

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Mateo Brešić

**TESTIRANJE ESRI SITE SCAN I DRONE
COLLECTION SOFTVERA ZA SNIMANJE
POVRŠINA FLOTOM DRONOVA**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

Mateo Brešić ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 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, **Mateo Brešić**, (JMBAG: 0083519244), rođen dana 09.04.1998. u Livnu, 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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Mateo Brešić

**TESTIRANJE ESRI SITE SCAN I DRONE
COLLECTION SOFTVERA ZA SNIMANJE
POVRŠINA FLOTOM DRONOVA**

Diplomski rad

Zagreb, 2022

I. AUTOR	
Ime i prezime:	Mateo Brešić
Datum i mjesto rođenja:	09. travnja 1998., Livno, Bosna i Hercegovina
II. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	Testiranje Esri Site Scan i Drone Collection softvera za snimanje površina flotom dronova
Broj stranica:	112
Broj tablica:	8
Broj slika:	126
Broj bibliografskih podataka:	24
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:	19.01.2021.
Datum obrane rada:	25.02.2022.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	Prof. dr. sc. Željko Bačić
	Izv. prof. dr. sc. Andrija Krtalić
	Izv. prof. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić

Zahvala

Ovim putem želio bih izraziti nekoliko riječi zahvale ljudima bez kojih ne bih bio tu gdje jesam.

Veliko hvala profesoru i mentoru prof. dr. sc. Željku Bačiću što mi je pružio mogućnost da izradim ovaj diplomski rad pod njegovim vodstvom. Veliko hvala i voditelju mag. ing. geod. et geoinf. Zvonimiru Nevistiću na svim savjetima i pomoći tijekom izrade diplomskoga rada.

Također želim zahvaliti tvrtkama GDI i BENTLEY SYSTEMS na ustupljenim softverima te hvala i tvrtci GEO OMEGA na ustupljenoj opremi.

Hvala mojoj obitelji, ocu Franu i majci Jeleni, sestri Matei i bratu Denisu što su uvijek bili uz mene i što su mi bili podrška tijekom čitavog školovanja. Također, hvala i teti Miri koja mi je uvijek pružala oslonac i podržavala me u napredovanju i obrazovanju.

Posebno želim zahvaliti svojoj djevojci Ani na velikoj podršci i pomoći tijekom pisanja ovoga rada.

Hvala svim dragim prijateljima koji su mi omogućili da mi studentski dani ostanu u najljepšem sjećanju.

Testiranje ESRI Site Scan i Drone Collection softvera za snimanje površina flotom dronova

SAŽETAK:

Potaknuti naglim razvojem tržišta, inovacije se stvaraju svaki dan. Tako je na tržištu u vrlo kratkom roku ponuđena i široko rasprostranjena uporaba bespilotnih letjelica (dronova). Kako bi se pratio trend i kako bi se održala konkurentnost na tržištu potrebno je neprestano pratiti razvoj tehnologije. Prije desetak godina primjene dronova za komercijalne svrhe gotovo uopće nije bilo, a danas, u pojedinim granama industrije poput geodezije i geoinformatika, postaje nezamislivo obaviti terensku izmjeru bez pripadnih fotogrametrijskih snimaka prikupljenih dronom. No iako se danas dronovi sve više koriste, u Republici Hrvatskoj za snimanje velikih površina još uvijek pretežno prevladavaju terestičke metode snimanja ponajviše iz financijskih razloga i nepovjerenja dionika u nove tehnologije. Prvi komercijalni dron pušten je u prodaju 2013. godine, a danas postoje brojni modeli, od letjelica s fiksnim krilima do složenih multirotorskih letjelica. Razvoj dronova prati razvoj softvera za obradu prikupljenih podataka. Trenutno postoji velik broj različitih softverskih rješenja, većina njih izrađena su u komercijalne svrhe. Cilj ovog diplomskog rada je ispitati mogućnosti različitih softvera za fotogrametrijsku obradu velikih površina uporabom pristupačnih hardverskih rješenja. U radu su ispitane mogućnosti obrade i analize velike količine podataka unutar Drone Collection softverskog paketa tvrtke Esri. Paket se sastoji od Drone2Map softvera, Site Scan online oblaka za obradu podataka te ArcGIS Pro softvera za analizu dobivenih rezultata. Za usporedbu rezultata podaci su obrađeni i u ContextCapture Master softver tvrtke Bentley. Kao testno područje za izradu ovog rada odabrano je nešto manje od 4km² unutar Općine Bedekovčina. Snimanje je provedeno korištenjem Ebee X SenseFly i DJI Phantom Pro 4 v2 bespilotnih letjelica. U radu je opisana detaljna obrada podataka u navedenim softverima te su navedene njihove prednosti i nedostaci usporedbom dobivenih rezultata.

Ključne riječi: *Drone2Map, ArcGIS Pro, ContextCapture Master, DJI Phantom 4 Pro v2, Site Scan*

Testing ESRI Site Scan and Drone Collection Software for Area survey using fleet of drones

ABSTRACT:

Driven by the rapid development of the market, new innovations are created every day. Thus, the widespread use of unmanned aerial vehicles (drones) was offered on the market in a very short time. In order to follow the trend and to maintain competitiveness in the market, it is necessary to constantly monitor the development of technology. About ten years ago, the use of drones for commercial purposes was almost non-existent, and today, in some industries such as land surveying, it becomes unthinkable to conduct field surveys without the associated photogrammetric images collected by drones. However, although drones are increasingly used today, terrestrial shooting methods are still predominant in the Republic of Croatia, mainly for financial reasons and the distrust of stakeholders in new technologies. The first commercial drone went on sale in 2013, and today there are a number of models, from fixed-wing aircraft to complex multi-rotor aircraft. The development of drones is followed by development of software for processing the collected data. There are currently a large number of different software solutions, most of which are made for commercial purposes. The aim of this thesis is to examine the possibilities of different software for photogrammetric processing of large areas using affordable hardware solutions. The paper examines the possibilities of processing and analyzing large amounts of data within the Drone Collection software package from Esri. The package consists of Drone2Map software, Site Scan online cloud for data processing and ArcGIS Pro software for analysis of the obtained results. For comparison, the data were also processed in Bentley's ContextCapture Master software. Slightly less than 4 km² within the Municipality of Bedekovčina was selected as a test area for the preparation of this paper. Shooting was conducted using Ebee X SenseFly and DJI Phantom Pro 4 v2 drones. The paper describes the detailed data processing in the mentioned software and their advantages and disadvantages by comparing the obtained results.

Keywords: *Drone2Map, ArcGIS Pro, ContextCapture Master, DJI Phantom 4 Pro v2, Site Scan*

SADRŽAJ

1. UVOD	8
2. RAZVOJ I OSNOVNE KARAKTERISTIKE DRONOVA.....	9
2.1. Povijest razvoja dronova	9
2.2. Klasifikacija dronova.....	12
2.2.1. Tip bespilotnih letjelica.....	12
2.2.2. Autonomnost leta (stupanj slobode leta).....	14
2.2.3. Veličina i masa bespilotne letjelice.....	14
2.3. Dijelovi dronova	14
2.4. Korišteni dronovi u diplomskom radu	15
2.4.1. Ebee X Sensefly RTK	15
2.4.2. DJI PHANTOM PRO 4 V2.....	16
3. PREGLED EU REGULATIVA ZA SNIMANJE BESPILOTNIM LETJELICAMA	18
3.1. Regulative na snazi.....	18
3.1.1. Delegirana uredba (EU) 2019/945	18
3.1.2. Provedbena uredba (EU) 2019/947	19
3.2. Proces osposobljavanja pilota i licenciranja.....	19
4. STUDIJA SLUČAJA: SNIMANJE DRONOM OPĆINE BEDEKOVČINA	20
4.1. Opis zadatka	20
4.2. Općina Bedekovčina i područja snimanja	21
4.3. Planiranje i priprema prije leta	21
4.4. Zemaljske kontrolne točke (GCP)	24
4.5. Provedba snimanja.....	25
5. OBRADA PODATAKA U SITE SCAN SOFTVERU	27
5.1. Općenito o Site Scan softveru	27
5.2. Postupak obrade u Site Scan-u	28
5.3. Rezultati i interpretacija obrađenih podataka prikupljenih „isprekidanom“ metodom ...	32
5.4. Slika 33. 3D model područja dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-uRezultati i interpretacija obrađenih podataka prikupljenih „površinskom“ metodom.....	36
5.5. Usporedba rezultata različitih metoda obrada u Site Scan-u	40
6. OBRADA PODATAKA U DRONE2MAP SOFTVERU	44
6.1. Općenito o Drone2Map softveru	44
6.2. Postupak obrade u Drone2Map (D2M) softveru	45
6.3. Rezultati i interpretacija obrađenih podataka	54
7. OBRADA PODATAKA U ARCGIS PRO SOFTVERU	63

7.1. Općenito o ArcGIS Pro softveru	63
7.2. Pregled ArcGIS Pro softvera	63
7.3. Analiza i interpretacija rezultata dobivenih u ArcGIS softveru	66
8. OBRADA PODATAKA U CONTEXTCAPTURE MASTER (CCM) SOFTVERU.....	71
8.1. Općenito o softveru	71
8.2. Obrada u ContextCapture softveru	72
8.3. Interpretacija rezultata	78
9. USPOREDBA REZULTATA DOBIVENIH RAZLIČITIM SOFTVERIMA.....	88
9.1. Usporedba tehničkih svojstava	88
9.2. Vizualna usporedba rezultata obrade.....	89
10. ZAKLJUČAK	95
LITERATURA.....	97

1. UVOD

Upravljanje gradovima, pogotovo megapolisima, predstavlja sve veći izazov što je rezultiralo, oslanjajući se na široki i nagli tehnološki napredak, razvojem koncepta pametnih gradova, koji su se počeli realizirati početkom 21. stoljeća. Takvi gradovi zahtjevaju velike količine prikupljenih podataka koji služe za planiranje nove i unaprijeđenje postojeće infrastrukture. Dotadašnje terestičke metode prikupljanja podataka nisu mogle udovoljiti tim potrebama. Iako je pojava bespilotnih letjelica prvenstveno vezana za vojnu uporabu, uvidjelo se da širokim spektrom mogućnosti postoje veliki benefiti za korištenje letjelica u komercijalne svrhe.

Sustav bespilotnih letjelica nije ograničen u prikupljanju podataka na nepristupačnim područjima, ali pojedini tipovi letjelica imaju ograničenje u pogledu napajanja. Za pretpostaviti je da je, primjerice, DJI Phantom 4 Pro v2, letjelica namjenjena za manje površine zbog ograničenog kapaciteta baterije. Smatrajući kako će ovo ograničenje u narednim godinama biti prevladano oslanjanjem na solarnu energiju, u ovom se radu naglasak stavlja na ispitivanje i pregled mogućnosti odabranih softverskih rješenja prilikom korištenja bespilotnih letjelica.

U dosadašnjim istraživanjima ponuđena su samo rješenja za snimanje manjih površina. Razvojem tehnologije i porastom uporabe bespilotnih letjelica pri snimanju velikih površina dovodi se u pitanje i mogućnosti softvera za obradu takve velike količine prikupljenih podataka. Upravo zbog tih navedenih činjenica potaknuto je i zanimanje za ispitivanje uporabe bespilotnih letjelica i pripadajućih softvera za snimanje većih površina što je ujedino i cilj ovog diplomskog rada..

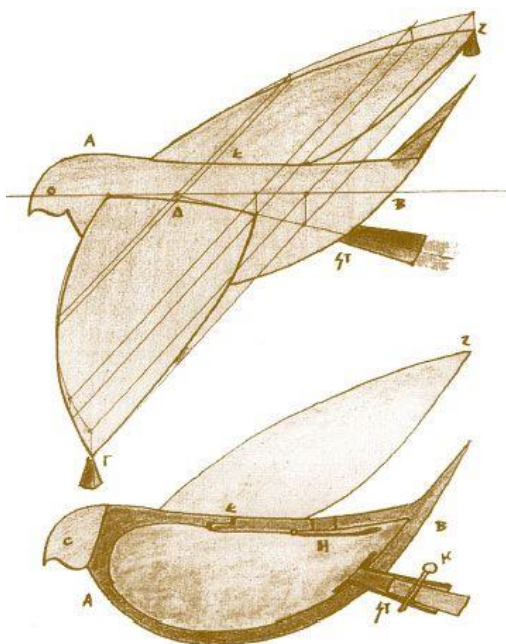
Ispitivanje je provedeno na računalima dostupnima u okviru Geodetskog fakulteta i ostalim dostupnim računalima u cjenovnom rangu do 2500 eura. Želi se ispitati kvaliteta različitih vrsta izlaznih podataka obrade u pojedinom softveru. Usporedbom izlaznih podataka svih softvera donosi se izbor najoptimalnijeg softvera za pojedinačni tip izlaznog podatka. Snimanjem se očekuju visokokvalitetni podaci za veliko područje koji će se upotrijebiti u svrhu unaprijeđenja infrastrukture prostornih podataka.

Rad je podijeljen na nekoliko poglavlja. U prvom su dijelu prikazana glavna svojstva dronova, njihova građa i dijelovi. Opis regulative za snimanje iz zraka kao i postupak dobivanje licence za upravljanje bespilotnim letjelicama opisan je u nastavku. Zatim je objašnjen postupak pripreme za terensko snimanje i priprema dobivenih snimki za obradu. U nastavku slijedi opis obrade i analiza rezultata u Site Scan, Drone2Map, ArcGIS Pro i ContextCapture softverima. Također su opisani različiti tipovi izlaznih podataka kao što su ortomozaik, slojnice, digitalni modeli površine, oblaci točaka, 3D modeli te razni proizvodi dobiveni putem ArcGIS Pro softvera. Na temelju provedene analize softvera, njihovih rezultata i usporedbe s drugim softverima donesena je konačna ocjena i rezultat proizvoda iz dobivenih rezultata softvera. Također su i opisani problemi koji se javljaju prilikom obrade velikih površina kao i način njihovog sprječavanja.

2. RAZVOJ I OSNOVNE KARAKTERISTIKE DRONOVA

2.1. Povijest razvoja dronova

Još od starog vijeka, ljudi su bili fascinirani time kako ptice lete te su razmišljali na koji bi se način moglo napraviti nešto slično tome. Inspiriran istim razmišljanjem, talijanski izumitelj Archytas 425. godine prije Krista uspijeva sagraditi mehaničku pticu tzv. Golub (slika 1). Ova mehanička ptica bila je napravljena od drveta, a kao pogon koristila je zrak zatvoren u trupu te je zahvaljujući balansiranjem utezima na svojim stranama mogla prevaliti udaljenosti do 200 metara.



Slika 1. "The Pigeon" (Golub) (URL 1)

Godine 1483. talijanski izumitelj Leonardo da Vinci napravio je prvi koncept helikoptera čak četrsto pedeset godina prije nego što je izumljen prvi helikopter. Naprava koju je Leonardo nazvao „Zračni žiroskop (eng. air gyroscope)“ imala je propeler širok pet metara, a let je ostvarivala pomoću potisne sile vrtnjom propelera.

Prva uporaba bespilotnih letjelica ostvarena je još 1849. godine, a upotrijebila ih je austrijska vojska prilikom opsade Venecije. Prilikom opsade Venecije lansirano je oko dvije stotine balona koji su bili napunjeni vrućim zrakom i nosili su bombe, koje su bile tempirane da se detoniraju iznad grada (slika 2). Međutim, zbog promjenjivog vremena napad ovim oružjem nije imao značajan doprinos. (Dalamagkidis i dr. 2012)



Slika 2. Bombardiranje Venecije 1849. godine (URL 2)

Konstrukcija prvog bespilotnog zrakoplovnog vozila (ili drona) razvijena je za vrijeme Prvog svjetskog rata 1918. godine stvaranjem malog zrakoplova prema konceptu krstareće rakete (samoleteći zračni torpedo) za napad na neprijatelje u kratkim udaljenostima. Dva tvorca prvog drona su Orville Wright i Charles Kettering (inženjeri elektrotehnike). Samoleteći zračni torpedo (ili Kettering Bug, slika 3) bio je drveni dvokril (530 kilograma, uključujući masivnu bombu od 180 kilograma) te je imao sposobnost preletjeti udaljenost od 75 milja.



Slika 3. Samoleteći zračni torpedo (Kettering Bug) (URL 3)

1939. godine Reginald Denny je uz pomoć svojih suradnika napravio prvu bespilotnu letjelicu na daljinsko upravljanje, koja je ušla u masovnu proizvodnju pod nazivom OQ-2 i tako započeo eru zrakoplova na daljinsko upravljanje – RPAS. Njemačka je vojska na kraju Drugog svjetskog rata

krenula u proizvodnju leteće bombe poznate pod imenom V-1 „Buzz Bomb“, koja je prvi put lansirana 1944. godine u svrhu gađanja civilnih ciljeva.

Jedan od značajnih poticaja za razvoj bespilotnih letjelica te glavna motivacija za njihovo financiranje bio je Hladni rat. Jedan od izravnih uzroka razvoja vojnih bespilotnih letjelica bilo je sovjetsko zauzimanje američkog špijuskog zrakoplova „U2“ 1960. godine. Potaknut nesretnim slučajem, predsjednik Dwight Eisenhower odlučio je pojačati napore u razvoju bespilotnih letjelica kako bi izbjegao ljudske gubitke te njihovo zarobljavanje i curenje visoko povjerljivih informacija. 1962. godine Ryan Aeronautical tvrtka razvija bespilotni zrakoplov Ryan 147 AQM-34 (slika 4), nazvan „Lighting Bug“. Konstrukcija ovog zrakoplova bila je vrlo slična običnom zrakoplovu, razlika je bila ta što je pilotska kabina zamijenjena računalom. Put zrakoplova bio je unaprijed programiran i daljinski upravljani iz kontrolnog centra. Lighting Bug korišten je pri špijuskim misijama iznad Kine, Kube i Sjeverne Koreje. Međutim, svoj je potencijal najviše pokazao u godinama 1964.-1975. kada je uspješno korišten u više od 3000 borbenih misija za vrijeme rata u Vijetnamu.



Slika 4. Ryan 147 AQM-34("Lighting Bug") (URL 4)

Izraelska je vojska zapravo najviše pridonijela razvoju bespilotnih letjelica jer je prva pokrenula program razvoja bespilotnih letjelica. Koristili su bespilotne letjelice tijekom Jomkipurskog rata 1973. godine i 1980-ih godina u Libanonu koji je bio pod okupacijom Sirije. U početku su koristili dronove kao mamce kako bi mogli otkriti položaj neprijateljske položaje te da otpuste većinu svojih zemlja-zrak raketa. Kasnije su ih opremili kamerama i poslali na neprijateljski teritorij gdje su korišteni za usmjeravanje laserski navođene rakete. Zahvaljujući uporabi dronova Izraelci su u jednom popodnevu uništili sedamdeset od devedeset neprijateljskih centara i položaja te odnijeli pobjedu u vojnom sukobu.

Potaknuti izraelskim iskustvom u ratovanju, Američka vojska počinje obnavljati značaj dronova u svojim redovima. Američka mornarica počinje sve više koristiti dronove, pogotovo nakon što su otkrili da topnička vatra upravljana dronom smanjuje količinu ispaljenih granata za dvije trećine. Novo poglavlje u razvoju dronova u Američkoj vojsci je razvoj drona nazvanog RQ 1 Predator (slika 5) 1995. godine. U početku je najviše služio za izviđačke misije na Balkanu, a kasnije je nadograđen projektilima zrak-zemlja i korišten je prilikom rata u Afganistanu. Nova era uporabe bespilotnih zrakoplova započela je ciljanjem ubijanjem neprijateljske vojske što neslavno obilježava suvremenu uporabu dronova.



Slika 5. RQ 1 Predator (URL 5)

U svibnju 2006. FAA (Federal Aviation Administration) izdala je prvu potvrdu o odobrenju (COA) uporabe dronova. Ovaj je certifikat omogućio uporabu RQ-1 Predator i RQ-9 Reaper zrakoplova u civilnom zračnom prostoru SAD-a u potrazi za preživjelima u katastrofama.

Dronovi su se do 2010. godine uglavnom koristili u vojne svrhe. Prekretnica uporabe dronova u komercijalne i privatne svrhe bila je pojava multikoptera s električnim motorima, koji postaju dostupni široj javnosti. (Kozera 2018)

2.2. Klasifikacija dronova

U svrhu boljeg razumijevanja, važna je tema klasifikacije i podjele dronova. Pojam bespilotne letjelice ili drona poprilično je širok, pa iz tog razloga nužno ih je klasificirati po različitim parametrima.

2.2.1. Tip bespilotnih letjelica

Prema tipovima bespilotne letjelice dijele se na sljedeće vrste:

- letjelice s fiksnim krilima
- multirotorske sustave i
- ostale sustave

Izraz „fiksno krilo“ najčešće se koristi u zrakoplovnoj industriji za definiranje statičnih krila koji nemaju nikakav stupanj slobode (slika 6). Statična krila u kombinaciji s brzinom strujanja zraka daju potisnu silu za podizanje zrakoplova. Jedan od nedostataka ovih letjelica je potreba piste za slijetanje. Primjer ovih vrsta zrakoplova su tradicionalni putnički zrakoplovi. Za izradu ovog diplomskog rada korištena je bespilotna letjelica Ebee Sensefly s fiksnim krilima koja je opisana detaljnije u nastavku.



Slika 6. Беспилотна летjelica s fiksnim krilima (URL 6)

Multirotor ili multikopter (slika 7) je pojam koji se koristi za definiranje letjelice koja koristi rotacijska krila za stvaranje potisne sile kako bi se uzdigla. Najpopularniji primjer ovog tipa letjelice je helikopter. Multikopter može imati jedan ili više rotora. Dronovi koji se najčešće koriste imaju četiri ili više rotacijska krila kako bi postigli veću stabilnost prilikom leta. Ovaj tip bespilotne letjelice također je jednostavan za upravljanje i ne zahtijeva pistu kao i letjelica s fiksnim krilima. Najpopularniji primjer drona s četiri propelera je Dji Phantom koji je također korišten prilikom izrade diplomskog rada te je detaljnije opisan u nastavku.



Slika 7. Intel® Falcon™ 8 dron (Oktokopter) (URL 7)

Neke se tipove letjelica ne može kategorizirati ni kao bespilotne letjelice s fiksnim krilima ni kao multirotoare. Razlog je tomu što dron zapravo nema ni fiksno krilo ni rotor već ima karakteristike oba tipa letjelica (slika 8). Primjer ove letjelice je hibridni quadcopter (Slika 8). Ovaj dron ima više rotora, ali i krila, što mu daje za mogućnost okomito slijetanje i letenje na veće udaljenosti. Dronovi koji nisu ni multirotori, a nemaju ni fiksna krila su izrazito rijetki. Princip leta im je takav da imitira neke leteće životinje. Primjer ovakvog drona je Delfly explorer, a imitira let vilihog konjica. Postoje još neke vrste, ali uglavnom su ovi tipovi letjelica još u fazi razvitka.



Slika 8. Hibridni dron (URL 8)

2.2.2. Autonomnost leta (stupanj slobode leta)

Zbog nedostatka pilota bespilotne letjelice uvijek imaju određen stupanj autonomije. Prije daljeg objašnjavanja potrebno je definirati i objasniti razliku između automatskih i autonomnih sustava. Automatski je sustav već definiran i isprogramiran sustav koji samostalno obavlja unaprijed određen zadatak te nema nikakvu slobodu prilikom leta, automatizacija je također i automatska stabilizacija leta. Autonomni se sustavi za razliku od automatskih sustava mogu nositi s neočekivanim situacijama iz razloga što imaju isprogramiran skup pravila koji im služi kao pomoć pri donošenju odluka. U ovom je radu fokus na autonomiji u rutama i operacijama leta, a to se odnosi na uporabu bespilotnih letjelica i njihovih aplikacija za upravljanje. Postoji ukupno šest razina autonomnosti bespilotnih letjelica.

2.2.3. Veličina i masa bespilotne letjelice

Isto tako jedna od bitnih stavki za određivanje karakteristika dronova je veličina i masa bespilotne letjelice. Postoji jedna, glavna podjela, a to su velike i male bespilotne letjelice. Velike letjelice su one letjelice s masom preko 150 kilograma, a to su uglavnom letjelice koje se koriste u vojne svrhe, dok male letjelice u ovom slučaju imaju dalju podjelu. Potkategorije se dijele od mikro dronova mase nekoliko grama do kilograma, pa sve do velikih dronova. (Nagel i dr. 2016)

2.3. Dijelovi dronova

Prije objašnjenja principa rada bespilotne letjelice potrebno je prikazati i objasniti osnovne dijelove bespilotnih letjelica. Glavni dijelovi drona koji će u nastavku biti objašnjeni su: kostur drona, propeleri, motor, senzori, kamera, baterija, kontrolor i regulator brzine (slika 9). (Stewart i dr. 2020)



Slika 9. Dijelovi dronova drona (URL 9) (1- standardni propeleri, 2- potisni propeleri, 3- motor bez četkica, 4- oprema za slijetanje, 5- elektronički regulatori brzine, 6- kontrolor leta, 7- prijemnik, 8- odašiljač, 9- GPS komponenta, 10- baterija, 11- kamera)

2.4.Korišteni dronovi u diplomskom radu

U nastavku su objašnjene i detaljno prikazane osnovne karakteristike bespilotnih letjelica korištene prilikom izrade ovog diplomskog rada.

2.4.1. Ebee X Sensefly RTK

Također korištena bespilotna letjelica prilikom izrade ovog diplomskog rada je i letjelica Ebee X Sensefly koja je prikazana na slici 11 Ebee X Sensefly RTK je lagani i autonomni zrakoplov koji u sebi sadrži integriranu kameru za snimanje različitih kutova. Cijela letjelica može se lako transportirati u kutiji, te ju je vrlo lako sastaviti na terenu. Za planiranje i kontrolu prilikom leta koristi se softver eMotion koji nudi razne mogućnosti i koji će se spominjati u nastavku ovoga rada. Specifikacije Ebee X Sensefly RTK su prikazane u tablici 2 ispod.



Slika 10. Ebee X Sensefly (URL 10)

Tablica 1. Specifikacije eBee X Sensefly bespilotne letjelice (SenseFly 2019)

Širina krila (cm)	116		
Težina (kg)	1.1-1.4		
Kamera	SODA 3D		
Udaljenost radio veze	Do 8 km		
Brzina leta (km/h)	40-110		
Otpornost na vjetar	Do 46 km/h		
Maksimalna pokrivenost (ha)	500 (na visini leta od 120 m)		
Maksimalna duljina leta (km)	60, 95 (uz dodatnu izdržljivu ekstenziju)		
Maksimalno trajanje leta (min)	60, 90 (uz dodatnu izdržljivu ekstenziju)		
Način lansiranja	Ručno		
Apsolutna preciznost	Bez GCP-a	S GCP	S RTK/PPK
	1 – 5 (m)	< 3 cm	1,5 cm + 2ppm

2.4.2. DJI PHANTOM PRO 4 V2

DJI Phantom 4 Pro V2 bespilotna je letjelica proizvedena od poznate kineske tvrtke DJI koja se ujedno i specijalizirala za izradu bespilotnih letjelica. Izuzetno je praktična i pouzdana bespilotna letjelica s četiri rotora, pametnom kamerom koja nudi mogućnost prepoznavanja prepreka u pet smjerova s prozorima za pogled i infracrvenim senzorima, što omogućuje inteligentno izbjegavanje prepreka tijekom leta. Osnovne karakteristike DJI Phantom pro 4 V2 (slika 10) prikazane su u tablici 1.



Slika 11. DJI Phantom 4 Pro V2 (URL 11)

Tablica 2. Osnovne karakteristike DJI Phantom 4 Pro v2 (DJI 2016)

Dimenzije drona (dijagonalno) (cm)	35	
Težina (kg)	1.375	
Kamera	RGB 20 MP	
Udaljenost radio veze	Do 7 km	
Brzina leta (km/h)	0-72	
Otpornost na vjetar	Do 36 km/h	
Operativna temperatura (°C)	10-40	
Maksimalna duljina leta (km)	60, 95 (uz dodatnu izdržljivu ekstenziju)	
Maksimalno trajanje leta (min)	30	
Način lansiranja	Automatsko polijetanje, stacionarno	
Apsolutna preciznost	Bez GCP-a	S GCP-om
	1 – 5 (m)	< 10 cm

3. PREGLED EU REGULATIVA ZA SNIMANJE BESPILOTNIM LETJELICAMA

3.1. Regulative na snazi

Europska komisija objavila je dvije delegirane uredbe o sustavima bespilotnih zrakoplova, bespilotnih letjelica ili dronova, te o njihovim pravilima i postupcima za upotrebu. Donesene uredbe su Delegirana uredba (EU) 2019/945 od 12. ožujka 2019. i Provedbena uredba (EU) 2019/947 Komisije od 24. svibnja 2019.

Uredba 2019/945 u Republici Hrvatskoj je na snazi od 1.7.2019. godine te se bavi zahtjevima bespilotnih zrakoplovnih sustava i zahtjevima koje moraju ispuniti dizajneri, proizvođači, uvoznici i distributeri, kako bi dobili oznake sukladnosti i nadzirali tržište, radi sigurnosti i interesa za njegovu konkurentnost.

Uredba 2019/947 na snazi je od 31.12.2020. godine. Bavi se pravilima i postupcima za upotrebu bespilotnih zrakoplova od strane pilota i operatora, definirajući kategorije uporabe te niz zahtjeva za njihovu upotrebu.

3.1.1. Delegirana uredba (EU) 2019/945

Ovom uredbom utvrđuju se zahtjevi za projektiranje i proizvodnju različitih sustava bespilotnih zrakoplova ili dronova. Također, ova se uredba bavi zahtjevima komercijalizacije bespilotnih letjelica za otvorenu kategoriju koja je opisana drugom poglavljju uključujući sve sustave koje moraju imati. U trećem poglavljju odredbe se odnose na certificiranu kategoriju, te uspostavljanju zahtjeva u pogledu dizajna, proizvodnje, održavanja i uporabe u skladu sa svrhom drona. U četvrtom poglavljju govori se o operacijama koje izvode operateri iz zemalja koje nisu dio Europske unije.

Jedan od najvažnijih dijelova Uredbe 2019/945 je aneks ili dodatak uredbi, gdje su uspostavljene klase prema najvećoj dozvoljenoj masi pri polijetanju:

- C0: Masa < 250 g
- C1: Masa < 900 g
- C2: Masa < 4 kg
- C3: Masa < 25 kg
- C4: Masa < 25 kg bez načina automatskog upravljanja ili modela zrakoplova.

Svaka klasa ima niz zahtjeva za njezinu proizvodnju i dobivanje CE znaka, neophodnih za njezinu komercijalizaciju u EU. Vrijedno je istaknuti nekoliko noviteta ili zanimljivosti:

- Sustav ograničenja visine na polijetanju zrakoplova na 120 metara ili iznad zemlje. Ako pilot može odabrati visinu, sustav mora imati očitavanje visine na tlu cijelo vrijeme, kako ne bi prešao dozvoljeno ograničenje. U slučaju da pilot naiđe na prepreku veću do 105 metara može podići bespilotnu letjelicu za 15 metara iznad prepreke u radijusu od 20 metara.

- Sustav izravne identifikacije koji zrakoplov treba imati iz klase C1. Sustav koji omogućuje i jamči, u skladu s propisima, u stvarnom vremenu tijekom cijelog trajanja leta izravno povremeno širenje relevantnih informacija iz zrakoplova pomoću otvorenog i dokumentiranog protokola prijenosa, uključujući jedinstveni registracijski broj i podatke o operateru sustava koji će omogućiti nadzor dronova u zračnom prostoru zajedno s 5G i IoT telekomunikacijskim tehnologijama. (Europska komisija 2019)

3.1.2. Provedbena uredba (EU) 2019/947

Za Otvorenu kategoriju uspostavljaju se potkategorije A1, A2 i A3, ovisno o vrsti operacije, području leta i vrsti zrakoplova koji se koristi. Potkategorija A1 uspostavljena je za bespilotne letjelice manje od 250 g ili klase C0 ili C1, izbjegavajući let iznad koncentracije ljudi. Za ovu će kategoriju biti potrebno znati korisnički priručnik za opremu, kao i imati online tečaj za obuku za zrakoplove klase C1. Potkategorija A2 uspostavlja zrakoplove klase C2, s mogućnošću leta s više od 30 metara horizontalne udaljenosti od ljudi (nikada iznad njih) ili do pet metara uz potrebne mjere predostrožnosti. Odgovorni piloti moraju imati znanje o korisničkom priručniku, internetskom tečaju osposobljavanja (koji vrijedi 5 godina), tečaju samostalnog učenja i položenom ispitu koji provodi nadležno tijelo svake države članice. Potkategorija A3 utvrđuje uvjete za obuku pilota kao one iz potkategorije A2, a scenarij leta ne bi trebao biti usmjeren na ljude, već za udaljenosti od 150 m od naseljenih područja. Mogu se koristiti zrakoplovi klasa C2, C3, C4 ili letjelice s masom manjom od 25 kilograma maksimalne uzletne mase. Za letove u specifičnoj kategoriji operater mora imati operativno odobrenje, koje može biti točno za jednu ili više operacija, ili može imati odobrenje LUC (laka potvrda operatora UAS-a) kako je navedeno u Prilogu pod dijelom C. U tu svrhu operator mora izvršiti procjenu rizika sukladno uvjetima utvrđenim u propisima. Propis iz članka 15. utvrđuje operativne uvjete koji se primjenjuju na zemljopisna područja UAS-a iz razloga sigurnosti, zaštite, privatnosti ili zaštite okoliša. Državama članicama dopuštena je mogućnost da zabrane, ograniče ili nametnu posebne uvjete za svako određeno područje, koje je danas uspostavljeno s područjima kontroliranog zračnog prostora, zabranjenim, ograničenim, opasnim ili zaštićenim zonama ili zonama divljih životinja. (Europska komisija 2019)

3.2. Proces osposobljavanja pilota i licenciranja

Prije obavljanja leta potrebno je imati licencu za upravljanje bespilotnom letjelicom koja se ostvaruje polaganjem testova sukladno Uredbi 2019/947. Prvi test obavlja se za polaganje razine A1/A3 i sastoji se od 40 pitanja, a za prolaz je potrebno skupiti više od 30 bodova. Drugi se test obavlja za polaganje A2 razine kojom se omogućuje letenje unutar naseljenih područja. Test se sastoji od 30 pitanja, a za prolaz je potrebno skupiti 23 boda ili više. Za polaganje A1/A3 razine dovoljno je samo pristupiti na web stranicu: <https://www.ccaa.hr/>, zatim se prijaviti i pristupiti testu. Za polaganje A2 razine potrebno je prvo položiti A1/A3 razinu, zatim položiti ispit u prostorijama agencije ili preko MS Teams aplikacije. Nakon uspješno položenog testa, dolazi potvrda o položenom ispitu u kratkom roku na e-mail koja je prikazana na slici 12.



Slika 12. Potvrda o osposobljenosti udaljenog pilota

4. STUDIJA SLUČAJA: SNIMANJE DRONOM OPĆINE BEDEKOVČINA

4.1. Opis zadatka

Zadatak diplomskog rada aerofotogrametrijsko je snimanje veće površine na području općine Bedekovčina. Planirano područje snimanja podijeljeno je u dva dijela, područje za snimanje isprekidanom metodom i područje za snimanje površinskom metodom. Isprekidana ili dvostruka metoda (eng. Crosshatch) vrsta je snimanja bespilotnom letjelicom u kojoj se putanja leta letjelice definira na način da dva puta preleti područje s različitim kutom kamere. Površinska ili jednostruka metoda (eng. Area) vrsta je snimanja bespilotnom letjelicom u kojoj je putanja letjelice definirana na način da ima samo jednu putanju pod fiksnim kutom kamere od nula stupnjeva.

Priprema leta izvršena je putem Site Scan aplikacije za planiranje leta DJI bespilotne letjelice te putem e-motion softvera za eBee bespilotnu letjelicu. Za snimanje kontrolnih točaka priprema je odrađena u ArcGIS softveru gdje su približno isplanirane lokacije kontrolnih točaka. Za označavanje kontrolnih točaka korišten je sprej, a signalne su ploče postavljene na područja gdje sprej nije dovoljno vidljiv. Signalne točke izrađene su tjedan dana prije obavljanja terenske izmjere u prostorijama fakulteta.

Za snimanje iz zraka korištena su dva tipa bespilotnih letjelica, a to su DJI Phantom Pro 4 v2 i eBee X Sensefly. Prije snimanja iz zraka potrebno je prethodno označiti i terenski izmjeriti kontrolne točke na terenu. Za snimanje kontrolnih točaka koristit će se GNSS uređaj TRIMBLE R8. Terenska izmjera kontrolnih točaka provedena su 19. svibnja 2021. godine, a aerofotogrametrijsko snimanje DJI Phatnom 4 Pro v2 letjelicom obavljeno je 20. svibnja 2021. godine. Aerofotogrametrijsko snimanje Ebee X Sensefly obavljeno je dana 14. lipnja 2021. godine. Za snimke dobivene putem eBee letjelice potrebno j virtualne referentne stanice s Trimble pivot platforme te je iste potrebno naknadno geolocirati u e-motion softveru koristeći preuzete podatke s virtualne stranice i podatke o putanji leta iz eBee letjelice.

Obradu snimki je bilo potrebno izvršiti na računaru na fakultetu, a analiza provesti na osobnom računaru. Za obradu je planirano korištenje sljedećih softvera: Drone2Map, Site Scan i ContextCaptureMaster, a za analizu ArcGIS Pro softver.

4.2. Općina Bedekovčina i područja snimanja

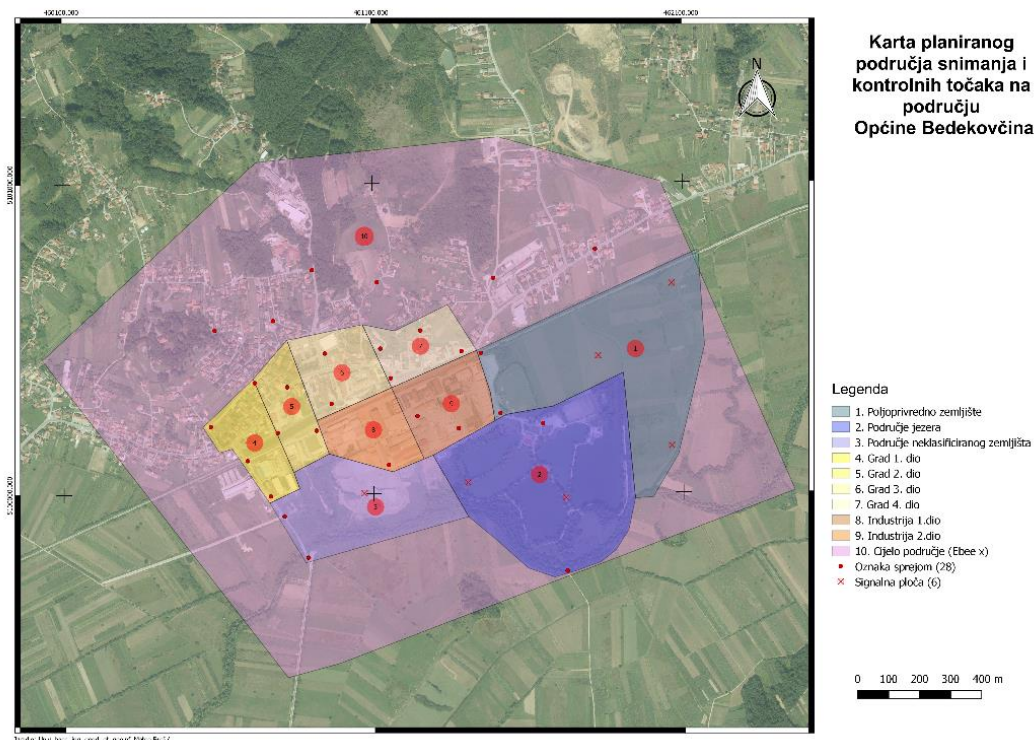
Općina Bedekovčina (slika 13) naseljeno je mjesto u Krapinsko-zagorskoj županiji koja se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske. Udaljena je oko četrdeset kilometara sjeverno od grada Zagreba, te oko trideset kilometara istočno od granice sa Slovenijom. Kroz općinu prolazi rijeka Krapina, državna cesta D1 i željeznička pruga Zagreb-Varaždin. Također u općini Bedekovčina nalazi se šest manjih jezera s površinom od otprilike 1.4 ha (najmanje) do 4 ha (najveće). Površina cijele općine iznosi 54 km², dok je za izradu diplomskog rada snimljeno područje od približno 2.7 km² što iznosi 5% cijele općine (URL 12).



Slika 13. Općina Bedekovčina (Snimljeno Phantom 4 V2 bespilotnom letjelicom)

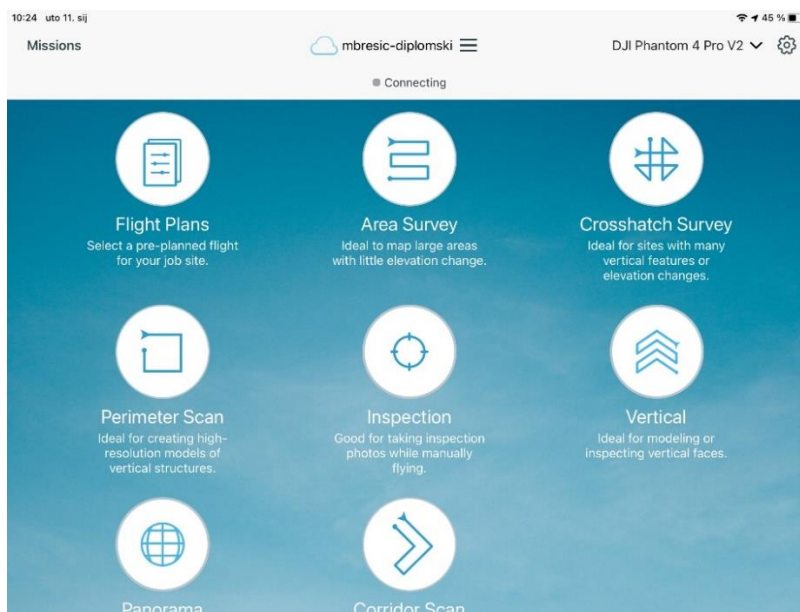
4.3. Planiranje i priprema prije leta

Snimanje općine Bedekovčina podijeljeno je u tri dijela. Prvi je dio snimanje područja jezera i poljoprivrednih čestica u jednom naletu (eng. single grid), drugi je dio snimanje industrije i područja grada u dvostrukoj mreži (eng. double grid) i treći je dio snimanje letjelicom Ebee X, koja obuhvaća cijelo to područje. Prikazi planiranih područja letova detaljnije su prikazani na slici 14.



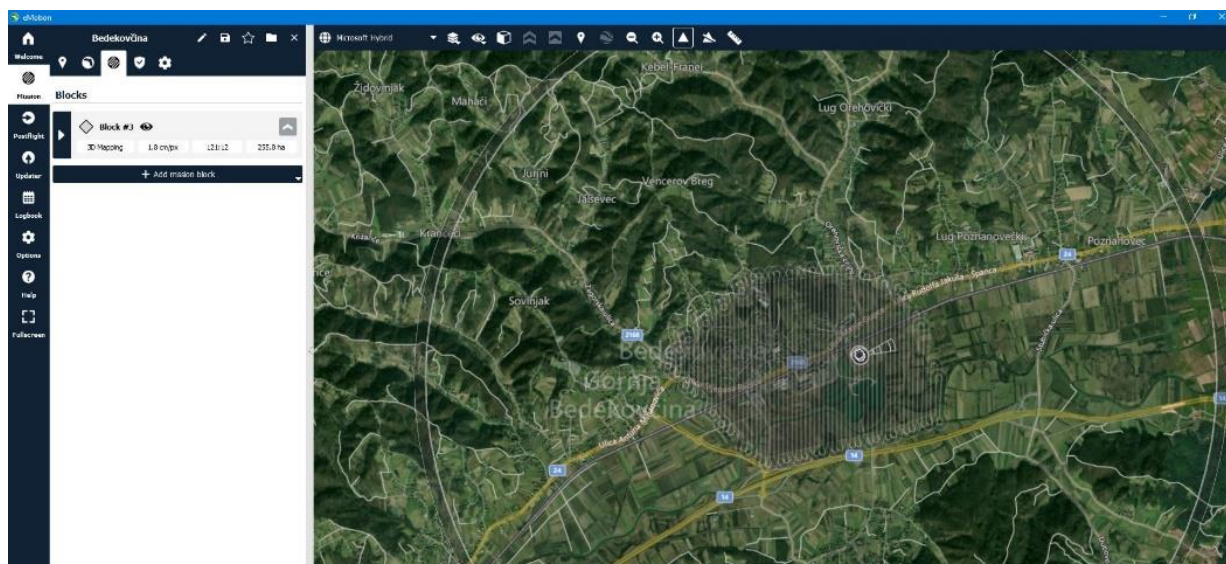
Slika 14. Planirano područje snimanja

Na slici 15 je prikazano sučelje site scan aplikacije za planiranje leta, ukupno je ponuđeno 7 načina snimanja iz zraka. Prilikom izrade diplomskog rada korištena su samo dva načina, a to su površinsko snimanje (eng. Area survey) i dvostruko ili isprekidano snimanje (eng. Crosshatch survey). Ostali načini nisu bili od posebnog značaja za daljnju uporabu i analizu iz razloga što sam način nije namijenjen za snimanje većih površina.



Slika 15. Site Scan aplikacija za planiranje leta

Za definiranje leta eBee bespilotne letjelice korišten je E-motion softver. U E-motion softveru definira se putanja leta kao i koridor za slijetanje bespilotne letjelice.



Slika 16. E-motion softver

U tablici 3 su prikazane pojedinačne specifikacije za svih deset letova. Ukupno je izrađeno devet planova leta u Site Scan softveru i jedan u eMotion softveru. Za devet planova leta planirano je snimanje s Dji Phantom 4 Pro v2, a jedan plan leta s eBee X Sensefly letjelicom. Predviđena površina za snimanje iznosi približno 3.75 kilometra kvadratna s predviđenim vremenskim trajanjem leta (bez popratnih radnji) u iznosu od sedam sati. Za snimanje Dji Phantom bespilotnom letjelicom predviđeno je korištenje 11 baterija, a dostupno je sedam. Kako je broj potrebnih baterija veći od broja dostupnih baterija potrebno je iskorištene baterije u međuvremenu napuniti kako bi se mogle opet iskoristiti. Za eBee bespilotnu letjelicu dostupne su četiri baterije, a potrebne su tri baterije što je dovoljno za uspješno obavljanje zadatka

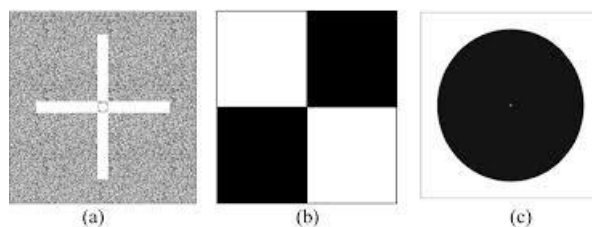
Tablica 3. Pojedinačne specifikacije svakog leta

Broj područja	Opis ciljanog područja	Tip snimanja	Trajanje leta	Broj utrošenih baterija	Površina snimanja	
					m ²	ha
1	Poljoprivredna zemljišta	Jednostruko snimanje (Area)	45	2	275643	27.56
2	Jezera	Jednostruko snimanje (Area)	44	2	271411	27.14
3	Nerazvrstano zemljište	Jednostruko snimanje (Area)	24	1	138042	13.80
4	Dio općine i industrije	Dvostruko snimanje (Crosshatch)	23	1	55686	5.57
5	Dio općine i industrije	Dvostruko snimanje (Crosshatch)	22	1	49504	4.95

6	Dio općine i industrije	Dvostruko snimanje (Crosshatch)	23	1	63169	6.32
7	Dio općine i industrije	Dvostruko snimanje (Crosshatch)	22	1	50614	5.06
8	Industrijsko postrojenje	Dvostruko snimanje (Crosshatch)	24	1	56447	5.64
9	Industrijsko postrojenje	Dvostruko snimanje (Crosshatch)	21	1	68706	6.87
10	Cijelo područje (Ebee)	Jednostruko snimanje (Area)	168	3	2717191	271.72
		Ukupno (bez eBee letjelice):	248	11	1029222	102.92
		Ukupno:	416	14	3746413	374.64

4.4. Zemaljske kontrolne točke (GCP)

Zemaljske kontrolne točke ili GCP-ovi označene su točke na terenu koje imaju poznate koordinate u već definiranom koordinatnom sustavu. GCP-ovi moraju biti jasno označeni na terenu i tako se mogu jasno raspoznati (slika 17). Najčešće se koriste već napravljane ploče ili oznake sprejom prikazane na slici. GCP-ovi se označavaju naknadno u obradi podataka. GCP-ovi povećavaju apsolutnu preciznost ortomozaika, 3D oblaka točaka, 3D modela i različitih modela terena. Preciznost mjernih stavki ne može biti veća od preciznosti mjerenih GCP-ova. Referentni koordinatni sustav korišten za mjerenje GCP-ova je Hrvatski terestrički referentni sustav iz 1995. godine s korištenom transverzalnom Mercatorovom projekcijom (HTRS96/TM). Za visinsku komponentu u ovom sustavu kao referentni elipsoid koristi se globalni model EGM2008.



Slika 17. Primjer načina kontrolnih točki

Za svrhu izrade diplomskog rada planirano je postavljanje 35 kontrolnih točaka raspoređenih sukladno planovima leta i terenu (primjer postavljene kontrolne točke je prikazan na slici 18). Kao oznaku korištene su ploče izrađene na fakultetu te sprejom označene točke. Snimanje kontrolnih

točaka je izvedeno s Trimble R8 GNSS uređajem. Zbog loših vremenskih uvjeta neke od kontrolnih točaka nisu uporabljive što je dovelo do smanjenja kvalitete dobivenih gotovih proizvoda.

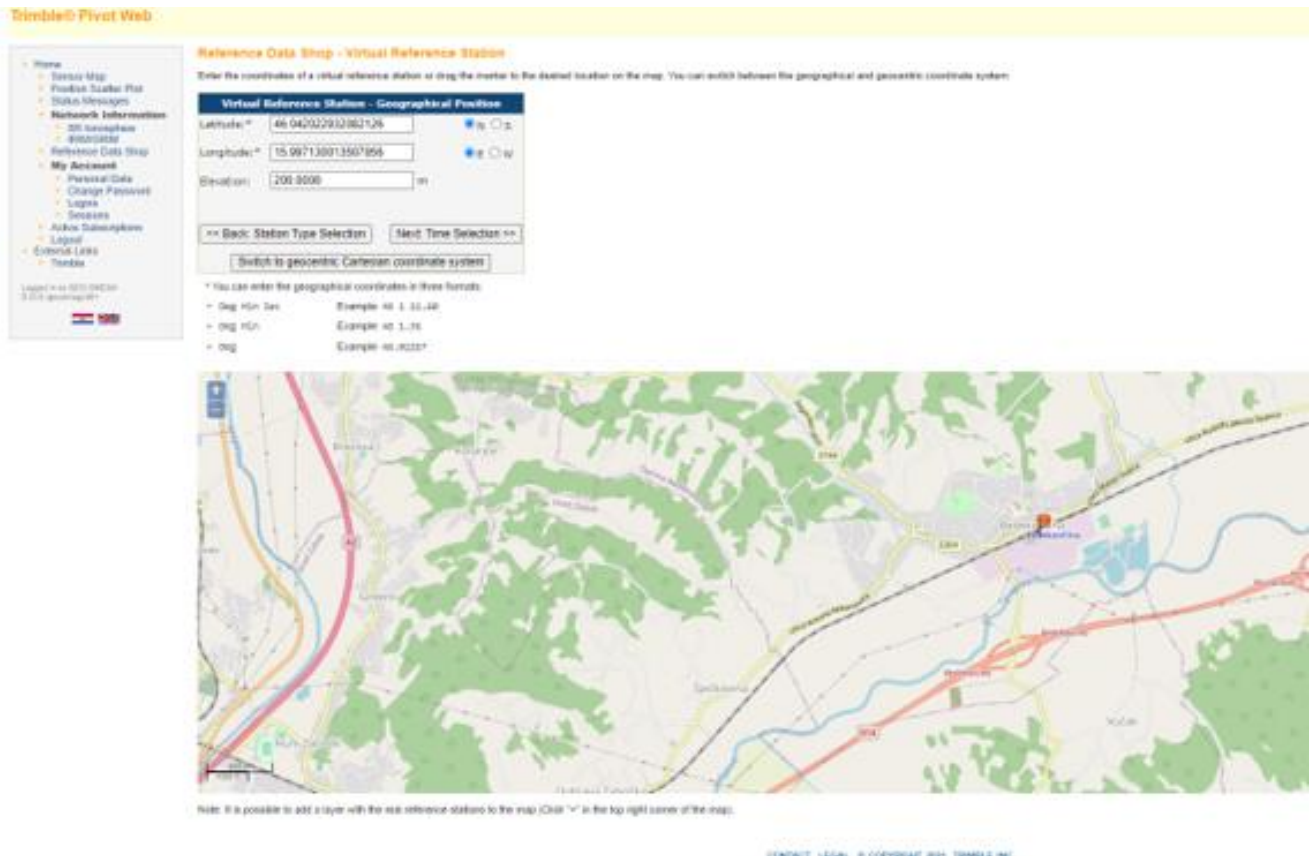


Slika 18. Zemaljska kontrolna točka (GCP)

4.5. Provedba snimanja

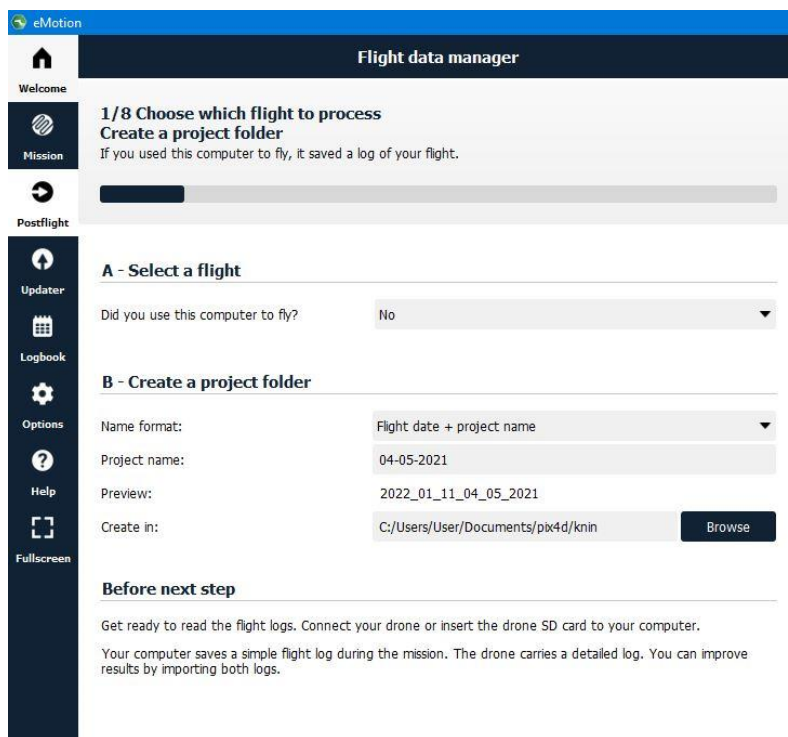
Dana 20. svibnja 2021. godine na terenu je izvršeno postavljanje kontrolnih točaka. Ukupno je postavljeno 35 kontrolnih točaka od kojih je šest obilježeno s pločom, a 29 ih je zabilježeno sprejom. Rad prilikom postavljanja kontrolnih točaka bio je otežan zbog kiše. Dio GCP-ova je naredni dan bio ispran i slabo uočljiv te nije bio uporabljiv. Dan nakon obilježavanja, izvršeno je prvo planirano snimanje s Dji Phantom 4 pro v2 bespilotnom letjelicom. Vrijeme je bilo sunčano i snimanje je proteklo bez problema. Prilikom snimanja korištena je aplikacija Site Scan-a za iPod uređaj u kojem su isplanirani svi letovi za Dji dron. Ukupno je iskorišteno jedanaest baterija što je jedna više od prvotno planiranog. Do potrebe za dodatnom baterijom došlo je zbog naknadnih promjena u planovima leta koje su objašnjene u nastavku. Snimanje je izvedeno s ukupno tri stajališta s kojih je bilo moguće nesmetano ostvariti let i održavati vizualni kontakt s bespilotnom letjelicom. Prije leta napravljena je rezervacija leta putem mobilne aplikacije AMC portal. Rezervirano je područje leta preko cijele općine, visine leta do 100 metara. Nakon rezervacije leta, prekontrolirane su najviše građevine. Nakon utvrđivanja najviše točke u općini, što je dimnjak na industriji, sve visine letova podignute su za dodatnih 15 metara kako ne bi došlo do nesreće. Nakon povećanja visine leta skratilo se vrijeme trajanja leta pa je odlučeno da se poveća uzdužni preklop na 80% i poprečni na 70% kako bi se dobio što vjerodostojni prikaz terena. Prvo je snimljeno područje broj tri prema slici 13 kako bi se provjerilo da je s bespilotnom letjelicom pošto na tom području nije bilo nikakvih građevina. Nakon snimanja tog područja odrađeno je snimanje grada i industrije (područja 4-9 prema slici 13), a na kraju je snimljeno područje jezera i poljoprivrednih čestica (područja 1 i 2 prema slici 13). Ukupni broj dobivenih slika je 4115, od čega je 2151 slika snimljena pod kutom od 35° (eng. crosshatch, isprekidano ili dvostruko snimanje) i 1964 su slike snimljene okomito tj. pod kutom od 0° (eng. area ili površinsko snimanje). Razlog snimanja pod kutom je taj što snimanjem isključivo okomitih snimki ne možemo dobiti kvalitetan 3D model objekata.

Nakon terenske izvedbe uslijedile su operacije vezane za pripremu snimki za daljnju obradu. Snimke iz eBee letjelice nisu geolocirane odmah kao što je slučaj sa snimkama iz DJI drona. Bilo je potrebno spojiti eBee s računalom, zatim iz njega izvući podatke putanje leta, prijaviti se na Trimble Pivot Web (slika 19) stranicu te preuzeti virtualne referentne stanice (VRS). Za područje eBee letjelice preuzete su tri virtualne stanice, po jedna za svaku vremensku epohu snimanja. Potom u e-motion softveru izvršeno je procesiranje snimki, te njihovo geolociranje kojima su dobivene snimke pogodne za daljnju uporabu (prikazano na slici 20). Naknadna obrada izvršena je u osam koraka, u kojima je definiran naziv projekta, lokacija datoteka, tipovi izlaznih datoteka, lokacija i putanja snimki i određite snimki.



Slika 19. Trimble Pivot Web

Nakon preuzimanja VRS-a iste je podatke potrebno spojiti sa snimkama i obraditi. Obrada se provodi u softveru eMotion u kojem je pripremljen i let za eBee letjelicu.



Slika 20. Naknadna obrada (eng. Post-processing)

5. OBRADA PODATAKA U SITE SCAN SOFTVERU

5.1. Općenito o Site Scan softveru

Site Scan za ArcGIS je „end-to-end“ softver za mapiranje bespilotnim letjelicama, dizajniran za prikupljanje, obradu i analizu slika. Služi za obrađivanje slike u skalabilnom okruženju oblaka kako bi bilo moguće stvoriti visokokvalitetne 2D i 3D proizvode sa slikama koje se mogu brzo podijeliti u organizaciji na bilo kojem uređaju.

Site Scan za ArcGIS pruža planiranje leta dronova, upravljanje voznim parkom, obradu slika i mogućnosti analize kao softver uslugu (SaaS). Site Scan pruža cjelovito rješenje za projekte snimanja dronova.

Pomoću SiteScan-a za ArcGIS, operateri dronova mogu:

- planirati i izvršavati letove dronovima i upravljati podacima o letu i metapodacima kako bi podržali zahtjeve projekta
- upravljati flotom dronova za vođenje sigurnih i učinkovitih operacija dronova
- obavljati 2D i 3D mapiranje i proizvode za analitiku na snimkama dronova te
- objavljivati proizvode za mapiranje dronova na ArcGIS Online, ArcGIS Enterprise i Autodesk BIM 360.

Site Scan za ArcGIS sastoji se od dvije aplikacije:

- planiranje leta za Site Scan je aplikacija za planiranje i kontrolu leta za operatore dronova koja radi na iOS-u (iPadu). Aplikacija je integrirana s ArcGIS platformom i omogućava korisnicima planiranje automatiziranih letova u 2D ili 3D, a korisniku omogućava upravljanje dronom u letu.

- Site Scan Manager je web aplikacija za obradu, upravljanje i obavljanje analiza na snimkama dronova. Aplikacija također uključuje administrativnu nadzornu ploču za upravljanje korisnicima i dozvolama projekata, dostupnu korisnicima koji imaju status administratora.

Podržane verzije dronova su: 3DR H520-G, DJI Matrice 200 serija, DJI Matrice 200 V2 serija, DJI Inspire 2, DJI Mavic Pro, DJI Mavic 2 Pro, DJI Phantom 4 Pro, DJI Phantom 4 Pro V2 i DJI Phantom 4 RTK (sa SDK kontrolerom). Ako se upotrebljava nepodržani dron, podaci se neće moći prikupiti pomoću Site Scan aplikacije, nego samo obrađivati slike ako neobrađene fotografije imaju GPS metapodatke označene u EXIF datoteci.

Slike moraju imati JPG datoteke s geografskim oznakama, također se mogu obrađivati termalne i multispektralne slike. Video se ne može obraditi, ali se može koristiti zajedno s geoprostornim zapisnicima video zapisa snimljenim u aplikaciji Site Scan koji se koriste sa FMV alatima u ArcMap-u i ArcGIS Pro softveru.

Izlazni podaci leta bespilotne letjelice (ortomozaik, DTM, DSM, oblak točaka i teksturirana mreža) pohranjuju se u oblaku i mogu se pregledati u upravitelju SiteScan-a. Također se mogu objaviti na ArcGIS Online i podijeliti unutar organizacije ili s javnošću.

Site Scan za ArcGIS također uključuje neograničenu obradu i neograničenu pohranu podataka sa snimki iz bespilotnih letjelica. (URL 13)

5.2. Postupak obrade u Site Scan-u

Site Scan za obradu koristi softver Pix 4D enterprise koji je u vlasništvu Pix4D tvrtke. Sama obrada vrlo je jednostavna. Vršiti se preko oblaka tako da nije potrebno snažno računalo. Jedini je problem taj što najveći broj dozvoljenih snimki za obradu iznosi 3000, pa obradu snimki snimljenih pomoću eBee X Sensefly nije bilo moguće izvršiti. Obrada je prvotno bila podijeljena u dva područja, ali je zbog tehničkih razloga i kontrole kasnije podijeljena u tri područja. Prvi dio obuhvaća područje grada i industrije, drugi dio područje jezera, poljoprivrednih čestica i rijeke, a treći dio područje jezera i poljoprivrednih čestica.

Pet je glavnih koraka za pretvaranje kolekcije slika dronova u slikovne proizvode pomoću aplikacije Site Scan za ArcGIS, a to su:

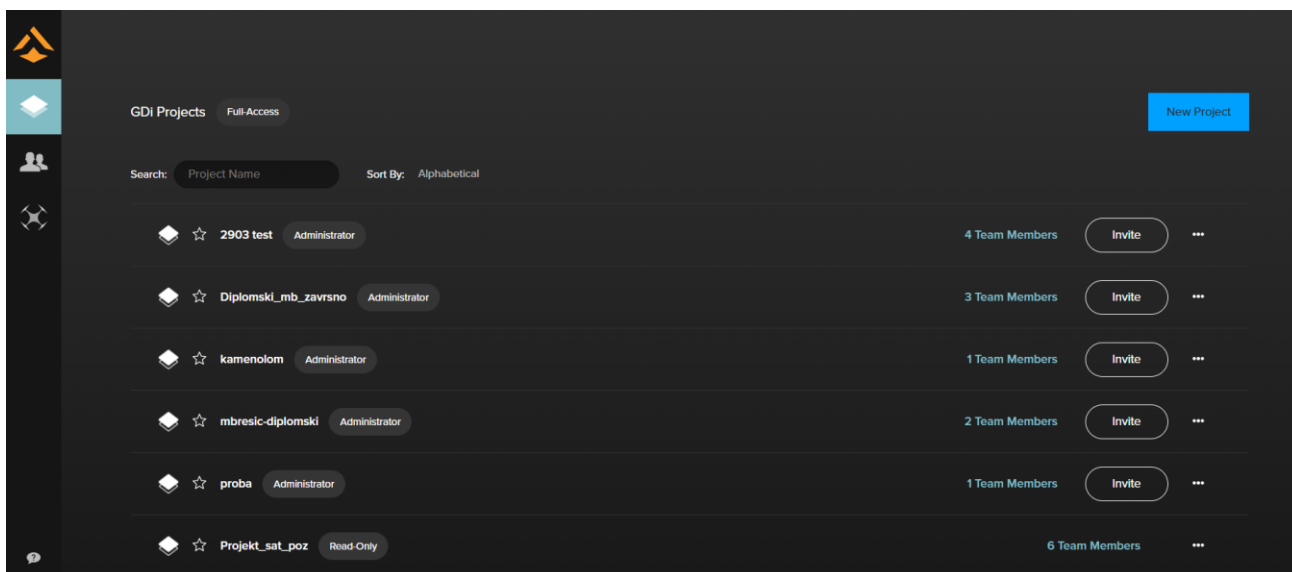
- kreiranje projekta,
- učitavanje slika,
- procesiranje,
- označavanje zemaljskih kontrolnih točaka i
- reprocesiranje.

Prva stavka potrebna za pristup SiteScan-u je stabilna internetska veza iz razloga što se programu pristupa putem web stranice u kojoj se vrše svi koraci procesiranja i obrade. Nakon pristupa i prijave u program otvara se sučelje (slika 21) u kojem su prikazani svi projekti.

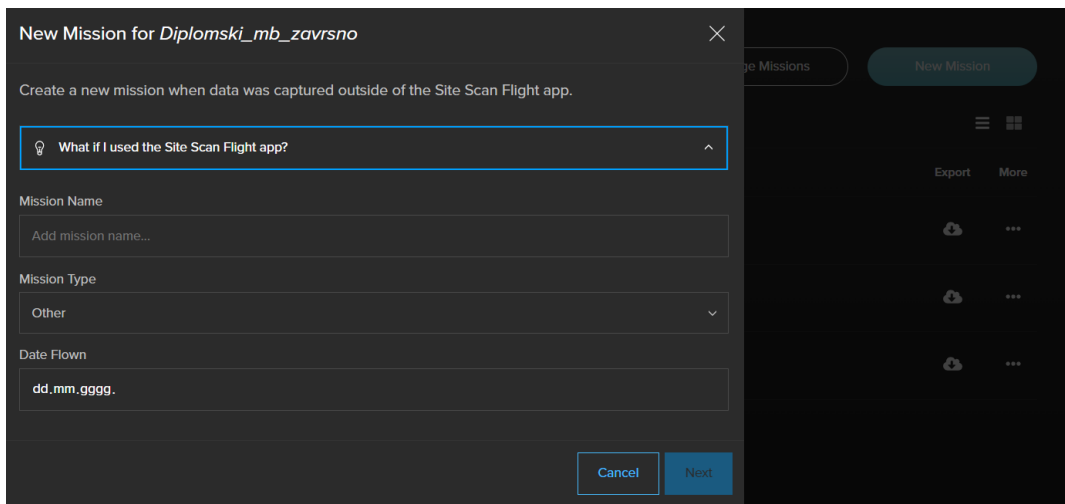


Slika 21. Početno sučelje Site Scan aplikacije

Prvi je korak kreiranje projekta (eng. Create Project), a potom kreiranje misije (eng. New Mission). Nakon kreiranja projekta otvara se mogućnost kreiranja nove misije. Klikom na funkciju nova misija (eng. New Mission, slika 22) otvara se skočni prozor (slika 23) u kojem definiramo ime misije, vrstu misije i datum izvedbe misije. Nakon definiranja navedenih stavki uvozimo slike koje treba prethodno pripremiti i spremite na lokalni i prijenosni disk, koji treba biti spojen s računalom tijekom navedene radnje.

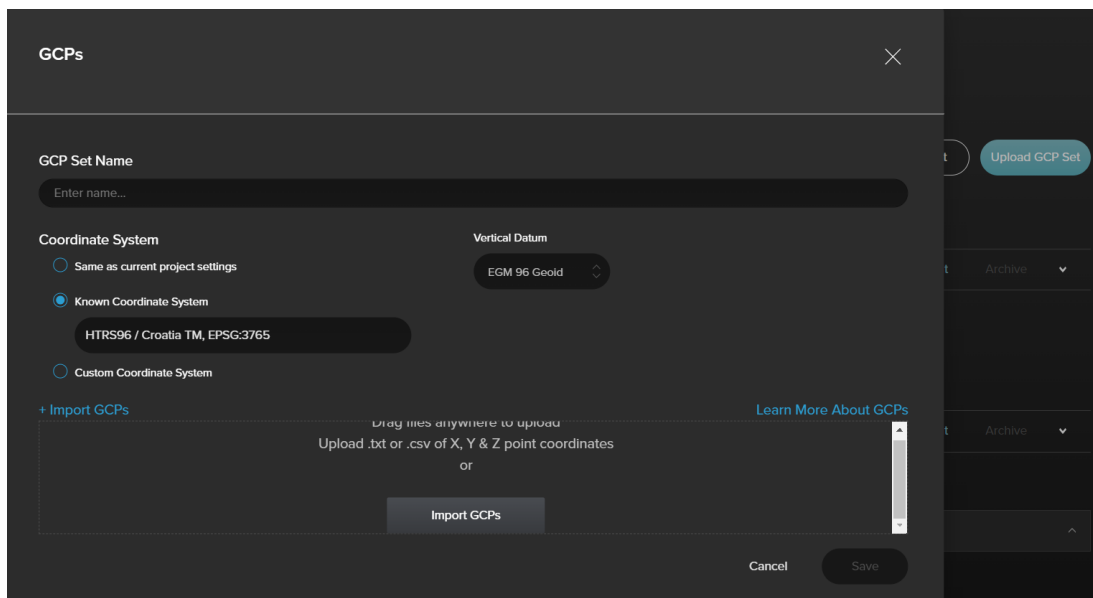


Slika 22. Kreiranje projekta u Site Scanu



Slika 23. Kreiranje nove misije unutar Site Scan aplikacije

Dodavanjem slika završen je korak kreiranja misije, te se može krenuti u dodavanje kontrolnih točaka. U izborniku kontrolnih točki (slika 24) dodaju se kontrole točke i odabranom koordinatnom sustavu. Nakon dodavanja kontrolnih točaka iste je potrebno i označiti.

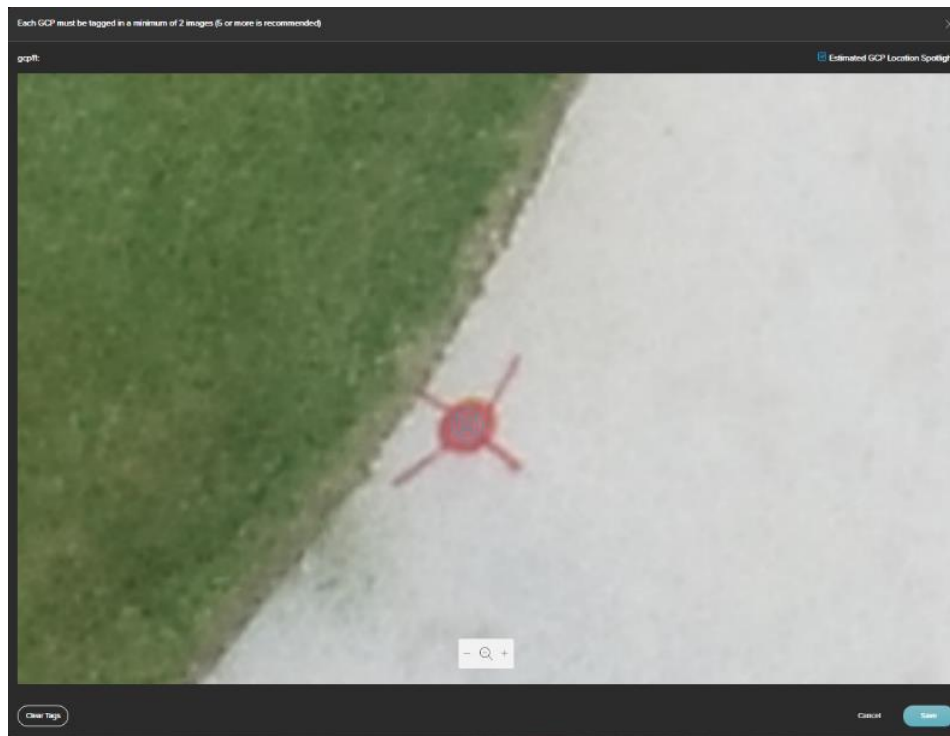


Slika 24. Kontrolne točke u Site Scan-u (GCP, eng. Ground Control Point)

Označavanje kontrolnih točaka započinje tako da u glavnom sučelju (slika 25) bira se funkcija pregled kontrolnih točaka (eng. Review GCP-s), zatim se otvara novo sučelje s učitanim kontrolnim točkama i snimkama koje se mogu otvoriti i u njima označiti učitane kontrolne točke (slika 26).



Slika 25. Glavno sučelje Site Scan aplikacije



Slika 26. Primjer označene kontrolne točke u Site Scan aplikaciji

Nakon učitavanja i označavanja kontrolnih točaka slijedi sama obrada podataka. Obrada podataka podijeljena je u dva dijela, a to su prvo procesiranje i reprocesiranje. U prvom koraku kreira se ortomozaik i oblak točaka, a u drugom se kreira 3D model (eng. 3D Mesh).

Pozitivna stavka obrade preko SiteScan-a je što se obrada vrši na njihovim računalima i nakon završetka dolazi obavijest o završenoj obradi putem elektronske pošte.

5.3. Rezultati i interpretacija obrađenih podataka prikupljenih „isprekidanom“ metodom

Rezultatima obrade, kao i samom procesu obrade, pristupamo putem web stranice koja ima stabilnu internetsku vezu. Rezultate obrade također je moguće preuzeti i otvoriti u programu koji podržava format preuzetih podataka. Iako SiteScan za obradu koristi vlastiti pogon, pregled dobivenih podataka može biti zahtjevan zbog velike količine podataka. Učitavanje i prikaz podataka značajno ovise o brzini rada računala, a samim time proporcionalno raste vrijeme utrošeno za sam pregled podataka. Prije analize rezultata, bilo je potrebno pregledati izvješće o obradi u kojima su prikazani detalji obrade. Izvješću se pristupa odabirom na izbornik izvoz (eng. export) u donjem lijevom kutu, te se preuzme izvješće o obradi (eng. Processing Report). U izvješću su prikazane informacije o kvaliteti, parametrima kamere, apsolutnoj preciznosti kamere, točnosti kontrolnih točaka, podatci o korelaciji kamere, podatci o broju veznih točaka, podatci o apsolutnim i relativnim geolokacijskim parametrima te podatci o inicijalnoj obradi. Kontrola kvalitete najbolji je parametar za procjenu dobivenih rezultata, ona sve generalizira, zatim odredi je li rezultat povoljan za dalju analizu. Obradeni podaci zadovoljili su kriterij kvalitete za nastavak obrade. Na slici 27 prikazan je rezultat kvalitete za područje grada i industrije.

Quality Check

🔍 Images	median of 51477 keypoints per image	✅
🔍 Dataset	2153 out of 2153 images calibrated (100%), all images enabled	✅
🔍 Camera Optimization	0.84% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✅
🔍 Matching	median of 15702.8 matches per calibrated image	✅
🔍 Georeferencing	yes, 10 GCPs (10 3D), mean RMS error = 0.011 m	✅

Slika 27. Provjera kvalitete područja snimljenog isprekidanom metodom obrađenog u Site Scan-u

Nakon uspješne provjere kvalitete te detaljnijeg pregleda ostataka izvješća, obratila se veća pozornost na georeferenciranje. Na slici 28 prikazane su pogreške kontrolnih točaka. Za provjeru je uzeta kontrolna točka 33, te se iz njenih rezultata iščitalo kako točka ima pogrešku od 10 cm po X osi, 5 cm po Y osi i 5 cm po Z osi. Uzimajući u obzir da je kontrolna točka označena na 3 snimke i nalazi se na samom rubu obrađenog područja, te da se približavanjem središtu ta pogreška smanjuje, može se sa sigurnošću reći da je rezultat obrade zadovoljavajuć.

Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
gcp10 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	0.023	0.005	0.481	5 / 5
gcp11 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	0.001	-0.001	0.224	5 / 5
gcp12 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	-0.008	0.013	0.230	5 / 5
gcp13 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	-0.002	0.003	0.331	5 / 5
gcp14 (3D)	0.020/ 0.020	-0.021	-0.021	-0.036	0.477	3 / 3
gcp21 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	0.009	0.013	0.335	5 / 5
gcp23 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.006	-0.010	0.294	5 / 5
gcp29 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	-0.002	0.005	0.421	5 / 5
gcp30 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	0.002	0.004	0.674	5 / 5
gcp32 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	0.004	-0.001	0.358	5 / 5
Mean [m]		-0.000169	-0.000101	-0.000579		
Sigma [m]		0.010702	0.010874	0.013489		
RMS Error [m]		0.010703	0.010874	0.013501		

0 out of 1 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
gcp33		-0.1019	0.0473	0.0549	0.2025	3 / 3

Slika 28. Izvješće kontrolnih točaka snimljenog isprekidanom metodom obrađenog u Site Scan-u

Nakon kontrole rezultata, započet je proces prikaza rezultata. Prvi prikazani rezultat je ortomozaik. Na slici 29 prikazan je ortomozaik cijelog područja snimanja.



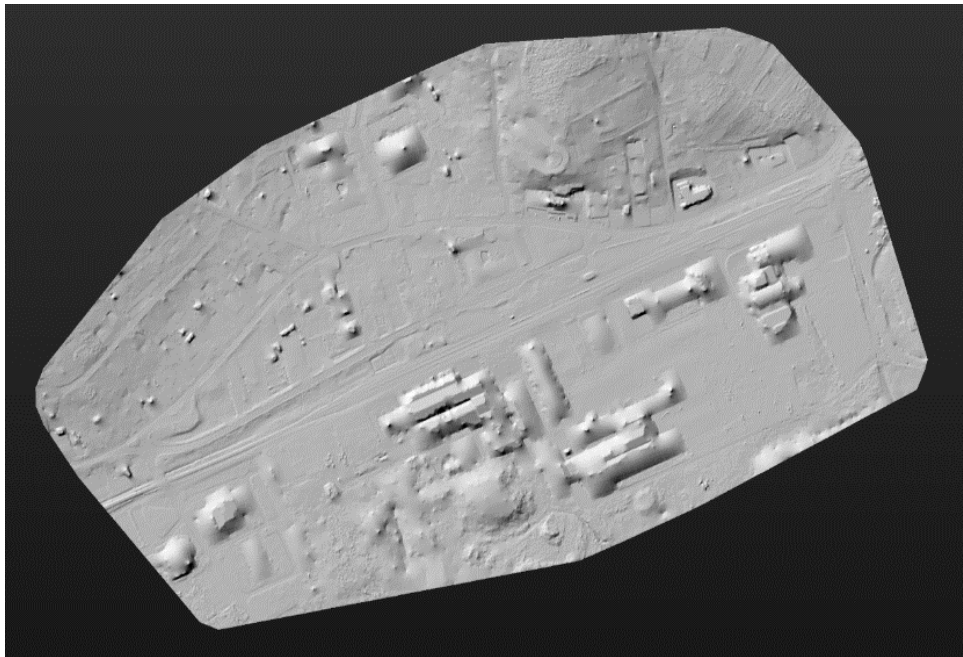
Slika 29. Ortomozaik područja dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u

Rezultat ortomozaika (slika 29) vrlo je zadovoljavajuće kvalitete s jasno prikazanim detaljima zgrada, automobila, kuća i ostalih detalja. Uzimajući i u obzir da je prikazani ortomozaik izrađen s dvostrukim snimanjem pri kojem je kamera imala određeni nagib, rezultat je iznimno kvalitetan i može se koristiti za daljnju obradu. Nakon prikaza ortomozaika, na red dolaze rezultati vezani uz digitalni model terena

(DTM) ili digitalni model površine (DSM), na temelju kojih se izrađuju daljnji proizvodi kao što su: slojnice, elevacijski modeli, osjenčani prikaz reljefa... Razlika između DTM i DSM prikaza je ta što DTM prikazuje teren bez umjetnih građevina, tj. samo prirodno stanje terena.

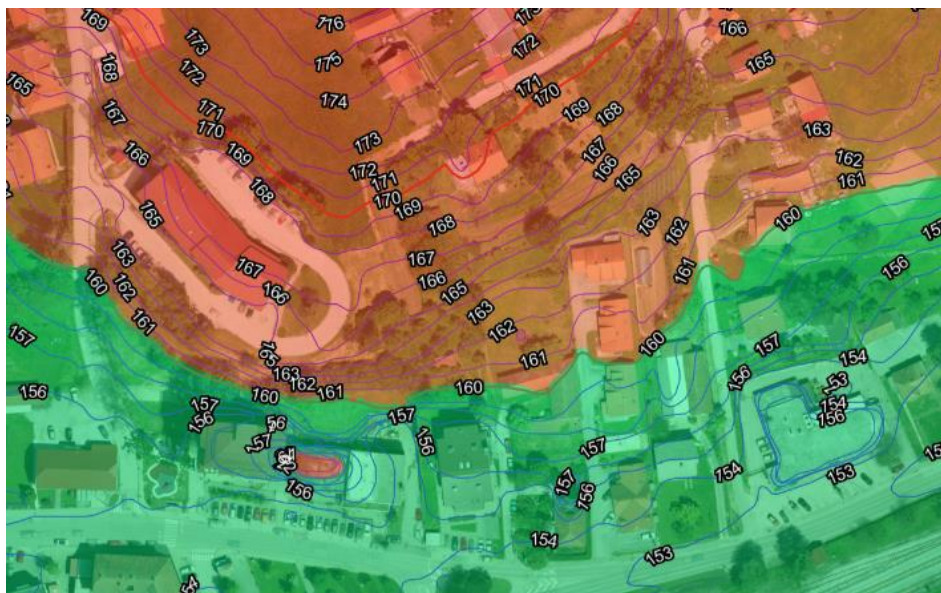
Prednost Site Scan-a prilikom izrade slojnica je automatsko generiranje, tj. kada se mijenja ekvidistanca između slojnica nije potrebno vršiti nikakve ponovne obrade što je prikazano na slici 31.

Na slici 30 prikazan je sjenčani prikaz reljefa (eng. Hillshade). Ovo se ne smatra dobrim načinom za prikaza ovakvog tipa terena. Sjenčani prikaz reljefa namijenjen je za teren s velikom promjenama nadmorske visine.



Slika 30. Osjenčani prikaz terena područja dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u

Također, ponuđena je i metoda prikaza određenog nivoa (slika 31), tj. označavanje određenom bojom razinu ispod i razinu iznad definirane visine (eng. cut-fill). Ova metoda prikaza vrlo je značajna za prikaz terena na područjima uz rijeku ili jezero zbog predviđanja mogućih poplava.



Slika 31. Prikaz "Izreži-ispuni" sa slojnicama područja dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u

Sljedeći je proizvod oblak točaka. Prikaz oblaka točaka putem cloud softvera kao što je Site Scan može biti prilično nezahvalan za rad. Učitavanje oblaka točaka vremenski je vrlo dug proces i može znatno usporiti rad. Prikazani oblak točaka moguće je progustiti ili podesiti veličine piksela. Najmanji broj točaka u oblaku ograničenje na 100 000, a najveći je 10 000 000. Najmanja veličina piksela je 1, a najveća 150. Ovo ograničenje predstavlja velik problem pri obradi velikih površina, a ovaj softver preko oblaka pogotovo nije namijenjen većim projektima. Na slikama 32 i 33 prikazan je dobiveni oblak točaka.



Slika 32. Oblak točaka područja dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u

U Site Scan-u, oblak točaka koristi se za mjerenje kutova, udaljenosti, visina, visinskih razlika, površina te inspekcije. Također, iz oblaka točaka, mogu se izraditi i profili definirani duž pravca.

Primjer oblaka točkica s mjerenim podacima nalazi se na slici 29. Na kraju je potrebno prikazati i 3D model čiji se primjer nalazi na slici 33.



Slika 33. 3D model područja dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u

5.4. Rezultati i interpretacija obrađenih podataka prikupljenih „površinskom“ metodom

Izvrješće o kvaliteti obrade podataka nalazi se u prilogu ovoga rada i je vrlo sličan izvješću kvalitete područja snimljenog dvostrukom metodom. Za obradu područja snimljenog površinskom metodom dolazi do značajnog problema (slika 34) prilikom obrade, koji je u nastavku detaljnije objašnjen. Prilikom trećeg dijela obrade, izbačen je sporni dio snimki koji stvara probleme, a rezultat je zadovoljavajuć, s preciznošću manjom od 10 cm.

Quality Check



🔍 Images	median of 65880 keypoints per image	✅
🔍 Dataset	1901 out of 1967 images calibrated (96%), all images enabled, 3 blocks	⚠️
🔍 Camera Optimization	1.29% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✅
🔍 Matching	median of 14192.3 matches per calibrated image	✅
🔍 Georeferencing	yes, 13 GCPs (13 3D), mean RMS error = 5.28 m	⚠️

Slika 34. Izvrješće kvalitete područja dobivenog površinskom metodom u Site Scan-u

Prikaz područja 2 praćen je velikim deformacijama (slika 35) zbog kojih daljnja analiza nije moguća. Vidljiva je deformacija piksela odmah iznad GCP-a te je sukladno tome i cijeli GCP deformiran, što je vidljivo iz izvješća obrade.



Slika 35. Prikaz GCP-a i deformacije

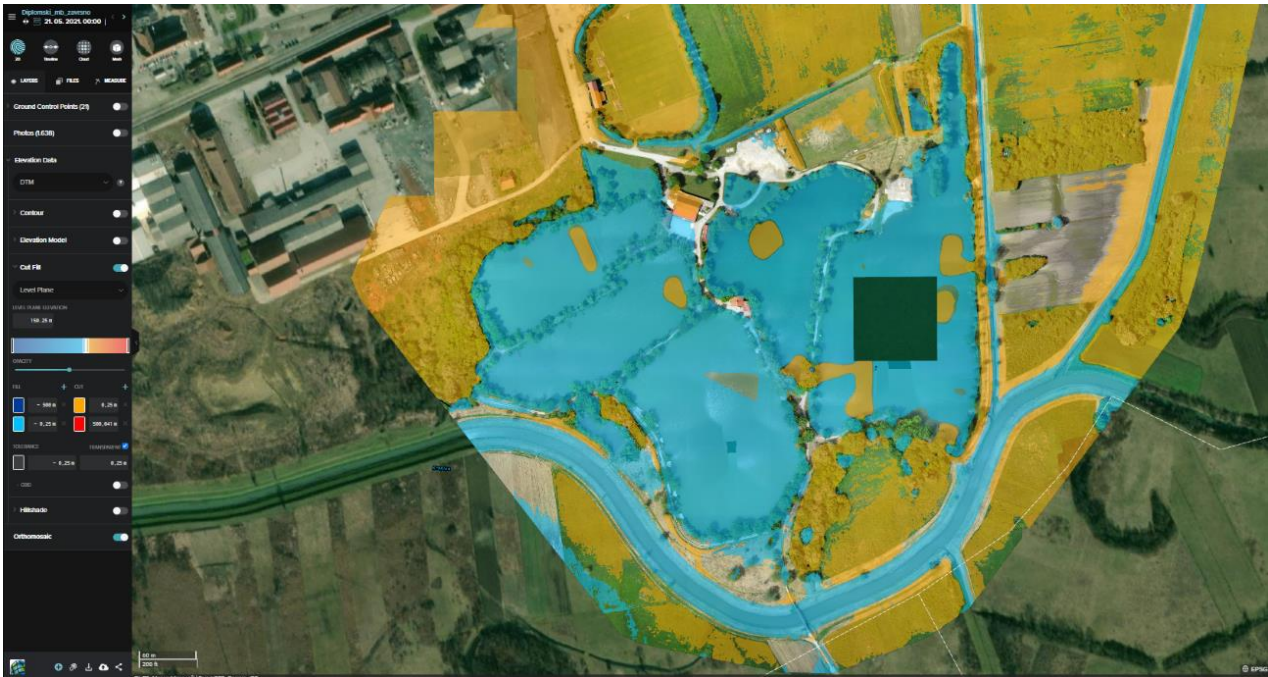
U nastavku su prikazani neki od proizvoda dobiveni drugom metodom snimanja (jednostrukim, tj. površinskim snimanjem).



Slika 36. Ortomozaik područja dobivenog površinskom metodom u Site Scan-u

Na slici broj 36 prikazan je ortomozaik, a na njemu je vidljiva „rupa“ u obradi. Razlog ovoj nepravilnosti je sam objekt snimanja, a to je jezero. Prilikom obrade vodenih površina algoritam za obradu dolazi do problema pri prepoznavanju veznih točaka, te iz navedenog razloga izbacuje snimke iz obrade. Problem se javlja kada algoritam za obradu određuje vezne točke na nestabilnim površinama (voda, lišće, visoka trava...) te pri izračunavanju ne može točno pozicionirati točku relativno s ostalim dobivenim točkama.

Zanimljiv je prikaz „izreži- ispuni“ za ovo područje, jer se upravo na ovom području može vidjeti korisna primjena takvog modela. Na slici 37 prikazano je predviđeno područje oko jezera u slučaju da razina vode u jezeru naraste za 1 m. Iz slike se može vidjeti koje je područje nasipa rizično i koje bi trebalo dodatno ispitati.



Slika 37. Predikcija porasta razine jezera u Site Scan-u

Na slici 38 prikazan je oblak točaka koji ima ograničen broj točaka i ograničenu veličina piksela, što predstavlja problem kao za područje snimljeno dvostrukom metodom.



Slika 38. 3D oblak točaka područja dobivenog površinskom metodom u Site Scan-u

Dalje u nastavku, na slici 39 prikazan je 3D model dobivenog područja. Na 3D modelu vidljive su distorzije. Razlog distorzijama isti je kao i na ortomozaiku, a to je vrsta snimanog terena. Vodene površine i krošnje drveća predstavljaju problem algoritmu za obradu.

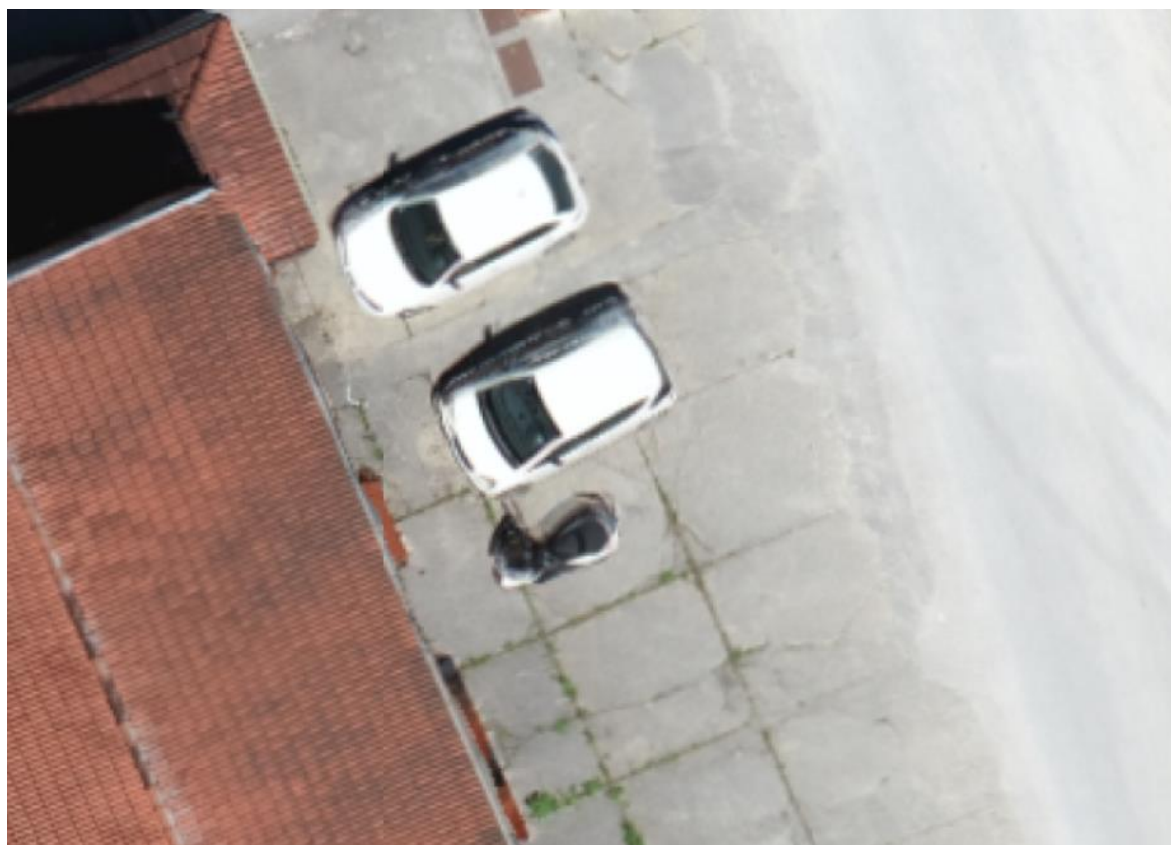


Slika 39. 3D model područja dobivenog površinskom metodom u Site Scan-u

5.5. Usporedba rezultata različitih metoda obrada u Site Scan-u

U nastavku je prikazana usporedba proizvoda SiteScan-a u kojima su snimke dobivene jednostrukom metodom (površinska) i dvostrukom (isprekidanom) metodom. Oba rezultata imaju svoje prednosti i mane. Uzimajući u obzir izvješće obrade, dolazimo do zaključka da su oba rezultata geolokacijski jednake preciznosti (< 2 cm), što može ovisiti i o samom načinu označavanja kontrolnih točaka.

Prva usporedba proizvoda je usporedba ortomozaika, na slici 40 i 41 prikazan je identičan detalj u jednakom mjerilu. Na slici 40 prikazan je detalj snimljen isprekidanom (dvostrukom) metodom, a na slici prikazan je detalj snimljen jednostrukom metodom.



Slika 40. Detalj ortomozaika snimljen isprekidanom metodom u Site Scan-u



Slika 41. Detalj ortomozaika snimljen površinskom metodom u Site Scan-u

Na prvom detalju može se primijetiti blaga zamućenost ortomozaika i blaga distorzija izazvana sjenom motora, dok je na slici 41 teško uočiti bilo kakvu zamućenost i distorziju. Nadalje prikaz krova najbolji je primjer za usporedbu kvalitete. Slika 41 jasno prikazuje da je slika puno izoštrijenija nego slika broj 40. Treba uzeti u obzir i vremensko razdoblje snimanja. Rezultat neće biti isti ako se snima u jutarnjim terminima i popodnevnim terminima kada je zračenje Sunca jače.

Sljedeća stavka za usporedbu je oblak točaka. Na slici 42 prikazan je detalj snimljen isprekidanom metodom, a na slici 43 detalj snimljen površinskom metodom.



Slika 42. Detalj oblaka točaka dobiven isprekidanom metodom u Site Scan-u



Slika 43. Detalj oblaka točaka dobiven površinskom metodom u Site Scan-u

Usporedba oblaka točaka obrađenih putem Site Scan oblaka otežana je radi brzine učitavanja oblaka točaka, zatim ograničenosti broja točaka i veličine piksela. Ipak djelomično je provedena analiza, stoga se može uočiti da u prilagođenim uvjetima obrada isprekidanom metodom daje vizualno detaljnije rezultate.

I zadnja preostala usporedba je usporedba 3D modela. Na slici 44 prikazan je detalj 3D modela snimljenog isprekidanom metodom, a na slici 45 prikazan je detalj snimljen površinskom metodom snimanja.



Slika 44. Detalj 3D modela dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u



Slika 45. Detalj 3D modela dobivenog površinskom metodom

Na prvi pogled uočljiva je velika razlika u prikazu objekata, svaka strana objekta 3D modela dobivenog površinskom metodom ima jasno vidljivu distorziju. Razlog pojave distorzije je način snimanja. Kod snimanja isprekidanom metodom kamera je pod određenim kutom te može snimiti bočne strane detaljnije što toj metodi daje značajnu prednost pri stvaranju 3D modela. Drugi razlog je taj što se isprekidanom metodom dobije i više snimki, što kao rezultat opet daje veću prednost toj metodi tako što ima više veznih točaka.

6. OBRADA PODATAKA U DRONE2MAP SOFTVERU

6.1. Općenito o Drone2Map softveru

Drone2Map je aplikacija razvijena od Tvrtke ESRI u svrhu izrade različitih 2D i 3D proizvoda kao što su ortomozaik, oblak točaka, 3D model, slojnice, DTM (digitalni model terena) i razne druge. Drone2Map softver je u mogućnosti stvoriti 2D i 3D karte određenog područja kojima je teško pristupiti ili ih je nemoguće u potpunosti pokriti zbog veličine ili terena. Gotovi proizvodi Drone2Map softvera mogu se koristiti u više svrha kao što su: praćenje okoliša, izračun kubatura, praćenje promjena, izrade geodetskih podloga i razne druge. Upravo brzo i količinski bogato prikupljanje podataka najveća je prednost korištenja ovakvih softvera jer korisniku smanjuje vrijeme i novac za izradu određenog projekta. (URL14) Kako bi uspješno provodili obradu i analizu potrebne su slijedeće specifikacije hardvera:

- Operativni sustav: Windows 7, 8, 10 64 bit
- Procesor (CPU, eng. Central Processing Unit): 6-jezgreni ili 8-jezgreni procesor, preporučuje se Intel i7 ili Xeon procesor
- Grafički procesor (GPU, eng. graphics processing unit): Minimalno je imati bilo koju grafičku karticu koja je kompatibilna s OpenGL 3.2 aplikacijskim sučeljem, dok je preporučeno imati grafičku karticu s minimalno 2 GB RAM te kompatibilnu s OpenGL 3.2 sučeljem
- Memorija s nasumičnim pristupom (RAM, eng. Random Access Memory): Potrebno je minimalno 4, a detaljnije je prikazano u tablici 2

Prostor za pohranu: Potrebno je imati tvrdi disk (HDD, eng. Hard Disk Drive), dok je za optimalne uvjete potrebno imati SSD (Solid State Drive). Potrebna veličina diska prikazana je u tablici 4.

Tablica 4. Specifikacije hardvera Drone2Map softvera (URL 14)

Broj snimki	Minimalne specifikacije hardvera		Preporučene specifikacije hardvera	
	RAM	HDD (GB)	RAM	SSD (GB)
0-100	4	10	8	15
100-500	8	20	16	30
500-2000	16	40	32	60
>2000	16	80	32	120

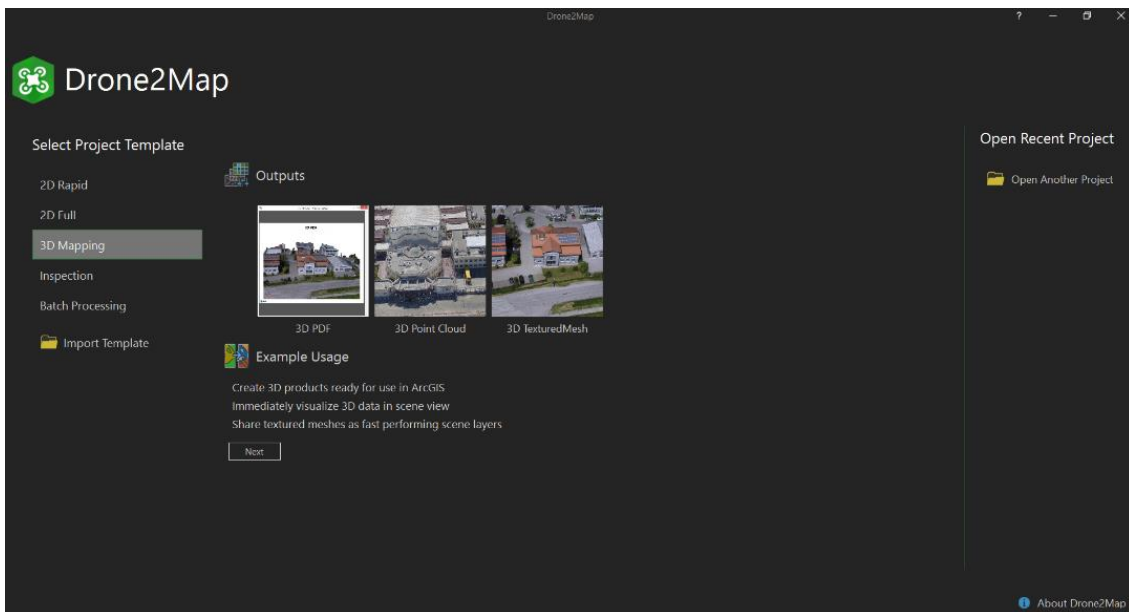
6.2. Postupak obrade u Drone2Map (D2M) softveru

Nakon završenog snimanja uslijedila je obrada, prilikom koje su uočeni veći problemi u samom početku. Usporedbom preporučenih specifikacija hardvera s postojećima prilikom moglo se naslutiti da će doći do određenih poteškoća prilikom obrade. Prvi od tih problema je bilo računalo predviđeno za obradu. Osobno prijenosno računalo bilo je nedostavno za planiranu obradu. Također je uočen problem uzrokovan nedostatkom prostora za pohranu koji je prvotno riješen nabavkom dodatnog diska za pohranu od 1 TB. Tijekom obrade došlo je do potrebe za još većom pohranom pa je korišten dodatni disk za pohranu. Tom se informacijom može potvrditi veličina i zahtjevnost obrade područja koja ukupno zauzima skoro 400 hektara površine.

Za obradu podataka korišteno je stolno računalo Geodetskog fakulteta sa sljedećim specifikacijama CPU: Intel(R) Core(TM) i3-9100F CPU @ 3.60 GHz, Ram: 16 GB, GPU: nVidia GeForce GTX 1660S, te osobno prijenosno računalo sa sljedećim specifikacijama CPU: AMD Ryzen 7 4800H, Ram: 16 GB, GPU: nVidia GeForce GTX 1650.

Sam proces obrade bio je vrlo zahtjevan te je računalo na kojem se vršila sama obrada bilo jedva dostatno te je često dolazilo do prekida i zastoja. Na prijenosnom računalu nije bilo moguće vršiti obradu zbog rizika od pregrijavanja. Najčešća greška koja se pojavljivala gotovo u svakoj obradi bila je kolaps (eng. crash) aplikacije, pa nakon toga ponavljao cijeli proces. Obrada namijenjena snimkama iz Ebee X letjelice, bila je posebno zahtjevna te je trajala desetak dana. Postupak obrade za D2M softver trajao je tri mjeseca, uzimajući u obzir poteškoće koje nisu vidljive u izvješću o obradi. Također u jednom dijelu snimki stvorio se problem s distorzijom podataka zbog različitih svojstava snimki. Problem je riješen podjelom obrade na dijelove. Razlog problema vjerojatno leži u samom programskom algoritmu za kojeg nije bilo u mogućnosti napraviti uvid, te iz navedenog razloga ne može se sigurno utvrditi razlog pogreške.

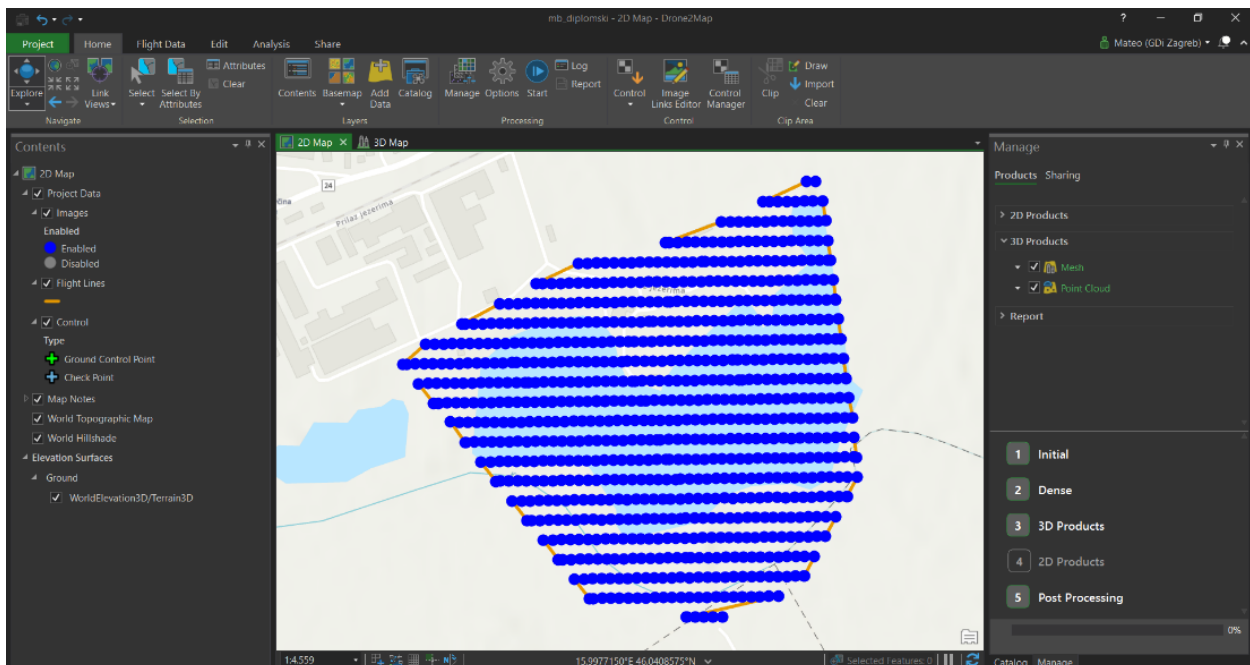
Obrada u Drone2Map softveru zahtijeva iste postupke obrade kao i ContextCapture Master softver, razlika je samo u dijelu postupaka koji je prikazan u nastavku. Nakon otvaranja i prijave u Drone2Map softver otvaraju se ponuđeni proizvodi koji se mogu proizvesti (slika 46), a to su: 2D brzo (eng. 2D Rapid, proizvodi obični ortomozaik i DSM samo snižene kvalitete zbog bržeg procesiranja), svi 2D proizvodi (eng. 2D Full), 3D mapiranje (eng. 3D Mapping), inspekcija (eng. inspection), i serijsko procesiranje (eng. Batch Processing).



Slika 46. Početno sučelje D2M

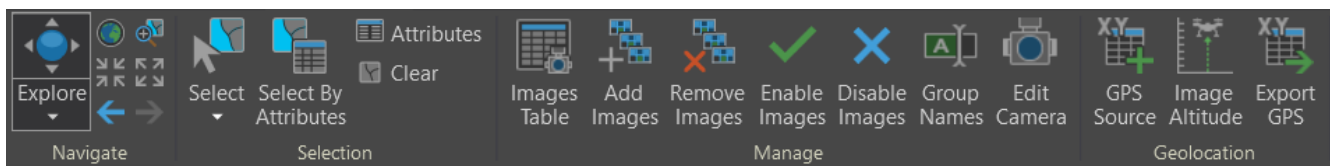
Kao rezultat dobiveni su 2D i 3D proizvodi. Postupak započinje odabirom naredbe sljedeće (eng. Next) nakon čega se otvara glavno sučelje programa u kojima su prikazane putanje letjelice i opažane snimke iz zraka (slika 47).

Glavno sučelje sastoji se od: tekstualnog izbornika, alatne trake, sadržaja, upravljačkog izbornika i statusnog prikaza procesiranja. U tekstualnom izborniku nalaze se izbornici Polazno (eng. Home), podaci leta (eng. Flight data), uređivanje (eng. Edit), analiza (eng. Analysis) i dijeljenje (eng. Share). Klikom na svaki od njih otvara se nova alatna traka.



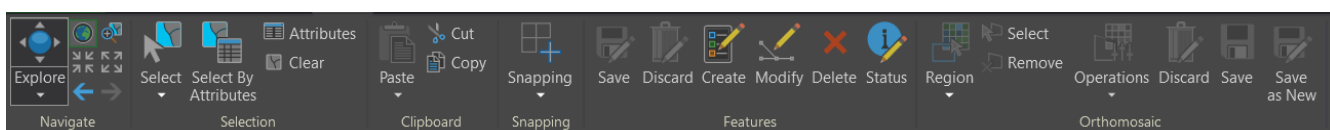
Slika 47. Glavno sučelje D2M softvera

U alatnoj traci izbornika polazno (slika 47) nalaze se alati vezane u upravljanje sadržajem projekta, a to su: navigiranje (eng. Navigate), odabir značajki (Selection), odabir pozadine (eng. Layers), kontrolne točke (eng. Control) i izrezivanje područja (eng. Clip Area).



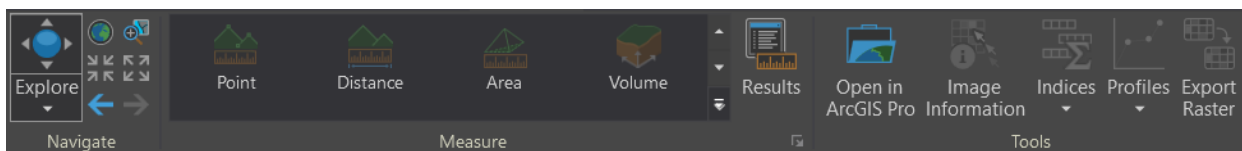
Slika 48. Alatna traka podataka leta (eng. Flight data) D2M softvera

U alatnoj traci podataka leta (slika 48) nalaze se funkcije za upravljanje (eng. Manage) pomoću koje se mogu pregledati snimke dobivene dronom te ih uređivati, dodavati, brisati, blokirati uporabu te mijenjati postavke kamere. Također, u ovoj alatnoj traci nalaze se i postavke geolokacije (eng. geolocation) u kojoj se mijenjaju GPS parametri, visina leta i izvoz GPS (eng. export GPS).



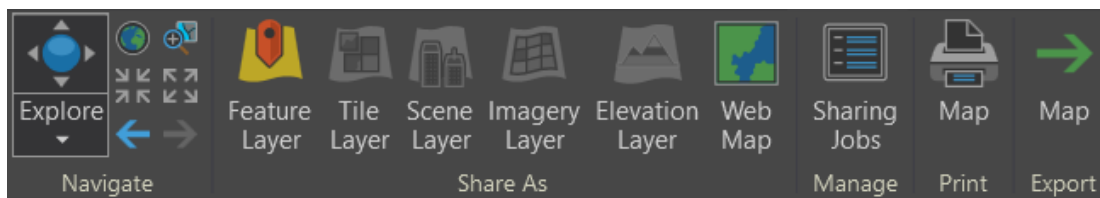
Slika 49. Alatna traka uređivanja (eng. edit) D2M softvera

U alatnoj traci uređivanje (slika 49) nalaze se funkcije međuspremnika gdje se mogu kopirati, izrezati i lijepiti značajke, zatim hvatanje (eng. Snapping) gdje u postavkama odabire položajnu toleranciju. U drugoj polovici alatne trake nalaze se funkcije značajki (eng. Features) gdje se mogu kreirati, spremi, odbaciti, modificirati i izbrisati značajke i na kraju ortomozaik (eng. Orthomosaic) za koji postoje različite funkcije koje se mogu primijeniti te također brisati i spremi.



Slika 50. Alatna traka analize (eng. Analysis) D2M softvera

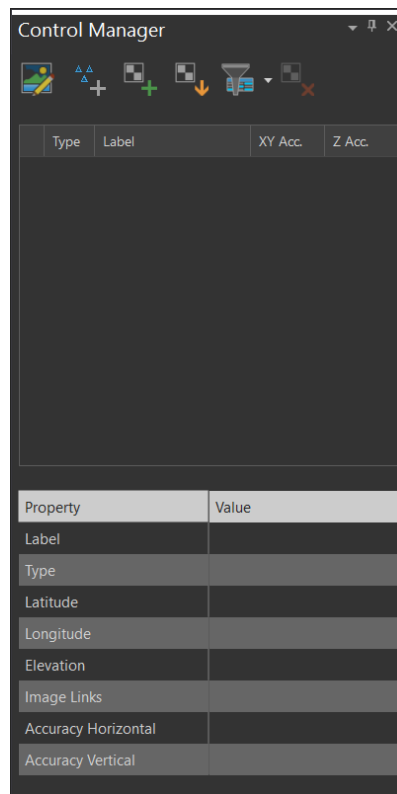
Iduća u nizu alatna traka sadržajnog izbornika je analiza (slika 50). U njoj se nalaze potrebni alati za analizu mjerenja, a to su ispitivanje točke (eng. Point), mjerenje udaljenosti (eng. Distance), površine (eng. Area) i volumena (eng. Volume) te funkcije za otvaranja projekta u ArcGIS Pro, očitavanje informacije slike, izradu profila i izvoz rastera.



Slika 51. Alatna traka dijeljenje (eng. Share) D2M softvera

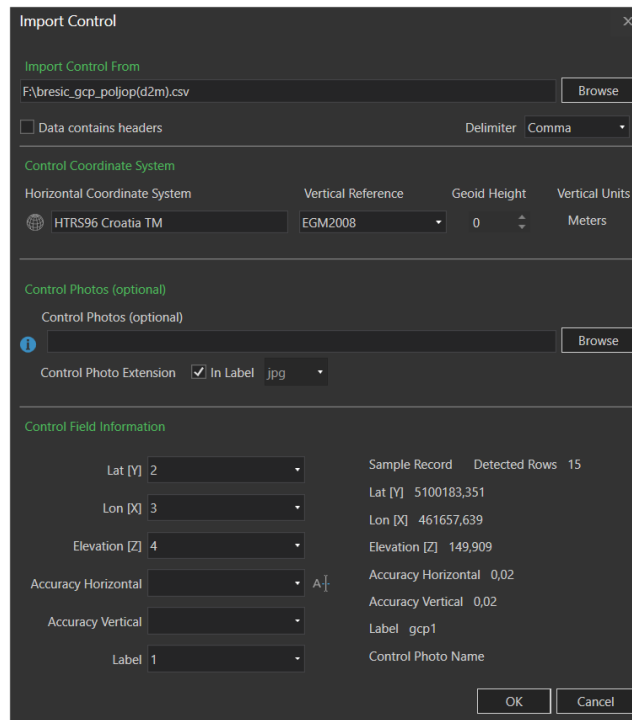
Na kraju zadnja alatna traka je vezana za dijeljenje sadržaja (slika 52), a sastoji se od navigiranja, zatim od ponuđenih načina dijeljenja kao što su dijeljenje značajki (eng. Feature Layer), dijelova layera (eng. Tile Layer), scene (eng. Scene Layer), slika (eng. Imagery Layer), visinskog layera (eng.

Elevation Layer) i web karte (eng. Web Map), zatim slijede funkcije za dijeljenje posla, printanje rezultata i izvoz.



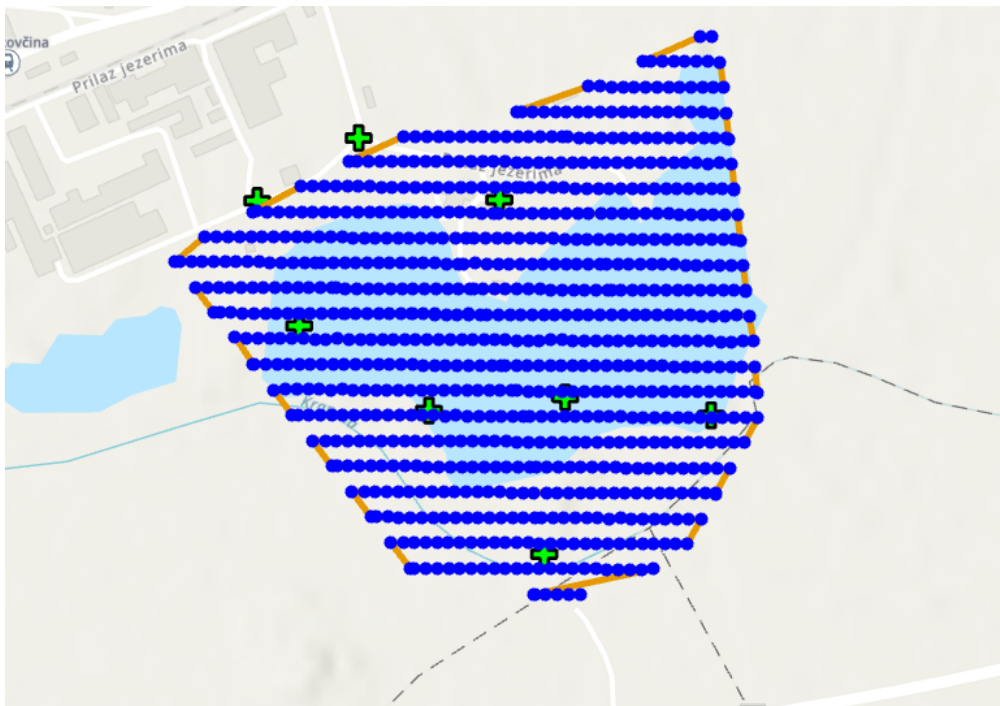
Slika 52. Upravitelj kontrolnih točaka (eng. Control Manager) D2M softvera

Nakon uvoza snimki potrebno je, ako ih ima, uvezati i povezati uvezene kontrolne točke sa snimkama. Upravitelj kontrolnih točaka otvara se klikom na ikonu koja se nalazi u alatnoj traci Polazno, nakon čega se otvara prozor na desnoj strani, kao što je prikazan na slici 52. U ovom prozoru nalaze se funkcije (redom) uređivač povezivanja snimki (eng. Image link editor), ručno dodavanje veznih točaka (eng. Add Manual Tie Points), dodavanje kontrolnih točki iz karte (eng. Add Controls from Map), uvoz kontrolnih veznih točaka (eng. Import Controls), zatim filter točki za prikaz i funkcija za brisanje kontrolne točke (eng. Delete Controls). Za nastavak izrade ubačene su slike iz .csv formata koje su snimljene na terenu. Klikom na funkciju uvoz kontrolnih točaka otvara se novi prozor koji je prikazan na slici 53. U novom prozoru nalaze se postavke kontrolnih točaka u kojem je potrebno definirati lokaciju datoteke kontrolnih točaka, zatim horizontalni i vertikalni koordinatni sustav, dodatne slike ako je potrebno, te na kraju definirati svojstva polja kontrolnih točaka, a to je ime točke, y os, x os, visinu i položajne točnosti ako ih ima.



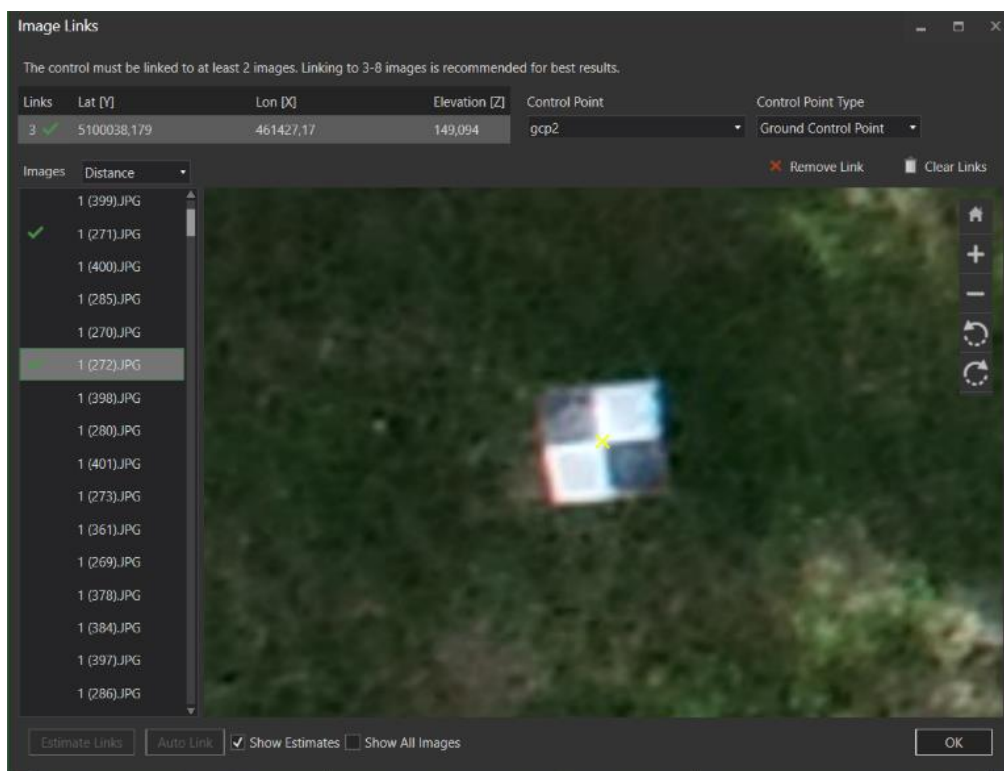
Slika 53. Postavke kontrolnih točaka D2M softvera

Nakon uvoza kontrolnih točaka rezultat je vidljiv na osnovnoj karti glavnog sučelja kao što je vidljivo na slici 54. Zeleni križevi predstavljaju GCP-ove, plave točke položaj snimki, a narančaste linije putanju drona za vrijeme snimanja.



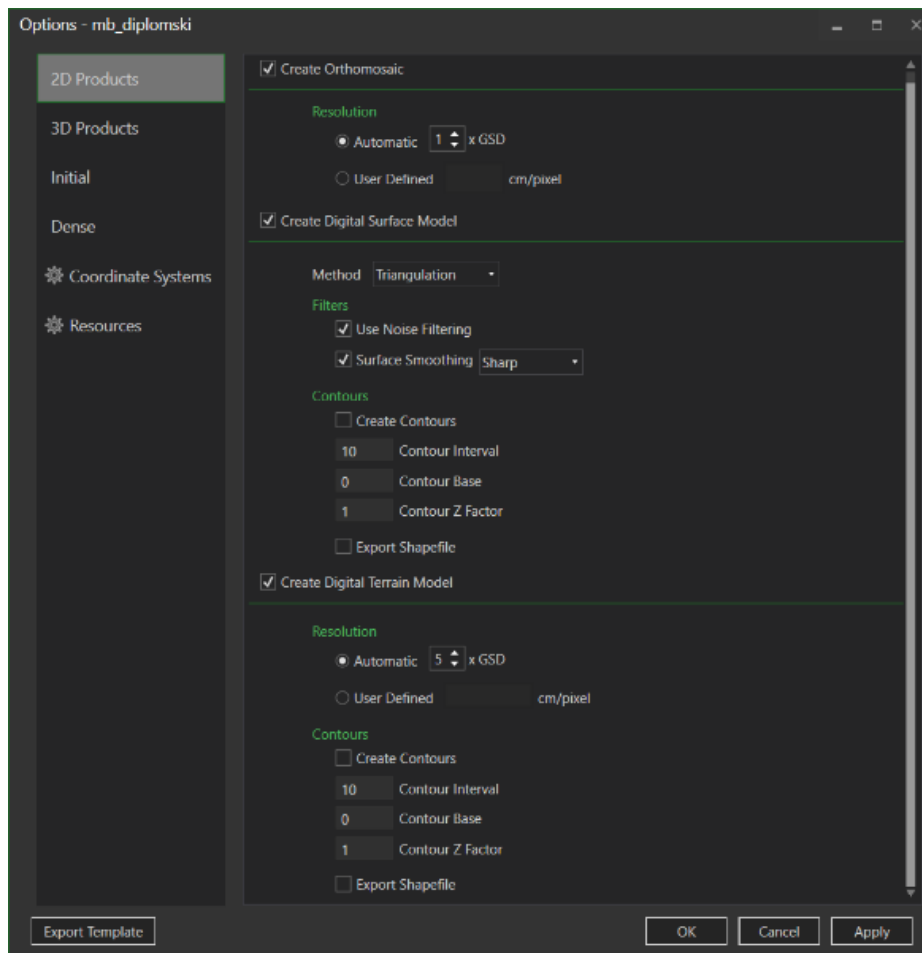
Slika 54. Prikaz GCP-ova na osnovnoj karti unutar D2M softvera

Nakon uvoza GCP-ova potrebno ih je povezati sa snimaka iz drona, a to je učinjeno pomoću uređivača povezivanja snimki. Svaki je GCP potrebno pronaći i označiti na minimalno 3 snimke, a ne više od 8. Primjer označenog GCP-a nalazi se na slici 55.

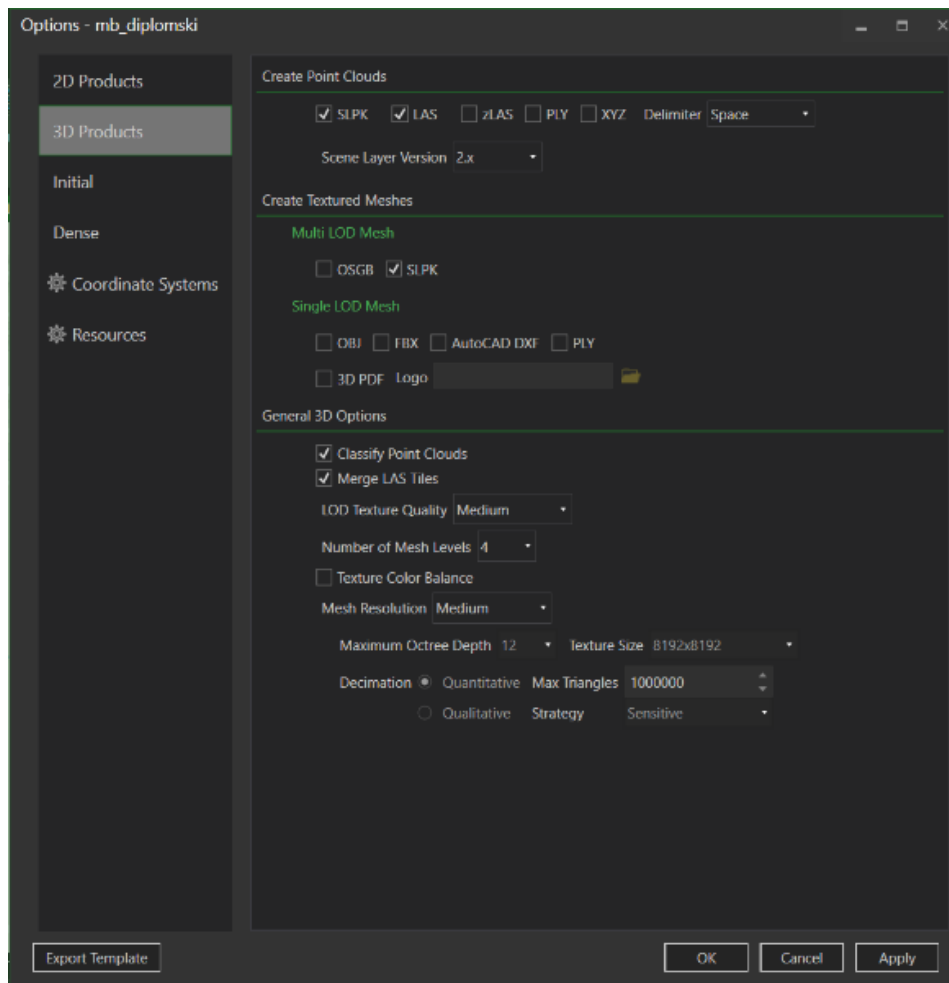


Slika 55. Označavanje kontrolne točke unutar D2M softvera

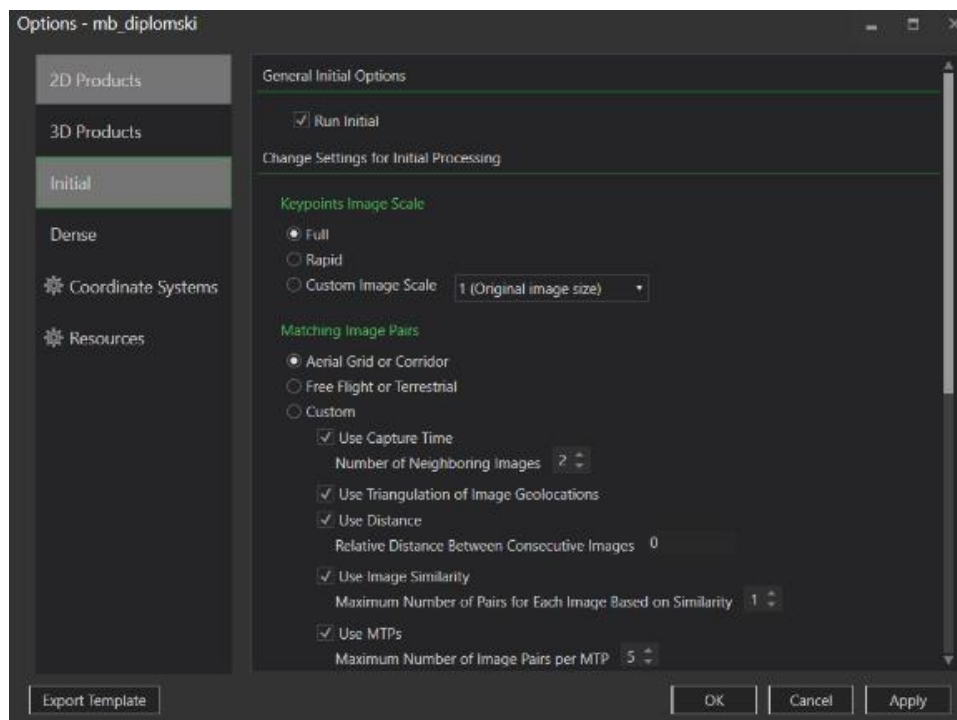
Nakon označavanja svih GCP-ova slijedi obrada, u alatnoj traci polazno započinje se procesiranje tako što se prvo u funkciji upravljanje (eng. Manage) odabire redoslijed ili postupak procesiranja. Da bi se računalo što manje opteretilo najbolje je proizvodnju podijeliti u više segmenata, na način da se prvo obavi inicijalno procesiranje (eng. Initial), zatim progušćeni oblak (eng. dense cloud), pa 2D i 3D proizvodi (eng. 2D, 3D Products). Također je potrebno i podesiti postavke procesiranja. U postavkama procesiranja definiraju se postavke vezane za 2D i 3D proizvode (slike 56 i 57) kao što su : rezolucija, metoda izračuna točaka filteri, slojnice, vrste datoteka izlaznih proizvoda, razina detalja i druge postavke koje nisu detaljnije obrađene zbog prevelikih datoteka za obradu. Zatim se definiraju postavke za inicijalno procesiranje (slike 58 i 59), gustoću (eng. Dense, slika 60), koordinatni sustav (eng. Coordinate System, slika 61) i na kraju se definira koliko resursa računala koristi za obradu (eng. Resources, slika 62).



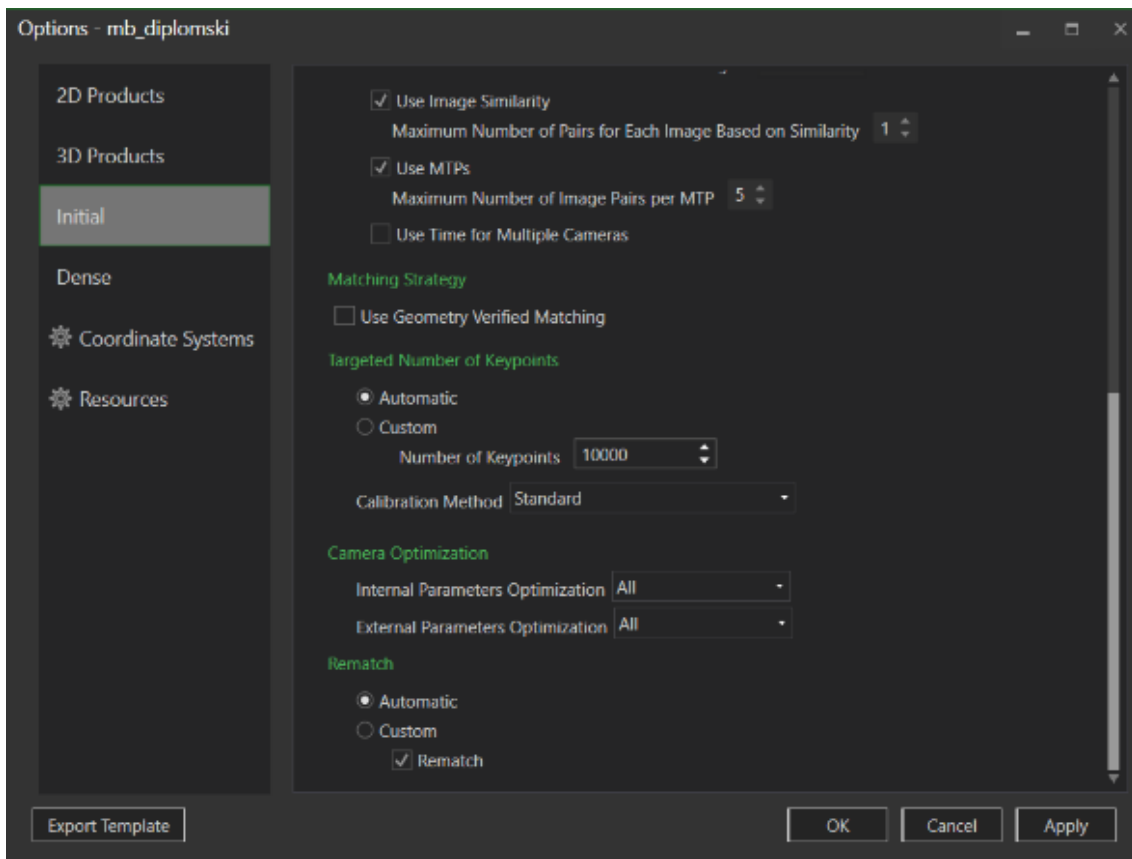
Slika 56. Postavke 2D proizvoda D2M softvera



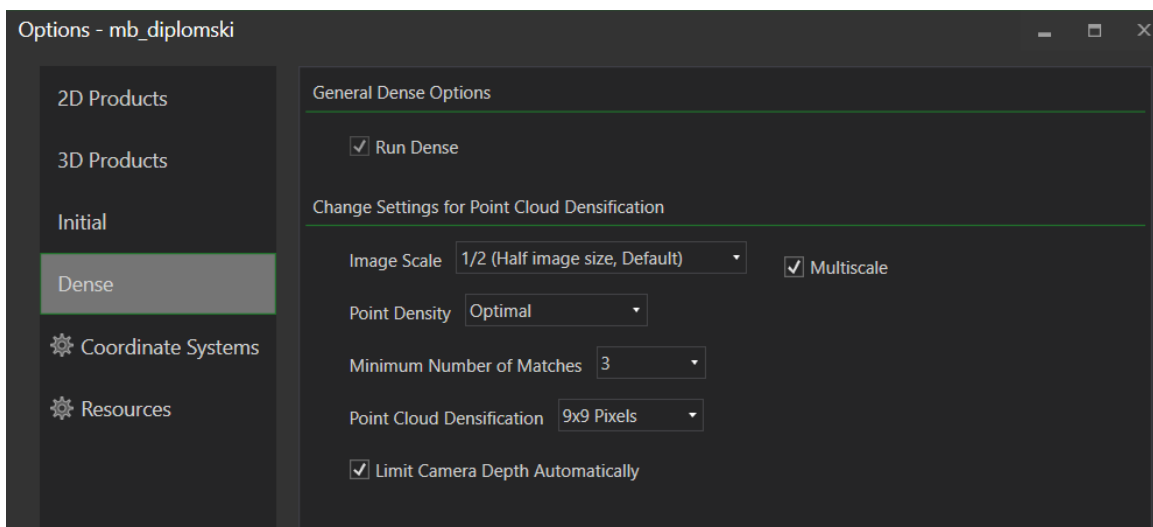
Slika 57. Postavke 3D proizvoda D2M softvera



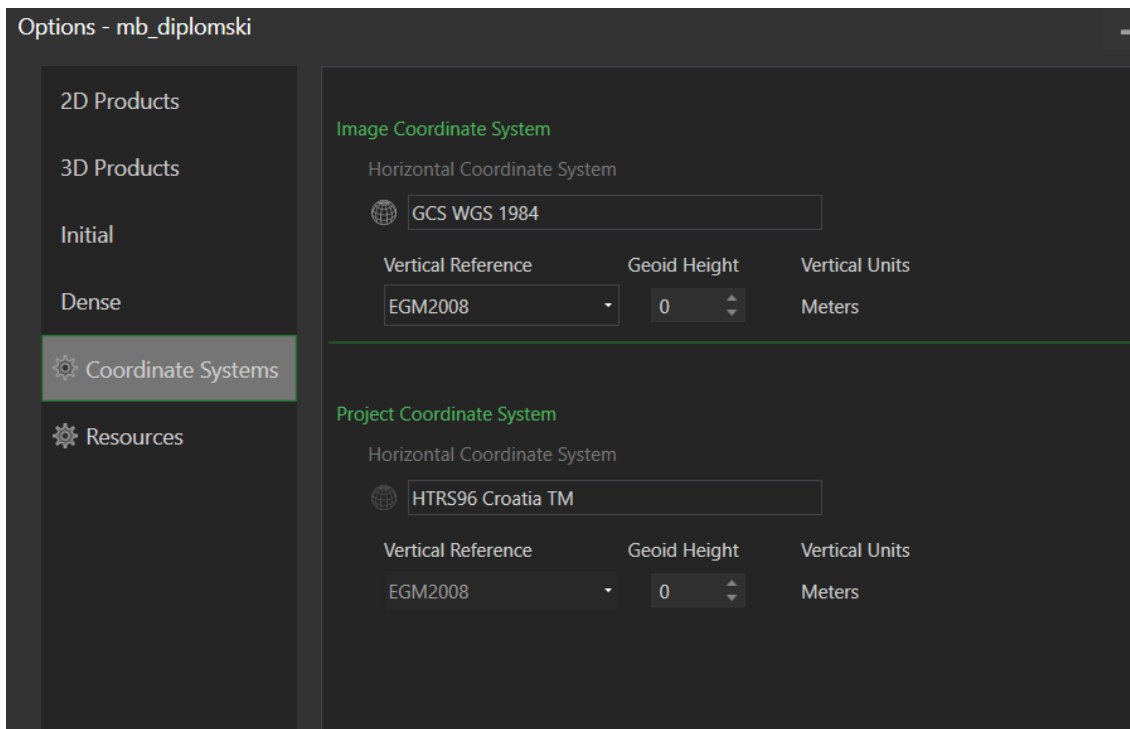
Slika 58. Inicijalne postavke (prvi dio) D2M softvera



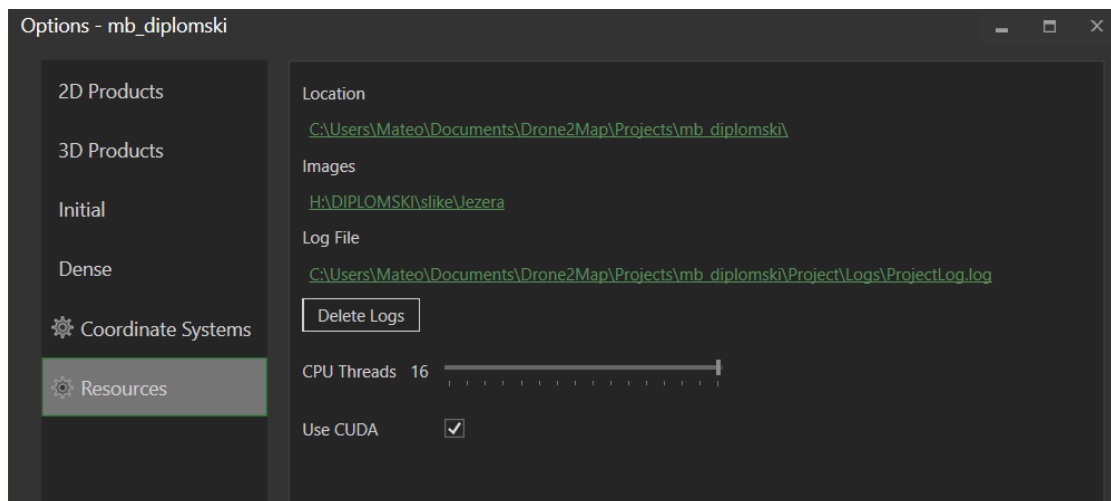
Slika 59. Inicijalne postavke (drugi dio) D2M softvera



Slika 60. Postavke gustoće točaka D2M softvera



Slika 61. Postavke Koordinatnog sustava D2M softvera



Slika 62. Postavke računalnih resursa D2M softvera

6.3. Rezultati i interpretacija obrađenih podataka

Kao i kod obrade putem Site Scan-a, obrada je podijeljena u više dijelova. Uvidom u izvješće obrade zapravo se dobije zeleno svjetlo za daljnju obradu. Za područje snimljeno isprekidanom metodom, rezultat je zadovoljavajući, kao i za područje snimljenom površinskom metodom u kojem je izbačeno

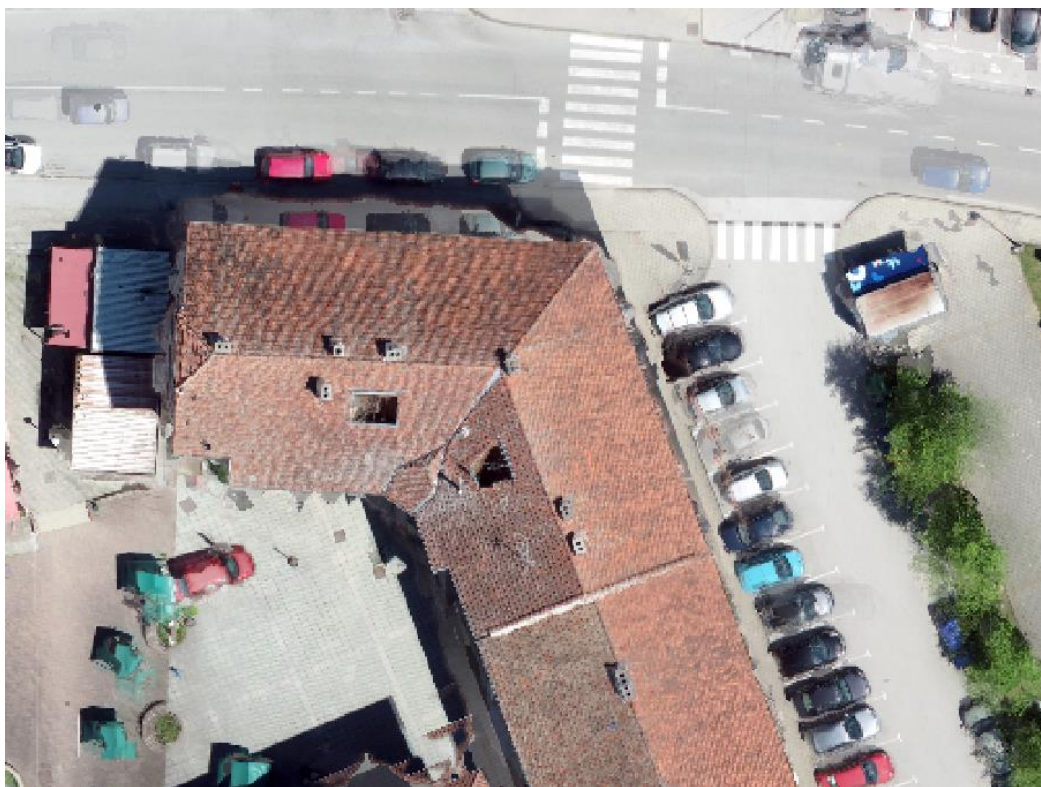
sporno područje zbog kojeg dolazi do pogreške. Na slikama 63 i 64 prikazani su rezultati ortomozaika, dok su na slikama 65 i 66 detaljnije prikazani rezultati ortomozaika.



Slika 63. Ortomozaik dobiven dvostrukom metodom u D2M softveru



Slika 64. Ortomozaik dobiven površinskom metodom u D2M softveru

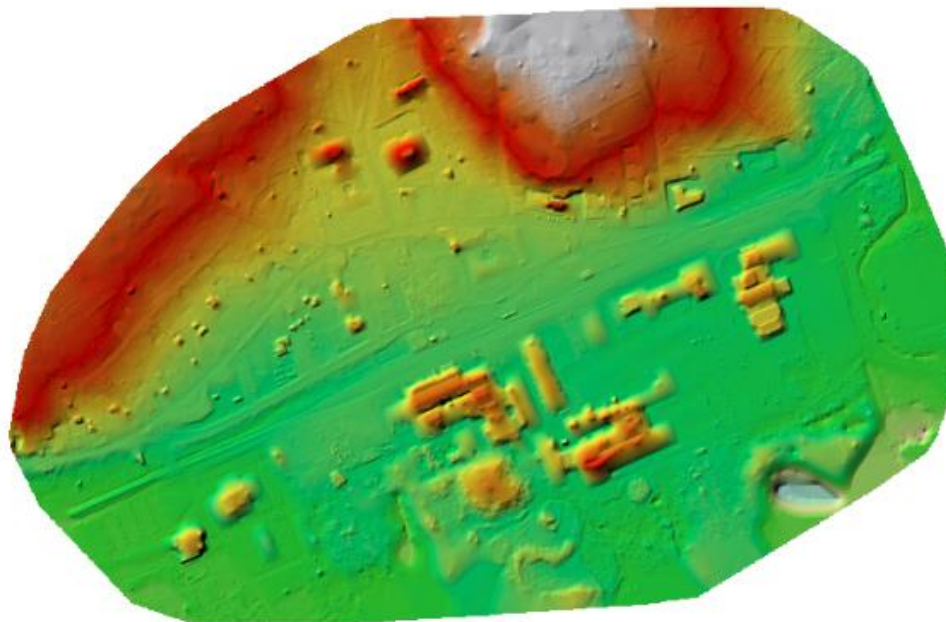


Slika 65. Detalj ortomozaik dobiven isprekidanom metodom u D2M softveru

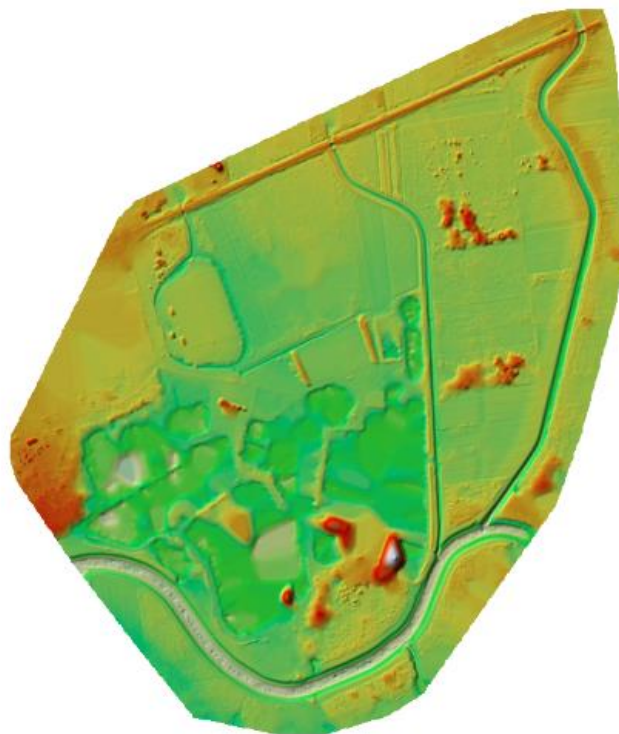


Slika 66. Detalj ortomozaik dobiven površinskom metodom u D2M softveru

Na temelju rezultata jasno je vidljivo kako obrađene snimke za obje metode imaju primjetno nižu kvalitetu. Razlog tomu leži u postavkama odabranim pri obradi. Prilikom obrade namjerno je smanjena kvaliteta izlaznog rezultata iz razloga što bi u suprotnom slučaju obrada bila skoro pa nemoguća zbog ograničenosti računala koje se koristilo za obradu. Rezultat ortomozaika dobiven površinskom metodom ima nešto malo bolju rezoluciju, a razlog tomu je već naveden prilikom interpretacije rezultata SiteScan-a.



Slika 67. Digitalni model terena dobiven dvostrukom metodom u D2M softveru



Slika 68. Digitalni model terena dobiven površinskom metodom u D2M softveru

Nadalje na slikama 67 i 68 prikazani su rezultati digitalnog modela terena (DTM) za oba područja snimanja. Također kao rezultat dobiven je digitalni model površine, te model terena prikazan sjenčanjem. Na DTM-u visine su prikazane skalom boja. Zelenom su bojom prikazane niže kote terena, dok su crvenom prikazane više kote terena.



Slika 69. Oblak točaka dobiven dvostrukom metodom u D2M softveru

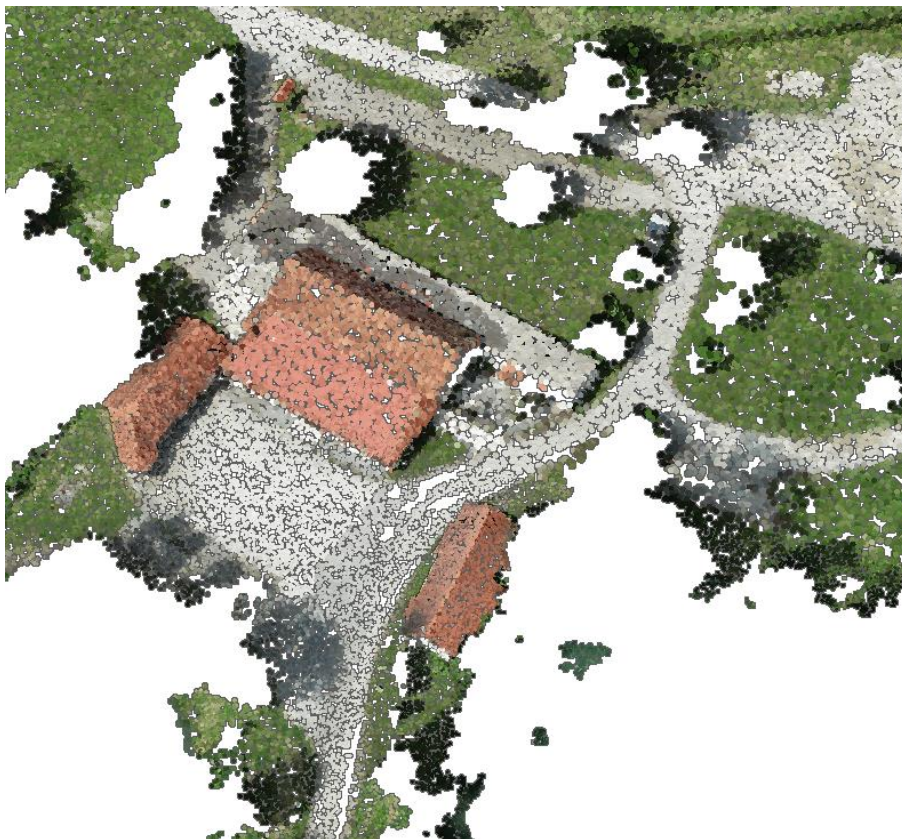


Slika 70. Oblak točaka dobiven površinskom metodom u D2M softveru

Na slikama 69 i 70 prikazani su rezultati oblaka točaka za oba područja. Kao i na ortomozaiku primjetna je lošija kvaliteta podataka uzrokovana algoritmom obrade. je prikazan točkama većeg obujma koje se progušćuju povećanjem područja kao što je prikazano na slikama 71 i 72.



Slika 71. Detalj oblaka točaka snimljen dvostrukom metodom u D2M softveru



Slika 72. Detalj oblaka točaka snimljen površinskom metodom u D2M softveru

Na temelju prikazanih detalja oblaka točaka još bolje mogu primijetiti nedostaci te rupe u oblaku.
Za kraj slijedi prikaz 3D modela koji se nalazi na slikama 73 i 74. Kao što problem lošeg rezultata prati ortomozaik i oblak točaka tako prati i 3D model kojem razina detalja nije baš na zavidnoj razini.

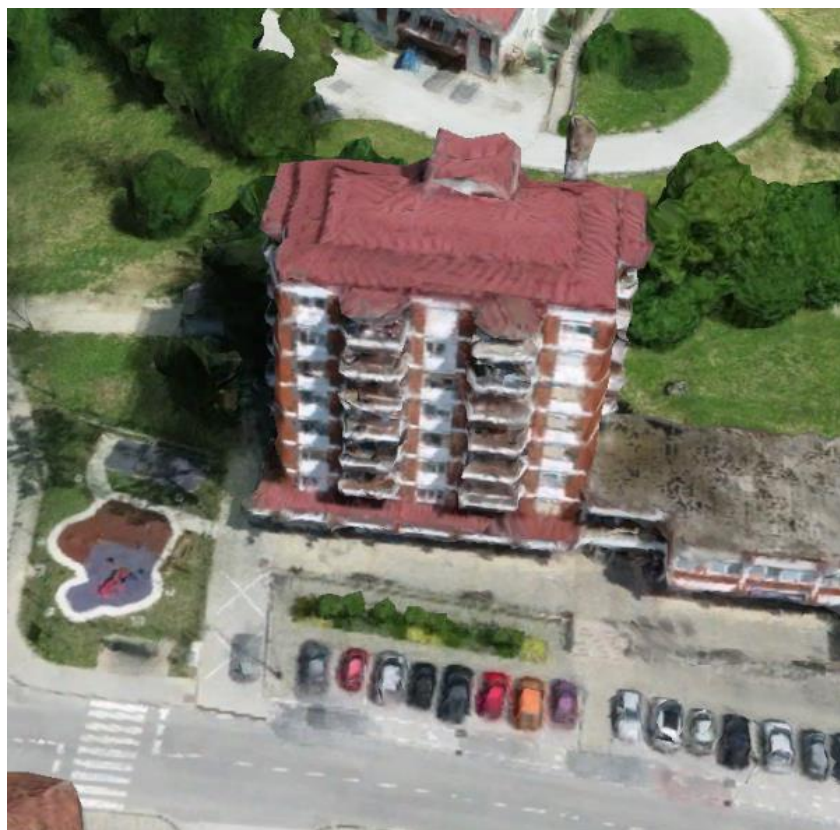


Slika 73. 3D model snimljen dvostrukom metodom u D2M softveru



Slika 74. 3D model snimljen površinskom metodom u D2M softveru

Detaljnijim prikazom 3D modela kvaliteta obrade je još više uočljivija, detalji su prikazani na slici 75 i 76.



Slika 75. 3D model detalja snimljenog dvostrukom metodom dobiven u D2M softveru



Slika 76. 3D Model detalja snimljenog površinskom metodom dobiven u D2M softveru

Na prikazanim detaljima vidljivo je loša kvaliteta i rezultat koji je na granici same uporabljivosti.

Također je obrađen zaseban dio manjeg područja, zbog kojeg je dolazilo do pogreške u izvješću obrade. Manje područje uz rijeku nema neku značajniju svrhu koji bi trebalo spomenuti, jedino je koristan da bi imali uvid u problem, koji se može dogoditi prilikom kombiniranja obrade snimljene u dva različita leta.

7. OBRADA PODATAKA U ARCGIS PRO SOFTVERU

7.1. Općenito o ArcGIS Pro softveru

ArcGIS Pro dio je velike ESRI platforme koja je primarno namijenjena za GIS stručnjake. ArcGIS PRO je softver namijenjen za računalnu uporabu te kao takav ima najviše mogućnosti za detaljnije obrade. Uz ArcGIS Pro tu se nalaze i ArcGIS online kojem se pristupa putem web stranice, te ArcGIS za server i ArcGIS za mobilne uređaje. ArcGIS Pro zapravo je nadogradnja prethodne verzije ArcGIS-a za desktop, a to je poznati ArcMAP. ArcGIS Pro nudi različite mogućnosti kombiniranja 2D i 3D sadržaja u samo jednoj aplikaciji što predstavlja značajnu prednost nad ostalim GIS softverima.

Za instaliranje i korištenje softvera ArcGIS Pro potrebne su sljedeće specifikacije na računalu:

- Operativni sustav: Windows 7, 8, 10 64 bit
- Procesor (CPU, eng. Central Processing Unit): 2-jezgreni je minimalno što zahtjeva, preporuča se 6- jezgreni procesor
- Grafički procesor (GPU, eng. Graphics Processing Unit): Minimalno je imati grafičku karticu s 512 MB RAM koja je kompatibilna s OpenGL 3.0 aplikacijskim sučeljem i da podržava DirectX 9, dok je preporučeno imati grafičku karticu s minimalno 2 GB RAM te kompatibilnu s OpenGL 3.2 sučeljem i da podržava DirectX 11
- Memorija s nasumičnim pristupom (RAM, eng. Random Access Memory): Potrebno je minimalno 4 GB, preporučeno je 8 GB, dok je za optimalan rad potrebno 16 GB
- Za instaliranje softvera minimalno je potrebno 4 GB prostora na tvrdom disku, dok je optimalno imati 6 GB ili više.

Ukoliko računalo posjeduje snažnije postavke, aplikacija će ih iskoristiti i ubrzati rad što će rezultirati boljim izvođenjem same aplikacije.

ArcGIS posjeduje tri različite vrste licenci, a to su :

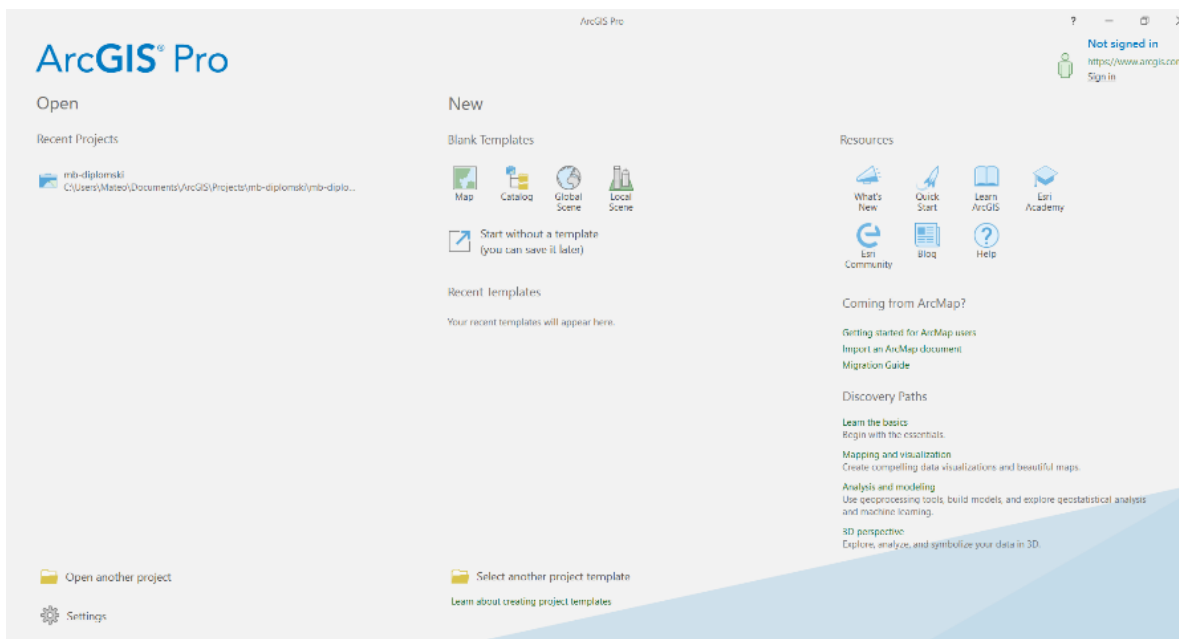
- Osnovna licenca
- Standardna licenca
- Napredna licenca

Razlikuju se u tome što svaka licenca nudi određene funkcije, na primjer osnovna licenca ne sadrži sve funkcije kao i standardna, dok standardna licenca sadrži sve funkcije iz osnovne te još dodatnih funkcija. Pri izradi ovog diplomskog rada korištena je standardna licenca.¹¹

7.2. Pregled ArcGIS Pro softvera

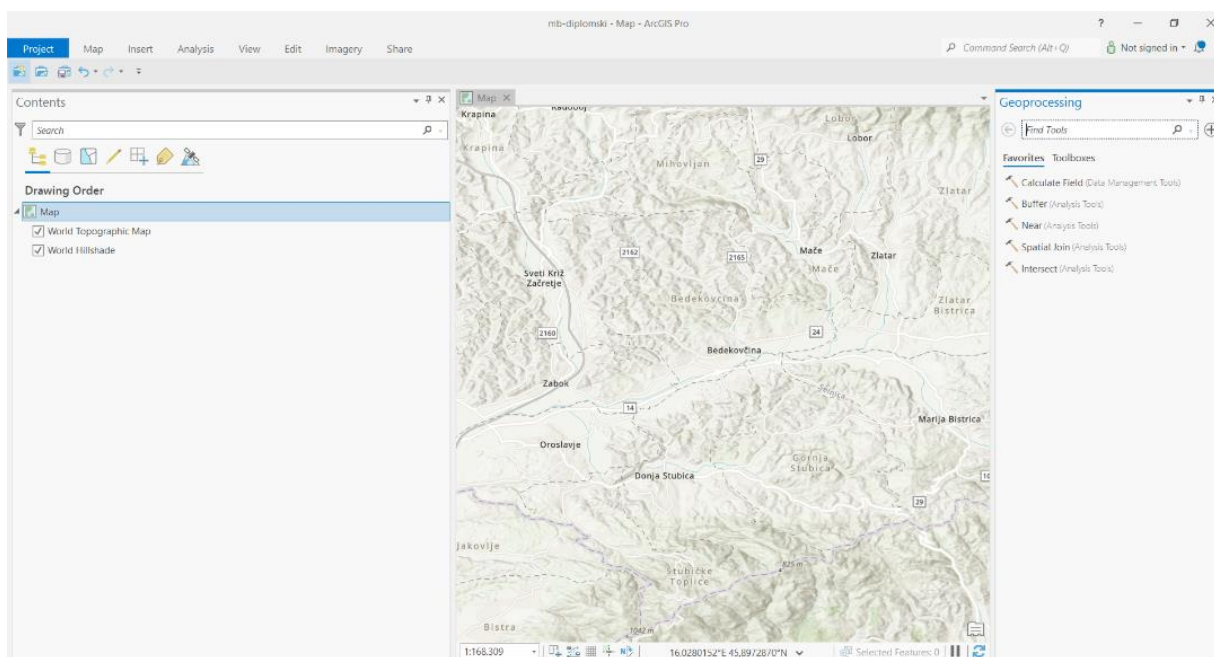
Zbog širokog raspona funkcija, neće sve biti detaljnije prikazane. U nastavku će biti prikazano glavno sučelje i alatne trake istog, te samo funkcije koje bi mogle biti korisne za uporabu dobivenih podataka ovog diplomskog rada.

ArcGIS Pro softveru pristupa se tako što se nakon otvaranja programa (slika 77) u početnom sučelju definira podloga (eng. Layout) projekta, te na temelju toga se kreira novi projekt ili ako je ranije definiran projekt, otvara se postojeći.



Slika 77. Početno sučelje ArcGIS Pro softvera

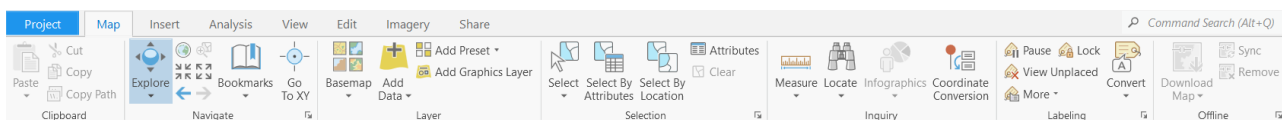
Nakon stvaranja novog projekta otvara se glavno sučelje programa (slika 78). Program je vrlo jednostavan za uporabu, za navigaciju i rad.



Slika 78 Glavno sučelje ArcGIS Pro softvera

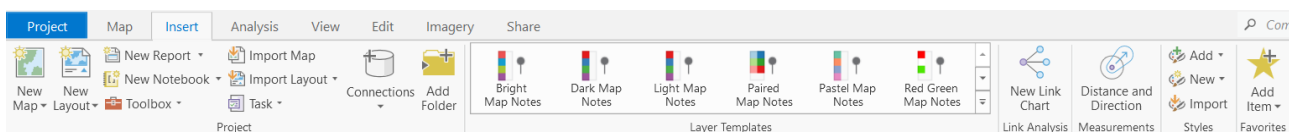
Glavno se sučelje sastoji od sadržajnog izbornika u kojem se otvaraju alatne trake, karte (eng. Map) koja se nalazi u sredini i prikazuje sadržaj koji učitavamo u istu, zatim na lijevoj strani prikazan je sadržaj koji se prikazuje na pogledu, a na desnoj strani su prikazani alati za geoprocesiranje u gornjem

desnom kutu prikazane su postavke za pomoć, prijavu na ArcGIS sustav, te komandno pretraživanje softvera. U nastavku su prikazane alatne trake i njezine mogućnosti.



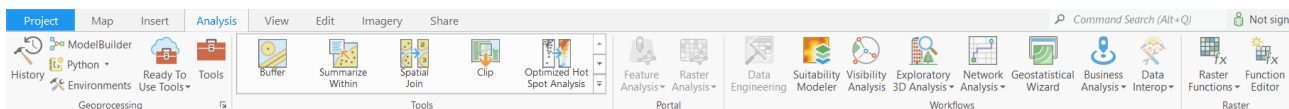
Slika 79. Alatna traka karta (eng. Map) ArcGIS Pro softvera

Na alatnoj traci izbornika mape (slika 79) prikazane su funkcije za kopiranje, izrezivanje i manevrirati na karti, zatim postavke osnovne karte te mogućnost njezine promjene. ArcGIS nudi vrlo širok aspekt pozadinskih karata. Onda nakon toga slijedi funkcija za dodavanje podataka i sadržaja u projekt, funkcije sa odabir sadržaja, pretragu, označavanje i mogućnosti rada bez internetske mreže.



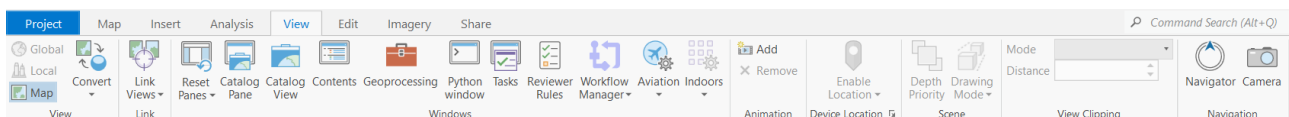
Slika 80. Alatna traka umetni (eng. Insert) ArcGIS Pro softvera

Sljedeća alatna traka u nizu je alatna traka izbornika umetni (slika 80). U ovoj alatnoj traci prikazane su funkcije projekta i postavke podloge definirane prilikom kreiranja projekta, zatim funkcija za određivanje mjerenja dužine i kuta u odnosu na sjever te uvoz i dodavanje različitih stilova i datoteka sadržaja. U funkcijama projekta ponuđene su naredbe za kreiranje nove mape i pogleda, izvješća, te uvoz gotovih mapa i podloga.



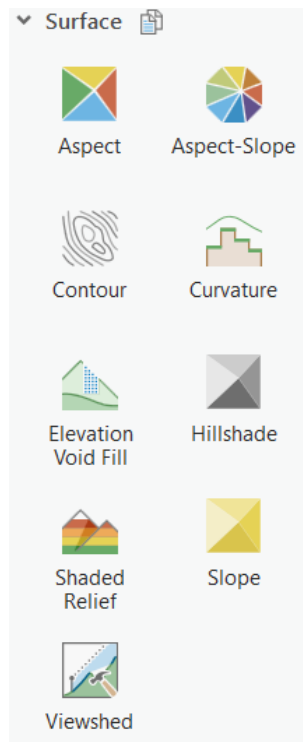
Slika 81. Alatna traka analize (eng. Analysis) ArcGIS Pro softvera

U alatnoj traci analize (slika 81) nalaze se alati za geoprociranje, kojima je također moguće pristupiti i direktno na glavnom sučelju na desnoj strani. Ponuđeni su razni alati od osnovnih alata GIS sustava kao što su kreiranje preklop, unija do vrlo složenih funkcija koji koristi sustav dubokog učenja (eng. deep learning) i raznih drugih funkcija. Za vrstu podataka kojom se raspolaže najkorisnije i najzanimljivije su funkcije vezane uz prikaz reljefa i visina. Također bi se mogle iskoristiti neke druge funkcije, ali to zahtijeva malo detaljnije i prilagođene datoteke. U nastavku rada će biti detaljnije prikazane neke od funkcija za koje je odlučeno da bi bilo dobro prikazati. Zatim su ponuđeni alati za vizualnu analizu, prilagođeni model, mrežnu analizu, poslovnu analizu i mnoge druge koje nemaju značajniju povezanost s prikupljenim podacima.



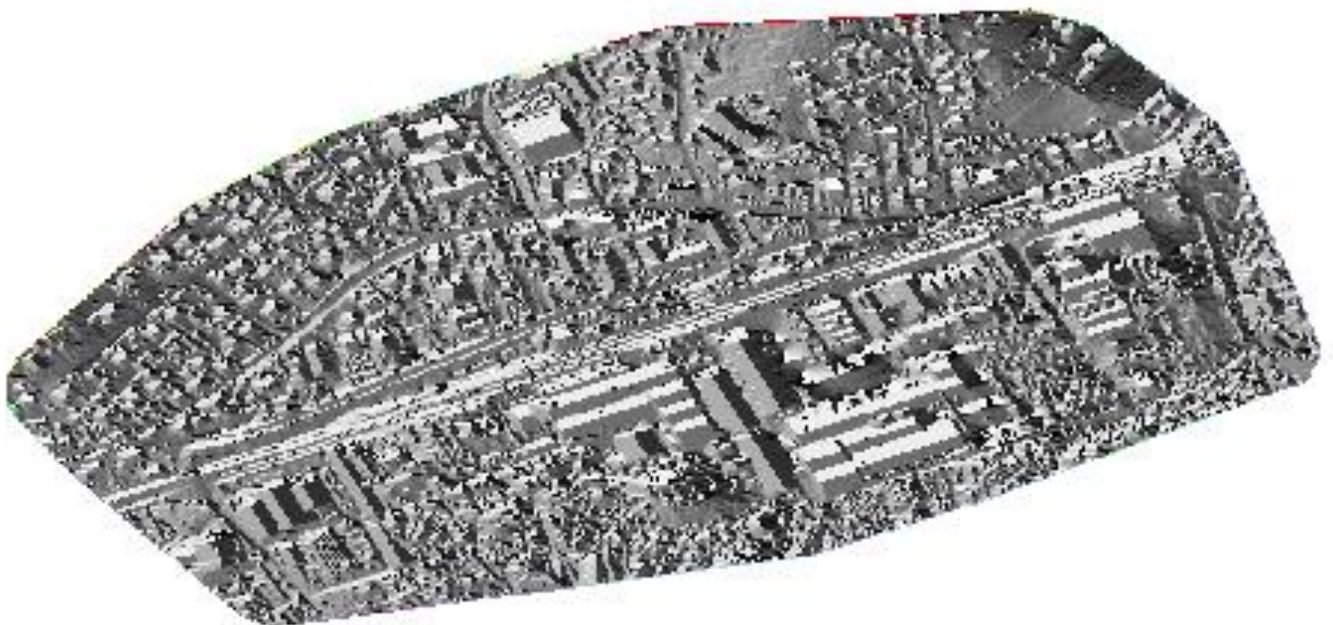
Slika 82. Alatna traka pogleda (eng. View) ArcGIS Pro softvera

U alatnoj traci pogleda (slika 82) prikazane su naredbe kojima se prikazuju različiti pogledi na neke funkcije. Otvaraju se pogledi na katalog, python sučelje, geoprociranje i druge. Također se nalaze i alati za konvertiranje pogleda u globalni i lokalni 3D pogled, zatim se također aplikacija može spojiti s GNSS uređajem kojeg je moguće pratiti.



Slika 86. Površinske funkcije ArcGIS Pro softvera

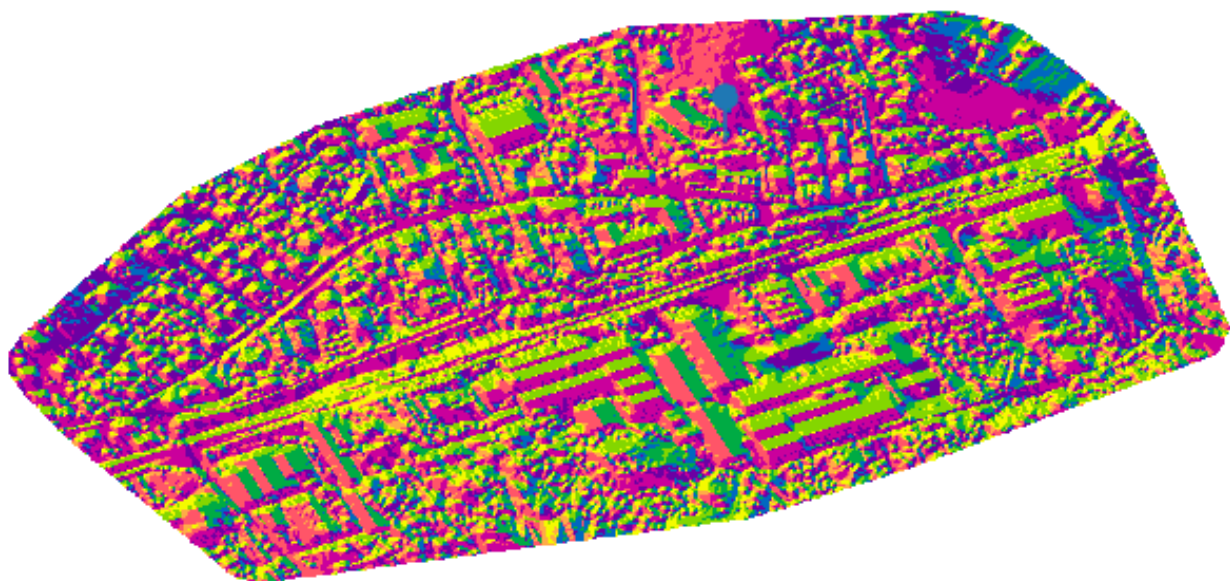
Prva u nizu je funkcija Aspekt (eng. Aspect, slika 87) koja prikazuje u koju stranu piksel okrenut. Rezultat je prikazan skalom od crne do bijele (0 do 360). Bijela prikazuje zaokrenutost od sjeveru u suprotnom smjeru kazaljke na satu, te što je piksel više zaokrenut to poprima tamniji oblik.



Slika 87. Aspekt dobiven putem ArcGIS Pro softvera

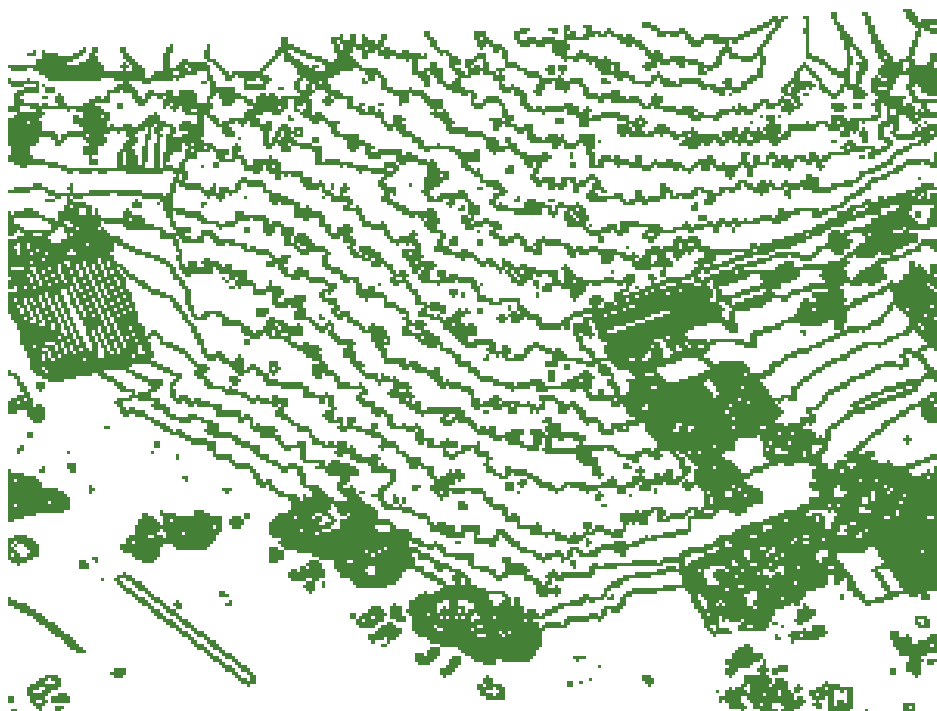
Nakon Aspekta slijedi ista funkcija samo što je dodan nagib piksela (eng. Aspect with slope, slika 88). Na ovoj slici vidljive su određene boje koje se mogu podesiti. Kao rezultat prikazane su određene boje za određeni nagib, tako npr. žuta boja prikazuje nagib od 47%, a magenta boja nagib od 45. kada

se bolje pogleda rezultat vidljivo je da su krovovi obojani i područja u objekte. Zbog velikog broja objekta ovaj model nije prikladan za ovu obradu, ali može jasno prikazati mogućnosti.



Slika 88. Aspekt i nagib dobiven putem ArcGIS Pro softvera

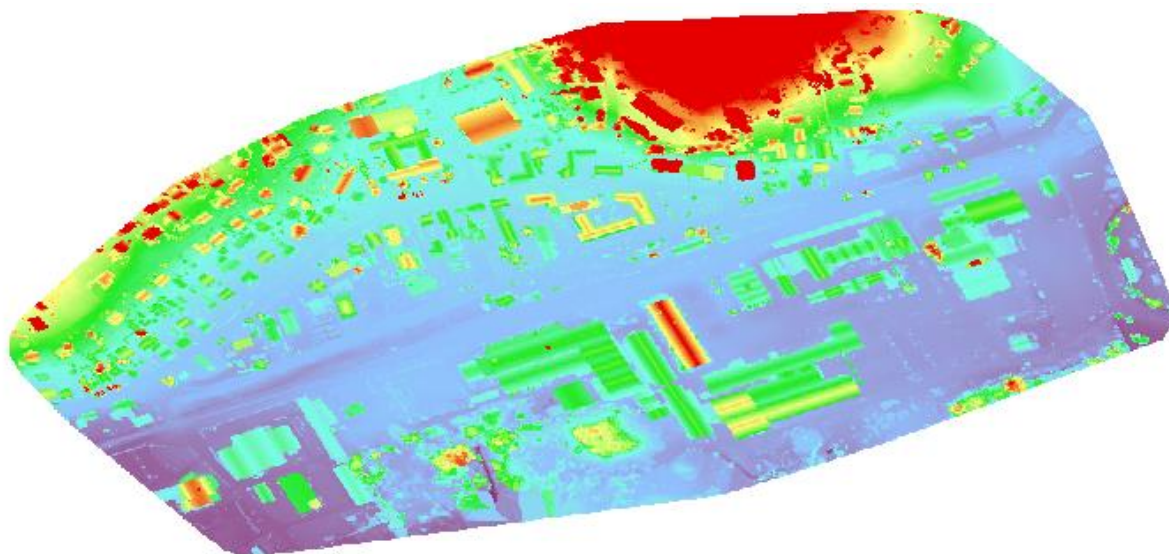
Sljedeća funkcija je funkcija za izradu slojnica (slika 89). Prilikom izrade unaprijed je zadana ekvidistanca.



Slika 89. Slojnica dobivene putem ArcGIS Pro softvera

Iduću funkciju nije bilo moguće prikazati zbog prevelike količine informacija, a to je prikaz zakrivljenosti (eng. Curvature). Funkcija koja će biti prikazana (slika 90) je funkcija koja popunjava

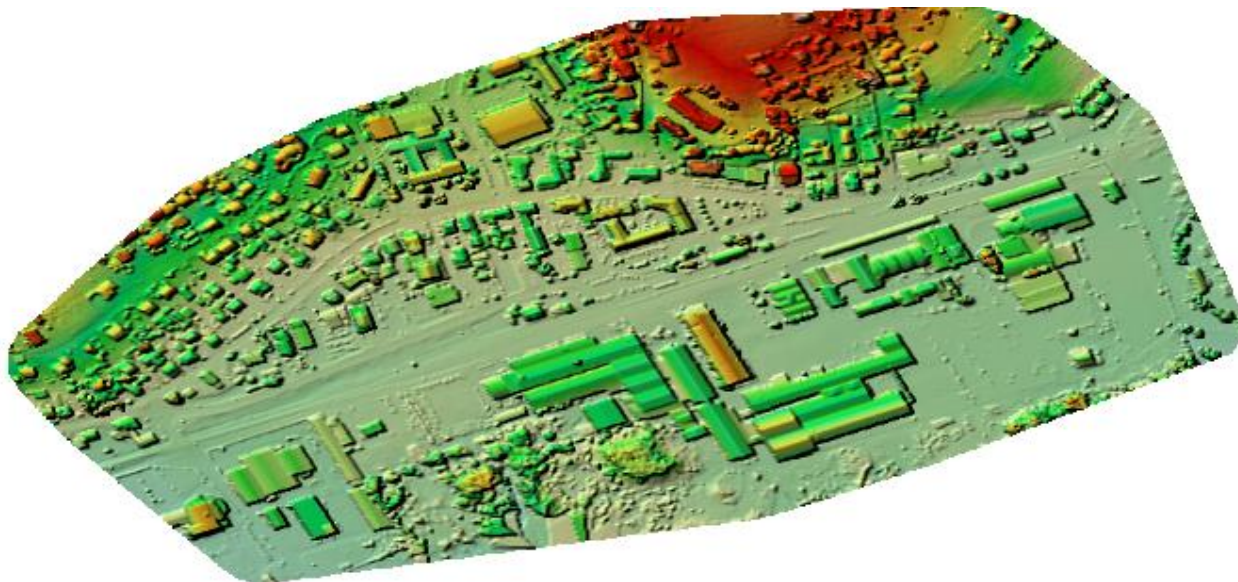
praznine u rasterskom slici (eng. Elevation Void Fill). Popunjavanje se vrši tako što stvori nove piksele izračunate na temelju najbližih piksela.



Slika 90. Popunjeni DSM dobiven putem ArcGIS Pro softvera

Funkcija sjenčanog prikaza terena (eng. Hillshade) već je prikazana u rezultatima, te kao takav ne zahtjeva ponovni prikaz, jer rezultat ne može biti kvalitetniji od već proizvedenog.

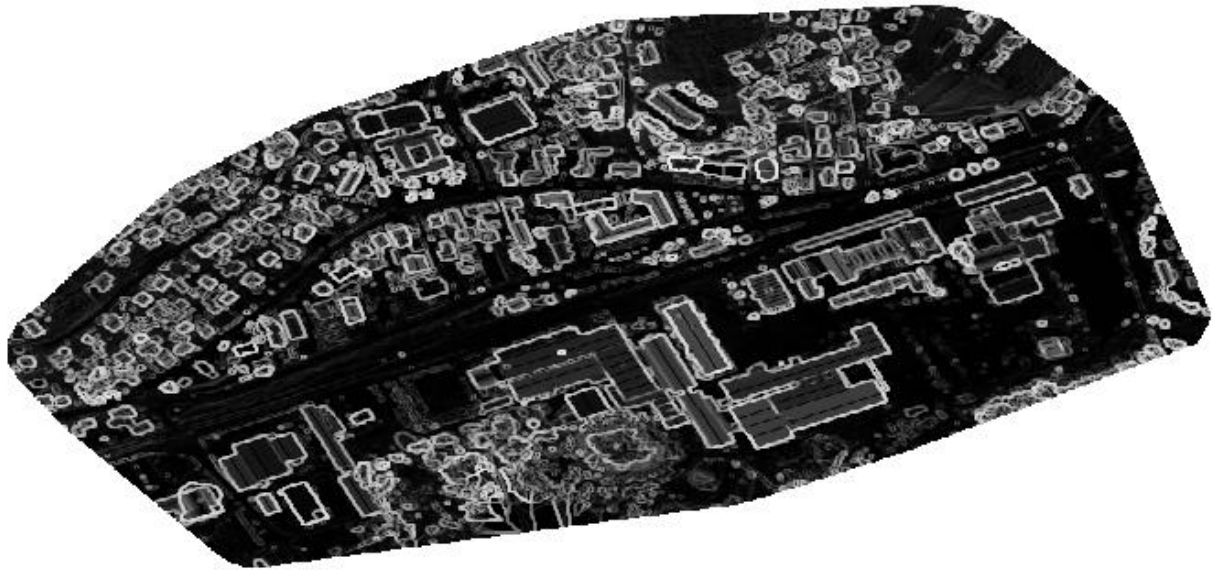
Funkcija zasjenjeni reljef (eng. zasjenjeni reljef, slika 91) odlična je funkcija koja kreira 3D model kodiran u bojama, koji u svojoj obradi uzima i relativni položaj sunca kako bi što bolje prikazao rezultat.



Slika 91. Zasjenjeni reljef dobiven putem ArcGIS Pro softvera

Funkcija nagib (eng. slope, 92) računa nagib na temelju susjednih vrijednosti piksela.

Na slici 31 prikazan je rezultat funkcije nagiba. Na slici su jasno prikazani nagibi skalom od bijele do crne mijenjajući svjetlinu. Bijela boja prikazuje nagib od 90° a crna prikazuje područje bez nagiba tj. nagib 0° . Na slici su jasno vidljivi rubovi objekta koji imaju nagib od 90° .



Slika 92. Nagib dobiven putem ArcGIS Pro softvera

Zadnja površinska funkcija je funkcija vidik (eng. Viewshed, slika 93) koja nam prikazuje sve vidljive objekte i sadržaj s odabranog područja.



Slika 93. Vidik dobiven putem ArcGIS Pro softvera

Na slici je plavom oznakom prikazano stajalište na visini od 1 m, a narančastom bojom prikazano je vidljivo područje.

8. OBRADA PODATAKA U CONTEXTCAPTURE MASTER (CCM) SOFTVERU

8.1. Općenito o softveru

ContextCapture je softver za modeliranje stvarnosti koji može izraditi 3D modele postojećih objekata za infrastrukturne projekte svih vrsta, izvedenih iz fotografija ili oblaka točaka. ContextCapture je softver izrađen od strane tvrtke Bentley Systems. Bentley Systems, Incorporated, američka je tvrtka za razvoj softvera kojem je primarna zadaća razvoj, dizajn i izgradnju svrhe za potrebe infrastrukture. Koristi se za civilno geoprostorno tržište a najviše na područjima inženjerstva, arhitekture, geodezije i sličnim granama. Objekti projektiranja za koji se koriste njihovi softveri su mostovi, zgrade, ceste komunalne mreže, industrije i njima slični objekti. ContextCapture samo je jedan od mnogih softvera koji nude i kojeg se najviše koristi prilikom izrade 3D modela. ContextCapture stvara 3D modele koristeći fotografije snimljene bilo kojim digitalnim fotoaparatom, od običnih kamera na mobilnim uređajem pa sve do kamera montiranih na bespilotnim letjelicama. Dobiveni 3D model naziva se mrežom stvarnosti i uključuje fotorealistične detalje.

ContextCapture sastoji se od glavnog modula i modula motora. Glavni modul pruža grafičko korisničko sučelje za definiranje ulaznih podataka, postavki obrade, slanja obrada zadataka, praćenje napretka i vizualizacija rezultata. Modul motora radi na računalu u pozadini, bez interakcije korisnika, i izvodi računalno intenzivne algoritme.

U tablici 5 prikazani su potrebni resursi hardvera za pokretanje i korištenje softvera. Za obradu su korištena identična računala kao i za Drone2Map softver. (Bentley 2021)

Tablica 5. Specifikacije harvera ContextCapture softvera (Bentley 2021)

	Minimalne postavke	Optimalno do 500 slika	Optimalno za 500-2000 slika	Optimalno za više od 2000 slika
CPU	Intel/AMD procesor 1.0 GHz	Intel Core i7-4770	Intel Core i9-9900k	Intel Core i9-9900k
GPU	Bila koja grafička kompatibilna s 3.2 OpenGL	Nvidia GeForce 2060	Nvidia GeForce RTX 2080/2080Ti	Nvidia Titan RTX
RAM	8 GB	32 GB	32 GB	64 GB
Prostor	2 GB Sata disk	500 GB Sata disk	2 TB Sata disk za pohranu i 128 GB SSD za softver	10 TB SSD
OS	Windows 8.1	Windows 10	Windows 10	Windows 10

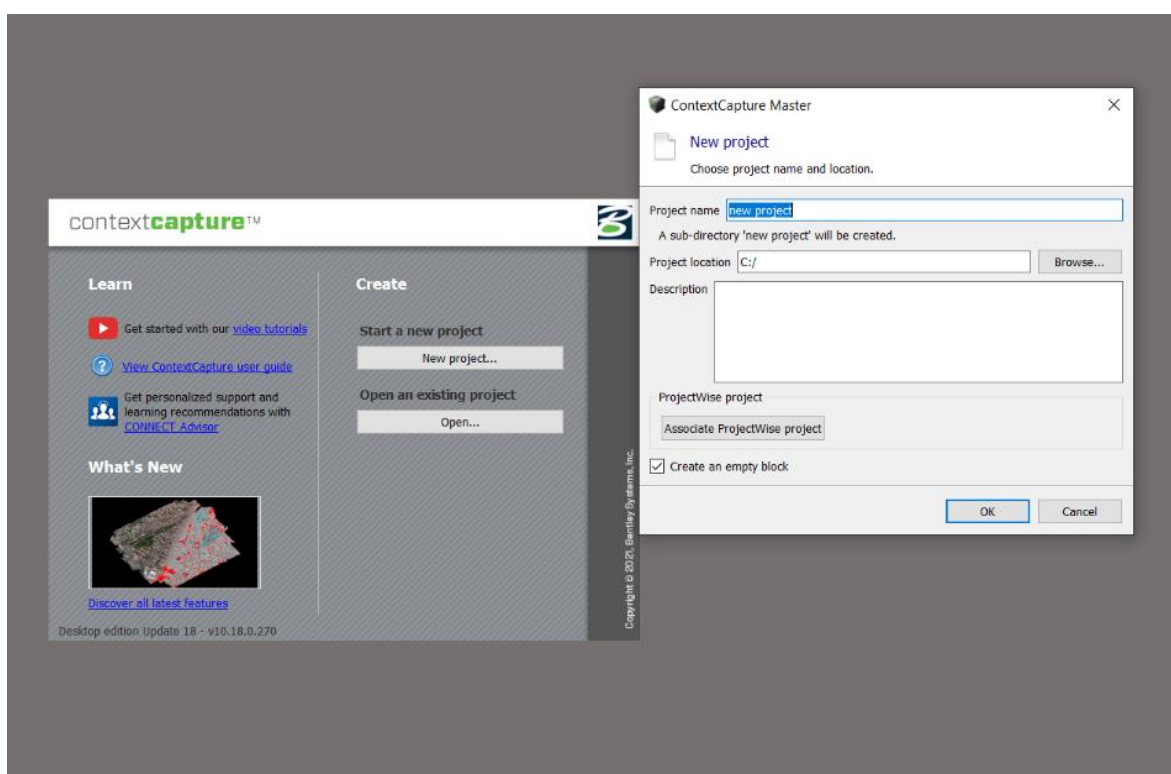
Iz navede tablice jasno je vidljivo da korišteni softveri za obradu nisu dovoljni za optimalnu obradu što je rezultiralo poteškoćama prilikom obrade, ali je na kraju obrada ipak uspješno provedena.

8.2.Obrada u ContextCapture softveru

Obrada u ContextCapture se odvija u sljedećim fazama:

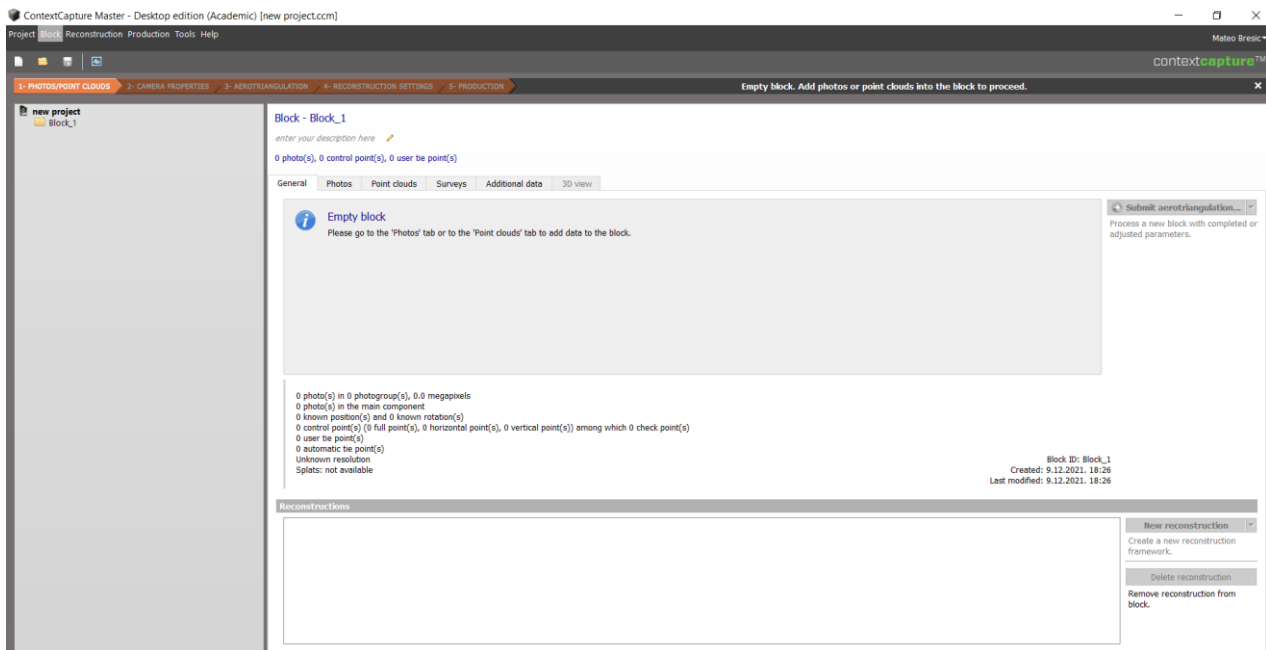
- Kreiranje projekta
- Umetanje slika
- Uvoz i označavanje kontrolnih točaka
- Aerotriangulacija
- Izrada 3D modela, ortomozaik slike, oblaka točaka, DSM-a i drugih proizvoda

Kreiranjem projekta započinje prvi korak pri izradi projekta. Na početku su ponuđene dvije opcije, a to su kreiranje novog projekta i otvaranje postojećeg projekta. Klikom na novi projekt (eng. New Project) otvara se novi prozor u kojem se definira naziv projekta i lokacija spremanja (slika 94).



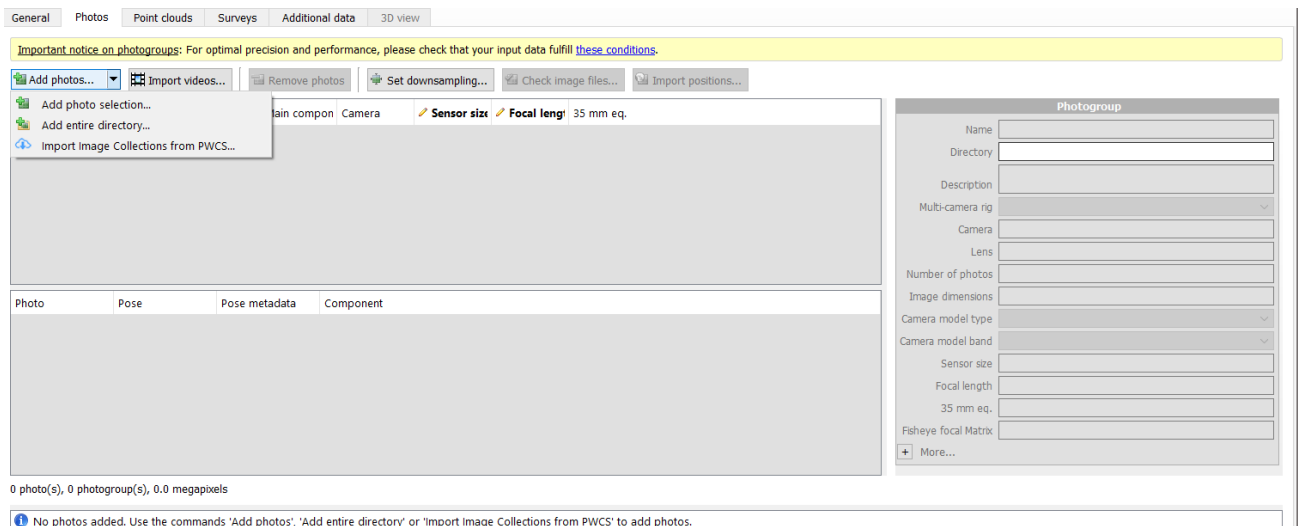
Slika 94. Kreiranje projekta u CCM softveru

Nakon kreiranja novog projekta otvara se glavno sučelje (slika 95) programa u kojem se vrše sve daljnje naredbe vezane uz obradu.



Slika 95 Glavno sučelje CCM softvera

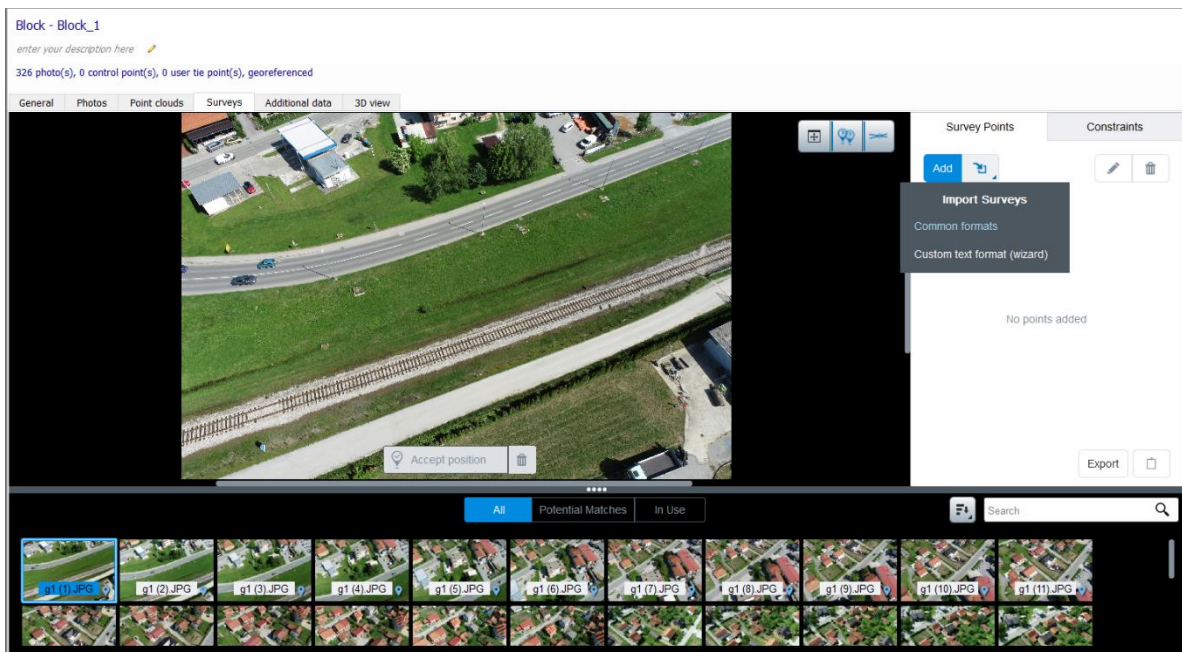
U glavnom sučelju ponuđeni su izbornici :generalno (eng. general), slike (eng. Photos), oblaci točaka (eng. Point Clouds), mjerenja (eng. Surveys), dodatne postavke (eng. Additional data) i 3D pogled (eng. 3D View). U sučelju je generalno prikazano stanje projekta (slika 95). Trenutno je prazno iz razloga što još nisu učitane slike niti obavljeno procesiranje. U sučelju se (slika 96) dodaju georeferencirane slike koje su prethodno snimljene određenom letjelicom u ovom slučaju radi se o DJI Phantom 4 Pro V2 i eBee X sensefly RTK letjelicama. Slike se mogu dodati na 2 načina. Prvi način je funkcija dodaj slike (eng. Add Photos), a drugi dodaj datoteku (eng. Add Directory). Razlika je u pojedinačnom ili grupnom dodavanju slika.



Slika 96. Sučelje slika u CCM softveru

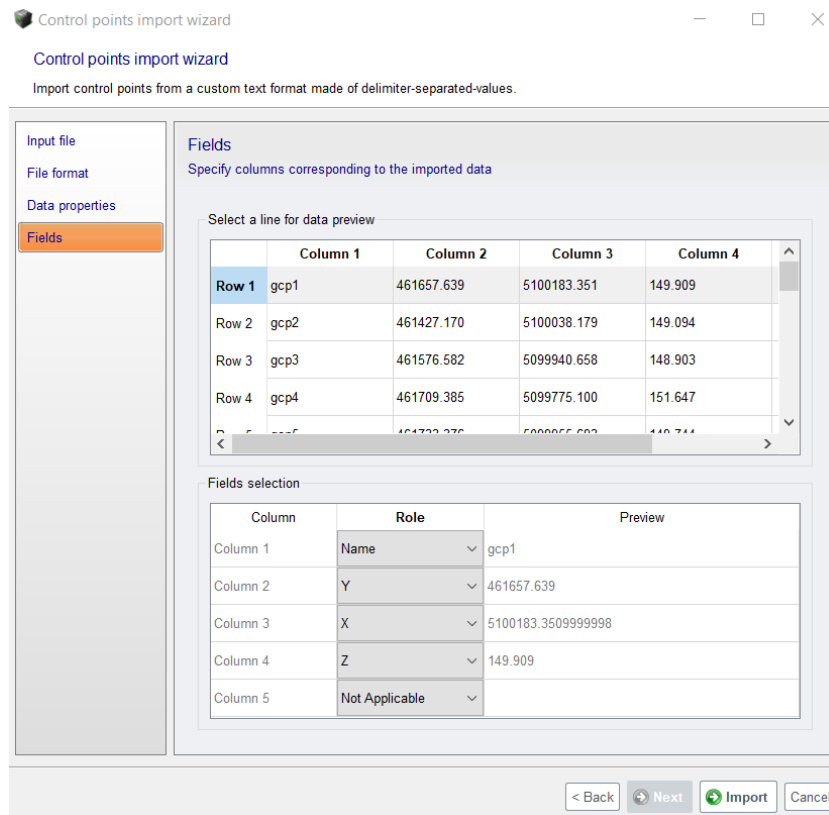
U sučelju oblak točaka mogu se dodati već snimljeni oblaci točaka iz terestričkih ili mobilnih metoda ukoliko se za to pokaže potreba.

U sučelju mjerenja (slika 97) potrebno je dodati kontrolne točke koje su snimljene na terenu, na način da se odabere funkcija uvezi mjerenja (eng. import surveys) i bira se ručno dodavanje (eng. Wizard).



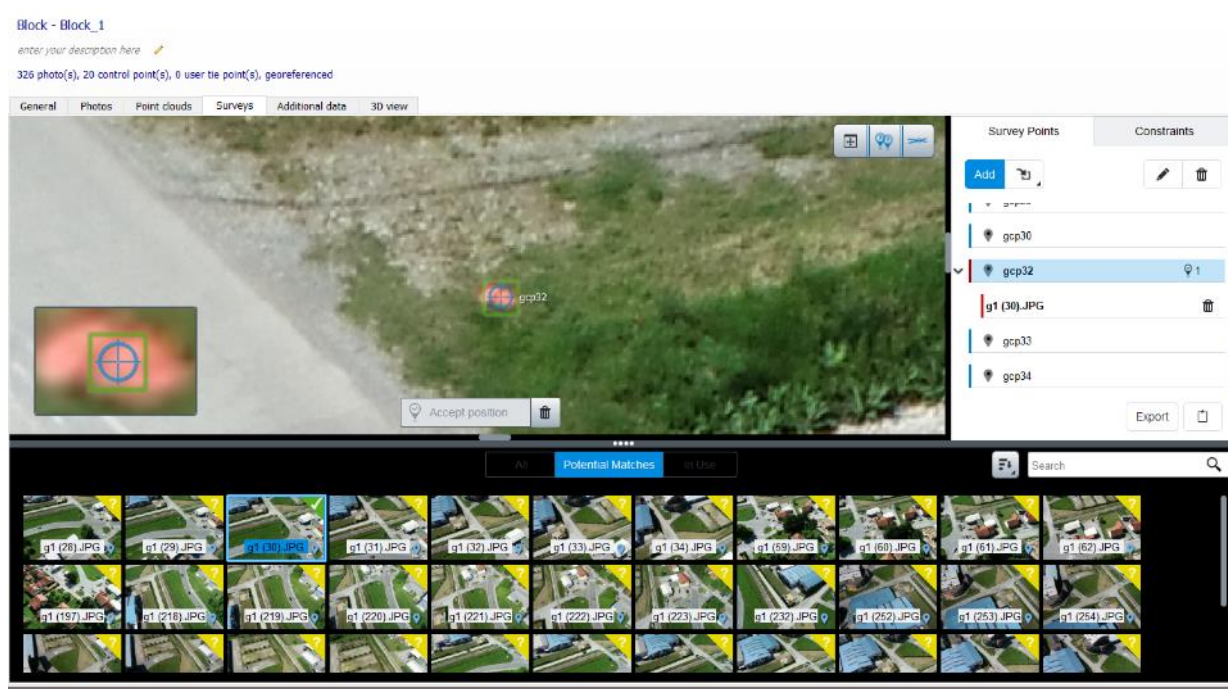
Slika 97. Umetanje GCP-ova unutar CCM softvera

Nakon navedenog odabira otvara se novi prozor u kojem se definiraju postavke uvezenih mjerenja, a to su: putanja datoteke koju se uvozi (eng. input file), format datoteke (eng. file format), koordinati sustav i postavkama datoteke (eng. Data Properties) te se na kraju definira što predstavlja svaki stupac i polje (eng. Fields) u uvezenoj datoteci kao što je prikazano u slici 98.



Slika 98. Postavke polja (eng. Fields) CCM softvera

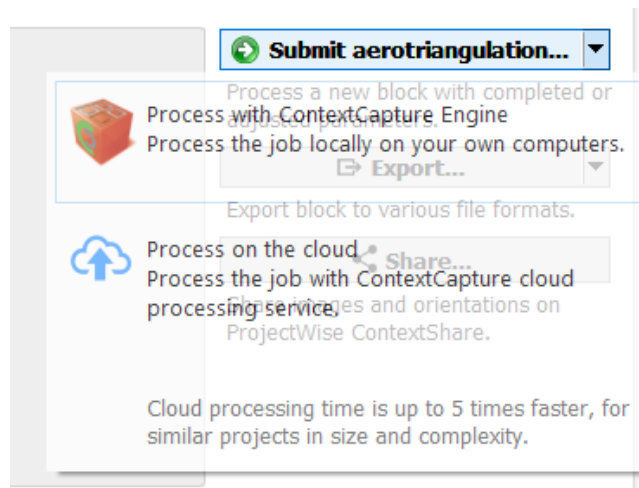
Na slici 19 vidljive su kontrolne točke (GCP-ove). Nakon uvoza slijedi njihovo označavanje i definiranje. Nakon što su uvezene kontrolne točke, algoritam softvera automatski predviđa na kojim slikama postoji vjerojatnost pojavljivanja kontrolne točke. To se može vidjeti u izborniku potencijalno podudaranje (eng. Potential Matches) kao što je prikazano na slici 99.



Slika 99. Kontrolna točka unutar CCM softvera

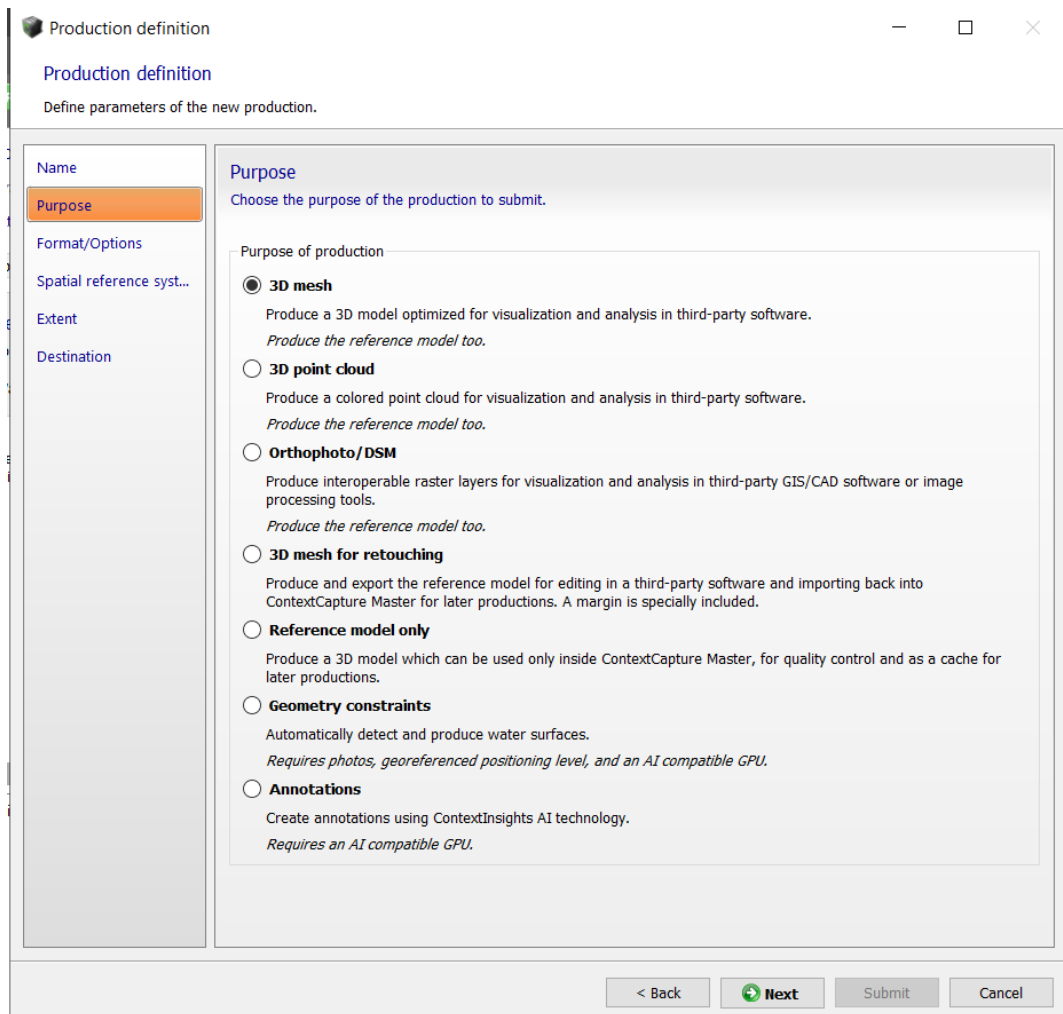
Za definiranje jednog GCP-a potrebno je minimalno imati 3 slike na kojima je jasno vidljiv i označen, a optimalno je označiti GCP na 5-7 slika. Nakon što su označeni svi GCP-ovi može se označiti jedan ili GCP-ova kao točka za provjeru (eng. Check Point) koja se ne koristi u obradu već služi kao kontrola na kraju tako što se predviđena lokacija uspoređuje s tom točkom.

Poslije označavanja GCP-ova potrebno je provesti aerotriangulaciju. Aerotriangulacija je postupak određivanja točnog položaja i orijentacije svake slike tako da se mogu sastaviti u određeni proizvod. Aerotriangulacija započinje tako što se u sučelju općenito bira funkcija pokretanje aerotriangulacije (eng. Submit Aerotriangulation) gdje se otvaraju dodatne funkcije, a to su pokretanje pomoću „motora“ (eng. Engine) i pomoću oblaka (eng. Cloud) kao što je vidljivo u slici 100. Razlika je u tome što se pomoću „motora“ obrada radi na vlastitom računalu, a pomoću oblaka obrada se vrši pomoću računalne opreme tvrtke Bentley.



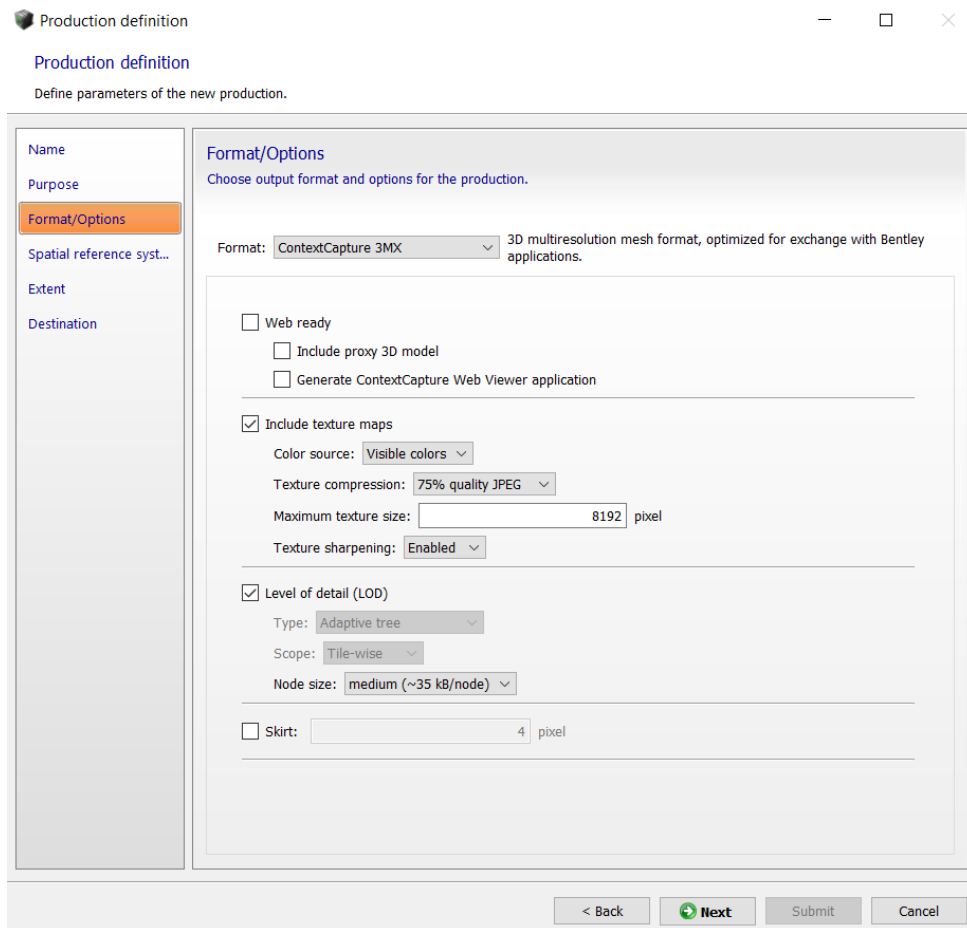
Slika 100. Pokretanje aerotriangulacije u CCM softveru

Završetkom aerotriangulacije dobivaju se koordinate iz slika koje se koriste za daljnju obradu, tj. metapodaci iz slika dobiveni posebnim algoritama pomoću kojeg se računaju vezne točke. Nakon aerotriangulacije potrebno je provjeriti daje li rezultat zadovoljavajuće podatke, to se može vidjeti u izvješću kvalitete. Ako je rezultat prihvatljiv može se krenuti u završnu produkciju. Produkcija započinje klikom na novu produkciju (eng. New Production), zatim se odabire obradu putem „motora“ nakon čega se otvara novi prozor u kojem su ponuđene postavke obrade. Postavke obrade sastoje se od: dodijele imena, svrhe, formata, koordinatnog sustava, obuhvata i putanje spremanja proizvoda (slika 21). Ponuđeni konačni proizvodi su 3D model, 3D oblak točaka, ortomozaik, 3D model koji se koristi u trećim softverima i druge proizvode koji neće biti detaljnije obrađeni.



Slika 101. Svrha produkcije (eng. Purpose) CCM softvera

Nakon odabira željenog proizvoda također je potrebno odabrati i razinu detalja koje se želi dobiti (slika 101). U ovom slučaju to će biti srednja razina detalja, jer za veću razinu treba puno snažnije računalo za obradu i više memorije.



Slika 102. Opcije proizvoda u CCM softveru

traje minimalno 12 sati za manja područja dok za velika područja može potrajati i više od 40 sati.

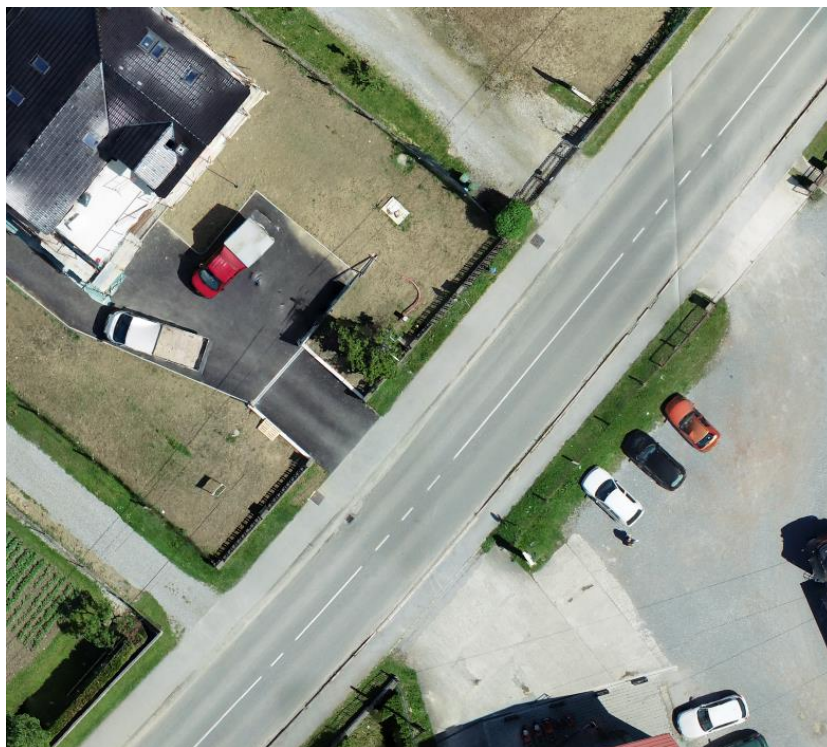
8.3. Interpretacija rezultata

U nastavku su prikazani sljedeći proizvodi: ortomozaik, digitalni model terena, 3D model i oblak točaka. S obzirom da prevelike količine podataka i dug vremenski period učitavanja istih, neki se rezultati nisu mogli obraditi i prikazati. Prvi u nizu prikaz rezultata je ortomozaik. Na slici 103 prikazan je ortomozaik područja snimljenog dvostrukom metodom.

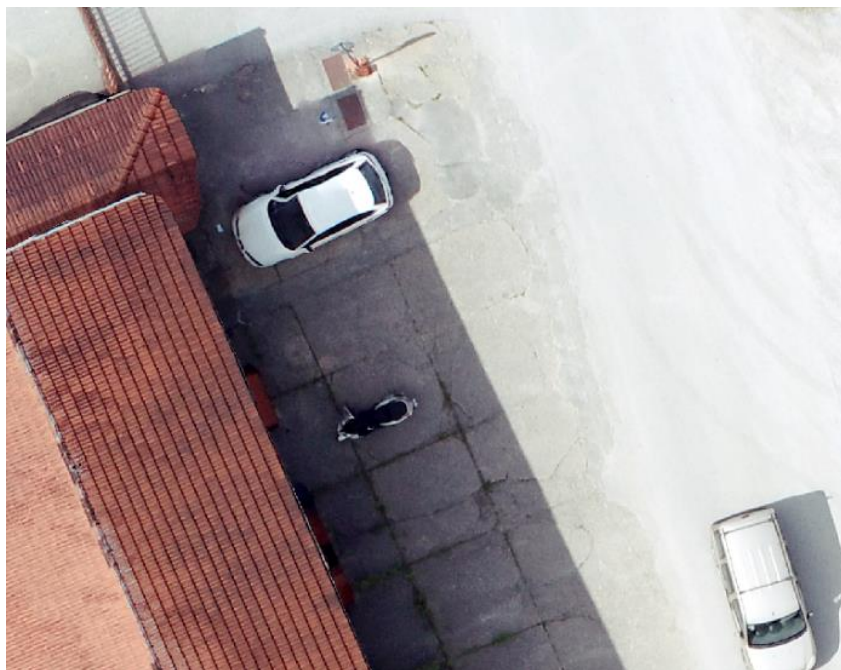


Slika 103. Ortomozaik snimljen dvostrukom metodom u CCM softveru

Na slici 104 prikazan je detalj snimljen dvostrukom metodom, a na slici 105 prikazan je detalj snimljen površinskom (jednostrukom) metodom snimanja.



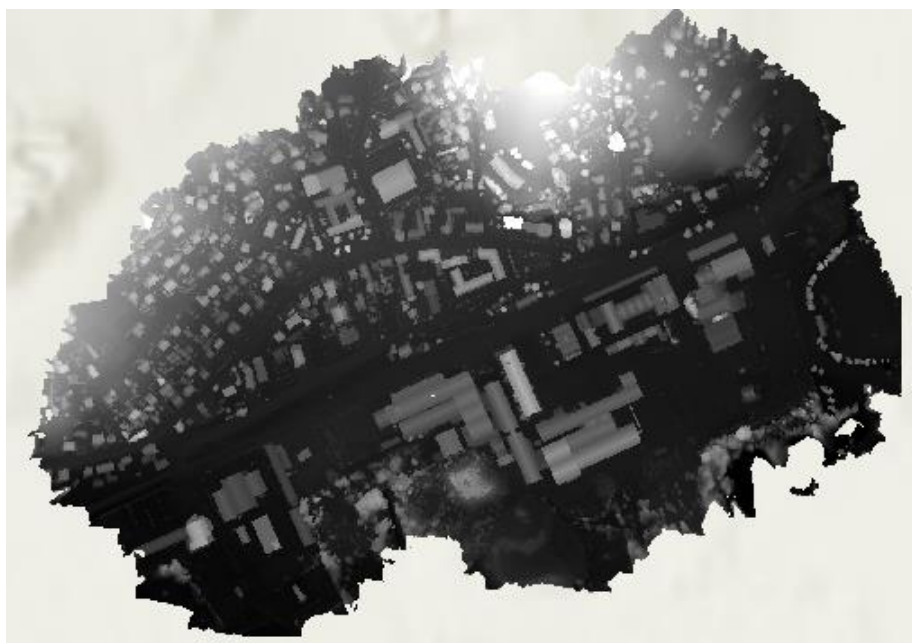
Slika 104. Detalj ortomozaika snimljen dvostrukom metodom u CCM softveru



Slika 105. Detalj ortomozaika snimljen površinskom metodom u CCM softveru

Iz rezultata vidljivo je da su obje snimke zadovoljavajuće kvalitete. Malo detaljnijim pregledom može se utvrditi bolja razina kvalitete kod rezultata snimljenog površinskom metodom, ali ipak treba uzeti u obzir da nije snimljeno isto područje. U obradi područja snimljenog površinskom metodom javlja se isti tip deformacija kao kod drugih softvera, uzrokovan vrstom terena.

U nastavku je prikazan rezultat digitalnog modela terena za područje grada (slika 106). Također treba napomenuti da nakon završene obrade ortomozaika i DTM-a iste treba spojiti u jedan zbog podjele obrade u područja. Spletom okolnosti i problemima prilikom obrade, spajanje istih nije bilo moguće pa je to obavljeno u ArcGIS softveru.



Slika 106. Digitalni model terena snimljen dvostrukom metodom u CCM softveru

3D model otvara se pomoću dodatne aplikacije, a to je ContextCapture Viewer. Unutar tog softvera nalaze se potrebni alati za mjerenje. Na slici 107 prikazan je dobiveni 3D model, a na slici 108 detalj tog istog modela. Također, uspješno je odrađena obrada snimki iz eBee letjelice, a kao rezultat dobiven je 3D model koji je također prikazan u nastavku. Na žalost ostale proizvode nije bilo moguće procesirati zbog hardverskog ograničenja.



Slika 107. 3D model snimljen dvostrukom metodom u CCM softveru



Slika 108.3D Model dobiven iz snimki eBee letjleice u CCM softveru



Slika 109. Detalj 3D modela iz snimki eBee letjleice u CCM softveru

Rezultat obrade vrlo je impresivan, uzimajući u obzir da razina detalja nije postavljena na najveću razinu. ContextCapture postavio je visoku ljestvicu za ostale softvere. Na još bližem prikazu mogu se primijetiti deformacije (ispod krovova i prozori), te deformacije nisu rezultat lošeg algoritma nego nedostatka podataka o tom području, jer se snimke ne mogu prikazati za to područje. U usporedbi rezultata snimljenog eBee letjelicom (slika 190 i 110) i DJI dronom (slika 110) primjetna je razlika u kvaliteti obrađenih podataka tj. 3D modela. Razumljivo je da je 3D model snimljen DJI dronom veće kvalitete, ali kada se uzme u obzir da je za osam puta veću površinu utrošeno skoro pa jednako vremena, te da je visina leta za eBee bila za 25 metara viša rezultati su jednako zadivljujući.

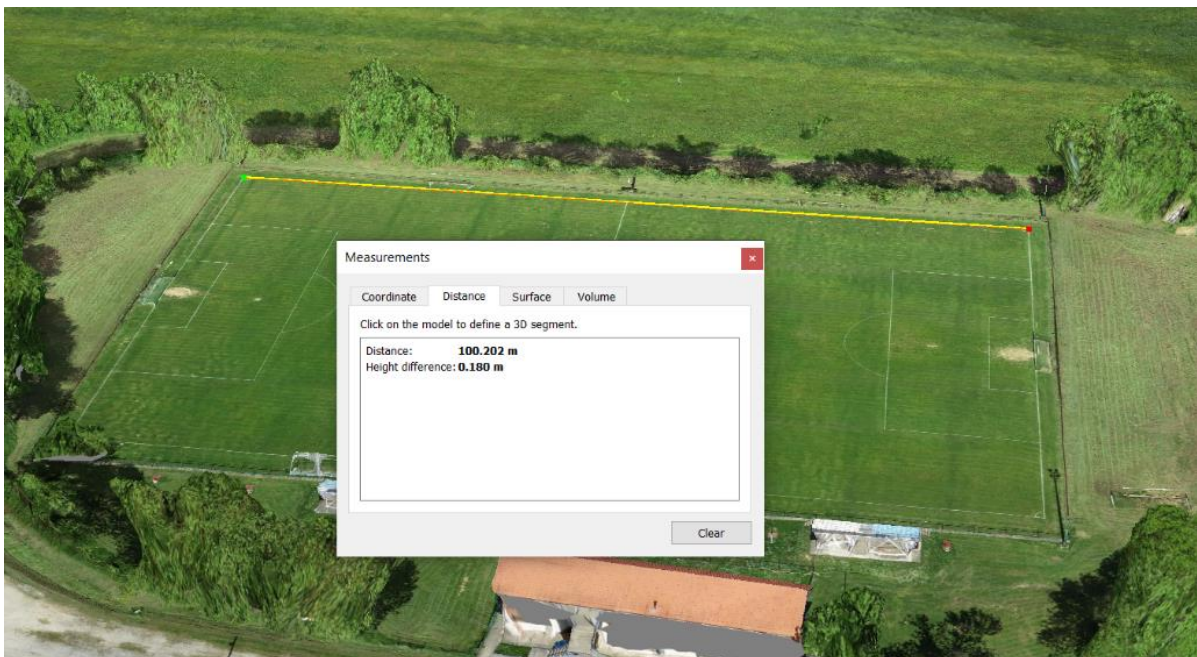


Slika 110. Detalj 3D modela iz snimki DJI letjelice snimljenog dvostrukom metodomu CCM softveru



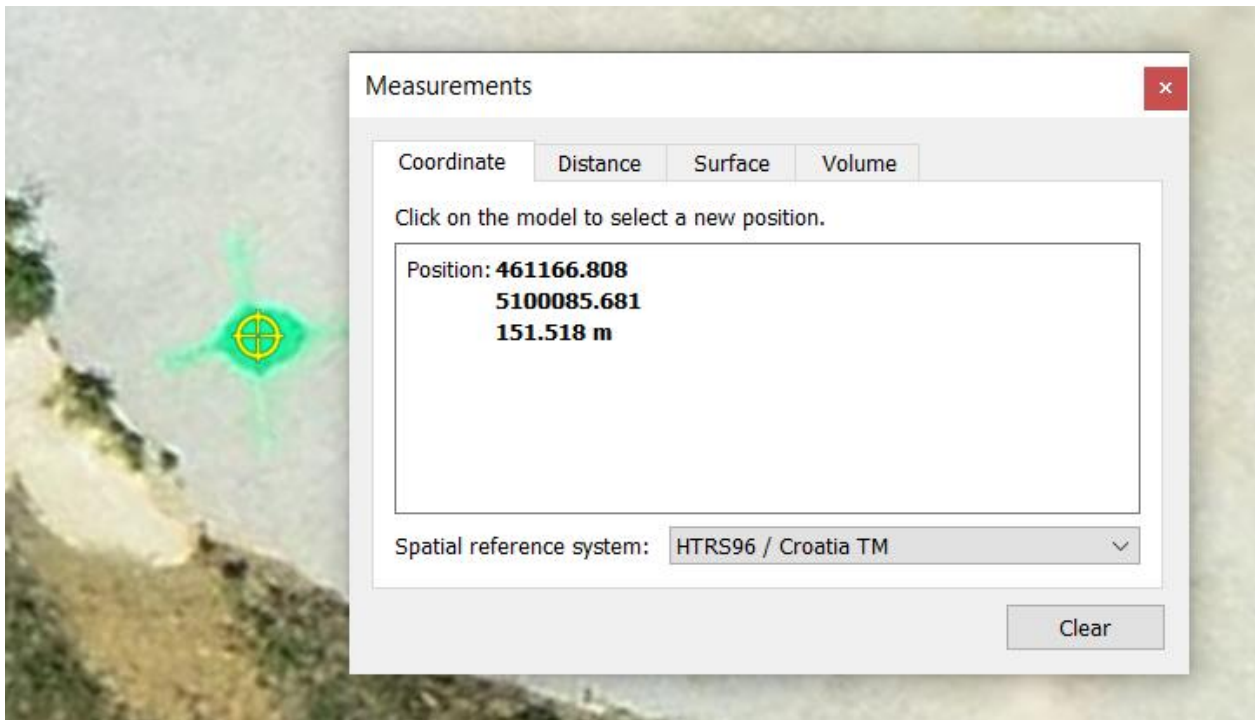
Slika 111. Detalj 3D modela dobivenog iz eBee snimki u CCM softveru

Za 3D model područja snimljenog površinskom metodom rezultat je malo drukčiji, ali to je dijelom rezultat terena koji nije namijenjen za izradu 3D modela fotogrametrijom te same metode snimanja.



Slika 112. 3D model i kontrola dužine terena u CCM Viewer-u

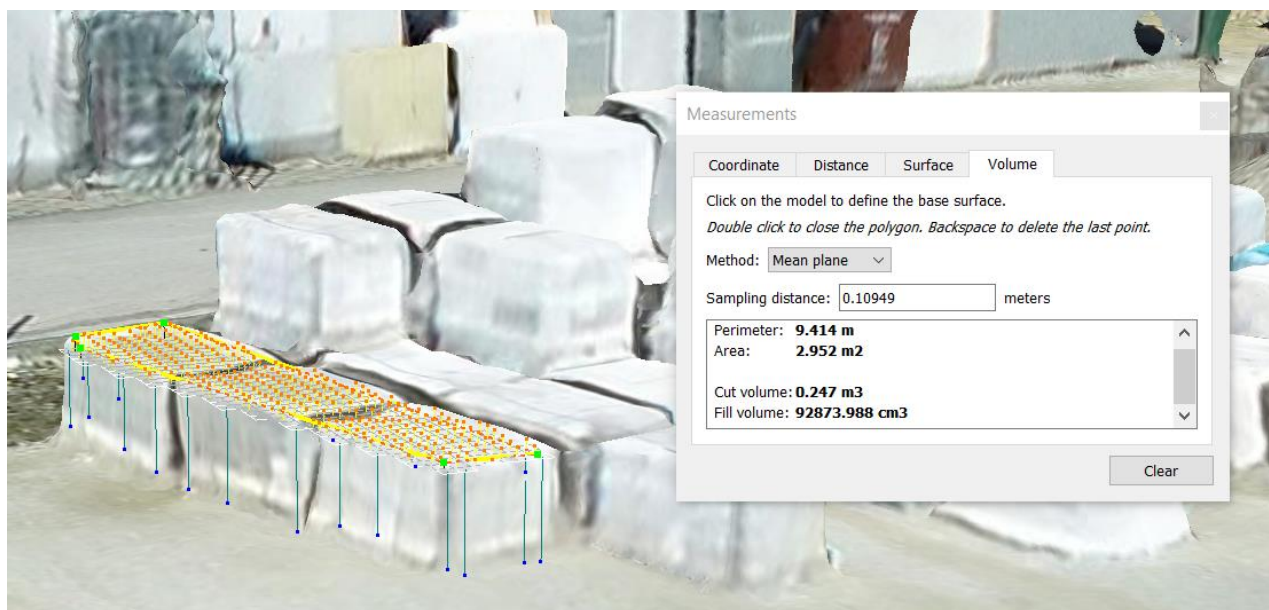
Na slici 112 prikazan je 3D model snimljen površinskom metodom, kao i mjerenje dužine u ContextCapture pregledniku. U nastavku su prikazane i ostale mogućnosti mjerenja.



Slika 113. Funkcija mjerenja podataka točke u CCM Viewer-u



Slika 114. Funkcija mjerenja površine u CCM Viewer-u



Slika 115. Funkcija mjerenja volumena u CCM Viewer-u

Na slici 113 prikazana je funkcija iščitavanja koordinata iz postavljene točke. Na slici 114 prikazan je izračun cjelokupne površine snimljenog područja, a na slici 115 izračun volumena građevinskog materijala.

I za kraj dolazi prikaz 3D oblaka točaka dobiven u .las datoteci. Otvaranje oblaka točaka u formatu .las nije moguće u softverima ContextCapture-a, te je bilo potrebno pronaći alternativni način. Za prikaz 3D oblaka točaka korišten je Trimble Business Center (TBC). Pošto se isti koristi samo za prikaz, nije detaljnije opisan zbog svoje složenosti i odstupanja od teme ovog rada. Rezultat je prikazan na slici 116, te je prikazan samo detalj. Cijeli oblak točaka nije bilo moguće učitati zbog iznimno velike količine podataka.



Slika 116. 3D oblak točaka dobiven dvostrukom metodom u CCM softveru

Zbog velike količine podataka detaljnija obrada oblaka točaka nije moguća kao ni prikaz oblaka prostora snimljenog površinskom metodom za kojeg je pretpostavljeno da je manje kvalitete od oblaka točaka snimljenog površinskom metodom.

9. USPOREDBA REZULTATA DOBIVENIH RAZLIČITIM SOFTVERIMA

9.1. Usporedba tehničkih svojstava

Prva usporedba koja će biti prikazana vezana je uz tehničke podatke obrade koje su prikazane u tablici 6 u nastavku rada. U ovoj tablici prikazani su i uspoređeni podatci kao samo veličina podataka, položajna točnost, broj iskorištenih snimki i drugi parametri.

Tablica 6. Tehnička svojstva rezultata i obrade područja snimljenog DJI dronom

	Site Scan		Drone2Map		ContextCapture	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Broj iskorištenih snimki	2151 (od 2151)	1576 (od 1638)	2151 (od 2151)	1534 (do 1638)	2151 (od 2151)	1493 (od 1638)
Veličina podataka (GB)	14	20	8,5	5,3	400	170
Položajna točnost (3D)	< 10 cm	< 10 cm	< 10 cm	< 10 cm	< 10 cm	< 10 cm
Broj točaka u oblaku	N/A	N/A	192 791 200	90 270 660		N/A
Udaljenost između piksela	2.38	1.75	2.33	1.75	2,1	1.74
Trajanje obrade (h:min)	~20:00	~ 18	19:40	10:00	~50:00	~ 35

U tablici 6 detaljno su prikazana tehnička svojstva obrade. Prva usporedba bila je broj iskorištenih snimki i vidljivo je da su sva tri softvera iskoristili sve snimke, tj. nisu odbacili niti jednu snimku. Nakon toga slijedi veličina podataka koju su zauzeli softveri, naravno treba uzeti u obzir i razinu detalja uzetu za obradu. Iz navedenog rezultata softver ContextCapture zauzima čak 13 puta više memorije od druga dva zajedno. Pomalo iznenađujuća veličina podataka koju zauzima zapravo objašnjava i iznenađujuću kvalitetu rezultata samog softvera. Ipak, treba dobro razmisliti o odabiru ovog softvera za učestaliju uporabu pogotovo ako planirane obrade budu velike kao i obrade u ovom diplomskom radu. Položajna točnost je ispod 10 cm što je ujedno i najbolja točnost koja se trenutno može sa sigurnošću tvrditi. Broj točaka u oblaku za Site Scan je ograničena, te kao takav ne može definirati točan broj. Udaljenost između piksela (GSD, eng. Ground Sampling Distance) predstavlja udaljenost između centra piksela do drugog centra piksela. GSD posebno je bitan za rezoluciju ortomosaik i digitalnog modela terena. Trajanje obrade je vrijeme utrošeno u procesiranje, a u ovo nije uračunato vrijeme potrebno za pripremu i vrijeme potrebno za aerotriangulaciju. Također u tablici nisu prikazani podaci za područje koje nije dalo zadovoljavajući rezultat, a zauzima prostor od 200 GB i vremenski period obrade oko 80 h (uključujući sve obrade). Na kraju se zaključiti da ukupna količina vremena utrošena na obradu iznosi cca 250 h i zauzima oko 800 GB prostora za pohranu podataka koje zauzima. Također na ovo sve treba još dodati i podatke vezane za snimke dobivene

Ebee bespilotnom letjelicom i obradu istih podataka. U tablici 7 opisana su značenja za svaku ocjenu koje su korištene u tablici 8 za ocjenjivanje pojedinačnih stavki korištenih softvera za obradu. Iz navedenih rezultata vidljive su prednosti i nedostaci svakog softvera.

Tablica 7. Značenje ocjene

Ocjena	Značenje
1	Vrlo loše, neuporabljivo
2	Loše, komplicirano, nepregledno
3	Zadovoljavajuće, prihvatljivo, nezahtjevno
4	Vrlo dobro, mali nedostaci, jednostavno
5	Odlično, izrazito jednostavno, besprijekorno

Tablica 8. Ocjena pojedinačnih stavki korištenih softvera za obradu

	Site Scan	Drone2Map	ContextCapture
Izgled sučelja	4	5	4
Zahtjevnost softvera	4	4	3
Kvaliteta rada	4	4	4
Kvaliteta rezultata	3	2	5
Razina usluge	2	4	5
Osobna ocjena	3	3	4
Sveukupna ocjena	3	4	4

ContextCapture daje najbolje rezultate dok je Drone2Map softver prilično praktičan i nezahtjevan za rad što za konačnu ocjenu daje jednak rezultat. Osobna ocjena donijeta je na temelju interpretacije rezultata i sveukupnog mišljenja za rad prilikom istoimenog softvera. Najbolju ocjenu je dobio ContextCapture zbog svoje kvalitete proizvoda.

9.2. Vizualna usporedba rezultata obrade

Za usporedbu rezultata odabran je je po jedan reprezentativni detalj za ortomozaik, 3D oblak točaka, i 3D model. Detalj za ortomozaik uzet je iz rezultata dobivenog površinskom metodom, a za 3D model i Oblak točaka rezultat dobiven isprekidanom (dvostrukom) metodom. Prvu usporedba je

ortomozaik, na slikama 117-119 prikazani su detalji Ortomozaika. Kako bi se uklonili mogući problemi različitog prikaza softvera, rezultati ortomozaika otvoreni su u ArcGIS softveru.



Slika 117. Detalj Ortomozaika snimljen površinskom metodom u CCM softveru



Slika 118. Detalj Ortomozaika snimljen površinskom metodom u D2M softveru



Slika 119. Detalj Ortomozaika snimljen površinskom metodom u Site Scan softveru

Iz primjera uočljivo je da je detalj ortomozaika Site Scan-a najkvalitetniji. Na slici 118 primjetna je velika razlika od ostalih snimki u pogledu kvalitete. Na slici 117 primjetne su sitne deformacije na dijelu objekta na lijevoj strani ortomozaika. Sitne deformacije kao što je vidljivo na slici 119 prate cijeli ortomozaik, ali treba naglasiti da je ovo vrlo sitna pogreška primjetna tek kada se slika približi dok je na primjeru Drone2Map softvera uočljiva vrlo brzo. I SiteScan također prate vrlo sitne deformacije, ali to je zanemarivo uzimajući u obzir parametre kamere koji su korišteni, pa i samu visinu leta. Također zanimljiv detalj je promjena položaja osobe koja stoji blizu objekta, što se može prikazati kao promjena nastala uslijed algoritma obrade.

U nastavku su prikazani detalji 3D modela dobivenih sa sva tri programa, na slici 120 prikazan je rezultat dobiven ContextCapture softverom, na slici 121 je prikazan rezultat dobiven Drone2Map softverom i na slici 122 je prikazan rezultat dobiven Site Scan softverom.



Slika 120. Detalj 3D modela snimljenog dvostrukom metodom u CCM softveru



Slika 121. Detalj 3D modela snimljenog dvostrukom metodom u D2M softveru



Slika 122. Detalj 3D modela snimljenog dvostrukom metodom u Site Scan softveru

Nadalje Site Scan i ContextCapture daju slične rezultate. Detaljnijom analizom može se primjetiti da ContextCapture daje bolje rezultate. Ta razlika možda vizualno nije toliko značajna, ali ona ipak predstavlja vjerodostojniji prikaz objekta.

Na kraju za analizu je preostala samo usporedba rezultata oblaka točakama, na slikama 123-125 prikazani su rezultati oblaka točaka.



Slika 123. Detalj oblaka točaka snimljenog dvostrukom metodom u CCM softveru



Slika 124 Detalj oblaka točaka snimljenog dvostrukom metodom u Site Scan softveru



Slika 125. Detalj oblaka točaka snimljenog dvostrukom metodom u D2M softveru

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da najbolji rezultat daje ContextCapture softver, zatim rezultat dobiven u Site Scan-u, te najlošiji dobiveni rezultat putem Drone2Map softvera.

10. ZAKLJUČAK

Po provedenom fotogrametrijskog snimanja općine Bedekovčina i obradi podataka, potrebno je istaknuti da svaka faza u procesu: priprema snimanja, provedba snimanja i obrada snimljenog materijama mora biti provedena na primjeren način ukoliko se žele ostvariti kvalitetni rezultati. Obzirom da se pogreške učinjene u prethodnoj fazi prenose na slijedeću(e) potrebno je istaknuti da priprema mjerenja ima posebni značaj. Studija slučaja Bedekovčina je ukazala na nekoliko specifičnih izvora pogrešaka kao što su vremenski uvjeti, odnosno potreba za praćenjem vremenske prognoze i odabira adekvatnog termina opažanja. Prilikom snimanja područja za izradu ovoga rada, vremenski su uvjeti bili nepovoljni te je veći dio kontrolnih točaka bio neupotrebljiv. Nadalje, prilikom obrade podataka uvidjelo se da plan postavljanja kontrolnih točaka nije dobro izrađen. Plan je potrebno podijeliti po manjim područjima kako bi se obrada mogla izvoditi zasebno za svako područje. Također, planovi leta izrađeni u Site Scan aplikaciji dostupni su samo za Ipad uređaje, što postavlja ograničenje za korisnike android uređaja.

Korištene bespilotne letjelice vrlo su jednostavne za uporabu, ali letjelica DJI ima (kao i većina koptera) veliki nedostatak vezan uz napajanje prilikom snimanja velikih površina, odnosno dužinu jednog leta, što nije slučaj s eBee letjelicom koja ima puno bolje performanse za snimanje površina takvih razmjera. Vrijeme utrošeno za snimanje definiranog područja znatno je manje za eBee bespilotnu letjelicu. Nedostaci korištenja eBee drona su ograničenja uporabe napajanja koje se dodatno plaća, kao i sami podaci za naknadnu obradu. Zbog velikog broja snimaka visoke rezolucije postavljeni su visoki zahtjevi prema računalima koji moraju imati veliki kapacitet pohrane podataka, te je u ovoj studiji bilo potrebno nabaviti dodatne kapacitete za pohranu. Prije početka snimanja

velikih površina potrebno je ispitati hardverske mogućnosti za obradu dobivenih podataka. Obrada je prvotno planirana za osobno prijenosno računalo, ali nakon boljeg upoznavanja sa softverima bilo je potrebno pronaći drugo rješenje. Neka od ponuđenih rješenja nisu omogućavala stalni pristup računalu ili nisu podržavala grafičko sučelje. Upravo to je bio najizraženiji problem koji je bio prisutan tijekom cijeloga ispitivanja.

Za obradu snimki korištena su tri softvera. Prvo je ispitan Site Scan softver koji je ograničen na korištenje maksimalno 2500 snimki po projektu. Ovo ograničenje u potpunosti je onemogućilo obradu snimki dobivenih iz eBee letjelice. Nadalje, softver je moguće koristiti isključivo online što znatno produžuje trajanje obrade i dovodi korisnika u ovisnost o internetskoj vezi. Drone2Map softver je moguće preuzeti i koristiti na lokalnom računalu. Bez obzira na to, obrada traje dugo, usporava rad računala u mjeri da se isto jedva može koristiti za obradu. Obrada snimki eBee letjelice nije bila moguća zbog hardverskog ograničenja. Pošto prethodna dva softvera nisu bila u mogućnosti obraditi podatke eBee letjelice, za obradu u ContextCapture-u korišteno je računalo jačih performansi. ContextCapture jedini je mogao do kraja procesuirati podatke letjelice. Nakon više neuspjelih pokušaja, obrada je uspješno dovršena nakon 48 sati procesiranja bez prekida. Ovaj softver ima najduže vrijeme obrade, zauzima najviše prostora na računalu i k tome potrebno je pojedinačno izvršavanje obrade za svaki tip izlaznih podataka. Rezultat obrade oblaka točaka ContextCapture-a prikazan je pomoću Trimble Business Centra zbog nemogućnosti rada s .las datotekama.

Za analizu rezultata korišten je ArcGIS PRO softver. Aplikacija je vrlo pregledna i jednostavna za korištenje. Testirana je mogućnost softvera za klasifikaciju snimki velikog područja, ali ista radi veličine podataka nije uspješno provedena. Pregledom rezultata obrade sva tri softvera može se zaključiti da je prikaz ortomozaika kvalitetniji snimanjem površinskom metodom tj. pod kutem od nula stupnjeva. Zračenje Sunca ima značajan utjecaj na snimanje površina veće refleksivnosti pa treba uzeti u obzir doba dana prilikom planiranja snimanja. Vodene površine kao što su rijeke i jezera nisu pogodna za snimanje fotogrametrijskom metodom što je vidljivo iz rezultata obrade. Izbačeno je snimanje dijela područja u blizini rijeke zbog pojave distorzije. Distorzija se javlja zbog malog broja dodirnih snimki na tom području i uzimanja istih ulaznih parametara kamere za cijelo područje. Algoritam za obradu ne može prepoznati vezne točke na visoko refleksivnim površinama i objektima u pokretu. Vjetar ne samo da je opasan za sigurno upravljanje letjelicom već i rezultati snimanja u takvim uvjetima neće biti uporabljivi zbog velikog broja objekata u pokretu koji stvaraju zamućenje na snimkama.

Prilikom izrade oblaka točaka i 3D modela najpogodniji je način snimanja dvostrukom metodom. Dvostruka metoda snima objekte pod kutom iz različitih smjerova što omogućava bolju povezanost i više zahvaćenih detalja. Također velik utjecaj ima i sam algoritam za obradu što se može uočiti u obradi softvera ContextCapture koji daje puno bolje rezultate s jednakim postavkama kao i Drone2Map. Jedino pomoću SiteScan softvera bilo je moguće obraditi podatke s najvećom razinom kvalitete što se najbolje vidi na primjeru ortomozaika. Rezultati obrade Drone2Map softvera nisu zadovoljavajući te kao takvi nisu od velike koristi za daljnju analizu. Iz dobivenih proizvoda nije moguće precizno obavljati mjerenja. Također nije moguće jasno utvrditi granice nekih objekata. Navedeni razlozi dovoljni su za donošenje odluke o odbacivanju dobivenih rezultata za naknadno korištenje i obradu. Za razliku od Drone2Map i Site Scan-a, ContextCapture ima manji broj gotovih proizvoda pri čemu ContextCapture daje najkvalitetnije rezultate od svih korištenih softvera. Ali, uspoređujući količinu izlaznih podataka svakog softvera, ContextCapture zauzima znatno više prostora za pohranu od ostalih. Prilikom obrade 3D modela ContextCapture-a i Site Scan-a dobivaju se rezultati slične kvalitete. ContextCapture vjerodostojnije prikazuje područje pod sjenama i pod sunčevim odsjajem bez obzira na to što je Site Scan postavljen na višu kvalitetu.

Provedenim istraživanjem primjetno je da veliki tehnološki napredak softvera za fotogrametrijsku obradu nije u jednakoj mjeri popraćen hardverskim napretkom. Naravno, postoje računala i računali

klasteri koji mogu pratiti rad ovakvih softvera, ali na žalost takva računala i dalje nisu dostupna široj profesionalnoj zajednici. Također značajnu ulogu ima i sama cijena proizvoda koja će u većini slučajeva donjeti presudnu ulogu prilikom odabira softvera.

LITERATURA

- [1] Bentley, ContextCapture (2021)
- [2] Dalamagkidis K., Valavanis K. P., Piegl L. A.: On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System, Springer Netherland, 2012.
- [3] DJI, Phantom 4 PRO PRO+ User Manual (2016)
- [4] Europska komisija, Delegirana uredba (EU) 2019/945
- [5] Europska komisija, Provedena uredba (EU) 2019/947
- [6] Kozera, Cyprian. "Military use of unmanned aerial vehicles – a historical study." Safety & Defense (2018)
- [7] Metthew Stewart, Scot Martin Unmanned Aerial Vechiles: fundamentals, components, mechanics, and regulations (2020)
- [8] Nagel Huub, Bondt Geert, Bart Custers: A future of Drone Use (2016)
- [9] Sensefly, Ebee X Drone User Manual (2019)

POPIS MREŽNIH ADRESA

- URL 1: Golub na zračni pogon, <https://www.ancient-origins.net/history-famous-people/steam-powered-pigeon-002179> (13. svibanj, 2021)
- URL 2: Bombardiranje venecije, <https://www.historytoday.com/archive/bombs-over-venice> (13. svibanj, 2021)
- URL 3: Беспилотне летјлице још од Првог свјетског рата, <http://www.smithsonianmag.com/arts-culture/unmanned-drones-have-been-around-since-world-war-i-16055939/> (14. svibanj, 2021)
- URL 4: Vojne slike, https://www.strategypage.com/military_photos (14. svibanj, 2021)
- URL 5: Vojna tvornica, <https://www.militaryfactory.com> (15. svibanj, 2021)
- URL 6: Zračna sigurnost, <https://www.911security.com/learn/airspace-security> (15. svibanj, 2021)
- URL 7: Topcon pozicioniranje, <https://www.topconpositioning.com> (16. svibanj, 2021)
- URL 8: Hibridni dron, <https://www.instructables.com/Quadplane-Hybrid-Drone> (16. svibanj, 2021)
- URL 9: Komponente dronova, <https://grinddrone.com/drone-features/drone-components> (17. svibanj, 2021)
- URL 10: eBee X Sensefly, <https://www.sensefly.com/drone/abee-x-fixed-wing-drone/> (18. svibanj, 2021)
- URL 11: DJI Phantom Pro 4 v2 <https://www.dji.com/hr/phantom-4-pro-v2> (18. svibanj, 2021)
- URL 12: Bedekovčina, <https://www.bedekovcina.hr/> (20. siječanj, 2022)
- URL 13: Esri, <https://www.esri.com> (20. siječanj, 2022)
- URL 14: Site Scan, <https://sitescan.arcgis.com> (20. siječanj, 2022)
- URL 15: Bentley, <https://www.bentley.com/> (20. siječanj, 2022)

POPIS SLIKA

Slika 1. "The Pigeon" (Golub) (URL 1)	9
Slika 2. Bombardiranje Venecije 1849. godine (URL 2).....	10
Slika 3. Samoleteći zračni torpedo (Kettering Bug) (URL 3).....	10
Slika 4. Ryan 147 AQM-34("Lighting Bug") (URL 4)	11
Slika 5. RQ 1 Predator (URL 5).....	12
Slika 6. Bepilotna letjelica s fiksnim krilima (URL 6).....	13
Slika 7. Intel® Falcon™ 8 dron (Oktokopter) (URL 7)	13
Slika 8. Hibridni dron (URL 8).....	14
Slika 9. Dijelovi dronova (URL 9) (1- standardni propeleri, 2- potisni propeleri, 3- motor bez četkica, 4- oprema za slijetanje, 5- elektronički regulatori brzine, 6- kontrolor leta, 7- prijemnik, 8- odašiljač, 9- GPS komponenta, 10- baterija, 11- kamera)	15
Slika 10. EBee X Sensefly (URL 10)	15
Slika 11. DJI Phantom 4 Pro V2 (URL 11)	16
Slika 12. Potvrda o osposobljenosti udaljenog pilota	20
Slika 13. Općina Bedekovčina (Snimljeno Phantom 4 V2 bepilotnom letjelicom)	21
Slika 14. Planirano područje snimanja.....	22
Slika 15. Site Scan aplikacija za planiranje leta.....	22
Slika 16. E-motion softver	23
Slika 17. Primjer načina kontrolnih točki	24
Slika 18. Zemaljska kontrolna točka (GCP)	25
Slika 19. Trimble Pivot Web.....	26
Slika 20. Naknadna obrada (eng. Post-processing).....	27
Slika 21. Početno sučelje Site Scan aplikacije	29
Slika 22. Kreiranje projekta u Site Scanu	29
Slika 23. Kreiranje nove misije unutar Site Scan aplikacije	30
Slika 24. Kontrolne točke u Site Scan-u (GCP, eng. Ground Control Point)	30
Slika 25. Glavno sučelje Site Scan aplikacije	31
Slika 26. Primjer označene kontrolne točke u Site Scan aplikaciji.....	31
Slika 27. Provjera kvalitete područja snimljenog isprekidanom metodom obrađenog u Site Scan-u	32
Slika 28. Izvješće kontrolnih točaka snimljenog isprekidanom metodom obrađenog u Site Scan-u	33
Slika 29. Ortomozaik područja dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u	33
Slika 30. Osjenčani prikaz terena područja dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u.....	34
Slika 31. Prikaz "Izreži-ispuni" sa slojnicama područja dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u.....	35

Slika 32. Oblak točaka područja dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u	35
Slika 33. 3D model područja dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u	36
Slika 35. Izvješće kvalitete područja dobivenog površinskom metodom u Site Scan-u.....	36
Slika 36. Prikaz GCP-a i deformacije	37
Slika 37. Ortomozaik područja dobivenog površinskom metodom u Site Scan-u	37
Slika 38. Predikcija porasta razine jezera u Site Scan-u	38
Slika 39. 3D oblak točaka područja dobivenog površinskom metodom u Site Scan-u	39
Slika 40. 3D model područja dobivenog površinskom metodom u Site Scan-u.....	39
Slika 41. Detalj ortomozaika snimljen isprekidanom metodom u Site Scan-u.....	40
Slika 42. Detalj ortomozaika snimljen površinskom metodom u Site Scan-u.....	41
Slika 43. Detalj oblaka točaka dobiven isprekidanom metodom u Site Scan-u	42
Slika 44. Detalj oblaka točaka dobiven površinskom metodom u Site Scan-u.....	42
Slika 45. Detalj 3D modela dobivenog isprekidanom metodom u Site Scan-u.....	43
Slika 46. Detalj 3D modela dobivenog površinskom metodom	43
Slika 47. Početno sučelje D2M	46
Slika 48. Glavno sučelje D2M softvera	46
Slika 49. Alatna traka podataka leta (eng. Flight data) D2M softvera.....	47
Slika 50. Alatna traka uređivanja (eng. edit) D2M softvera	47
Slika 51. Alatna traka analize (eng. Analysis) D2M softvera.....	47
Slika 52. Alatna traka dijeljenja (eng. Share) D2M softvera	47
Slika 53. Upravitelj kontrolnih točaka (eng. Control Manager) D2M softvera	48
Slika 54. Postavke kontrolnih točaka D2M softvera.....	49
Slika 55. Prikaz GCP-ova na osnovnoj karti unutar D2M softvera	49
Slika 56. Označavanje kontrolne točke unutar D2M softvera	50
Slika 57. Postavke 2D proizvoda D2M softvera.....	51
Slika 58. Postavke 3D proizvoda D2M softvera.....	52
Slika 59. Inicijalne postavke (prvi dio) D2M softvera.....	52
Slika 60. Inicijalne postavke (drugi dio) D2M softvera.....	53
Slika 61. Postavke gustoće točaka D2M softvera	53
Slika 62. Postavke Koordinatnog sustava D2M softvera.....	54
Slika 63. Postavke računalnih resursa D2M softvera	54
Slika 64. Ortomozaik dobiven dvostrukom metodom u D2M softveru.....	55
Slika 65. Ortomozaik dobiven površinskom metodom u D2M softveru	55
Slika 66. Detalj ortomozaik dobiven isprekidanom metodom u D2M softveru	56
Slika 67. Detalj ortomozaik dobiven površinskom metodom u D2M softveru	56

Slika 68. Digitalni model terena dobiven dvostrukom metodom u D2M softveru.....	57
Slika 69. Digitalni model terena dobiven površinskom metodom u D2M softveru	57
Slika 70. Oblak točaka dobivrn dvostrukom metodom u D2M softveru	58
Slika 71. Oblak točaka dobivrn površinskom metodom u D2M softveru	59
Slika 72. Detalj oblaka točaka snimljen dvostrukom metodom u D2M softveru	60
Slika 73. Detalj oblaka točaka snimljen površinskom metodom u D2M softveru	60
Slika 74. 3D model snimljen dvostrukom metodom u D2M softveru	61
Slika 75. 3D model snimljen površinskom metodom u D2M softveru	61
Slika 76. 3D model detalja snimljenog dvostrukom metodom dobiven u D2M softveru	62
Slika 77. 3D Model detalja snimljenog površinskom metodom dobiven u D2M softveru	62
Slika 78. Početno sučelje ArcGIS Pro softvera.....	64
Slika 79 Glavno sučelje ArcGIS Pro softvera.....	64
Slika 80. Alatna traka karta (eng. Map) ArcGIS Pro softvera	65
Slika 81. Alatna traka umetni (eng. Insert) ArcGIS Pro softvera	65
Slika 82. Alatna traka analize (eng. Analysis) ArcGIS Pro softvera	65
Slika 83. Alatna traka pogleda (eng. View) ArcGIS Pro softvera	65
Slika 84. Alatna traka uređivanja (eng. Edit) ArcGIS Pro softvera.....	66
Slika 85. Alatna traka snimki (eng. Imagery) ArcGIS Pro softvera	66
Slika 86. Alatna traka dijeljenja (eng. Share) ArcGIS Pro softvera	66
Slika 87. Površinske funkcije ArcGIS Pro softvera.....	67
Slika 88. Aspekt dobiven putem ArcGIS Pro softvera	67
Slika 89. Aspekt i nagib dobiven putem ArcGIS Pro softvera	68
Slika 90. Slojnice dobivene putem ArcGIS Pro softvera.....	68
Slika 91. Popunjeni DSM dobiven putem ArcGIS Pro softvera.....	69
Slika 92. Zasjenjeni reljef dobiven putem ArcGIS Pro softvera.....	69
Slika 93. Nagib dobiven putem ArcGIS Pro softvera.....	70
Slika 94. Vidik dobiven putem ArcGIS Pro softvera.....	70
Slika 95. Kreiranje projekta u CCM softveru	72
Slika 96 Glavno sučelje CCM softvera.....	73
Slika 97. Sučelje slika u CCM softveru	73
Slika 98. Umetanje GCP-ova unutar CCM softvera	74
Slika 99. Postavke polja (eng. Fields) CCM softvera	74
Slika 100. Kontrolna točka unutar CCM softvera.....	75
Slika 101. Pokretanje aerotriangulacije u CCM softveru	76
Slika 102. Svrha produkcije (eng. Purpose) CCM softvera.....	77

Slika 103. Opcije proizvoda u CCM softveru.....	78
Slika 104. Ortomozaik snimljen dvostrukom metodom u CCM softveru	79
Slika 105. Detalj ortomozaika snimljen dvostrukom metodom u CCM softveru.....	79
Slika 106. Detalj ortomozaika snimljen površinskom metodom u CCM softveru	80
Slika 107. Digitalni model terena snimljen dvostrukom metodom u CCM softveru	80
Slika 108. 3D model snimljen dvostrukom metodom u CCM softveru	81
Slika 109.3D Model dobiven iz snimki eBee letjelice u CCM softveru.....	82
Slika 110. Detalj 3D modela iz snimki eBee letjelice u CCM softveru.....	82
Slika 111. Detalj 3D modela iz snimki DJI letjelice snimljenog dvostrukom metodom u CCM softveru	83
Slika 112. Detalj 3D modela dobivenog iz eBee snimki u CCM softveru	84
Slika 113. 3D model i kontrola dužine terena u CCM Viewer-u.....	84
Slika 114. Funkcija mjerenja podataka točke u CCM Viewer-u	85
Slika 115. Funkcija mjerenja površine u CCM Viewer-u.....	85
Slika 116. Funkcija mjerenja volumena u CCM Viewer-u.....	86
Slika 117. 3D oblak točaka dobiven dvostrukom metodom u CCM softveru	87
Slika 118. Detalj Ortomozaika snimljen površinskom metodom u CCM softveru	90
Slika 119. Detalj Ortomozaika snimljen površinskom metodom u D2M softveru.....	90
Slika 120. Detalj Ortomozaika snimljen površinskom metodom u Site Scan softveru	91
Slika 121. Detalj 3D modela snimljenog dvostrukom metodom u CCM softveru	92
Slika 122. Detalj 3D modela snimljenog dvostrukom metodom u D2M softveru	93
Slika 123. Detalj 3D modela snimljenog dvostrukom metodom u Site Scan softveru.....	93
Slika 124. Detalj oblaka točaka snimljenog dvostrukom metodom u CCM softveru.....	94
Slika 125. Detalj oblaka točaka snimljenog dvostrukom metodom u Site Scan softveru	94
Slika 126. Detalj oblaka točaka snimljenog dvostrukom metodom u D2M softveru	95

POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifikacije eBee X Sensefly bespilotne letjelice (SenseFly 2019).....	16
Tablica 2. Osnovne karakteristike DJI Phantom 4 Pro v2 (DJI 2016).....	17
Tablica 3. Pojedinačne specifikacije svakog leta.....	23
Tablica 4. Specifikacije hardvera Drone2Map softvera (URL 14).....	44
Tablica 5. Specifikacije hardvera ContextCapture softvera (Bentley 2021)	71
Tablica 6. Tehnička svojstva rezultata i obrade područja snimljenog DJI dronom	88
Tablica 7. Značenje ocjene.....	89
Tablica 8. Ocjena pojedinačnih stavki korištenih softvera za obradu.....	89

POPIS PRILOGA

Prilog br. 1: Primjer izvješća obrade u Site Scan-u

Zbog velike količine obrađenih podataka, iste nije moguće priložiti uz ovaj diplomski rad. Dobivene podatke obrade kao i podatke snimanje moguće je dobiti na uvid putem upita usmjerenom diplomantu ili voditelju ovog diplomskog rada.