



Srednja škola Matije Antuna Reljkovića
Ivana Cankara 76, 35 000 Slavonski Brod

Geodetska izmjera
ZAVRŠNI RAD
IZRADA DIGITALNIH MODELA IZ
PODATAKA BESPILOTNE
LETJELICE

Mentor: Martin Tokić, mag.ing.geod. et geoinf

Izradila: Lara Bakunić

Obrazovni sektor: Graditeljstvo i geodezija

Zanimanje: Tehničar geodezije i geoinformatike

Slavonski Brod, ljetni rok

šk. god. 2022./2023.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Trodimenzionalni modeli.....	2
2.1. TIN modeli.....	3
2.2. Grid modeli	3
3. 3D modeli u geodeziji.....	5
3.1 . Digitalni model reljefa - DMR.....	5
3.2. Digitalni model visina-DMV	6
3.3. Digitalni model terena-DMT	6
4. Terenski postupci pri fotogrametrijskoj izmjeri	7
4.1. Bespilotna letjelica.....	7
5. Obrada podataka fotogrametrijske izmjere.....	9
5.1. Učitavanje slika.....	9
5.2. Telemetrija	9
5.3. Izjednačavanje zrakovnog snopa (bundle adjustment)	10
5.4. Orijentacija.....	12
5.5. Rekonstrukcija gustog oblaka točaka.....	13
5.6. Klasifikacija	14
5.7. Izračun volumena.....	15
5.8. Izračun slojnice	16
6. Zaključak.....	19
7. Literatura.....	20
Popis internetskih izvora.....	20
Popis slika	21

1. Uvod

Svakodnevno možemo svjedočiti napretku tehnologije, a samim time i napretku bespilotnih letjelica. Kako u ostalim djelatnostima, tako se koriste i u geodeziji u razne svrhe, a jedna od njih je izrada digitalnih modela. Primjena bespilotnih letjelica uvelike je olakšala izmjeru te pojednostavila i ubrzala proces obrade podataka.

Osnovni motiv pri odabiru ove teme bila je zainteresiranost i želja za stjecanjem znanja o upotrebi bespilotnih letjelica u raznim geodetskim poslovima. Također, bila sam zainteresirana za sam proces obrade snimljenih podataka te za upoznavanje rada na novim softverima.

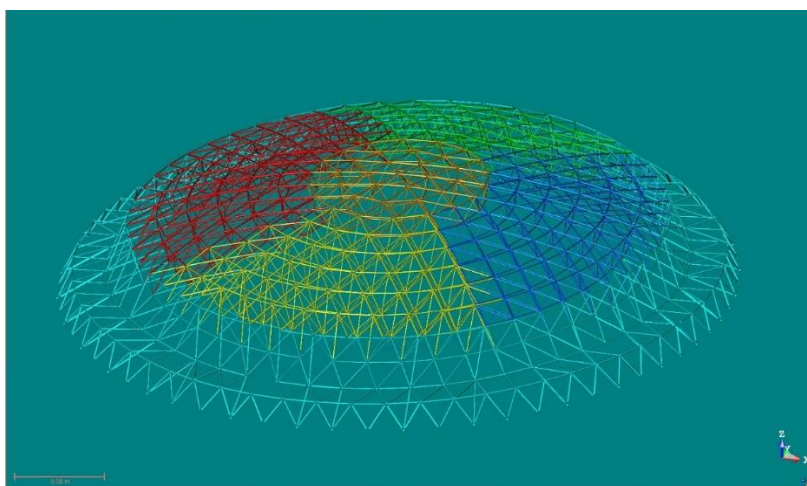
Krajnji cilj ovog završnog rada je izrada digitalnog modela školskog vrta Srednje škole Matije Antuna Reljkovića. Proces dobivanja takvog produkta možemo podijeliti na nekoliko glavnih postupaka, a to su: priprema terena i opreme prije samog leta, terenski dio, odnosno sama izmjera i na kraju obrada snimljenih podataka.

2. Trodimenzionalni modeli

Napretkom tehnologije prikaz Zemlje u trećoj dimenziji sve je učestaliji. Pojam 3D modeliranja se sve više koristi u našoj svakodnevnicu. Računalna grafika napreduje svakodnevno i u raznim granama i djelatnostima. Kao produkt 3D modeliranja pomoću raznih softvera i programa dobivamo 3D modele, građevini. Najveće prednosti 3D modela su što se njihovom izradom se smanjuju troškovi i vrijeme izrade, a povećavaju se točnost i učinkovitost. Trodimenzionalnim modelima možemo vizualno prikazati određeni objekt te čak i objekte koji ne postoje ili su još u procesu izgradnje.

Ovisno o načinu prikazivanja objekta od interesa postoje dvije vrste 3D modeliranja (Tokić, 2015):

- površinsko modeliranje (engl. Surface/Shell Modelling) i
- geometrijsko modeliranje (engl. Geometric/Solid Modelling).



Slika 1 Geometrijski model krovne konstrukcije dvorane Dražen Petrović, napravljen od valjaka i kugli (Tokić, 2015)

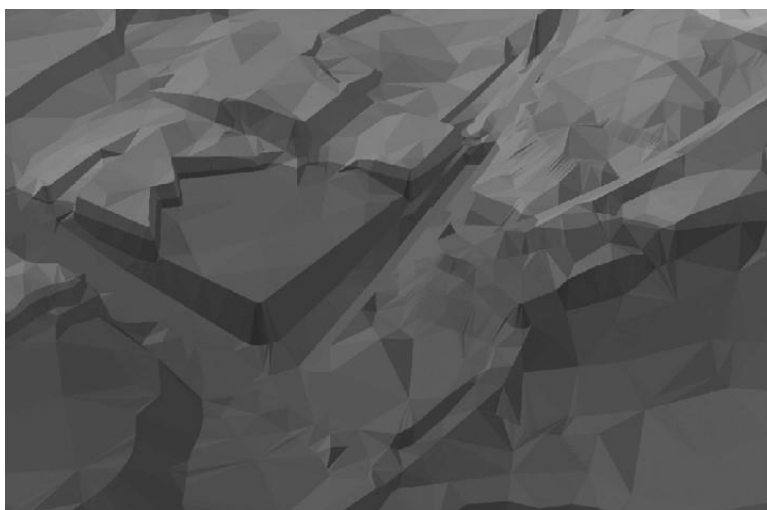
Kreiranjem površinskog modela ne dobije se volumen objekta, već samo opis njegove plohe. Površinsko modeliranje predstavlja granični prikaz objekta. Pri tome su sve točke na vanjskoj površini objekta eksplicitno izražene, dok je unutrašnjost objekta implicitna. Za usporedbu, geometrijski model objekta je skroz eksplicitno izražen te predstavlja njegov volumen, dok se površinski model sastoji od čvorova, bridova i poligona. Površinski modeli se dijele u sljedeće dvije skupine (Weibel i Heller (1991), El-Sheimy i dr. (2005), Li i dr. (2005), Čomić i dr. (2014):

- nepravilna mreža trokuta – TIN (eng. Triangulated Irregular Network) i
- pravilna mreža točaka – GRID.

2.1. TIN modeli

TIN je vektorska vrsta strukture digitalnog modela, odnosno vektorski prikaz kojim je striktno definirana topologija, tj. upotreba bridova i čvorova za utvrđivanje prostornih odnosa između pojedinih trokuta u mreži. Velika prednost TIN modela je mogućnost prikaza reljefa u različitim rezolucijama. Omogućuje gušće uzimanje uzoraka mjerenja pri pojedinim segmentima što ovisi o složenosti, tj. kompleksnosti terena. Također omogućuje uključivanje najviše ili najniže točke terena bez obzira na gustoću uzoraka mjerenja.

Ovakva vrsta modela, kao i svaka ima svoje mane koje su gotovo zanemarive. Neke od njih su: kompleksnija struktura koja samim time zahtjeva vremenski dužu obradu te potrebu za većom memorijom i češće vizualne preglede i kontrole mreže.



Slika 2 TIN struktura

2.2. Grid modeli

GRID je rasterska struktura prikaza podataka, koja se fokusira na interpolaciju vrijednosti između poznatih točaka koje su prikupljene na pravilnim razmacima. Time se ujedno definira i prostorna rezolucija budućeg DMR-a, tj. minimalna površina za koju izrađeni model može pružiti finalan rezultat.

Prednosti GRID modela su vrlo jednostavna integracija sa bazama podataka te prirodan izgled. Neke od mana ovog modela su: neučinkovito uzimanje uzoraka mjerenja (točaka) ovisno o promjeni kompleksnosti terena (redundancija podataka), nemogućnost upotrebe mreže različitih veličina kako bi se točnije prikazao kompleksniji teren i rijetko se unutar uzorka mjerenja nalazi najviša ili najniža točka terena (izgube se unutar ćelija pravilne mreže).



Slika 3 GRID struktura

3. 3D modeli u geodeziji

U geodeziji se usporednim razvijanjem digitalnih fotografskih kamera i programskih softvera, razvila i nova grana – fotogrametrija. Ona je vezana uz računalno 3D modeliranje snimljenih objekata iz fotografija. To je proces kreiranja površina s trodimenzionalnim svojstvima koji spada među jedne od najzahtjevnijih oblika bavljenja računalnom grafikom i vizualizacijom. Donedavno ovaj proces nije bio učestao zbog većih troškova koje iziskuje. Koristile su se već poznate metode izmjere i klasična oprema. Kao produkt renderiranja u sliku ili više slika, dobijemo trodimenzionalni model, odnosno matematičku reprezentaciju nekog trodimenzionalnog objekta. Postoje razne vrste trodimenzionalnih digitalnih modela koje se koriste u geodeziji, a najčešći su:

- digitalni model reljefa,
- digitalni model visina i
- digitalni model terena.

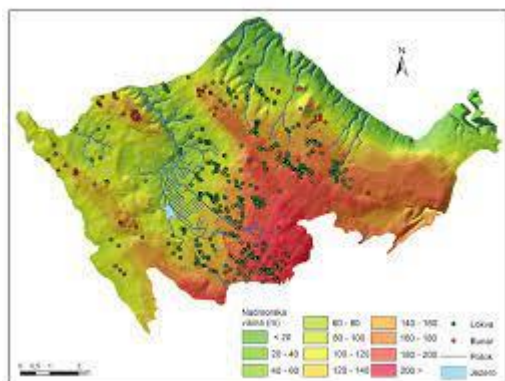
3.1 . Digitalni model reljefa - DMR

Digitalni model reljefa - DMR (*engl. Digital Elevation Model - DEM*) definiran je kao skup položajno i visinski određenih točaka te geometrijskih elemenata (prijelomnica, linija oblika i površina isključenja) potrebnih za prikaz Zemljine površine.

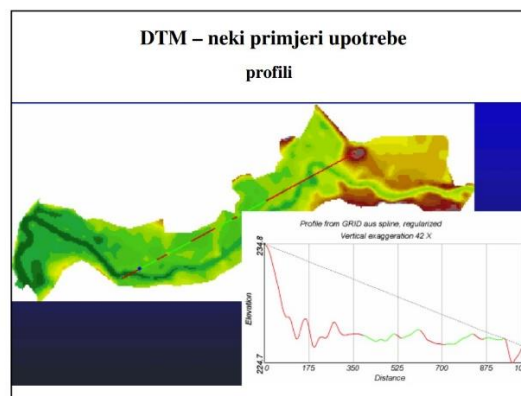
Digitalni model reljefa predstavlja reljef koji je numerički definiran nizom točaka s tri koordinate (X, Y i Z) i to u digitalnom obliku. Ovakav model ne sadrži vegetaciju niti izgrađene objekte. Kod DMR-a točke se dobivaju neposrednom izmjerom na terenu, fotogrametrijskom izmjerom, georeferenciranjem satelitskih podataka i digitalizacijom karata. Koriste se točke isključivo sve tri koordinate, a mogu biti: nepravilno rasute na cijeloj površini (TIN), na pravilnoj mreži kvadrata (GRID) ili na profilima.

Produkt ovog digitalnog modela može izgledati kao:

- a) prikaz 3D linijama (linijama oblika i prijelomnicama),
- b) prikaz pojedinačnim markantnim točkama (kotama),
- c) prikaz izohipsama i kotama (digitalni model visina),
- d) prikaz profilima i
- e) prikaz sjenčanim reljefom.



Slika 4 prikaz 3D linijama (linijama oblika i prijelomnicama)



Slika 5 prikaz profilima

3.2. Digitalni model visina-DMV

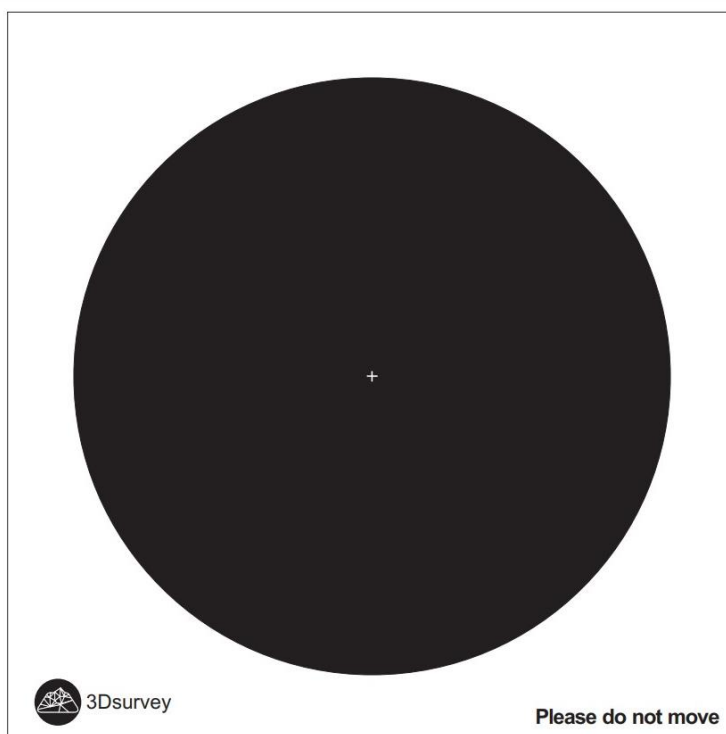
Izvedenica iz DMR-a je Digitalni model visina (DMV). On predstavlja pravilnu mrežu (*grid*) visinskih točaka interpoliranih na osnovi odgovarajućeg digitalnog modela reljefa. Digitalni model visina- DMV, (*Digital Height Model – DHM*) je pojam koji podrazumijeva podatke o terenu u obliku matrice visina terena. Ona se često naziva rešetkastom strukturom podataka. Rešetkaste ćelije su obično u obliku kvadrata čija tjemena predstavljaju visinske točke, a stranice su paralelne sa osima koordinatnog sustava. Točke u DMV-u su u pravilu raspoređene na svakih 25 m, ali ovisno o točnosti aerofotogrametrijskog snimanja razmak interpoliranih točaka može biti i gušći.

3.3. Digitalni model terena-DMT

Digitalni model terena-DMT (*engl. Digital Terrain Model, DTM*) je sličan pojam DMR-u ali on ne uključuje vegetaciju, izgrađene objekte i prijelomne linije u svrhu boljeg prikaza terena. Kad govorimo o ovom modelu, često ga nazivamo i digitalnim modelom terena. Ovaj model nastaje spajanjem dvaju modela, DMR-a i digitalnog modela građevina - DMO.

4. Terenski postupci pri fotogrametrijskoj izmjeri

Mjesto obavljanja fotogramterijske izmjere, odnosno snimanja je školski vrt. Na teren smo prvo postavili markere.



Slika 6 Marker

Zatim smo se dronom povezali na mobitel putem aplikacije DJI GO. Prije samog snimanja, u aplikaciji je bilo potrebno podesiti neke postavke kao što su brzina i visina leta te kut snimanja kamere. U aplikaciji smo prije polijetanja drona, namjestili mrežu, tj. zadali smo mu putanju. Dron je po zadanoj putanji, sam odletio do početka mreže i tu započeo let. Pratili smo ga preko mobitela te smo cijelo vrijeme mogli vidjeti poziciju drona i mjesto na kojem je uslikao područje.

4.1. Bepilotna letjelica

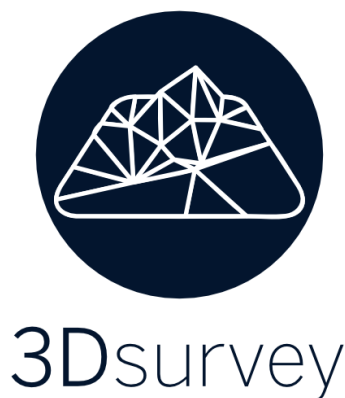
Bespilotna letjelica koja se nalazi u školskom posjedu je DJI Phantom 4 Pro te je korištena u svrhu izrade ovog završnog rada. Masa ovog drona iznosi 1388 grama što ga svrstava u A1 kategoriju, klasa C1. (letjelice lakše od 5 kg). Let mu omogućuju četiri propelera, a prosječno trajanje leta pomoću jedne baterije iznosi oko 30 minuta. Kako bi se upravljalo ovim dronom, potrebno je imati minimalno 16 godina. RGB kamera koju ovaj dron posjeduje rezolucije je 20 megapiksela.



Slika 7 Беспилотна летjelica DJI Phantom 4 Pro (<https://www.dji.com/hr/phantom-4-pro>)

5. Obrada podataka fotogrametrijske izmjere

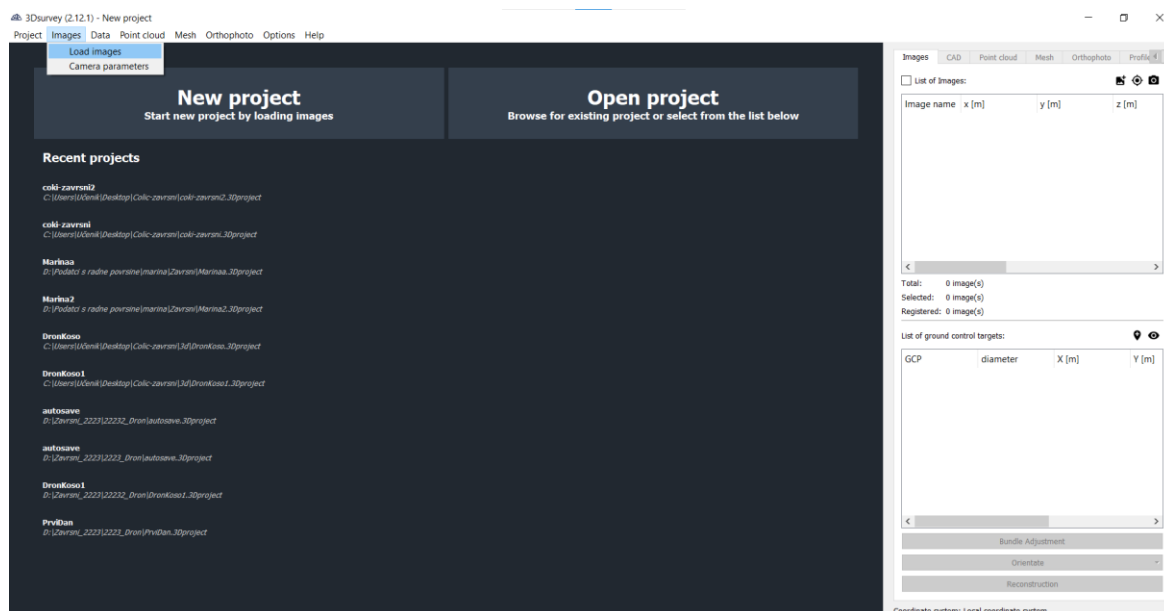
Softver koji je korišten za obradu prethodno snimljenih podataka iz fotogrametrijske izmjere je 3D Survey. Ovaj program služi za izradu 2D ili 3D modela obradom geoprostornih podataka snimljenih pomoću bespilotnih letjelica ili drugih uređaja.



Slika 8 Logo 3D Survey

5.1. Učitavanje slika

Nakon ulaska u program odabiremo opciju *new project*, a zatim odabiremo slike koje smo snimili te ih dodajemo klikom na *load images*.

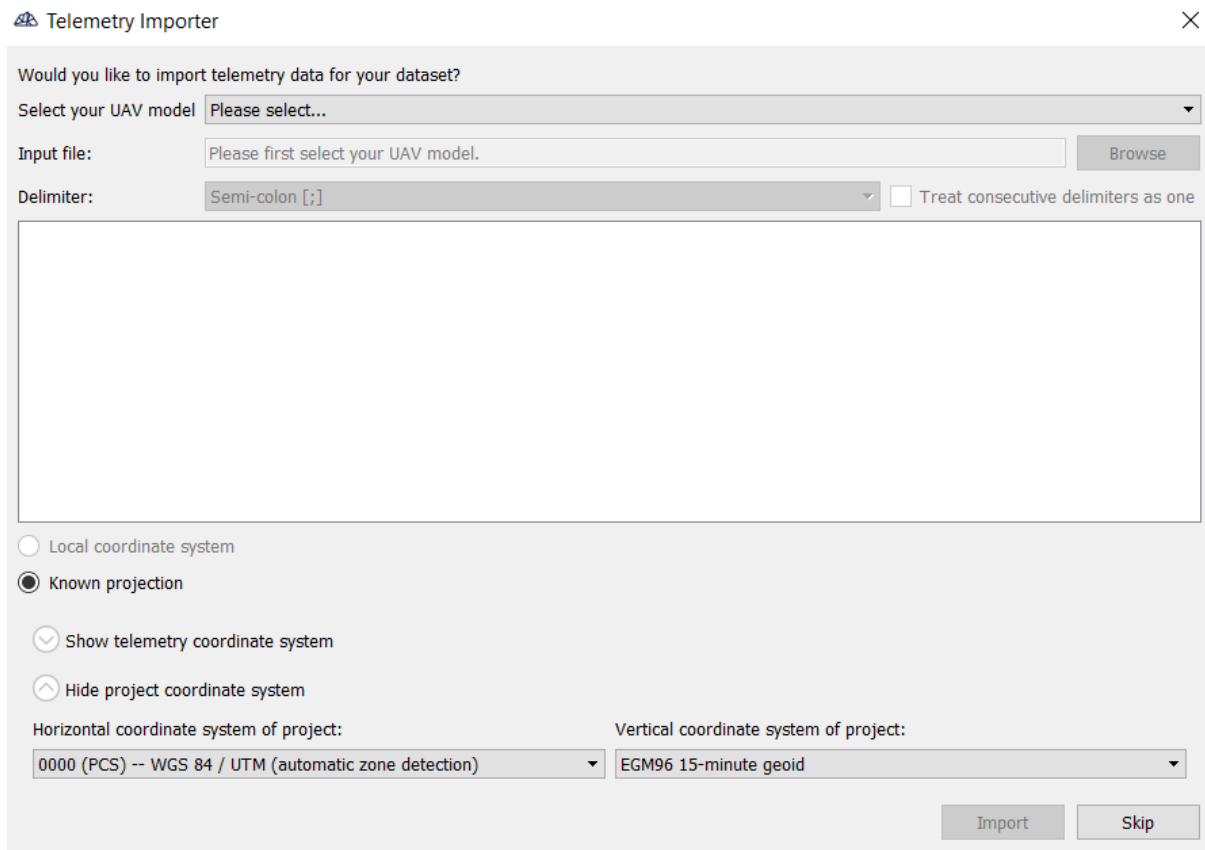


Slika 9 Učitavanje slika

5.2. Telemetrija

Svi atributni podaci učitanih fotografija nazivaju se atributni podaci. Oni nam daju informacije o letjelici, o kameri i njenom položaju za vrijeme snimanja. Telemetrija se koristi

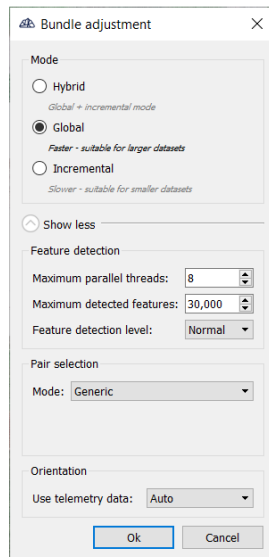
kao prvotna orijentacija, odnosno kao prvo georeferenciranje snimaka. Za DJI dron potrebno je koristiti .csvExif datu za ubacivanje telemetrije. Koordinatni sustav koji smo odabrali je službeni državni koordinatni sustav HTRS96/TM, a za visine se odabire i geoid EGM96. Kvalitetno određena telemetrija nam je olakšala idući korak, a to je izjednačenje zrakovnih snopova.



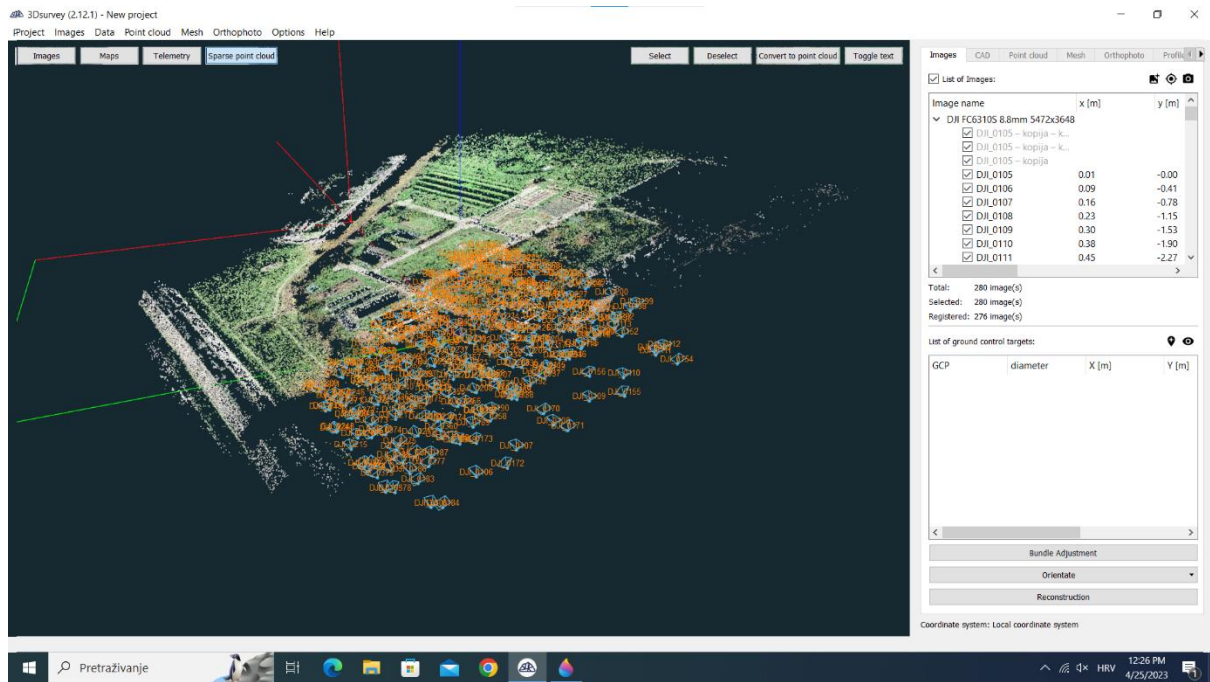
Slika 10 Telemetrija

5.3. Izjednačavanje zrakovnog snopa (bundle adjustment)

Klikom na opciju *bundle adjustment* započinje izjednačavanje zrakovnog snopa. Tim korakom se prvo georeferenciraju slike i izrađuje se rijetki oblak točaka (eng. Point cloud). Softver nudi biranje između tri opcije: hibridno, globalno i inkrementalno. Odabiremo onu koja nam najviše odgovara s obzirom na količinu slika, jačini hardvera te željenoj kvaliteti finalnog proizvoda. Odabirom *Global* i klikom na *OK* proces je započeo. Proces može potrajati i do nekoliko sati, ovisno o performansima računala na kojem obrađujemo podatke. Kao rezultat dobili smo rijetki oblak točaka.



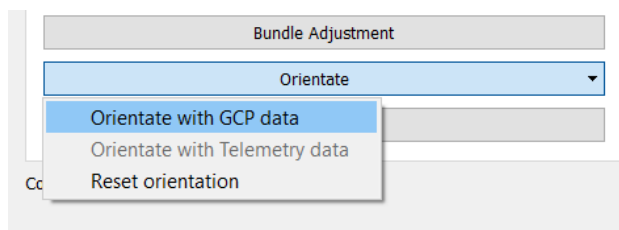
Slika 11 Odabir opcije global



Slika 12 Rijetki oblak točaka

5.4. Orijentacija

Klikom na opciju *Orientate with GPC* ubacujemo koordinatne podatke markera u obliku ranije priređene .txt datoteke.



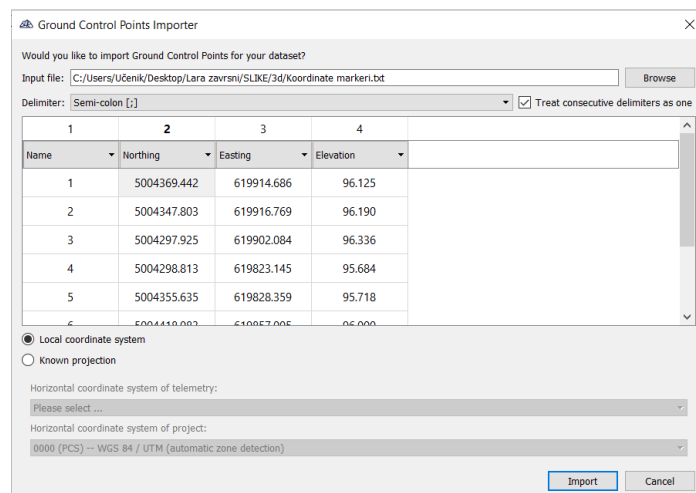
Slika 13 Orijentacija

Nakon provjere valjanosti učitanih koordinata, slijedi idući korak, a to je odabir lokalnog koordinatnog sustava. Tako dobijemo prikaz svih slika na kojima moramo tražiti markere. Da bi se kasnije automatski sve slike same orijentirale, moramo pronaći minimalno 3 ista markera na različitim slikama, da bi ih program poslije sam povezao s ostalim točkama.



Slika 14 Namještanje markera

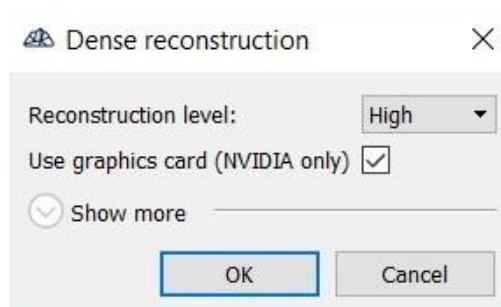
Zatim se prikazuju podatci sa odstupanjima. Odstupanja prikazuju razliku u položaju fotogrametrijskog modela i onog snimljenog dronom.



Slika 15 Odstupanja

5.5. Rekonstrukcija gustog oblaka točaka

Gusti oblak točaka ćemo prilagoditi rekonstrukcijom terena. Razlikujemo četiri razine: niska (eng. Low), srednja (eng. Medium), visoka (eng. High) i ekstremna (eng. Extreme). Odabrali smo visoku razinu i ona služi za izradu digitalnog modela.



Slika 16 Odabir razine rekonstrukcije



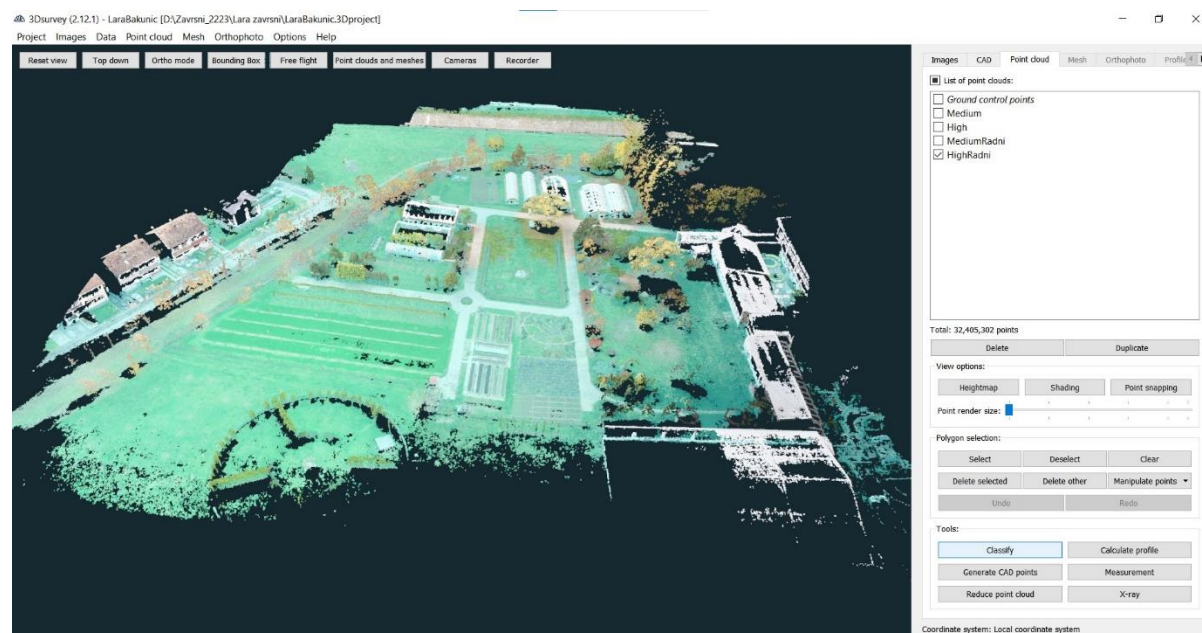
Slika 17 Izgled modela nakon rekonstrukcije

5.6. Klasifikacija

Klikom na *classification* započeli smo proces klasifikacije oblaka točaka. Lijevim klikom miša odabiremo područje koje želimo.

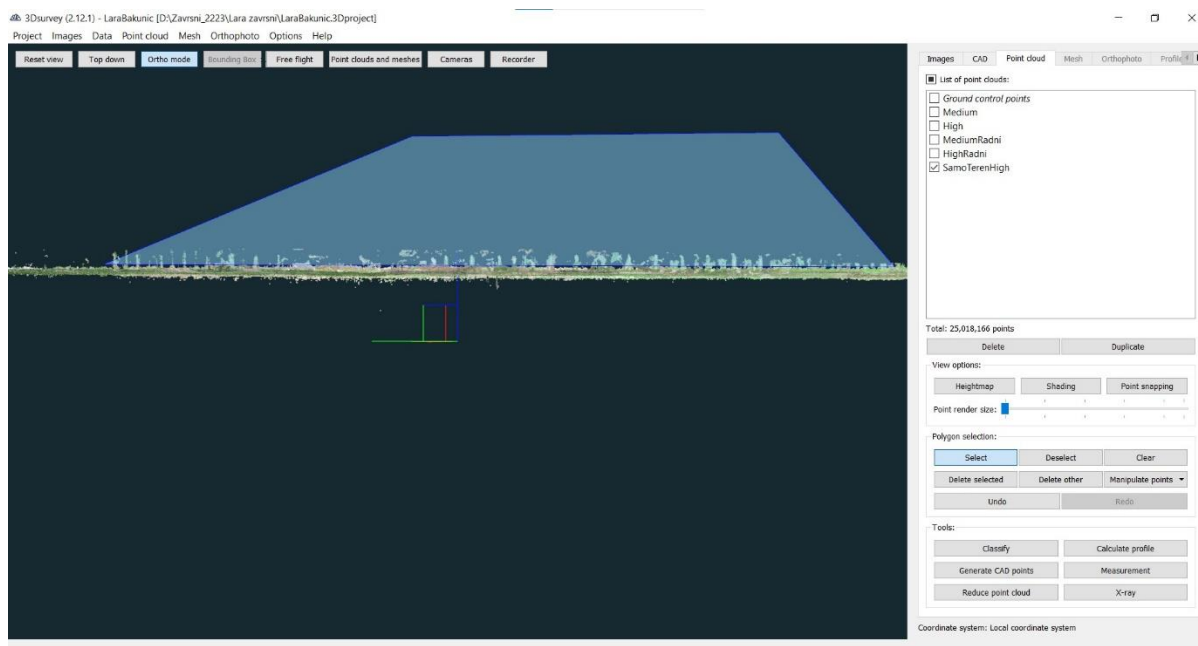


Slika 18 Odabir parametara klasifikacije



Slika 19 Označavanje područja

Nakon toga smo klikom na *select* označili višak, a to su uglavnom drveće i dijelovi biljaka te smo ih klikom na *delete selected* uklonili.



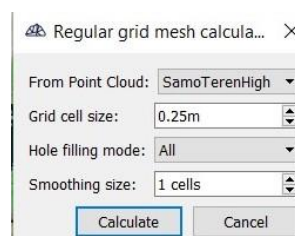
Slika 20 Selekcija viška

5.7. Izračun volumena

Nakon toga smo odabrali opciju računanja *mesh*, a zatim *calculate new regular grid mesh* te postavili parametre i kliknuli na *calculate*.

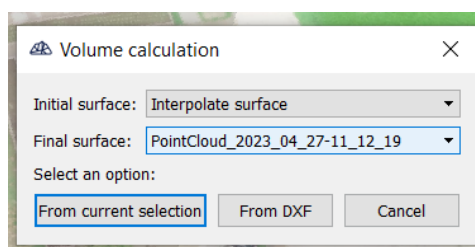


Slika 21 Mesh



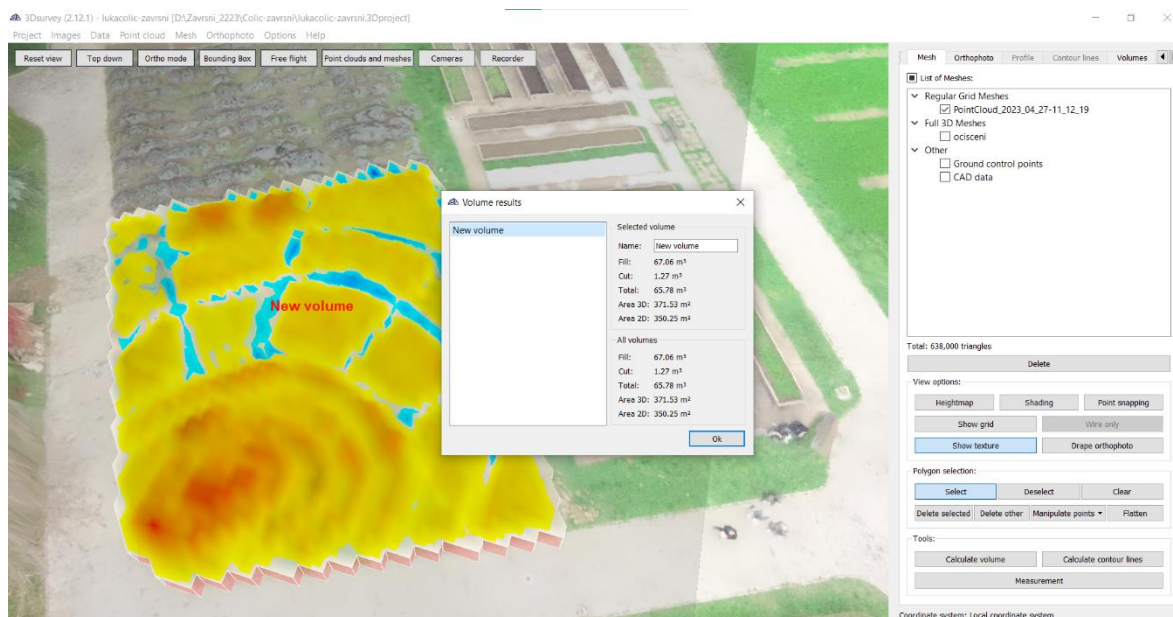
Slika 22 Odabir Mesha

Klikom na *calculate volume*, otvorio se izbornik gdje smo birali interpoliranu te finalnu površinu.



Slika 23 Računanje volumena

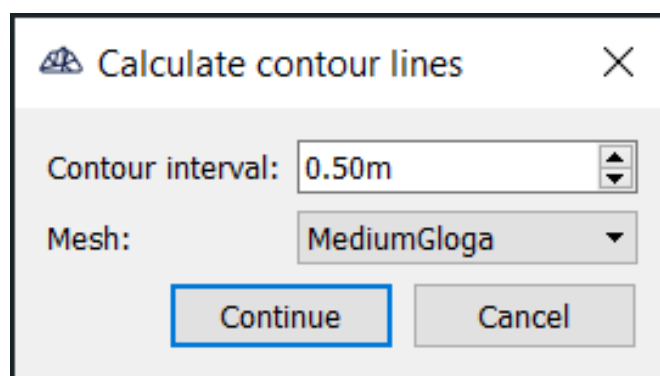
Opcijom *from current selection*, dobili smo sljedeće rezultate.



Slika 24 Rezultati izračuna volumena

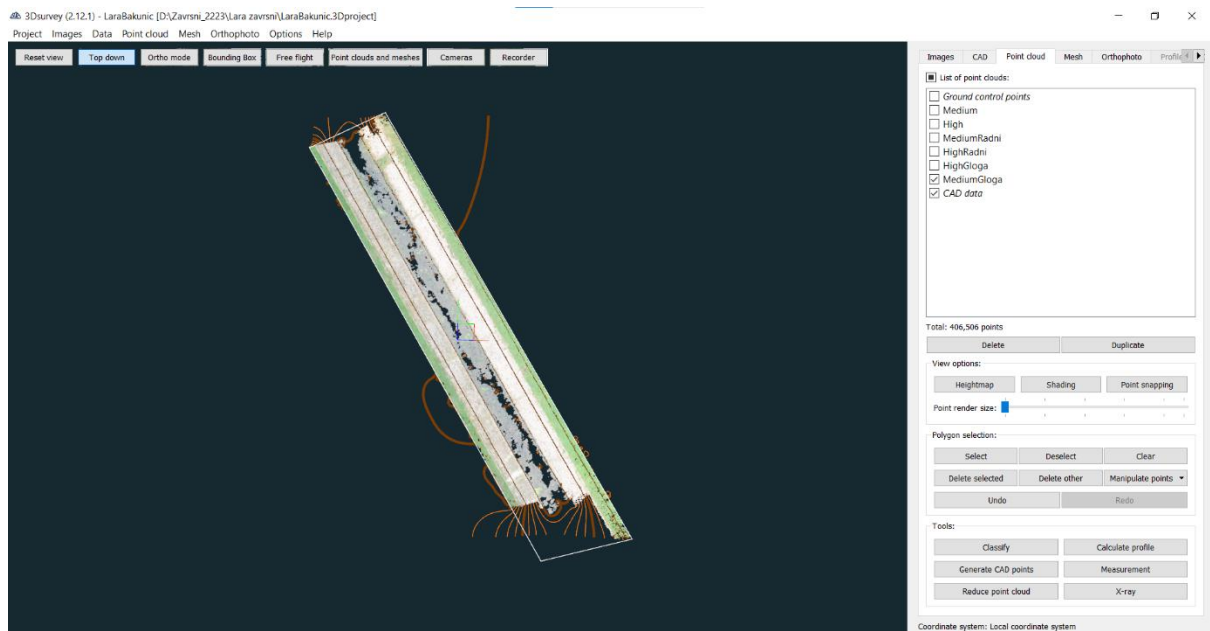
5.8. Izračun slojnice

Kako bismo izračunali volumen nasipa, prvo smo pomoću alata *draw line* nacrtali oblik na odabranom području. Kod opcije *tools*, odabirom na *calculate contour lines* i meshom odrađenim na medium razini otvara se sljedeći prozor.

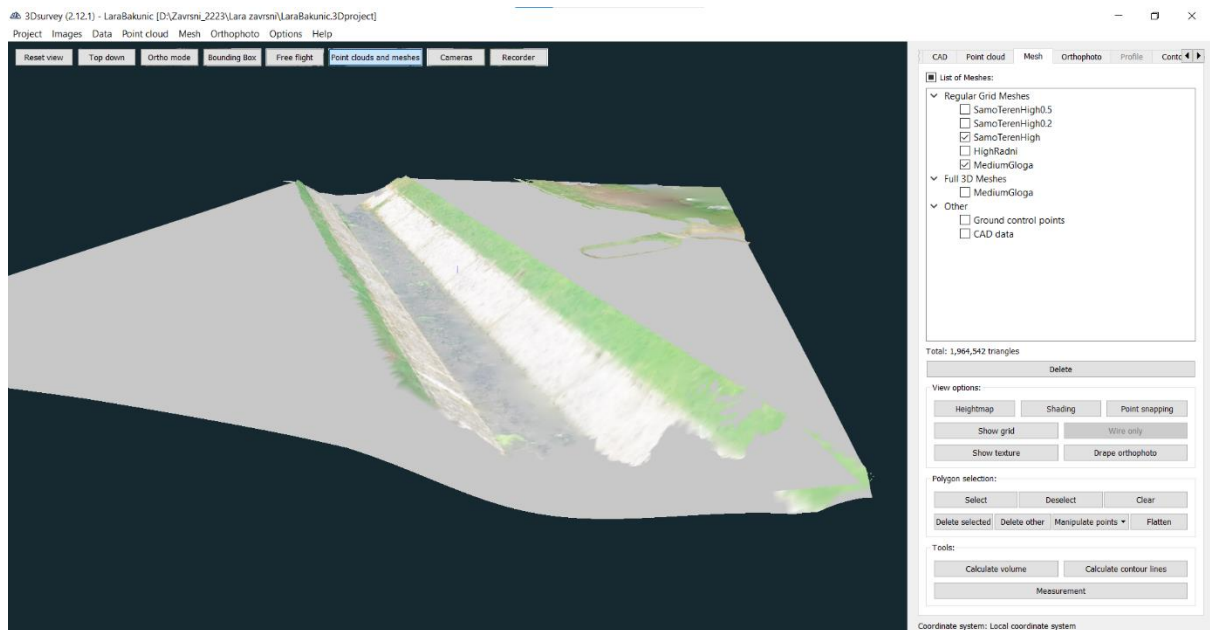


Slika 25 Parametri računanja kontura

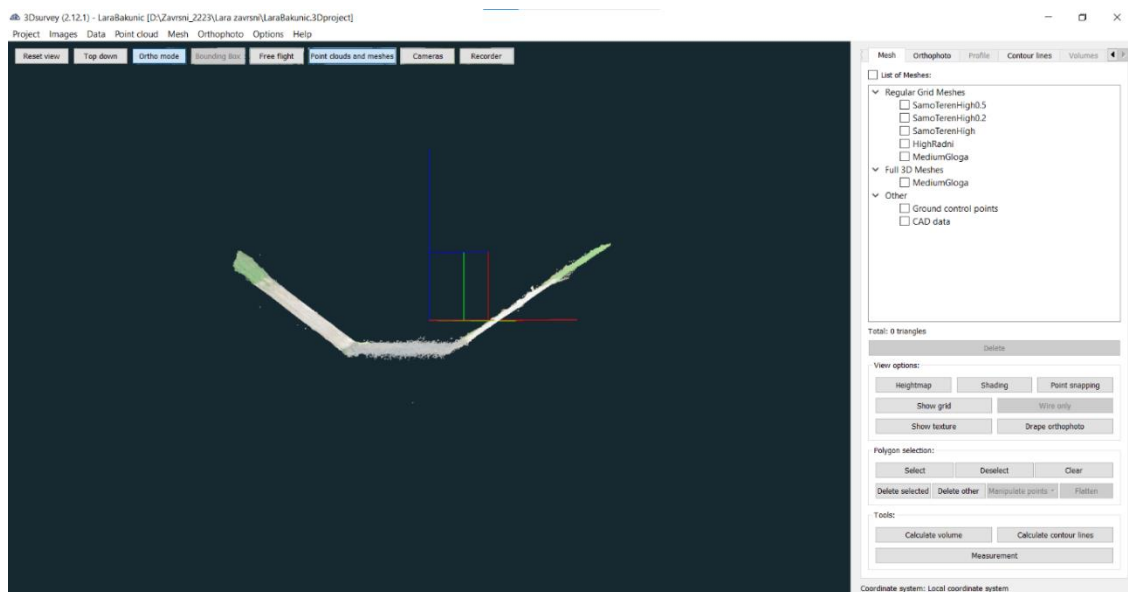
Odabranim intervalom od 0,50m i klikom na *continue*, dobili smo sljedeći prikaz.



Slika 26 Model s konturama

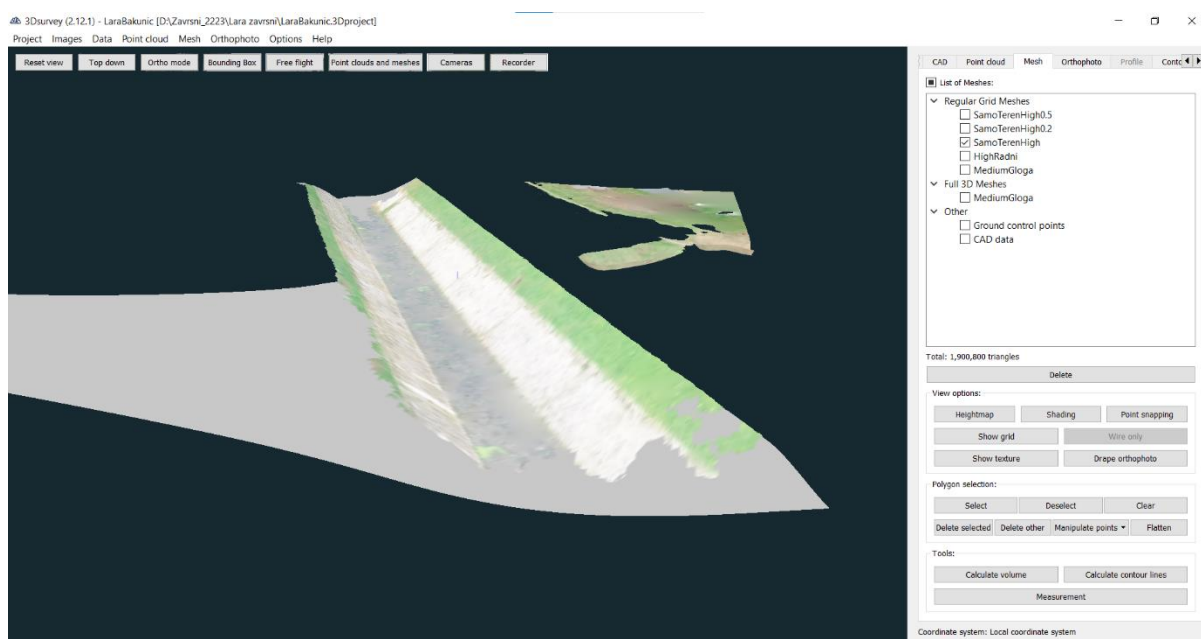


Slika 27 DMR kanala



Slika 28 3D Mesh kanala

Za usporedbu, isti process odradili smo i na high, odnosno visokoj razini, te dobili sljedeći produkt.



Slika 29 3D Mesh kanala

6. Zaključak

U ovom radu opisani su trodimenzionalni modeli te njihova podjela te 3D modeli u geodeziji. Navedeni su podaci o bespilotnoj letjelici korištenoj pri izmjeri, opisani su postupci pri izmjeri te proces obrade podataka. Mjerenje školskog vrta obavljeno je bez poteškoća. Proces korišteni pri izmjeri većinom su automatizirani i obavlja ih softver. Program 3D Survey bio je vrlo jednostavan za korištenje.

Za svako snimanje potrebno je dobro proučiti i pripremiti opremu kojom se izmjera obavlja. Da bi imali što bolje rezultate kamera drona se kretala u više smjerova tijekom sporijeg leta kako bi snimila što više detalja. Zbog maglovitog vremena neki snimci su bili slabije vidljivi na pojedinim dijelovima. Odabirom opcije high, kvaliteta modela je jako zadovoljavajuća, a prostor izgleda realno.

Krajnjim rezultatom mogu zaključiti da je cjelokupan proces snimanja i obrade podataka školskog vrta jednostavan zahvaljujući napretku tehnologije, ali bez ljudskog znanja i vještina to ne bi bilo moguće.

7. Literatura

Tokić, M. (2015): Izrada 3D modela postojećeg stanja krovne konstrukcije dvorane Dražen Petrović iz podataka terestričkog laserskog skeniranja, Diplomski rad, Geodetski fakultet, Sveučilište Zagreb

Baričević S., Žižić I. (2011): 3D modeliranje i generiranje oblaka točaka pomoću Autodesk ImageModeler-a i Photo Scene editor-a

Krtalić, A. i dr.: Digitalni trodimenzionalni prikazi scene i satelitska ..., Geod. list 2019, 2, 147–164

3D Survey - Mapping and Aerial Image Processing Software, Work flow, uputstva za uporabu

Popis internetskih izvora

URL 1: DJI Phantom Pro 4

<https://www.dji.com/hr/phantom-4-pro/info> (7.5.2023.)

Popis slika

Slika 1 Geometrijski model krovne konstrukcije dvorane Dražen Petrović, napravljen od valjaka i kugli (Tokić, 2015).....	2
Slika 2 TIN struktura	3
Slika 3 GRID struktura	4
Slika 4 prikaz 3D linijama (linijama oblika i prijelomnicama)	6
Slika 5 prikaz profilima	6
Slika 6 Marker.....	7
Slika 7 Bespilotna letjelica DJI Phantom 4 Pro (https://www.dji.com/hr/phantom-4-pro)	8
Slika 8 Logo 3D Survey.....	9
Slika 9 Učitavanje slika	9
Slika 10 Telemetrija.....	10
Slika 11 Odabir opcije global	11
Slika 12 Rijetki oblak točaka	11
Slika 13 Orijentacija	12
Slika 14 Namještanje markera	12
Slika 15 Odstupanja	13
Slika 16 Odabir razine rekonstrukcije.....	13
Slika 17 Izgled modela nakon rekonstrukcije.....	13
Slika 18 Odabir parametara klasifikacije	14
Slika 19 Označavanje područja.....	14
Slika 20 Selekcija viška	15
Slika 21 Mesh	15
Slika 22 Odabir Mesha.....	15
Slika 23 Računanje volumena.....	15
Slika 24 Rezultati izračuna volumena.....	16
Slika 25 Parametri računanja kontura	16
Slika 26 Model s konturama	17
Slika 27 DMR kanala.....	17
Slika 28 3D Mesh kanala	18
Slika 29 3D Mesh kanala	18

Srednja škola Matije Antuna Reljkovića , Slavnski Brod

Završni rad iz predmeta:

Geodetska izmjera IV

(upisati predmet)

Tema:

IZRADA DIGITALNIH MODELA IZ PODATAKA BESPILOTNE LETJELICE

(puni naziv teme za završni rad)

Mentor/ica: Martin Tokić
(ime i prezime, prof. ili dipl. ing.)

Učenik/ca: Lara Bakunić 4.i
(ime i prezime, razred)

Obrazovni sektor: Graditeljstvo i geodezija

Zanimanje: Tehničar geodezije i geoinformatike

U Slavonskom Brodu ; 25. svibnja 2023.

Srednja škola Matije Antuna Reljkovića , Slavonski Brod

**EVIDENCIJSKI (KONZULTACIJSKI) LIST
IZRADE ZAVRŠNOG RADA**

Ime i prezime učenika: Lara Bakunić

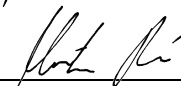
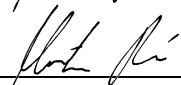
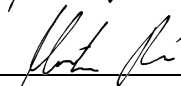
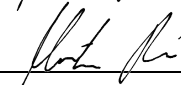
Razred: 4.i

Školska godina: 2022./2023.

Program – zanimanje: Tehničar geodezije i geoinformatike

Mentor: Martin Tokić, mag.ing.geod. et geoinf.

Naziv završnog rada : IZRADA DIGITALNIH MODELA IZ PODATAKA BESPILOTNE
LETJELICE

Datum konzultacija	Sadržaj konzultacija (Bilješke o napredovanju)	Potpis mentora
4. prosinca 2022.	Dogovor i izbor teme završnog rada	
24. siječnja 2023.	Izrada koncepta i smjernice za pisanje završnog rada, organizacija Google učionice za razmjenu podataka	
30. ožujka 2023.	Predaja prve radne verzije, pregled, komentari, ispravci	
25. travnja 2023.	Predaja druge radne verzije, pregled, komentari, ispravci	
24. svibnja 2023.	Predaja završne verzije, priprema za print	

PRIJEDLOG OCJENE ZAVRŠNOG RADA: odličan (5)

Srednja škola Matije Antuna Reljkovića , Slavonski Brod

Datum predaje rada: 24. svibnja 2023.
(mentor je prihvatio rad)

Potpis mentora: 

Ocjena pisanog rada: odličan (5)

Datum obrane rada: _____

Ocjena obrane rada: _____

Konačna ocjena: _____

Povjerenstvo:

1. mentor: Martin Tokić, mag.ing.geod. et geoinf. _____
2. profesor struke : _____
3. profesor struke: _____

Prostor za izdvojeno mišljenje ili komentar