

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Marija Perić

**ISPITIVANJE ESRI SITE SCAN I DRONE
COLLECTION SOFTVERA ZA LINIJSKA I
POVRŠINSKA SNIMANJA FLOTOM DRONOVA**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

Marija Perić ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 2022.



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Marija Perić

**ISPITIVANJE ESRI SITE SCAN I DRONE
COLLECTION SOFTVERA ZA LINIJSKA I
POVRŠINSKA SNIMANJA FLOTOM DRONOVA**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEODETSKI FAKULTET



Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. 1_349_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

IZJAVLJUJEM

Ja, Marija Perić, (JMBAG: 0007179539), rođena dana 24.02.1998. u Zadru, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

I. AUTOR	
Ime i prezime:	Marija Perić
Datum i mjesto rođenja:	24. veljače 1998., Zadar, Republika Hrvatska
II. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	Ispitivanje ESRI Site Scan i Drone Collection softvera za linijska i površinska snimanja flotom dronova
Broj stranica:	110
Broj tablica:	16
Broj slika:	58
Broj bibliografskih podataka:	27 + 23 URL-a
Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Mentor:	prof. dr. sc. Željko Bačić
Komentor:	
Voditelj:	Zvonimir Nevistić, mag. ing. geod. et geoinf.
III. OCJENA I OBRANA	
Datum zadavanja teme:	18.01.2021.
Datum obrane rada:	11.02.2022.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	prof. dr. sc. Željko Bačić
	prof. dr. sc. Andrija Krtalić
	doc. dr. sc. Danijel Šugar

Zahvala

Zahvaljujem mentoru, prof. dr. sc. Željko Bačiću na ukazanom povjerenju i stručnom vodstvu tijekom izrade diplomskog rada. Također zahvaljujem asistentu mag. ing. geod. et geoinf. Zvonimiru Nevistiću na stručnim savjetima, pomoći, strpljenju i susretljivosti tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem tvrtki GDI iz Zagreba na ustupljenim softverima i upravi silosa Resnik za dozvoljeno snimanje.

Posebno hvala mojim prijateljima koji su mi razdoblje studiranja učinili puno lakšim i nezaboravnim.

I na kraju najveće hvala mojoj obitelji i roditeljima Igoru i Neni što me cijeli život podržavaju i usmjeravaju.

Ispitivanje ESRI Site Scan i Drone Collection softvera za linijska i površinska snimanja flotom dronova

Sažetak:

Bespilotne letjelice ili dronovi u današnje se vrijeme koriste u različitim djelatnostima što je rezultat napretka tehnologije, posebice u domeni minijaturizacije senzora. Dronovi su se prvotno koristili u vojne svrhe, a danas se zbog njihove mogućnosti brzog i efikasnog prikupljanja velike količine podataka na razmjerno velikom području obuhvata, sve više koriste u geodetskoj i geoinformatičkoj djelatnosti. U geodeziji se dronovi standardno primjenjuju za izradu ortofoto prikaza, digitalnih modela terena, 3D modela, oblaka točaka, no koriste se i za druge svrhe poput nadzora prostora u gradovima, upravljanja i nadziranja katastrofa i nesreća, urbanog planiranja te inspekcijskog snimanja objekata. Ovisno o vrsti objekta koji je potrebno snimiti, moguće je primijeniti različite metode snimanja i leta. Prilikom obrade podataka za dobivanje finalnih produkata danas su na raspolaganju brojna komercijalna programska rješenja, ali i ona otvorenog koda. Cilj ovog diplomskog rada je ispitivanje mogućnosti snimanja linijskih i površinskih objekata komercijalnim dronom DJI Phantom 4 Pro v2.0 i obrada dobivenih snimki u 3 različita fotogrametrijska softvera: Agisoft Metashape Pro, Drone2Map i Site Scan. Za testni poligon izabrano je područje silosa Resnik u Zagrebu na kojem se nalazi šuma i željeznička pruga, koje su idealne za površinska i linijska ispitivanja. Na temelju dobivenih 2D i 3D prikaza, dana je usporedba korištenih softvera sa svim prednostima i nedostacima prilikom snimanja i obrade snimki površinskih i linijskih objekata. Provedena je diskusija o korištenim softverima i dobivenim prikazima te donesen zaključak o optimalnom softveru.

Ključne riječi: Agisoft Metashape Pro, Drone2Map, Dronovi, ESRI, Site Scan

Examination of ESRI Site Scan and Drone Collection software for linear and surface surveys by the fleet of drones

Abstract:

Unmanned aerial vehicles or drones are nowadays used in various activities as a result of advances in technology, especially in the field of sensor miniaturization. Drones were originally used for military purposes, and today, due to their ability of quick and efficient large amounts of data collecting of their relatively large coverage area, they are increasingly used in geodesy and geoinformatics. In geodesy, drones are standardly used for creating orthophotos, digital terrain models, 3D models, point clouds, but they are also used for the other purposes such as urban space monitoring, disaster management and control, urban planning and inspections of various facilities. Depending on the type of object that needs to be captured, it is possible to choose different shooting and flying methods. Today, many commercial and open-source software solutions are available for data processing toward the final products creation. The objective of this master's thesis is to determine the possibility of the linear and surface objects surveys with commercial drone DJI Phantom 4 Pro V2.0 and then process the obtained images in 3 different photogrammetric softwares: Agisoft Metashape Pro, Drone2Map and Site Scan. The Resnik silo area, located in Zagreb, was chosen as a test site because there are forest and railway, which represent ideal objects for surface and line survey. Based on the obtained 2D and 3D products, a comparison of used softwares is given with all the advantages and disadvantages of capturing and processing images of surface and line objects. A discussion was held on the used softwares and obtained products and conclusion was delivered on the optimal software.

Keywords: Agisoft Metashape Pro, Drone2Map, Drones, ESRI, Site Scan

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	1
POPIS KRATICA	4
1. UVOD.....	6
2. RAZVOJ I OSNOVNE KARAKTERISTIKE DRONOVA	7
2.1 POVIJEST DRONOVA.....	7
2.2 PODJELA DRONOVA	8
2.2.1 Dronovi prema namjeni	8
2.2.2 Dronovi prema autonomnosti	9
2.2.3 Dronovi prema aerodinamici	9
2.2.4 Dronovi prema izvoru energije.....	10
2.2.5 Dronovi prema masi	11
2.3 KOMPONENTE DRONOVA	11
2.3.1 Tijelo drona.....	11
2.3.2 Zemaljski kontroler i komunikacijski modul.....	12
3. PREGLED EU I NACIONALNIH PROPISA ZA SNIMANJE DRONOM	13
3.1 PROVEDBENA I DELEGIRANA UREDBA	13
3.2 UREDBA O SNIMANJU IZ ZRAKA.....	15
4. MOGUĆNOSTI PRIMJENE DRONOVA ZA SNIMANJE LINIJSKIH I POVRŠINSKIH OBJEKATA	17
4.1 PRIMJENA DRONOVA ZA SNIMANJE LINIJSKIH OBJEKATA	17
4.1.1 Primjena dronova za praćenje stanja ograde na farmi.....	17
4.1.2 Primjena dronova za nadzor željezničke infrastrukture	17
4.2 PRIMJENA DRONOVA ZA SNIMANJE POVRŠINSKIH OBJEKATA.....	18
4.2.1 Primjena dronova u šumarstvu	18
4.2.2 Primjena dronova u poljoprivredi.....	19
5. ESRI SOFTVERSKA RJEŠENJA ZA OBRADU PODATAKA PRIKUPLJENIH DRONOM.....	21
5.1 ESRI SITE SCAN.....	21
5.1.1 Site Scan for ArcGIS Flight Planning aplikacija.....	21
5.1.2 Site Scan Manager	24
5.2 DRONE2MAP	26
5.3 FLOTA DRONOVA.....	28

6. SNIMANJE DRONOM ZA POTREBE IZRADE LINIJSKIH I POVRŠINSKIH MODELA	30
6.1 ZADATAK	30
6.2 KORIŠTEN INSTRUMENTARIJ I SOFTVERI	31
6.3 RADNJE PRIJE SNIMANJA	33
6.3.1 Planiranje leta	33
6.4 TERENSKI DIO	37
6.4.1 Postavljanje kontrolnih točaka.....	37
6.4.2 Snimanje površinskog objekta (šuma).....	39
6.4.3 Snimanje linijskog objekta (pruga).....	41
6.5 TIJEK I PRODUKTI OBRADJE PODATAKA	41
6.5.1 Site Scan	41
6.5.2 Drone2Map	44
6.5.3 Agisoft Metashape Pro	46
7. REZULTATI OBRADJE	49
7.1 REZULTATI OBRADJE SITE SCAN	49
7.1.1 Obrada pruge u Site Scan-u	49
7.1.2 Obrada šume u Site Scan-u.....	52
7.2 REZULTATI OBRADJE DRONE2MAP.....	55
7.2.1 Obrada pruge u Drone2Map-u.....	55
7.2.2 Obrada šume u Drone2Map-u	57
7.3 REZULTATI OBRADJE U AGISOFT METASHAPE PRO.....	60
7.3.1 Obrada pruge u Agisoft-u	60
7.3.2 Obrada šume u Agisoft-u.....	62
8. ANALIZA I INTERPRETACIJAREZULTATA.....	64
8.1 ANALIZA PODATAKA OBRADJE SITE SCANOM.....	66
8.2 ANALIZA PODATAKA OBRADJE DRONE2MAP	68
8.3 ANALIZE PODATAKA OBRADJE AGISOFT METASHAPE PRO	70
8.4 USPOREDBA REZULTATA	71
8.5 ANALIZA SOFTVERA	72
9. SINTEZA ISTRAŽIVANJA	74
10.ZAKLJUČAK.....	75
LITERATURA.....	76
POPIS SLIKA	79
POPIS TABLICA.....	81

PRILOZI.....	82
ŽIVOTOPIS	108

POPIS KRATICA

AMC	Jedinica za upravljanje zračnim prostorom (od engl. naziva airspace management cell)
CCAA	Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (od engl. naziva Croatian Agency for Civil Aviation)
CE	Europska oznaka za usklađenost (od fran. naziva Conformité Européenne)
CPU	centralna procesorska jedinica (od engl. naziva central processing unit)
CROPOS	državna mreža referentnih stanica Republike Hrvatske
DEM	digitalni visinski model (od engl. naziva digital elevation model)
DSM	digitalni model površine (od engl. naziva digital surface model)
DTM	digitalni model terena (od engl. naziva digital terrain model)
EASA	Agencija Europske Unije za sigurnost zračnog prometa
EGM 96	gravitacijski model zemlje (od engl. naziva earth gravitational models)
EK	Europska komisija
ESRI	Environmental Systems Research Institute
EU	Europska unija
EXIF	format razmjenjivih slikovnih datoteka (od engl. naziva exchangeable image file format)
GCP	zemaljska kontrolna točka (od engl. naziva ground control point)
GIS	geografski informacijski sustav (od engl. naziva geographic information system)
GNSS	globalni navigacijski satelitski sustav (od engl. naziva global navigation satellite system)
GPS	globalni sustav pozicioniranja (od engl. naziva global positioning system)
GPU	grafička procesorska jedinica (od engl. naziva graphics processing unit)
GSD	prostorna veličina slikovnog elementa na terenu (od engl. naziva ground sample distance)
HKZP	Hrvatska kontrola zračne plovidbe
HDOP	utjecaj geometrijske konfiguracije na prirast pogreške horizontalnih komponenti kod pozicioniranja (od engl. naziva horizontal dilution of precision)
HTRS96/TM	službeni projekcijski koordinatni referentni sustav poprečne Mercatorove projekcije

IMU	inercijalna mjerna jedinica (od engl. naziva inertial measurement unit)
LIDAR	laserski sustav snimanja (od engl. naziva light detection and ranging)
LOD	razina detalja (od engl. naziva level of detail)
MEMS	mikro elektro-mehanički sustavi (od engl. naziva micro-electromechanical system)
NDVI	normalizirani vegetacijski indeks (od engl. naziva normalized difference vegetation index)
NIR	blisko infracrveni spektar (od engl. naziva near infrared reflectance)
RAM	memorija s nasumičnim pristupom (od engl. naziva random-access memory)
RGB	vidljivi spektar boja (od engl. naziva red green blue)
RMS	srednja pogreška georeferenciranja (od engl. naziva root mean square)
UAS	sustav bespilotnog zrakoplova (od engl. naziva unmanned aircraft systems)
UAV	bespilotna letjelica, dron (od engl. naziva unmanned aerial vehicle)
VLOS	operacija dronom pri kojoj dron leti unutar vidnog polja udaljenog pilota (od engl. naziva visual line of sight)
VPPS	visokoprecizni servis pozicioniranja u realnom vremenu
VR	virtualna realnost (od engl. naziva virtual reality)
WLAN	bežična lokalna mreža (od engl. naziva wireless LAN)

1. UVOD

Paralelno s napretkom i stvaranjem novih tehnologija razvile su metode mjerenja koje omogućuju brzo i jednostavno prikupljanje prostornih podataka u odnosu na klasične geodetske metode. Jedna od tih tehnologija su i bespilotne letjelice ili dronovi (UAV) koji nemaju direktni kontakt s mjerenim točkama na terenu te se koriste za prikupljanje velike količine podataka na terenu. Dronovi su primarno bili korišteni od strane vojske, a danas se koriste u različitim djelatnostima. Razlog njihove upotrebe je ekonomičnost i brzina snimanja u kratkom vremenskom roku te široki spektar proizvoda koje je moguće dobiti obradom prikupljenih snimki.

Razvojem dronova započeo je i razvoj softvera za planiranje leta i obradu snimki te isti imaju bitnu ulogu u poslovnom procesu. Danas su na tržištu dostupni različiti komercijalni softveri koji se razlikuju po algoritmima obrade, mogućnostima i dodatnim alatima, ali i oni otvorenog koda koji zahtijevaju bolje poznavanje principa aerofotogrametrije i načina rada. Primarna svrha fotogrametrijskih softvera za obradu snimki je izdvajanje informacija iz 2D snimki i kreiranje visoko-točnih 2D i 3D prostornih prikaza.

U zimskom semestru ak. godine 2020./2021., na izbornom kolegiju Satelitsko pozicioniranje, studenti 2 godine diplomskog studija geoinformatike na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, započeli su projekt ispitivanja mogućnosti korištenja komercijalnih dronova u različite svrhe. Na tom projektu stečena su temeljna znanja o dronovima koja su kroz izradu ovog diplomskog rada nadograđena. Prvi dio projekta bio je upoznavanje s načinom rada drona i zakonskom regulativom, planiranje snimanja te sam odlazak na teren i prikupljanje podataka za obradu. Drugi dio projekta bilo je upoznavanje sa softverima za obradu snimki i prezentacija rezultata. Tijekom projekta studenti su se susreli s tehničkim problemima pri korištenju drona i obradi snimki što je tijekom izrade ovog rada uzeto u obzir.

Zadatak ovog diplomskog rada je usporedba softvera na temelju dobivenih 2D i 3D prikaza linijskih i površinskih objekata kreiranih iz snimaka prikupljenih dronom. Kako bi se što kvalitetnije snimili takvi objekti, prvo je bilo potrebno istražiti mogućnosti snimanja. Prije samog snimanja ključno je isplanirati rutu letenja i pripaziti na određene tehničke parametre kako bi se dobile što kvalitetnije snimke. U Republici Hrvatskoj od 1.1.2021. vrijedi nova regulativa Europske unije (EU) koja definira letenje dronom te je ista u svrhu pisanja rada objašnjena. Nakon snimanja provedene su obrade u 3 različita softvera. Na temelju dobivenih prikaza ispitane su mogućnosti svakog softvera, provedena je usporedba pojedinih softverskih rješenja te je donesen zaključak o prednostima i nedostacima navedenih softvera za potrebe snimanja linijskih i površinskih objekata.

2. RAZVOJ I OSNOVNE KARAKTERISTIKE DRONOVA

Bespilotna letjelica, odnosno dron, vrsta je letjelice koja svojim izgledom i funkcijama nalikuje na klasičnu letjelicu poput aviona i helikoptera, ali razlikuje se po tome što u svojoj konstrukciji nema predviđeno pilotsko mjesto. Dronovima se upravlja daljinski ili autonomno pa ih se često naziva i besposadnim letjelicama. Dron je dio sustava bespilotnog zrakoplova (UAS) kojeg čine letjelica i njena oprema te dodaci za upravljanje i kontrolu letjelicom. Naziv *dron*, sve više je zastupljen u javnosti, a potječe od engleske riječi *drone*, koja označava truta jer zvuk koji odašilju pri letenju asocira na trutov (URL 1).

2.1 POVIJEST DRONOVA

Čovjek je od svog postojanja bio zadivljen visinama i nastojao poletjeti čemu svjedoče mnogi povijesni spisi i nacrti brojnih izumitelja. Najraniji zapis o upotrebi dronova datira iz 1849. godine kada su ih Austrijanci koristili za nosače zračnih balona u napadu na Veneciju (URL 2).

Nešto intenzivniji razvoj započinje nakon 1903. godine kada su braća Wirgth poletjeli prvim zrakoplovom. Tijekom Prvog svjetskog rata zbog gubitaka velikog broja zrakoplova i pilota u zračnim borbama, upotreba i razvoj letećih bombi postao je sve bitniji. Amerikanac Elmer Sperry kreirao je zrakoplov kojim je upravljao autopilot, a 1917. godine pušten je u let *curtis N9* koji je imao Sperry-jev sustav autopilota. *Curtis N9* imao je pilota u kokpitu koji je bio odgovoran za polijetanje i slijetanje, a ostale aktivnosti provodio je autopilot. U studenom 1917. godine predstavljena je leteća bomba *kettering bug* koju je naručila američka vojska, a konstruirao ju je Charles Kettering. Trup letjelice dizajnirao je Orville Wright, a sustav autopilota prethodno spomenuti Sperry. Letjelica je uspješno poletjela i pogodila metu te eksplodirala, no nije sudjelovala u ratu pošto ju je Američka vojska odobrila tek nakon završetka rata. Velika Britanija je također ulagala u razvoj te je 1935. godine razvila poznatu letjelicu *queen bee* koja je bila prva letjelica sa sustavom povratka nakon završetka misije, osim u slučajevima ako je bivala oborena. Također, tada se počinje upotrebljavati naziv dron za bespilotne letjelice (Palik i Nagy, 2019).

Do Drugog svjetskog rata dronovi su napredovali te je u SAD-u Reginald Denny razvio *radio plane* letjelicu (kodni naziv *QQ-2*) kojom se upravljalo radio vezom. Njemačke snage su također izrađivale leteće bombe kako bi zamijenile klasične bombardere. Tako je krajem 1930-ih razvijen njemački zračni torpedo *VI* kojim je upravljao autopilot, a sastojao se od žiroskopa, barometra i opreme za mjerenje udaljenosti (Ibid.).

Tijekom Hladnog rata nastavio se razvoj dronova koji je popraćen razvojem automatskih sustava. Strateško izviđanje se odvijalo pomoću dronova te je američka vlada ranih 1950-ih razvila model *U2* kojeg je 1960. godine srušila sovjetska protuzračna obrana na svom zračnom prostoru. Istovremeno je započeo i razvoj izviđačkih dronova od strane Ryan Aeronautics-a koji su se koristili u Vijetnamskom ratu za detekciju raketa protuzračne obrane, fotografiranje i elektroničko ometanje. Tijekom 1970-ih i 1980-ih Izrael je postao vodeća zemlja u proizvodnji te je razvijena *pioneer* serija letjelica (Slika 2.1) koja je letjela po programiranoj ruti. Letjelicom je, u slučaju potrebe, mogao upravljati čovjek, a maksimalno vrijeme leta bilo je 5 sati (Ibid.).



Slika 2.1 RQ-2 Pioneer bespilotna letjelica (URL 3)

U 21. stoljeću primjena dronova u ratovanju predstavlja jednu vrstu informacijskog rata. Primarni cilj je postizanje informacijske superiornosti u odnosu na neprijatelja. U SAD-u je 2001. godine dizajnirana *reaper* letjelica za dugotrajni nadzor s mogućnošću gađanje mete, a korištena je u sukobima Libije i Malije. Razvojem mikro elektro-mehaničkih sustava (MEMS) i smanjenjem veličine konstruktivnih komponenti, sve češća je uporaba manjih, ručno lansiranih dronova za ometanje i nadgledanje protivnika (Palik i Nagy, 2019).

U SAD-u je 2006. godine započela upotreba dronova za civilne svrhe, poput zaštite granica, intervencije tijekom kriznih situacija i praćenju usjeva u poljoprivredi. Kada je Amazon 2013. godine objavio da će koristiti bespilotne letjelice manjih dimenzija i masa za isporuku, javnost je počela zamjećivati njihove mogućnosti. Tako su primjerice u SAD-u, 2017. godine dronovi za rekreaciju imali udio od 2,4 milijardi dolara od ukupnog tržišta (6 milijardi dolara), (URL 4).

2.2 PODJELA DRONOVA

Trenutno ne postoji jedinstvena i opće prihvaćena klasifikacija dronova, ali vrijedi ista podjela kao i za klasične letjelice koje se dijele prema namjeni, masi, autonomnosti i aerodinamici. Bespilotne letjelice se dijele i prema svojim mogućnostima i dodatnim karakteristikama kao što su dizajn hardvera, dizajn softvera, domet, dodatna oprema i slično.

2.2.1 Dronovi prema namjeni

Prema namjeni dronovi se mogu koristiti u vojne i civilne svrhe, a civilne svrhe podrazumijevaju one komercijalne i nekomercijalne. Vojska dronove koristi za borbu, napade i izviđanja. Civili koriste dronove za zaštitu okoliša, krizne situacije, poljoprivredu i šumarstvo, hitne slučajeve te za istraživanje i razvoj same tehnologije dronova (Ghupta i

dr., 2013). U poglavlju 4 detaljno su opisani primjeri primjene dronova u šumarstvu, poljoprivredi i za nadzor infrastrukture.

2.2.2 Dronovi prema autonomnosti

Trenutno na tržištu postoje automatski, autonomni, poluautonomni i daljinsko upravljani dronovi. Potrebno je razlikovati pojam automatski i autonomni dron. Automatski dronovi slijede unaprijed definirana logička pravila zahvaljujući informacijama iz jednog senzora. Autonomni dronovi su sposobni razumjeti smjer više razine, odnosno odrediti svoje djelovanje iz brojnih alternativa neovisno o ljudskom nadzoru. Minimalni sustav autopilota uključuje senzore za određivanje položaja i ugrađeni procesor. Zahvaljujući razvoju MEMS i bežičnih tehnologija koriste se tzv. jeftini piloti za autonomne i automatske dronove (Ibid.).

Ministarstvo obrane u SAD-u definiralo je 4 razine autonomije za dronove. Osnovna razina je ona gdje čovjek upravlja dronom i donosi sve odluke u vezi njegovog rada. Sljedeća razina autonomije podrazumijeva uporabu drona neovisno o ljudskoj kontroli (upravljanje motorom), a ostale funkcije obavlja čovjek. Treća razina autonomije obuhvaća čovjekov nadzor sustava, odnosno dron može izvršavati zadatke kada mu čovjek dopusti, pri čemu čovjek i dron mogu pokrenuti radnje na temelju dobivenih informacija. Četvrta se i posljednja razina autonomije odnosi na dronove koji primaju naredbe od čovjeka te obavljaju zadatke bez asistencije, ali u slučaju opasnosti čovjek može upravljati dronom (Ibid.).

2.2.3 Dronovi prema aerodinamici

Na temelju aerodinamike postoje 4 vrste drona na tržištu, a to su: dron s fiksnim krilima, multirotorski dron te hibridni i *orinhtopter* dron. Dronovi s fiksnim krilima koriste vlastita krila u kombinaciji s brzinom zraka za uzgon. Pogon im je prema naprijed, a svojim izgledom podsjećaju na klasične avione. Multirotorski dronovi koriste rotacijska krila za stvaranje uzgona poput helikoptera. Na tržištu postoje *trikopteri*, *kvadkopteri*, *heksakopteri* i *oktokopteri*, odnosno dronovi s 3, 4, 6 i 8 krila. Slika 2.2 prikazuje dron s fiksnim krilima i multirotorski dron tipa *heksakopter*. Multirotorski dronovi troše puno električne energije kako bi ostali u zraku pa se zbog toga sporije i kreću. Za razliku od multirotorskih dronova, dronovi s fiksnim krilima imaju puno dulje vrijeme leta te zahtijevaju samo početnu električnu energiju pri pokretanju. Također su prikladniji za snimanje većih i otvorenih područja bez visinskih prepreka s obzirom na multirotoare. Hibridni dronovi imaju karakteristike dronova s fiksnim krilima i multirotorskih dronova (Slika 2.3), a *orinhtopteri* po svome izgledu i radu nalikuju pticama, no manje su zastupljeni na tržištu (Vergouw i dr., 2016).



Slika 2.2 Dron s fiksnim krilima (lijevo) i multirotorski dron (desno) (URL 5)



Slika 2.3 Hibridni dron (URL 6)

2.2.4 Dronovi prema izvoru energije

Dronovi se napajaju pomoću sljedećih izvora energije: električne baterije, avionsko gorivo, gorive i solarne ćelije. Avionsko gorivo, ili kerozin, najčešće se koristi za veće dronove s fiksnim krilima. S druge strane, baterije se češće koriste za multirotorske dronove pošto im je domet manji, a vrijeme leta kraće. Baterije su praktičnije za rad pošto imaju niske cikluse punjenja i ne zauzimaju previše mjesta u konstrukciji, dok je spremnike za gorivo puno teže održavati. Gorive ćelije su elektrokemijski uređaji koje pretvaraju kemijsku energiju iz goriva u električnu te tako omogućuju let. Najčešće se upotrebljavaju kod dronova s fiksnim krilima. Ovaj tip napajanja ekološki je prihvatljiviji od napajanja kerozinom i drugim avionskim gorivima. Dronovi sa solarnim ćelijama rijetko su dostupni na tržištu jer su još uvijek u razvoju. Korištenje sunčeve energije za napajanje dronova

ekološki je najprihvatljivija opcija, ali nažalost još uvijek nedovoljno istražena (Vergouw i dr., 2016).

2.2.5 Dronovi prema masi

Kao što je ranije spomenuto, ne postoji opća podjela dronova pošto se tržište dronova neprestano mijenja i napreduje. Podjela prema masi opisana je u poglavlju 3 sukladno s uredbama koje je izdala Agencija Europske unije za sigurnost zračnog prometa (EASA) te ista vrijedi na području Republike Hrvatske.

2.3 KOMPONENTE DRONOVA

Dizajn i izgled dronova potječe od aviona pa je očekivano da imaju i slične komponente. Glavna razlika je u tome što avioni imaju prostor za posadu te su većih dimenzija i težine. Dron nije samostalna cjelina, već je dio UAS sustava koji se sastoji od tijela drona, zemaljskog kontrolera i komunikacijskog modula (Balestrieri i dr., 2021).

2.3.1 Tijelo drona

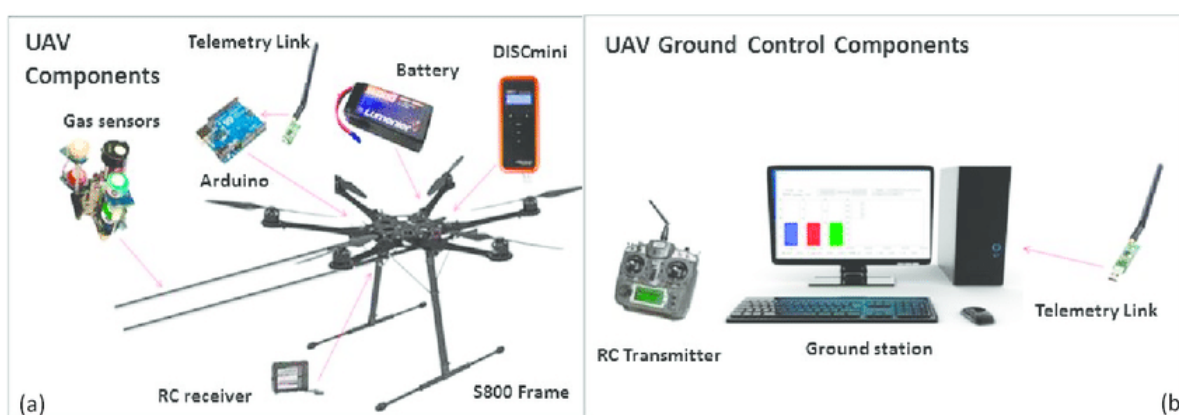
Tijelo drona je platforma koja u sebi sadrži računalni sustav, sustav za napajanje, senzore za raspoznavanje okoline, krila (ili elise) za let i koristan teret. Sama konstrukcija drona bitna je radi održavanja stabilnosti tijekom leta, a mnogi proizvođači tome pridodaju veliku pažnju. Kako je dronovima radna okolina zračni prostor, u njih su ugrađeni različiti senzori za prikupljanje informacija o položaju i visini, kutu leta, tlaku i temperaturi zraka te lokaciji ostalih objekata u zraku. Položaj i orijentaciju detektiraju akcelerometrima u kombinaciji sa senzorima nagiba i žiroskopom, a prikupljene informacije prenose iz senzora u zemaljski kontroler. Za praćenje putanje i smjera leta ugrađuje se inercijalna mjerna jedinica (IMU), koja u kombinaciji s globalnim navigacijskim satelitskim sustavom (GNSS) osigurava položajnu preciznost (Ibid.)

Poznato je da GNSS sustav ne funkcionira na području urbanih kanjona, šuma i mjesta na kojima može doći do refleksije signala. U praksi je potrebno, prije izvođenja leta, proučiti postoje li objekti koji ometaju rad GNSS signala poput, primjerice željezničkih pruga, stupova dalekovoda te stabala i krošnji drveća. Na tržištu postoje i dronovi koji imaju bežičnu lokalnu mrežu (WLAN) i vizualnu odometriju koja se ugrađuje ovisno o njihovoj namjeni (Bačić, 2020).

Dronovi koji se koriste u komercijalne svrhe imaju digitalnu kameru kao koristan teret. Na tržištu postoje dronovi s kamerama koje bilježe vrijednosti u vidljivom (RGB) spektru, blisko infracrvenom (NIR) spektru i s laserskim (LIDAR) sustavom. Također postoje i multispektralne te hiperspektralne kamere za dronove. Multispektralne kamere registriraju plavi, crveni, zeleni, blisko infracrveni, dugovalno infracrveni i kratko infracrveni spektar. Hiperspektralne kamere registriraju svjetlosna zračenja valnih duljina od 380 do 13 400 nm, a termalne kamere detektiraju elektromagnetsku energiju u infracrvenom spektru. Sustav LIDAR funkcionira pomoću refleksije svjetlosnih valova. Naime, udaljenost do promatrane točke u prostoru određuje pomoću izmjenjenog vremena putovanja svjetlosnih valova reflektiranih od točku interesa. U konačnici se pomoću tih podataka kreira slika prostora. Pomoću svih prethodno navedenih kamera mogu se dobiti različiti prikazi terena iz kojih se mogu provesti različite analize (Balestrieri i dr., 2021).

2.3.2 Zemaljski kontroler i komunikacijski modul

Zemaljski kontroler sastoji se od hardvera i softvera. Hardver je samo tijelo kontrolera, odnosno daljinskog upravljača, a to je u principu elektronički uređaj (npr. tablet ili laptop). Hardverski dio sadrži mikrokontroler koji predstavlja vezu između ostalih hardverskih jedinica i softvera te sustava za upravljanje (elektroničke komponente). Softverska komponenta je korisničko sučelje i računalni program koji kreira te vizualizira podatke poslane iz drona poput brzine, visine i lokacije letjelice tijekom leta. Osoba (udaljeni pilot) upravlja dronom pomoću zemaljskog kontrolera. Kako bi udaljeni pilot komunicirao i upravljao, potrebno je uspostaviti komunikacijski modul. Slika 2.4 prikazuje opisane dijelove UAS sustava. Većina dronova na tržištu koristi 3DR radio modul ili WIFI vezu za uspostavljanje dvosmjerne komunikacije između kontrolera i letjelice. Komunikacijski modul prenosi informacije prikupljene senzorima koje se potom obrađuju unutar računalnog sustava te prenose u softver na daljnju obradu (Haque i dr., 2017).



Slika 2.4 Dijelovi UAV sustava, komponente drona (lijevo) i zemaljska kontrolna komponenta (Villa i dr., 2016)

3. PREGLED EU I NACIONALNIH PROPISA ZA SNIMANJE DRONOM

Za letenje i snimanje dronom na području Republike Hrvatske potrebno se pridržavati određenih zakona i propisa te s istima biti dobro upoznat. Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (CCAA) navela je 10 propisa koji se primjenjuju za izvođenje operacija dronovima u Republici Hrvatskoj: Provedbena Uredba Komisije (EU) 2019/947 o pravilima i postupcima za rad bespilotnih zrakoplova (u nastavku Provedbena Uredba), Delegirana Uredba Komisije (EU) 2019/945 o sustavima bespilotnih zrakoplova i o operatorima sustava bespilotnih zrakoplova iz trećih zemalja (u nastavku Delegirana Uredba), Pravilnik o upravljanju zračnim prostorom, Pravilnik o letenju zrakoplova, Uredba (EU) 376/2014, Zakon o zračnom prometu, Uredba (EU) 2016/679, Zakon o zaštiti okoliša, Uredba (EU) 2018/1139 i Uredba (EZ) 785/2004. Neki od ovih propisa su doneseni na razini Europske unije, a neki na nacionalnoj razini (Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo, 2020).

Uz prethodno navedene propise, potrebno se pridržavati i Uredbe o snimanju iz zraka koja je objašnjena u nastavku. U Osnovnoj Uredbi (EU) 2018/1139 propisana su zajednička pravila u području civilnog zrakoplovstva (što uključuje i dronove bez obzira na njihovu masu). Glavna svrha Osnovne Uredbe je uspostaviti i održavati visoku i ujednačenu razinu sigurnosti civilnog zrakoplovstva na području EU. Uredba (EU) 2016/679 je opća uredba o zaštiti podataka, Uredba (EU) 2018/1139 je uredba o zajedničkim pravilima u području civilnog zrakoplovstva i osnivanju EASE-e, a Uredba (EZ) 785/2004 donesena je od strane Europskog parlamenta i Europskog vijeća o zahtjevima za zračne prijevoznike i operatore zrakoplova u vezi s osiguranjem (URL 7).

3.1 PROVEDBENA I DELEGIRANA UREDBA

Europska komisija (EK) donijela je Provedbenu i Delegiranu Uredbu sa svrhom detaljnije regulacije bespilotnih zrakoplova. EASA izrađuje nacрте propisa iz područja civilnog zrakoplovstva te ih dostavlja EK na usvajanje, a ujedno je zadužena i za certifikaciju, standardizaciju, regulaciju i praćenje civilnog zrakoplovstva (Ibid.).

Do 31.12.2021. godine vrijedio je Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova (NN 104/2018) na području Republike Hrvatske, a od početka 2021. godine službeno vrijede Provedbena Uredba i Delegirana Uredba. Provedbena Uredba utvrđuje kategorije i potkategorije operacije dronova, uvjete i minimalnu dob pilota drona, zahtjeve za izvođenje operacija, prekogranične operacije, registraciju operatora te zadatke i imenovanje nadležnih tijela. Delegirana Uredba određuje tehničke zahtjeve po kategorijama dronova, obveze proizvođača, uvoznika i distributera dronova, zahtjeve za operatore koji nisu državljani članica EU te daljinsku identifikaciju (Ibid.).

Delegirana i Provedbena uredba dva su odvojena, ali međusobno povezana dokumenta koji čine *EU UAS regulacijski paket* te se iste odnose na upotrebu dronova na području EU. Ove su uredbе objavljene s ciljem pojednostavljenja procesa izvođenja operacija UAS i uklanjanja posebnih propisa unutar država članica. Drugi cilj uredbi poticanje je europskog UAS tržišta koje bi stimuliralo rast europske industrije. Ove uredbе opsežni su propisi koji pokrivaju sve aspekte rada dronova, a u propisi uključuju i ne-zrakoplovne sigurnosne elemente koji pokrivaju široko područje sigurnosti, privatnosti i zaštite podataka. Za donošenje ovih uredbi bilo je potrebno preko 4 godine savjetovanja EASE i EK (Ibid.).

Tri su osnovna načela pomoću kojih su kreirani navedeni propisi, a to su: usredotočenost na operacije, utemeljenost na rizicima i utemeljenost na izvedbi. Usredotočenost na operacije bazira se na vrsti operacija koja se provodi, a ne tko ili što i zašto ju izvodi. Pošto dronovi nemaju posadu, posljedice nezgode ili nesreće potpuno ovise o mjestu na kojemu se nesreća dogodila. Utemeljenost na rizicima fokus stavlja na rizik koji operacija predstavlja te je potrebno zadovoljiti više uvjeta ili dostaviti više dokaza za operacije povećanog rizika. Ovim uredbama rizik same operacije postaje presudan faktor za samo izvođenje operacije. Utemeljenost na izvedbi naglašava usmjerenost primarnih zahtjeva na identificiranje zahtijevanih sposobnosti ili razine izvođenja leta, a ne na stvaranje skupa propisanih pravila (Ibid.).

U skladu s prethodno opisanim načelom usredotočenosti na operacije, operacije dronova se dijele u 3 kategorije: otvorena, posebna i certificirana. Operacije otvorene kategorije predstavljaju nizak ili zanemariv rizik prema trećim stranama i provode se u skladu s unaprijed definiranim karakteristikama. Za odobrenje izvođenja operacije unutar otvorene kategorije nisu potrebni nikakvi daljnji zahtjevi. Za operacije koje predstavljaju veći rizik od otvorene kategorije ili operacije kod kojih jedan ili više elemenata izlazi van granica otvorene kategorije, potrebno je ishoditi dozvolu od strane CCAA-a na temelju procjene sigurnosnih rizika. Takve operacije spadaju pod posebnu kategoriju. U certificiranu kategoriju spadaju operacije koje imaju isti rizik kao i zrakoplovstvo s posadom i podvrgnute su istom regulatornom postupkom (Provedbena uredba komisije (EU) 2019/947, 2019).

U ovome radu detaljno je objašnjena otvorena kategorija pošto operacija koja je izvedena za potrebe rada spada pod istu. Otvorena kategorija ograničena je trima glavnim uvjetima, a to su: najveća uzletna masa drona mora biti manja od 25 kg, dronom se mora upravljati unutar vidnog polja udaljenog pilota (VLOS) i maksimalna visina leta iznosi 120 m. Ukoliko jedan od ovih uvjeta nije zadovoljen, operacija se mora izvesti pod posebnom kategorijom. Otvorena kategorija se dijeli na 3 potkategorije: A1, A2 i A3. A1 potkategorija podrazumijeva izvođenje leta iznad ljudi, ali ne iznad skupine ljudi (osobe okupljene na način da ih je nemoguće udaljiti radi gustoće ljudi na danom prostoru) dronovima mase manje od 250 g koji predstavljaju vrlo malen rizik ozljede. U A2 potkategoriji maksimalna dopuštena masa dronova je 4 kg i dopušteno je izvođenje operacija blizu ljudi na sigurnoj horizontalnoj udaljenosti 30 m od neuključenih ljudi ili do 5 m horizontalno ako je odabran način rada pri maloj brzini. A3 potkategorija obuhvaća izvođenje letova daleko od ljudi i pokriva širok spektar dronova te podrazumijeva izvođenje leta u kojem nema uključenih osoba i izvan područja koje se koristi za stambene, komercijalne, industrijske i rekreacijske svrhe (Ibid.).

Glavna pretpostavka otvorene kategorije je da će svi dronovi koji se prodaju za upotrebu unutar ove kategorije, podlijegati nizu proizvodnih standarda slični onima za dobivanje oznake europske usklađenosti (CE). Kako bi se postigla standardizacija, dronovi koji su namijenjeni prodaji na tržištu zemalja članica EU, podijeljeni su u 5 osnovnih klasa (C0, C1, C2, C3 i C4), (Tablica 3.1). Unutar svake potkategorije nalazi se jedna ili više klasa. Pošto će proizvođačima dronova biti potrebno neko vrijeme za prilagodbu novim standardima, objavljene su i tranzicijske klase koje vrijede do kraja 2022. godine (URL 7).

Iako je Europska komisija najviše tijelo za donošenje odluka, nacionalne vlasti i dalje mogu implementirati vlastitu regulativu. Podrazumijeva se da je regulativa važeća na području EASA zračnog prostora, ali nacionalne vlasti moraju odrediti detalje poput specifičnog zračnog prostora na kojemu dronovi ne smiju letjeti te prostora namijenjenog

za trening i kvalifikaciju. Također, nacionalna vlast ne smije postrožiti donesenu regulativu EU, ali ju može reducirati (URL 8).

Tablica 3.1 Pojednostavljena tablica potkategorija u otvorenoj kategoriji (Provedbena uredba komisije (EU) 2019/947, 2019)

P.K	O.	K.	D.M.	K.P.	T.Z	E.I.	R. O.
A1 (iznad ljudi)	Let iznad neuključenih pojedinaca, ali ne iznad skupine ljudi	C0	< 250 g	/	< 19 m/s Maksimalna visina (120 m)	NE	NE
	Zabranjeno letenje iznad neuključenih pojedinaca	C1	< 900 g	-Trening -Ispit putem interneta	< 80 J	NE	DA
A2 (blizu ljudi)	Izvoditi letačke operacije na horizontalnoj udaljenosti od najmanje 30 m od neuključenih pojedinaca	C2	< 4 kg	-Trening -Ispit putem interneta -Teorijski ispit znanja	Maksimalna visina (120 m)	DA (serijski broj)	DA
A3 (daleko od ljudi)	Izvoditi letačke operacije na horizontalnoj udaljenosti od najmanje 150 m od naseljenih područja i ne smije biti neuključenih osoba	C3	< 25 kg	-Trening - Ispit putem interneta	Maksimalna visina (120 m)	DA (serijski broj)	DA
		C4					
LEGENDA SKRAĆENICA							
P.K. - Potkategorija, O. - Opis, K. - Klasa, D.M. - Dozvoljena masa, K.P. - Kompetencija pilota, O. - Opis, T.Z. - Tehnički zahtjevi, E.I. - Elektronička identifikacija, R.O. - Registracija operatera							

3.2 UREDBA O SNIMANJU IZ ZRAKA

Uredba o snimanju iz zraka definira sljedeće: uvjete za snimanje iz zraka, uvjete za izdavanje odobrenja za snimanje, umnožavanje, objavljivanje i iznošenje zračnih snimki na području Republike Hrvatske i pregledavanje snimljenih materijala prije odobrenja. Snimanje iz zraka državnog područja Republike Hrvatske mogu vršiti pravne i fizičke osobe koje su registrirane za djelatnost snimanja iz zraka pri nadležnim tijelima države u kojima imaju prebivalište ili poslovni nastan, nakon pribavljenog odobrenja za snimanje iz zraka. Operator koji upravlja letjelicom dužan je se prilikom obavljanja snimanja pridržavati propisa u vezi zaštite podataka, najaviti snimanje i usuglasiti operaciju s nadležnom kontrolom zračnog prometa. Ako se radi o ciljanom snimanju, odnosno

snimanju izdvojenih lokacija i građevina te zaštićenih dijelova prirode, potrebno je ishoditi suglasnost vlasnika ili javne ustanove nadležne za upravljanje tim područjem. Nakon toga je potrebno ishoditi i odobrenje za snimanje iz zraka. Ukoliko se radi o snimanju područja razgraničenja sa susjednim državama Republike Hrvatske, pravne i fizičke osobe koje obavljaju snimanje dužne su ishoditi diplomatsko odobrenje za prelet hrvatskog zračnog prostora od Ministarstva vanjskih i europskih poslova diplomatskim putem. Odobrenje za snimanje iz zraka nije potrebno ako se vrši snimanje izdvojenih lokacija i građevina, isključivo za potrebe vlasnika, odnosno korisnika te za inspekcijske poslove snimanja u području građenja i rudarstva (Uredba o snimanju iz zraka (NN 77/2020), 2020).

Zahtjev za izdavanje odobrenja snimanja iz zraka podnosi se Državnog geodetskoj upravi, točnije službi za topografsku izmjeru i državne karte putem online platforme, a sadrži sljedeće: podatke o naručitelju snimanja, podatke o snimatelju i operateru snimanja, podatke o zrakoplovu i operateru zrakoplova, podatke o planiranom razdoblju snimanja (do 3 mjeseca), podatke o ciljanom snimanju (ako se radi o takvom), podatke o vrsti snimanja, dokaz o registriranoj djelatnosti za snimanje iz zraka i plan snimanja na odgovarajućoj kartografskoj podlozi. Primjerak odobrenja snimanja iz zraka dostavlja se Ministarstvu obrane i CCAA-i. Ukoliko se radi o snimanju područja razgraničenja s Republikom Hrvatskom, primjerak odobrenja za snimanje dostavlja se i Ministarstvu unutarnjih poslova. Ako snimanje nije izvršeno u skladu s odobrenjem snimanja iz zraka, naručitelj snimanja dužan je izjavom obavijestiti Državnu geodetsku upravu najkasnije u roku od 8 dana od isteka roka navedenog u odobrenju za snimanje (Ibid.).

Nakon provedenog snimanja u skladu s odobrenim zahtjevom snimanja iz zraka, potrebno je ishoditi odobrenje uporabe zračnih snimki. Za izdavanje zahtjeva odobrenja uporabe zračnih snimki, potrebno je putem online platforme priložiti podatke o naručitelju snimanja, klasifikacijsku oznaku, urudžbeni broj i datum rješenja kojim je odobreno snimanje iz zraka, podatak o obavljenom razdoblju snimanja, način uporabe zračnih snimki i cjelokupni snimljeni materijal. Državna geodetska uprava i Ministarstvo obrane zajedno su osnovali povjerenstvo za pregled zračnih snimki u svrhu pregleda snimki na kojima se nalaze vojne lokacije i građevine. Odjel fotogrametrije Državne geodetske uprave zadužen je za odobravanje uporabe zračnih snimki i određuje koje se snimke mogu rabiti u skladu s podnesenim zahtjevima, koje se ne smiju javno objavljivati i ustupati drugim korisnicima te koje je potrebno izuzeti. Nakon što su snimke odobrene, naručitelju snimanja stiže rješenje o odobrenju upotrebi snimki (Ibid.).

4. MOGUĆNOSTI PRIMJENE DRONOVA ZA SNIMANJE LINIJSKIH I POVRŠINSKIH OBJEKATA

4.1 PRIMJENA DRONOVA ZA SNIMANJE LINIJSKIH OBJEKATA

Za snimanje linijskih objekata dronovi su sve više prisutni te zamjenjuju klasično korištene metode. Želimo li saznati duljinu nekog objekta (npr. ceste, puta ili željeznice), najjednostavnije je taj objekt snimiti dronom i obraditi snimke u softveru kojim je moguće izvršiti mjerenje te duljine. Dronovi se u prometu koriste za inspekciju cesta i željeznica te tijekom planiranja i izgradnje istih pri čemu na relativno jednostavan način dobije cjelokupni prikaz terena. Kompleksnost takvih zadatka ovisi i o duljini koridora same prometnice, odnosno željeznice, odnosno što je koridor duži, snimanje i obrada su zahtjevniji. Također, dronovi se sve češće koriste i pri stručnoj inspekciji mostova, pošto se radi o nepristupačnim objektima koji zahtijevaju pregled alpinista (Ciampa i dr., 2019).

Dronovi su idealni za snimanje tokova rijeka i kanala, a iz dobivenih prikaza moguće je utvrditi morfologiju tla i predvidjeti poplave. Česta je njihova primjena i u pregledu infrastrukture, posebice one teško dostupne kao što su dalekovodi i plinovodi. Na taj je način moguće jednostavno utvrditi područja udara groma u stupove električne mreže, mjesta korozije na plinovodu i drugim nadzemnim cjevovodima, mjesta oštećenja vijaka i slično (URL 9). U nastavku su opisana provedena istraživanja praćenja stanja linijskih objekata ograde i pruge pomoću dronova.

4.1.1 Primjena dronova za praćenje stanja ograde na farmi

Vlasnicima farmi životinja, veliki trošak predstavlja nadzor ograde koja ograđuje životinje na ispaši. Uslijed oštećenja ograde, može doći do nekontroliranog izlaska životinja, ali i opasnosti od napada divljih životinja. Prema dosadašnjim istraživanjima, održavanje ograde i mogući popravci imaju udio od 5 do 8% u godišnjim troškovima održavanja farme. Praćenje stanja ograde najčešće obavljaju terenski radnici s vozilima, no problem se javlja kod brdovitih i nepristupačnih terena kod kojih radnici potroše puno više vremena za inspekciju. Pokazalo se da je jednostavnije, brže i ekonomičnije korištenje dronova u svrhu praćenja stanja ograde s obzirom na primjenu tradicionalnih metoda obilaska (Jackson, 2021).

U svome radu, Jackson je uspoređivao vrijeme trajanja preleta ograde dronom i tradicionalnog načina. Tako je za ogradu dugu 1200 stopa (približno 360 m) na ravnom terenu potrebno 3 min letenja dronom, dok je čovjekovim hodom potrebno 5 min. Pregled dronom zahtijeva pripremu za let i obradu snimljenih materijala, što znači da je vremensko trajanje podjednako za oba slučaja. Međutim, ušteda vremena povećava se proporcionalno s duljinom ograde. Za izvođenje pregleda dronom optimalna je visina leta od 20 m iznad svih visinskih prepreka, a pri prvom letu preporučuje se letenje manjom brzinom kako se ne bi preplašilo životinje (Ibid.)

4.1.2 Primjena dronova za nadzor željezničke infrastrukture

Razvijena prometna infrastruktura i dobra povezanost osnovna je napretka svake države. Željeznički promet omogućuje dobru povezanost regija države, siguran i brz prijevoz ljudi i dobara, a pri tome je ekološki prihvatljiviji s obzirom na cestovni promet. Nadzor

željezničke infrastrukture i održavanje koridora kompleksni su zadaci koji zahtijevaju velik broj ljudi, njihovu stručnu obuku i specifičnu tehnologiju. Korištenjem dronova u nadzoru rješava se nekoliko problema koji se uobičajeno javljaju pri pregledu. Primjerice, jedan od većih problema je prisutnost vegetacije uz prugu koja svojom visinom prelazi prugu može uzrokovati oštećenja tračnica i pragova pruge. Za vrijeme većih temperatura zraka, uslijed trenja između kotača vlaka i same tračnice (naročito prilikom kočenja vlaka) može doći do iskrenja i zapaljenja obližnje vegetacije te u konačnici izbijanja požara. Upravo se upotrebom dronova s NIR kamerama može jednostavno uočiti područje koje je obraslo vegetacijom te po potrebi isto sanirati (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 2019).

Dronovi se koriste i za gospodarenje imovinom, nadzor cestovnih i pješačkih prijelaza, zavoja, stanja i vidljivosti prometnih i signalnih znakova. U Australiji, najveći željeznički operateri poput Aurizon-a, Queensland Rail-a i Metro Trains Melbourne-a koriste dronove za nadzor imovine i infrastrukture. Jedino tehničko ograničenje odnosi se na let iznad električnih vodova ili za vrijeme prolaska vlaka na trasi pošto postoji rizik od pada drona na (ili ispred) vlak zbog gubitka GNSS signala. Pravna ograničenja vezana su uz pravo na osobnu privatnost, posebice u slučajevima prolaska vlaka kroz gusto naseljena područja ili mjestima gdje se očekuje veći broj ljudi (Ibid.).

4.2 PRIMJENA DRONOVA ZA SNIMANJE POVRŠINSKIH OBJEKATA

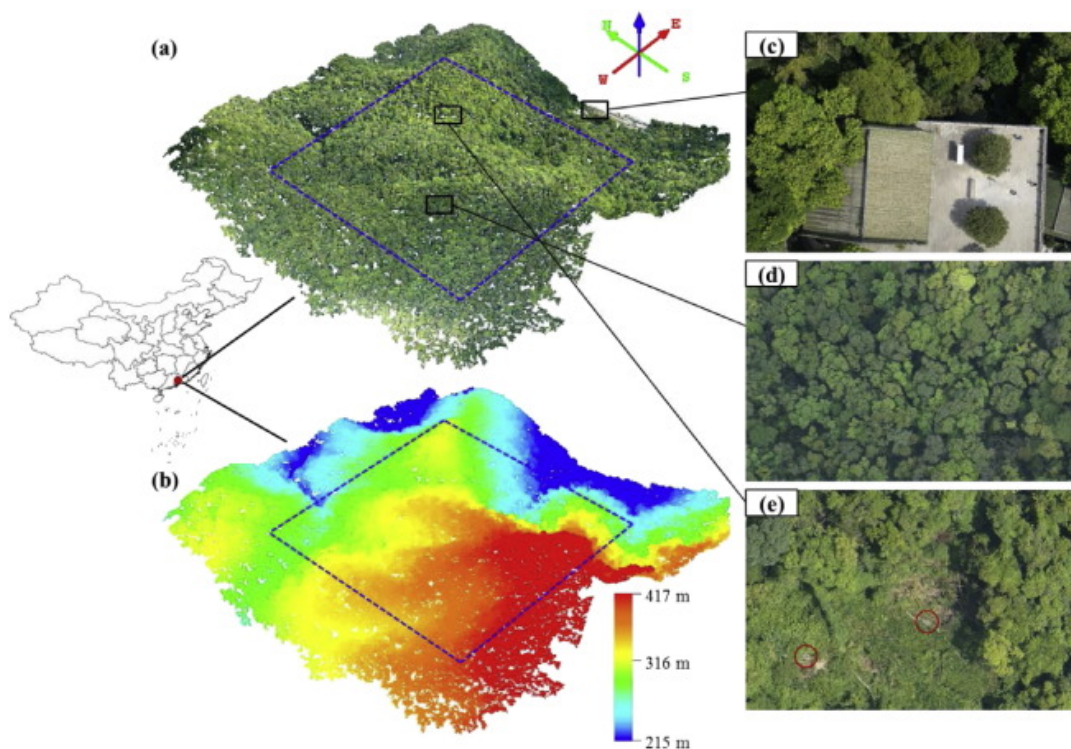
Ovisno o vrsti i namjeni površinskog objekta, primjene dronova su raznolike. Prethodno je spomenuto kako se dronovi mogu koristiti u slučaju prirodnih katastrofa pošto najbrže daju prikaz stanja na terenu. Tako se u slučaju potresa, dronom lako može pregledati pogođena područja, oštećena krovništa i utvrditi lokaciju otvorenih rupa na površini zemlje koje nastaju zbog pomicanja zemljine kore. U slučaju požara, dronom se može pronaći izvor požara, a naknadno jednostavno utvrditi površinu opožarenog područja. Snimanje dronom koristi se i u građevinskom i u naftnom sektoru, za praćenje napretka izgradnje ili iskopa, pronalaska ležišta prirodnih sirovina. Snimke i prikazi dobiveni softverskom obradom koriste se i za urbanističko planiranje (Albeino i dr., 2019).

4.2.1 Primjena dronova u šumarstvu

Šumarstvo i geoinformatika najčešće su povezani primjenom satelitskih snimki i tehnika daljinskih istraživanja. Za određene zadatke, satelitske snimke ne mogu dati prikaze visoke rezolucije kao što to mogu snimke dobivene dronom. Dronovima se može jednostavno i brzo snimiti područje obraslo šumskom vegetacijom, kartirati ga te odrediti bioraznolikost određene šume. Kod procesa pošumljavanja, parametri poput ploštine krošnje stabla, broja krošnji, volumena krošnje, stanja vegetacije i vrste drveta mogu se dobiti upravo iz ortofoto prikaza dobivenog obradom snimki drona. Korištenje dronova s NIR kamerama najčešće se primjenjuje u šumarstvu jer se zbog primjene infracrvenog spektra dobiva najbolji prikaz zdravlja vegetacije (Banu i dr., 2016).

U Njemačkoj, Getzin i dr. (2012) proveli su istraživanje snimanja dronom u šumi kojom prevladavaju stabla bukve te dobili snimke rezolucije 7 cm na kojima su uočene rupe u krošnjama. Let se odvijao na visini od 250 m, a trajao je 1 h. Nakon obrade mjerenja dobivena je korelacija između rupa u krošnjama i bioraznolikosti. Upotrebom dronova u šumarstvu brzo se otkriva uzrok bioraznolikosti te se na temelju toga donosi strategija upravljanja šumom. Slika 4.1 prikazuje snimke i 3D prikaze (*point cloud* i digitalni

visinski model (DEM)) dobivene iz snimki dronom koje se koriste u daljnjoj analizi i donošenju odluka u šumarstvu.



Slika 4.1 Proizvodi dobiveni obradom snimki šume (Zhang i dr., 2016)

4.2.2 Primjena dronova u poljoprivredi

Poljoprivreda i stočarstvo sektori su koji se susreće s brojnim problemima poput nedostatka radne snage, ograničenih resursa (obrađive površine i voda za navodnjavanje), klimatskih promjena i nepogoda, ekoloških incidenata, pretjerane uporabe gnojiva, bolesti biljaka i životinja i raznih štetnika i nametnika. Sve se više poljoprivrednika okreće korištenju novih tehnologija u svrhu rješavanja navedenih problema i postizanja boljih prinosa. Primjena dronova već je neko vrijeme prisutna u poljoprivredi i svakodnevno napreduje jer je predmet mnogih istraživanja (Kalmkar i dr., 2020).

Snimanjem tla dronom i obradom istih, mogu se dobiti 3D modeli na temelju kojih poljoprivrednici prate kvalitetu tla. Pomoću 3D modela moguće je pronaći optimalnu metodu sadnje, pratiti rast usjeva i zdravlja tla u bilo kojoj fazi uzgoja usjeva. Dronovi se koriste za prskanje i sadnju sjemena, zahvaljujući različitim sensorima koji su ugrađeni u njih. U Japanu je 1980-ih prvi puta upotrijebljen daljinski upravljani helikopter sa spremnikom za raspršivanje pesticida iznad usjeva. Današnji dronovi mogu nositi spremnike velikih kapaciteta te ispustiti 1 l pesticida po minuti kojom se može poprskati 1 ha poljoprivredne površine u svega 10 min. Slika 4.2 prikazuje dron koji prska pesticid po usjevu pšenice. Zbog svoje mogućnosti jednostavnog prilagođavanja visine i putanje leta u odnosu na okolni teren, dronovi jednostavno obavljaju posao prskanja i sadnje usjeva. Prskanje dronovima štedi vrijeme, a ujedno sprječava poljoprivrednikovu izloženost štetnim kemikalijama. Također je neusporedivo ekonomičnije rješenje u odnosu na klasično korištene metode (del Cerro i dr., 2021).

Korištenjem multispektralnih i termalnih kamera moguće je utvrditi apsorpciju klorofila, pesticida, nedostatak vode, stresna i bolesna područja. Većini poljoprivrednika veliki je problem i navodnjavanje zbog ograničenih količina vode za navodnjavanje, a korištenjem dronova s termalnim kamerama moguće je jednostavno utvrditi područja koja su previše ili premalo opskrbljena vodom. Uz te informacije, usjevi se mogu bolje rasporediti kako bi se omogućio prirodan tok vode po terenu, a time bi se ujedno izbjeglo i nakupljanje vode na zemljištu. Problemi s opskrbom vode često rezultiraju propadanjem usjeva, a zahvaljujući dronovima taj se problem može spriječiti na vrijeme (Kalmkar i dr., 2020).

Dronovi su dio sustava precizne poljoprivrede koja se temelji na primjeni informatičkih tehnologija, satelitske navigacije, praćenju rada te prilagođavanja poljoprivrednih strojeva. Cilj precizne poljoprivrede postizanje je učinkovitije proizvodnje, održivog razvoja, veće profitabilnosti te smanjenje korištenja pesticida i insekticida. Tehnologija u poljoprivredi neprestano se razvija, a prikupljanjem točnih i pouzdanih georeferenciranih podataka se rješavaju se brojni problemi (URL 10).



Slika 4.2 Primjena dronova za prskanje usjeva pšenice (URL 11)

5. ESRI SOFTVERSKA RJEŠENJA ZA OBRADU PODATAKA PRIKUPLJENIH DRONOM

Environmental Systems Research Institute (ESRI) je internacionalni distributer geografskih informacijskih sustava (GIS), GIS softvera, web GIS-a i baza za upravljanje prostornim podacima. ESRI je osnovan 1969. godine kao konzultantska tvrtka za korištenje zemljišta, a njegovo je središte u Redlandsu, Kaliforniji. Sa 10 ureda u SAD-u i 80 distribucijskih centara u svijetu, ESRI nudi različiti spektar proizvoda za upravljanje i prikaz prostornih podataka od kojih je najpopularniji ArcGIS. ArcGIS se sastoji od nekoliko integriranih aplikacija koje omogućuju izradu, analizu, kartiranje te upravljanje prostornim podacima. ESRI-ovi proizvodi imaju udio od 40,7 % udjela na globalnom tržištu (URL 12). U Republici Hrvatskoj službeni distributer ESRI-ovih proizvoda je tvrtka GDI group.

5.1 ESRI SITE SCAN

ESRI Site Scan for ArcGIS je platforma za prikupljanje podataka dronom (snimki), obradu i procesuiranje snimki, dobivanje 2D i 3D prikaza te njihovo dijeljenje. Platforma se sastoji od Site Scan for ArcGIS Flight Planning mobilne aplikacije i web aplikacije Site Scan Managera. Site Scan for ArcGIS nudi cjelovito rješenje za svoje korisnike bez potrebe korištenja ostalih aplikacija i softvera za izvođenje operacija dronom.

5.1.1 Site Scan for ArcGIS Flight Planning aplikacija

Site Scan for ArcGIS Flight Planning aplikacija dostupna je trenutno samo na iOS platformi za tablet računala, a omogućuje planiranje misije leta. Postoje 2 verzije aplikacije: Site Scan for ArcGIS (standardna verzija koja se spaja s web aplikacijom za obradu snimki) i Site Scan for ArcGIS LE version (koristi se samo za planiranje leta). Za izradu ovog rada korištena je standardna verzija aplikacije. Aplikacija nudi 6 različitih načina planiranja leta, odnosno tipova misija: *area survey* za snimanje površinskih objekata s manjim visinskim razlikama, *crosshatch survey* za snimanje površina s većim razlikama u visinama, *perimeter scan* za snimanje struktura, *inspection* za detalju kontrolu nekog objekta ili područja, *vertical* za snimanje i modeliranje uzdužnih struktura, *panorama* i *corridor scan* za snimanje linijskih objekata (ESRI, 2021). Slika 5.1 prikazuje sučelje aplikacije i tipove misija koje je moguće odabrati.

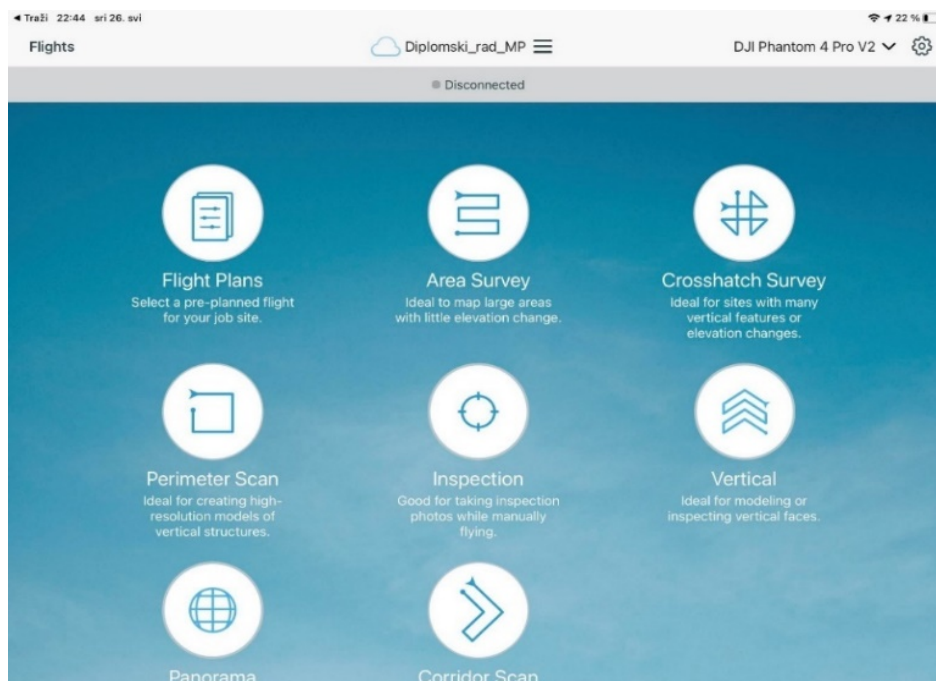
Aplikacija je jednostavna za korištenje i nije potrebno poznavanje rada u istoj. Planiranje leta sastoji se od 3 koraka. Prvi se korak sastoji od odabira tipa misije (ovisno o objektu koji se snima) i označavanja željenog objekta na geografskoj podlozi. Korisnik može koristiti učitane ESRI-ove kartografske podloge (topografske karte, satelitske snimke i sl.) ili učitati vlastite prostorne podatke (vektorske podatke, ortofoto prikaz, web scene koje sadrže 3D oblak točaka ili 3D mrežu). Drugi je korak podešavanje postavki leta koje aplikacija automatski očitava ovisno o vrsti leta i duljini/površini objekta (Ibid.). Treći korak je početak snimanja koji se odvija na terenu.

Kod postavki leta, moguće je podesiti visinu leta, nagib kardanskog prstena (u daljnjem tekstu gimbal), smjer drona tijekom leta (u daljnjem tekstu hatch), minimalnu visinu leta tijekom povratka i preklop (uzdužni i poprečni). Gimbal je dio konstrukcije drona koji omogućuje kameri da ostane uvijek u istom položaju tijekom leta, neovisno o kutu i načinu kretanja drona. Ako je gimbal postavljen na 0°, kamera je okrenuta ravno prema dolje (nadir). Kod *crosshatch* načina planiranja leta, preporučuje se podešavanje gimbala između

35° i 40° za dobivanje najboljih rezultata. Za sve ostale opcije planiranja leta preporučuje se izbjegavanje postavljanja gimballa većeg od 45°. Sljedeća stavka za podešavanje je hatch, a preporučuje se odabir kuta koji smanjuje broj skretanja drona tijekom leta. Pod karticom *advanced* moguće je postaviti *overlap* (uzdužni preklop), *sidelap* (poprečni preklop) i visinu povratka (visina s koje se dron počinje spuštati na zemlju). *Overlap* kontrolira frekvenciju učestalosti fotografiranja. Ako je *overlap* prevelik, dron smanjuje brzinu i povećava broj snimki, produljuje vrijeme leta i troši više energije iz baterija. *Sidelap* kontrolira udaljenost, odnosno širinu između putanje leta, a njegovim povećanjem putanje leta se međusobno približavaju čime se ujedno produljuje vrijeme leta. Preporuča se korištenje 75 % *overlap* i 75 % *sidelap*, osim prilikom snimanja gustog drveća i područja između visokih zgrada. U tim je slučajevima potrebno podesiti *overlap* i *sidelap* na vrijednosti veće od 75 % radi dobivanja boljih rezultata (Ibid.).

Uz prethodno navedene postavke, moguće je odrediti i mjesto na kojemu će dron uzletjeti pod opcijom *firstway point*. Moguće je uključiti opciju pri kojoj dron nastavlja letenje i u slučaju gubitka veze s daljinskim upravljačem, ali korištenje ove opcije preporuča se samo iskusnim pilotima dronova. *Lighting mode* regulira razinu ekspozicije koju dron koristi tijekom snimanja, a pri radu u normalnim uvjetima preporuča se korištenje *day light* opcije. U slučaju kada je vrijeme leta rano ujutro ili tijekom noći, potrebno je koristiti *low light* opciju. Ukoliko je potrebno, moguće je postaviti i fokalnu duljinu leća kamere pomoću *lens settings* opcije (Ibid.).

Site Scan for ArcGIS Flight Planning aplikacija nudi i opciju praćenja visine terena *terrain follow* koja omogućava dronu da automatski prilagođava visinu tijekom leta i to na temelju učitanih podataka nadmorske visine iz ESRI-eve baze *world terrain* uz zadanu toleranciju. ESRI-eva baza nadmorskih visina ima točnost od +/- 10 m i ne sadrži podatke o visinama drveća, dalekovoda i slično. Ako se snima područje u blizini navedenih objekata, potrebno je prethodno proučavanje terena i mjerenje visine objekata. Aplikacija nudi opciju *geofence* kojom se ograničava područje leta unutar planiranog poligona. Granica leta označena je crvenom bojom i moguća su 2 ponašanja drona na mjestu polijetanja. Ukoliko poleti van graničnog područja, dron će se uputiti do najbliže točke poligona i započeti snimanje. U slučaju potrebe za zamjenom baterije ili kraja leta, dron će ući i izaći na toj istoj točki na kojoj je let pokrenut. Ako polijeće unutar označenog područja leta, dron će doći do točke koju korisnik odredi i započeti snimanje. U slučaju zamjene baterije ili kraja leta, dron će sletjeti na tu će istu točku (Ibid.).



Slika 5.1 Sučelje Site Scan for ArcGIS Flight Planning aplikacije

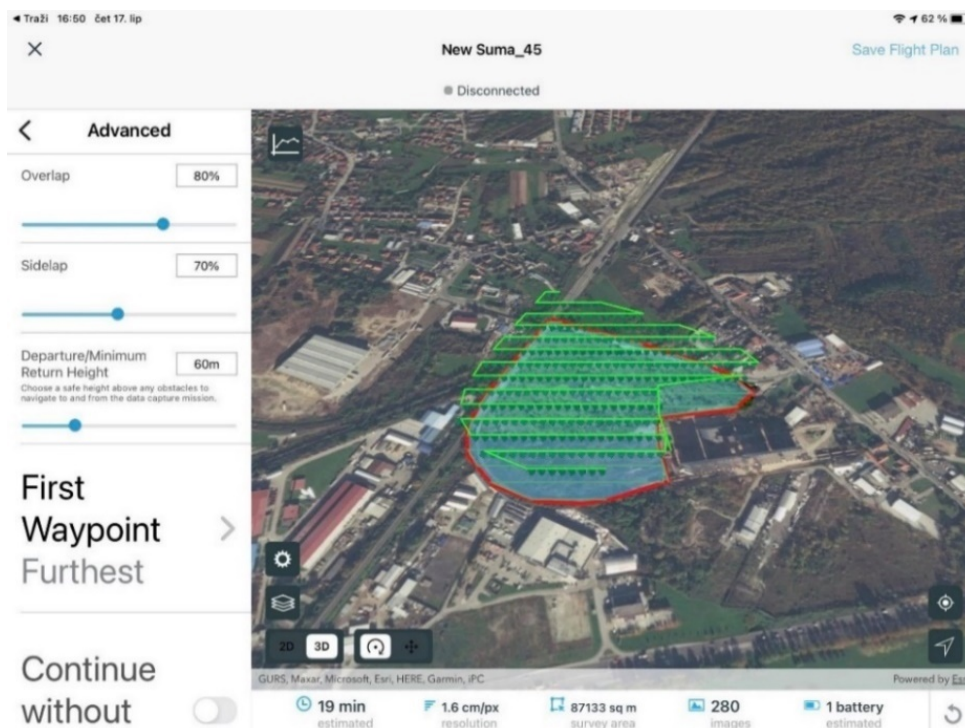
Nakon postavljanja svih prethodno opisanih parametara leta, u donjoj se traci sučelja aplikacije prikaže vrijeme trajanja leta, prostorna veličina slikovnog elementa na terenu (GSD), broj potrebnih baterija i površina snimanja (Slika 5.2). Aplikacija nudi 2D i 3D prikaz putanje leta čime je omogućena bolja predodžba leta na terenu (Slika 5.2, Slika 5.3). U 3D opciji moguće je uključiti i položaj kamere. Pošto se često operacije dronom izvode na mjestima bez internetske veze, Site Scan for ArcGIS Flight Planning nudi mogućnost spremanja izvanmrežnih planova leta. Tako korisnik prije izlaska na teren može isplanirati rutu leta, spremiti ju kao *offline* kartu te istu koristiti na bilo kojem mjestu, neovisno o dostupnosti internetske mobilne veze (Ibid.).

GSD se definira kao količina stvarnog tla snimljenog pomoću izmjerene udaljenosti između središnje točke dva susjedna piksela, odnosno to je veličina jednog piksela na tlu. Vrijednost GSD-a se računa pomoću visine leta, fokalne duljine kamere, visine ili širine senzora i visine ili širine snimke. Što mu je vrijednost niža, GSD je točniji, a njegova se točnost postiže letom na niskim visinama s više snimki. Vrijednost GSD-a najčešće se opisuje u cm/px (URL 13).

Bitno je razlikovati apsolutnu i relativnu točnost. Relativna točnost se postiže kada udaljenost između bilo koje dvije točke na dobivenom prikazu (2D ili 3D) odražava udaljenost u stvarnom svijetu u istoj mjeri. S druge strane, apsolutna je točnost ostvarena kada je svaka točka na prikazu referentna mjerilu i ima svoju točnu (stvarnu) poziciju na zemlji, odnosno određene koordinate (Ibid.).



Slika 5.2 2D prikaz putanje leta (desno), parametri leta (lijevo) i podaci o letu (dno sučelja)



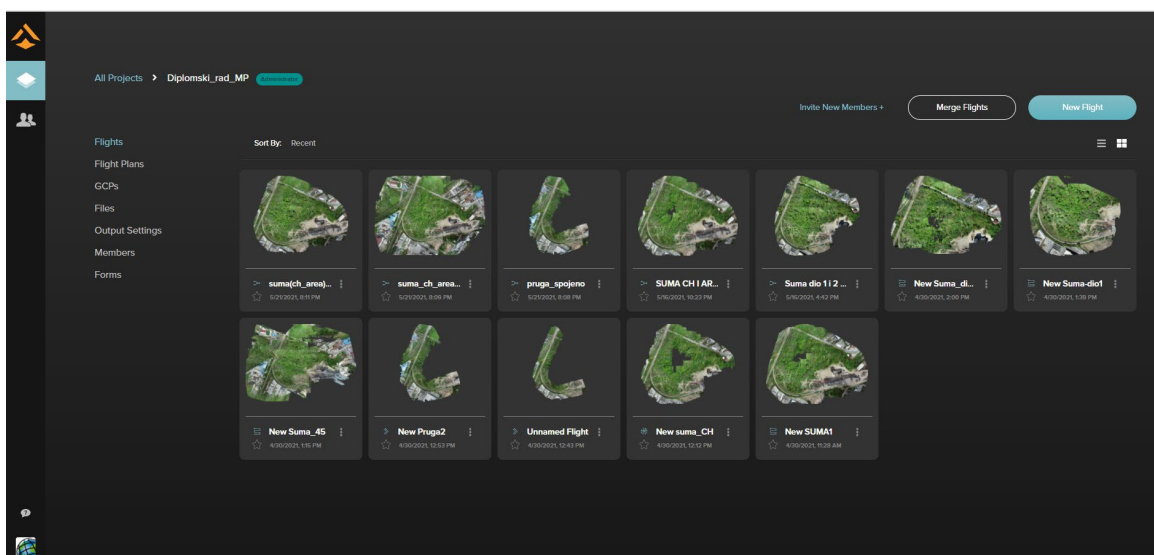
Slika 5.3 3D prikaz putanje leta s uključenom geofence opcijom (desno) i prikaz advanced parametara (lijevo)

5.1.2 Site Scan Manager

Site Scan Manager (u nastavku Site Scan) je web aplikacija koja funkcioniра na principu oblaka, a za rad je potrebna samo internetska veza. Aplikacija nudi sljedeće mogućnosti:

upravljanje letovima, planiranje leta, pregled postojećih projekata, spajanja letova, obrađivanja i procesuiranja snimki. 2D i 3D prikaze je moguće dijeliti na ArcGIS Online, ArcGIS Enterprise i AutoDesk BIM 360 platformu. Prednost Site Scan-a leži u tome što je na jednom mjestu omogućeno sve što je korisniku potrebno i to bez potrebe za korištenjem dodatnih softvera i aplikacija. Moguće je dodavanje članova unutar projekta, što u praksi olakšava dijeljenje dobivenih prikaza i bolju komunikaciju unutar tima (URL 14). Slika 5.4 prikazuje sučelje Site Scan-a i provedene letove unutar projekta.

Site Scan nudi opciju *merge flights* kojom je moguće spajanje snimki različitih letova, čime se povećava kvaliteta rezultata. Maksimalni broj snimki koje je moguće obraditi u Site Scan-u je 2500. Podržan je samo .jpg format s poznatom lokacijom snimke. Sučelje projekta sadrži 7 kartica (Slika 5.4): *flights* (prikazuje provedene letove i produkte te informacije o njima), *flight plans* (planiranje leta), GCP (zemaljske kontrolne točke), *files* (učitavanje vanjskih datoteka), *output settings* (vanjske postavke), *members* (dodavanje i pregled članova tima) i *forms* (modificiranje *check liste* prije leta), (Ibid).



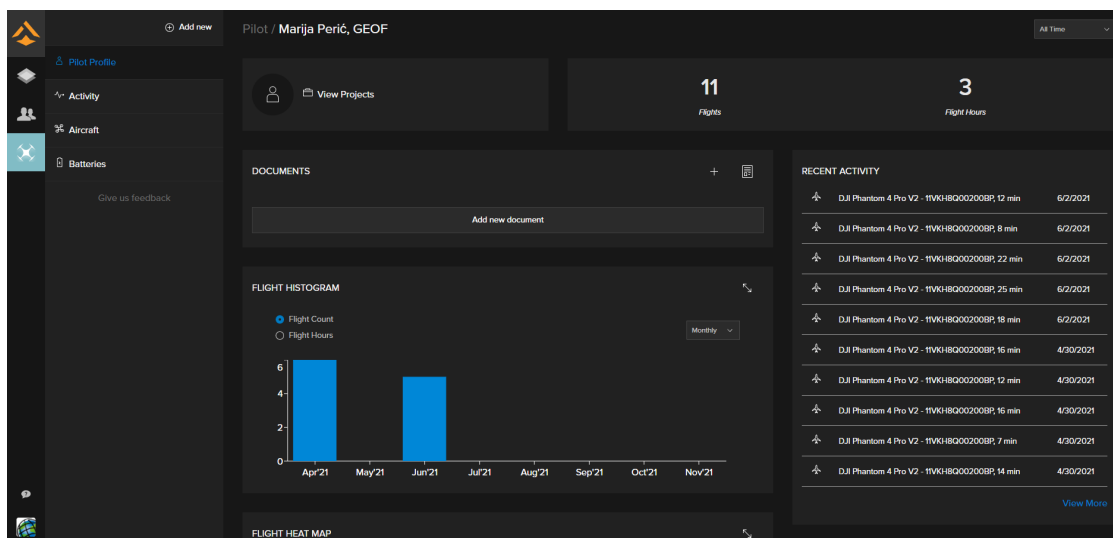
Slika 5.4 Sučelje Site Scan Managera i provedeni letovi unutar projekta

Trenutno postoje 3 vrste licenci za Site Scan (Windahl i Johnson, 2020):

1. *Viewer licenca*: Korisnik može vidjeti postojeće projekte i može koristiti alate za mjerenje, ali ne može napraviti nikakve promjene.
2. *Acess licenca*: Korisnik može koristiti sve funkcije za planiranje leta (ali ne može koristiti aplikaciju Site Scan for ArcGIS Flight Planning za letenje dronom). Administratorske funkcije *user managment* i *fleet managment* zahtijevaju ovu vrstu licence.
3. *Operator licenca*: Korisnik može obavljati operacije dronom i prenositi snimke na obradu u Site Scan Manager.

Site Scan nudi opciju *fleet managment* koja omogućuje praćenje letjelice, stanje baterije, stanje kamere i broja pilota unutar postojeće aplikacije. Pomoću ove se opcije može pratiti zdravlje baterije u ovisnosti o ukupnom broju letova. *Flight log* daje informacije o provedenim letovima, nazivu leta i projekta, organizaciji, vezu na kartu i ortofoto prikaz. *General info* prikazuje podatke o tipu leta, datumu i vremenu leta, snimkama, statusu procesuiranja i pilotu. Opcija *hardware* prikazuje model drona, serijski broj kontrolera, kameru, bateriju i ukupan broj letova drona (URL 15). Slika 5.5 prikazuje sučelje *fleet*

menagmenta s prikazom informacija o pilotu drona i provedenim letovima unutar Site Scan-a. Ova je opcija posebice korisna u poduzećima koja koriste više dronova za vlastite projekte kako bi imali brz i jednostavan pregled raspoloživih dronova za rad.



Slika 5.5 Sučelje fleet management opcije unutar Site Scan-a

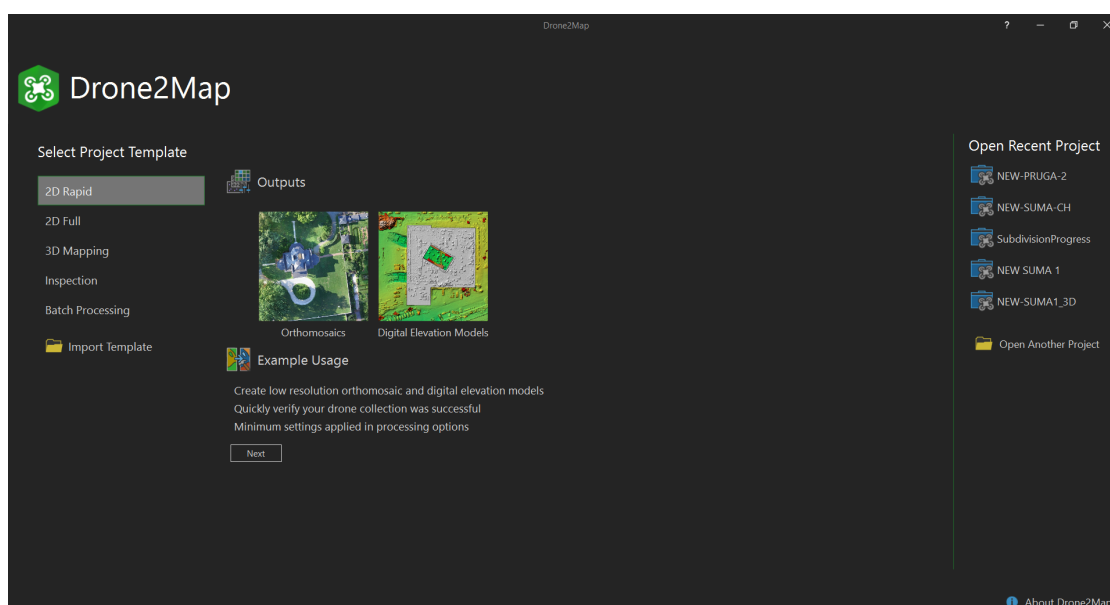
5.2 DRONE2MAP

Drone2Map je desktop računalna aplikacija koja sirove podatke, odnosno snimke drona, pretvara u 2D i 3D prikaze. Drone2Map trenutno je dostupan samo na Windows operacijskim sustavima. Podržani ulazni formati su: .jpg, .jpeg i .tiff. Za .jpg i .jpeg datoteke, podaci o lokaciji spremaju se u formatu razmjenjivih slikovnih datoteka (EXIF) svake datoteke, a učitavaju se automatski. Za .tiff datoteke, podaci o lokaciji pohranjeni su u zbirnoj tekstualnoj datoteci s X,Y,Z položajem koji se obično prijavljuje za svaku datoteku. Visina Z može biti ortometrijska (visina iznad razine mora) ili iznad početne točke leta drona. Pri učitavanju snimki, Drone2Map provjerava postoji li EXIF datoteka, a ukoliko ista ne postoji, potrebno je učitati koordinate dobivene globalnim sustavom pozicioniranja (GPS) u .txt ili csv. formatu (URL 16).

Od uvjeta hardvera, potrebna je centralna procesorska jedinica (CPU), a preporučuje se Intel i5/i7/Xeon. Za grafičku procesorsku jedinicu (GPU), preporučuje se ona koja je kompatibilna s OpenGL 3.2 i korištenje integrirane grafičke kartice (Intel HD 4000 ili novije). Za manje projekte (manje od 100 slika pri 14 MP) potrebno je 4 GB memorije s nasumičnim pristupom (RAM) i 10 GB slobodnog prostora na tvrdom disku. Srednji projekti (između 100 i 500 snimki) zahtijevaju 8 GB RAM-a i 20 GB slobodnog prostora. Veliki projekti (između 500 i 2000 snimki) zahtijevaju 16 GB RAM-a i 40 GB slobodnog prostora na tvrdom disku, a vrlo veliki projekti (više od 2000 snimki) 80 GB slobodnog prostora na tvrdom disku (Ibid.).

Drone2Map sadrži *project template*, odnosno predloške za rad s kojima se lakše i jednostavnije dobivaju željeni prikazi (Slika 5.6). Postoji 5 predložaka unutar Drone2Map-a, a to su (Ibid.):

1. *2D Rapid*: Obradom u ovom predlošku dobije se ortofoto prikaz, digitalni model terena (DTM) i digitalni model površine (DSM). Predložak daje prikaze niske rezolucije s minimalnom modifikacijom parametara pri obradi.
2. *2D Full*: Dobiju se isti proizvodi kao i kod *2D Rapid* predložka uz prikaz normaliziranog vegetacijskog indeksa (NDVI) i bolju rezoluciju dobivenih prikaza.
3. *3D Mapping*: Ova opcija omogućuje 3D .pdf prikaz, 3D oblaka točaka (*point cloud*) i *3D texture mesh*. Ovom su obradom 3D prikazi spremni za pregled u Scene View-eru ArcGIS-a.
4. *Inspection*: Omogućuje inspekciju kritičnih infrastruktura u izvornoj rezoluciji te pregled snimki željenog objekta iz svih kutova.
5. *Batch Processing*: Omogućuje kombinaciju svih prethodno navedenih predložaka i njihovo postavljanje prema prioritetima.



Slika 5.6 Drone2Map sučelje s predlošcima

Drone Collection je naziv za 4 softverska paketa koji sadrže različite ESRI-jeve softvere za prikupljanje, obradu i analizu prostornih podataka, a to su: Drone Mapping, Drone Mapping and Analysis, Online Drone Mapping i Enterprise Drone Mapping and Analysis. Drone Mapping paket sastoji se od Site Scan for ArcGIS Flight Planning aplikacije te Drone2Map i ArcGIS Online platforme za jednostavno dijeljenje podataka. Paket Drone Mapping and Analysis uključuje sve isto što i Drone Mapping, ali je moguća analiza u ArcGIS Pro-u i ArcGIS Image Analyst-u. Online Drone Mapping Collection sadrži Site Scan kolekciju: aplikaciju za planiranje leta i web aplikaciju za obradu i dijeljenje produkata na ArcGIS online platformi. Posljednji paket je Enterprise Drone Mapping and Analysis koji sadrži Site Scan for ArcGIS Flight Planning aplikaciju, Site Scan Manager te ArcGIS Enterprise, ArcGIS Image Server, ArcGIS Pro i ArcGIS Image Analyst. Tablica 5.1 daje detaljan prikaz prednosti i nedostataka svakog Drone Collection paketa. ESRI je kreirao ove pakete kako bi svakom korisniku pružio proizvod komatibilan za projekte i organizaciju unutar koje se korisnik nalazi (URL 17).

Tablica 5.1 Karakteristike dostupnih Drone Collection paketa (URL 17)

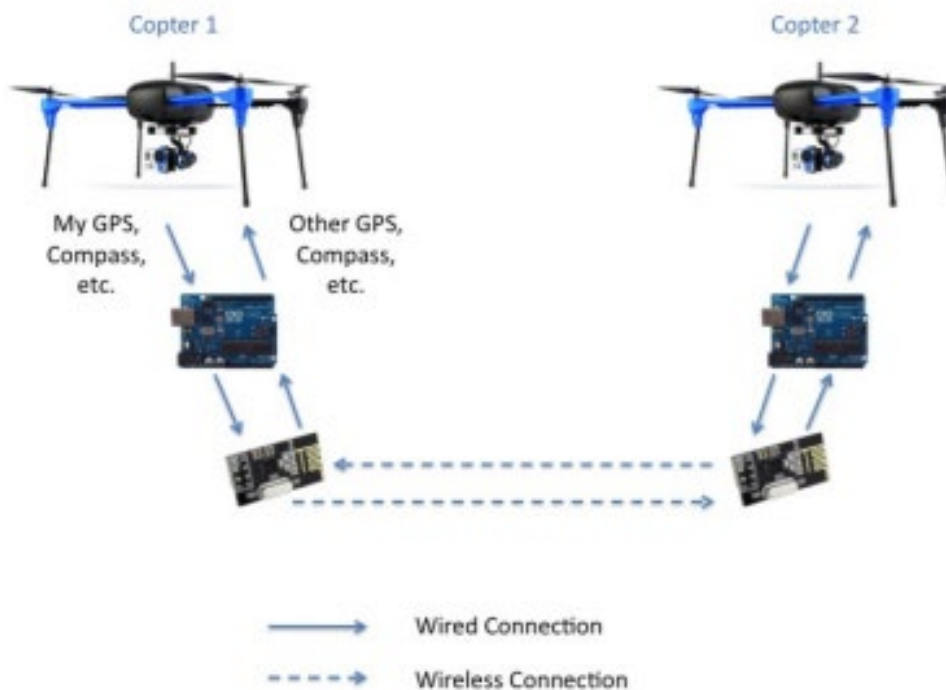
Mogućnosti	DroneMapping Collection	Drone Mapping and Analysis Collection	Online Drone Mapping Collection	Enterprise Drone Mapping and Analysis Collection
Planiranje leta	+	+	+	+
Dijeljenje i izvoz	+	+	+	+
Analiza i upravljanje	+	+	+	+
Fleet Menagment		+	+	+
Više korisnika			+	+
Premium servisi				+
Tok rada unutar poslovnog procesa				+

5.3 FLOTA DRONOVA

Pojam flota dronova podrazumijeva let s 2 ili više drona upravljanih od strane jednog kontrolera. ESRI trenutno ne podržava let flote dronova zbog sigurnosnih, ali i tehničkih zahtjeva (složeni razvoj hardvera i softvera). Flota dronova nije dostupna unutar Drone Collection-a. Također prema važećoj EU regulativi, pilot drona može upravljati samo jednim dronom s jednog kontrolera. Na tržištu nisu dostupni komercijalni dronovi koji mogu biti dio flote dronova, no kako je industrija dronova u porastu, predviđa se uporaba flote dronova u skorij budućnosti.

Do danas su provedena mnoga istraživanja i eksperimenti letenja s više dronova upravljanih od strane jednog kontrolera. Tako je Lazzaro, (2015) u svome istraživanju predstavio metodu izmjene softvera na daljinskom upravljaču marke Pixhawk i drona marke ArduCopter na temelju načela: ako su dva drona predaleko moraju se približiti, a ako su preblizu moraju se udaljiti. Ova je metoda fokusirana na koordinate te joj je prvi korak dodavanje načina za komunikaciju između više letjelica, a drugi dizajn načina na koji bi dronovi trebali koristiti podatke koje dobivaju za održavanje udaljenosti. Dronovi si međusobno šalju sljedeće tipove podataka: geografsku širinu, geografsku dužinu, visinu, utjecaj geometrijske konfiguracije na prirast pogreške horizontalnih komponenti kod pozicioniranja (HDOP) i orijentaciju kompasa. Bitna je orijentacija kompasa jer je postavljeno da jedan dron bude vođa, a ostali se poravnavaju u njegovom smjeru. Provedena su 4 pokusa, a prvi je poravnavanje kompasa drona. Dok je jedan dron u letu, drugi će automatski poletjeti u smjeru prvog. Drugi pokus je vezan uz održavanje udaljenosti između dronova. Dok je jedan dron u letu, a drugi polijeće s tla i pri tome se udaljava od zadanog razmaka, automatski se vraća na zadani razmak. Trećim pokusom testirana je udaljenost i orijentaciju kompasa drona kojim upravlja čovjek s 2 daljinska upravljača. Četvrti i posljednji pokus, konačni je cilj istraživanja. Jedan pilot upravlja s dva drona jednim upravljačem pri čemu oba podiže u zrak. Dronovi se, nakon što polete 4 m iznad tla, automatski udaljuju na zadani razmak, nakon čega se mijenja smjer drona vođe, a drugi se dron automatski uputi za njime. Opcija povratka omogućuje softveru da raspozna

koji je dron najbliži početnom položaju pri čemu će prvi sletjeti, a nakon njega, sletjeti će i drugi. Slika 5.7 prikazuje način komunikacije između 2 drona. Istraživanje je dalo pozitivne rezultate s niskim troškovima opreme. Trenutno se provode istraživanja s korištenjem računalnog vida, a u budućnosti se predviđa sve veća primjena flote dronova u agronomiji, kriznim situacijama, transportu i ostalim djelatnostima kojima su dronovi česti alat primjene.



Slika 5.7 Skica komunikacije između dronova (Lazzaro, 2015)

6. SNIMANJE DRONOM ZA POTREBE IZRADE LINIJSKIH I POVRŠINSKIH MODELA

6.1 ZADATAK

Cilj ovog rada ispitivanje je mogućnosti načina snimanja površinskih i linijskih objekata dronom te analiza obrađenih snimki, odnosno dobivenih 2D i 3D prikaza u 3 različita softvera. Kako će se za snimanje koristiti prethodno opisana aplikacija za planiranje leta Site Scan for ArcGIS Flight Planning, dio zadatka čini ispitivanje mogućih načina za snimanje linijskih i površinskih objekata. Planirano je snimanje na području silosa Resnik u Zagrebu pošto se na tom području nalazi šuma i željeznička pruga (Slika 6.1, Slika 6.2). Navedeni objekti idealni su za ovo ispitivanje i izradu njihovih modela. U funkciji je samo zapadni dio željezničke pruge, dok dio pruge u neposrednoj blizini silosa nije. Izvršeno je snimanje nad katastarskom česticom 3350/3 i njoj susjednima u katastarskoj općini Resnik.

U uvodu je spomenut projekt ispitivanja mogućnosti dronova za snimanje kojeg su proveli studenti diplomskog studija geoinformatike na Geodetskom fakultetu u Sveučilišta u Zagrebu. Na projektu su ispitane mogućnosti snimanja vertikalnih, površinskih i linijskih objekata na području silosa Resnik. Prije svega je bilo potrebno upoznati se s letjelicom, zakonskom regulativom i procesom registracije pilota drona. Nadalje je razrađen plan snimanja i izvršeno je planiranje leta u Site Scan for ArcGIS Flight Planning aplikaciji. Dolaskom na teren, studenti su se susreli s problemom rada drona zbog niske temperature i blizine okolnih telekomunikacijskih antena što je uzrokovalo probleme s upravljanjem drona. Pri snimanju nisu korištene GCP točke te su, nakon obrade snimki u Site Scan-u, dobivene netočne visine objekata. U konačnici, relativna je točnost dobivenog 3D modela i ostalih prikaza, ipak bila zadovoljavajuća, dok apsolutna točnost nije. Sve su navedene stavke uzete u obzir kod praktične izrade ovog rada.



Slika 6.1 Šuma (zelena površina) i pruga (crvena linija)



Slika 6.2 Prikaz silosa Resnik, okolne šume i pruge na Google Maps 3D opciji

6.2 KORIŠTEN INSTRUMENTARIJ I SOFTVERI

Za snimanje pruge i šume korišten je dron DJI Phantom 4 Pro v2.0 kineskog proizvođača DJI. Phantom 4 Pro v2.0 je predstavljen u svibnju 2018. godine te u odnosu na prethodni model, ima novi prijenosni sustav i propelere (elise) kojima proizvodi manje buke. Phantom 4 Pro v2.0 se sastoji od bespilotne letjelice tipa multirotor (*kvadkopter*) i daljinskog upravljača, odnosno kontrolera (Slika 6.3). Konstrukcija drona izrađena je od legure titanija i magnezija čime se postiže dostatna krutost trupa i smanjuje masa. Dron je opremljen s 4K Ultra HD kamerom koja se nalazi na gimbalu (rotira oko 3 osi), a posjeduje integrirani sustav za prijenos slike *ocuSync*, sustav za video pozicioniranje i protu-sudarne senzore. Kamera posjeduje i ugrađeni mehanički zatvarač koji eliminira izobličenja uzrokovana snimanjem objekata u pokretu ili pri letu velikom brzinom. Dron ima ugrađen i *flight autonomy* sustav za zračnu inteligenciju koji uključuje senzore za raspoznavanja 5 smjerova prepreka. Maksimalna brzina leta je 20 m/s, a najdulje vrijeme leta 30 min (uz pretpostavku potpuno napunjene akumulatorske baterije). Kako bi se održalo zdravlje baterije, ugrađen je sigurnosni sustav koji sprječava prekomjerno pražnjenje i punjenje i omogućava automatsko pražnjenje u slučaju dugotrajnog skladištenja (URL 18). Dodatne specifikacije korištene letjelice dane su Prilogu br. 1.



Slika 6.3 DJI Phantom 4 Pro v2.0 dron (lijevo) i daljinski upravljač (desno) (URL 18)

Nakon provedenog snimanja, izvršena je obrada u sljedeća 3 softvera: Site Scan-u, Drone2Map-u i Agisoft Metashape Pro-u (u nastavku Agisoft). Site Scan i Drone2Map su softveri kreirani od strane ESRI-a i kompatibilni su s ArcGIS proizvodima. Za dodatnu obradu korišten je i Agisoft pošto je jedan od češće korištenih softvera u geoinformatičkoj djelatnosti i kako bi sama usporedba dobivenih rezultata bila što kvalitetnija.

Agisoft je softver za konverziju digitalnih snimki (snimke iz zraka, snimke izbliza i satelitske snimke) u 2D i 3D prikaze koje je moguće povezati s GIS-om te pomoću njih vršiti mjerenja i daljnje analize. Softver omogućuje rad s RGB i multisppektralnim snimkama iz kojih se dobiva sljedeće: gusti oblak točaka, teksturirani poligonalni 3D model, georeferencirani ortofoto prikaz te DSM ili DTM. Agisoft omogućuje obradu do 50 000 snimki, što uvelike ovisi i o performansama računala. Preporučuje se korištenje sljedećih operacijskih sustava: Windows 7 SP 1 ili novije (64 bit), Windows Server 2008 R2 ili novije (64 bit), macOS Mojav ili novije i Debian/Ubuntu (64 bit). Najoptimalniji procesor za korištenje softvera je Intel Core i7 ili AMD Ryzen 7, a preporučuje se GPU Discrete NVIDIA ili AMD GPU i32. Broj snimki za obradu ovisi o dostupnom RAM-u i o odabranim parametrima tijekom rekonstrukcije. Ako je rezolucija fotografije 10 M px, dovoljno je 4 GB RAM-a za izradu modela od 30 do 50 snimki. Tako će 16 GB RAM-a omogućiti obradu od 300 do 400 snimki. Za GPU se savjetuje korištenje NVIDIA GeForce GTX 7xx serije i novije s CUDA podrškom ili AMD Radeon 9 serije i novije sa OpenCL 1.2 podrškom. Kod obrade snimki poželjno je korištenje izdvojene grafičke kartice s vlastitom radnom memorijom i onemogućavanje korištenja integrirane GPU i CPU kako bi obrada bila što kvalitetnija (Agisoft, 2021).

Obrada u Drone2Map-u i Agisoft-u ovisi o performansama računala te je potrebno zadovoljiti osnovne uvjete. Za obradu u ovome radu korišteno je prijenosno računalo ASUS Vivobook 15 M513 (Tablica 6.1).

Tablica 6.1 Karakteristike korištenog računala

Naziv komponente	Opis
Operacijski sustav	Windows 10 Home
Procesor	AMD Ryzen™ 7 4700U procesor 2,0 GHz
GPU	Radeon RX Vega 8 (Ryzen 4000)

CPU	AMD Ryzen 7 5700U, Integrirani GPU: Radeon RX Vega 8
RAM	8 GB

6.3 RADNJE PRIJE SNIMANJA

Nakon odabira područja koje će biti predmet snimanja, potrebno je proučiti zakonsku regulativu vezanu uz snimanje i utvrditi nalazi li se isto u zoni zabrane leta. Sukladno Provedbenoj Uredbi koja je detaljno opisana u poglavlju 3, planirana operacija snimanja spada pod otvorenu kategoriju, odnosno A2 potkategoriju. Za izvođenje operacije u ovoj potkategoriji, potrebno je položiti online ispit samo-osposobljavanja (za A1/A3 potkategoriju) i teorijski ispit znanja (A2 potkategorija). Za polaganje navedenih ispita nadležna je CCAA. U Prilogu br. 2 nalazi se potvrda o položenom ispitu za udaljenog pilota. Također, operator drona dužan je prema Uredbi (EZ) 785/2004 nabaviti policu osiguranja koja se odnosi na treće osobe (npr. imovinska šteta ili ozljeda osobe uzrokovana padom dronom).

Sukladno Uredbi o snimanju iz zraka, snimanje za potrebe izrade rada spada pod ciljana snimanja te je bilo potrebno ishoditi dozvolu od strane uprave silosa Resnik (Prilog br. 3). Također je bilo potrebno zatražiti i odobrenje za snimanje od Državne geodetske uprave i priložiti svu potrebnu dokumentaciju. Nakon odobrenja snimanja od strane Državne geodetske uprave (Prilog br. 4), još je samo bilo preostalo prijaviti let Jedinici za upravljanje zračnim prostorom (AMC). AMC je združena civilno-vojna fokusna točka nadležna za dnevno upravljanje zračnim prostorom pod nadležnošću Republike Hrvatske, ustrojena radi pružanja usluga Hrvatskoj kontroli zračne plovidbe (HKZP). Prijava leta vrši se na AMC portalu, preko internetske stranice ili mobilne aplikacije. Ukoliko se let prijavljuje prvi puta, navedenu je prijavu potrebno podnijeti 10 dana prije željenog datuma, odnosno rezervirati zračni prostor. Svaki se sljedeći let prijavljuje 7 dana prije datuma leta. Kod rezervacije zračnog prostora potrebno je označiti željeno područje snimanja, provjeriti zonu, označiti vrijeme i datum snimanja te navesti polumjer i visinu snimanja (URL 19).

Potrebno je pratiti i vremensku prognozu za planirani dan snimanja, naročito temperaturu zraka, brzinu vjetera i mogućnost magle. Pri negativnim ili nisko-pozitivnim temperaturama, uz prisustvo vlage, dolazi do stvaranja sloja leda na tijelu drona što uzrokuje prestanak rada drona. Pri većoj brzini vjetera, potrebno je pripaziti da dron ne ostane bez baterije pošto su uvjeti letenja otežani. Ukoliko je brzina vjetera veća od 10 m/s, letenje dronom se ne preporučuje. Operaciju dronom treba izvesti pri stabilnim vremenskim uvjetima na terenu (Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo, 2020).

6.3.1 Planiranje leta

Kao što je već napisano, za planiranje leta korištena je Site Scan for ArcGIS Flight Planning aplikacija (opisana u poglavlju 5). Ukupno je isplanirano 8 letova, od čega 6 za šumu i 2 za prugu. Sedam je letova planirano za datum 30.4.2021., a 2.6.2021. provedeno je još jedno dodatno snimanje šume.

Za planiranje snimanja pruge korišten je *corridor* način, pošto je to jedina dostupna opcija za snimanje linijskih objekata. Putanju leta drona moguće je podesiti iznad linije trase ili pored i uzduž trase. Nakon kreiranja plana leta, potrebno je postaviti putanju po centru trase (u ovom slučaju pruge) i dodati velike bijele točke ukoliko je potrebno zaobljavanje

trase (Slika 6.5). Trasu je moguće produžiti odabirom ikone plusa na završetku iste. Sljedeća je stavka širina trase, a 6 m je najmanja vrijednost koju se za istu može postaviti. Ako se izabere opcija leta uzduž i poprijeko trase, potrebno je postaviti *offset* vrijednost (udaljenost između putanje leta i snimane površine). Ukoliko se odabere opcija leta iznad trase, potrebno je postaviti samo visinu leta, a u slučaju leta pored ili iznad trase, potrebno je postaviti minimalnu, maksimalnu i povratnu visinu. Pod *advanced*, preporučuje se postavljanje *overlap* i *sidelap* na 75%, a gimbala na 0°.

Tablica 6.2 prikazuje prethodno opisane i postavljene parametre za 2 snimanja pruge. Kod leta Pruga 2, gimbal je postavljen na 30°, što se u literaturi preporučuje za vertikalne objekte, ali za ovaj specifični slučaj nije predstavljalo grešku. *Overlap* i *sidelap* su također povećani, čime je ujedno povećan i broj snimki, trajanje snimanja te broj potrebnih baterija. 3D prikaz putanje leta (Slika 6.4) koristan je prije odlaska na teren jer prikazuje trajektoriju leta u prostoru s uključenim položajem kamera, a ujedno na temelju 3D prikaza omogućuje izmjenu parametara leta (ukoliko je potrebno).

Tablica 6.2 Parametri letova za snimanje pruge u corridor načinu

Naziv leta	Let iznad trase i širina koridora (m)	Visina leta (m), početka i povratka (m)	Overlap/Sidelap (%) i nagib gimbala (°)	Trajanje leta (min) i broj baterija	Rezolucija (cm/px), površina (m ²) i očekivani broj snimki	Datum snimanja
Pruga 1	DA, 6	55, 50	80/70, 0	11, 1	1.2, 3731, 163	30.4.2021.
Pruga 2	DA, 10	55, 55	80/70, 30	10, 1	1.2, 5590, 151	30.4.2021.



Slika 6.4 3D prikaz putanje leta u corridor načinu



Slika 6.5 2D prikaz putanje leta u corridor načinu

Samo je jednom provedeno snimanje šume tipom *area*. Nakon kreiranja leta i označavanja površine koja se želi snimiti, bilo je potrebno podesiti visinu leta (ovisno o željenoj rezoluciji), nagib gimbala (preporučuje se 0°) i nagib hatcha (po izboru). Pod *advanced*, za *overlap* preporučuje se 70% i više, a *sidelap* 65% i više. Za ovaj let uključena je *terrain follow* opcija s visinom leta od 70 m i *geofence* opcija (Slika 6.6). Tablica 6.3 prikazuje sve ostale parametre planiranog leta načinom *area*.

Tablica 6.3 Parametri leta za snimanje šume u area načinu

Naziv leta	Visina leta (m), početka i povratka (m)	Overlap i sidelap (%)	Nagib gimbala i hatcha ($^\circ$)	Trajanje leta (min) i baterije	Rezolucija (cm/px), površina snimanja (m^2) i očekivani broj snimki	Datum snimanja
Šuma area	70, 70	80, 70	0, 90	30, 2	1.5, 109 872, 430	30.4.2021.



Slika 6.6 2D prikaz putanje leta- area način s uključenom geofence i terrain follow opcijom

Crosshatch način korišten je za 5 snimanja šume, pošto se isti preporučuje za snimanje površina s visinskim razlikama te snimanje vertikalnih objekata. *Crosshatch* karakteriziraju linije leta, odnosno putanje u obliku šrafura, a u odnosu na *area* način povećava vrijeme trajanja leta, broj baterija i broj snimki. Kod tog načina *gimbal* je automatski postavljen na 35° , što omogućuje veću razinu detalja snimki. Za najbolje rezultate preporučuje podešavanje gimballa između 35° i 40° , a optimalna je visina leta 30 m iznad svih prepreka. Pri podešavanju parametara, moguće je podesiti visinu leta i nagib hatcha. Pod *advanced* preporučuje se 70% *overlap* i 65% *sidelap* te postavljanje željene visine polaska i povratka drona. Tablica 6.4 prikazuje prethodno opisane i ostale parametre leta. U Prilogu br. 5 dane su karte planiranih letova koje prikazuju putanju letjelice, položaj snimki i područje snimanja.

Tablica 6.4 Parametri letova za snimanje šume u *crosshatch* načinu

Naziv leta	Terrain follow i geofence	Visina leta (m), početka i povratka (m)	Overlap (%) i sidelap (%)	Nagib gimballa i hatcha ($^\circ$)	Trajanje leta (min) i broj baterija	Rezolucija (cm/px), površina (m^2) i očekivani broj snimki	Datum snimanja
Šuma CH	DA, DA	60, 90	70 i 60	0, 90	33 i 2	1.3, 85 111, 441	30.4.2021.
Šuma CH 45	NE, DA	60, 60	80 i 70	45, 90	30 i 2	1.3, 87 133, 461	30.4.2021.
Šuma dio 1	NE, NE	60, 60	85 i 75	0, 103	21 i 1	1.3, 43 923, 359	30.4.2021.

Šuma dio 2	NE, NE	60, 60	85 i 75	0, 90	32 i 2	1.3, 62 126, 513	30.4.2021.
Šuma 2.6	DA, DA	60, 70	85 i 80	35, 90	134 i 6	1.3, 100 001, 2130	2.6.2021.

6.4 TERENSKI DIO

6.4.1 Postavljanje kontrolnih točaka

Dolaskom na teren, prvo je bilo potrebno postaviti GCP točke. Kako bi dobiveni prikazi i modeli bili smješteni na stvarnoj lokaciji, nužno je ostvariti apsolutnu točnost pomoću GCP točaka, dok pri ostvarivanju relativne točnosti, GCP točke nisu potrebne. Bitno je razlikovati kontrolne točke i GCP točke. Naime, kontrolne se točke koriste u naknadnoj obradi za provjeru točnosti sa stvarnim položajem, dok se GCP točke koriste za izjednačavanje blokova te u njihovom povezivanju s referentnim koordinatnim sustavom. Preporučuje se postavljanje minimalno 3 GCP točke, ali je optimalno 5. Potrebno ih je ravnomjerno rasporediti na području snimanja i pri tome izbjegavati kutove i rubna područja. Također ih se ne bi trebalo smjestiti u blizini drveća i drugih objekata koji ih na snimkama mogu nadvisit. Za signalizaciju točaka, najbolje je koristiti ploče od tvrdog materijala i jasnog uzorka (crno-bijeli) sa mat premazom. Premaz sprječava stvaranje odsjaja na snimkama. Pri snimanju područja s naglašenim visinskim promjenama, potrebno je postaviti dodatne GCP točke. GCP točke se mogu označiti sprejom (preporučuje se označavanje točke u obliku slova l, a ne x), ukoliko nije potrebno da dulje vrijeme ostanu na terenu. Nakon postavljanja GCP točaka, odabire se prikladna geodetska metoda za očitavanje koordinata ovisno o traženoj točnosti (URL 20). Pije odlaska na teren, razmotrene su optimalne lokacije postavljanja GCP točaka. Dolaskom na teren, rekognosciralo se cijelo područje snimanja. Potom su odabrane lokacije 6 GCP točaka vidljive na snimkama i bez okolnih objekata koji bi ih mogli nadvisit. Za signalizaciju točaka korištene kvadratne ploče šahovskog uzorka (Slika 6.8) i označavanje crvenim sprejom (Slika 6.7)



Slika 6.7 Signalizacija crvenim sprejom



Slika 6.8 Signalizacija kvadratnom pločom

Nakon smještanja točaka na planirane lokacije (Slika 6.9), uspostavljena je veza na državnu mrežu referentnih stanica Republike Hrvatske (CROPOS) korištenjem GPS RTK uređaja (Trimble R8). Od 3 vrste usluga koje CROPOS nudi, za ovaj rad korišten je visoko precizni servis pozicioniranja u realnom vremenu (VPPS). Svaka je GCP točka izmjerena s 20 intervala od 1 sek, čime je osigurana visoka centimetarska točnost dobivenih 3D koordinata. Prilikom drugog snimanja, nisu korištene iste lokacije GCP točaka. Koordinate GCP točaka određene su u službenom projekcijskom koordinatnom referentnom sustavu poprečne Mercatorove projekcije (HTRS96/TM). Tablica 6.5 sadrži koordinate GCP točaka prvog snimanja, a Tablica 6.6 drugog snimanja.



Slika 6.9 Položaj GCP točaka unutar područja snimanja za snimanje 30.4.2021.

Tablica 6.5 Koordinate GCP točaka za snimanje 30.4.2021

Naziv točke	E (m)	N (m)	H (m)
1	466315.801	5074304.318	114.855
2	466297.292	5074269.59	115.599
3	466221.855	5074085.478	115.229
4	466439.778	5074074.312	113.332
5	466473.365	5073983.581	113.317
6	466553.403	5074187.184	114.03

Tablica 6.6 Koordinate GCP točaka za snimanje 2.6.2021

Naziv točke	E (m)	N (m)	H (m)
10	466446.907	5073979.743	113.518
20	466437.792	5074070.412	113.589
30	466561.813	5074194.061	115.261
40	466412.660	5074257.251	112.711
50	466295.837	5074270.024	115.675
60	466221.614	5074099.535	115.515

6.4.2 Snimanje površinskog objekta (šuma)

Prije početka snimanja, potrebno je proučiti teren i njegovu okolinu kako bi se utvrdio: rizik od visinskih prepreka, rizik od zapreka održavanja drona unutar VLOS-a te rizika od

prelijetanja neuključenih osoba i kritičnih infrastruktura. Pri procjeni rizika od prelijetanja kritičnih infrastruktura, bitno je obratiti pažnju na objekte koji mogu uzrokovati elektromagnetsko ometanje signala (npr. dalekovodi, antene odašiljača, trafostanice, blizina željezničke pruge, elektropostrojenja i slično). Također je bitno provjeriti hoće li dron biti unutar VLOS-a tijekom cijelog leta. U slučaju ulaska neuključenih osoba na područje snimanja tijekom leta, to je područje potrebno preletjeti u što kraćem vremenu (Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo, 2021).

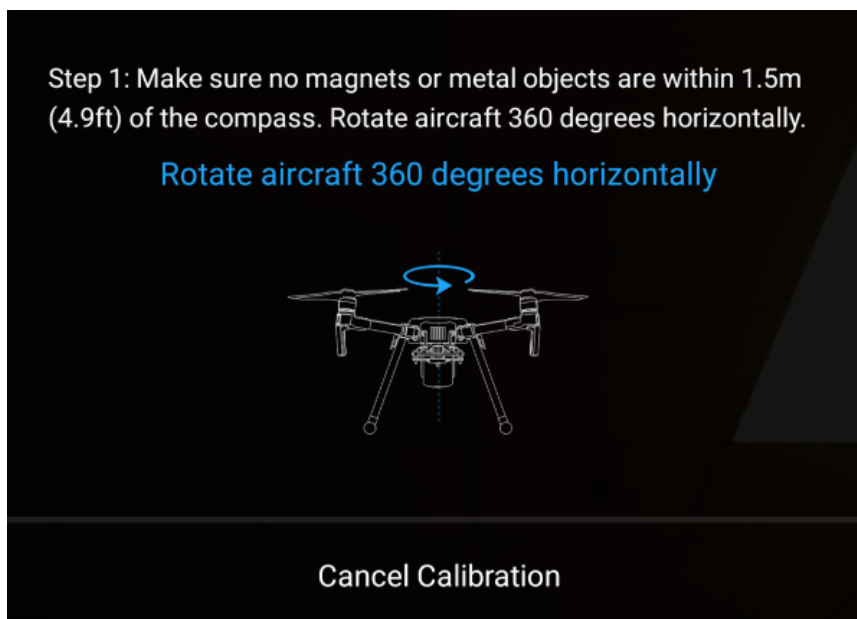
Na području šume, visina letova je iznosila 60 i 70 m, čime je osiguran dovoljan razmak između drona i visinskih prepreka (drveća, stupova i zgrada silosa). Osim antene na zgradi silosa (koja nije bila uključena u snimanje), u blizini nije bilo kritičnih objekata koji bi ometali rad drona. Nije bilo prisustva neuključenih osoba tijekom leta. Prije samog početka leta bilo je potrebno provjeriti dron i opremu za let. Tablica 6.7 sadrži pregled izvršenih provjera.

Tablica 6.7 Stavke za provjeru UAV prije početka leta (Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo, 2021)

Naziv provjere	Opis provjere
Dijelovi drona i daljinskog upravljača	Originalni i u ispravnom stanju
Kontroler i baterija	Napunjeni
Objektiv kamere	Nema prljavštine i stranih objekata
SD kartica	Umetnuta, ima dovoljno memorije
Gimbal	Slobodan za okretanje
Propeleri (elise)	Pričvršćeni za motore
Kompas	Kalibriran
Korišteni softveri	Ažurni
Senzori za izbjegavanje prepreka	Čisti

Nakon provjera, još je samo bilo preostalo izvršiti: kalibraciju *vision* sustava pozicioniranja, kalibraciju IMU sustava i kompasa drona i resetiranje postavki kamere. Kalibracija navedenih sustava može se izvesti na više načina, a najjednostavniji je pomoću mobilne aplikacije DJI GO 4. Aplikacija se poveže s dronom, pri čemu je potrebno ručno okretati dron u smjeru koji aplikacija nalaže (Slika 6.10), (Marić i dr., 2019). Obvezna je aktivacija leta na AMC portalu (preko mobilne aplikacije) kako bi se označio početak aktivnosti unutar rezerviranog zračnog prostora.

Posljednji korak je ulazak u planirani let unutar Site Scan for ArcGIS Flight Planning aplikacije i odabir opcije *fly*. Aplikacija još jedanput provjerava sljedeće stavke za izvođenje leta: *aircraft check* (provjerava kalibraciju senzora drona), *camera check* (provjerava količinu memorije na SD kartici i kalibraciju kamere), *battery check* (provjerava razinu baterije) i *flight check* (provjerava učitanoost postavki leta), (ESRI, 2021). Let započinje nakon zadovoljenja svih navedenih provjera.



Slika 6.10 Kalibracija u DJI GO 4 aplikaciji

Snimanje je šume provedeno u dva termina: 30.4.2021. i 2.6.2021. Obradom snimki prvog snimanja (5 letova), pri čemu je korišten manji preklop, utvrđen je nedostatak snimki i nepotpunost dobivenih 2D i 3D prikaza. Iz tog razloga snimanje šume je bilo ponovljeno uz korištenje većeg preklopa, čime su u konačnici postignuti bolji rezultati. Meteorološki su uvjeti bili zadovoljavajući te nije došlo do smetnji u radu drona tijekom oba snimanja šume. Konačno, sva su planirana snimanja izvršena uspješno i unutar predviđenog roka.

6.4.3 Snimanje linijskog objekta (pruga)

Snimanje je pruge obavljeno dvama letovima u jednom navratu (30.4.2021). Vremenski su uvjeti bili zadovoljavajući te je proučen teren prije snimanja. Također je izvršena provjera drona i njegove opreme (Tablica 6.7). Zatim je provedena je i kalibracija drona te je prijavljena aktivnost na AMC portalu. Snimanje pruge odvijalo se na visini od 50 i 55 m. Tijekom leta, vlak je prolazio nekoliko puta, ali zbog dovoljnog visinskog razmaka vlaka i drona, nije došlo do ometanja rada drona. Također nije bilo prisustva neuključenih osoba, a pilot drona je imao cijelo vrijeme dron držao na vidiku.

Nakon svih uspješno obavljenih snimanja, označen je kraj aktivnosti na AMC portalu. Zatim je bilo napravljeno sljedeće: isključivanje drona i kontrolera, provjera temperature baterije i motora (kao prevencija pregrijavanja), odvajanje i spremanje baterije te provjera ispravnosti svih ostalih komponenti. Za kraj, sve su snimke sa SD kartice bile prebačene na tvrdi disk.

6.5 TIJEK I PRODUKTI OBRADE PODATAKA

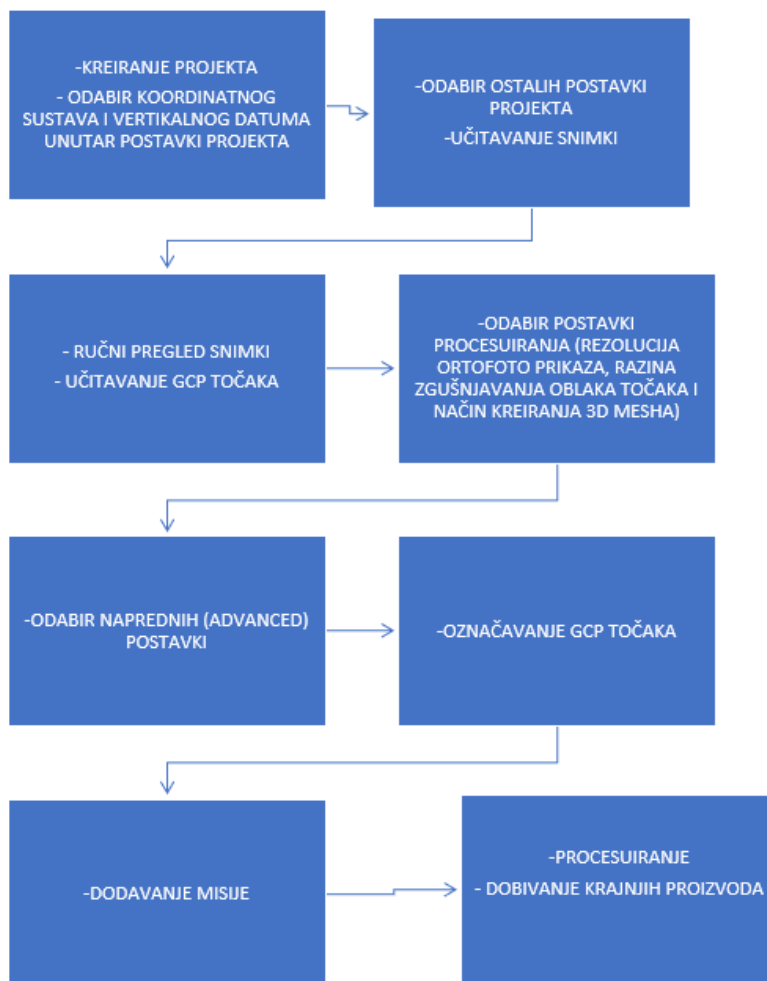
6.5.1 Site Scan

Obrada unutar Site Scan-a započinje kreiranjem projekta unutar kojeg se prikazani letovi (koji se sinkroniziraju s aplikacijom) i učitavaju snimke za svaki let. Pod GCP's karticom, potrebno je učitati .csv ili .txt datoteku s koordinatama GCP točaka, označiti horizontalni

koordinatni sustav, označiti vertikalni datum te izabrati mjerne jedinice. Ulaskom u projekt moguće je vidjeti položaj snimki, položaj GCP točaka i pregledati snimke. U cilju postizanja apsolutne točnosti, potrebno je georeferencirati GCP točke, a preporučeno je označiti svaku GCP točku na 5 do 8 snimki.

Sljedeći je korak podešavanje parametara obrade pod *process*, kojim je moguće postaviti kvalitetu ortofoto prikaza, razinu gustoće oblaka točaka i kvalitetu *3D mesha*. Pod karticom *advanced* podešava se sljedeće: provjera geometrije, *multiscale point cloud densification*, točnost lokacije, ulazni vertikalni datum, parametri orijentacije kamere, prilagođeni parametri kamere, optimizacija podudaranja parova snimki, *rolling shutter* optimizacija i veličina piksela. Odabirom na opciju *process*, započinje obrada snimki i javlja se poruka o predviđenom trajanju obrade. Slika 6.11 prikazuje prethodno opisani tijek obrade u Site Scan-u. Korisna stavka Site Scan-a je mogućnost slanja obavijesti na e-mail adresu prilikom završetka obrade (URL 14).

Za izradu ovog rada, pod karticom *process*, postavljeni su sljedeći parametri: kvaliteta ortofoto prikaza (visoka), razina gustoće oblaka točaka (visoka) i kvaliteta *mesha* (visoka). Uključena je opcija *boundary cropping*, provjera geometrije i *multiscale point cloud densification*. Za vertikalni datum odabran je gravitacijski model zemlje odnosno geoid (EGM), EGM 96, a ostali su parametri ostavljeni automatski namješteni. Nakon obrade snimki prikazuju se sljedeće kartice: 2D prikazi, *timeline* (za vremensku usporedbu), *cloud* (za prikaz oblaka točaka) i *mesh* (za prikaz 3D modela). Kartica 2D prikazi sadrži: *layers* (sadrži različite prikaze), *files* (učitavanje vanjskih datoteka) i *measure* (provedena mjerenja: duljina, volumen, oznaka, brojanje i inspekcija snimki). Prilikom otvaranja *layers* opcije, prikazuju se: GCP točke, lokacije snimki, dobiveni ortofoto prikaz i *elevation data* prikazi. Pod *elevation data* nalaze se 2D visinski prikazi terena. Moguće je odabrati DTM ili DSM. DSM je češće korišten za GIS i kartografiju, a DTM za inženjersku geodeziju. Site Scan nudi *contour* prikaz (izohipise), *elevation model* (prikaz DTM-a ili DSM-a), *cut fill* alat i *hillshade* prikaz (Ibid.).



Slika 6.11 Tijek obrade u Site Scan-u

Cut fill alat se koristi za detekciju područja na kojima je došlo do promjene visine terena uklanjanjem ili dodavanjem površinskog materijala, a najčešća se primjenjuje za: detekciju područja erozije i taloženje sedimenata u rijekama, izračun volumena i površine materijala koji se uklanja, detekciju optimalnog područja za izgradnju u blizini klizišta i slično. Za usporedbu je moguće odabrati trenutni prikaz terena, učitati vanjsku datoteku ili usporediti sa drugim prikazom unutar projekta. Uključivanjem prikaza mreže, vizualizira se volumen kvadrata i visinska razlika unutar kvadrata mreže. Ovaj alat ne nudi većina komercijalnih softvera i stoga je koristan za korisnika. Zahvaljujući brzjoj obradi Site Scan-a, podatke o promjeni visine terena moguće je jednostavno dobiti bez posezanja za drugim softverima i alatima. Uz sve navedeno, ovaj alat je dostupan i unutar ArcGIS Pro-a (URL 21).

Hillshade daje 2D prikaz terena u sivim tonovima, pri čemu se zasjenjivanje slike postiže relativnim položajem sunca. Opisana se tehnika koristi za vizualizaciju terena pomoću nadmorske visine i azimuta (za određivanje položaja sunca). Bitno je napomenuti da se radi o kvalitativnoj metodi vizualizacije terena koja nema apsolutnu točnost (URL 22).

Od 3D prikaza moguće je dobiti *point cloud*, odnosno oblak točaka i *3D mesh*. *Point cloud* je set točaka koje imaju stvarnu X,Y i Z koordinatu smještenu u 3D sceni. Boja svake točke oblaka ista je boji objekta kojeg predstavlja, dok je rezolucija lošija u odnosu na rezoluciju ortofoto prikaza i *3D mesha*. Moguće je podesiti broj i veličinu točaka oblaka te izmjeriti sljedeće: duljinu, visinu, površinu i kut. Moguća je izrada visinskih profila, provedba inspekcije snimki i označavanje područja interesa pomoću alata *marker tool*. *3D*

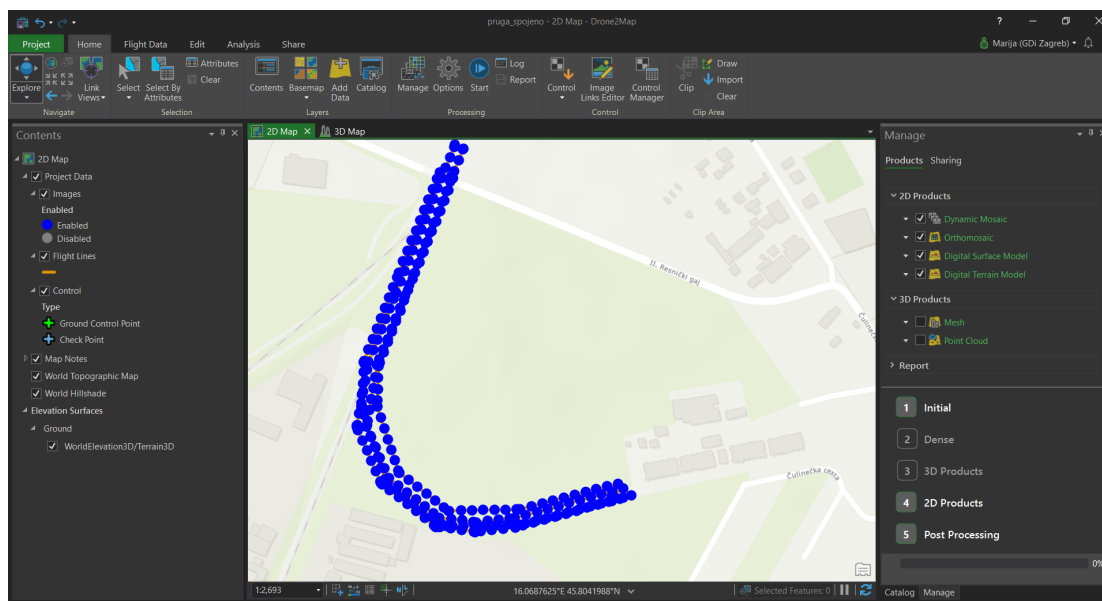
mesh je kontinuirana trodimenzionalna ploština kreirana iz snimki, a koristi se za vizualizaciju. Kod Site Scan-a, *3D mesh* nije smješten u prostoru, ali mu je relativna točnost zadovoljena. Site Scan nudi *virtual reality* ili virtualna realnost (VR), odnosno opciju pogleda korištenjem odgovarajućih pomagala (npr. VR naočala), (URL 14).

6.5.2 Drone2Map

Za izradu rada, korišten je predložak *3D Mapping*, unutar kojeg je, osim 3D prikaza, moguće dobiti i 2D prikaze, ali ih je potrebno označiti. Unutar projekta u Drone2Map-u postoje 4 kartice: *project*, *home*, *flight data*, *analysis* i *share*. Kartica *project* omogućuje povratak na prethodne projekte, a pod *home* se podešava sljedeće: način pogleda, označavanje željenih objekata, upravljanje slojevima, odabir *basemap* kartografske podloge, početak i prestanak obrade te upravljanje GCP točkama. Kartica *flight data* nudi alate za rad sa snimkama kao što su navigacija, označavanje, upravljanje i lociranje. Drone2Map nudi mogućnost podešavanja GPS izvora, visine snimki i izvoz GPS podataka. *Edit* kartica omogućuje sljedeće alate za rad unutar projekta: navigacija, selekcija, *clipboard* (kopiranje) i *snapping* (hvatanje točaka), *features* (karakteristike) i upravljanje ortofoto prikazom. Kartica *analysis* sadrži *measure* (alate za mjerenje) i *tools* (ostale alate). Pod *share* karticom moguće je odabrati dijeljenje dobivenih slojeva te ispis i izvoz rezultata. S lijeve se strane sučelja nalazi *contents* (popis slojeva), a u sredini je 2D i 3D karta dobivena obradom. S desne se pak strane nalazi *catalog* i *manage*. *Catalog* je dio ArcGIS platforme koji omogućuje rad s bazom podataka. *Manage* opcijom se označavaju željeni prikazi i daje pregled trenutnog stanja obrade. Slika 6.12 prikazuje sučelje Drone2Map-a i učitane snimke u kreiranom projektu.

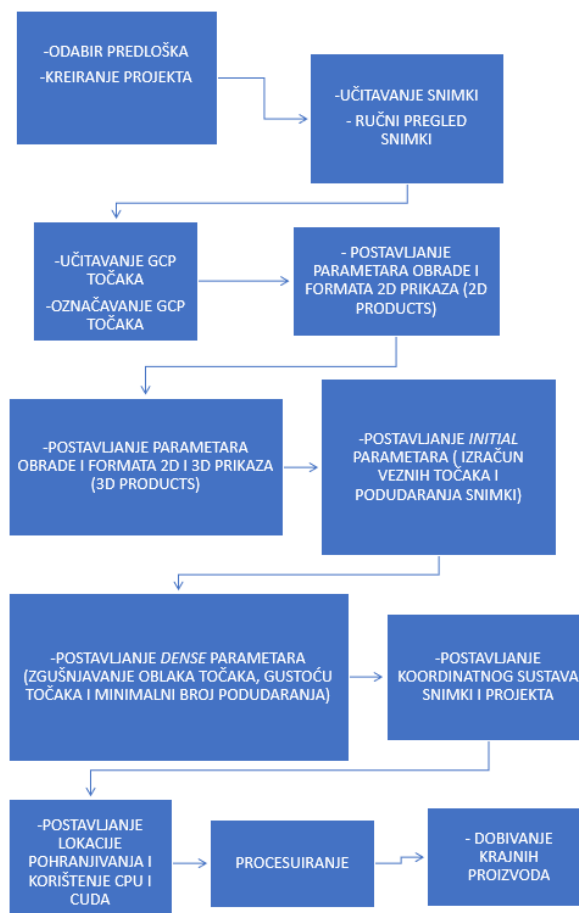
Nakon kreiranja projekta, slijedi učitavanje snimki. Pod karticom *home*, potrebno je ući u *control* i učitati .csv ili .txt datoteku s GCP točkama. Svaka GCP točka mora biti označena na 2 snimke, a preporučuje se označavanje na 3 do 8 snimki u svrhu ostvarivanja najboljih rezultata. Nakon označavanja GCP točaka, obrada započinje odabirom opcije *processing*. Svaki Drone2Map predložak ima namještene parametre, no ukoliko je potrebna njihova izmjena to je moguće pod *options*. Od 2D prikaza moguće je dobiti: ortofoto prikaz, dinamični mozaik, DSM i DTM prikaz. Za rezoluciju ortofoto prikaza moguće je odabrati automatski zadanu vrijednost (koristi se rezolucija izvornih snimki) ili unijeti željenu vrijednost (u cm ili px za GSD). Za izradu DSM-a moguće je odabrati sljedeće: metodu izrade, *filters* (filtri) i *contours* (parametri za izradu izohipsa). Postoje dvije metode izrade: *inverse distance* i *triangulation*. *Filters* definira parametre za filtriranje i izgladivanje zgusnutog oblaka točaka, a moguće je odabrati opcije *noise filtering* i *surface smoothing*. Pod opcijom *contours* moguće je podesiti interval, bazu i z faktor za izradu izohipsa (URL 16).

Na kartici *3D products* (koja se nalazi pod *options*) moguće je kreirati *point cloud* i *3D mesh*. Dostupni formati *point clouda* su sljedeći: .SLPK, .LAS, .zLAS, .PLY i .XYZ. Postoje dva načina kreiranja *mesha*, a to su *single LOD mesh* i *multi LOD mesh*. *Multi LOD Mesh* omogućuje mrežu 3D modela s većom razinom detalja (LOD) i podešavanje razlučivosti boja. Dostupni formati *multi LOD mesha* su .OSGB i .SLPK, a *single LOD mesha*: .OBJ, .FBX, AutoCAD DXF, .PLY i 3D PDF. Opcijom *general 3D options* može se: odabrati izlazni format, klasificirati točke (4 klase), spojiti LAS točke, odabrati kvalitetu teksture, odabrati razinu detalja *mesha*, uključiti/isključiti balansiranje boja, odabrati rezoluciju mreže, podesiti *maximum octree depth*, unijeti veličinu teksture (u pikselima) te odabrati *decimation* (broj trokuta mreže), (Ibid.).



Slika 6.12 Sučelje Drone2Map

Kartica *options* nudi sljedeće postavke: *initial*, *dense*, *coordinate systems* i *resources*. Postavkom *initial*, podešavaju se početne vrijednosti obrade na temelju kojih Drone2Map računa vezne točke i odgovarajuće parove snimki. Vezne se točke izvlače na temelju skale snimki točaka. Pod *matching image pairs* moguće je odabrati način uparivanja parova snimki, a dostupni su sljedeći: *aerial corridor* (optimizira parove koji se preklapaju po putanji leta), *free flight* (optimizira parove koji se preklapaju za putanje slobodnog leta) i *custom* (koristi se ako prva dva načina nisu dala zadovoljavajuće rezultate). Pod *matching strategy*, moguće je odrediti način slaganja snimki, a pod *targeted number of keypoints*, način postavljanja ključnih točaka za izdvajanje. Posljednje dvije stavke su *camera optimization* (podešavanje unutarnjih i vanjskih parametara kamere) i *rematch* (dodavanje više podudaranja nakon prvog dijela početne obrade što poboljšava kvalitetu). Karticom *dense*, uključuje se opcija zgušnjavanja točaka (*run dense*) i podešavaju sljedeći parametri: *image scale* (definira mjerilo slike na temelju kojeg se računaju dodatne točke), *point density* (razina gustoće točaka), *minimal number of matches* (odabir najmanjeg broja točaka podudaranja) i *camera depth automatically* (ograničenje dubine kamere radi sprječavanja rekonstrukcije pozadinskih objekata). Pomoću kartice *coordinate systems*, podešava se koordinatni sustav snimki i samog projekta. Karticom *resources*, podešava se lokacija spremanja projekta i snimki, *log file*, *CPU threads* i *CUDA*. Nakon podešavanja svih postavki unutar *options*, moguće je kreirati vlastiti predložak ovisno o željenim produktima te ga naknadno spremi i kasnije učitati. Kada su svi željeni parametri namješteni, odabirom ikone *start*, započinje obrada snimki te izrada 2D i 3D prikaza. Slika 6.13 prikazuje sve prethodno opisane korake obrade snimki u Drone2Map-u.

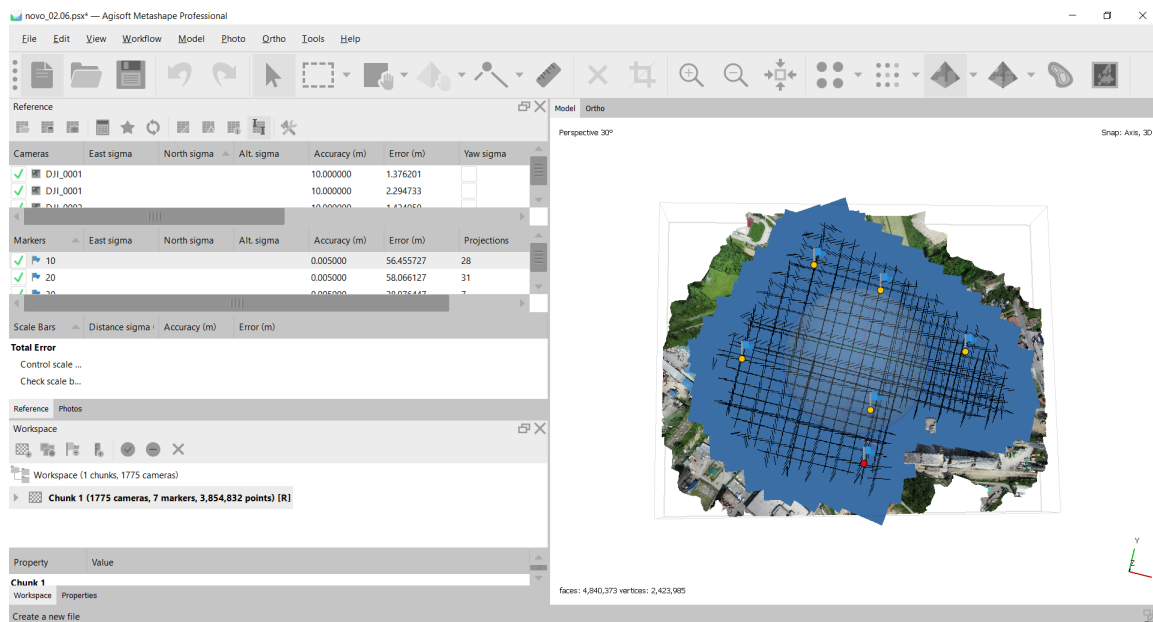


Slika 6.13 Tijek obrade u Drone2Map-u

6.5.3 Agisoft Metashape Pro

Obrada snimki u Agisoft-u sastoji se od 10 koraka: učitavanje snimki, inspekcija i uklanjanje nepotrebnih snimki, poravnavanje snimki, kreiranje gustog oblaka točaka (*dense point cloud*), kreiranje 3D *mesha*, generiranje tekture 3D *mesha*, kreiranje *tiled* modela, kreiranje DEM-a, kreiranje ortofoto prikaza i izvoz dobivenih rezultata. Sučelje Agisoft-a je pregledno i jednostavno za korištenje. Na glavnoj se traci nalazi 9 *menu* kartica: *file*, *edit*, *view*, *workflow*, *model*, *photo*, *ortho*, *tools* i *help*. Kartica *file*, koristi se za kreiranje i spremanje projekta, učitavanje vanjskih datoteka i izvoz dobivenih prikaza, a *edit* kartica sadrži različite alate za uređivanje dobivenih modela i prikaza. U *view* kartici, sadržani su alati za odabir različitih prikaza, te se pomoću nje upravlja prozorima. *View* kartica također sadrži i opciju *workflow*, koja se koristi za pregled svih koraka obrade i podešavanje mogućnosti *batch process* (pomoću koje se obrada vrši odjednom, odnosno omogućuje postavljanje parametara svakog koraka). Ipak se *batch process* preporučuje iskusnijim korisnicima. Kartice *model* i *ortho* sadrže različite alate za navigaciju, selekciju i crtanje na dobivenim 3D prikazima i ortofoto prikazu te njihove različite načine prikaza. Pod *tools*, dani su različiti alati, a među njima i mogućnost planiranja misije leta koja u ovom radu nije ispitana. Slika 6.14 prikazuje sučelje Agisoft-a, a s lijeve strane nalazi se *reference pane*. *Reference pane* sadrži alate za postavljanje referentnog koordinatnog sustava i učitavanje EXIF datoteke te *workspace*, odnosno radni prostor unutar kojeg se nalaze snimke, GCP točke i dobiveni prikazi. Na lijevom se djelu sučelja nalaze sljedeće opcije: *photos* (pregled snimki), *console* (prikaz provedenih radnji), *jobs* (prikaz

provedenih radnji ako se koristi *batch processing*), *animation* (kreiranje animacija), *timeline* (4D procesiranje) i *properties* (pregled postavki). S desne se pak strane sučelja nalazi prikaz modela kojeg je moguće odabrati unutar *menu* kartice i 2D ortofoto prikaz, kojeg je moguće prilagoditi u *ortho* kartici. U *toolbar* traci se nalaze svi mogući alati koje softver nudi, a ovisno o preferencijama korisnika, može ih se postaviti na sučelje (Agisoft, 2021).



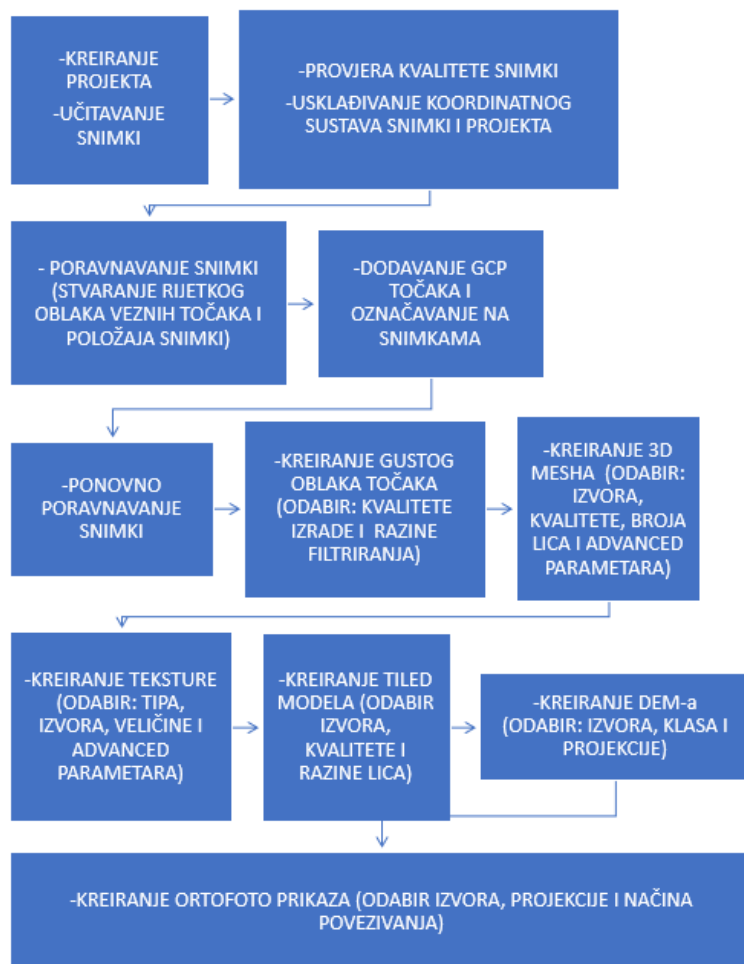
Slika 6.14 Agisoft Metashape Pro sučelje

U nastavku, svi koraci obrade i postavljeni parametri nisu detaljno objašnjeni zbog složenosti obrade snimki u Agisoft-u. Obrada započinje učitavanjem i provjeravanjem snimki. Agisoft ima ugrađen algoritam za određivanje kvalitete učitanih snimki, pri čemu sve snimke kojima je kvaliteta do 0.5 jedinica mogu nastaviti obradu. Zatim je potrebno uskladiti koordinatni sustav projekta i snimki te pokrenuti poravnavanje snimki. Poravnavanjem se dobiju izračunati položaji snimki i rijetki oblak veznih točaka (*sparse point cloud*) koji se koristi za početnu informaciju pri 3D rekonstrukciji. U cilju postizanja apsolute točnosti prikaza, bilo je potrebno konvertirati rijetki oblak veznih točaka u HTRS 96/TM i učitati datoteku s vrijednostima GCP točaka. Nakon označavanja GCP točaka na snimkama, ponovno je bilo pokrenuto poravnavanje snimki (Ibid.).

Zatim slijedi kreiranje gustog oblaka točaka koji se temelji na kartama dubine (*depth maps*) dobivenih podudaranjem snimki. Karta se dubine sastoji od sivih piksela čije su vrijednosti od 0 do 255. Pikseli kojima je vrijednost 0, u prostoru su najudaljeniji, a što je njihova vrijednost veća, to su međusobno bliži (URL 23). Agisoft kreira izrazito guste oblake točaka koji su gušći od LIDAR oblaka točaka. Gusti oblak točaka se može uređivati i klasificirati, a koristiti kao osnova za daljnju obradu. 3D mesh se može izraditi na temelju rijetkog oblaka točaka (brzo generiranje i manja kvaliteta), gustog oblaka točaka (sporije generiranje i veća kvaliteta) i karata dubine (informacije se učinkovito koriste). Kreiranjem 3D meshu potrebno je pridodati teksturu. Kod generiranja teksture modela, u cilju postizanja boljeg izgleda i veće kvalitete, potrebno je postaviti parametre poput tipa teksture, izvora podataka, osvjetljenja, načina kreiranja i slično. Također je moguće uključiti opcije *enable hole filling* i *enable ghost filling* u svrhu popunjavanja takozvanih rupa na teksturi 3D modela nastalih nedovoljnim brojem preklapajućih snimki ili zbog

snimanja objekta u pokretu. Zatim slijedi izrada *tiled modela* kojim se tekstura modela kreira iz originalne rezolucije snimki. Najčešće se upotrebljava za modeliranje gradskih površina zbog pružanja visoke rezolucije (Ibid).

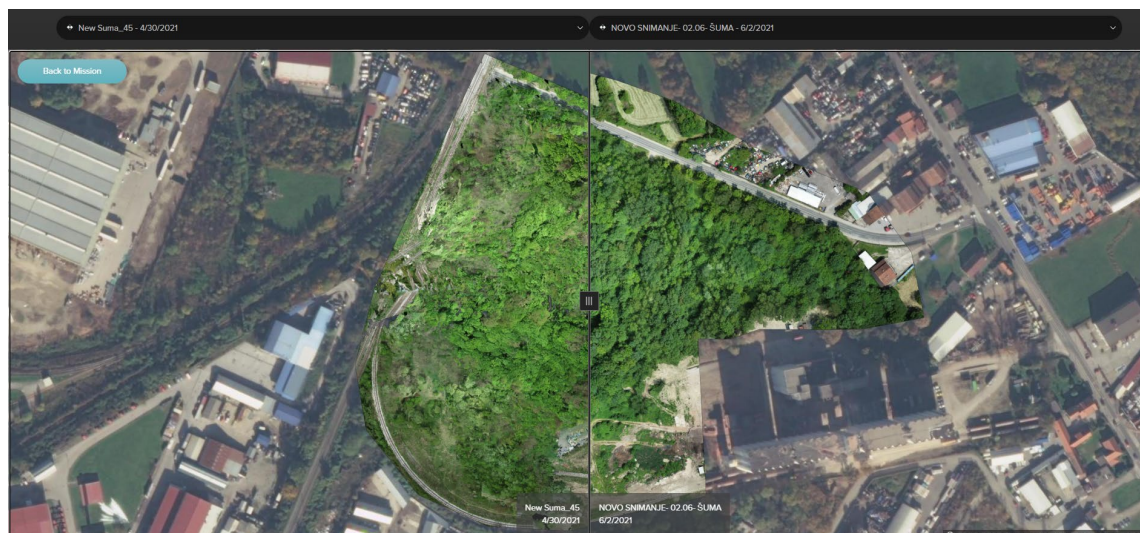
Posljednja dva koraka su izrada DEM i ortofoto prikaza. DEM se, u Agisoft-u, definira kao 2.5 dimenzionalni model površine oblika pravilne mreže. Vrijednosti visine DEM-a pohranjene su u svakoj ćeliji mreže. DEM prikaz je moguće kreirati iz gustog oblaka točaka, rijetkog oblaka točaka, *3D mesha* i dubinskih karata. Može se odabrati izrada DTM-a ili DSM-a. DTM se može izraditi samo na temelju podataka gustog oblaka točaka, dok se za DSM može izabrati sljedeće: projekcija, koordinatni sustav, kvaliteta, interpolacija i klase. Iz DSM prikaza se izrađuju izohipse koje je moguće izvesti u različitim formatima. Za izradu ortofoto prikaza moguće je odabrati sljedeće: tip projekcije i referentni koordinatni sustav, tip površine na temelju koje će se izraditi te ostale postavke koje su detaljnije objašnjene u korisničkim uputama. Kao rezultat obrade, dobivaju se prethodno objašnjeni 2D i 3D prikazi, koje je moguće izvesti u različitim formatima ovisno o vrsti prikaza. Slika 6.15 prikazuje sve prethodno opisane korake izrade 2D i 3D prikaza u Agisoft-u.



Slika 6.15 Tijek obrade u Agisoft-u

7. REZULTATI OBRADJE

Nakon provedenih 8 snimanja, misija pod nazivom Šuma CH 45 eliminirana je za daljnju obradu. Za ovo snimanje nagib gimbala iznosio je 45° , a hatcha 90° . Snimanje pod ovim nagibom, odnosno obrada, daje prikaze, koji u usporedbi s prikazima kreiranim od snimki pod kutom gimbala od 30° , nisu zadovoljavajuće razlučivosti (Slika 7.1).



Slika 7.1 Usporedba ortofoto prikaza dobiven obradom snimki snimljenim gimbalom pod 45° (lijevo) i gimbalom pod 30° (desno) u Site Scan-u

Za izradu ovog rada, svako snimanje je obrađeno zasebno, ali radi dobivanja kvalitetnijih prikaza spojene su i obrađene misije. Tako su za prikaz pruge, spojena 2 snimanja pruge (Pruga 1 i Pruga 2), za šumu (Šuma area, Šuma CH, Šuma dio 1 i Šuma dio 2), a snimanje pod nazivom Šuma 2.6, obrađeno je zasebno. Rezultati obrade za snimanje pruge i za 2 snimanja šume u Site Scan-u, Drone2Map-u i Agisoft-u, prikazani su u nastavku.

7.1 REZULTATI OBRADJE SITE SCAN

Obrada u Site Scan-u provedena je prema uputama opisanima u poglavlju 6. Od 2D prikaza dobiven je ortofoto prikaz, *elevation data* prikaz, *contour*, odnosno prikaz izohipsa i *hillshade*. Od 3D prikaza dobiven je *point cloud* i *3D mesh*. U nastavku nisu prikazani svi dobiveni proizvodi, ali se nalaze na CD-u priloženom uz rad. Nad dobivenim prikazima izvršena su mjerenja pomoću alata koje omogućava Site Scan.

7.1.1 Obrada pruge u Site Scan-u

Za obradu pruge korištena je 291 snimka, pri čemu su sve kalibrirane i povezane u 1 blok. Dobiveni je ortofoto (Slika 7.2) ispravno lociran u prostoru kao i svi ostali dobiveni prikazi. Crne rupe, koje se nalaze na ortofoto prikazu, nastaju zbog manjeg broja snimki na tom području, odnosno nema zadovoljavajućeg preklapanja. Dobiveni ortofoto prikazuje područje pruge čisto i jasno, dok sve što je van trase pruge ima manju distorziju. U blizini pruge nalazi se i vegetacija čiji prikaz nije čist. Za *elevation data* prikaz odabran je DSM koji prikazuje prirodne i izgrađene objekte (Slika 7.3). Najveća je visina terena (crveno i žuto područje) na području šume i dijela silosa. Promotri li se sama pruga, vidljivo je da je

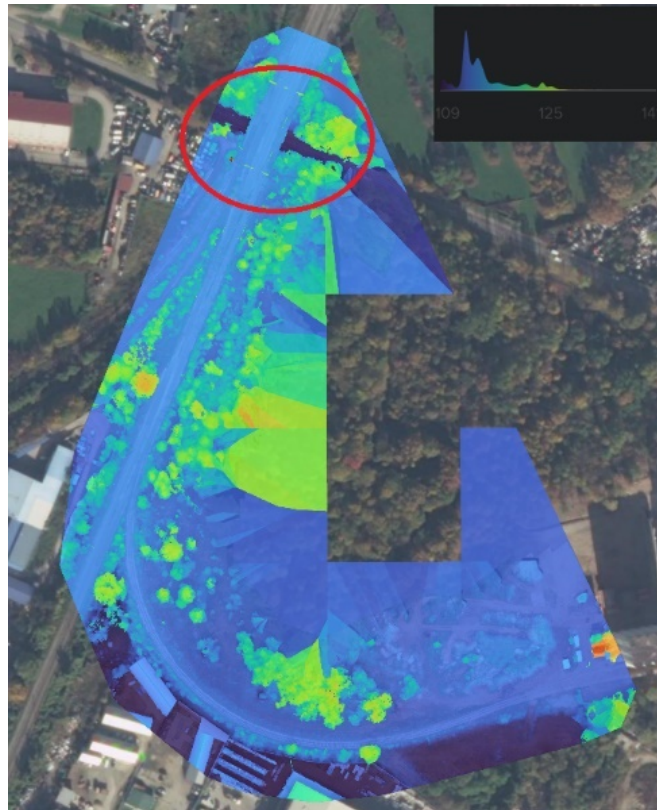
njena visina konstantna i da nema većih visinskih razlika. Razlika u visinama je vidljiva na području nadvožnjaka (crveni krug), što ukazuje da je DTM u potpunosti ispravan te se može koristiti za daljnje analize.

Od 3D prikaza dobiven je *point cloud* i *3D mesh*. *Point cloud* (Slika 7.4) prikazuje prugu i okolnu vegetaciju, a Site Scan-u omogućuje podešavanje broja točaka pomoću klizača miša (od 100 000 do 10,000,000) i njihovu veličinu (od 1 do 150). Prikaz je realniji ukoliko je broj točaka veći, a veličina točaka manja. Na prikazu područja pruge ne postoje šumovi, tj. nedostatak točaka, dok na prikazu drveća postoje. Prikaz je u potpunosti realan, nema izobličenja i lebdećih točaka. Nad oblakom točaka moguće je izvršiti mjerenja, inspekciju snimki i izraditi visinske profile u 3D prikazu. U *3D meshu* (Slika 7.5) provedeno je zaglađivanje površina te su zbog toga drveća prikazana u obliku nakupina, a na nekim mjestima postoje lebdeće točke. Kod *3D mesha* nema rupa kao u slučaju oblaka točaka, pošto se kod kreiranja, tekstura interpolira.

Na dobivenom ortofoto prikazu izmjerena je duljina pruge, odnosno dijela koji je u funkciji (približno 400 m) i dijela koji nije u funkciji (približno 350 m). Također je ispitan alat za izradu profila na dobivenom *point cloud-u*. Potrebno je označiti željenu liniju na temelju koje će se izraditi visinski profil i softver automatski kreira isti. Prikaz profila je tipa oblak točaka, a moguće je izvesti 2D vrijednosti u .csv, a 3D vrijednosti u .las formatu. Prikazana je duljina profila, visine i okvir za iščitavanje točaka interesa (Slika 7.6). Provedena mjerenja su spremljena unutar Site Scan projekta, a moguće ih je izvesti i učitati u nekom drugom softveru te provesti na drugim obradama unutar projekta.



Slika 7.2 Dobiveni ortofoto prikaz pruge u Site Scan-u



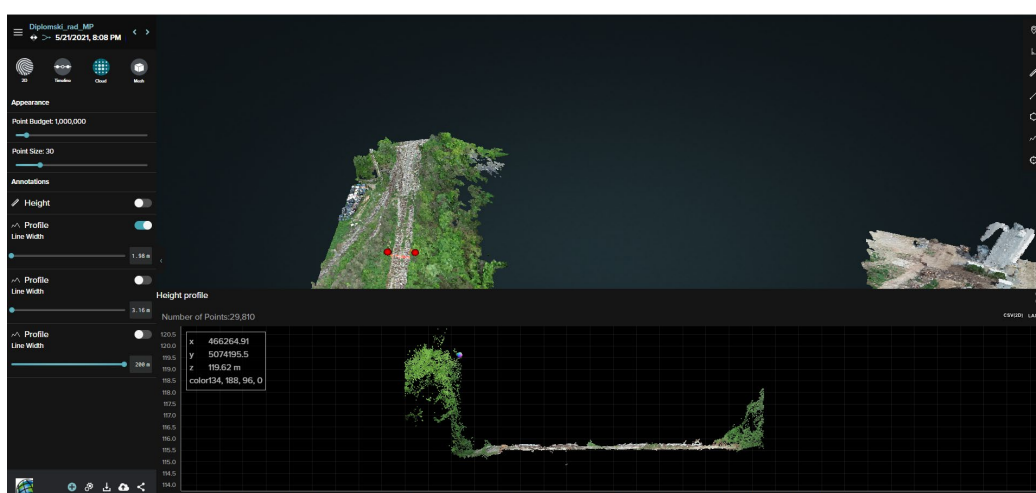
Slika 7.3 Dobiveni DEM (DSM) pruge i okoline u Site Scan-u



Slika 7.4 Prikaz point clouda pruge dobiven u Site Scan-u (lijevo) i uvećani prikaz trase (desno)



Slika 7.5 Prikaz 3D mesha pruge dobiven u Site Scan-u (lijevo) i uvećani prikaz trase (desno)



Slika 7.6 3D profil dijela pruge kreiran u Site Scan-u

7.1.2 Obrada šume u Site Scan-u

Za obradu prvog snimanja šume korišteno je 1088 snimki, a za obradu drugog, 1921 snimka. Dobiveni su ortofoto prikazi (Slika 7.7) jasni i ne sadrže rupe, što znači da je broj snimki koje se preklapaju bio sasvim dovoljan. Prvi ortofoto ima veći opseg od drugog jer su korištene snimke dobivene različitim snimanjima. Prvi ortofoto ima mutniji prikaz šumske vegetacije, a pri njegovom uvećanju, vidljiva su zamućenja i minimalna distorzija. Na drugom se ortofoto prikazu jasno raspoznaju krošnje stabala pa je prikaz šume realniji i čišći u odnosu na prvi ortofoto. Iako je rezolucija drugog prikaza manja u odnosu na prvi, drugi je prikaz bio pogodniji za daljnje analize. Iz dobivenih je DSM prikaza (Slika 7.8) vidljivo kako je DSM dobiven obradom snimki drugog snimanja puno detaljniji i precizniji te se lakše uočavaju objekti u odnosu na DSM prve obrade. Također je na DSM-u druge obrade lakše uočiti drveća koja imaju veću visinu.

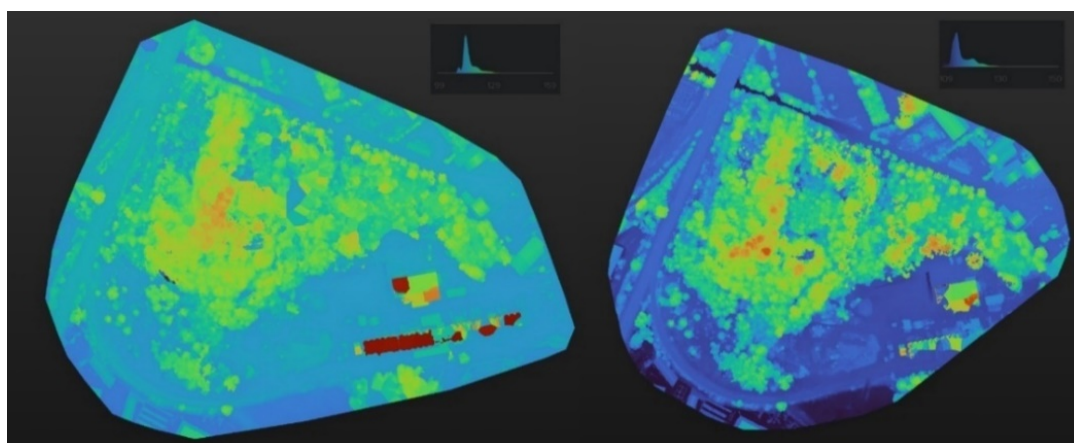
Dobiveni *point cloud* prvog snimanja prikazuje prugu, šumu i dijelove silosa (Slika 7.9). Na području šume nalaze se rupe, što je očekivano za područja manjeg preklopa snimki. Također je potrebno uzeti u obzir činjenicu da je snimana veća površina. Prikazano područje pruge ne sadrži šumove, dok prikaz vegetacije uz prugu i šume sadrži. *Point*

cloud druge obrade, vizualno je kvalitetniji i realističniji od obrade prvog. Na dijelovima s manjim preklapom snimki prisutni su mali šumovi. Tekstura drugog *mesha* je puno finija i jasnija, dok je kod prvog prisutno zamućenje. Drugi je *mesh* kvalitetniji u odnosu na prvi, a najveća se razlika uočava uočljivijim i raspoznatljivim krošnjama drveća (Slika 7.10).

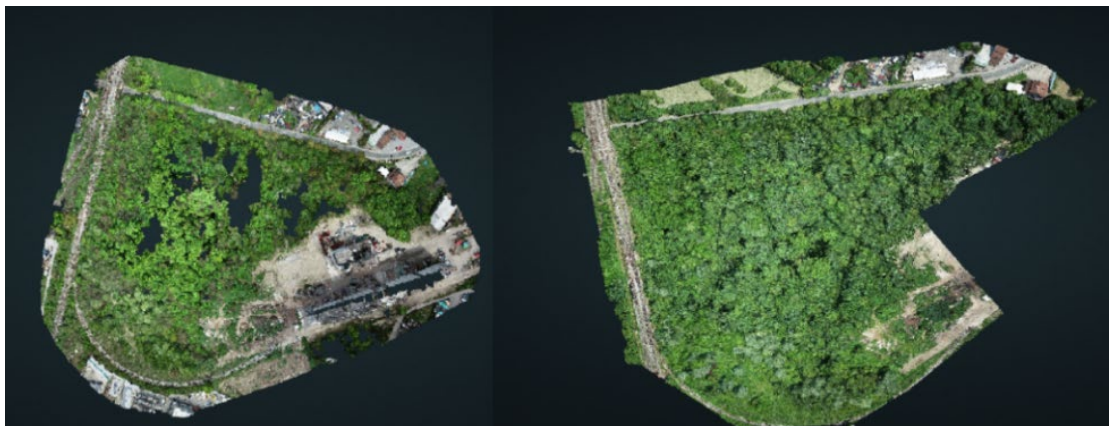
Volumen šume je izračunat pomoću alata za mjerenje koje Site Scan nudi. Bilo je potrebno označiti poligon nakon čega softver automatski izračuna površinu, neto volumen te *cut* i *fill* volumen (Slika 7.11). *Cut* volumen određuje postoji li višak materijala u odnosu na baznu plohu, dok *fill* volumen određuje postoje li udubljena ili manjak materijala. Kod izračuna volumena, podešava se bazna ploha i ploha za usporedbu na temelju koje se računa volumen. Alat nudi 3D prikaz koji olakšava vizualizaciju. Na području šume, za prvu je obradu dobivena neto *fill* vrijednost volumena 245 965,90 m³, a vrijednost *fill-a* iznosila je 301 761,35 m³. Za drugu obradu dobiven je neto *fill* volumen 259 686,81 m³, a vrijednost *fill-a* iznosila je 310 953,93 m³. Iz sveg navedenog se zaključuje kako je vrijednost volumena točnija što je broj snimki veći.



Slika 7.7 Dobiveni ortofoto prikazi šume u Site Scan-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)



Slika 7.8 Dobiveni DEM (DSM) šume u Site Scan-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)



Slika 7.9 Dobiveni point cloud šume u Site Scan-u za snimanje 30.4.2021. (lijevo) i snimanje 2.6.2021. (desno)



Slika 7.10 Dobiveni 3D mesh šume u Site Scan-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)



Slika 7.11 Izračun volumena šume u Site Scan-u i 3D prikaz volumena

7.2 REZULTATI OBRADJE DRONE2MAP

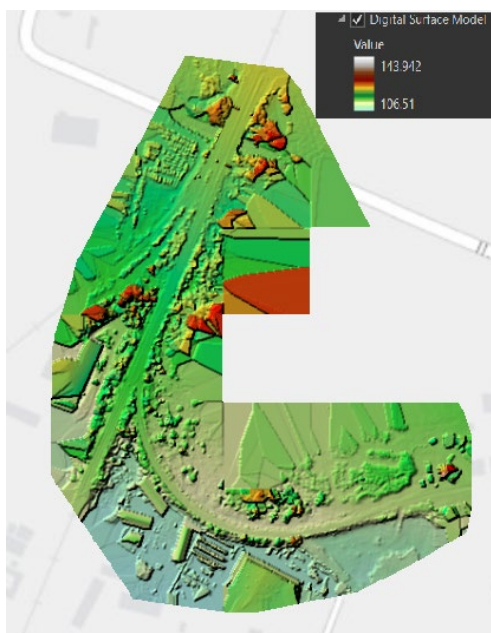
Za obradu u Drone2Map-u korišten je predložak 3D Mapping unutar kojeg je označeno kreiranje 2D prikaza (*dynamic mosaic*, *orthomosaic*, DSM i DTM) uz *3D mesh* i *3D point cloud*. Pod *options*, moguće je podešavanje parametara unutar predloška, što za ovaj diplomski rad nije obrađeno, već su ostavljene automatski podešene postavke. Pomoću Drone2Map-a, također je moguće izvršiti i mjerenja udaljenosti, površine, volumena i identifikaciju točaka nad 2D prikazima, dok je nad 3D prikazima moguće provesti ista mjerenja ali je i moguća izrada visinskih profila. Softver nudi i izračun 6 vegetacijskih indeksa (objašnjeno u nastavku).

7.2.1 Obrada pruge u Drone2Map-u

Za obradu pruge, korišten je isti broj snimki kao i kod obrade Site Scan-om. Ortofoto prikaz je jasan i čist na trasi pruge, dok je izvan trase te uz područje vegetacije, mutniji (Slika 7.12). Razlog tome je već spomenut nedovoljan broj snimki izvan trase i prisustvo vegetacije. Na ortofoto prikazu, jasno su vidljivi svi elementi pruge. Od visinskih prikaza dobiveni su DTM i DSM, a Slika 7.13, prikazuje dobiveni DSM identičan onom dobivenom u Site Scan-u. Od 3D prikaza dobiven je point cloud koji se sastoji od 20, 590 525 točaka (Slika 7.14), ali maksimalan broj prikaza točaka u Drone2Map-u je 10,000 000, što uzrokuje vizualni prikaz manje kvalitete. Gustoća prikaza bila je postavljena na maksimum, ali je kvaliteta izgleda prikaza bila manja u odnosu na prikaz dobiven Site Scan-om i Agisoft-om. Dobiveni point cloud nije praktičan za uočavanje karakteristika na terenu, ali je unutar Drone2Mapa-a moguća klasifikacija točaka po visinama ili klasama (tlo, niska vegetacija, visoka vegetacija, zgrade i površina ceste). Dobivena je zadovoljavajuća klasifikacija point clouda koja odgovara stvarnom stanju na terenu, ali je prikaz manje kvalitete zbog njegovog (prethodno navedenog) ograničenja (Slika 7.14). Dobiveni 3D mesh jasno prikazuje prugu sa stvarnom teksturom, dok su objekti okolini pruge nešto lošije prikazani (Slika 7.15).



Slika 7.12 Dobiveni ortofoto prikaz pruge u Drone2Map-u



Slika 7.13 Dobiveni DEM (DSM) pruge u Drone2Map-u



Slika 7.14 Dobiveni point cloud pruge (lijevo) i klasificirani point cloud pruge (desno) u Drone2Map-u



Slika 7.15 Dobiveni 3D mesh pruge u Drone2Map-u

7.2.2 Obrada šume u Drone2Map-u

Obrada šume u Drone2Map-u također je izvršena dva puta. GSD prve obrade iznosi 1.56 cm/px, a druge 2.30 cm/px. Kod prve obrade 875 od 1068 snimki je kalibrirano te je kreirano 9 blokova, što bi se u praksi trebalo ispraviti, ali je softver označio obradu kao uspješnu. Dobiveni ortofoto druge obrade ne sadrži rupe unutar područja šume te je puno čistiji i realniji u odnosu na ortofoto prve obrade (Slika 7.16). Od dobivenih DSM prikaza, prikaz obrade drugog snimanja je kvalitetniji i realniji te se jasno raspoznaju drveća u šumi, željeznička pruga i drugi izgrađeni objekti. Kod DSM-a prve obrade, zbog nedostataka snimki na području šume, javljaju se nepravilni oblici na prikazu zbog softverske interpolacije visine pa se ne prikazuju realno stanje (Slika 7.17). Također se

razlikuju minimalne i maksimalne vrijednosti visine, što upućuje da je DSM druge obrade adekvatniji za daljnju obradu.



Slika 7.16 Dobiveni ortofoto prikazi šume u Drone2Map-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)



Slika 7.17 Dobiveni DSM šume u Drone2Map-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)

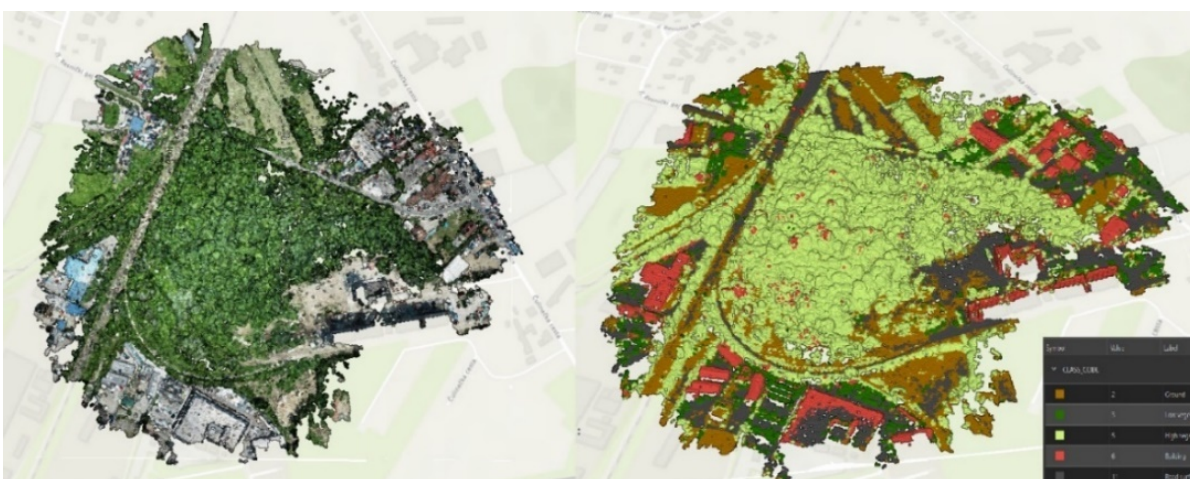
Od 3D prikaza dobiven je *point cloud* i *3D mesh*. *Point cloud* prve obrade nije uspješan jer dio točaka lebdi iznad terena te su prisutni šumovi unutar modela (Slika 7.18). Nedovoljan broj snimki za obradu nije jedini razlog neuspješnog *point clouda*. Razlog su i korištene snimke različitih letova (različite visine leta) te slabije performanse računala. Provedena je i klasifikacija točaka koja za koju se ispostavilo da je djelomično ispravna. *Point cloud* druge obrade je zadovoljavajućeg izgleda te su mu sve točke ispravno locirane u prostoru (Slika 7.19). Prisutni su šumovi, ali u maloj količini, a uglavnom se nalaze na rubnim područjima. Klasifikacija točaka je ispravna i u potpunosti realna. *3D mesh* prve obrade sadrži manja zamućenja na području šume, a kod druge obrade, šuma je prikazana realno te je moguće uočiti krošnje stabala (Slika 7.20).

Drone2Map nudi izračun 6 različitih vegetacijskih indeksa, među kojima je najpoznatiji NDVI. Ovaj indeks ima vrijednosti između -1 i 1, pri čemu negativne vrijednosti predstavljaju oblake, snijeg i vodu, dok se vrijednosti blizu 0 uglavnom generiraju iz stijena i golog tla. Vrlo niske pozitivne vrijednosti (od 0.1 i manje) odgovaraju neplodnim

područjima poput stijena i golog tla, dok niske pozitivne vrijednosti (od 0.2 do 0.3) predstavljaju nisku vegetaciju. Sve vrijednosti između 0.6 i 0.8 predstavljaju područje visoku vegetaciju. Dobiveni NDVI prikazi šume su pogrešni prema definiranim vrijednostima, a razlog tome je nekorištenje NIR kamere. Na temelju dobivenih NDVI prikaza, nije moguće donijeti zaključak o stanju vegetacije snimljene šume (Slika 7.21).



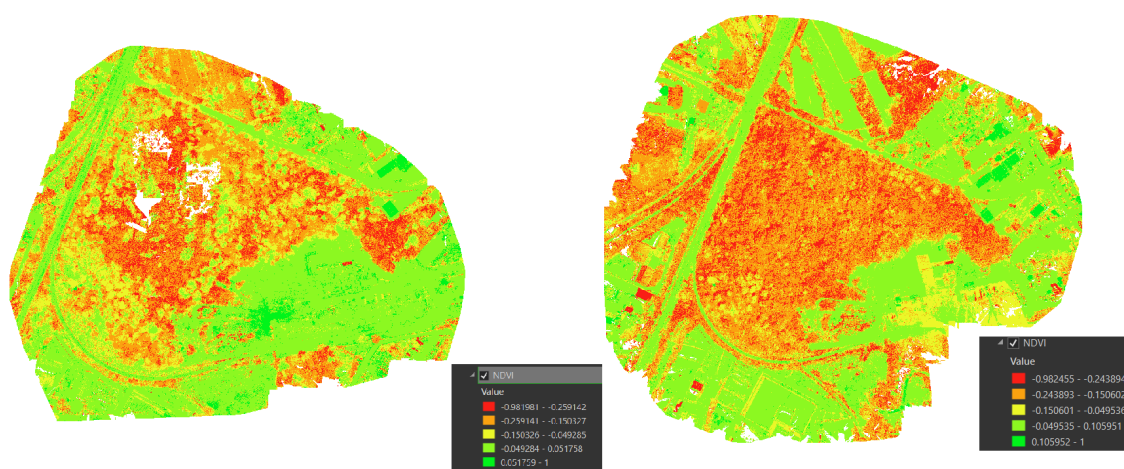
Slika 7.18 Dobiveni point cloud šume (lijevo) i klasificirani point cloud šume (desno) u Drone2Map-u za snimanje 30.4.2021.



Slika 7.19 Dobiveni point cloud šume (lijevo) i klasificirani point cloud šume (desno) u Drone2Map-u za snimanje 2.6.2021.



Slika 7.20 Dobiveni 3D mesh šume u Drone2Map-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)



Slika 7.21 Dobiveni NDVI šume u Drone2Map-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)

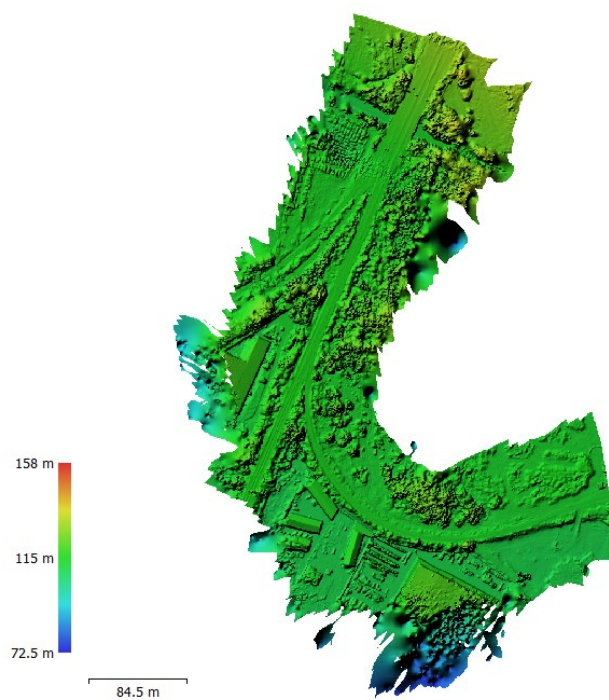
7.3 REZULTATI OBRADE U AGISOFT METASHAPE PRO

7.3.1 Obrada pruge u Agisoft-u

Dobiveni ortofoto pruge sadrži rupe na rubnim područjima i područjima s manjim preklapom snimki (Slika 7.22). Prikaz vegetacije uz prugu je čist, a vegetacije izvan pruge zamućen. Na prikazanom DEM-u moguće je raspoznati visinu na terenu i objekte (Slika 7.23). Dobiveni *point cloud*, odnosno gusti oblak točaka, sastoji se 123 362 436 točaka i visoke je kvalitete (Slika 7.24). Prikaz pruge je čist i sadrži više točaka u odnosu na okolna područja na kojima su prisutni šumovi. Dobiveni *tiled model* daje najrealniji prikaz (Slika 7.25) i iste je rezolucije kao i ortofoto. Unutar *tiled modela* sve su rupe popunjene, a područja s manjim brojem snimki su spojena.



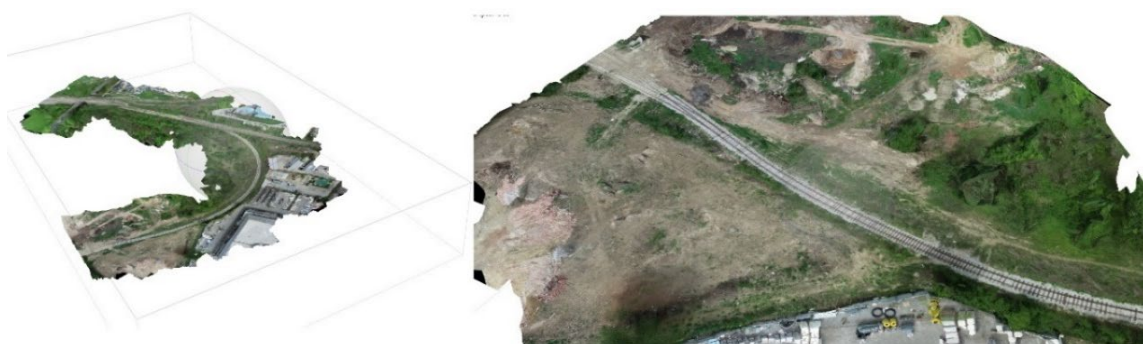
Slika 7.22 Dobiveni ortofoto prikaz pruge u Agisoft Metashape Pro-u



Slika 7.23 Dobiveni DSM pruge u Agisoft Metashape Pro-u



Slika 7.24 Dobiveni point cloud pruge u Agisoft Metashape Pro-u



Slika 7.25 Dobiveni 3D mesh pruge u Agisoft Metashape Pro-u

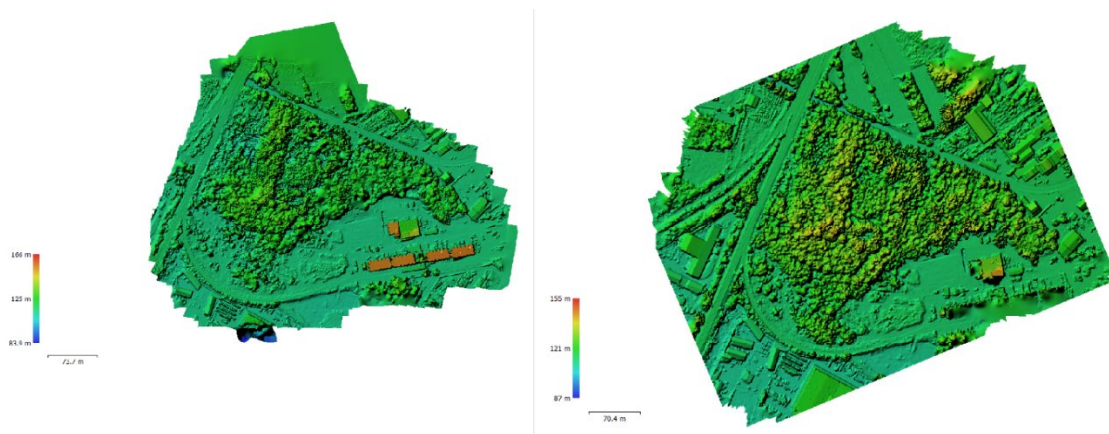
7.3.2 Obrada šume u Agisoft-u

Iz dobivenih ortofoto prikaza (Slika 7.26), vidljivo je da je obrada drugog snimanja šume u Agisoft-u dala puno bolje rezultate u odnosu na prvu, dok je sam ortofoto prikaz druge obrade jasniji i pregledniji u odnosu na ortofoto prikaz prve. Kod druge je obrade područje šume prikazano bez zamućenja te je moguće uočiti krošnje drveća, dok kod prve obrade to nije moguće. Kod prve obrade, područje nadvožnjaka je prikazano s manjim izobličenjima, a razlog tome je nedovoljan broj snimki i slabije performanse računala. Dobiveni DSM prikazi terena prve i druge obrade su vizualno i po vrijednostima slični, ali je DSM druge obrade detaljniji (Slika 7.27).

Od 3D prikaza, *dense cloud* druge obrade je puno gušći i jasniji u odnosu na prvu (Slika 7.28). Prva obrada sadrži 215 761 269 točaka, a druga 350 120 422. Druga obrada sadrži šumove na području šume i na rubnim područjima. Zbog slabijih performansi računala nije bilo moguće kreirati *tiled model* prve obrade, već je dobiven samo običan 3D model bez teksture sa zamućenjima na području šume. *Tiled model* druge obrade je kvalitetniji, a prikaz je gotovo jednake sličnosti stvarnom stanju terena (Slika 7.29). Unutar Agisoft-a nije bilo moguće provesti mjerenja na dobivenim prikazima pošto alati za mjerenje nisu dostupni unutar Pro verzije.



Slika 7.26 Dobiveni ortofoto prikazi šume u Agisoft-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)



Slika 7.27 Dobiveni DSM šume u Agisoft-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)



Slika 7.28 Dobiveni dense cloud šume u Agisoft-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)



Slika 7.29 Dobiveni 3D modeli šume u Agisoft-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)

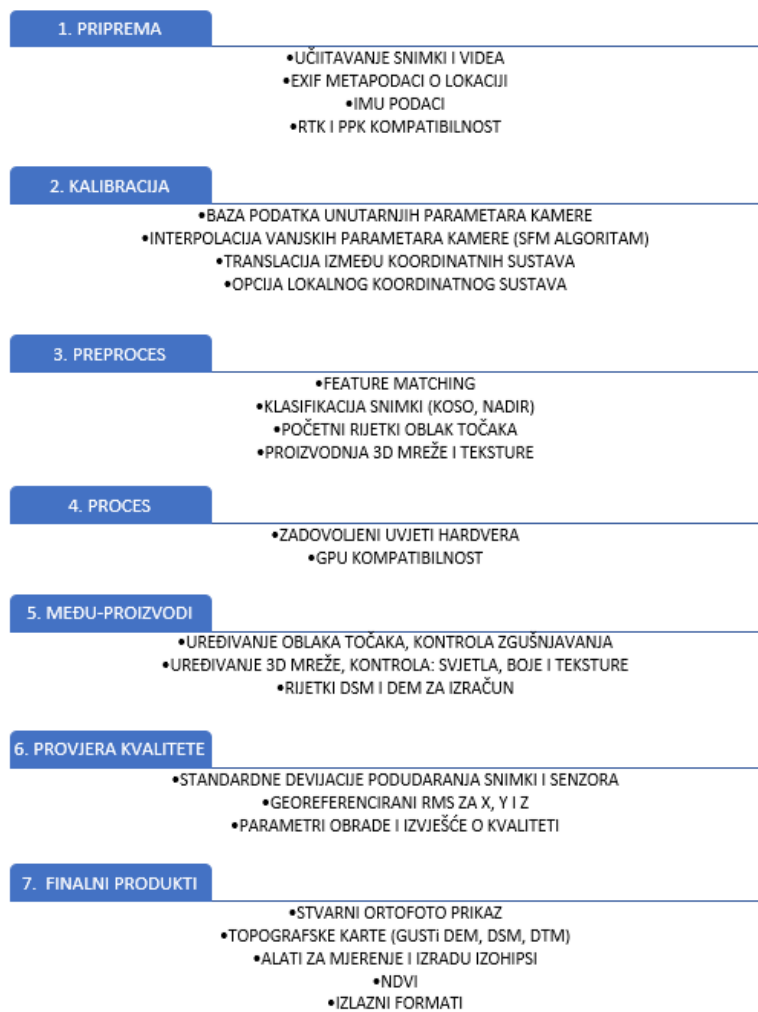
8. ANALIZA I INTERPRETACIJAREZULTATA

Za analizu i interpretaciju rezultata, korišten je *report*, odnosno izvješće generirano nakon obrade te model za analizu opisan u nastavku. Site Scan i Drone2Map imaju isti oblik izvješća generiran od strane Pix4D-a, a sadrži tablične i grafičke prikaze na temelju kojih je moguće donijeti zaključke o kvaliteti i točnosti obrade. Izvješće sadrži devet sekcija: sažetak (*summary*), provjera kvalitete (*quality check*), detalji kalibracije (*calibration details*), pojedinosti o podešavanju bloka (*bundle block adjustment details*), detalji geolokacije (*geolocation details*), početni detalji obrade (*initial processing details*) i detalji DSM-a, ortofoto prikaza te indeksa. Izvješće o obradi u Agisoftu (*processing report*) također sadrži tablične i grafičke prikaze, a ima 6 sekcija: osnovne podatke o obradi (*survey data*), podatke o kalibraciji kamere (*camera calibration*), podaci lokaciji kamere (*camera locations*), GCP, DEM i parametre procesuiranja (*processing parameters*). U Prilogu br. 6 nalazi se generirano izvješće o provedenoj obradi u Site Scan-u.

Dobivena su izvješća obrade opsežna te je potrebno napredno poznavanje fotogrametrije kako bi se razumjele sve stavke unutar izvješća. Za potrebe izrade rada, nisu analizirane sve stavke izvješća. Stavke izvješća su analizirane po uzoru na rad Suziedelyte i dr. (2019) te rad Kloc i dr. (2020) na temelju kojih je donesen zaključak o obradi. Osim dobivenih izvješća i prikaza, u cilju što kvalitetnije provedbe analize korištenih softvera, potrebna je i analiza mogućnosti i načina rada svakog softvera. Prema dosadašnjim istraživanjima, Burnham (2019) zaključuje da kod usporedbe mogućnosti fotogrametrijskih softvera, ne postoje jedinstvene smjernice. Uzrok tog problema su proizvođači, odnosno njihova politika javnog neobjavlivanja pojedinosti algoritma poput načina obrade, dobivanja boje, kreiranje teksture i slično. Burnham je izveo korake (Slika 8.1), odnosno model analize koji je korišten u ovom radu.

Kod prvog koraka analize softvera, potrebno je ispitati sljedeće: mogućnost učitavanje snimki i video materijala, mogućnost učitavanja snimki s različitih kamera, podržavanje pretvorbe iz .raw u .tiff format, mogućnost provedbe normalizacije snimki (nijansa i zasićenost, balans bijele boje i sl.) i ispunjenje željene razlučivosti. Za stavku geolokacije nužno je da softver omogućuje izravan uvoz EXIF podataka o lokaciji putem snimke te da je iste moguće pregledati odmah nakon učitavanja. Nužna je i mogućnost ostvarenja visoke preciznosti uvozom ili naknadnom obradom RTK/PPK podataka (GCP i kontrolne točke) te korištenja podataka prikupljenih IMU senzorom. Bitna je kontrola tijekom rada, odnosno prilagodljivost softvera željama korisnika i mogućnost korištenja programskih

skripti. Kod drugog koraka potrebno je proučiti sljedeće: raspoznaje li softver bazu podatka kamere s unutarnjim parametrima za izobličenje, koristi li se SfM algoritam za interpolaciju vanjskih parametara kamere te upravljanje refleksijom i kutovima osvjetljenja. Bitna stavka je mogućnost konverzije između koordinatnih sustava, dostupni visinski sustavi, automatsko otkrivanje GCP točaka i kontrola preciznosti koordinata pri georeferenciranju. Treći korak obuhvaća ispitivanje sljedećih stavki: prilagođavanje parametara tijekom obrade (kontrola podudaranja značajki), georeferenciranja, kreiranja rijetkog oblaka točaka, definiranje gustoće oblaka točaka, podešavanje niske ili visoke opcije poligona i mogućnost obrade snimki različitih spektralnih kanala. Četvrti korak, pod nazivom proces, odnosi se na ispunjavanje zahtjeva hardvera i sustava, mogućnost postizanja željene razlučivosti, dijeljenje RAM-a i mogućnost obrade u oblaku. Peti je korak, u principu, ispitivanje mogućnosti uređivanja i poboljšanja parametara koji će utjecati na točnost krajnjih prikaza. Pri izradi *point clouda*, potrebno je ispitati mogućnost popunjavanja rupa, ograničenja područja obrade, dodavanja snimki i slično. Za izradu *3D mesha*, potrebno je ispitati načine uređivanja i filtriranja, mogućnosti izrade teksture te izrade rijetkog DEM-a. Cilj šestog koraka je provjera kvalitete snimki, odnosno broj ključnih točaka na snimkama, broj podudaranja, vrijednost standardne devijacije za položaj kamere te vrijednost standardne devijacije vanjskih i unutarnjih parametara kamere. Provjerava se i georeferentna točnost (procjena GCP-a u odnosu za internu lokaciju na kojoj se nalazi srednja pogreška georeferenciranja). Ovim se korakom provjerava i mogućnost generiranja izvješća obrade koji daje podatke o točnosti obrade. Sedmi, ujedno i posljednji korak se odnosi na koje je sve točno 2D i 3D prikaze moguće dobiti u ispitanom softveru, kao i alate za rad s tim prikazima. Na samome kraju se ispituju dostupni formati izvoza dobivenih prikaza.



Slika 8.1 Koraci Burhamovog modela za analizu softvera

8.1 ANALIZA PODATAKA OBRADNE SITE SCANOM

Prilikom obrade snimki pruge i šume (druga obrada) u Site Scan-u su uspješno kalibrirane sve snimke, za razliku od prve obrade snimanja šume, pri kojoj se 147 snimki nije uspješno kalibriralo. Uzrok tome je što su pri prvoj obradi šume korištene snimke iz različitih snimanja, a ujedno je i preklap snimki bio manji (prosječno 80% *overlap* i 70% *sidelap*) u odnosu na drugu obradu (85% *overlap* i 80% *sidelap*). Snimanje šume dronom složeni je zadatak pa je bilo potrebno koristiti veći preklap snimki kako bi prilikom obrade bilo što više veznih točaka među snimkama. Potrebno je više od 2000 veznih točaka po obradi za uspješnu kalibraciju, a vidljivo je kako je medijan veznih točaka za sve obrade u Site Scan-u sličnih vrijednosti (Tablica 8.1). Medijan točaka podudaranja po kalibriranoj snimci, dvostruko je veći za drugu obradu šume u odnosu na prvu, a uzrok tome je veći broj korištenih snimki koje uzrokuju veći preklap (Tablica 8.1). Podatak o broju točaka *point clouda* nije dostupan unutar Site Scan-a.

Tablica 8.2 prikazuje pomake GCP točaka (razlika između izračunate 3D GCP ili kontrolne točke i izvornog položaja u smjeru X, Y i Z), srednju pogrešku u svakom smjeru (srednja vrijednost), srednju kvadratnu pogrešku u svakom smjeru ili srednju pogrešku georeferenciranja (RMS) i ostvarenu apsolutnu točnost cjelokupne obrade svakog objekta

(ne odgovara točnosti promatranih 3D točaka). Kod obrade pruge, najveći pomak po X, Y i Z koordinati ima *GCP točka 1* (koristila se kao kontrolna točka), dok ostale GCP točke imaju pomak od 0 metara. Ostvarena je apsolutna točnost obrade pruge unutar 1 m za X i Y koordinatu, dok Z koordinata odstupa 2,49 m. To je uzrokovano postavljanjem *kontrolne točke 1* ispod nadvožnjaka sa izraženom visinskom razlikom (oko 5 m). Kako bi se ovaj problem u budućnosti izbjegao, potrebno je postaviti kontrolnu točku na i ispod visinske prepreke, tj. u ovom specifičnom slučaju, nedostajala je dodatna GCP točka na nadvožnjaku u cilju ostvarenja apsolutne točnosti unutar 1 m. Za prvu je obradu šume korišteno 6 GCP točaka, a najveći je pomak imala *GCP točka 1*. Uzrok pomaka *GCP točke 1* isti je kao i kod pruge. Ostale GCP točke imaju zanemariv pomak, a ostvarena je apsolutna točnost unutar 1 m za X i Y koordinate, dok je za Z koordinatu pomak iznosio 1.48 m. Za drugu su obradu šume korištene druge lokacije GCP točaka. GCP točka ispod nadvožnjaka nije postavljena jer ju nije bilo moguće vidjeti na snimkama. Sve GCP točke druge obrade imaju pomak manje od 1 m, a ostvarena apsolutna točnost veća je od 1 m za X i Y koordinate, dok je za Z koordinatu pomak iznosio 71,0693 m. Pri razmatranju samog modela i visine njegovih objekata, očito je kako je pomak Z koordinate nerealan. Ova pogreška se javlja zbog velikog broja snimki i pogrešno raspoređenih GCP i kontrolnih točaka.

Tablica 8.1 Osnovni parametri kvalitete provedene obrade u Site Scan-u

Naziv obrade / parametri	GSD (cm/px)	Površina (km ²)	Broj učitanih snimki i kalibriranih snimki	Vrijeme trajanja obrade (min)	Medijan veznih točaka po snimkama	Medijan točaka podudaranja po kalibriranoj snimci
Pruga	1,53	0,100	291 / 291	80	73 059	25 451
Prva obrada šume	1,61	0,168	1088 / 941	321	74 875	7314,07
Druga obrada šume	2,27	0,271	1444 / 1444	430	74 813	15 472,5

Tablica 8.2 Pomaci GCP točaka i ostvarena apsolutna točnost obrade u Site Scan-u

Naziv obrade	Naziv GCP točke	Pomak po X (m)	Pomak po Y (m)	Pomak po Z (m)
Pruga	5	0,000	0,000	0,000
	3	0,000	0,000	0,000
	2	0,000	0,000	0,000
	1 (kontrolna)	2,800	2,209	4,580
	Srednja vrijednost /RMS	-0,000 / 0,0003	0,000 / 0,0001	-0,000 / 0,00001
	Apsolutna	0,347	0,843	-2,485

	točnost (m)			
Prva obrada šume	5	-0,005	-0,002	-0,001
	3	0,001	0,003	0,003
	2	-0,000	-0,003	-0,003
	1	2,834	2,231	4,589
	6	0,000	0,006	0,003
	4	0,005	-0,004	-0,003
	Srednja vrijednost/ RMS	0,473 / 1,157	0,372/ 0,911	0,765 / 1,873
	Apsolutna točnost (m)	0,778	0,266	-1,483
Druga obrada šume	10	-0,028	0,015	0,015
	20	0,002	-0,019	-0,011
	30	0,016	0,125	0,059
	40	-0,003	-0,137	-0,082
	50	0,040	0,035	0,024
	60	-0,028	0,009	0,029
	Srednja vrijednost/ RMS	-0,0001/ 0,0240	-0,0004/ 0,0776	-0,0009/ 0,0452
	Apsolutna točnost (m)	1,345	1,148	71,0693

8.2 ANALIZA PODATAKA OBRADJE DRONE2MAP

Vrijednosti GSD-a i procesuirane površine za obradu pruge i šume u Drone2Map-u, vrijednostima su slične onima u Site Scan-u. U Drone2Map-u za prvu obradu šume nisu kalibrirane sve snimke, a razlog tome slabije su performanse računala i korištenje snimki različitih letova. Vrijeme konverzije snimki u 2D i 3D prikaze, najdulje je za drugu obradu šume, što je i očekivano s obzirom na najveći broj učitanih snimki. Medijan veznih točaka po snimci je sličnih vrijednosti za svaku obradu, a najveći medijan točaka podudaranja po kalibriranoj snimci dala je obrada pruge (Tablica 8.3). Broj točaka *point clouda* je najmanji za prvu obradu šume, ali je ta obrada neuspješna zbog slabijih performansi računala. Najveći broj točaka *point clouda* je kod druge obrade šume.

Tablica 8.4 prikazuje kako najmanji pomak za obradu pruge ima *GCP točka 5*, a najveći *GCP točka 1*, kao i kod prethodno opisane analize u Site Scan-u. Vrijednost apsolutne točnosti dobivenog prikaza pruge najmanja je za X koordinatu, a najveća za Z koordinatu. U prvoj obradi šume, najveći pomak ima *GCP točka 1* i to u svim smjerovima. Apsolutna

točnost prve obrade šume je unutar 1 m za X i Y koordinatu, dok za Z koordinatu ona iznosi -1,5 m. Kod druge obrade šume, pomak svih GCP točaka sličnih je vrijednosti i unutar 1 m u svim smjerovima. Ostvarena apsolutna točnost druge obrade šume za X i Y koordinatu je oko 1 m, a za Z koordinatu odstupa 70 m. Isto odstupanje javilo se i pri obradi u Site Scan-u, ali ono ne predstavlja grešku. Unutar Drone2Map-a moguće je izvršiti korekciju visine snimki u odnosu na odabrani geoid, ali provedba navedenog nije bila uspješna.

Tablica 8.3 Osnovni parametri kvalitete provedene obrade u Drone2Map-u

Naziv obrade / parametri	GSD (cm/px)	Površina (km ²)	Broj učitanih snimki i kalibriranih snimki	Vrijeme trajanje obrade (min)	Medijan veznih točaka po snimkama	Medijan točaka podudaranja po kalibriranoj snimci	Broj točaka u point cloudu
Pruga	1,54	0,096	291/ 291	156	73 059	20 927,6	20 590 525
Prva obrada šume	1,61	0,166	1086/875	483	74 335	8767,11	3 192 050
Druga obrada šume	2,30	0,273	1444/1444	927	74 830	14 621,7	94 968 909

Tablica 8.4 Pomaci GCP točaka i ostvarena apsolutna točnost u Drone2Map-u

Naziv obrade	Naziv GCP točke	Pomak po X (m)	Pomak po Y (m)	Pomak po Z (m)
Pruga	3	-0,001	-0,000	-0,001
	2	-0,061	0,016	-3,266
	1	2,670	2,103	0,755
	5	0,000	0,001	0,000
	Srednja vrijednost / RMS	0,652	0,522	-0,628
	Apsolutna točnost (pomak)	0,654	1,664	-2,698
Prva obrada šume	3	-0,003	0,016	0,046
	2	-0,013	-0,017	-0,010
	1	2,753	2,186	4,643
	6	0,013	0,000	0,033
	4	0,011	0,001	-0,027
	5	-0,008	0,002	0,002
	Srednja	0,7677/	-0,0962/	-1,5118/

	vrijednost / RMS	1,7970	3,1717	3,7398
	Apsolutna točnost	0,778	-0,069	-1,506
Druga obrada šume	10	-0,194	-0,042	-0,092
	20	-0,090	-0,142	-0,047
	30	0,068	0,452	0,145
	40	0,130	-0,246	-0,120
	50	0,096	-0,031	-0,015
	60	-0,018	-0,009	0,100
	Srednja vrijednost / RMS	0,001/ 0,113	-0,003/ 0,219	-0,005/ 0,097
	Apsolutna točnost	1,455	1,207	-70,983

8.3 ANALIZE PODATAKA OBRADJE AGISOFT METASHAPE PRO

Vrijednost GSD-a i površine dobivenih prikaza u Agisoft-u, znatno se ne razlikuje po vrijednostima od onih dobivenih Site Scan-om i Drone2Map-om. Za drugu obradu šume i pruge, kalibrirane su sve snimke, dok kod prve obrade šume njih 14 nije kalibrirano. Kod koraka poravnavanja snimki u Agisoft-u se podešava broj veznih točaka i broj točaka podudaranja po snimci, a za sve tri obrade postavljene su ponuđene vrijednosti. Broj točaka *point clouda* najveći je za drugu obradu šume, a najmanji za obradu pruge (Tablica 8.5).

Za obradu pruge, pomak svih GCP točaka je unutar 1 m, a ostvarena apsolutna točnost je također unutar 1 m za X, Y i Z koordinatu. Pomak svih GCP točaka je unutar 1 metra za sve smjerove i obje obrade šume. Ostvarena apsolutna točnost prve obrade je unutar 10 cm, a druge unutar 3 cm i to za sve smjerove (Tablica 8.6). Kod obrade u Agisoft-u nije se pojavilo odstupanje apsolutne točnosti Z koordinate od 70 m. Naime, apsolutna je točnost visine dobivenih prikaza korigirana pomoću GCP točaka. U izvješću Agisoft-a nisu dostupni podaci o srednjoj vrijednosti pogreške i srednjoj kvadratnoj pogrešci GCP točke za svaki smjer.

Tablica 8.5 Osnovni parametri kvalitete provedene obrade u Agisoft-u

Naziv obrade /parametri	GSD (cm/px)	Površina (km ²)	Broj učitanih snimki i kalibriranih snimki	Vrijeme trajanje obrade (min)	Medijan veznih točaka po snimka ma	Medijan točaka podudaranja po kalibriranoj snimci	Broj točaka u <i>point cloudu</i>
Pruga	1,58	0.0987	284/284	1186	80000	10000	123 362 436
Prva	1,65	0.183	1086/1072	850	80000	10000	215 761

obrada šume							269
Druga obrada šume	1,99	0.224	1447/1447	2182	80000	10000	352 120 422

Tablica 8.6 Pomaci GCP točaka i ostvarena apsolutna točnost u Agisoft-u

Naziv obrade	Naziv GCP točke	Pomak po X (m)	Pomak po Y (m)	Pomak po Z (m)
Pruga	5	0,015	0,069	-0,001
	3	-0,113	0,056	0,041
	2	0,198	0,001	-0,014
	1	-0,100	-0,015	0,102
	Apsolutna točnost	0,124	0,045	0,023
Prva obrada šume	5	-0,002	0,006	0,008
	3	-0,015	-0,025	-0,006
	2	0,147	0,138	-0,068
	1	-0,142	-0,114	-0,007
	6	0,019	-0,018	0,011
	4	-0,005	0,013	-0,023
	Apsolutna točnost	0,084	0,075	0,044
Druga obrada šume	10	0,021	0,006	0,008
	20	0,013	0,023	-0,004
	30	-0,009	-0,057	-0,009
	40	-0,018	0,039	0,014
	50	-0,010	-0,005	-0,003
	60	0,004	0,005	-0,005
	Apsolutna točnost	0,014	0,030	0,008

8.4 USPOREDBA REZULTATA

Iz prethodnih analiza može se zaključiti kako su svi korišteni softveri generirali prikaze sličnih površina i GSD vrijednosti. GSD, odnosno prostorna rezolucija, je kvalitetnija što joj je vrijednost manja. Za obradu pruge, najbolja je prostorna rezolucija dobivena

obrdom u Site Scan-u, a najlošija u Agisoft-u. Za prvu obradu šume dobivena je ista vrijednost GSD-a u Site Scan-u i Drone2Mapu te je bolja od one u Agisoft-u. Kod druge obrade šume najbolja rezolucija dobivena je u Agisoft-u, dok je u Drone2Map-u i Site Scan-u jako sličnih vrijednosti.

Za obradu pruge i drugu obradu šume, sve su učitane snimke kalibrirane te potom korištene u obradi, dok za prvu obradu šume nisu. U Agisoft-u je za prvu obradu šume kalibrirano najviše snimki, dok je najmanje snimki kalibrirano u Site Scan-u. Iz toga se zaključuje kako je obrada u oblaku puno lošija pri kalibraciji snimki. Agisoft ima ugrađen algoritam za provjeru kvalitete učitanih snimki pri kalibraciji te tako maksimalno iskorištava sve učitane snimke. Vremensko trajanje obrade najkraće je u Site Scan-u, a najduže u Agisoft-u i to za sve provedene obrade. Razlog tome je što se obrada u Agisoft-u izvodi u koracima te je potrebno postavljanje parametara. Specifikacije korištenog računala su veoma bitne jer o njima ovisi vrijeme trajanja obrade.

Unutar Site Scan-a nije dostupan podatak o broju točaka *point clouda*, a najveći je broj točaka u Agisoft-u i to za sve provedene obrade. Relativna točnost svih obrada je zadovoljena, a dimenzije dobivenih prikaza su realne i odgovaraju stvarnom stanju. Apsolutna je točnost ostvarena za sve obrade, a najveća je postignuta u Agisoft-u (manje od 1 m). Najmanja ostvarena apsolutna točnost za sve obrade je u Drone2Map-u. Iako Site Scan i Drone2Map koriste isti algoritam obrade snimki, bolja je apsolutna točnost postignuta u Site Scan-u.

8.5 ANALIZA SOFTVERA

Tablica 8.7 prikazuje provedenu analizu korištenih softvera na temelju prethodno opisanog Burhamovog modela. Pri prvom koraku pripreme, niti jedan od korištenih softver ne omogućuje učitavanje video materijala za obradu, a jedino Agisoft podržava učitavanje najviše slikovnih formata. Nijedan softver ne podržava .raw format i njegovu pretvorbu u .tiff., a Agisoft jedini omogućuje korištenje snimki različitih kamera kao i normalizaciju snimki. U Agisoft-u je također moguće učitati i najviše snimki (50 000), dok je u Drone2Map-u taj broj ograničen na 2000, a u Site Scan-u na 2500. Svi softveri koriste podatke prikupljene IMU sensorom te omogućuju učitavanje RTK/PPK podataka za daljnju obradu. Site Scan jedini nema mogućnost izvoza EXIF podataka. Tijek rada unutar Site Scan-a je u potpunosti automatiziran, odnosno ne odvija se u koracima i nije moguće učitati vanjske programske skripte. Drone2Map i Agisoft omogućuju učitavanje vanjskih programskih skripti (programski jezik Python) koje često korisnicima olakšavaju proces obrade. Može se zaključiti kako kod prvog koraka analize najbolje uvjete ima Agisoft, a zatim Drone2Map. Drugi se korak odnosi na kalibraciju, odnosno značajke senzora i orijentacije. Svi softveri koriste unutarnje i vanjske parametre kamere za orijentaciju. Agisoft koristi Sfm algoritam, dok algoritam Site Scan-a i Drone2Map-a nije javno poznat, ali je isti kao i kod poznatog komercijalnog softvera Pix4D-a. Pri orijentaciji, svi softveri omogućuju translaciju između različitih referentnih koordinatnih sustava, a za izbor visinskih sustava Site Scan podržava samo EGM 96 geoid i WGS 84 elipsoid, dok Drone2Map podržava geoide EGM 84, EGM 96, EGM 2008, visinu iznad elipsoida i unošenje parametara vlastitog elipsoida. Agisoft zahtijeva zabilježenu visinu iznad geoida za učitane snimke i GCP točke, a model geoida kojeg podržava je EGM 96. Ukoliko je korisniku potreban neki drugi model geoida, isti je moguće preuzeti sa službene stranice. Kod prethodno opisanog koraka može se zaključiti kako su Agisoft i Drone2Map slični, a očit nedostatak Site Scan-a manjak izbora i manipulacija vertikalnih datuma. Treći korak

analize je pretproces, a odnosi na postavljanje parametara i strategije obrade s ciljem kontrole preciznosti izrade u odnosu na snagu računala i dostupno vrijeme. Kontrola značajki podudaranja nije dostupna unutar Site Scan-a, dok je unutar Drone2Map-a i Agisoft-a moguće podesiti parametre podudaranja poput načina izdvajanja veznih točaka, podudaranja parova snimki, strategije podudaranja i ostalo. Sljedeća stavka je kontrola georeferenciranja koja obuhvaća provjeru točnosti i klasifikaciju snimki (kose, nadir, zračne, zemaljske). Kontrola georeferenciranja dostupna je kod svih softvera, dok jedino Agisoft ima mogućnost klasifikacije snimki. U pretproces spadaju i postavke 3D modela tako je potrebno ispitati generira li softver rijetki oblak točaka i mogućnost uređivanja navedenog oblaka (npr. uklanjanje nepotrebnih dijelova i šumova). Kod izrade *3D mesha*, potrebno je provjeriti moguću razinu izrade te izbor geometrije i gustoće. Ukoliko se obrađuju multispektralne snimke, bitno je provjeriti i mogućnost odvajanja i kombiniranja spektralnih podataka određenog kanala. Iako Site Scan nema ispunjen korak pretprocesa, moguć je odabir veličine *point clouda* i *3D mesha*. Drone2Map sadrži *dense* opciju kojom je moguće postavljanje gustoće točaka i parametara za zgušnjavanje. S druge strane, nije dostupno uređivanje rijetkog oblaka točaka pošto ga se ne može dobiti kao međuproizvod. Agisoft ima najviše mogućnosti uređivanja međuproizvoda jer su oni dio procesa obrade (rijetki oblak točaka i *3D mesh*). Ranije je spomenuto kako je unutar Agisoft-a i Drone2Map-a moguće obraditi multispektralne snimke iz kojih je naknadno moguć izračun indeksa te provedba klasifikacije. Očito je kako Agisoft ima najveći izbor parametara obrade, dok Site Scan ne sadrži navedeno. U Drone2Map-u je moguće postaviti parametre, ali nije moguće dobiti, pregledati i urediti međuproizvode kao kod Agisoft-a. Četvrti korak ove analize je proces kojeg svi softveri zadovoljavaju. Svi softveri mogu postići željenu rezoluciju što dokazuju i dobiveni rezultati. Unutar Drone2Map-a i Agisoft-a, moguće je upravljati resursima i dijeliti RAM. Oba softvera koriste grafički procesor CUDA. Agisoft nudi i obradu u oblaku, ali je za njeno korištenje potrebna nadoplata. Šesti se korak odnosi na međuproizvode oblaka točaka i 3D mreže koji nisu dostupni unutar Site Scana i Drone2Map-a. U Agisoft-u je moguće urediti, izdvojiti i poboljšati stavke međuproizvoda koje utječu na detalje i točnost konačnih prikaza te na samo vrijeme obrade. Kako bi se dobili što kvalitetniji prikazi, potrebno je izvrsno poznavanje stručnih pojmova fotogrametrije i principa rada Agisoft-a. Kod Drone2Map-a i Site Scan-a to nije slučaj jer se obrada odvija automatski. Sedmi se, a ujedno i posljednji, korak odnosi na podatke kvalitete snimki, senzora, georeferenciranja i dobivenih prikaza pomoću kojih je moguće poboljšanje nove obrade ili donošenje konačnog zaključka o provedenoj obradi i isporuka klijentu. Već je spomenuto kako Drone2Map i Site Scan imaju isti izvješće obrade koje sadrži bitne podatke o kvaliteti, dok Agisoft generira izvješće koje sadrži manje stavki. Ovaj se korak odnosi i na dobivanje 2D i 3D prikaze, a u svim je softverima moguća izrada ortofoto prikaza, DSM-a, DTM-a, *point clouda* i *3D mesha*. U Site Scan-u je moguće izvesti dobivene rasterske prikaze u .png i .tiff formatu, a vektorske u .shp i .dxf. *Point cloud* se izvozi u .las formatu, a *3D mesh* u .obj, .slpk i .fbx. Drone2Map omogućuje izvoz vektorskih prikaza u .shp formatu, a rasterskih u .tiff. *Point cloud* i *3D mesh* je moguće izvesti u različitim formatima koji se odabiru pri označavanju postavki procesuiranja. Drone2Map je također dio ArcGIS sustava, stoga je dobivene prikaze moguće izvesti kao različite slojeve koje i drugi ESRI-evi softveri mogu učitati. Agisoft ima najviše podržanih formata za izvoz 2D rasterskih i vektorskih prikaza, ali i za izvoz 3D prikaza. Korisnik može odabrati najpogodniji format izvoza koji mu je potreban za nastavak rada.

Tablica 8.7 Analiza softvera prema koracima Burhamovog modela

Korak	Site Scan	Drone2Map	Agisoft Metashape Pro
Priprema: snimke i geolokacija	Djelomično ispunjeno	Djelomično ispunjeno	Djelomično ispunjeno
Kalibracija: senzori i georeferenciranje	Djelomično ispunjeno	Ispunjeno	Ispunjeno
Preproces: strategija	Djelomično ispunjeno	Ispunjeno	Ispunjeno
Proces: izvori	Ispunjeno	Ispunjeno	Ispunjeno
Među-proizvodi	Nije dostupno	Nije dostupno	Ispunjeno
Provjera kvalitete	Ispunjeno	Ispunjeno	Ispunjeno
Finalni produkti	Ispunjeno	Ispunjeno	Ispunjeno

9. SINTEZA ISTRAŽIVANJA

Na temelju provedenog istraživanja, doneseni su sljedeći zaključci. Kao prvo, potrebno je biti upoznat s načinom rada drona pomoću kojega se vrši snimanje te proučiti zakonsku regulativu o letenju dronom. Kada se izabere područje ili objekt snimanja, obavezno je, prema Provedbenoj Uredbi, utvrditi kategoriju i potkategoriju snimanja te položiti obvezne ispite. Nakon toga, potrebno je isplanirati let i priložiti dokumentaciju Državnoj geodetskoj upravi kako bi se ishodila dozvola za snimanje, ukoliko je ista potrebna. Nakon odobrenja snimanja, potrebno je prijaviti let nadležnoj jedinici za upravljanje zračnim prostorom, zatim isplanirati let uz prethodno proučenu vremensku prognozu te utvrditi prepreke i ostale uzroke potencijalnog ometanja leta drona.

Planiranje leta potrebno je izvesti s velikom pažnjom. Ukoliko promatrani/no objekt ili područje nije ispravno snimljen/no, obrada može polučiti neuspješne rezultate. U ovome je radu provedeno snimanje linijskog objekta (željeznička pruga) i površinskog objekta (šumska vegetacija). Kako bi se ravnomjerno obuhvatili svi detalji, nužno je isplanirati snimanje željeznice tako da se let odvija sredinom trase i pri tome obuhvati cijela njena duljina. Snimanje željeznice *corridor* načinom, u sklopu Site Scan Flight Planning aplikacije, pokazao se optimalnim jer je ostvario najbolje rezultate. Prilikom planiranja snimanja šume, ispitane su *area* i *crosshatch* opcije, a adekvatnom se pokazala *crosshatch* opcija. Posvećena je velika pažnja pri postavljanju preklopa i visine leta, a raspoloživost baterijama i maksimalno vrijeme rada letjelice također su uzeti u obzir. U cilju postizanja veće detaljnosti snimki šume, korišten je veći preklop u odnosu na snimanje željeznice. Bitan je i kut gimbala, a to dokazuje i činjenica kako su najbolje snimke jednog leta, dobivene uz povećani preklop i nagib gimbala od 30°. Obrada snimki šume i željeznice te izrada 2D i 3D prikaza istih, postignut je pomoću: Site Scan-a i Drone2Map-a (ESRI) te Agisoft-a Metashape Pro-a (Agisoft LLC). Predmet usporedbe navedenih softvera su generirani: ortofoto prikaz, DSM, *point cloud* i *3D mesh*. Najbolja prostorna rezolucija prikaza šume i željeznice te najkraće vrijeme obrade postignuta/to je u Site Scan-u. Prema apsolutnoj točnosti i pomaku GCP točaka, najbolji su rezultati, i to za sve obrade, ostvareni u Agisoft-u. Najuspješniji rezultati prve obrade šume iz snimki različitih misija, dobiveni

su u Agisoft-u i Site Scan-u, dok su oni manje uspješni dobiveni u Drone2Map-u. Druga se obrada šume sastojala od jednog snimanja s većim preklopom, a za razliku od prve, uspjela je u svim softverima.

U konačnici je dokazano kako korištenje snimki jedne misije (snimanje na konstantnoj visini s istim postavkama leta), daje točnije rezultate u odnosu na korištenje snimki više različitih misija (snimanje na različitim visinama s drugačijim postavkama leta). Zaključuje se i da bi, uporabom većeg broja GCP točaka i njihovom ravnomjernijom raspoređenosti na terenu, softverska obrada snimki bila još uspješnija.

10. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je ispitivanje snimanja linijskih i površinskih objekata dronom i njihova daljnja obrada i analiza softvera. Linijski objekt predstavljala je željeznica, dok je površinski predstavljala šuma. Snimanje šume i pruge obavljeno je za svega nekoliko sati zajedno s rekognisciranjem terena. Izmjera klasičnim metodama trajala bi vremenski puno više i zahtijevala veću terensku ekipu, a količina prikupljenih podataka bila bi manja.

Obrada snimljenih objekata bila je uspješna u svim softverima te su dobiveni isti prikazi. Kompleksnost obrade snimki razlikuje se za svaki softver. Pokazalo se kako Site Scan i Drone2Map ne zahtijevaju predznanje o obradi snimki i poznavanje fotogrametrije, dok je za rad u Agisoft-u potreban određen stupanj predznanja te je obrada složenija. Najveća je točnost ostvarena u Agisoft-u, ali i ostali softveri dali su prikaze zadovoljavajuće točnosti. Iako Site Scan i Drone2Map funkcioniraju na temelju istog algoritma, bolja je rezolucija ipak ostvarena u Site Scan-u. Site Scan je baziran na radu u oblaku, a postiže visoku točnost prikaza bez uvjeta hardvera. Za obradu u Drone2Map-u i Agisoft-u problem su predstavljali hardverski uvjeti te je bilo nužno postaviti minimalne parametre pri obradi.

Na kraju je provedena i analiza softvera kojom je dokazano da Agisoft optimalan softver, ali za potrebe izrade ovog rada i hardverskih uvjeta najprikladniji je ipak Site Scan. Proizvođači softvera relativno često objavljuju ažuriranja softvera te nove mogućnosti i alate, što može otežati korisnikov odabir idealnog softvera. U ovome radu dan je detaljan pregled korištenih softvera i analiza dobivenih prikaza koji može poslužiti kao smjernica za odabir idealnog softvera, budući da je očigledno kako će se upotreba dronova nastaviti i razvijati u budućnosti.

LITERATURA

- Agisoft Metshape User Manual, Professional Edition, Version 1.7, (2021): Agisoft LLC, https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf, (5.11.2021.)
- Albeaino, G., Gheisari, M., Franz, B.W. (2019): A systematic review of unmanned aerial vehicle application areas and technologies in the AEC domain, ITcon vol. 24, str. 381-405, <https://www.itcon.org/2019/20>, (1.11.2021.)
- Bačić, Ž. (2020): Integrirani sustavi u geomatici, prezentacije s predavanja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- Balestrieri, E., Daponte, P., De Vito, L., Lamonaca, F. (2021): Sensors and Measurements for Unmanned Systems: An Overview, Sensors 2021, 21, <https://doi.org/10.3390/s21041518>, (1.11.2021.)
- Banu, T.P., Borlea, G.F., Banu, C.M. (2021): The Use of Drones in Forestry, Journal of Environmental Science and Engineering, 5, str. 557- 562, <http://www.davidpublisher.com/index.php/Home/Article/index?id=30060.html>, (30.10.2021.)
- Burnham, C. (2019): A Study of UAV Photogrammetry Software, Projekt: Masters Engineering UAV (Drones), https://www.researchgate.net/publication/335749992_A_Study_of_UAV_Photogrammetry_Software, (30.10.2021.)
- Ciampa, E., De Vito, L., Pecce, M. (2019): Practical issues on the use of drones for construction inspections, Journal of Physics, Conference Series, 1249, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1249/1/012016>, (9.11.2021.)
- del Cerro, J., Cruz Ulloa, C., Barrientos, A., de León Rivas, J. (2021): Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture, A Survey, Agronomy, 11, 203, <https://doi.org/10.3390/agronomy11020203>, (9.11.2021.)
- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (2019): Inspection and monitoring of railway infrastructure using aerial drones, Working Group on the Trans-Asian Railway Network 6th session Bangkok, Item 6 of the provisional agenda https://www.unescap.org/sites/default/files/TARWG_4E_Inspection%20and%20monitoring.pdf, (9.11.2021.)
- ESRI (2021): Learn Site Scan for ArcGIS, Flight app user manual, <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=913b21e868954d5e9c9c19961f53d6a3>, (2.11.2021.)
- Getzin, S., Wiegand, K., Schöning, I. (2012): Assessing biodiversity in forests using very high- resolution images and unmanned aerial vehicles, Methods in Ecology and Evolution, 3, str.397-404, <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2041-210X.2011.00158.x>, (2.11.2021.)
- Gupta, S., Ghonge, M., Jawandhiya, P. (2013): Review of Unmanned Aircraft System (UAS), International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology, 9, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3451039, (9.11.2021.)

Haque, S.R., Kormokar, R., & Zaman, A.U. (2017): Drone ground control station with enhanced safety features, 2017 2nd International Conference for Convergence in Technology (I2CT), str. 1207-1210, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8226318>, (9.11.2021.)

Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (2020): Osposobljavanje za udaljene pilote za potkategorije A1/A3 otvorene kategorije, online priručnik, <https://www.ccaa.hr/1>, (9.11.2021.)

Jackson, J. (2021): Using Drones to Monitor Fence Lines, College of Agriculture, Food and Environment, University of Kentucky, Kentucky
<http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/AEN/AEN159/AEN159.pdf>, (9.11.2021.)

Kalamkar, R. et al. (2020): Drone and its Applications in Agriculture, International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9, str 3022-3026,
<https://www.ijcmas.com/abstractview.php?ID=17836&vol=9-6-2020&SNo=363>

Kloc, B., Mazur, A., Szumiło, M. (2021): Comparison of Free and Commercial Software in the Processing of Data Obtained from Non-Metric Cameras, Journal of Ecological Engineering, 22 (2), str. 213-225, <https://doi.org/10.12911/22998993/131074>, (5.11.2021.)

Lazzaro, S. (2015): Flying multiple drones from 1 remote controller, University of Wisconsin-Madison, Madison, <https://minds.wisconsin.edu/handle/1793/72188>, (9.11.2021.)

Marić, I., Šiljeg, A., Domazetović, F. (2019): Geoprostorne tehnologije u 3D dokumentaciji i promociji kulturne baštine - primjer utvrde Fortica na otoku Pagu, Geodetski glasnik, 50, 19-44,

Palik, M., Nagy, és M. (2019): Brief History of UAV Development, Repüléstudományi Közlemények, 31, str. 155–166,
<https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/246>, (09.11.2021.)

Provedbena uredba komisije (EU) 2019/947 od 24.5.2019 o pravilima i postupcima za rad bespilotnih zrakoplova,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0947&from=LV>, (1.11.2021.)

Suziedelyte Visockiene, J., Brucas, D., Ragauskas U. (2014): Comparison of UAV images processing softwares, Journal of Measurements in Engineering, Vol. 2, Issue 2, str. 111-121, <https://www.jvejournals.com/article/15152/abs>, (5.11.2021.)

Uredba o snimanju iz zraka (2020), Narodne novine 77, Zagreb, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_07_77_1464.html, (9.11.2021.)

Vergouw, B., Nagel, H., Bondt, G., Custers, B. (2016) : The Future of Drone Use, T.M.C. Asser Press, The Hague, Ch. 2., https://doi.org/10.1007/978-94-6265-132-6_2, (9.11.2021.)

Villa, T.F., Salimi, F., Morton, K., Morawska, L., Gonzalez, F. (2016): Development and Validation of a UAV Based System for Air Pollution Measurements, Sensors 2016, 16, 2202, <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/12/2202>, (9.11.2021.)

Zhang, J., Hu, J., Lian, J., Fan, Z., Ouyang, X., & Ye, W. (2016): Seeing the forest from drones: Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest

monitoring, Biological Conservation, 198, str 60-69,
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.03.027>, (1.11.2021.)

Windhal, E., Johnson, J., (2020): Site Scan for ArcGIS: Frequently Asked Questions, ArcGIS Blog, <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/site-scan/imagery/drone-imagery-and-site-scan-for-arcgis-frequently-asked-questions/>, (5.11.2021.)

POPIS URL-ova:

URL 1. Povijest naziva dron, <https://www.pix4d.com/blog/etymology-drone-photogrammetry>, (1.8.2021.)

URL 2. Povijest dronova, https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle, (1.8.2021.)

URL 3. Pioner letjelica, https://en.wikipedia.org/wiki/AAI_RQ-2_Pioneer, (10.8.2021.)

URL 4. Evolucija dronova, <https://percepto.co/the-evolution-of-drones-from-military-to-hobby-commercial/>, (10.8.2021.)

URL 5. Dron s fiksnim krilima i multirotorski dron, <https://www.applanix.com/news/fixed-wing-vs-multi-rotor>, (1.11.2021.)

URL 6. Hibridni dron,
<https://www.dronevolt.com/en/expert-solutions/heliplane/>, (1.11.2021.)

URL 7. Priručnik CCAA,
http://www.ccaa.hr/file_inline.php?file=638fd62915172c429e101c3e9410af3f078, (1.11.2021)

URL 8. EU propisi za dronove,
<https://www.terra-drone.net/global/2019/04/26/eu-drone-regels-voor-dummies/>, (1.11.2021.)

URL 9. Primjena dronova za inspekciju,
<https://forcetechnology.com/en/services/drone-inspection-of-power-lines-and-civil-infrastructure#:~:text=Drones%20can%20be%20used%20to,which%20affects%20the%20drone%20compass>, (1.11.2021.)

URL 10. Precizna poljoprivreda,
<https://www.precisionag.com/in-field-technologies/drones-uavs/the-role-of-drone-technology-in-sustainable-agriculture/>, (7.11.2021.)

URL 11. Dronovi za prskanje usjeva,
<https://www.mixerdirect.com/blogs/mixer-direct-blog/how-drones-are-changing-agriculture>, (1.11.2021.)

URL 12. ESRI, <https://en.wikipedia.org/wiki/Esri>, (7.11.2021.)

URL 13. GSD, <https://wingtra.com/how-ground-sample-distance-gsd-relates-to-accuracy-and-drone-roi/>, (7.11.2021.)

URL 14. Site Scan Manager,
<https://support.esri.com/en/technical-article/000023015>, (5.11.2021.)

- URL 15. Site Scan Fleet Management, <https://support.esri.com/en/technical-article/000022892>, (5.11.2021.)
- URL 16. Drone2Map, <https://doc.arcgis.com/en/drone2map/get-started/what-is-drone2map.htm>, (5.11.2021.)
- URL 17. Drone Collection, <https://www.esri.se/sv-se/arcgis/products/arcgis-drone-collections/overview>, (5.11.2021.)
- URL 18. DJI Phantom 4 Pro v2.0, <https://www.dji.com/hr/phantom-4-pro-v2>, (1.11.2021.)
- URL 19. AMC portal, <https://amc.crocontrol.hr/>, (1.11.2021.)
- URL 20. GCP, <https://wingtra.com/ground-control-points-how-many-do-you-need-and-when-are-checkpoints-enough/>, (1.11.2021.)
- URL 21. Cut&Fill alat, <https://support.esri.com/en/technical-article/000023065>, (5.11.2021.)
- URL 22. Hillshade prikaz, <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/hillshade-function.html>, (5.11.2021.)
- URL 23. Karta dubine, https://www.i-art3d.com/Eng/About_Depth.htm, (7.11.2021.)

POPIS SLIKA

Slika 2.1 RQ-2 Pioneer bespilotna letjelica (URL 3)	8
Slika 2.2 Dron s fiksnim krilima (lijevo) i multitrotorski dron (desno) (URL 5).....	10
Slika 2.3 Hibridni dron (URL 6)	10
Slika 2.4 Dijelovi UAV sustava, komponente drona (lijevo) i zemaljska kontrolna komponenta (Villa i dr., 2016)	12
Slika 4.1 Proizvodi dobiveni obradom snimki šume (Zhang i dr., 2016).....	19
Slika 4.2 Primjena dronova za prskanje usjeva pšenice (URL 11)	20
Slika 5.1 Sučelje Site Scan for ArcGIS Flight Planning aplikacije.....	23
Slika 5.2 2D prikaz putanje leta (desno), parametri leta (lijevo) i podaci o letu (dno sučelja)	24
Slika 5.3 3D prikaz putanje leta s uključenom geofence opcijom (desno) i prikaz advanced parametara (lijevo).....	24
Slika 5.4 Sučelje Site Scan Managera i provedeni letovi unutar projekta.....	25
Slika 5.5 Sučelje fleet managment opcije unutar Site Scan-a.....	26
Slika 5.6 Drone2Map sučelje s predlošcima	27
Slika 5.7 Skica komunikacije između dronova (Lazzaro, 2015).....	29
Slika 6.1 Šuma (zelena površina) i pruga (crvena linija)	30
Slika 6.2 Prikaz silosa Resnik, okolne šume i pruge na Google Maps 3D opciji.....	31

Slika 6.3 DJI Phantom 4 Pro v2.0 dron (lijevo) i daljinski upravljač (desno) (URL 18)....	32
Slika 6.4 3D prikaz putanje leta u corridor načinu	34
Slika 6.5 2D prikaz putanje leta u corridor načinu	35
Slika 6.6 2D prikaz putanje leta- area način s uključenom geofence i terrain follow opcijom	36
Slika 6.7 Signalizacija crvenim sprejom	38
Slika 6.8 Signalizacija kvadratnom pločom	38
Slika 6.9 Položaj GCP točaka unutar područja snimanja za snimanje 30.4.2021.	39
Slika 6.10 Kalibracija u DJI GO 4 aplikaciji.....	41
Slika 6.11 Tijek obrade u Site Scan-u	43
Slika 6.12 Sučelje Drone2Map	45
Slika 6.13 Tijek obrade u Drone2Map-u	46
Slika 6.14 Agisoft Metashape Pro sučelje	47
Slika 6.15 Tijek obrade u Agisoft-u	48
Slika 7.1 Usporedba ortofoto prikaza dobiven obradom snimki snimljenim gimbalom pod 45° (lijevo) i gimbalom pod 30° (desno) u Site Scan-u.....	49
Slika 7.2 Dobiveni ortofoto prikaz pruge u Site Scan-u.....	50
Slika 7.3 Dobiveni DEM (DSM) pruge i okoline u Site Scan-u	51
Slika 7.4 Prikaz point clouda pruge dobiven u Site Scan-u (lijevo) i uvećani prikaz trase (desno)	51
Slika 7.5 Prikaz 3D mesha pruge dobiven u Site Scan-u (lijevo) i uvećani prikaz trase (desno)	52
Slika 7.6 3D profil dijela pruge kreiran u Site Scan-u	52
Slika 7.7 Dobiveni ortofoto prikazi šume u Site Scan-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno).....	53
Slika 7.8 Dobiveni DEM (DSM) šume u Site Scan-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno).....	53
Slika 7.9 Dobiveni point cloud šume u Site Scan-u za snimanje 30.4.2021. (lijevo) i snimanje 2.6.2021. (desno).....	54
Slika 7.10 Dobiveni 3D mesh šume u Site Scan-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno).....	54
Slika 7.11 Izračun volumena šume u Site Scan-u i 3D prikaz volumena.....	55
Slika 7.12 Dobiveni ortofoto prikaz pruge u Drone2Map-u	56
Slika 7.13 Dobiveni DEM (DSM) pruge u Drone2Map-u).....	56
Slika 7.14 Dobiveni point cloud pruge (lijevo) i klasificirani point cloud pruge (desno) u Drone2Map-u	57
Slika 7.15 Dobiveni 3D mesh pruge u Drone2Map-u	57

Slika 7.16 Dobiveni ortofoto prikazi šume u Drone2Map-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno).....	58
Slika 7.17 Dobiveni DSM šume u Drone2Map-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)	58
Slika 7.18 Dobiveni point cloud šume (lijevo) i klasificirani point cloud šume (desno) u Drone2Map-u za snimanje 30.4.2021.....	59
Slika 7.19 Dobiveni point cloud šume (lijevo) i klasificirani point cloud šume (desno) u Drone2Map-u za snimanje 2.6.2021.....	59
Slika 7.20 Dobiveni 3D mesh šume u Drone2Map-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno).....	60
Slika 7.21 Dobiveni NDVI šume u Drone2Map-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno).....	60
Slika 7.22 Dobiveni ortofoto prikaz pruge u Agisoft Metashape Pro-u.....	61
Slika 7.23 Dobiveni DSM pruge u Agisoft Metashape Pro-u	61
Slika 7.24 Dobiveni point cloud pruge u Agisoft Metashape Pro-u.....	62
Slika 7.25 Dobiveni 3D mesh pruge u Agisoft Metashape Pro-u	62
Slika 7.26 Dobiveni ortofoto prikazi šume u Agisoft-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno).....	63
Slika 7.27 Dobiveni DSM šume u Agisoft-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)	63
Slika 7.28 Dobiveni dense cloud šume u Agisoft-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno).....	63
Slika 7.29 Dobiveni 3D modeli šume u Agisoft-u za snimanje 30.4.2021 (lijevo) i snimanje 2.6.2021 (desno)	64
Slika 8.1 Koraci Burhamovog modela za analizu softvera	66

POPIS TABLICA

Tablica 3.1 Pojednostavljena tablica potkategorija u otvorenoj kategoriji (Provedbena uredba komisije (EU) 2019/947, 2019).....	15
Tablica 5.1 Karakteristike dostupnih Drone Collection paketa (URL 17).....	28
Tablica 6.1 Karakteristike korištenog računala	32
Tablica 6.2 Parametri letova za snimanje pruge u corridor načinu	34
Tablica 6.3 Parametri leta za snimanje šume u area načinu	35
Tablica 6.4 Parametri letova za snimanje šume u crosshatch načinu.....	36
Tablica 6.5 Koordinate GCP točaka za snimanje 30.4.2021	39
Tablica 6.6 Koordinate GCP točaka za snimanje 2.6.2021	39
Tablica 6.7 Stavke za provjeru UAV prije početka leta (Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo, 2021)	40

Tablica 8.1 Osnovni parametri kvalitete provedene obrade u Site Scan-u.....	67
Tablica 8.2 Pomaci GCP točaka i ostvarena apsolutna točnost obrade u Site Scan-u	67
Tablica 8.3 Osnovni parametri kvalitete provedene obrade u Drone2Map-u	69
Tablica 8.4 Pomaci GCP točaka i ostvarena apsolutna točnost u Drone2Map-u	69
Tablica 8.5 Osnovni parametri kvalitete provedene obrade u Agisoft-u.....	70
Tablica 8.6 Pomaci GCP točaka i ostvarena apsolutna točnost u Agisoft-u	71
Tablica 8.7 Analiza softvera prema koracima Burhamovog modela	74

PRILOZI

- Prilog br. 1: Tehničke specifikacije korištene letjelice
- Prilog br. 2: Potvrda registracije operatora sustava bespilotnih zrakoplova
- Prilog br. 3: Suglasnost uprave silosa Resnik za snimanje silosa i okolnih objekata iz zraka
- Prilog br. 4: Odobrenje DGU za snimanje iz zraka na području silosa Resnik
- Prilog br. 5: Karte planova letenja na području silosa Resnik
- Prilog br. 6: Primjer izvješća obrade u Site Scan-u

Prilog br. 1: Tehničke specifikacije korištene letjelice

Osnovne karakteristike DJI Phantom 4 Pro v2.0 drona

Težina (uključene baterije i elise)	1375 g
Veličina po dijagonali	350 mm
Maksimalna brzina uzlijetanja	S-način rada: 6 m / s P-način rada: 5 m / s
Maksimalna brzina slijetanja	S-način rada: 4 m / s P-način rada: 3 m / s
Maksimalna brzina	S-način rada: 72 km / h (45 km / h) A-način rada: 58 km / h (36 km / h) P-način rada: 50 km / h (31 km / h)
Maksimalni kut nagiba	S-način: 42 ° A-način: 35 ° P-način: 25 °
Maksimalna kutna brzina	S-način rada: 250 ° / s A-način rada: 150 ° / s
Maksimalna visina rada iznad razine mora	19685 ft (6000 m)
Otpor maksimalne brzine vjetra	10 m / s
Maksimalno vrijeme leta	Oko 30 minuta
Raspon radne temperature	32 ° do 104 ° F (0 ° do 40 ° C)
Sustavi satelitskog pozicioniranja	GPS / GLONASS
Raspon točnosti letenja	Okomito: ± 0,1 m (s pozicioniranjem vida), ± 0,5 m (s GPS pozicioniranjem) Horizontalno: ± 0,3 m (s pozicioniranjem vida), ± 1,5 m (s GPS pozicioniranjem)

Karakteristike kamere DJI Phantom 4 Pro v2.0

Senzor	1-inčni CMOS, efektivni pikseli: 20M
Leće	FOV 84 ° 8,8 mm / 24 mm (ekvivalent formatu 35 mm) f / 2,8-f / 11 autofokus pri 1 m-∞
ISO raspon	Video:100-3200 (automatski),100-6400 (ručno) Fotografija:100-3200 (automatski),100-12800 (ručno)
Mehanička brzina zatvarača	8-1 / 2000 s
Brzina elektronskog zatvarača	8-1 / 8000 s
Načini fotografiranja	Single shot burst snimanja: 3/5/7/10/14 okviri Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5 ekspozicijski okviri od 0,7 EV Bias interval: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Maksimalna brzina prijenosa videozapisa	100 Mbps
Podržani sustavi datoteka	FAT32 (≤32 GB); exFAT (> 32 GB)
Fotografija	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Video	MP4 / MOV (AVC / H.264; HEVC / H.265)
Podržane SD kartice	Maksimalni kapacitet microSD : 128 GB Brzina pisanja ≥15MB / s, potrebna je ocjena 10 ili UHS-
Raspon radne temperature	32 ° do 104 ° F (0 ° do 40 ° C)

Karakteristike baterije

Kapacitet	5870 mAh
Napon	15,2 V
Tip baterije	LiPo 4S
Energija	89,2 Wh
Neto težina	468 g
Raspon temperature punjenja	Od 5 ° do 40 ° C od 41 ° do 104 ° F
Maksimalna snaga punjenja	160 W

Osnovne karakterisitke gimbala DJI Phantom 4 Pro v2.0

Stabilizacija	3 osi (pitch, roll, yaw)
Domet koji se može kontrolirati	Nagib: -90 ° do + 30 °
Maksimalna kontrolirana kutna brzina	Nagib: 90 ° / s
Raspon kutnih vibracija	± 0,02 °

Karakteristike daljinskog upravljača

Radna frekvencija	2.400-2.483 GHz i 5.725-5.850 GHz
Maksimalna udaljenost prijenosa	2.400-2.483 GHz, 5.725-5.850 GHz (nesmetano, bez smetnji) FCC: 10000 m CE: 6000 m SRRC: 6000 m MIC: 6000 m
Raspon radne temperature	32 ° do 104 ° F (0 ° do 40 ° C)
Baterija	6000 mAh LiPo 2S
Snaga odašiljača (EIRP)	2.400-2.483 GHz FCC: 26 dBm CE: 20 dBm SRRC: 20 dBm MIC: 17 dBm 5.725-5.850 GHz FCC: 26 dBm

	CE: 14 dBm SRRC: 20 dBm MIC: -
Radna struja / napon	1,2 A/7,4 V
Video izlazni priključak	GL300K: HDMI GL300L: USB
Držać mobilnog uređaja	GL300K: Ugrađeni uređaj za prikaz (5,5- inčni zaslon, 1920 × 1080, 1000 cd / m ² , Android sustav, 4 GB RAM-a, 16 GB ROM- a) GL300L: Tableti i pametni telefoni

Prilog br. 2: Potvrda registracije operatora sustava bespilotnih zrakoplova

 European Union Aviation Safety Agency	 Croatian Civil Aviation Agency
 HRV	
<h1>Potvrda osposobljenosti udaljenog pilota</h1> <p>REMOTE PILOT CERTIFICATE OF COMPETENCY</p>	
	
Ime (First name) Marija	Prezime (Last name) Perić
Identifikacijski broj (Identification number) HRV-RP-19e49652b7f9	Datum isteka valjanosti (Expiration date) 23.04.2026.
	
LIC-FRM-414 PUB	Rev.No. 0/01.12.2020. Page: 1 of 1

Prilog br. 3: Suglasnost uprave silosa Resnik za snimanje silosa i okolnih objekata iz zraka

10/25/21, 9:54 PM

Pošta – Marija Perić – Outlook

Re: Suglasnost za snimanje iz zraka industrijskog kruga silosa "Klara Zagreb" d.d.

Stečajni upravitelj <stecaj@net.hr>

pon, 30.11.2020. 11:13

Primatelj: Željko Bačić <zeljko.bacic@geof.unizg.hr>

Poštovani,

nastavno na Vašu zamolbu za provedbu snimanja iz zraka čestice 3350/5 k.o. Resnik bezposadnim letjelicama za potrebe provedbe nastave na diplomskom studiju Geodezija i geoinformatika na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (kolegij Satelitsko pozicioniranje – projekt) ovim putem dajemo Vam suglasnost.

Stečajni upravitelj

Stečajne mase iza Klara Zagreb d.d. - u stečaju

Marinko Paić, univ.spec.oec.

> Od: "Željko Bačić" <zeljko.bacic@geof.unizg.hr>

> Za: "stecaj@net.hr" <stecaj@net.hr>

> Datum: 30.11.2020 10:26

> Naslov: Suglasnost za snimanje iz zraka industrijskog kruga silosa "Klara Zagreb" d.d.

>



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

UNIVERSITY OF ZAGREB

GEODETSKI FAKULTET

FACULTY OF GEODESY

Zavod za geomatiku

Institute of Geomatics

Katedra za satelitsku geodeziju

Chair for Satellite Geodesy

HR-10000 Zagreb, Kačićeva 26

Prof. Željko Bačić PhD

Prof. dr. sc. Željko Bačić

tel.: +385 1 4639 280

e-mail: zbacic@geof.hr

fax. +385 1 4828 081

<http://www.geof.hr>

Zagreb, 30. studeni 2020

i likvidator

d.d. u stečaju

Paić

Stečajni upravitelji

„Klara Zagreb“

Gospodin Marinko

<https://outlook.office365.com/mail/id/AAQkAGlxMjM0GFkLTAYnQjNGFINy05M2l0LWlyNmM5NmZkZTcwOQAQACgxYSA7rkcFuFB9Xy6lqkY%3...> 1/3

10/25/21, 9:54 PM

Pošta – Marija Perić – Outlook

10000 Zagreb

stecaj@net.hr

VI Požarinje 6,

e-mail:

Predmet: **Snimanje iz zraka bezposadnom letjelicom katastarske čestice 3350/5 k.o. Resnik/Zagreb – Silos Klara**

- *suglasnost, traži se*

Poštovani gospodine Paić,

Obraćam Vam se u Vašem svojstvu stečajnog upravitelja tvrtke „Klara Zagreb“ d.d. čije vlasništvo su industrijski krug silosa s pripadajućim objektima na čestici 3350/5 k.o. Resnik u trokutu Slavenska avenija – Čulinečka cesta – željeznička pruga sa **zamolbom za izdavanje suglasnosti** vlasnika/ovlaštene osobe za provedbu snimanja iz zraka predmetne čestice i objekata na njoj bezposadnim letjelicama za potrebe provedbe nastave na diplomskom studiju Geodezija i geoinformatika na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (kolegij Satelitsko pozicioniranje – projekt).

Predmetna suglasnost nam je potrebna za izdavanje Odobrenja za snimanje iz zraka od strane nadležnog tijela Državne geodetske uprave. Snimanje bi smo obavili sa dvije bezposadne letjelice tipa DJI Phantom Pro 4 tijekom prosinca (u razdoblju od 7.-22.12.) uz pridržavanje svih propisanih mjera. Odgovorna osoba za cjelokupnu aktivnost je prof. dr. sc. Željko Bačić, predmetni nastavnik, a odgovorna osoba za snimanje asistent Zvonimir Nevistić mag. ing. geod. i geoinf. uz sudjelovanje 10 studenata na kolegiju.

Snimljeni materijal koristiti će se isključivo za potrebe nastava. U slučaju namjere javnog objavljivanja snimljenog materijala obvezujemo se prethodno zatražiti Vaše odobrenje.

S poštovanjem



Željko Bačić

Prof.dr.sc

<https://outlook.office365.com/mail/id/AAQKAGlxMjM0GFkLTAYnQINGFNy05M2l0LWlyNmM5NmZkZTcwOQAQACgxYSA7rcFuFB9Xy6lqkY%3...> 2/3

Prilog br. 4: Odobrenje DGU za snimanje iz zraka na području silosa Resnik**REPUBLIKA HRVATSKA
DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA**

SEKTOR ZA DRŽAVNU IZMJERU
SLUŽBA ZA TOPOGRAFSKU IZMJERU
I DRŽAVNE KARTE

KLASA: UP-I-804-07/21-07/337
URBROJ: 541-02-02-02/5-21-2
Zagreb, 27.04.2021.

Državna geodetska uprava na temelju članka 98. stavka 3. Zakona o obrani („Narodne novine“, br. 73/13, 75/15, 27/16, 110/17, 30/18, 70/19), temeljem zahtjeva Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu u postupku izdavanja odobrenja za snimanje iz zraka, donosi

RJEŠENJE

1. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, OIB: 43594593297, **odobrava se snimanje iz zraka** područja k.o.Resnik k.č. 3350/3 industrijskog kruga silosa „Klara Zagreb“ d.d. označenog na planu snimanja dostavljenom uz zahtjev za izdavanje odobrenja.
2. Snimanje iz zraka će se izvršiti od 29.04.2021. do 28.05.2021. , u svrhu i za potrebe izrade diplomskog rada studentice Marije Perić.
3. Naručitelj snimanja Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu je dužan prije uporabe, a najkasnije u roku od osam dana od dana snimanja, dostaviti zračne snimke Državnoj geodetskoj upravi na pregled.

Obrazloženje

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, OIB 43594593297 je dana 21.04.2021. podnio zahtjev za snimanje iz zraka u skladu sa člankom 98. stavkom 2. Zakona o obrani („Narodne novine“, br. 73/13, 75/15, 27/16, 110/17, 30/18, 70/19 – dalje: Zakon) i člankom 9. Uredbe o snimanju iz zraka („Narodne novine“, br. 77/20) .

U postupku po zahtjevu za izdavanje odobrenja za snimanje iz zraka izvršen je uvid u popis i položaj vojnih lokacija i građevina iz članka 96. stavka 1. Zakona, te je utvrđeno da se na području snimanja **ne nalaze** vojne lokacije i građevine.

Nadalje, iz zahtjeva je utvrđeno da će izvršitelj snimanja Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, OIB 43594593297 za obavljanje letaćkih operacija u vremenu iz točke 2. izreke rješenja koristiti zrakoplove DJI, Phantom 4 Pro V2.0, 11USH9RR710029.

Zahtjev je osnovan, te je sukladno članku 98. stavak 3. Zakona, riješeno kao u izreci.

Dužnost naručitelja snimanja iz točke 3. izreke rješenja određena je u skladu sa člankom 98. stavkom 6. Zakona.

Za izdavanje ovoga rješenja, a sukladno Zakonu o upravnim pristojbama („Narodne novine“, br. 115/16) te Uredbi o tarifi upravnih pristojbi („Narodne novine“, br. 08/17, 37/17, 129/17, 18/19, 97/19 i 128/19), upravna pristojba po tarifnom broju 1. nije naplaćena, a po tarifnom broju 44. je naplaćena u iznosu od 15,00 kuna..

Pouka o pravnom lijeku:

Protiv ovoga rješenja žalba nije dopuštena, ali se može pokrenuti upravni spor podnošenjem tužbe nadležnom upravnom sudu, u roku od 30 dana od primitka ovoga rješenja.

Voditelj Službe za topografsku izmjeru i državne karte:

Igor Vilus, dipl. ing. geod.



Dostaviti:

1. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska
2. Ministarstvo obrane, Sektor za obrambenu politiku i planiranje, Stančićeva 6, 10000 Zagreb
3. Hrvatska kontrola zračne plovidbe, Odjel za planiranje zračnog prometa i organizaciju i uporabu zračnog prostora, R. Fizira 2, 10410 Velika Gorica
4. Pismohrana, ovdje

Prilog br. 5: Karte planova letenja na području silosa Resnik

Prikaz plana letenja - šuma, tip: AREA, hatch: 90°, gimbal 0°

M 1: 3000

**TUMAČ ZNAKOVA**

-  GCP TOČKE
-  SNIMKE
-  PUTANJA LETA
-  POVRŠINA





Koordinatni sustav: HTRS96/TM
Izvor podataka: DOF (DGU)

Geodetski fakultet Zagreb
Kolegij: Diplomski rad
Izradila: Marija Perić, listopad 2021.

Prikaz plana letenja - šuma, tip: CROSSHATCH, hatch: 90°, gimbal: 0°
M 1: 3000



TUMAČ ZNAKOVA

-  GCP TOČKE
-  SNIMKE
-  PUTANJA LETA
-  POVRŠINA





Koordinatni sustav: HTRS96/TM
Izvor podataka: DOF (DGU)

Geodetski fakultet Zagreb
Kolegij: Diplomski rad
Izradila: Marija Perić, listopad 2021.

Prikaz plana letenja - željeznička pruga 1, širina snimanja: 10 m
M 1: 2500



TUMAČ ZNAKOVA

-  GCP TOČKE
-  SNIMKE
-  PUTANJA LETA
-  POVRŠINA SNIMANJA

Koordinatni sustav: HTRS96/TM
Izvor podataka: DOF (DGU)

Geodetski fakultet Zagreb
Kolegij: Diplomski rad
Izradila: Marija Perić, listopad 2021.

Prikaz plana letenja - željeznička pruga 2, širina snimanja : 6m
M 1: 2500



TUMAČ ZNAKOVA

■ GCP TOČKE

Layer

ELEMENTI LETA

● SNIMKE

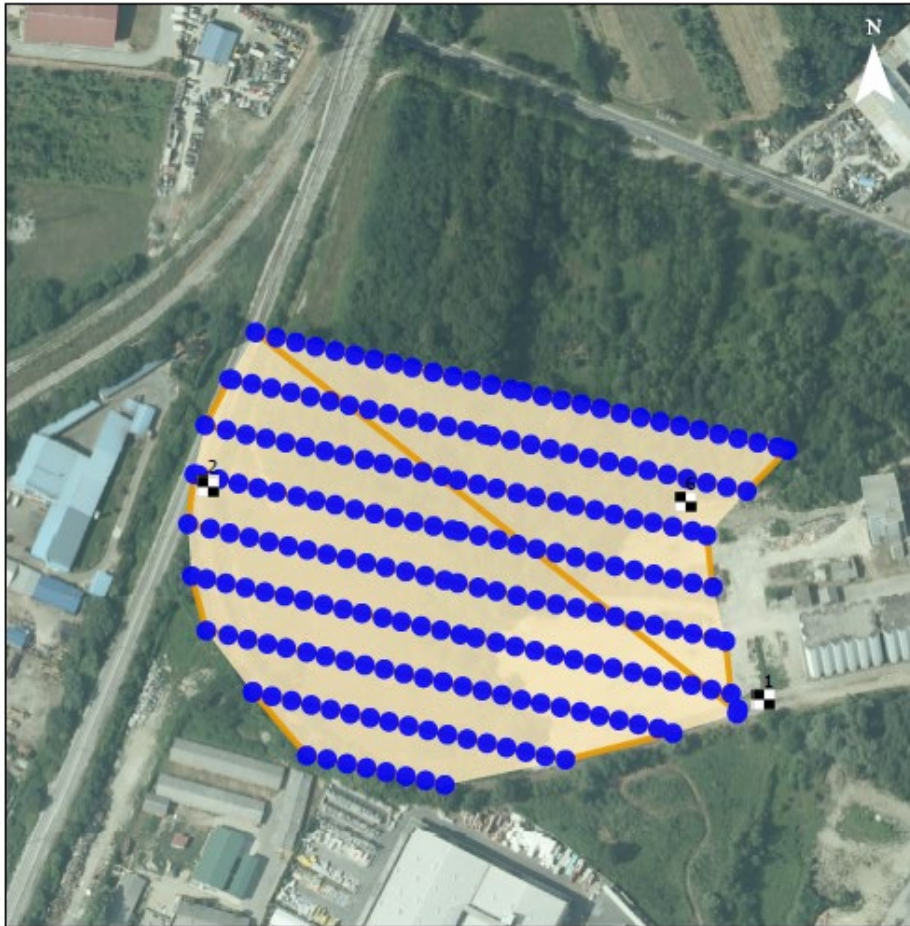
— PUTANJA LETA





■ POLIGON

Koordinatni sustav: HTRS96/TM
Izvor podataka: DOF (DGU)

Geodetski fakultet Zagreb
Kolegij: Diplomski rad
Izradila: Marija Perić, listopad 2021.

Prikaz plana letenja - šuma dio 1, tip: crosshatch, hatch: 90°, gimbal 0°
M 1: 2500



-  GCP TOČKE
-  SNIMKE
-  PUTANJA LETA
-  PODRUČJE SNIMANJA

Koordinatni sustav: HTRS96/TM
Izvor podataka: DOF (DGU)

Geodetski fakultet Zagreb
Kolegij: Diplomski rad
Izradila: Marija Perić, listopad 2021.

Prikaz plana letenja - šuma dio 2, tip: crosshatch, hatch: 90°, gimbal: 0°
M 1: 2500



TUMAČ ZNAKOVA

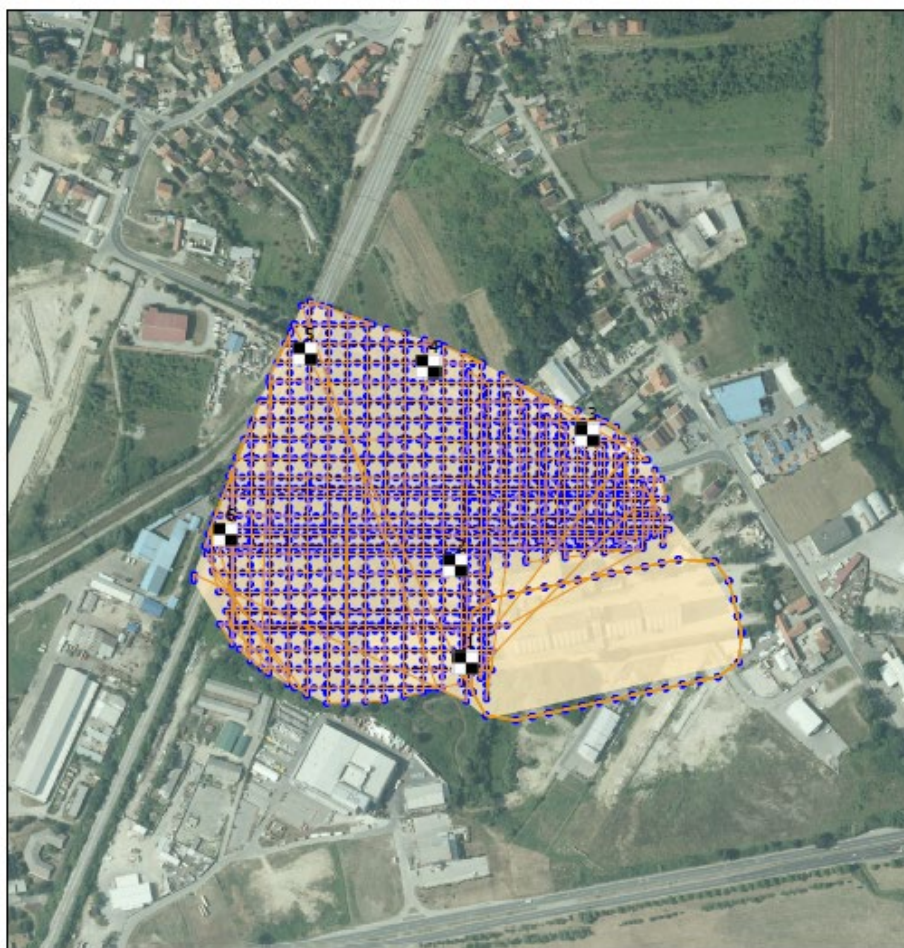
-  GCP TOČKE
-  SNIMKE
-  PUTANJA LETA
-  PODRUČJE

Koordinatni sustav: HTRS96/TM
Izvor podataka: DOF (DGU)

Geodetski fakultet Zagreb
Kolegij: Diplomski rad
Izradila: Marija Perić, listopad 2021.

Prikaz plana letenja - šuma, tip: crosshatch, gimbal: 35°, hatch: 90°

M 1: 5000



-  GCP točke
-  PUTANJA LETA
-  SNIMKE
-  POVRŠINA SNIMANJA

Prilog br. 6: Primjer izvješća obrade u Site Scan-u

Quality Report

Generated with Pix4DengineSDK version 5.0.45 Preview

! **Important:** Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary **i**

Project	project
Processed	2021-11-21 20:37:53
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.53 cm / 0.60 in
Area Covered	0.100 km ² / 9.9670 ha / 0.04 sq. mi. / 24.6419 acres

Quality Check **i**

? Images	median of 73059 keypoints per image	✔
? Dataset	291 out of 291 images calibrated (100%), all images enabled	✔
? Camera Optimization	0.91% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔
? Matching	median of 25491.8 matches per calibrated image	✔
? Georeferencing	yes, 3 GCPs (3 3D), mean RMS error = 0 m	✔

? **Preview** **i**




Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	291 out of 291
Number of Geolocated Images	291 out of 291

Initial Image Positions

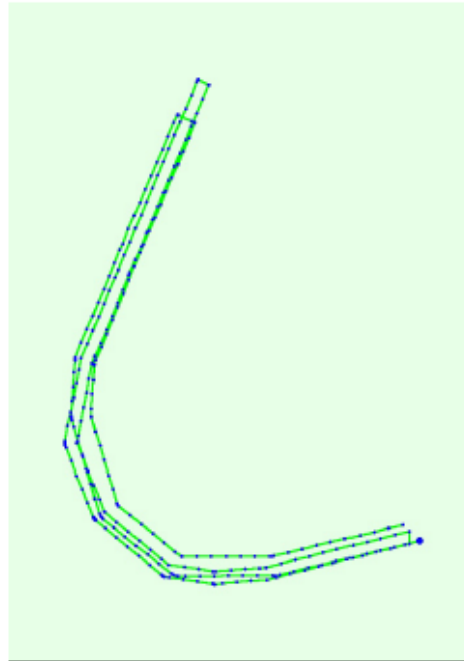


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

--	--

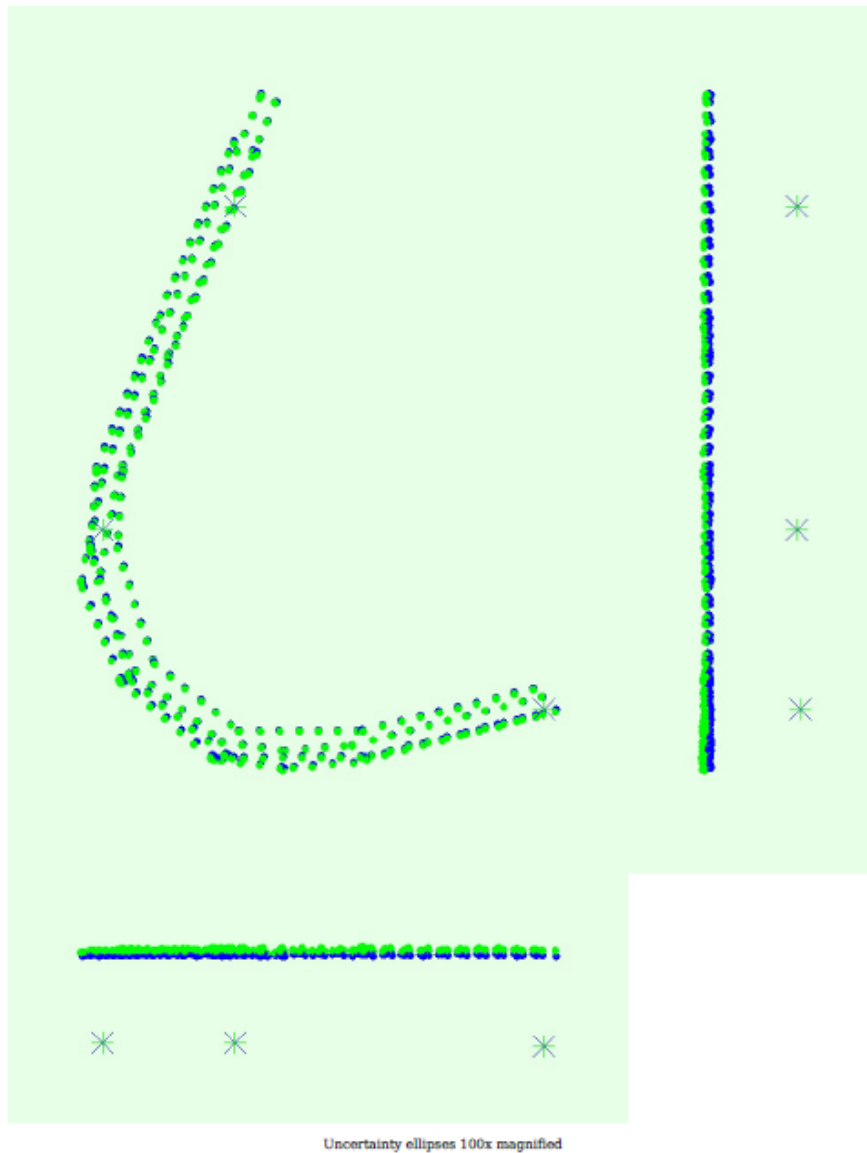


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

③ Absolute camera position and orientation uncertainties

①

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.007	0.008	0.008	0.007	0.007	0.003
Sigma	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001

④ Overlap

①

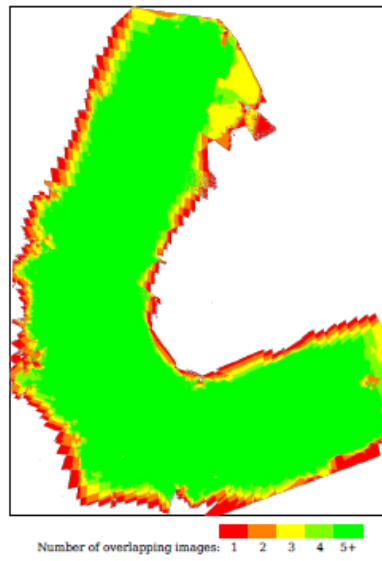


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

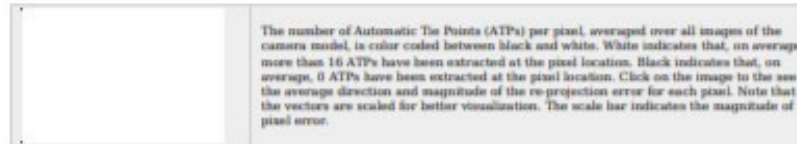
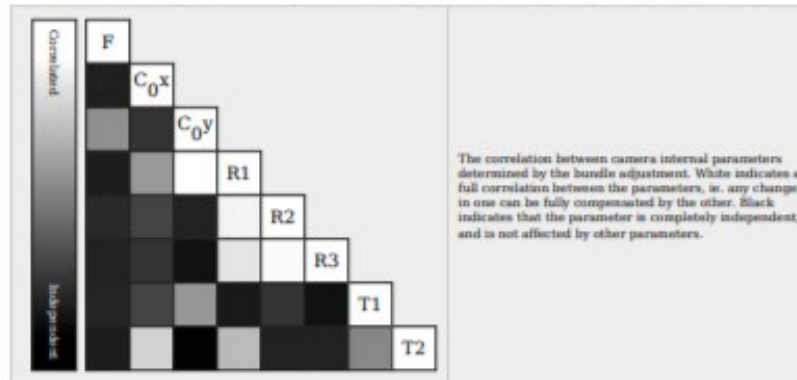
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	8019276
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	2360592
Mean Reprojection Error [pixels]	0.222

Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310S_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3702.377 [pixel] 8.683 [mm]	2722.142 [pixel] 6.384 [mm]	1817.442 [pixel] 4.262 [mm]	-0.013	0.003	0.006	-0.002	-0.001
Uncertainties (Sigma)	0.149 [pixel] 0.000 [mm]	0.077 [pixel] 0.000 [mm]	0.085 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	73059	25492
Min	48918	8957
Max	81893	49722
Mean	72514	27558

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1341722
In 3 Images	400227
In 4 Images	200921
In 5 Images	122121
In 6 Images	83703
In 7 Images	55428

In 8 Images	36729
In 9 Images	25875
In 10 Images	19474
In 11 Images	15076
In 12 Images	11689
In 13 Images	9600
In 14 Images	7632
In 15 Images	6118
In 16 Images	4878
In 17 Images	3897
In 18 Images	3295
In 19 Images	2511
In 20 Images	1981
In 21 Images	1713
In 22 Images	1248
In 23 Images	1041
In 24 Images	757
In 25 Images	643
In 26 Images	473
In 27 Images	388
In 28 Images	347
In 29 Images	272
In 30 Images	223
In 31 Images	178
In 32 Images	160
In 33 Images	96
In 34 Images	65
In 35 Images	48
In 36 Images	26
In 37 Images	12
In 38 Images	11
In 39 Images	7
In 40 Images	2
In 41 Images	1
In 42 Images	1
In 43 Images	2
In 44 Images	1

2D Keypoint Matches



--	--

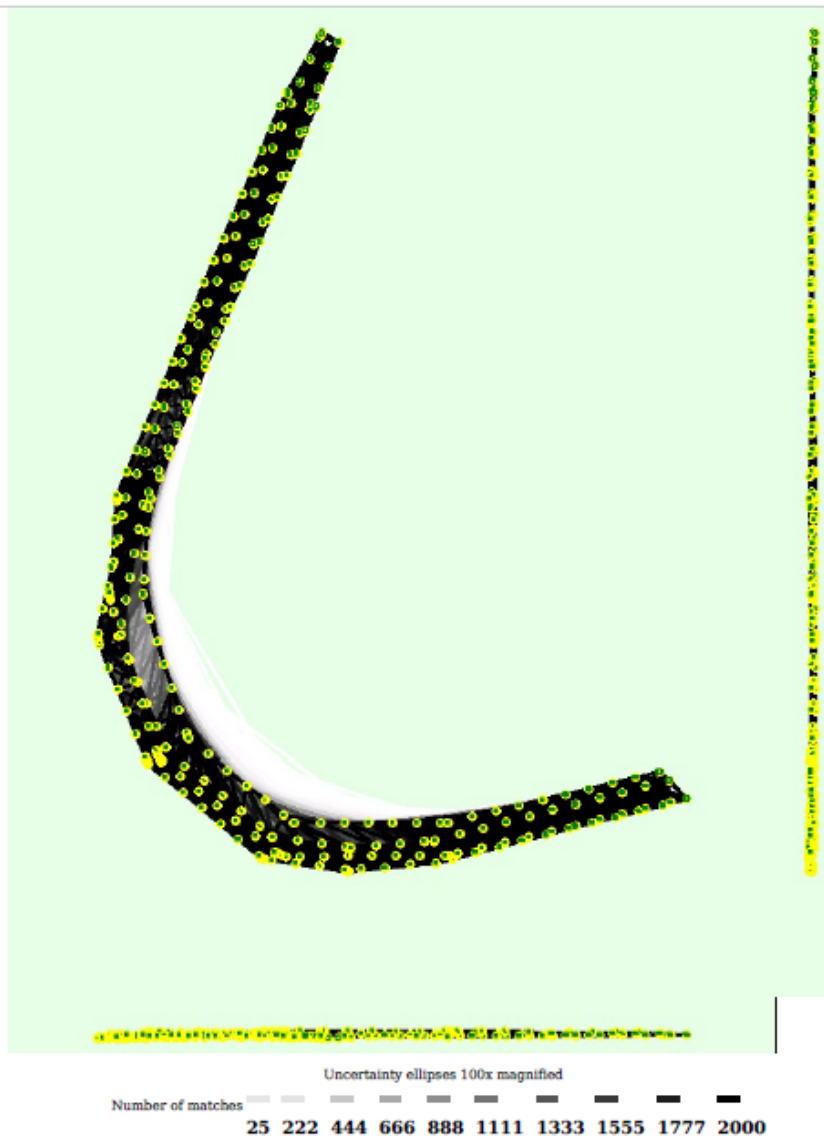


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.006	0.006	0.004	0.007	0.007	0.004
Sigma	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
5 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	0.001	0.000	0.419	6 / 6
3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	-0.000	0.000	0.641	6 / 6
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.001	-0.001	0.634	5 / 5
Mean [m]		0.000070	0.000011	-0.000213		
Sigma [m]		0.001311	0.000642	0.000389		
RMS Error [m]		0.001313	0.000642	0.000443		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	51.55	46.39	42.96
0.00	3.00	48.45	53.61	57.04
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.346049	0.838801	-2.489672
Sigma [m]		0.333048	0.375840	0.704547
RMS Error [m]		0.480282	0.919154	2.587442

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.346049	0.838801	-2.489672

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]

Omega	1.103
Phi	1.703
Kappa	3.701

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Xeon(R) Platinum 8124M CPU @ 3.00GHz RAM: 27GB GPU: no info (Driver: unknown)
Operating System	Linux 4.14.248-189.473.amzn2.x86_64 x86_64

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM 96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	HTRS96 / Croatia TM (EGM 96 Geoid)
Output Coordinate System	HTRS96 / Croatia TM (EGM 96 Geoid)

Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Custom, yes

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.53 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (1.53 [cm/pixel])
Time for DSM Generation	06m:49s
Time for Orthomosaic Generation	41m:17s
Time for DTM Generation	07m:30s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

ŽIVOTOPIS

OSOBNJE INFORMACIJE



Marija Perić

📍 Ulica Jana Sibeliusa 4, Zagreb (Hrvatska)

☎ +385919899946

✉ pericmarija024@gmail.com

♂ Žensko | Datum rođenja 24/02/1998 | Državljanstvo Hrvatsko

RADNO ISKUSTVO

studenj 2021. - danas

Studentski posao

GDi GROUP LCC Zagreb, <https://gdi.net/>

- unos i uređivanje podataka u bazi podataka
- GIS analize
- izrada karata
- rad u ArcMap-u i AutoCAD-u

ožujak 2021. – listopad 2021.

Studentski posao

Geodata - projekt d.o.o Zagreb, <https://geodata.com.hr/>

- izrada elaborata upisa nerazvrstanih cesta
- terenski rad
- ostali pomoćni poslovi

ožujak 2021. – lipanj 2021.

Demonstrator na Katedri za satelitsku geodeziju

Geodetski fakultet Zagreb, <https://www.geof.unizg.hr/en/>

- pomoć nastavniku u izvođenju terenskih vježbi

siječanj 2021. – veljača 2021.

Studentski posao (ispomoć)

Zavod za fotogrametriju d.o.o, <https://zzf.hr/>

- ispis karata za popis stanovništva 2021.
- rad u ArcMap-u

listopad 2019. – siječanj 2020.

Demonstrator na Katedri za satelitsku geodeziju

Geodetski fakultet Zagreb, <https://www.geof.unizg.hr/en/>

- pomoć asistentima u izvođenju vježbi

**OBRAZOVANJE I
OSPOBLJAVANJE**

rujan 2019. – veljača 2022. **Magistar inženjer geodezije i geoinformatike (mag. ing. geod. et geoinf.)**
Diplomski sveučilišni studij geodezija i geoinformatika - usmjerenje geoinformatika, Geodetski fakultet, Zagreb (Hrvatska)

srpanj 2016. – srpanj 2019. **Prvostupnik inženjer geodezije i geoinformatike (bacc. ing. geod. et geoinf.)**
Preddiplomski sveučilišni studij geodezija i geoinformatika, Geodetski fakultet, Zagreb (Hrvatska)

srpanj 2012. – srpanj 2016. **Opća gimnazija**
Gimnazija Franje Petrića (MIOC) Zadar, Zadar (Hrvatska)

OSOBNJE VJEŠTINE

Materinski jezik Hrvatski

Ostali jezici	RAZUMIJEVANJE		GOVOR		PISANJE
	Slušanje	Čitanje	Govorna interakcija	Govorna produkcija	
Engleski jezik	B2	B2	B2	B2	B2
Njemački jezik	A2	A1	A1	A1	A1

Stupnjevi: A1/2: Temeljni korisnik - B1/B2: Samostalni korisnik - C1/C2 Iskusni korisnik
Zajednički europski referentni okvir za jezike

Komunikacijske vještine

- dobre komunikacijske vještine stečene tijekom rada na različitim studentskim poslovima i demonstratura na kojima sam direktno komunicirala s kolegama, klijentima, studentima i poslodavcima.
- rad u timu na svim studentskim poslovima i tijekom fakulteta
- sposobnost prilagodbe komunikacije različitim profilima govornika

Organizacijske / rukovoditeljske vještine

- izvršavanje zadataka u zadanom roku
- preciznost u radu
- primjena teorije u praksi
- vremenska organizacija zadataka

Digitalne vještine

SAMOPROCJENA				
Obrada informacija	Komunikacija	Stvaranje sadržaja	Sigurnost	Rješavanje problema
Samostalni korisnik	Samostalni korisnik	Temeljni korisnik	Temeljni korisnik	Samostalni korisnik

Stupnjevi: Temeljni korisnik - Samostalni korisnik - Iskusni korisnik
[Digitalne vještine - tablica za samoprocjenu](#)

- vješto baratanje MS Office paketom (Word, Excel, Power Point)
- iskustvo rada u AutoCAD-u
- dobro poznavanje GIS softvera: ArcGIS Pro, ArcMap, QGIS, SAGA GIS
- poznavanje rada fotogrametrijskih softvera: Drone2Map, Site Scan, Agisoft Metashape Pro, Cloud Compare
- osnovno poznavanje baze podataka (SQL, PostgreSQL)
- osnovno poznavanje programskih jezika: Python, JavaScript, R, HTML

- Tečajevi**
- ESRI MOOC tečajevi (Imagery in Action, Going places with spatial analysis, Spatial data science)
 - tečajevi na Data Camp platformi: Introduction to SQL, Correlation and Regression in R, Visualizing Geospatial Data in R, Spatial Analysis with sf and Raster in R, Introduction to Python, Intermediate Python

- Certifikati**
- A2, A1/A3 dozvola za udaljenog pilota drona

Vozačka dozvola B