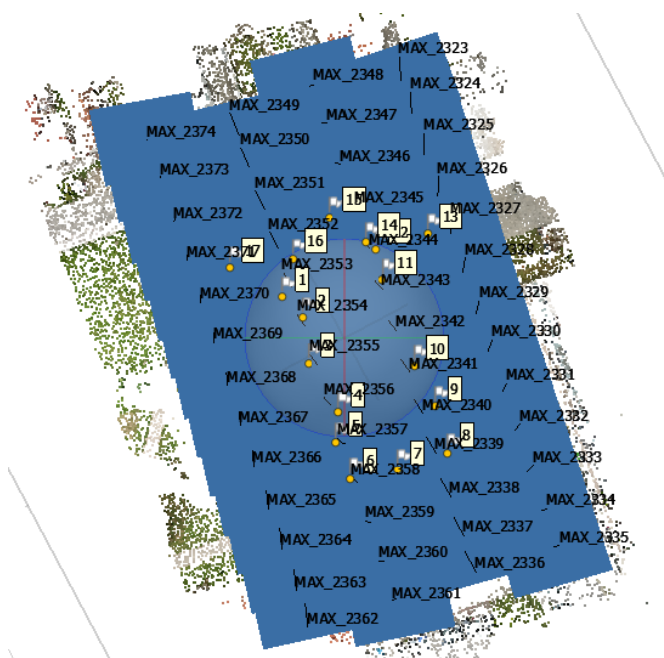
U svrhu izrade ovog rada, koristila se Agisoft Metashape profesionalna verzija, s obzirom na sve radnje koje moraju biti obavljene kako bi konačni proizvod bio georeferencirani 3D model i DOF.

5.3. Postupak izrade 3D modela i DOF-a

Postupak obrade podataka najduži je i najzahtjevniji dio ovoga rada. Općenita obrada podataka je proces koji se sastoji od niza različitih koraka s ciljem dobivanja željenih rezultata. Složenost, odnosno količinu podataka koji zahtijevaju obradu, moguće je predvidjeti s obzirom na zadatak i količinu prikupljenih podataka.

Postupak obrade podataka kreće pokretanjem softvera, u ovom slučaju Metashape-a te kreiranjem novog projekta. Nakon toga u softver se očitavaju snimke, pri čemu se iz jednog direktorija odabiru sve zračne snimke jedne misije. Kako bi softver fotografije mogao smjestiti u prostor, one se moraju poravnati. Za poravnavanje snimki koristimo naredbu „Align Photos“. U slučaju da softver nije uspio poravnati neku od snimki, potrebno je snimku poravnati pomoću veznih točaka. Vezne točke su točke koje su vidljive na dvije snimke s ostvarenim preklopom. Pa tako, da bi se snimka poravnala, potrebno je na prethodnoj poravnanoj snimci pronaći minimalno 4 vezne točke te ih dodati. Zatim, na snimku koja se nije uspjela poravnati, dodajemo prethodno dodane točke, odnosno opažamo ih. Kada su sve karakteristične točke opažane, ponavlja se korištenje naredbe „Align selected camera“.

Nakon što je softver poravnao snimke, učitavaju se koordinate orijentacijskih točaka. Kod učitavanja koordinata, pozornost treba obratiti na aktivan koordinatni sustav. Obzirom da su točke prikupljene za područje Republike Hrvatske, odabiremo HTRS96/TM odnosno referenti koordinatni sustav za područje RH. Zatim slijedi optimizacija podataka. Optimizacijom podataka softver izračunava pogreške, a ona se vrši tako da isključimo sve snimke i pokrenemo optimizaciju. Prikaz učitanih, neobrađenih podataka u softver, vidljiv je na slici 9. Na slici su plavim pravokutnicima prikazani položaji snimki, žutim točkama prikazani su položaji orijentacijskih točaka, a u stražnjem planu se nalaze točke generirane iz snimki prikupljenih bespilotnom letjelicom.



Slika 9. Neobrađeni podaci učitani u softver Metashape

Slijedeći korak je uklanjanje viška, odnosno brisanje podataka koje prikazuju područje izvan područja od interesa. Nakon toga se opažaju orijentacijske točke. Opažanje orijentacijskih točaka predstavlja postupak identifikacije i određivanja položaja točaka na terenu koje služe kao referentne točke za georeferenciranje zračnih snimki ili 3D modela. Točku opažamo tako da odaberemo snimku, zatim točku dovučemo ili dodamo u blizinu oznake, povećamo sliku na zaslonu te precizno odredimo položaj točke. Opažana točka postaje zelena što označava njen smještaj, kao što je prikazano na slici 10. Također, pri opažanju točaka moguće je koristiti naredbu za selektiranje točaka „Filter Photos By Markers“. Obzirom da na jednoj snimci opažamo više točaka, postupak bi bilo najpoželjnije provoditi s lijeva na desno ili odozgo prema dolje kako vidljive točke ne bi bile izostavljene. Postupak je potrebno ponoviti po redu na svakoj snimci

zasebno. Točnost dobivena opažanjem svih orijentacijskih točaka iznosi 0.027946 metara, zaokruženo 2.80 centimetara.



Slika 10. Opažanje orijentacijskih točaka

Zatim, pomoću naredbe „Build Danse Cloud“ izrađujemo gusti oblak točaka. To je skup točaka prikupljenih iz podataka izmjere bespilotnom letjelicom koje se nalaze u trodimenzionalnom prostoru. Oblak točaka nam omogućava stvaranje fotorealističnog prikaza, odnosno u ovom slučaju 3D modela ili DOF-a.

Sljedeći upotreba naredbe „Build Mesh“ pomoću koje softver izgrađuje mrežu, odnosno model. Za kreiranje mreže ili modela, softver koristi prethodno kreirani oblak točaka. Pri kreiranju mreže, moguće je upravljati osnovnim parametrima poput izvora podataka, vrste površine, kvalitete koja se želi postići i slično. Osim osnovnih parametara, softveru se mogu uključiti i neke napredne značajke poput izračunavanja boje vrhova, korištenja ograničene volumenske maske ili ponovne upotrebe karte dubine. Također, moguće je napraviti podjelu u blokove pri čemu se za kreiranje blokova odabire željeni koordinatni sustav, veličina bloka i izvor mreže. Za kreiranje su korišteni sljedeći parametri: dubina karte kao izvor podatka, srednja kvaliteta, interpolacija, izračunavanje boje vrhova i ponovno korištenje karte dubine. Nakon provođenja ovog koraka, dobiveni rezultat je 3D model i DOF koji sadrži geometriju objekata.

Sljedeći korak u procesu je kreiranje teksture, odnosno stvaranje površine. Tekstura se generira putem naredbe „Build Texture“, koja omogućuje odabir same vrste teksture, izvora podataka, načina povezivanja podataka te veličine teksture. Također, ova naredba omogućuje eventualno popunjavanje rupa, do kojih dolazi zbog manjka točaka. Kada broj točaka nije dovoljan da bi se postigla tekstura, softver u tim područjima preuzima teksturu drugih objekata.

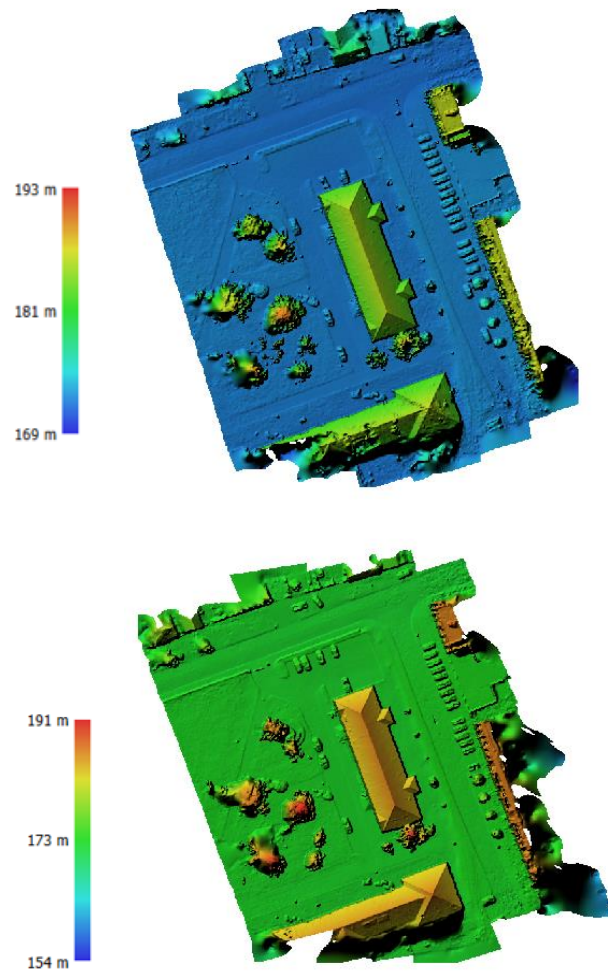
Provođenje ovih koraka rezultira kreiranim 3D modelom, što je u ovom slučaju model zgrade UNIN3 Sveučilišta Sjever. Na slici 11 je prikazano stražnje pročelje zgrade UNIN3.



Slika 11. Prikaz 3D modela zgrade UNIN3 Sveučilišta Sjever

U svrhu kreiranja DOF-a, potrebno je obaviti još nekoliko koraka, odnosno upotrijebiti još neke alate. Pa se tako prvo koristi naredba „Build DEM“ odnosno kreiranje Digitalnog modela reljefa (DMR). Kreirani DMR se sastoji od skupa točaka, odnosno oblaka točaka koji je već prethodno kreiran te smješten u prostor. Osim oblaka točaka, DMR se sastoji i od geometrijskih elemenata poput linija i poligona. Bez skupova točaka i geometrijskih elemenata, ne bi bilo moguće prikazati fizičku površinu Zemlje. DMR je definiran kao: „skup položajno (i visinski) određenih točaka i geometrijskih elemenata (prijelomnica, linija oblika i površina isključenja) potrebnih za prikaz Zemljine površine i svojevrsni je ekvivalent inozemnom pojmu DTM...“ [22].

Osim DMR-a, u ovom koraku je značajna i njegova izvedenica, a to je Digitalni model visina (DMV). Digitalni model visina predstavlja pravilnu mrežu (grid) visinskih točaka, interpoliranih na osnovi odgovarajućeg Digitalnog modela reljefa. Točke u DMV-u su u pravilu raspoređene na svakih 25 m, ali ovisno o točnosti aerofotogrametrijskog snimanja razmak interpoliranih točaka može biti i gušći [23]. Kreirani digitalni model reljefa iz vertikalnih i iz kosih snimki je prikazan na slici 12, zajedno sa skalom visina.



Slika 12. Kreirani DMR iz vertikalnih (gore) i iz kosih snimki (dolje)

Posljednji korak u kreiranju DOF-a je naredba „Build Orthomozaic“ koja kreira ortomozaik. Dobiveni rezultat je gotovi proizvod, odnosno DOF područja od interesa. Na slici 13 prikazani su dobiveni DOF zgrade UNIN3 Sveučilišta Sjever iz vertikalnih snimki i iz kosih snimki.



Slika 13. DOF zgrade UNIN3 Sveučilišta Sjever iz vertikalnih snimki (desno) i kosih snimki (lijevo)

Konačno, dobiveni rezultati su dva 3D modela te dva DOF-a, pri čemu je jedan par ovih proizvoda nastao upotrebom vertikalnih snimki, a drugi upotrebom kosih snimki. Temeljem dobivenih podataka, moguća je daljnja obrada istih, ali i upotreba podataka u druge svrhe.

6. Usporedba točnosti proizvoda

Kao što je već u prethodnom poglavlju spomenuto, podaci prikupljenim terenskom izmjerom te obrađeni u Agisoft Metashape softveru rezultiraju dobivanjem proizvoda. U nastavku se provodi analiza svih dobivenih rezultata. Temeljem dobivenih rezultata, moguća je usporedba istih, ali ujedno i prikaz prednosti i nedostataka te same kvalitete proizvoda.

Usporedba točnosti proizvoda se provela pomoću stvarnih koordinata na terenu i na fasadi zgrade. Na dobivenim rezultatima, očitane su koordinate za pojedine točke. Točnost koordinata 3D modela je prikazana u tablici 1, pri čemu su osim koordinata točaka na 3D modelu, prikazane stvarne koordinate. Koordinate su zaokružene te prikazane u metrima. Na prikazanim koordinatama vidljive su razlike. Očitane koordinate na 3D modelu iz vertikalnih i iz kosih snimki su vrlo slične, no ipak koordinate pojedinih točaka se značajno razlikuju. Kako bi se odredila kvaliteta podataka, izračunata je srednja pogreška. Prema rezultatima srednje pogreške su podaci o visinama (H) na 3D modelu iz kosih snimki značajno kvalitetniji od onih iz vertikalnih snimki. U ovom primjeru, vrijednost srednje pogreške iznosi 0.0955. Srednja pogreška je određena i za očitane koordinate E i N na 3D modelima. Pomoću srednjih pogrešaka za trodimenzionalne koordinate (E,N,H), određena je ukupna srednja pogreška. Ukupna srednja pogreška očitanih koordinata sa 3D modela iz vertikalnih snimki iznosi 0.6644. Za razliku od nje, ukupna srednja pogreška očitanih koordinata sa 3D modela iz kosih snimki iznosi 0.6167. S obzirom na to da je vrijednost srednje pogreške očitanih koordinata sa 3D modela iz kosih snimki manja, podatci su točniji od podataka dobivenih iz vertikalnih snimki.

Tablica 1. Usporedba koordinata na 3D modelu iz vertikalnih i iz kosih snimki

Br.	Stvarne koordinate			Očitane koordinate					
				3D model iz vertikalnih snimki			3D model iz kosih snimki		
	E	N	H	E	N	H	E	N	H
1	5129068.046	486704.184	175.880	5129068.197	486704.195	175.725	5129068.111	486704.204	175.835
2	5129068.037	486704.189	179.923	5129068.300	486704.476	179.662	5129068.122	486704.257	179.614
3	5129049.401	486711.101	173.621	5129049.443	486711.107	174.539	5129049.503	486711.103	173.523
4	5129022.460	486715.489	172.836	5129028.258	486718.825	172.866	5129028.196	486718.787	172.783
5	5129024.935	486716.900	175.906	5129029.188	486721.413	175.841	5129029.159	486721.406	175.849
6	5129024.921	486716.930	177.663	5129029.173	486721.513	177.847	5129029.262	486721.397	177.790
7	5129032.630	486730.915	172.736	5129032.622	486730.940	172.714	5129032.592	486730.839	172.793
8	5129034.109	486730.306	175.790	5129033.828	486730.317	175.264	5129033.934	486730.318	175.626
9	5129034.149	486730.266	179.828	5129033.897	486730.062	179.432	5129033.870	486730.215	179.533
10	5129053.943	486723.032	179.825	5129051.264	486723.656	179.593	5129051.318	486723.811	179.523
11	5129074.045	486715.713	172.720	5129074.046	486715.642	172.611	5129073.962	486715.724	172.742
12	5129073.070	486713.141	175.807	5129072.840	486713.602	175.493	5129072.972	486713.240	175.688
13	5129073.013	486713.136	179.806	5129072.934	486713.595	178.296	5129072.966	486713.212	179.768
14	5129070.962	486707.469	175.840	5129070.296	486707.445	175.028	5129070.979	486707.596	175.777
	Srednja pogreška			0.7546	1.0050	0.2336	0.8018	0.9527	0.0955
	Ukupna srednja pogreška			0.6644			0.6167		

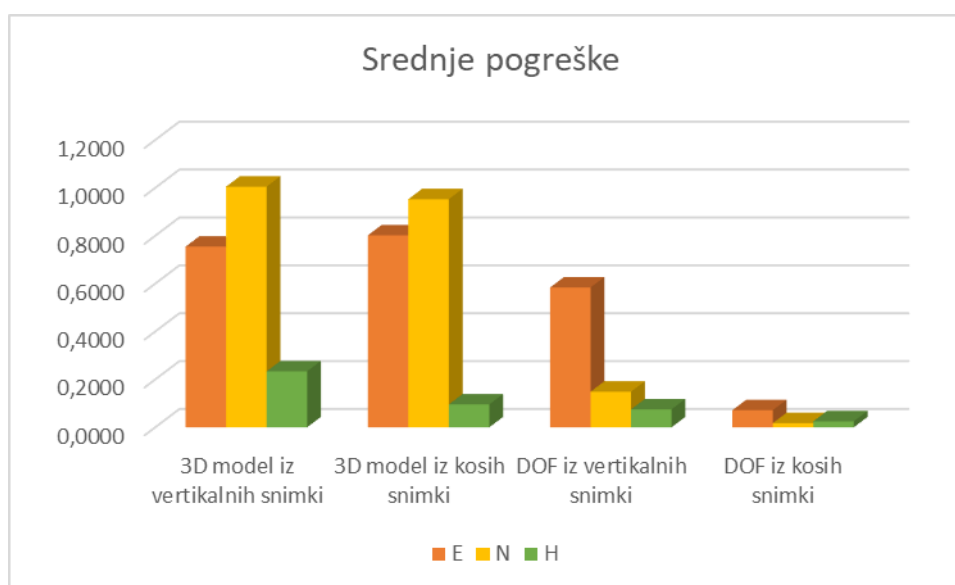
Za usporedbu točnosti stvarnih i očitanih koordinata DOF-a su korištene koordinate orijentacijskih točaka. Primjenom istog postupka kao i u prethodnoj usporedbi, dobiveni su

sljedeći rezultati, prikazani u tablici 2. Očitane koordinate su približne stvarnim koordinatama, odnosno govorimo o centimetarskoj točnosti. Srednja pogreška je manja za očitane koordinate na DOF-u iz kosih snimki, zbog čega je i ukupna srednja pogreška manja, a njena vrijednost u ovo slučaju iznosi 0.0250. Za razliku od nje, ukupna srednja pogreška očitanih koordinata na DOF-u iz vertikalnih snimki iznosi 0.2692 zbog čega se podatci smatraju manje točnim.

Tablica 2. Usporedba koordinata na DOF-u iz vertikalnih i iz kosih snimki

Br.	Stvarne koordinate			Očitane koordinate					
				DOF iz vertikalnih snimki			DOF iz kosih snimki		
	E	N	H	E	N	H	E	N	H
1	5129064.266	486696.460	172.061	5129064.312	486696.393	172.048	5129064.314	486696.463	172.051
2	5129047.496	486703.022	172.100	5129047.492	486703.020	172.087	5129047.506	486703.050	172.090
3	5129018.526	486713.341	172.078	5129018.691	486713.439	172.094	5129018.513	486713.366	172.106
4	5129020.732	486725.082	172.140	5129020.720	486725.087	172.121	5129020.712	486725.101	172.131
5	5129036.630	486734.542	172.017	5129036.619	486734.517	171.991	5129036.604	486734.489	171.966
6	5129076.193	486719.754	172.104	5129076.319	486719.718	172.111	5129076.191	486719.747	172.140
7	5129084.286	486708.216	172.025	5129084.410	486708.142	171.991	5129084.323	486708.194	172.013
8	5129071.692	486683.201	172.024	5129071.725	486683.183	172.046	5129071.715	486683.222	172.054
Srednja pogreška				0.5838	0.1488	0.0750	0.0713	0.0175	0.0250
Ukupna srednja pogreška				0.2692			0.0379		

S obzirom na izračunate srednje pogreške za očitane koordinate, te njihovu usporedbu prikazanu u grafikonu 1, uočljivo je da su podatci o visinama najtočniji. Srednja pogreška H na svim dobivenim rezultatima, odnosno proizvodima je najmanjeg iznosa, što znači da su ti podatci najtočniji. Usporedbom dobivenih vrijednosti temeljem usporedbe koordinata na 3D modelu i na DOF-u, uočljivo je da koordinate na DOF-u imaju manju ukupnu srednju pogrešku. To znači da su podatci na DOF-u točniji, odnosno dobiveni DOF iz vertikalnih i iz kosih snimki je točniji proizvod od 3D modela. Koordinate očitane na DOF-u iz vertikalnih te ne DOF-u iz kosih snimki su točnosti unutar metra.



Grafikon 1. Usporedba srednjih pogrešaka očitanih koordinata

6.1. Vizualna usporedba

Na dobivenim rezultatima, proveda se vizualna usporedba koja opisuje prikaze proizvoda navodeći sve ono što je vidljivo ljudskom oku pri promatranju proizvoda. S obzirom na to, navedeno je nekoliko prednosti i nedostataka.

3D model kreiran pomoću vertikalnih snimki nije proizvod dovoljno dobre kvalitete. S obzirom na to da je kamera bespilotne letjelice pod kutom od 90°, na snimkama nije moguće obuhvatiti dovoljno podataka o fasadama zgrade, zbog čega dolazi do nepovezanosti između fasadi i krova objekta. Ovakav 3D model daje prikaz zgrade, ali dobivena kvaliteta nije dovoljna za daljnju upotrebu.

3D model kreiran pomoću kosih snimki nastalih bespilotnom letjelicom je dobra podloga za daljnji rad, odnosno nadogradnju 3D modela. Na dobivenom 3D modelu je postignut smještaj samog 3D modela u prostor, geometrija i oblik cjelokupne zgrade te povezanost zgrade sa tlom, odnosno terenom. Ipak korištene kose snimke nisu dovoljno dobri podaci za postizanje teksture. Stoga se na nastalom 3D modelu gubi tekstura što je najuočljivije na fasadama zgrade. Obzirom na izostanak teksture, otvori su izobličeni, a detalji na fasadama deformirani. Zbog nastalih deformacija i izobličenja, pročelja zgrade nisu jasna niti pregledna. Zbog toga, loša kvaliteta dobivene fasade značajno smanjuje vrijednost 3D modela.

DOF kreiran pomoću vertikalnih snimki jasan je zračni prikaz zgrade UNIN3 Sveučilišta Sjever, ali i područja u njenoj blizini. Povezivanjem snimki nisu nastale deformacije prikaza, ali ni deformacije, odnosno izobličenja zgrade. Prikaz je jasan, pregledan i detaljan. Detalje na zgradi, no i u njenoj neposrednoj blizini korisnik može brzo učiti i razlikovati.

Za razliku od DOF-a kreiranog pomoću vertikalnih snimki, DOF kreiran pomoću kosih snimki je ipak lošije kvalitete. Obzirom na nagib kamere bespilotne letjelice koji je neizbježan za postizanje kosih snimki, pojedini detalji nisu precizno definirani, odnosno njihov prikaz nije dovoljno jasan. No unatoč tome, cjelokupni dobiveni rezultat, odnosno DOF iz kosih snimki, vrlo je sličan i približno jednake kvalitete kao DOF iz vertikalnih snimki.

6.2. Dodatni proizvod

Kao dodatni proizvod, kreiran je digitalni orotofoto kombinacijom vertikalnih i kosih snimki. Ovaj proizvod je kreiran u svrhu usporedbe točnosti proizvoda obzirom na korištenje više podataka. S obzirom na to da su se koristile različite zračne snimke, očekuje se bolja kvaliteta dobivenog rezultata.

Integracijom vertikalnih i kosih snimki, kreiran je DOF prikazan na slici 14. Ako se dobivenih proizvod vizualno usporedi s prethodno dobivenim rezultatima, gotovo je nemoguće uočiti

konkretne razlike. Kvaliteta dobivenog rezultata nije značajno bolja od kvalitete prethodno kreiranih proizvoda.



Slika 14. DOF iz kombinacije vertikalnih i kosih snimki

Ako se za usporedbu proizvoda primijeni usporedba koordinata, kreiranjem dodatnog proizvoda nije postignuta veća točnost. Očitane koordinate na ovom proizvodu su u potpunosti jednake očitanim koordinatama na DOF-u iz kosih snimki. U konačnici, integracijom vertikalnih i kosih snimki u svrhu kreiranja DOF-a neće se postići veća točnost, ali ni bolja kvaliteta proizvoda.

7. Zaključak

Temeljem izrade ovog rada, odnosno kreiranjem 3D modela i DOF-a na konkretnom primjeru, doneseni su sljedeći zaključci. Vertikalne i kose zračne snimke moguće je koristiti za razne primjene. Za prikupljanje zračnih snimki, najbolji odabir je korištenje bespilotne letjelice. Tehnologija bespilotnih letjelica svakodnevno se razvija, što dovodi do njihove sve češće upotrebe. Već sada postoji mnogo različitih vrsta i modela bespilotnih letjelica, a one omogućuju brzo i jednostavno obavljanje leta. Korištenjem bespilotnih letjelica značajno se smanjuje vrijeme potrebno za provođenje izmjere iz zraka, pri čemu nije potrebna posada, kao u klasičnoj aerofotogrametriji. Stoga je primjena bespilotnih letjelica značajno jeftinija i brža od klasičnih metoda aerofotogrametrije.

Dobivene vertikalne i kose snimke približno su slične kvalitete, primjena im je široka te se mogu koristiti za kreiranje različitih proizvoda. Ovisno o potrebi, odnosno namjeni snimki, odabiru se vertikalne ili kose zračne snimke. U slučajevima kada se na snimkama želi zadržati mjerilo i geometrija snimke, preporuča se korištenje vertikalnih snimki. Kada su potrebne snimke s više podataka, tada se odabiru kose snimke.

Prikupljene vertikalne i kose zračne snimke se moraju obraditi, nakon čega njihov rezultat može biti 3D model ili DOF. Za obradu ovakvih podataka, ali i kreiranje ovih proizvoda preporuča se korištenje Agisoft Metashape softvera. Ovaj softver je u potpunosti prilagođen korisniku te jednostavan za rad, pri čemu sadrži mnogo različitih alata i mogućnosti.

Obradom prikupljenih podataka kreirani su 3D model i DOF iz vertikalnih i kosih snimaka, na temelju čega je provedena usporedba. Nakon provođenja usporedbe, možemo zaključiti da je DOF značajno točniji proizvod od ovako kreiranog 3D modela, što je dokazano usporedbom koordinata. Očitane koordinate na DOF-u su bliže stvarnim koordinatama, za razliku od očitanih koordinata na 3D modelu. Razlika između očitanih i stvarnih koordinata na 3D modelu je uočljiva bez detaljnije analize rezultata. Točnost očitanih koordinata na DOF-u je nekoliko centimetara, što je očekivana kvaliteta proizvoda obzirom na korištene metode.

U konačnici, provedena je vizualna usporedba na temelju koje se može zaključiti da je dobiveni DOF vizualno ljepši proizvod. Dobiveni DOF iz vertikalnih, ali i iz kosih snimki, je jasniji, čišći i detaljniji prikaz od 3D modela. Također, DOF iz vertikalnih snimki je izoštriji prikaz, sa pravilnijim linijama i jasnijim detaljima od DOF-a iz kosih snimki.

Također, na temelju prikupljenih i obrađenih podataka zaključeno je da se ovi podatci mogu koristiti u različitim drugim granama te u razne svrhe. Pa je tako za dobiveni 3D model moguća daljnja obrada i uporaba u druge svrhe. Primjer tome je korištenje 3D modela u rekonstrukciji, pri čemu je potrebno postojeći 3D model nadograditi u svrhu poboljšanja kvalitete. Da bi se postigla

veća kvaliteta 3D modela, potrebno je koristiti detaljnije podatke što uključuje smanjenje visine leta, korištenje orijentacijskih točaka na fasadi objekta, određivanje koordinata na fasadi totalnom stanicom. Također, za kreiranje 3D modela preporučuje kombiniranje kosih snimki sa snimkama nastalih terestričkim snimanjem korištenjem mjernih ili amaterskih kamera. Snimke nastale kamerom sa snimališta manje udaljenog od objekta modelu daju teksturu što dovodi do jasnije, odnosno čiste fasade bez deformacija.

8. Literatura

- [1] <https://www.enciklopedija.hr/clanak/fotogrametrija>, Pristupljeno 3.6.2024.
- [2] <https://www.enciklopedija.hr/clanak/stereopar>, Pristupljeno 22.6.2024.
- [3] <https://www.enciklopedija.hr/clanak/stereofotogrametrija>, Pristupljeno 22.6.2024.
- [4] <https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/sluzbene-drzavne-karte-i-ostale-karte/digitalnaortofotokarta/174>, Pristupljeno 17.6.2024.
- [5] Krulčić L.: Modeliranje virtualnih objekata i oblikovanje scene u Blenderu, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2023.,
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/infri%3A1076/datastream/PDF/view>, Pristupljeno 24.6.2024.
- [6] Bernik A.: Vrste i tehnike 3D modeliranja, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, 2010.
<https://hrcak.srce.hr/file/127863>, Pristupljeno 12.6.2024.
- [7] Matić M.: Integracija autonomnih bespilotnih letjelica u inteligentnu prometnu infrastrukturu, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2023.,
<https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:195246>, Pristupljeno 3.6.2024.
- [8] https://www.researchgate.net/figure/Classification-of-UAV-based-on-wings-and-rotors_fig2_344592031, Pristupljeno 29.6.2024.
- [9] Kolarek M.: Bespilotne letjelice za potrebe fotogrametrije, Stručni rad, GOMODELING d.o.o., Zagreb, 2010., <https://hrcak.srce.hr/50673>, Pristupljeno 3.6.2024.
- [10] Ferenda M.: Zakonska regulativa dronova, Završni rad, FOI, Varaždin, 2022.
<https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:211:304173>, Pristupljeno 12.6.2024.
- [11] <https://globalgpssystem.com/gnss/rtk-gps-understanding-real-time-kinematic-gps-technology/>, Pristupljeno 17.6.2024.
- [12] <https://www.gim-international.com/content/article/enhancing-reality-mapping-with-different-perspectives>, Pristupljeno 18.6.2024.
- [13] <https://www.environmentalscience.org/principles-applications-aerial-photography>, Pristupljeno 18.6.2024.
- [14] <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/657>, Pristupljeno 18.6.2024.
- [15] Gajski D., Dziegielewska-Gajski K.: Primjena kosih aerosnimki u kriznim situacijama, Poreč, 2023., https://www.hkoig.hr/media/attachments/2023/10/18/zbornik_small.pdf, Pristupljeno 18.6.2024.
- [16] <https://aceroestudio.com/en/oblique-imagery-revolutionizes-aerial-photography/>, Pristupljeno 18.6.2024.

- [17] <https://shop.autelrobotics.com/collections/autel-evo-ii-series/products/evo-ii-pro-6k-rtk-rugged-bundle-v3>, Pristupljeno 5.6.2024.
- [18] https://www.geoskola.hr/~gsurina/GNSS_%202018.pdf, Pristupljeno 8.6.2024.
- [19] <https://geomatika-smolcak.hr/proizvod/trimble-r12i-hd-gnss-rover-410-470-radio-modem/>, Pristupljeno 8.6.2024.
- [20] <https://geomatika-smolcak.hr/proizvod/trimble-tsc7-geodetski-kontroler/>, Pristupljeno 8.6.2024.
- [21] <https://www.agisoft.com/>, Pristupljeno 10.6.2024.
- [22] Krtalić, A. i dr.: Digitalni trodimenzionalni prikazi scene i satelitska stereofotogrametrija, Geod. list 2019, 2, 147–164, <https://hrcak.srce.hr/file/325320>, Pristupljeno 24.6.2024.
- [23] <https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/podaci-topografske-izmjerne-digitalni-model-reljefa/180>, Pristupljeno 17.6.2024.

9. Popis slika

Slika 1. Vrste bespilotnih letjelica obzirom na krila i rotore.....	5
Slika 2. Geometrija vertikalne snimke	9
Slika 3. Varijable koje utječu na mjerio vertikalne snimke.....	9
Slika 4. Geometrija kose snimke	11
Slika 5. Bespilotna letjelica EVO II	14
Slika 6. GNSS prijemnik R12i i kontroler TSC7	16
Slika 7. Skica orijentacijskih točaka.....	17
Slika 8. Primjer orijentacijskih točaka.....	17
Slika 9. Neobrađeni podaci učitani u softver Metashape	20
Slika 10. Opažanje orijentacijskih točaka.....	21
Slika 11. Prikaz 3D modela zgrade UNIN3 Sveučilišta Sjever.....	22
Slika 12. Kreirani DMR iz vertikalnih (gore) i iz kosih snimki (dolje)	23
Slika 13. DOF zgrade UNIN3 Sveučilišta Sjever iz vertikalnih snimki (desno) i kosih snimki (lijevo)	24
Slika 14. DOF iz kombinacije vertikalnih i kosih snimki	28

10. Popis tablica

Tablica 1. Usporedba koordinata na 3D modelu iz vertikalnih i iz kosih snimki	25
Tablica 2. Usporedba koordinata na DOF-u iz vertikalnih i iz kosih snimki.....	26

11. Popis grafikona

Grafikon 1. Usporedba srednjih pogrešaka očitanih koordinata26