

Primjena zračne i podvodne fotogrametrije u svrhu geoinformatičke analize staništa, obraštaja i utvrđivanja prisutnih vrsta

Hamer, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:183007>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-09**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike u Puli



Matija Hamer

**PRIMJENA ZRAČNE I PODVODNE FOTOGRAMETRIJE U SVRHU
GEOINFORMATIČKE ANALIZE STANIŠTA, OBRAŠTAJA I
UTVRĐIVANJE PRISUTNIH VRSTA**

Diplomski rad

Pula, rujan 2024.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike u Puli



Matija Hamer

**PRIMJENA ZRAČNE I PODVODNE FOTOGRAMETRIJE U SVRHU
GEOINFORMATIČKE ANALIZE STANIŠTA, OBRAŠTAJA I
UTVRĐIVANJE PRISUTNIH VRSTA**

Diplomski rad

JMBAG: 0246075353, redoviti student
Studijski smjer: Informatika
Kolegij: Razvoj IT rješenja
Mentor: doc. dr. sc. Nikola Tanković
Komentor: prof. dr. sc. Bojan Hamer

Pula, rujan 2024.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Matija Hamer, kandidat za magistra Informatike ovime izjavljujem da je ovaj Diplomski rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Diplomskog rada nije napisan na nedozvoljeni način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

U Puli, 08.09.2024.



IZJAVA O KORIŠTENJU AUTORSKOG DJELA

Ja, Matija Hamer dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj diplomski rad pod nazivom **PRIMJENA ZRAČNE I PODVODNE FOTOGRAFIJE U SVRHU GEOINFORMATIČKE**

ANALIZE STANIŠTA, OBRAŠTAJA I UTVRĐIVANJE PRISUTNIH VRSTA

koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj Internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljajući na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 08.09.2024.

Potpis

Zahvala

Zahvaljujem svojem mentoru, doc. dr. sc. Nikoli Tankoviću, na stalnoj dostupnosti, strpljenju i spremnosti da odgovori na sva moja pitanja te na pruženoj pomoći i vrijednim savjetima tijekom izrade ovoga rada.

Iskazujem duboku zahvalnost komentoru, prof. dr. sc. Bojanu Hameru za iznimno vodstvo, neprocjenjive savjete i kontinuiranu podršku tijekom izrade ovog diplomskog rada. Njegova stručnost, otvorenost za raspravu i konstruktivne povratne informacije omogućile su mi ne samo da unaprijedim kvalitetu rada, već i da proširim vidike u smislu njegove praktične primjene. Njegova podrška i motivacija bili su ključni u svakom koraku ovog istraživačkog procesa.

Zahvaljujem se svim kolegama i djelatnicima Centra za istraživanje mora u Rovinju (Institut Ruđer Bošković) koji su sudjelovali u provođenju terenskih aktivnosti, na pomoći i sugestijama te drugim doprinosima koji su značajno obogatili ovaj diplomski rad.

Na kraju, posebno bih želio izraziti svoju duboku zahvalnost svojoj obitelji i bližnjima na njihovoj kontinuiranoj podršci, razumijevanju i ohrabrenju tijekom cijelog procesa izrade ovog diplomskog rada. Vaša podrška predstavljala je temelj mog uspjeha, i za to vam dugujem iskrenu zahvalnost.

SADRŽAJ:

SAŽETAK.....	1
ABSTRACT	1
1. UVOD	2
2. TEORIJSKI PREGLED.....	3
2.1. Osnovni koncepti i principi.....	3
2.2. Fotogrametrijske tehnike	3
2.2.1. Vertikalna fotogrametrija.....	4
2.2.2. Horizontalna fotogrametrija	4
2.2.3. Optičko preslikavanje pri fotografskom snimanju.....	5
2.2.4. Perspektiva fotogrametrijskih snimaka.....	6
2.2.5. Stereoskopsko snimanje.....	6
2.3. Pregled vrsta fotogrametrije.....	8
2.3.1. Specifičnosti podvodne fotogrametrije	9
2.3.2. Primjena podvodne fotogrametrije.....	10
2.4. Softverski alati za obradu podataka.....	10
3. MATERIJALI I METODE	12
3.1. Opis problema i odabir lokacija za snimanje.....	12
3.1.1. Zaštićena vrsta školjkaša - kamotočac <i>Pholas dactylus</i> u maloj luci Specijalne bolnice za ortopediju i rehabilitaciju “Martin Horvat” Rovinj	12
3.1.2. Pregled obraštaja i procjena biodiverziteta na nogarima platforme Ivana B	13
3.1.3. Pregled strukture, izrada modela i procjena biodiverziteta umjetnog grebena Žontuja, Poreč..	16
3.2. Korištena oprema	17
3.2.1. DJI Air 3 Fly More Combo.....	18
3.2.2. CHASING M2	19
3.3. Postupak snimanja.....	21
3.3.1. Planiranje snimanja	21
3.3.2. Postavljanje opreme.....	21
3.3.3. Izvođenje snimanja.....	21
3.3.4. Pregled i pohrana podataka.....	22
3.3.5. Naknadno snimanje (ako je potrebno)	22
3.4. Obrada prikupljenih podataka.....	22
3.4.1. Softverski alati korišteni za obradu podataka	22
3.4.2. Postupci obrade zračnih i podvodnih podataka.....	24
3.5. Potrebne dozvole za korištenje drona	29
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	33
4.1. Analiza kvalitete prikupljenih podataka	33
4.1.1. Točnost georeferenciranja	33
4.1.2. Kvaliteta generiranih modela	34
4.2. Primjena rezultata u geoinformatičkoj analizi.....	36
4.2.1. Studija slučaja: Kartiranje terena/značajki (mala lučica OB Martin Horvat)	36
4.2.2. Studija slučaja: Detekcija promjena u okolišu (umjetni greben Žontuja Poreč).....	41

4.2.3. Studija slučaja: Biocenoška istraživanja (nogari platforme Ivana B).....	43
5. DISKUSIJA.....	46
6. ZAKLJUČAK.....	49
LITERATURA	51
POPIS SLIKA.....	53
PRILOZI	55

SAŽETAK

Ovaj rad daje pregled tehnika zračne i podvodne fotogrametrije, obrade i analize podataka, s fokusom na prikupljanje podataka pomoću dronova/UAV-ova (bespilotnih letjelica) i ROV-ova (daljinski upravljanih vozila). U tu svrhu korišten je dron DJI Air 3 za zračno snimanje te CHASING M2 ROV za podvodno snimanje odabranih lokacija-objekata. Prikupljeni podaci (videozapisi i slike) obrađeni su u softveru Agisoft Metashape i dodatno analizirani u programu CloudCompare, što je rezultiralo izradom preciznih 3D modela i ortofoto snimaka. Rad također razmatra pravne aspekte upravljanja dronovima, uključujući certifikaciju mrežne obuke, registraciju operatera, osiguranje i dobivanje potrebnih dozvola. Cilj ovog primijenjenog istraživanja bio je procijeniti potencijal fotogrametrijskih tehnologija u 3D kartiranju staništa, dokumentiranju podvodnih struktura i praćenju stanja okoliša, te istaknuti izazove i prednosti integracije zračne i podvodne fotogrametrije u istraživanju mora.

Ključne riječi:

Fotogrametrija, zračni dron, podvodni ROV, Agisoft Metashape, CloudCompare, 3D mapiranje staništa, umjetni greben, podvodne strukture, monitoring okoliša, istraživanje mora.

ABSTRACT

This work provides an overview of aerial and underwater photogrammetry techniques, focusing on data acquisition with drones/UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) and ROVs (Remotely Operated Vehicles), followed by data processing and analysis. For this purpose, the DJI Air 3 drone was used for aerial imaging and the CHASING M2 ROV for underwater recordings. The collected data (videos and images) were processed with Agisoft Metashape and further analyzed in the CloudCompare software, resulting in the creation of accurate 3D models and orthophotos. This work also discussed the legal aspects of operating drones, such as network training certification, operator registration, insurance and obtaining the necessary authorizations. The aim of this applied research was to assess the potential of photogrammetry technologies in 3D mapping of habitats, documentation of underwater structures and environmental monitoring, as well as to highlight the challenges and benefits of integrating aerial and underwater photogrammetry in marine research.

Keywords:

Photogrammetry, Air drone, Underwater ROV, Agisoft Metashape, CloudCompare, 3D habitat mapping, Artificial reef, Underwater structures, Environmental monitoring, Marine research.

1. UVOD

Temu diplomskog rada „Primjena zračne i podvodne fotogrametrije u svrhu geoinformatičke analize staništa, obraštaja i utvrđivanje prisutnih vrsta“ odabrao sam nakon konzultacija s mentorom i neposrednim voditeljem, određivanje nultog stanja obale - staništa školjkaša kamotočca (*Pholas dactylus*) i procjenu obraštaja i bioraznolikosti prisutnih zajednica podmorskih nosivih struktura (nogara) plinskih eksploatacijskih platformi kao umjetnog grebena (UG) fotogrametrijom.

Na temelju stečenih znanja iz informatike i računarstva prilikom izrade ovog diplomskog rada pomogao sam uspostaviti sustav za zračnu i podvodnu fotogrametriju u Centru za istraživanje mora Rovinj (IRB), od savjetovanja prilikom nabave (ROV, Dron, Računalo) do prilagodbe opreme i uhodavanja programa za stvaranje modela (Agisoft Metashape) i analizu (CloudCompare).

Predmetni diplomski rad, uspostavljen sustav i nabavljena oprema pomoći će IRB-u prilikom daljnjih praćenja promjena tijekom vremena (monitoring) predmetnih lokacija i struktura.

U Hrvatskoj znanstvenoj zajednici osim u području geodezije, arhitekture i arheologije rijetko ili se ne provode fotogrametrijska *in situ* istraživanja. Cilj ovog diplomskog rada je prikazati teorijske osnove, metode i mogućnost praktične primjene zračne i podvodne fotogrametrije u geoinformatičkoj analizi za potrebu bioloških istraživanja. Konkretni ciljevi uključuju:

1. Pregled dostupnih tehnologija i softverskih alata korištenih u zračnoj i podvodnoj fotogrametriji.
2. Snimanje i prikupljanje pomoću zračnih i podvodnih vozila.
3. Vizualizacija struktura i stvaranje 3d modela pomoću Agisoft Metashape programa za fotogrametriju.
4. Prikaz rezultata i analiza kvalitete i točnosti prikupljenih podataka.
5. Analiza i usporedba modela pomoću CloudCompare programa.
6. Primjena fotogrametrije u konkretnim studijama slučaja: izrada modela i mapiranje obalnog područja mediolitorala staništa ugrožene vrste školjkaša (kamotočac *Pholas dactylus*); podvodnih struktura (nogara) platformi i umjetnog grebena Žontuja.
7. Vrednovanje mogućnosti i ograničenja korištenih tehnika prikupljanja podataka i programa za izradu modela u kontekstu različitih bioloških znanstvenih istraživanja i stručnih primjena.

2. TEORIJSKI PREGLED

Fotogrametrija je tehnika koja omogućava dobivanje trodimenzionalne (3d) informacije s fotografija, a zasniva se na principu paralakse, odnosno promjene položaja objekta i/ili točke snimanja (gledišta). Softver za fotogrametriju odgovoran je za poravnavanje, teksturiranje i spajanje slika za kreiranje 3D modela koji se može pregledati, uređivati i dalje analizirati [1].

Fotogrametrija se sastoji od uzimanja nekoliko superponiranih slika iz različitih točaka gledišta i njihove obrade pomoću softvera koji izdvaja geometrijske informacije svake slike, poput oblika, volumena i dubine objekta. Softver za fotogrametriju može poravnati, teksturirati i povezati slike kako bi se kreirali 3D modeli [1].

3D fotogrametrija je vrlo koristan alat za arhitekte, inženjere, geodete i znanstvenike (biologe), jer im omogućava u kreiranju topografske karte, oblake točaka, mreže ili raspodjela organizama na osnovu stvarnog stanja na temelju slika i/ili videa. To je ujedno i najlakši način 3D skeniranja, koristeći samo programe za fotogrametriju, bez potrebe za dodatnom skupom opremom.

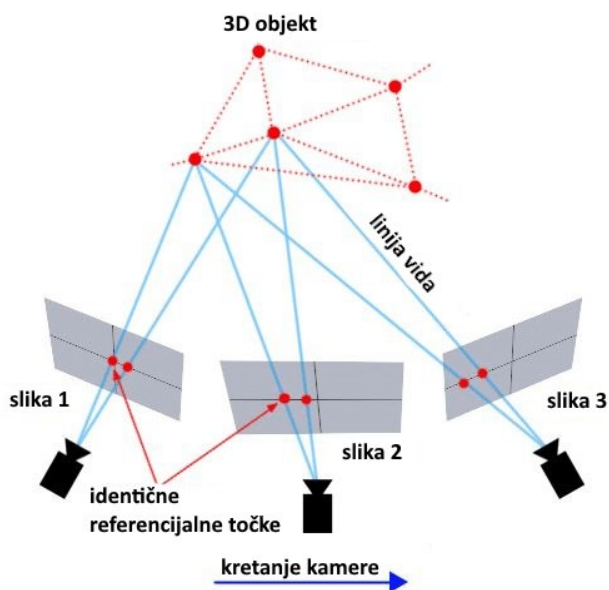
2.1. Osnovni koncepti i principi

Fotogrametrija, je tehnika određivanja oblika, veličine ili položaja nekog objekta snimanjem, mjerenjem i interpretacijom fotografskih snimaka. Zasniva se na činjenici da snimka nastaje prema određenim geometrijskim i optičkim zakonitostima, pa je njihovim poznavanjem moguće na osnovi snimke djelomično ili u potpunosti rekonstruirati snimljeni objekt [2].

2.2. Fotogrametrijske tehnike

Fotografije su centralne perspektive, što znači da svaka zraka svjetla koja je doprla do fotosenzora je prošla kroz leću (matematički gledana kao jedna točka tzv. „perspektivni centar“) fotografskog aparata. Žarišna duljina, koja se još zove i „glavna duljina“ je udaljenost od projiciranog centra do glavne točke koja se nalazi u ravnini slike [4].

Unutarnja geometrija je definirana žarišnom duljinom, pozicijom glavne točke i distorzijom leće. Da bi se uspostavila 3D točka, potrebno je definirati matematičko sjecište barem dvije „linije vida“ u prostoru ili između „linije vida“ i površine na kojoj se nalazi ta točka (**Slika 1**).



Slika 1. Prikaz principa fotogrametrije.

(<http://www.clemson.edu/restoration/wlcc/files/photogrammetry.jpg>).

Linije vida su dvije lokacije od fotografije do točke objekta, ponekad linije se još zovu zrakama zbog svoje optičke prirode. Snop solucija je moguća ako se objekt prikazuje na tri ili više fotografija gdje su dostupna sveukupna mjerenja u isto vrijeme, što omogućava dobivanje 3D koordinata točke ciljanog objekta [4].

2.2.1. Vertikalna fotogrametrija

Vertikalna fotogrametrija se većinom koristi fotografijom iz zraka, fotografiranjem iz zrakoplova. Povećanje u fotografijama može poslužiti za početnu ideju ili za studiju kod izgradnje. Da bi se postigla što točnija karta (prikaz), potrebna je rektifikacija. Rektifikacija kod snimanja iz aviona se postiže pomicanjem i naginjanjem fotografskih aparata tako da je u paraleli sa tlom. Ako je tlo reljefno, onda su rektificirane fotografije pogrešne te se u tom slučaju koriste ortofoto fotografije – diferencijalno rektificirane fotografije geometrijski identične karti. Može se koristiti jedna ili više kamera u istom okviru kao npr. linijske kamere [4].

2.2.2. Horizontalna fotogrametrija

U usporedbi sa zračnom fotogrametrijom, kopnena nije ograničena na vertikalnu fotografiju sa posebnim kamerama. Metodologija kopnene fotogrametrije se drastično promijenila kroz vrijeme zahvaljujući novim tehnologijama i tehnikama prikupljanja podataka (CMOS i CCD kamere, fotoskenir), obradi podataka (kompjuterski programi), strukturiranja i prezentacije (programi za kompjuterske simulacije i animacije) arhiviranja, pretraživanja i analiziranja podataka. U fotogrametriji kada se radi o malim udaljenostima, onda se govori o dobivanju geometrijskih informacija, veličini i obliku objekta [4].

Na osnovi jedne snimke mogu se odrediti dvodimenzijaska svojstva objekta, tj. provesti potpuna rekonstrukcija približno ravnog objekta (npr. zemljišta, pročelja zgrade) ili djelomična rekonstrukcija prostornog objekta (npr. obrisa nekog predmeta).

Za određivanje trodimenzijskih svojstava objekta potrebno je načiniti dvije snimke, tzv. stereopar, iz različitih kutova snimanja. Takvo se snimanje naziva stereoskopskim, a fotogrametrijska rekonstrukcija uz pomoć stereoparova naziva se stereofotogrametrijom [2].

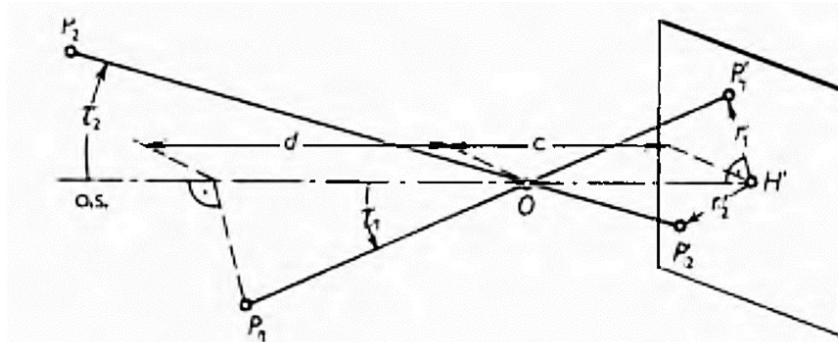
Prema položaju snimanja, fotogrametrija se dijeli na aerofotogrametriju, gdje se objekti snimaju iz zrakoplova, satelita ili sonde, i terestričku fotogrametriju, kod koje se objekti snimaju s tla. Aerofotogrametrija je usmjerena na vertikalno snimanje, dok je terestrička fotogrametrija horizontalna. Snimanje se najčešće provodi posebno kalibriranim kamerama, što olakšava orijentaciju snimke i rekonstrukciju geometrijskih odnosa. Stereoskopsko snimanje bliskih objekata obavlja se stereokamerom, dok se za zračne snimke koriste automatske aerokamere. Danas su digitalne kamere i mobilni uređaji gotovo u potpunosti zamijenili klasične fotografske kamere. Rekonstrukcija geometrije snimljenog objekta uključuje orijentaciju i izmjeru, što se u analognoj fotogrametriji provodi optičko-mehaničkim uređajima. Analitička fotogrametrija koristi računalnu obradu za numeričku rekonstrukciju, dok digitalna fotogrametrija, u kombinaciji s tehnikama računalne obrade slike, omogućuje gotovo potpuno automatiziranu izradu trodimenzionalnih modela.

Fotogrametrija je tehnika mjerenja pomoću koje se iz fotografskih snimaka izvodi oblik, veličina i položaj snimljenog predmeta, a tom tehnikom izvršena izmjera naziva se fotogrametrijska izmjera ili kraće fotoizmjera. Kod primjene fotogrametrije u geodetske svrhe iz snimljenog se objekta - zemljište s njegovim prirodnim i umjetnim pojedinostima, fotogrametrijskim metodama dobiva samo situacija ili situacija s konfiguracijom. Generalno od snimljenog se objekta dobiva dvodimenzionalna (ravninska) ili trodimenzionalna (prostorna) predodžba. Danas se fotogrametrijska izmjera ne vrši direktno na samom objektu, već se objekt može snimiti iz velike udaljenosti. Navedeno stvara mogućnost primjene izmjere u novim područjima, gdje se ona do sada zbog nepristupačnosti objekta nije koristila ili je bila nemoguća (prašume, ledenjaci, pustinje, močvare, more, umjetni grebeni itd.). Okolnost pak da se kratkotrajnom ekspozicijom snima cijela (vrlo često i golema) površina, tj. 002 točaka, odjedanput, a ne točka po točku, što čini fotogrametrijsku metodu izvanredno brzom [3].

Fotogrametrijom se plan može izraditi ne samo konturno (samo s graničnim linijama između raznovrsnih elemenata i generaliziranom predodžbom tih elemenata), već i tako da on sadrži također sve pojedinosti vidljive s položaja kamere kojom se snima. To pri primjeni u geodeziji nije uvijek potrebno, a katkada nije ni poželjno, ali takav plan u fotografskom obliku predstavlja novu kvalitetu za veliki broj drugih područja, kao što su hidrotehnika, projektiranje komunikacija, urbanizam, arheologija. Ovo su glavne osobine, ali ne i jedine, koje su uvjetovale brz prodor i afirmaciju fotogrametrijske metode u izmjeri raznovrsnih područja [3].

2.2.3. Optičko preslikavanje pri fotografskom snimanju

Kako je u fotogrametriji objektiv pojmovno i materijalno sa snimkom čvrsto povezan u kameru, neki optički pojmovi koji se odnose na objektiv prevode se u fotogrametrijske pojmove koji se odnose na kameru [3].



Slika 2. Geometrijska predodžba optičkog preslikavanja (Fotografija: Tehnička enciklopedija).

2.2.4. Perspektiva fotogrametrijskih snimaka

Perspektiva fotogrametrijskog preslikavanja određena je položajem projekcionog središta objektiva kamere i smjerom osi snimanja koja kroza nj prolazi. Projekciono središte nalazi se u središtu ulazne pupile UP (**Slika 2**). Na snimku (fotogramu) bit će preslikano sve što bi se vidjelo iz središta UP ulazne pupile objektiva, a što je obuhvaćeno vidnim poljem kamere [3].

U fotogrametriji upotrebljava se pojednostavnjena predodžba optičkog preslikavanja koja potpuno zadovoljava za analizu geometrijskih odnosa, naročito diferencijalnih. Ako se može zamisliti da je snimak nastao kao rezultat idealne centralne projekcije, kaže se da je takav snimak nedeformiran, a ako snimak od tog svojstva odstupa, to se odstupanje zove deformacija snimka (fotograma). Optička deformacija fotograma izazvana je pogreškom objektiva koja se zove distorzija. Položaj projekcionog središta naziva se u geodeziji stajalište. U aerofotogrametriji, gdje pri snimanju iz aviona kamera kojom se snima nije nepokretna, te prema tome nije nepokretno ni projekciono središte, te se položaj naziva snimalište [3].

2.2.5. Stereoskopsko snimanje

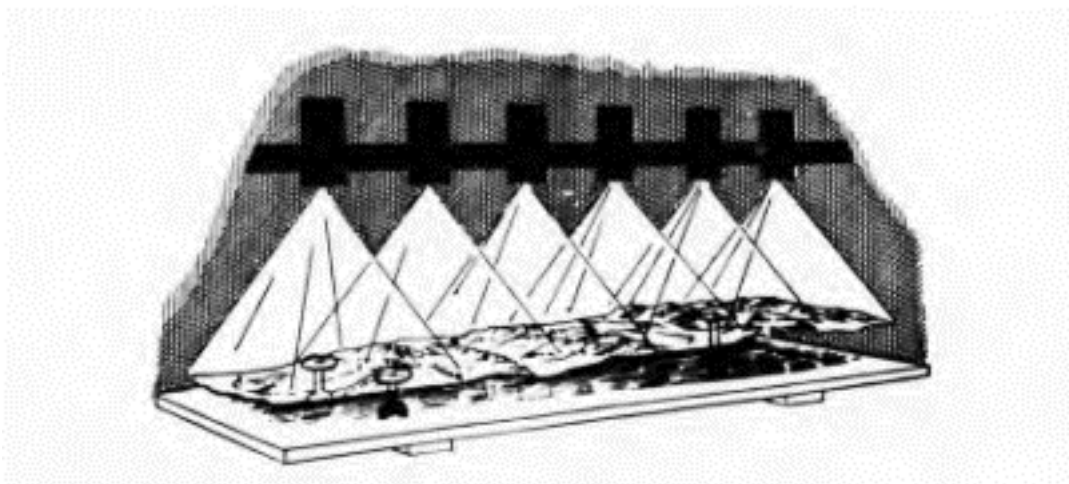
Sve što je dosad rečeno odnosi se na pojedinačni snimak, tj. na snimak snimljen s jednog snimališta. S pomoću jednog takvog snimka može se rekonstruirati snimljeni objekt ako je on ravan, ili približno ravan (npr. horizontalno zemljište). Ako je predmet prostoran, trodimenzionalan, treba ga radi njegove fotogrametrijske rekonstrukcije snimiti s dva snimališta. Takvo se snimanje naziva stereoskopsko snimanje, dobivena dva snimka zovu se stereopar, a fotogrametrijska rekonstrukcija s pomoću stereoparova naziva se stereofotogrametrijom [2].

Ako je geometrija nepoznata, jedna fotografija nije dovoljna da bi dobili 3D objekt. U ovom slučaju su potrebne najmanje dvije fotografije koje se prema stereografskom principu mogu spojiti te dati pregled koji omogućava prostornu (stereoskopsku) impresiju objekta. Koristeći „stereo parove“ fotografija mogu se rekonstruirati proizvoljni oblici dokle god je područje interesa prikazano na obje slike. Smjer fotografskih aparata treba biti međusobno paralelan da bi se postigao što bolji rezultat. Kod ovog pristupa koriste se uglavnom metričke kamere (poznata je i

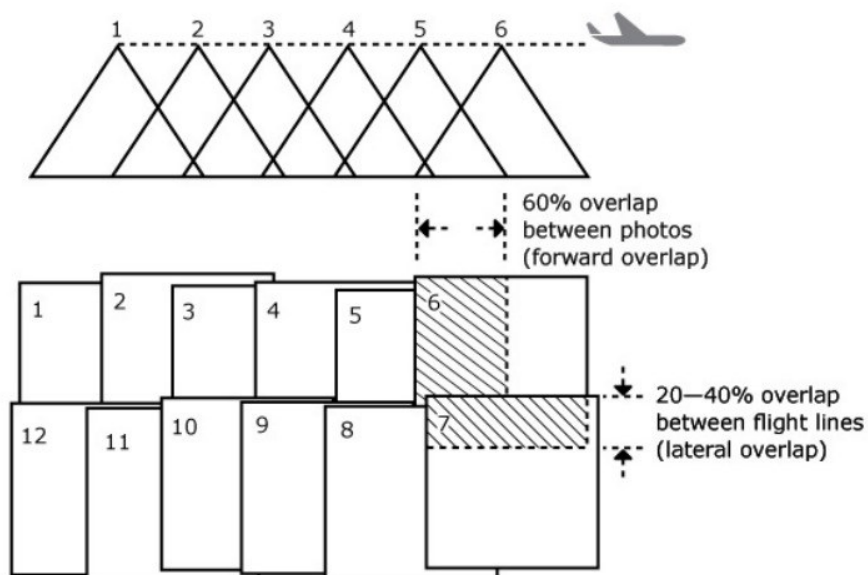
kalibrirana unutarnja orijentacija) s lećama koje imaju zanemarivo izobličenje, te bi omjer udaljenosti između dviju kamera i objekta bi trebao biti između 1:5 i 1:15 [4].

Stereografskom restitucijom možemo dobiti:

- 3D žičane (*engl. wireframe*) i površinske modele,
- listu koordinata,
- 2D nacрте.



Slika 3. Aeropoligonizacija.



Slika 4. Prikaz potrebnog preklapanja fotografija

(<http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/images/photo>).

Fotogrametrija je znanost dobivanja pouzdanih informacija o svojstvima površine i objekata bez fizičkog kontakta sa predmetima, te mjerenje i tumačenje tih podataka [9]. Naziv fotogrametrija je izveden iz tri grčke riječi: „phos“ ili „phot“ što znači svjetlo, „gramma“ što znači slovo ili nacртano te „metrein“ jedinica mjere.

Razvoj fotogrametrije se može podijeliti na faze: Prva generacija počinje od otkrića fotografije 1839. godine (primjena fotografiranje iz zračnog balona) koja traje do 1901. godine. Druga generacija započinje Pulfrichovim izumom stereofotogrametrije, a glavni temelji tehnike su uspostavljeni tijekom 1. i 2. svjetskog rata te se fotogrametrija nameće kao neophodna tehnologija potrebna kod istraživanja i kartografije. Pojavom kompjutera počinje treća generacija ili analitička fotogrametrija, nedugo nakon, pojavljuju se prvi kompjuterski programi specijalizirani za fotogrametrijske izračune [4]. Četvrta generacija još se zove digitalna fotogrametrija, a započinje otkrićem digitalne kamere.

Osnovni princip fotogrametrije temelji se na triangulaciji, dok se izbor tehnologije prilagođava specifičnoj primjeni. Na primjer, udaljenost između dviju točaka na površini paralelnoj s ravninom slike može se odrediti mjerenjem te udaljenosti na fotografiji, pod uvjetom da je skala (x) slike poznata. Ova udaljenost se zatim množi s faktorom $1/x$ kako bi se dobila stvarna udaljenost.

Fotogrametrija nalazi široku primjenu u različitim područjima, uključujući topografsku kartografiju, arhitekturu, inženjering, kontrolu kvalitete i geologiju. U arheologiji, omogućuje brzu izradu nacrtu velikih ili složenih nalazišta, dok se u meteorologiji koristi za određivanje stvarne brzine vjetera, primjerice kod tornada.

Također, fotogrametrija se često koristi u industriji zabave za stvaranje fotorealističnih prikaza okoliša u video igrama te za izradu 3D modela objekata. Najčešće se koriste metričke kamere, posebni digitalni fotoaparati, no moguće je koristiti i obične digitalne kamere. Ova tehnologija omogućava izradu 3D modela ljudi i životinja, što je korisno u raznim industrijama.

2.3. Pregled vrsta fotogrametrije

S obzirom na to da se snimanje u fotogrametriji provodi s udaljenosti, ova metoda ima široku primjenu u raznim disciplinama. U geodeziji, aerofotogrametrija ubrzava i pojednostavljuje proces mjerenja zemljišta i izrade karata, dok u inženjerstvu olakšava trasiranje prometnica, prostorno planiranje i hidrotehničke projekte. Aerosnimke nalaze primjenu i u arheologiji, geologiji, geografiji, te su od velike važnosti za vojne svrhe.

Terestrička fotogrametrija se već dugo koristi u kriminalistici, arhitekturi i zaštiti kulturnih spomenika, a digitalne metode omogućile su širenje primjene i na područja poput medicine i industrije. Ova tehnologija omogućava praćenje promjena na ledenjacima, deformacija zgrada, te pojavu i širenje pukotina na konstrukcijama, te je nezaobilazna u kartiranju i istraživanju planetarnih površina.

Treba naglasiti da je terestrička fotogrametrija jednostavnija u usporedbi sa zračnom, jer je položaj i orijentacija kamere unaprijed poznata za svaku snimku. Ipak, ključni faktori koji mogu utjecati na kvalitetu rezultata su osvjetljenje, preklapanje između slika i njihova razlučivost. Također, treba paziti da u kadru nema pokretnih objekata koji bi mogli ometati ili zakloniti dijelove scene.

Kod zemaljske fotogrametrije slike se snimaju ručnim fotoaparatom ili se fotoaparat postavlja na stativ. Cilj ove metode nije stvaranje topografskih karata, ali se može napraviti 3D model manjeg objekta.

Aerofotogrametrija je proces korištenja zrakoplova ili dronova za izradu fotografija iz zraka koje se mogu pretvoriti u 3D model područja ili digitalnu mapu. Dronovi su olakšali snimanje teško dostupnih ili nepristupačnih područja gdje bi tradicionalno snimanje moglo biti opasno ili nepraktično. Aerofotogrametrija se uglavnom koristi za izradu karata i modela terena za razvoj inženjerskih, infrastrukturnih, poljoprivrednih ili ekoloških projekata. Aerofotogrametrija je složenija od zemaljske, budući da se u trenutku snimanja ne zna ni položaj ni orijentacija kamere. Iz tog razloga, potreban je kontrolni sistem koji omogućava georeferenciranje slika sa točkama podrške na tlu. Osim toga, izobličenje uzrokovano perspektivom, atmosferom i kretanjem mora se uzeti u obzir [1].

Zračna fotogrametrija je tehnika prikupljanja prostornih podataka pomoću snimaka iz zraka, najčešće uz korištenje letjelica poput dronova, zrakoplova ili satelita. Osnovni princip zračne fotogrametrije temelji se na analizi fotografija snimljenih iz različitih točaka gledanja, čime se omogućuje stvaranje trodimenzionalnih modela terena ili objekata.

Postoji nekoliko metoda prikupljanja podataka u zračnoj fotogrametriji, koje se razlikuju prema tipu letjelice i tehnologiji korištenoj za snimanje. Dronovi su sve popularniji alat zbog svoje fleksibilnosti i sposobnosti snimanja detaljnih slika s niskih visina.

Zrakoplovi omogućuju snimanje većih područja u kratkom vremenskom razdoblju, dok sateliti omogućuju snimanje velikih dijelova Zemljine površine iz orbite, što je korisno za globalne analize. U svim slučajevima, korištenje GPS tehnologije i inercijalnih mjernih jedinica (IMU) omogućeno je precizno određivanje pozicije i orijentacije kamere tijekom snimanja, što je ključno za točnost konačnih proizvoda.

Proces obuhvaća nekoliko koraka: planiranje leta, snimanje fotografija, obradu slika, georeferenciranje i generiranje ortofoto karata ili 3D modela. Zračna fotogrametrija pruža visok stupanj preciznosti i široku primjenjivost u različitim područjima, uključujući kartografiju, urbanističko planiranje, poljoprivredu, ekologiju i civilno inženjerstvo. Profesionalci koriste dvije vrste fotografskih sustava s metričkim svojstvima: zračne (*engl. aerial*) kartografske kamere i kopnene (*engl. terrestrial – close range*) kamere.

2.3.1. Specifičnosti podvodne fotogrametrije

Podvodna fotogrametrija razlikuje se od zračne zbog specifičnih izazova koje postavlja podvodno okruženje. Svjetlost se pod vodom drugačije širi, što uzrokuje promjene u boji i kontrastu snimaka, a vidljivost može biti ograničena zbog prisutnosti čestica u vodi. Također, distorzija slike uzrokovana lomom svjetlosti na granici vode i zraka može utjecati na preciznost podvodnih snimaka. Unatoč tim izazovima, podvodna fotogrametrija omogućuje precizno dokumentiranje podvodnih struktura, arheoloških nalazišta, morskih ekosustava i inženjerskih projekata. Za snimanje se često koriste podvodne kamere, ROV-ovi (*engl. Remote Operated Vehicles*) i ronilačka oprema [5].

Tehnike snimanja u podvodnoj fotogrametriji uključuju upotrebu više kamera postavljenih pod različitim kutovima ili sekvencijalno snimanje pomoću jedne kamere. Važno je održavati konstantnu udaljenost i orijentaciju kamere u odnosu na snimani objekt kako bi se osigurala kvaliteta podataka.

Snimke se zatim obrađuju pomoću softvera sličnog onom korištenom u zračnoj fotogrametriji, ali uz dodatne korake prilagodbe radi korekcije distorzije i poboljšanja vidljivosti. Tehnike poput fotogrametrijske rekonstrukcije pomoću strukture iz pokreta (SfM) i fotogrametrijske triangulacije ključne su za generiranje preciznih 3D modela podvodnih objekata i terena.

2.3.2. Primjena podvodne fotogrametrije

Podvodna fotogrametrija nalazi široku primjenu u različitim područjima. U arheologiji, koristi se za dokumentiranje i analizu potopljenih arheoloških lokaliteta, dok u ekologiji omogućuje praćenje stanja morskih ekosustava, kartiranje koraljnih grebena i procjenu biološke raznolikosti [5].

U inženjerskim projektima, podvodna fotogrametrija omogućuje inspekciju i praćenje stanja podvodnih infrastrukturnih objekata poput naftnih platformi, cjevovoda i hidroelektrana. Ova tehnologija također igra ključnu ulogu u znanstvenim istraživanjima morskih dubina i potopljenih urbanih područja [6].

2.4. Softverski alati za obradu podataka

Obrada podataka prikupljenih fotogrametrijom zahtijeva korištenje specijaliziranih softverskih alata. Softver za fotogrametriju je program koji je odgovoran za obradu slika i stvaranje 3D modela. Postoje različite opcije, besplatne i plaćene, a koje nude različitu funkcionalnost i razine mogućnosti npr. Agisoft Metashape, ReCap, Meshroom ili Pix4D.

Među najčešće korištenim softverima su Pix4D, Agisoft Metashape i DroneDeploy, koji omogućuju automatsko generiranje 3D modela, ortofoto karata i digitalnih modela terena (DTM). Ovi alati koriste napredne algoritme za obradu slika, uključujući stereoparalaksu i rekonstrukciju strukture iz pokreta (SfM), kako bi iz dvodimenzionalnih snimaka generirali precizne trodimenzionalne reprezentacije prostora. Softverski alati također omogućuju georeferenciranje, kalibraciju kamere, filtriranje podataka i analizu rezultata, što je ključno za osiguranje točnosti i pouzdanosti prikupljenih podataka [7].

Korištenje softvera za fotogrametriju ovisi o vrsti i formatu slika, cilju i kvaliteti 3D modela, te odabranom programu. Osnovni koraci su:

- Uvoz slika i koje program poravnava i stvori oblak točaka.
- Pročistiti oblak točaka uklanjanjem šuma i nepotrebnih točaka.
- Generiranje poligonalne mreže iz oblaka točaka i dodavanje teksture na temelju izvornog fotografskog materijala.

- Izvoz modela u formate kompatibilne s drugim softverima poput CloudComparea¹, Revita², AutoCAD-a³ ili Blendera⁴.

Neki programi pružaju dodatne mogućnosti kao što su:

- Korekcija geometrijske distorzije i radiometrijskih karakteristika slike.
- Georeferenciranje slika pomoću GPS koordinata ili referentnih točaka.
- Izrada ortofotografija, karata ili izrada konturnih linija na temelju 3D modela.
- Primjena filtera, izrezivanje i uređivanje 3D modela.
- Korištenje algoritama temeljenih na umjetnoj inteligenciji radi optimizacije i ubrzavanja procesa.

¹ <https://www.autodesk.com/products/revit/>

² <https://www.cloudcompare.org/>

³ <https://www.autodesk.com/products/autocad/>

⁴ <https://www.blender.org/>

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Opis problema i odabir lokacija za snimanje

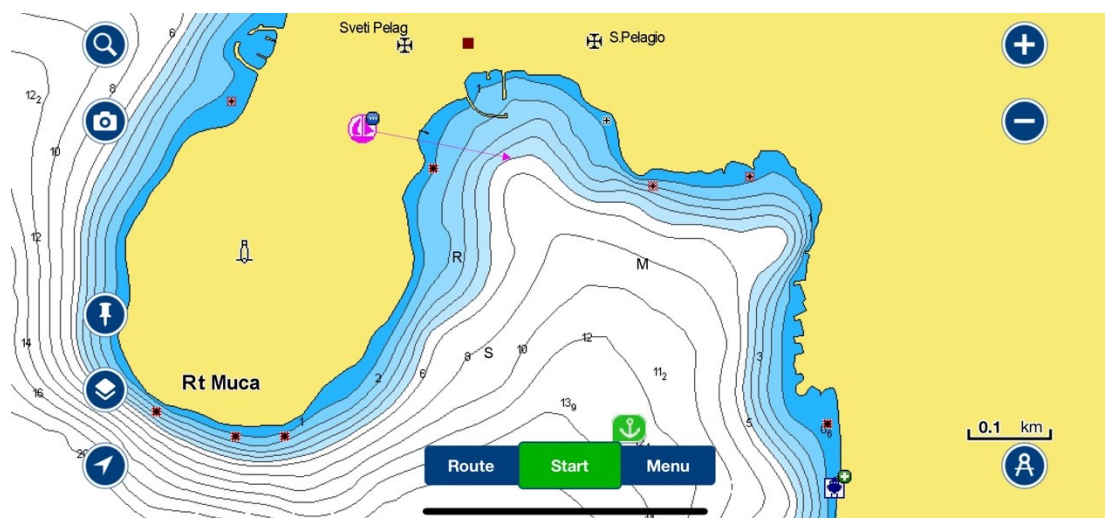
Ovaj rad je napravljen za potrebu znanstvenih i primijenjenih istraživanja, utvrđivanja ugroženosti lokalnog staništa zaštićene ugrožene vrste školjkaša kamotočca (*Pholas dactylus*) u maloj luci Specijalne bolnice za ortopediju i rehabilitaciju “Martin Horvat” Rovinj, te monitoringa bioraznolikosti obraštaja i zajednica na umjetnim grebenima (površinama) u moru (npr. Istarska županija UG Žontuja Poreč i INA plinske platforme Sjeverni Jadran).

3.1.1. Zaštićena vrsta školjkaša - kamotočac *Pholas dactylus* u maloj luci Specijalne bolnice za ortopediju i rehabilitaciju “Martin Horvat” Rovinj

Projekt zaštite lokalnog staništa zaštićene i ugrožene vrste školjkaša kamotočca (*Pholas dactylus*) (Slika 5, 6) je pokrenula Talijanska srednja škola (SMSI) Rovinj-Rovigno u suradnji sa Strukovnom školom Eugen Kumičić Rovinj, Javnom ustanovom Natura Histrica Istarske županije, gradom Rovinjom i Centrom za istraživanje mora Instituta Ruđer Bošković u sklopu projekta - Zeleni pojas INA 2023 [8].



Slika 5. Vanjski izgled ljušture i žive jedinke kamotočca *Pholas dactylus*.



Slika 6. Karta rovinjskog priobalja s označenom lokacijom staništa zaštićene vrste kamotočca *Pholas dactylus* u zoni plime i oseke u maloj lučici Specijalne ortopedске bolnice „Martin Horvat“, Rovinj.

Zbog neposredne blizine marine i turističkih plaža koje se nadohranjuju riječnim šljunkom, ova jedinstvena lokacija sa staništem zaštićene vrste školjkaša biva svake godine tijekom jakih valova za vrijeme oluja zatrpana materijalom sa susjednih plaža. Tijekom jedne organizirane akcije uklanjanja nanesenog materijala, pojavila se ideja da

pokuša 3D mapirati stanište i kvantificirati volumen nanesenog materijala u svrhu utvrđivanja ugroženosti i predlaganja mjera daljnje zaštite kamotočca na ovoj lokaciji (Slika 7).



Slika 7. Uklanjanje nanesenog materijala (IRB-SMSI Rovinj-Rovigno) na lokaciji staništa zaštićene vrste kamotočca tijekom 2022. godine.

3.1.2. Pregled obraštaja i procjena biodiverziteta na nogarima platforme Ivana B

U sklopu praćenja učinka aktivnosti i proizvodnje plina na INA plinskim eksploatacijskim platformama u sjevernom Jadranu prati se biodiverzitet i stanje obraštaja na nogarima nosive strukture platformi. Pregled obraštaja i uzorkovanje se obavlja pomoću SCUBA ronioca (0-20 m) uz foto i video dokumentiranje stanja (0 do < 70 m). Za potrebe ovog rada odabrana je platforma Ivana B kao primjer za fotogrametriju i izradu modela na temelju postojećih snimki (Slika 8, 9).

Ivana B je proizvodna platforma oslonjena na čeličnu strukturu sa tri noge. Nalazi se na plinskom polju Ivana u Sjevernom Jadranu na dubini mora od 43 m (N 44° 41' 15.180", E 13° 12' 52.490") puštena u pogon 2001. godine Ivana B je satelitska platforma koja je povezana s centralnom platformom Ivana A plinovodom. Platforma je bez posade, bez stambenog dijela, bez stabilne proizvodnje električne energije. Plin i slojna voda transportiraju se podmorskim cjevovodima promjera 0,273 m odnosno 0,089 m prema centralnoj stanici Ivana A. Električna energija proizvodi se generatorom na pogon vjetrom (vjetrenjačom) i solarnim panelima.



Slika 8. Platforma Ivana B.

Kvalitativna i kvantitativna analiza obraštaja (SCUBA uzorkovanje), autonomni ronionci uzorkovali su obraštaj na dubinama od 20, 10 i 3 metra. Uzimajući u obzir zabilježenu brojnost organizama, određena je površina uzorkovanja unutar kvadrata 20 x 20 cm [25].



Slika 9. Obraštajna zajednica na nogaru platforme (3 m) i dagnje, crni ježinci, rakovi vitičari i kolonije mahovnjaka u obraštaju nogara na 10 m dubine.

Sveukupno je utvrđeno 75 taksona morskih beskralježnjaka do sada, s ukupno 793 primjerka (**Tablica 1**). Treba napomenuti da je broj vrsta (S) i brojnost jedinki (N) preliminarne vrijednosti, budući je taksonomska obrada pojedinih faunističkih grupa zahtjevnija i dugotrajnija (Polychaeta), dok su sakupljeni primjerci nekih drugih grupa poslani na obradu izvan matične kuće (Bryozoa, Amphipoda, Cirripedia, Isopoda,

Decapoda). Osim toga, pojedine makrobentoske skupine imaju modularan rast, te tvore kolonije koje obično nije moguće razdvojiti međusobno i pravilno izbrojati.

Tablica 1. Kvalitativna i kvantitativna analiza makrofaune obraštaja.

20x20cm / Dubina	3 m	10 m	20 m
Abundancija N	336	267	190
Broj vrsta S	37	34	25
Biomasa B (g)	700,98	507,36	156,02
Biomasa (g/1 m²)	17.524,50	12.684,00	3.900,50

Osim sedentarnih vrsta makrofaune, tijekom ronjenja i temeljem foto i video dokumentacije, zabilježeno je također i pet vrsta riba. Jato crnelja (*Chromis chromis*) bilo je prisutno cijelom dužinom transektu, počevši već u plićem dijelu transektu. Miješano jato boba (*Boops boops*) i ušata (*Oblada melanura*) oko konstrukcije platforme držalo se u gornjem i srednjem sloju mora, a u dubljim dijelovima uočeni su primjerci fratra (*Diplodus vulgaris*), dok je pred kraj transektu uočena i jedna mala škarpina (*Scorpaena scrofa*).

Zabilježen broj jedinki (abundancija) je u rasponu od 336 (3 m) do 190 (20 m) jedinki, s vidljivom tendencijom pada s porastom dubine. Broj vrsta (diverzitet) se također smanjivao s porastom dubine. Najveći broj vrsta zabilježen je u najplićem dijelu transektu, 37 vrsta na 3 metra, dok je najmanji broj vrsta zabilježen na kraju profila uzorkovanja. Na 20 metara dubine zabilježeno je 25 vrsta makrozoobentosa u uzorku.

Biomasa (mokra težina) je bila vrlo velika, pogotovo u najplićem dijelu transektu, a smanjivala se s porastom dubine. Na 3 metra bila je 700,98, a na 20 metara tek 156,02 g/0,04 m². Najveći udio u zabilježenoj biomasi imali su veliki školjkaši (*M. galloprovincialis*, *N. cochlear* i *O. edulis*), koji su činili preko 50% ukupne mokre težine obraštajne zajednice.

Na gornjim, plićim dijelovima nogara platforme obraštaj je bio vrlo gust, uglavnom sastavljen od mnogobrojnih nakupina dagnji, pojedinačnih jedinki rakova vitičara i kolonija mahovnjaka, a sve su prekrivale crvene nitaste alge. Obraštaj je bio jednako gust i na prvoj vodoravnoj strukturi, zauzimajući većinu površine. S porastom dubine gustoća zajednice obraštaja je bila sve siromašnija i dominirao je tek niski obraštaj sastavljen od algi i obrubnjaka. Na oko 20 metara dubine isticale su se tek pojedinačne dubinske kamenice, a dagnji gotovo i nije bilo. Na većim dubinama obraštaj površina nogara je bila gotovo potpuno prekrivena obraštajem, s vrlo malo praznog prostora. Na 40 metara dubine procijenjena je kompletna prekrivenost površine nogara zajednicom obraštaja.

Preračunavanjem izmjerenih vrijednosti biomase na jedinicu površine dobivene su vrijednosti od početnih 17.524,5 (3 m) do tek 3.900,5 (20 m) kg mokre težine na 1 m². Potrebno je naglasiti da su iznesene vrijednosti dobivene preračunavanjem težine uzoraka, no tijekom ronjenja uočeno je dosta neoboraslih površina, bez velikih školjkaša, pogotovo u dubljim dijelovima transektu.

Prevladavanje mnogočetinaša (Polychaeta) i školjkaša (Bivalvia) u broju vrsta (S) i broju jedinki (N) duž cijelog transektu uzorkovanja. Školjkaši su dominirali u pogledu biomase (B) na cijelom transektu, u plićim dijelovima je to bila dagnja (*M.*

galloprovincialis), dok je u dubljim dijelovima zajednice to bila dubinska kamenica (*N. cochlear*). Biološka raznolikost zajednice obraštaja je također bila visoka, sveukupno je zabilježeno 75 vrsta morskih beskralješnjaka, 5 vrsta riba, te tri taksona makroalgi.

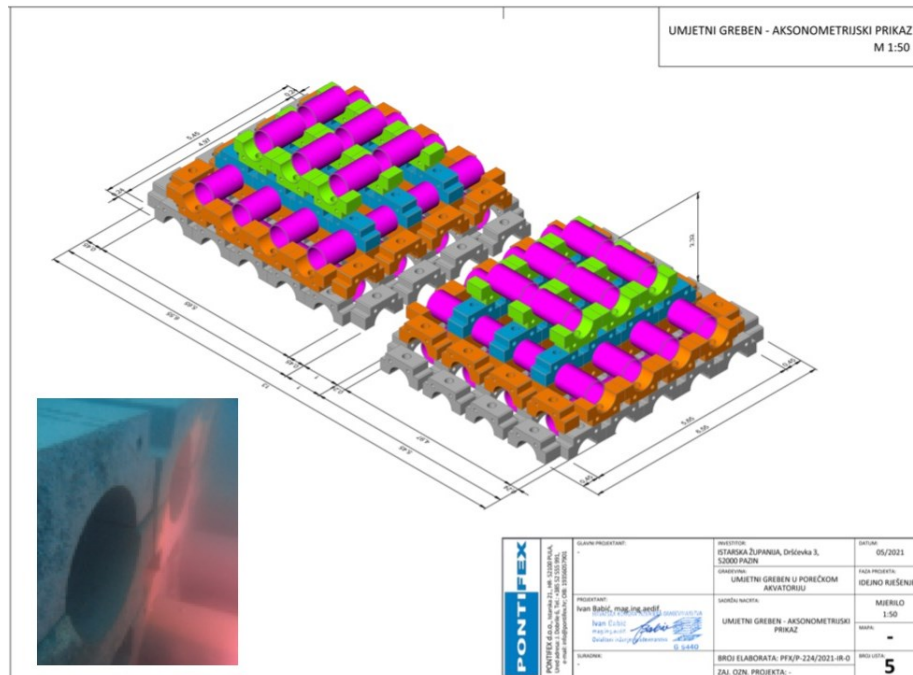
3.1.3. Pregled strukture, izrada modela i procjena biodiverziteta umjetnog grebena Žontuja, Poreč

U sklopu Interreg Italija-Hrvatska projekta “AdriSmArtFish” Istarska županija, Upravni odjel za poljoprivredu, šumarstvo, lovstvo, ribarstvo i vodno gospodarstvo postavio je umjetni greben u akvatoriju grada Poreča (**Slika 10**) [10].



Slika 10. Lokacija umjetnog grebena Žontuja u Porečkom akvatoriju.

U sklopu praćenja biodiverzita komercijalnih vrsti na i u blizini umjetnog grebena (UG) od strane Istarske županije i Centra za istraživanje mora Rovinj, ukazala se i potreba za izradom modela i praćenje stanja obraštaja u svrhu vremenskog monitoringa izgleda i stanja istog. UG se nalazi na dubine 26 m u neposrednoj blizini grada Poreča na lokaciji umjetnog grebena Žontuja (Poreč) 45,20525° N i 13,58001° E (**Slika 11**).



Slika 11. Umjetni greben Žontuja, Poreč: Aksonometrijski prikaz s jednim detaljem (SCUBA fotografija).

Umjetni greben je izgrađen nedaleko od obale od predgotovljenih betonskih elemenata i cijevi prema nacrtima u projektnoj dokumentaciji (projekt br. PFX/P-224/2021-IR-0). Udaljenost umjetnog grebena od obale iznosi cca 1,00 km (0,54 nautičke milje) od turističkog naselja Plava Laguna, te 2,60 km (1,40 nautičke milje) od Marine Poreč. Dubina na predmetnoj lokaciji iznosi 25,60 m [10].

Namjena grebena je proučavanje naseljavanja biljnih i životinjskih organizama formiranjem biocenoze što sličnije onima kakve se nalaze na prirodnim grebenima. Korištenje umjetnog grebena u znanstvenom smislu podrazumijeva detaljno dokumentiranje „nultog“ stanja na lokaciji ugradnje postavljanja, zapažanje i dokumentiranje postojećeg stanja podmorja kako bi se kasnijim, periodičkim istraživanjima moglo analizirati promjene u podmorskom ekosustavu nakon izgradnje umjetnog grebena. Istarska županija tj. Upravni odjel za poljoprivredu, šumarstvo, lovstvo, ribarstvo i vodno gospodarstvo postavljanjem ovog umjetnog grebena pokušava ostvariti održivo iskorištavanje obnovljivih prirodnih resursa [10].

3.2. Korištena oprema

Za prikupljanje podataka u ovom istraživanju korištena su dva uređaja: **DJI Air 3 Fly More Combo** (dron) za zračnu fotogrametriju i **CHASING M2** (ROV) za podvodnu fotogrametriju. Ovi uređaji omogućili su precizno snimanje i dokumentiranje kako nadzemnih tako i podvodnih struktura, što je ključno za analizu i izradu trodimenzionalnih modela u ovom radu.

3.2.1. DJI Air 3 Fly More Combo

DJI Air 3 je napredni dron koji je opremljen visokokvalitetnom kamerom s dvostrukim senzorima (**Slika 12**), što ga čini izuzetno pogodnim za zračnu fotogrametriju. Ovaj dron ima mogućnost snimanja fotografija visoke rezolucije (do 48 MP) i videozapisa u 4K kvaliteti, što osigurava detaljno i jasno bilježenje površinskih karakteristika terena.



Slika 12. Dron DJI Air 3 sa Fly More Combo opremom.

Neke ključne značajke DJI Air 3 koje su bile korisne u ovom istraživanju uključuju:

- **Dva kamerna senzora:** Sa širokokutnom i telefoto kamerom, dron omogućuje prikupljanje snimaka iz različitih perspektiva, što je korisno za generiranje preciznih trodimenzionalnih modela.
- **Dugotrajni let:** Baterije iz Fly More Combo paketa omogućuju ukupno do 46 minuta leta po bateriji, što je omogućilo duže snimanje velikih područja bez potrebe za čestim zamjenama baterija.
- **Automatsko planiranje leta:** DJI Air 3 podržava napredne funkcije planiranja leta i automatskog snimanja, što je ključno za dosljednost i točnost prikupljanja podataka.
- **Visoka stabilnost i preciznost:** Zahvaljujući naprednim senzorima za izbjegavanje prepreka i sustavu za precizno pozicioniranje, DJI Air 3 omogućava stabilno letenje i precizno snimanje, čak i u zahtjevnim uvjetima.

Ova oprema omogućila je prikupljanje visokokvalitetnih snimaka koje su se kasnije koristile za obradu i analizu u softverskim alatima za fotogrametriju, čime su generirani detaljni 3D modeli terena i objekata.

3.2.2. CHASING M2

CHASING M2 je napredni ROV (*engl. Remote Operated Vehicle*) dizajniran za podvodna istraživanja (**Slika 13**), koji se koristi za precizno snimanje podvodnih okruženja. Ovaj uređaj je posebno koristan za fotogrametriju zbog svojih mogućnosti manevriranja i snimanja u složenim podvodnim uvjetima.

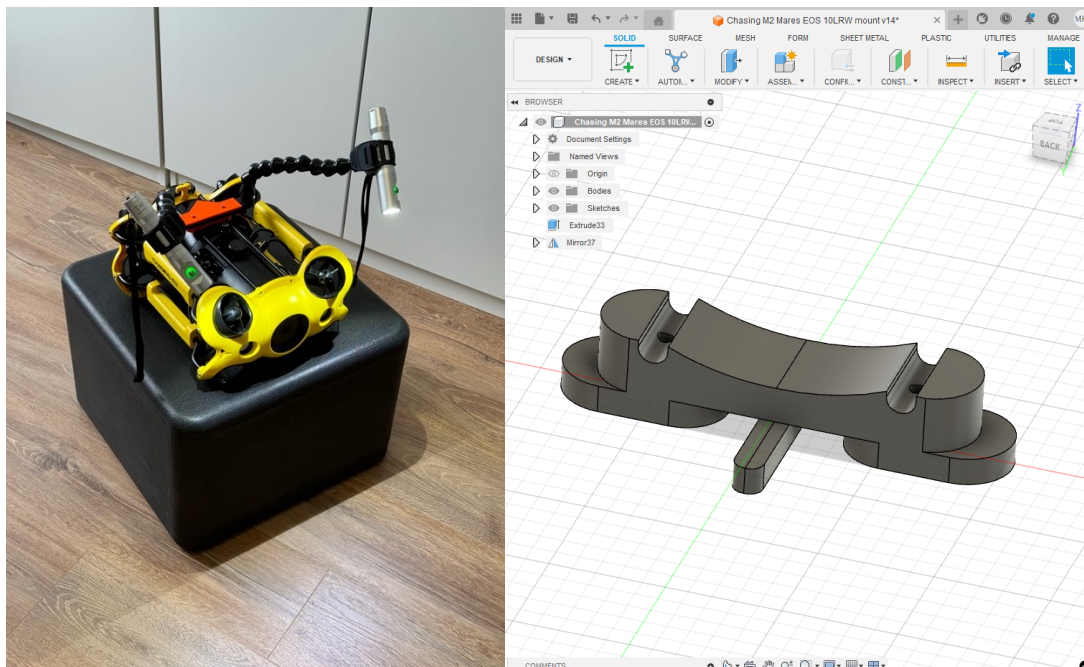


Slika 13. ROV Chasing M2 sa opremom.

Neke od ključnih značajki CHASING M2 koje su bile od pomoći u ovom istraživanju uključuju:

- **Kamera visoke rezolucije:** Opremljen je 4K kamerom s mogućnošću snimanja fotografija visoke rezolucije, CHASING M2 omogućuje detaljno dokumentiranje podvodnih struktura i okoliša.
- **Sposobnost dubokog ronjenja:** M2 može roniti do 100 metara dubine, što omogućuje istraživanje širokog spektra podvodnih okruženja, od plitkih obala do dubokih vodenih tijela.
- **Stabilnost i manevriranje:** Opremljen s osam horizontalnih i vertikalnih thruster-a, CHASING M2 pruža visoku razinu stabilnosti i preciznosti tijekom snimanja, čak i u strujama ili blizini podvodnih objekata.
- **Sposobnost rada u teškim uvjetima:** Zahvaljujući integriranim LED svjetlima i robusnom dizajnu, M2 može raditi u uvjetima slabog osvjetljenja i visoke zamućenosti, što je često slučaj u podvodnim istraživanjima.

CHASING M2 omogućio je prikupljanje kvalitetnih podataka iz podvodnih okruženja, koji su potom obrađeni i analizirani kako bi se dobili precizni 3D modeli i dokumentacija potrebna za ovo istraživanje. ROV je opremljen s dodatnom kamerom (GoPro 11) i dodatnim osvjetljenjem (MARES) koje omogućuje prikupljanje podataka iz podvodnih okruženja slabijeg osvjetljenja (**Slika 14**).



Slika 14. Korišteni ROV CHASING M2 s montiranom dodatnom kamerom (GoPro 11) i dodatnim osvjetljenjem (MARES) koje omogućuje prikupljanje podataka iz podvodnih okruženja slabijeg osvjetljenja. Adapteri za pričvršćivanje su vlastite proizvodnje (Prusa 3D printer).

Kombinacija DJI Air 3 Fly More Combo i CHASING M2 omogućila je sveobuhvatan pristup prikupljanju prostornih podataka iz zraka i pod vodom, čime su osigurani precizni i detaljni rezultati potrebni za provedbu ovog istraživanja.

3.3. Postupak snimanja

Proces snimanja podataka zračnom i podvodnom fotogrametrijom ključan je za osiguranje visoke kvalitete i preciznosti prikupljenih podataka. U ovom dijelu je objašnjen postupak snimanja za zračna i podvodna snimanja. Svaka od ovih metoda snimanja zahtijeva specifične korake kako bi se osigurala optimalna pokrivenost područja i kvaliteta podataka.

3.3.1. Planiranje snimanja

Planiranje je prvi i najvažniji korak u postupku snimanja, jer određuje točnu rutu leta drona ili putanju podvodnog vozila, kao i optimalne uvjete za snimanje. U ovoj fazi definiraju se:

- **Ciljana područja:** Mjesta koja treba snimiti, uključujući precizne granice područja istraživanja.
- **Visina leta/podvodnog ronjenja:** Optimalna visina ili dubina na kojoj će se snimati, kako bi se osigurala dovoljna rezolucija i preklapanje fotografija.
- **Uvjeti snimanja:** Analiza vremenskih uvjeta (za zračna snimanja) ili uvjeta u vodi (za podvodna snimanja), uključujući vidljivost, svjetlosne uvjete i strujanja.

3.3.2. Postavljanje opreme

Nakon planiranja, slijedi priprema i postavljanje opreme. To uključuje provjeru funkcionalnosti drona ili ROV-a, kalibraciju kamera i senzora, te osiguravanje da su svi uređaji potpuno napunjeni i spremni za snimanje.

DJI Air 3: Prije leta, dron se postavlja na startnu poziciju, a provjera stabilnosti GPS signala i kalibracija kompasa su ključni koraci kako bi se osigurao precizan let. Također, kamera se postavlja na odgovarajuće postavke, uključujući rezoluciju snimanja, ISO vrijednosti i balans bijele boje.

CHASING M2: Prije ronjenja, ROV se pažljivo pregledava kako bi se osiguralo da su svi spojevi vodootporni, te da su kamere i svjetla pravilno postavljena. Provjerava se funkcionalnost propelera i senzora te se prilagođavaju postavke kamere.

3.3.3. Izvođenje snimanja

Nakon postavljanja opreme, započinje stvarno snimanje. Snimanje se provodi prema unaprijed definiranim rutama kako bi se osigurao optimalan preklop snimaka i maksimalna pokrivenost područja.

Za zračno snimanje s DJI Air 3 let se izvodi prema planiranoj ruti s unaprijed postavljenim točkama (*engl. waypoints*). Kamera drona snima u kontinuiranom načinu

rada ili snima fotografije u redovitim intervalima. Pazilo se na konstantnu visinu leta kako bi se održala dosljedna rezolucija i preklapanje snimaka.

Za podvodno snimanje s CHASING M2, ROV se pokreće duž unaprijed definirane putanje, uz održavanje stabilne dubine. Kamera snima kontinuirano videozapise ili pojedinačne fotografije na ključnim točkama. Prati se stanje baterije i signal kako bi se osigurao siguran povratak ROV-a na površinu.

3.3.4. Pregled i pohrana podataka

Nakon završetka snimanja, svi prikupljeni podaci pregledavaju se kako bi se osigurala njihova kvaliteta. Ovaj korak uključuje:

- **Provjeru kvalitete snimaka:** Provjera da li su sve snimke oštre, pravilno eksponirane i pokrivaju cijelo područje interesa.
- **Pohranu podataka:** Svi podaci se sigurnosno kopiraju na više lokacija kako bi se spriječio gubitak podataka. Fotografije i videozapisi se organiziraju prema redosljedu snimanja i pripremaju za daljnju obradu.

3.3.5. Naknadno snimanje (ako je potrebno)

U slučaju da se tijekom pregleda podataka utvrdi da neki dijelovi nisu pravilno pokriveni ili su snimke nekvalitetne, organizira se naknadno snimanje kako bi se pokrili svi nedostaci.

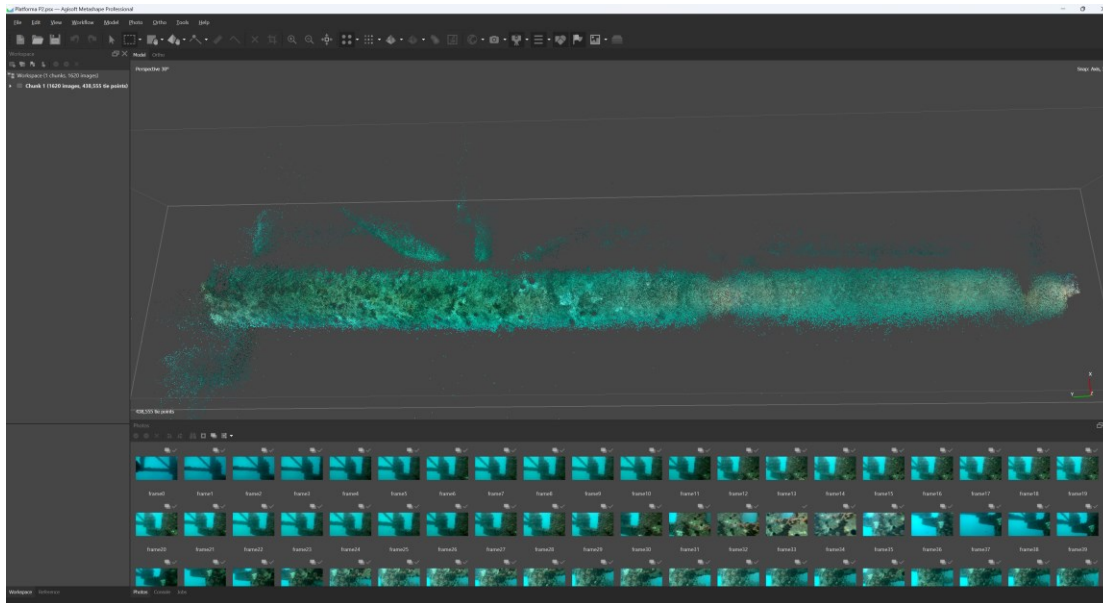
3.4. Obrada prikupljenih podataka

3.4.1. Softverski alati korišteni za obradu podataka

Za obradu podataka prikupljenih zračnom i podvodnom fotogrametrijom, korišten je softver Agisoft Metashape. Ovaj program je jedan od vodećih alata u području fotogrametrije i 3D rekonstrukcije, poznat po svojoj preciznosti i fleksibilnosti u radu s različitim vrstama podataka.

Agisoft Metashape⁵ je napredni softverski alat koji omogućava generiranje visoko preciznih 3D modela iz digitalnih fotografija. Program koristi tehnike fotogrametrije za rekonstrukciju trodimenzionalnih površina, što ga čini idealnim za različite aplikacije, uključujući geodetska istraživanja, kartografiju, arheologiju, inženjering, i mnoge druge (**Slika 15**).

⁵ <https://www.agisoft.com/>



Slika 15. Prikaz fotogrametrijske analize pomoću Agisoft Metashape programa.

Ključne značajke:

- **Automatizirani tijek rada:** Metashape automatski prepoznaje značajke na fotografijama, omogućujući povezivanje snimaka i stvaranje točnog 3D modela.
- **Visoka preciznost:** Softver podržava obradu visoko preciznih fotografija, što omogućava stvaranje detaljnih modela koji se mogu koristiti za analize i mjerenja.
- **Podrška za razne formate:** Podržava širok spektar ulaznih formata, uključujući RAW datoteke, kao i razne formate za izvoz modela, uključujući 3D mreže, ortofoto mozaike i digitalne površinske modele.
- **Skalabilnost:** Softver može obraditi podatke prikupljene iz različitih izvora, uključujući zračne dronove i podvodne ROV-ove, čineći ga svestranim alatom za kompleksne projekte.

U ovom istraživanju, Metashape je korišten za obradu fotografija snimljenih DJI Air 3 dronom i CHASING M2 podvodnim ROV-om. Podaci su obrađeni kako bi se stvorili visoko precizni 3D modeli područja istraživanja, koji su zatim analizirani za potrebe daljnjih istraživanja i izvještavanja.

Agisoft Metashape se pokazao kao nezamjenjiv alat u postupku analize i obrade prikupljenih podataka, omogućujući istraživačima da sa visokim stupnjem preciznosti vizualiziraju i analiziraju prikupljene podatke.

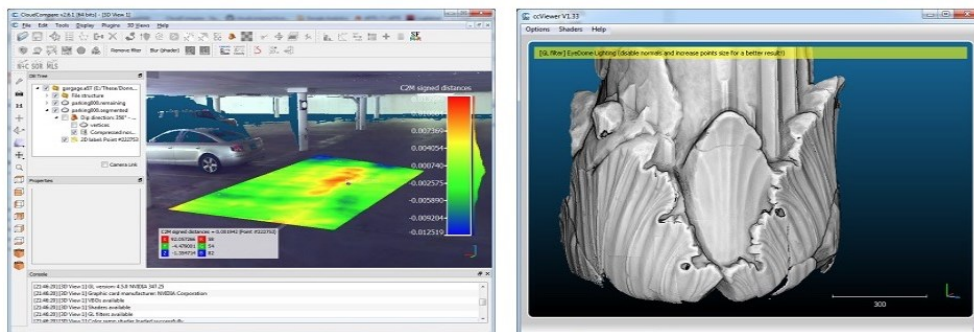
Za analizu i 3D usporedbu obale i staništa kamotočca, kao i procjenu ugroženosti zbog nanosa i utvrđivanje razlika, odnosno prikazivanje predjela i količine nanosa

koristio sam besplatan (GNU/GPL licenca) program **CloudCompare** za Windows operativni sustav (**Slika 16**).

Welcome to the official website of the **CloudCompare** project.

This is a Free project. **Just as people and countries should be and remain.**

Want to know when a new release comes out? Subscribe to the newsletter



CloudCompare (view, edit and process)

ccViewer (light viewer only)

Download the "CloudCompare 2020 Developers course" material [here](#)

Download the short course presentations of the Virtual Geoscience Conference 2021 (*in English*) [here](#)

Télécharger le support de formation du congrès de la SFPT 2018 (*in French*) [ici](#)

Slika 16. Službena web stranica Projekta CloudCompare koji omogućava usporedbu različitih 3D objekata (<https://www.cloudcompare.org/>).

CloudCompare je posebno koristan u geodeziji, arheologiji, fotogrametriji i računalnoj grafici. Program podržava obradu velikih setova podataka te omogućuje usporedbu i analizu različitih 3D modela. Korisnici ga mogu koristiti za mjerenje udaljenosti između točaka, segmentiranje oblaka točaka, registraciju oblaka te izvođenje različitih analiza, kao što su analiza površine, volumena i detekcija promjena. Program je popularan zbog svoje fleksibilnosti, brzine i podrške za različite formate datoteka.

3.4.2. Postupci obrade zračnih i podvodnih podataka

Obrada zračnih i podvodnih podataka prikupljenih putem fotogrametrije počinje korištenjem programa Agisoft Metashape za inicijalnu obradu podataka te CloudCompare za daljnju analizu i obradu točkastih oblaka. Podaci su prikupljeni putem drona DJI Air 3 i podvodnog ROV-a CHASING M2, uključujući fotografije i videozapise. Proces obrade obuhvaća sljedeće ključne korake:

3.4.2.1. Uvoz podataka i priprema

Prvi korak u obradi podataka je uvoz fotografija i videozapisa u Agisoft Metashape. Zračne i podvodne fotografije, snimljene u visokoj rezoluciji, kao i videozapisi, uvoze se u softver gdje se automatski organiziraju prema vremenu i mjestu snimanja. Prilikom uvoza videozapisa, Agisoft Metashape omogućuje ekstrakciju ključnih fotografija (*engl. keyframes*) koje se koriste za daljnju obradu.

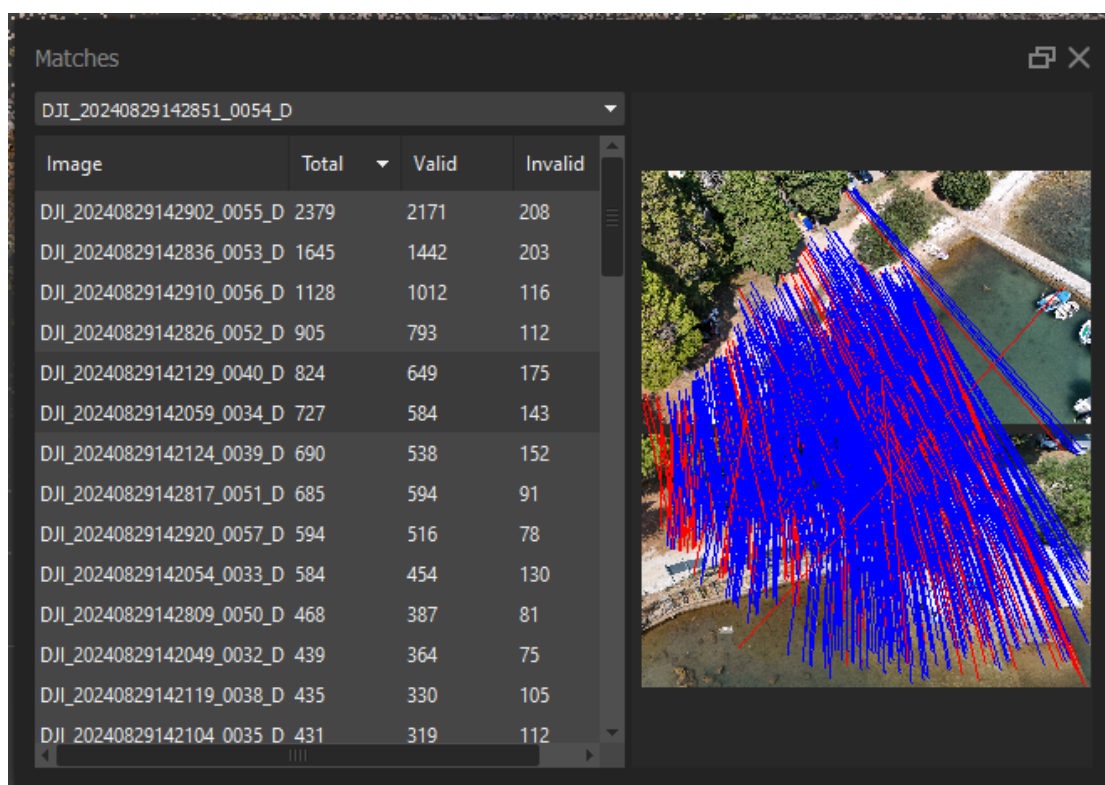
3.4.2.2. Ekstrakcija ključnih fotografija iz videozapisa

Kada se uvozi videozapis, Agisoft Metashape omogućava automatsku ili ručnu ekstrakciju ključnih fotografija. Ove fotografije predstavljaju pojedinačne kadrove iz

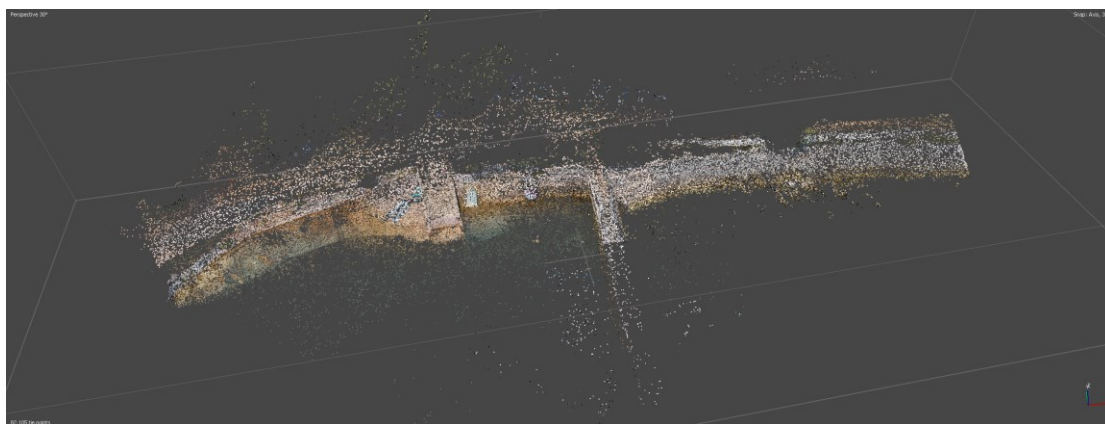
videozapisa koji se koriste na isti način kao i uobičajene fotografije za generiranje 3D modela. Ovaj korak je ključan kako bi se iz videozapisa dobili korisni podaci za daljnju obradu, osiguravajući kontinuitet i pokrivenost potrebnu za preciznu rekonstrukciju.

3.4.2.3. Aliniranje fotografija i ključnih fotografija

Nakon uvoza i ekstrakcije sličica, slijedi postupak aliniranja (*engl. Photo Alignment*). Agisoft Metashape automatski prepoznaje zajedničke značajke na preklapajućim fotografijama i ključnim sličicama iz videozapisa, te ih koristi za određivanje relativnih pozicija u prostoru (**Slika 17**). Rezultat ovog koraka je stvaranje *engl. sparse point cloud-a*, rjeđe točkaste oblake koji predstavlja osnovu za daljnje korake obrade (**Slika 18**).



Slika 17. Prikaz preklapanja i značajnih točaka dviju fotografija.



Slika 18. Izgled rjeđeg točkastog oblaka male lučice rezultatom aliniranja fotografija.

3.4.2.4. Generiranje gustog točkastog oblaka

Nakon uspješnog aliniranja, slijedi generiranje gustog točkastog oblaka (*engl. Dense Point Cloud*). Ovaj korak uključuje detaljnu rekonstrukciju površine koristeći informacije iz svih dostupnih sličica i fotografija. Generirani gusti točkasti oblak daje vrlo preciznu trodimenzionalnu reprezentaciju snimanog područja, uključujući sve relevantne značajke (**Slika 19**).



Slika 19. Prikaz generiranog gustog točkastog oblaka male lučice.

3.4.2.5. Filtriranje i čišćenje podataka

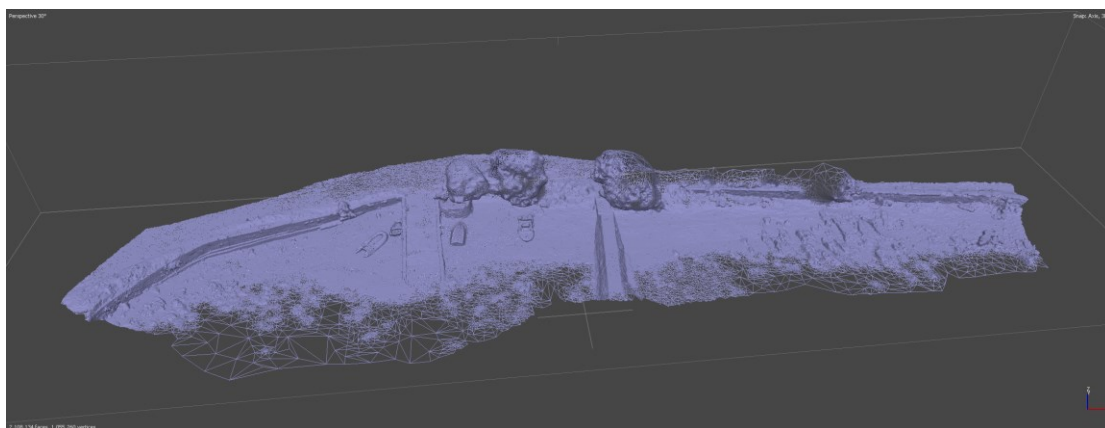
Nakon generiranja, jedan od koraka je filtriranje i čišćenje podataka kako bi se uklonile pogrešne ili nepotrebne točke (**Slika 20**). Ovaj korak je posebno važan u slučajevima kada postoje artefakti ili šumovi u podacima, što može nastati zbog loših uvjeta snimanja ili refleksija u podvodnoj fotogrametriji.



Slika 20. Prikaz scene nakon filtriranja i ručnog očišćenja.

3.4.2.6. Izrada 3D modela tj. mreže

Na temelju gustog točkastog oblaka, Agisoft Metashape stvara 3D mrežu (*engl. 3D Mesh*). Mreža se sastoji od poligona koji definiraju površinu objekata ili terena (**Slika 21**). Ova mreža može biti dodatno optimizirana i zaglađena kako bi se dobio što precizniji model.



Slika 21. Prikaz 3D mreže terena.

3.4.2.7. Teksturiranje modela

Nakon izrade 3D mreže, model se može teksturirati, čime se dodaje fotorealistična površina korištenjem originalnih fotografija i sličica (**Slika 22**). Teksturiranje poboljšava vizualni prikaz modela i omogućava detaljniju analizu.



Slika 22. Izgled terena nakon teksturiranja terena.

3.4.2.8. Generiranje ortofoto mozaika i digitalnih površinskih modela (DSM/DTM)

Pored 3D modela, Agisoft Metashape omogućava generiranje ortofoto mozaika i digitalnih površinskih modela (DSM/DTM). Ortofoto mozaik je georeferencirana slika, dok DSM i DTM predstavljaju digitalne prikaze terena, omogućujući daljnju topografsku analizu.

3.4.2.9. Izvoz podataka za daljnju analizu

Korak uključuje izvoz obrađenih podataka u formate pogodne za daljnju analizu i korištenje. U ovom slučaju korišten je gusti točkasti oblak (*engl. Dense Point Cloud*) u Agisoft Metashape-u, njegov izvoz u format kompatibilan s programom CloudCompare. Uobičajeni format za izvoz točkastih oblaka je LAS, LAZ, PLY ili E57, ovisno o specifičnim zahtjevima projekta.

Postupak izvoza:

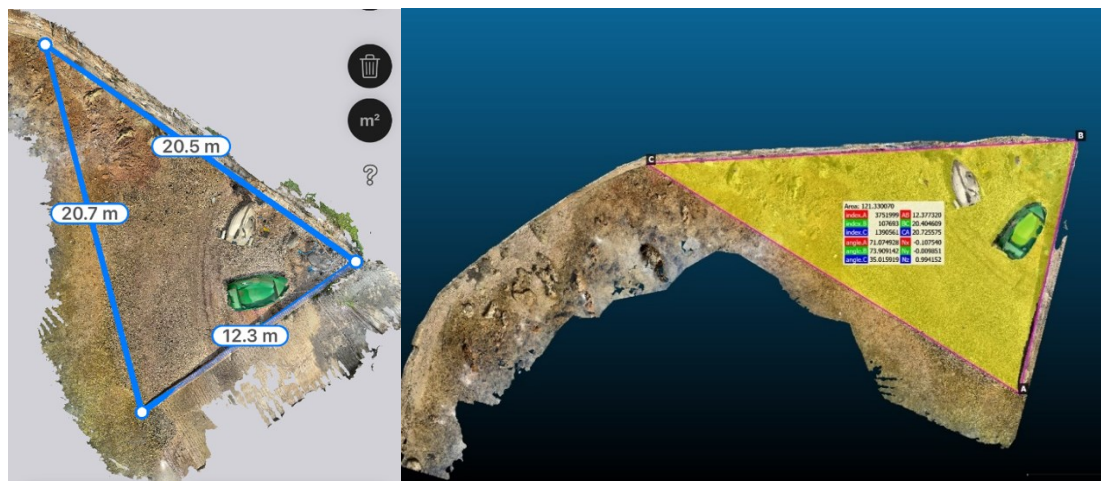
- U Agisoft Metashape-u, odabere se opcija "Export Dense Cloud".
- Odabire se željeni format (najčešće PLY, LAS, ili E57).
- Prije izvoza moguće je definirati parametre kao što su razlučivost i gustoća točkastih oblaka, ovisno o potrebama daljnje analize.
- Izvozi se datoteka koja se zatim može uvesti u CloudCompare.
- Uvoz i priprema podataka u CloudCompare.
- Nakon izvoza točkastog oblaka, podaci se uvoze u CloudCompare za daljnju obradu. CloudCompare je open-source softver koji omogućuje detaljne analize, filtriranje i usporedbu točkastih oblaka.

Postupak uvoza:

- Datoteka točkastog oblaka iz Agisoft Metashape-a uvozi se u CloudCompare koristeći opciju "Open" ili "Import".
- Program automatski učitava sve točke iz oblaka i prikazuje ih u 3D prostoru, gdje je moguće pristupiti različitim alatima za analizu i manipulaciju podacima.

3.4.2.10. Validacija i verifikacija podataka

Za osiguranje kvalitete i preciznosti obrađenih podataka, provodi se validacija uspoređivanjem s referentnim podacima ili terenskim mjerenjima (Slika 23). Ovaj korak uključuje statističku analizu odstupanja, provjeru georeferenciranja i ocjenu ukupne točnosti modela.



Slika 23. Usporedba jedinica (udaljenosti i površine) prikaza aplikacije 3d Scan App i CloudCompare programa.

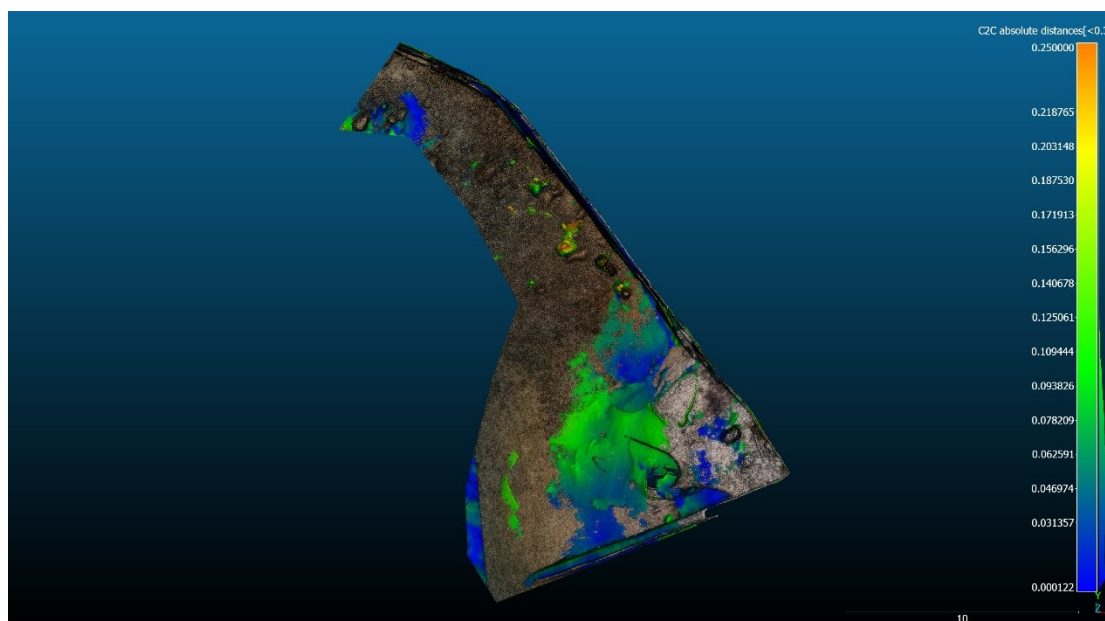
3.4.2.11. Mjerenja i analiza

CloudCompare nudi napredne alate za geometrijsku analizu točkastih oblaka, što uključuje mjerenja udaljenosti, volumena, i površina. Ovi alati omogućuju preciznu kvantifikaciju podataka, što je korisno u geodetskim, inženjerskim i istraživačkim projektima.

- **Usporedba podataka:** U slučajevima gdje su dostupni višestruki točkasti oblaci, CloudCompare omogućuje njihovu međusobnu usporedbu kako bi se detektirale razlike u modelima. Ovo je korisno za praćenje promjena kroz vrijeme (npr. erozija, promjene terena).
- **Kalkulacije volumena:** Program omogućuje izračun volumena između različitih površina, što je korisno u analizi promjena terena.

3.4.2.12. Završna analiza i vizualizacija

Završni korak uključuje vizualizaciju podataka i pripremu za prezentaciju. CloudCompare nudi opcije za vizualizaciju modela, uključujući različite prikaze boja, sjenčanja i tekstura (**Slika 24**). Također, rezultati se mogu pripremiti za izradu izvještaja ili daljnje analize u drugim specijaliziranim softverima.



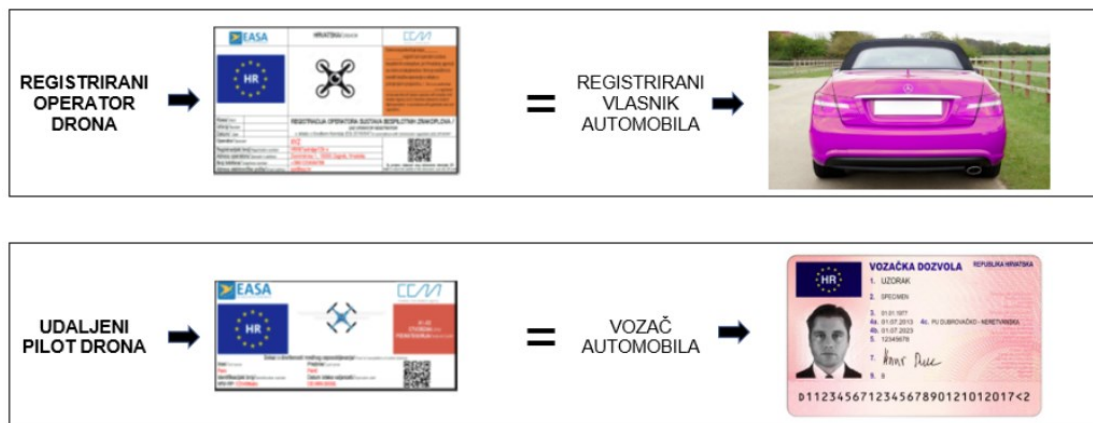
Slika 24. Završna vizualizacija.

3.5. Potrebne dozvole za korištenje drona

U ovom poglavlju opisani su svi koraci i procedure potrebne za legalno i sigurno korištenje zračne i podvodne fotogrametrije. Osim tehničke opreme, poseban naglasak stavljen je na dobivanje svih potrebnih dozvola i ispunjavanje regulatornih zahtjeva koji su nužni za izvođenje snimanja iz zraka i pod vodom. Za legalno upravljanje dronom poput DJI Air 3 u Hrvatskoj, potrebno je ispuniti nekoliko regulatornih uvjeta:

- Mrežno osposobljavanje za dron:** Operateri drona moraju proći obuku koja uključuje teorijsko znanje i praktične vještine potrebne za sigurno upravljanje dronom. U Hrvatskoj, ovaj program obuhvaća upoznavanje s pravilima letenja, sigurnosnim procedurama, zračnim prostorom i drugim relevantnim temama. Mrežno osposobljavanje je dostupno putem certificiranih programa, a u Hrvatskoj ga regulira Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (CCAA).

- Proces osposobljavanja: Kandidati moraju završiti teoretski tečaj, često dostupan online, i položiti ispit kako bi stekli certifikat. Praktična obuka može uključivati letove pod nadzorom iskusnog instruktora. Nakon uspješno završene obuke, kandidati dobivaju potvrdu o osposobljenosti, koja je potrebna za daljnju registraciju i dobivanje dozvola.
- Više informacija: Detalji o mrežnom osposobljavanju dostupni su na web stranici CCAA (<https://www.ccaa.hr/osposobljavanje-za-udaljene-pilote-28241>).



Slika 25. Razlika operatera i udaljenog pilota drona.

B) Registracija operatera drona: Svaki operater drona mora biti registriran kod CCAA. Proces registracije uključuje unos podataka o operateru, dronu i namjeni letenja. Registracija osigurava da operater posjeduje sve potrebne kvalifikacije i da je dron certificiran za siguran let (Slika 25).

- Proces registracije: Operater mora unijeti osobne podatke, podatke o dronu te priložiti potvrdu osiguranja. Nakon uspješne registracije, operater dobiva jedinstveni identifikacijski broj koji mora biti istaknut na dronu. Ova registracija omogućuje praćenje i kontrolu korištenja dronova u skladu s važećim propisima.
- Upute za registraciju dostupne su na web stranici CCAA (<https://www.ccaa.hr/letenje-dronom-98073>).

C) Osiguranje: Prije početka letenja, operater drona mora osigurati da posjeduje odgovarajuće osiguranje od odgovornosti za štetu koja može nastati tijekom leta. Ovo osiguranje pokriva potencijalne rizike, uključujući materijalnu štetu i ozljede osoba, te je zakonski obavezno u većini europskih zemalja, uključujući Hrvatsku.

- Proces dobivanja osiguranja: Operater mora ugovoriti osiguranje s osiguravajućom kućom koja nudi specifične police za dronove. Polica osiguranja obično pokriva rizike kao što su materijalna šteta, ozljede trećih osoba i šteta uzrokovana padom drona. Osiguranje se mora obnoviti svake godine, a operater mora imati važeću policu prije svakog leta.

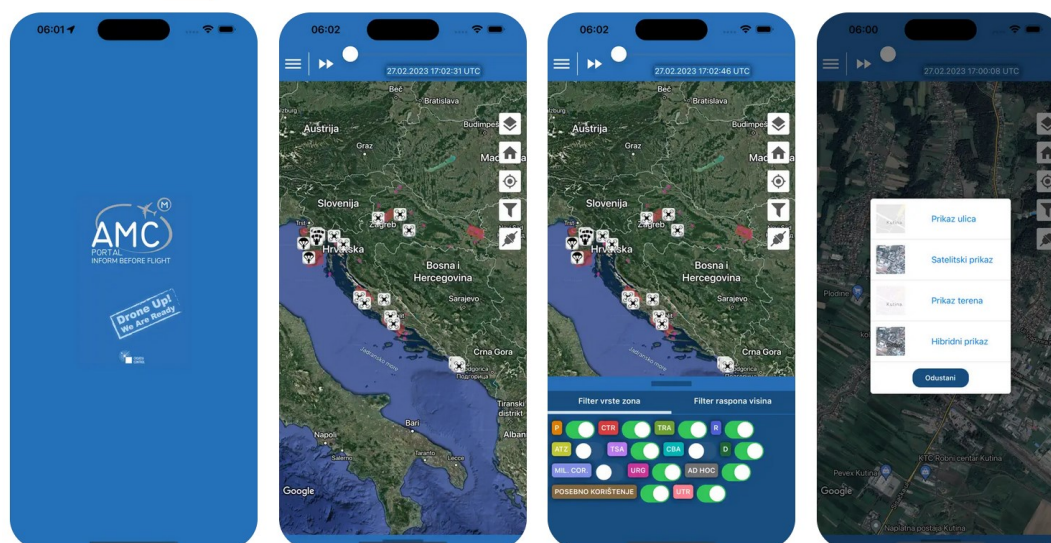
D) **Dozvola za letenje:** Prije izvođenja bilo kakvog letačkog zadatka, potrebno je osigurati odgovarajuće dozvole od Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo (CCAA). Ova dozvola osigurava da let bude izveden u skladu s propisima i da ne predstavlja rizik za druge zrakoplove ili ljude na tlu.

- Proces dobivanja dozvole: Operater podnosi zahtjev za dozvolu putem online sustava CCAA koji je mogući podnijeti preko njihove aplikacije AMC Portal Mobile (**Slika 26**), navodeći sve potrebne detalje o planiranom letu, uključujući lokaciju, vrijeme, visinu leta i svrhu misije. CCAA pregledava zahtjev i izdaje dozvolu, koja može uključivati posebne uvjete ili ograničenja, ovisno o vrsti leta i lokaciji.

App Store pregled



Slike zaslona iPhone iPad



Slika 26. Aplikacija AMC Portal Mobile (<https://apps.apple.com/hr/app/amc-portal-mobile/id1437249560?l=hr>).

E) **Dozvola Lučke kapetanije ili lokalne lučke uprave:** Za snimanje dronom iznad vodenih površina, posebno u blizini obalnih područja ili unutar zaštićenih područja, potrebno je pribaviti dodatnu dozvolu od nadležne Lučke kapetanije, lučke uprave, nadležne institucije i/ili vlasnika.

- Proces dobivanja dozvole: Zahtjev za dozvolu podnosi se instituciji koja upravlja područjem gdje će se snimanje odvijati. U zahtjevu se moraju navesti detalji o planiranom snimanju, uključujući lokaciju, vrijeme, svrhu i sigurnosne mjere koje će biti poduzete kako bi se osigurala sigurnost snimanja. Institucija, u našem ciljanom snimanju dobivena je suglasnost – dozvola od Lučke uprave Rovinj da se može snimati uz pridržavanje specifičnih uvjeta, poput vremenskog ograničenja, zaštite morskog prometa ili posebnih mjera zaštite okoliša.
- Informacije o dobivanju dozvole za snimanje dronom iznad vodenih površina mogu se dobiti izravno od nadležne Lučke kapetanije ili na njihovim službenim web stranicama.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U ovom poglavlju prikazani su rezultati provedenih fotogrametrijskih istraživanja, uključujući uspjehe i neuspjehe, odnosno izazove u prikupljanju i obradi podataka. Analizirani podaci su korišteni za različite primjene u geoinformatičkoj analizi, od kartiranja terena do detekcije promjena u okolišu i biocenoloških istraživanja. Rezultati su detaljno prikazani kroz nekoliko studija slučaja, omogućujući dublje razumijevanje mogućnosti i ograničenja primijenjenih metoda.

Većinom postojeću tehnologiju zračnog i podvodnog snimanja treba prilagoditi konkretnim potrebama biološko-ekoloških istraživanja. Ponekad za biološka istraživanja dovoljno je napraviti samo 3d model istraživanog objekta ili područja da bi se vizualno opisala situacija ili izbrojile vrste, otvori izbušenih kanala i odredila brojnost, a ponekad treba pristupiti i analizi površina, volumena, ili odnosa.

4.1. Analiza kvalitete prikupljenih podataka

Analiza kvalitete prikupljenih podataka ključan je korak u procjeni uspješnosti fotogrametrijskih metoda i njihovoj primjeni u geoinformatičkoj analizi. Ovaj proces uključuje ocjenu preciznosti, točnosti i pouzdanosti dobivenih podataka, kao i identifikaciju potencijalnih izvora pogrešaka ili odstupanja. Kvalitetna analiza osigurava da rezultati zadovoljavaju potrebne standarde za daljnju upotrebu, bilo da se radi o modeliranju terena, kartiranju značajki ili istraživanju promjena u okolišu.

4.1.1. Točnost georeferenciranja

Dobiveni model zračnom fotogrametrijom male luke – staništa kamotočca (28.08.2024.) uspoređen je s stanjem od 30.05.2024 (iPhone LiDAR) te je utvrđena pozitivna razlika u nanosu materijala sa susjedne plaže od $>1 \text{ m}^3$.

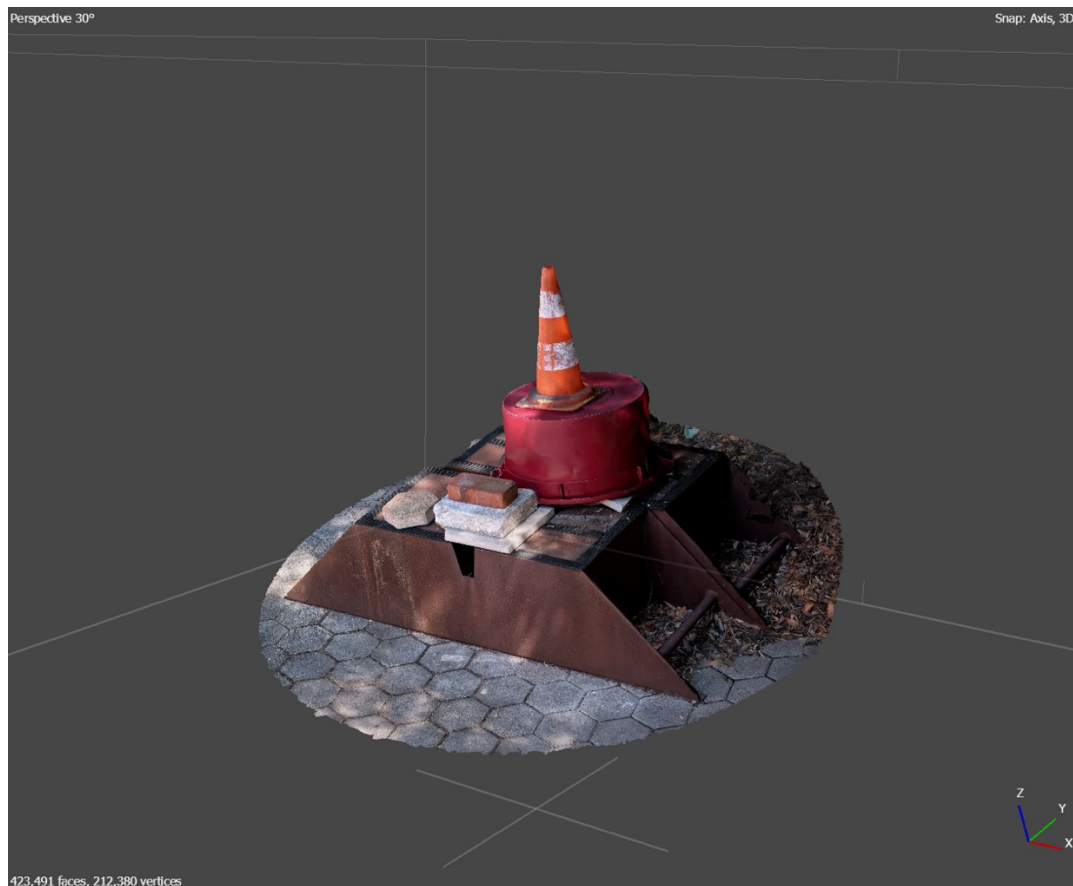
Fotogrametrijski model male lučice napravljen od snimljenih slika pomoću zračnog drona nije u potpunosti točno geolociran, utvrđena su odstupanja od nekoliko metara po z osi (**Slika 27**).



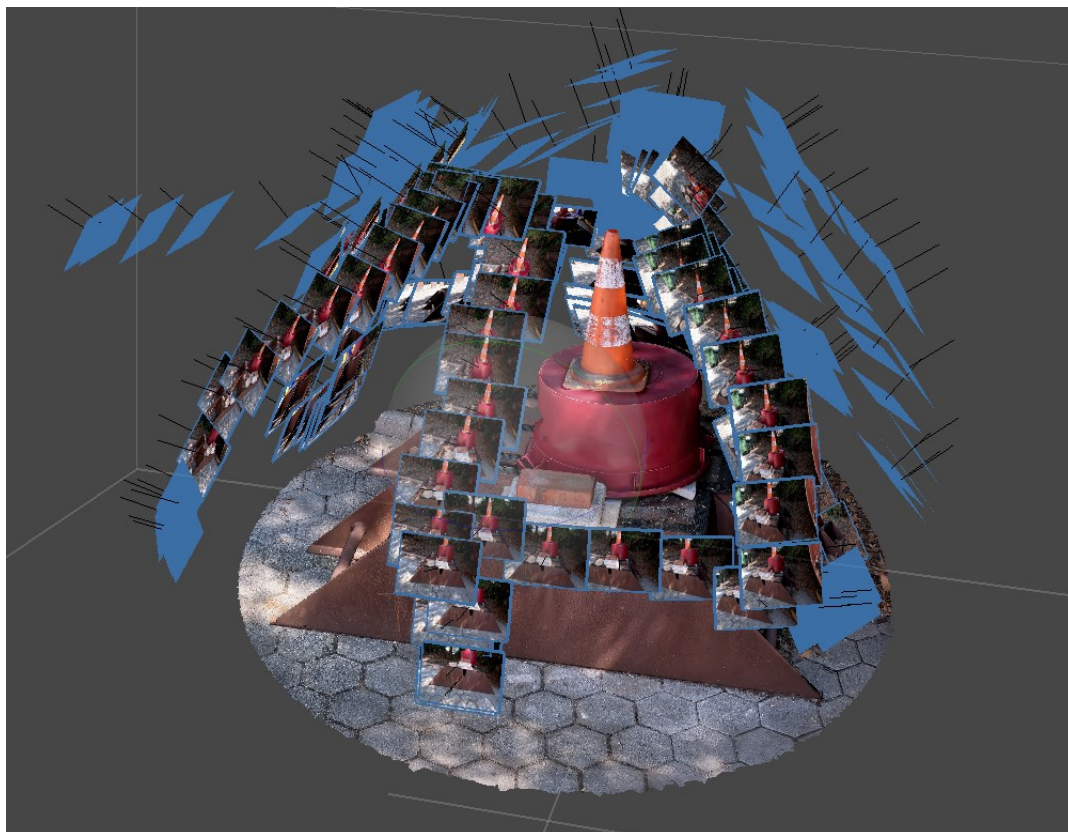
Slika 27. Geolociranje fotogrametrijskog modela male lučice pomoću Agisoft Metashape programa.

4.1.2. Kvaliteta generiranih modela

Prije početka terenskih snimanja na testnom modelu umjetnog grebena, strukture napravljene od prurčnih stvari u dvorištu CIM IRB isprobano je višekratno snimanje iz različitih kutova i smjerova GoPro 11 kamerom. Prilikom čega je utvrđeno da sjene, odnosno prirodno svjetlo može biti značajan problem prilikom snimanja i kreiranja fotogrametrijskog modela. Stoga se gdje i kad je to bilo moguće vodilo računa o položaju sunca i smjeru prilikom određivanja snimanja odabranih lokacija (**Slika 28**).



Slika 28. Fotogrametrijski model probnog umjetnog grebena.



Slika 29. Prikaz modela probnog umjetnog grebena na suhom s prikazom supraponiranih slika izdvojenih iz videa (GoPro 11).

Čimbenici koji utječu na unos podataka i time na konačnu izvedbenu točnost su [4]:

- sustavi za skeniranje koji se koriste,
- okolišni čimbenici (temperatura, relativna vlaga, tlak zraka),
- ciljane karakteristike objekta/površine,
- kut snimanja u odnosu na uređaj i površinu refleksije,
- metodologija obrade,
- kontrola korištenih mjera i nezavisna provjera kvalitete.

Usporedbom LIDAR i fotogrametrijskog modela obale, utvrđena je veća kvaliteta i točnost prikupljenih podataka pomoću LIDAR tehnologije.

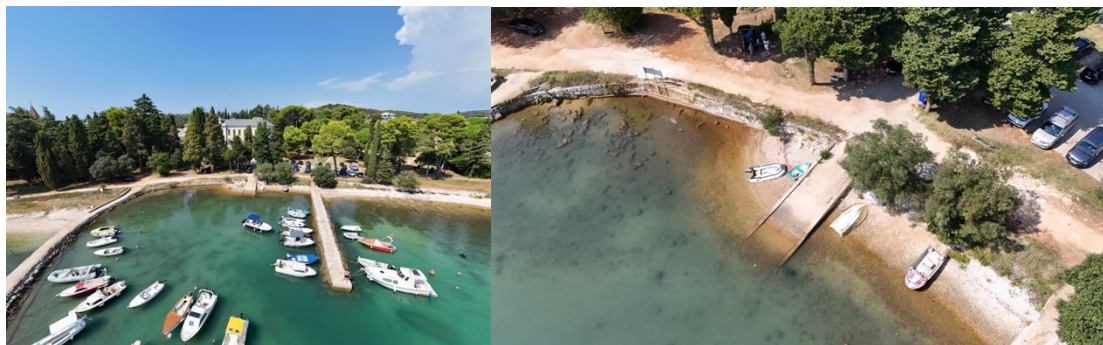
4.2. Primjena rezultata u geoinformatičkoj analizi

Primjena rezultata dobivenih različitim fotogrametrijskim metodama u geoinformatičkoj analizi ključna je za bolje razumijevanje i upravljanje prostorom. U okviru ove analize, korištenje naprednih tehnologija, poput zračne fotogrametrije, podvodne fotogrametrije i 3D LiDAR skeniranja, omogućuje stvaranje visoko preciznih modela terena, detekciju promjena u okolišu te detaljno istraživanje biocenoloških zajednica.

Ovi podaci, integrirani u geoinformacijske sustave (GIS), omogućuju učinkovitu obradu, analizu i vizualizaciju složenih prostornih informacija. Takve analize koriste se u različitim područjima, uključujući urbanizam, zaštitu okoliša, prostorno planiranje, te monitoring i istraživanje prirodnih resursa. Primjeri navedeni u sljedećim studijama slučaja demonstriraju različite aspekte i potencijale geoinformatičke analize temeljene na podacima prikupljenim fotogrametrijskim metodama.

4.2.1. Studija slučaja: Kartiranje terena/značajki (mala lučica OB Martin Horvat)

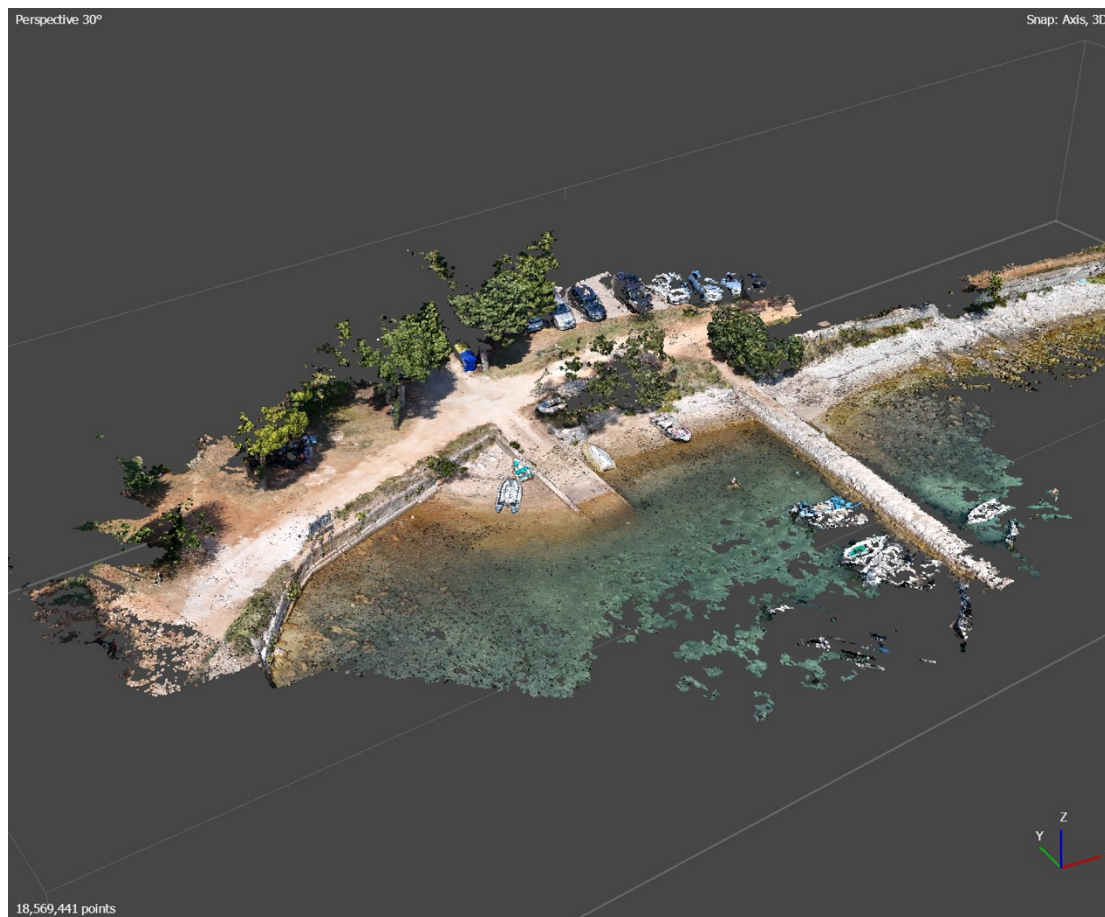
U okviru ove studije slučaja, provedeno je uspješno kartiranje terena i značajki male lučice OB Martin Horvat korištenjem drona (Slika 30). Cilj ovog istraživanja bio je stvoriti detaljan i precizan 3D model lučice, uključujući obalni pojas, kako bi se dobio cjelovit uvid u konfiguraciju terena te identificirale sve značajke od interesa.



Slika 30. Zračne snimke male lučice napravljene pomoću drona DJI.

Korištenjem drona opremljenog visokorezolucijskom kamerom, snimljen je niz fotografija iz različitih kutova i visina, čime je omogućeno generiranje preciznog

trodimenzionalnog modela terena. Snimanje je provedeno u optimalnim vremenskim uvjetima (osim razine mora), što je omogućilo jasne i kvalitetne snimke bez smetnji poput jakih vjetrova ili prekomjernog svjetla. Nakon prikupljanja podataka, obrađene su slike koristeći softver Agisoft Metashape, koji je omogućio stvaranje detaljnog 3D modela male lučice i okolnog područja (Slika 31, 32).

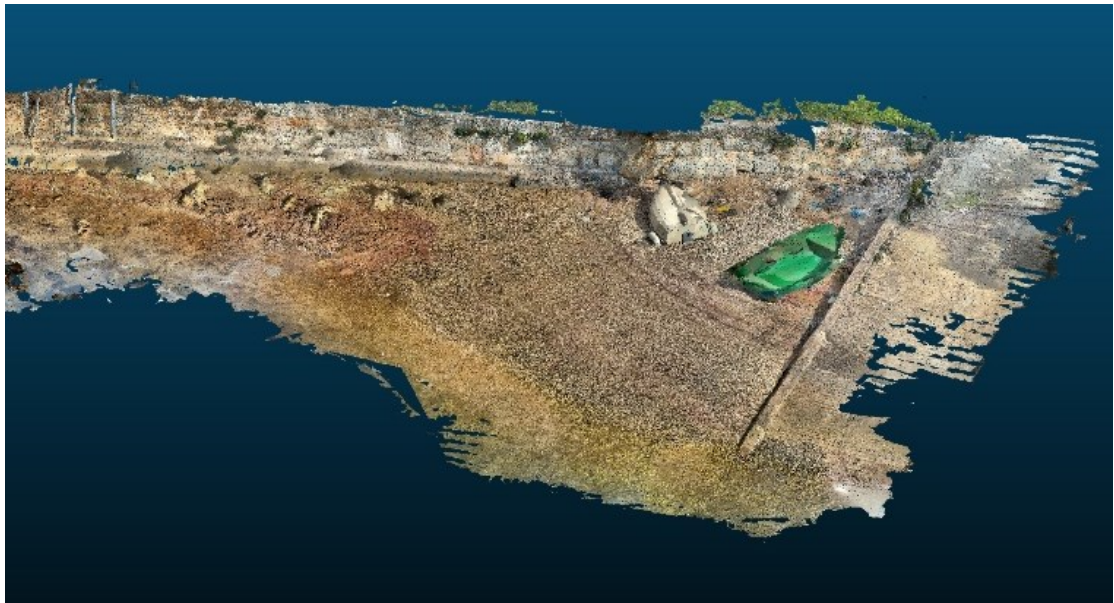


Slika 31. Fotogrametrijski model (engl. dense point cloud) male lučice napravljen pomoću zračne snimke dronom DJI.

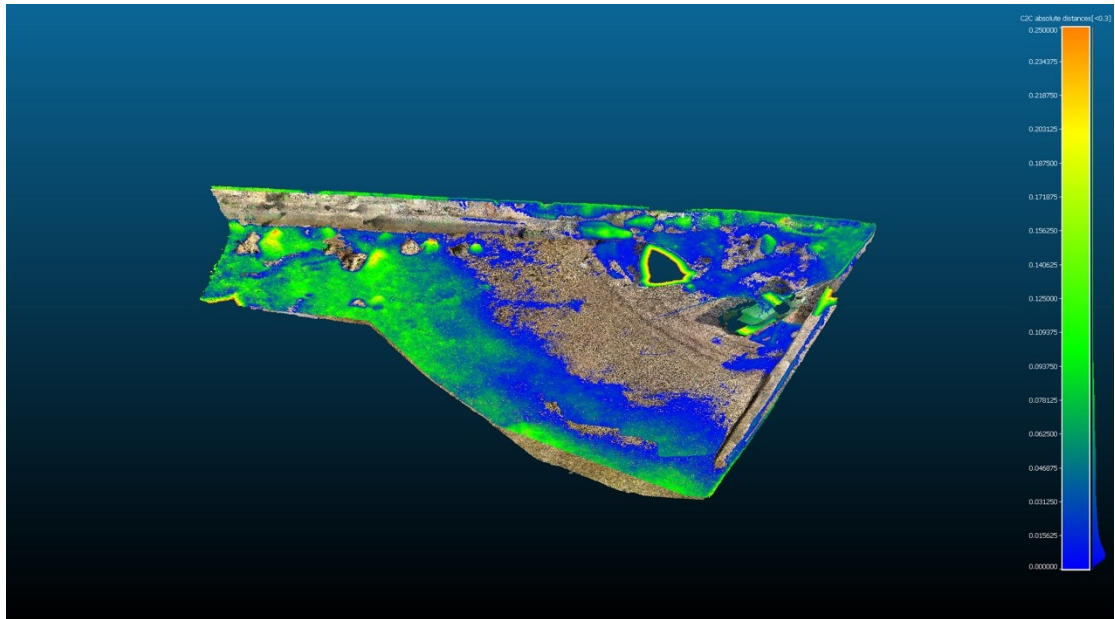
Osim fotogrametrijske obrade dronskih snimaka, paralelno je izvršeno i 3D LiDAR skeniranje obalnog područja pomoću iPhone uređaja, koje je provedeno tijekom oseke i povoljnih vremenskih uvjeta 30. svibnja 2024. (Slika 32 i 33). LiDAR tehnologija, koja koristi pulsirajuće svjetlosne zrake za mjerenje udaljenosti, omogućila je stvaranje visoko preciznog modela terena, posebno u dijelovima gdje je vegetacija ili druga fizička prepreka mogla ometati standardne fotogrametrijske metode.



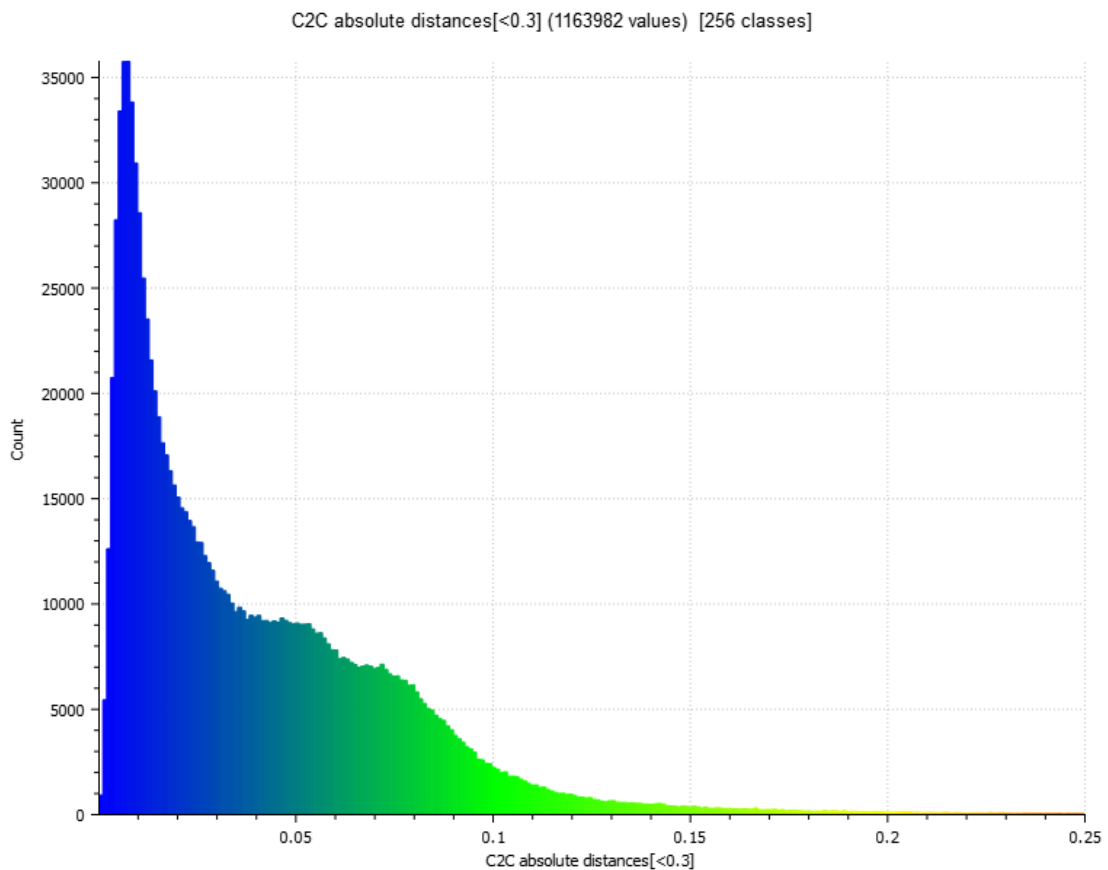
Slika 32. Procesuiran fotogrametrijski 3d model male lučice napravljen pomoću zračne snimke dronom DJI.



Slika 33. 3D LIDAR (iPhone) skenirana obala tijekom oseke i povoljnih vremenskih uvjeta dana 30.5.2024.



Slika 34. Usporedba LIDAR (iPhone) i zračnog fotogrametrijskog modela (dron) staništa zaštićene vrste školjkaša – kamotočac *Pholas dactylus* (30.05.2024. vs 29.09.2024.) pomoću CloudCompare programa.



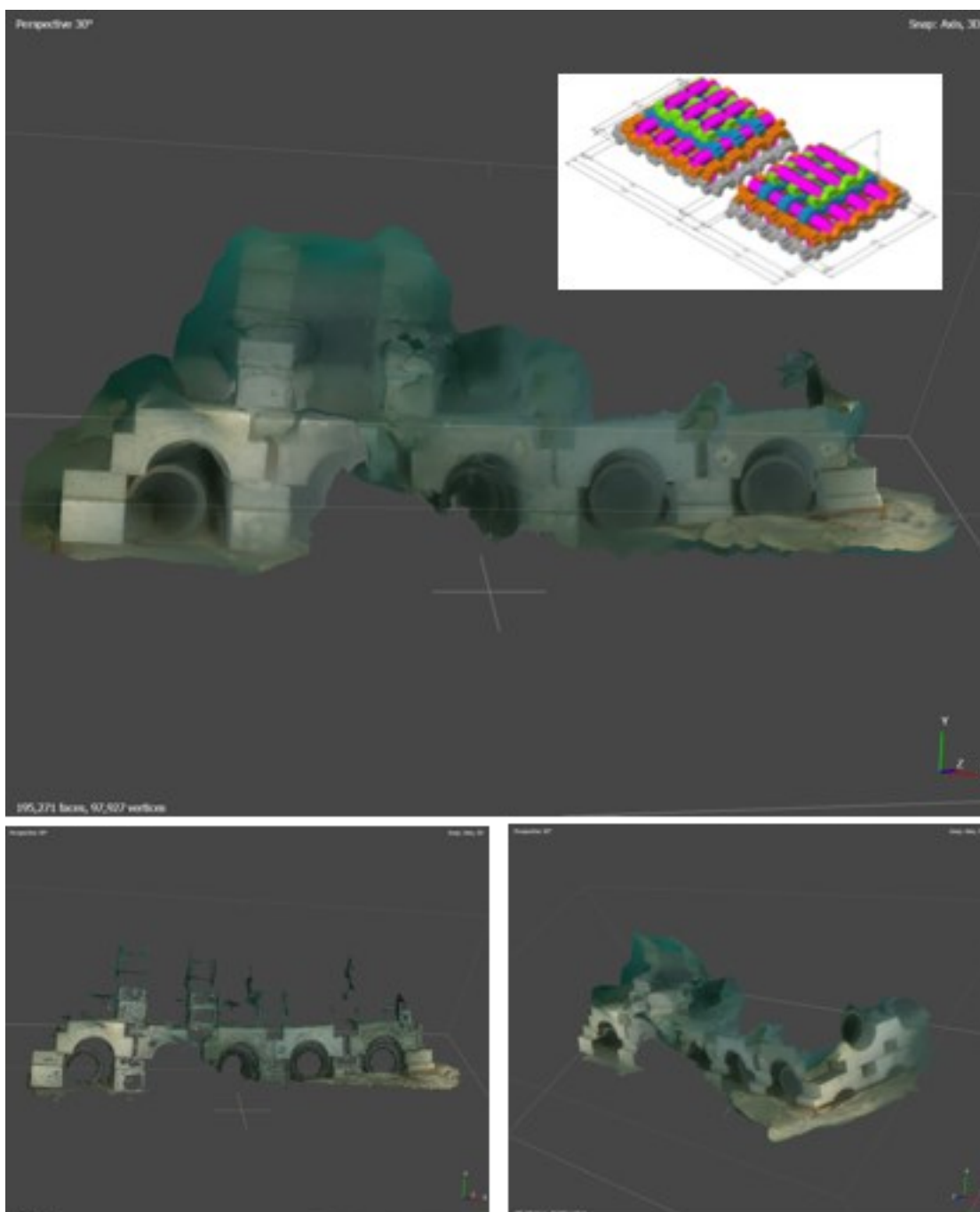
Slika 35. Histogram razlike volumena uspoređenih površina početnog i završnog stanja obale s utvrđenom maksimalnom razlikom visine od <0,3 m.

Nakon uspješne obrade oba seta podataka, rezultati fotogrametrijskog modela i LIDAR skeniranja su uspoređeni (**Slika 34**). Usporedba je pokazala zadovoljavajuću razinu podudarnosti između dvaju modela, s minimalnim odstupanjima u točnosti. Ova usporedba potvrdila je pouzdanost korištenih metoda i ukazala na mogućnost integracije podataka iz različitih izvora za dobivanje sveobuhvatnih rezultata.

CloudCompare analizom uspoređenih površina i volumena stanja snimljenog iPhone LIDAR metodom (30.05.2024.) i stanja obale fotogrametrijskog modela napravljenog na temelju snimki pomoću zračnog drona (29.08.2024.) (**Slike 32 - 35**) utvrđena je razlika, pozitivni nanos materijala s područjima maksimalne visine od <0,3 m i ukupnim volumenom 1 163 982 cm³ odnosno cca 1,16 m³.

4.2.2. Studija slučaja: Detekcija promjena u okolišu (umjetni greben Žontuja Poreč)

U okviru ove studije slučaja, primjena podvodne fotogrametrije za detekciju promjena na umjetnom grebenu Žontuja kod Poreča nije dala zadovoljavajuće rezultate. Glavni razlog neuspjeha bio je povezan s vremenskim uvjetima prilikom snimanja i slaboj vidljivosti u podmorju (**Slika 36**).



Slika 36. Neuspjeli pokušaj stvaranja modela umjetnog grebena snimkom pod uvjetima slabe vidljivosti.

Podvodna fotogrametrija oslanja se na jasnoću i kvalitetu vizualnih podataka za precizno mjerenje i analizu promjena u okolišu. Međutim, u ovom slučaju, zamućenost

vode, uzrokovana česticama u vodi i ograničenom prirodnom svjetlošću, značajno je otežala proces snimanja. Slaba vidljivost smanjila je mogućnost prikupljanja jasnih i korisnih fotografskih snimaka potrebnih za fotogrametrijsku analizu. Kao rezultat toga, pokušaji stvaranja točnih 3D modela umjetnog grebena, koji bi omogućili praćenje promjena kroz vrijeme, nisu bili uspješni.

Ovaj studija slučaj UG Žontuja, naglašava izazove primjene fotogrametrijskih tehnika u podvodnim uvjetima, osobito kada su prisutni faktori koji otežavaju optičku vidljivost. Slaba vidljivost može dovesti do nedostatka preciznosti u podacima, što u konačnici otežava ili onemogućava detekciju promjena u okolišu korištenjem standardnih fotogrametrijskih metoda. To također ukazuje na potrebu za alternativnim pristupima ili dodatnim tehnologijama koje mogu kompenzirati uvjete niske vidljivosti, kao što su sonar ili ponekad LiDAR tehnologije, koje bi mogle upotpuniti prikupljene podatke u ovakvim nepovoljnim uvjetima za fotogrametriju.

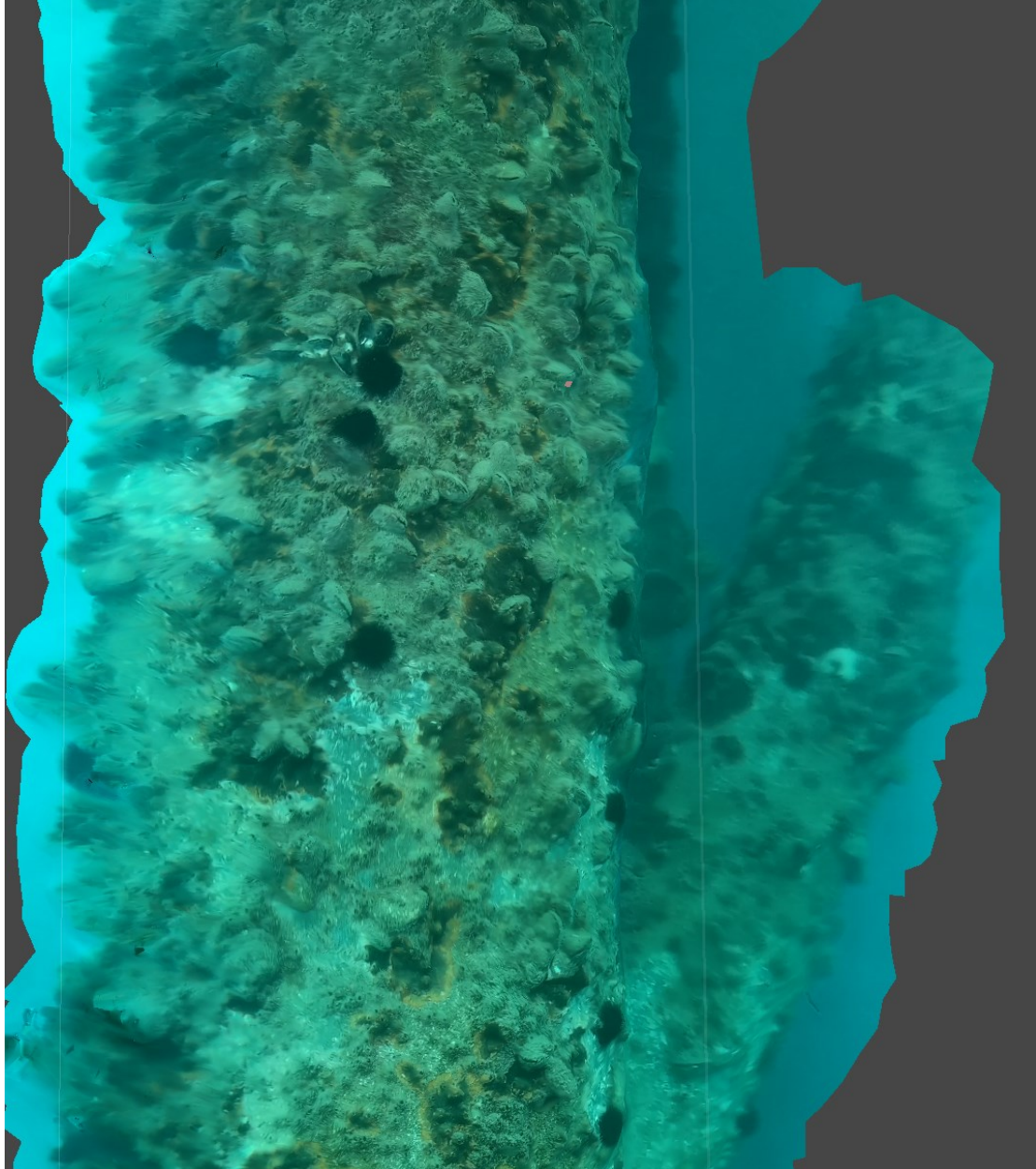
4.2.3. Studija slučaja: Biocenološka istraživanja (nogari platforme Ivana B)

U ovoj studiji slučaja UG nogari platforme, korišteni su postojeći video zapisi podvodnih struktura platforme Ivana B uz suglasnost INA d.d. Fotogrametrijska obrada videozapisa podvodnih dijelova platforme snimljenih na dubinama od 0 do 40 m, rezultirala je gotovo kompletnim 3D modelom početnog dijela nogara platforme, od površine mora do dubine od 10 m.

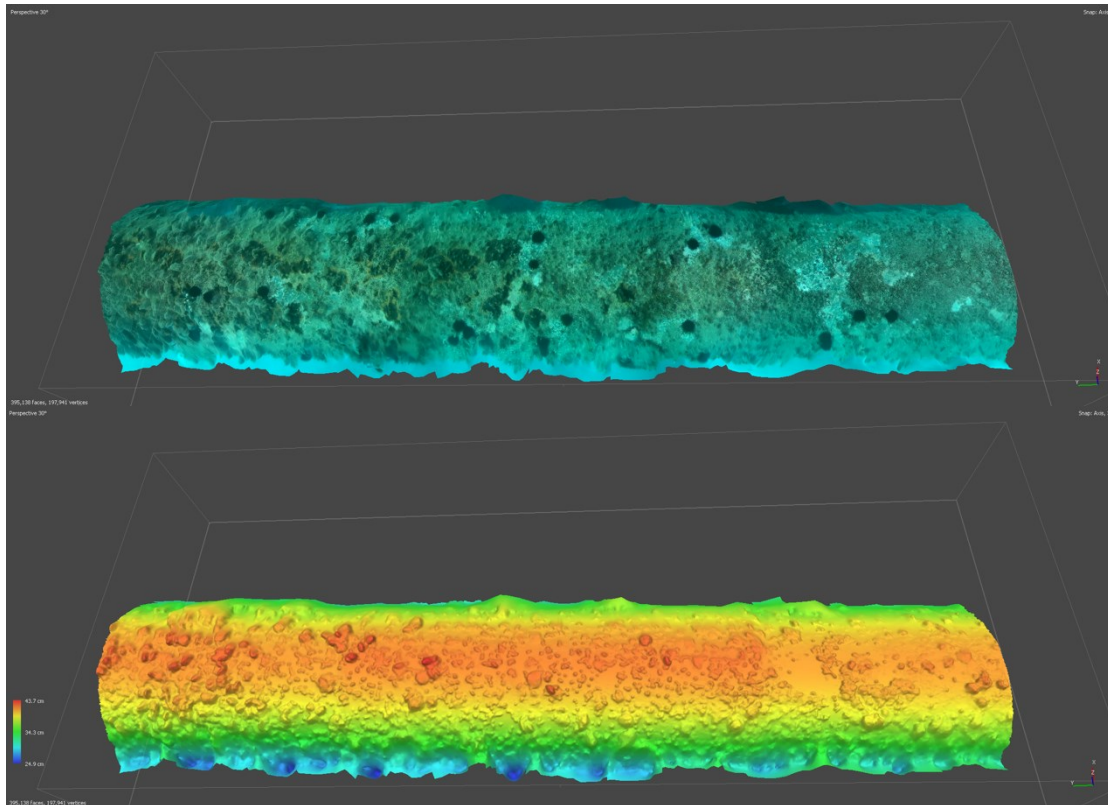


Slika 37. Fotogrametrijska obrada postojećih videa podvodnih dijelova platforme Ivana B (0-40 m).

Videozapisi su izvorno snimljeni u svrhu dokumentiranja obraštaja i biodiverziteta zajednica koje obitavaju na nogarima platforme. Unatoč izvornoj namjeni snimaka, koja nije bila specifično usmjerena na fotogrametrijsku analizu, kvaliteta video materijala omogućila je generiranje djelomičnog detaljnog 3D modela (Slika 37).



Slika 38. Detalj fotogrametrijskog modela korišten za daljnje biološke analize.



Slika 39. Usporedni detalj fotogrametrijskog modela nogara platforme Ivana B korišten za daljnje biološke analize.

Stvoreni 3D model pokazao se vrlo svrsishodan, jer je pružio mogućnost 3D pregleda pojedinih područja (detalja) i direktnu usporedbu s snimljenim fotografijama SCUBA ronioca uz istovremeno praćenje dubine podvodne strukture na zaslonu računala (**Slike 37-39**). Utvrđeno je opadanje kvalitete modela s povećanjem dubine, prvenstveno zbog turbiditeta mora i osvijetljenosti područja snimanja. Jačina svjetla se može nadopuniti ugradnjom dodatne rasvjete, a vremenski periodi s jačim turbiditetom mora jednostavno se moraju izbjegavati.

Pregledom i rotiranjem modela, moguće je identificirati prisutne vrste i odrediti njihovu gustoću. Potvrđeno prevladavanje mnogočetinaša (Polychaeta) i školjkaša (Bivalvia) u dobivenom modelu transekt snimanja nogara. Vidljivo je da u plićim dijelovima nogara dominira dagnja *M. galloprovincialis* (**Slika 38**), dok u donjim dijelovima nogara je to dubinska kamenica *N. cochlear* (**Slika 39**).

5. DISKUSIJA

Tijekom izrade ovog diplomskog rada uspostavljen je sustav za zračnu i podvodnu fotogrametriju u Centru za istraživanje mora Rovinj (IRB) radi primjene zračne i podvodne fotogrametrije u geoinformatičkoj analizi nultog stanja obale - staništa školjkaša kamotočca (*Pholas dactylus*) i podmorskih nosivih struktura (nogara) plinskih eksploatacijskih platformi kao umjetnog grebena (UG) u svrhu procjene obraštaja i bioraznolikosti prisutnih zajednica te praćenja promjena tijekom vremena (monitoring).

Rad obuhvaća teorijske osnove, metode prikupljanja podataka, korištene softverske alate, kao i analizu i interpretaciju dobivenih rezultata.

Za potrebu prikupljanja podataka (fotografija i videa) za precizno mapiranje obale korištena je letjelica (dron) opremljena s dvije integrirane kamere (DJI Air 3), dok je za podvodnu fotogrametriju UG korišten ROV (CHASING M2) s dodatnom kamerom (GoPro 11) i dodatnim osvjetljenjem (MARES) koje omogućuje prikupljanje podataka iz podvodnih okruženja slabijeg osvjetljenja.

Ovaj rad je napravljen za potrebu znanstvenih i primijenjenih istraživanja, utvrđivanja ugroženosti lokalnog staništa zaštićene ugrožene vrste školjkaša *P. dactylus* u maloj luci Specijalne bolnice za ortopediju i rehabilitaciju "Martin Horvat" Rovinj, te monitoringa bioraznolikosti obraštaja i zajednica na umjetnim grebenima (površinama) u moru (npr. Istarska županija UG Žontuja Poreč i INA plinske platforme Sjeverni Jadran).

Testna snimanja i prikupljanje zračnih fotogrametrijskih zračnih podataka obavljena su nakon registracije operatera, pribavljanja osiguranja i svih potrebnih dozvola/suglasnosti prije leta, odnosno ciljano snimanje male luke (staništa/obale) krajem kolovoza 2024.

Za potrebu fotogrametrijske analize biodiverziteta obraštaja korištena je postojeća IRB video dokumentacija nogara platformi (INA d.d.) i umjetnog grebena (Istarska županija).

Kao osnova za fotogrametriju korišten je Agisoft Metashape program (Pro edukacijska verzija) vodeći računa o funkcionalnosti programa, ali i o mogućim budućim potrebama. Metashape omogućava izradu 3D modela na temelju slika i videa, te izvoz modela u formatu kompatibilnom sa većinom drugih programa za analizu npr. CloudCompare.

Probna snimanja GoPro kamerom i zračnim dronom umjetnog grebena na suhom ukazala su mogućnosti, ali i nedostatke vezano za osvjetljenje i prisutne sjene prilikom snimanja, te nužnost planiranja snimanja (kadriranja detalja) i kretanja kamere/drona.

Dodatno, otegotnu okolnost za planirana terenska snimanja dronom (obala, zona plime i oseke) i ROV-om (more, 0-40 m dubine) predstavlja usklađivanje s vremenskim prilikama (kopno: sunčano, bez vjetra; more: <1, bez valova, prozornost/turbiditet i struje) i periodičnom poželjnom niskom razinom mora (oseka) naročito za snimanje obalnog područja.

Dobiveni model zračnom fotogrametrijom male luke – staništa kamotočca (28.08.2024.) uspoređen je s stanjem od 30.05.2024 (iPhone LIDAR) te je utvrđena pozitivna razlika u nanosu materijala s susjedne plaže od $>1 \text{ m}^3$. Usporedbom LIDAR i fotogrametrijskog modela obale, utvrđena je veća kvaliteta i točnost prikupljenih podataka pomoću LIDAR tehnologije.

Fotogrametrijska obrada postojećih videa podvodnih dijelova platformi (0-40 m) napravljenih za dokumentiranje obraštaja i biodiverziteta zajednica rezultirala je skoro pa cijelim modelom nogara (stupa) platforme od površine mora do 10 m. Stvoreni 3D model pokazao se vrlo svrsishodan, jer je pružio mogućnost 3D pregleda pojedinih područja (detalja) i direktnu usporedbu s snimljenim fotografijama SCUBA ronioca uz istovremeno praćenje dubine podvodne strukture na zaslonu računala. Utvrđeno je opadanje kvalitete modela s povećanjem dubine, prvenstveno zbog turbiditeta mora i osvjetljenosti područja snimanja. Jačina svjetla se može nadopuniti ugradnjom dodatne rasvjete, a vremenski periodi s jačim turbiditetom mora jednostavno se moraju izbjegavati.

Zbog nepovoljnih uvjeta u okolišu (prisutan cvat i visok turbiditet mora) na području umjetnog grebena Žontuja u priobalnom području grada Poreča (26 m dubine) nije bilo moguće napraviti foto/video snimanje ROV-om. Za fotogrametrijsko stvaranje modela stoga je iskorišten snimak od prosinca 2022., koji je rezultirao samo djelomičnim obuhvaćanjem strukture UG, što ukazuje na nužnost planiranja cijele operacije snimanja ovisno o cilju istraživanja. U slučaju podvodnih fotogrametrijskih istraživanja nužno je prilagoditi se vremenskim prilikama i uvjetima u moru npr. poznata periodična pojava cvjetanja mora u sjevernom Jadranu, koja je ovog ljeta bila vrlo izražena, nitko pa ni znanstvenici koji to prate nije to mogao predvidjeti. Cvjetanje mora rezultira „iritacijom“ turista, ali i smanjenom vidljivosti za podvodna foto-video snimanja, a istovremeno radi se o pojavi od velikog znanstvenog interesa. Pojednostavljeno, ne možeš proučavati more u kapljici-kanti morske vode. Nadalje, fotogrametrija se pokazala vrlo korisna za dokumentiranje prisutnosti i rasprostranjenja agregata cvata zračnim snimanjem dronom.

Generalno, zračna fotogrametrija i podvodna fotogrametrija se pokazala kao koristan alat koji omogućuje precizno mapiranje, modeliranje i analizu površina snimljenih iz zraka pomoću letjelica opremljenih kamerama, dok podvodna fotogrametrija omogućuje prikupljanje podataka, stvaranje modela uz cjeloviti prikaz na zaslonu, utvrđivanje-potvrdu vrsta te ovisno o kvaliteti snimki pojedinih dijelova ili cijelih struktura omogućava izračun npr. volumen obraštaja po dubinama i lokacijama.

Na temelju našeg prethodnog iskustva istraživanja utjecaja umjetnih struktura na biodiverzitet mora u hrvatskom dijelu Jadrana: 17 odobalnih platformi za eksploataciju plina tvrtke INA-Industrija nafte d.d., potonulog broda Baron Gauth, sportsko ribolovnog iskustva i dostupne literature i ovog istraživanja, možemo zaključiti da predmetni umjetni greben oblikom, strukturom i pozicijom može uvelike doprinijeti ostvarivanju ciljeva povećanja biodiverziteta u priobalnom kao i odobalnom području mora. Dodatno, prethodnim monitoringom platformi (kemijske analize, ekotoksikologija, biodiverzitet) i umjetnog grebena (biodiverzitet) nisu utvrđeni nikakvi štetni učinci po morski okoliš, već povećanje biodiverziteta komercijalnih vrsta i drugih bentonskih organizama. Stoga preporučamo monitoring obraštaja, osnovnih

oceanografskih parametara, praćenje stvaranja biocenoza, s posebnim osvrtom na potencijalne migracije i kolonizaciju UG od strane riba.

Digitalna fotogrametrija tehnologija bazirana na digitalnoj fotografiji, prvenstveno se koristi za kartografiju te za razvoj zračne fotografije, te horizontalne fotogrametrije kod manje udaljenosti i složenijih-kompliciranijih struktura objekata. Fotografije visoke rezolucije koje svojim preklapanjem stvaraju 3D cjelinu. Trenutno se pojavljuje veliki broj industrijskih rješenja, koja koriste digitalne fotografske aparate (namijenjene široj populaciji), da bi se rekreirali postojeći uvjeti. Točnost konačnog objekta varira ovisno o više faktora: metodologiji snimanja, kvaliteti fotoaparata i rekonstrukcijskom softveru [4].

Svaka tehnologija ima svoje prednosti i mane. Poznavanje svrhe podataka i istraživanja, te njihovo korištenje u daljnjoj budućnosti, olakšava izbor prikladne tehnologije. Posebnu pozornost treba uputiti prema mogućim problemima: rezolucija skeniranja, skaliranje, točnost podataka, razina detalja, prag tolerancije, dostupna ili korištena tehnička oprema te standardi potrebni kod obrade [6], [7].

Rezolucija mjerenja je gustoća koordinatnih točki u odnosu na ciljano područje, što je usko vezano sa ukupnom gustoćom točki u skupu podataka. Cjelokupna baza podataka može imati visoku gustoću točki (i visoku ukupnu rezoluciju), međutim ako npr. rezolucija ciljanog područja nije dovoljna ne može se postići funkcionalna izvedba, odnosno u našem slučaju prepoznavanje vrsta ili staništa [5]. Ovisno o namjeni skupa podataka može imati različitu rezoluciju za različita područja. Rezoluciju možemo gledati i kao dimenzije najmanje raspoznatljive značajke u skupu podataka. Preporučljivo je da se zna potrebna rezolucija mjerenja da bi se postigla potrebna preciznost [6].

U tehničkom smislu preciznost je bliskost između mjerenja i stvarne vrijednosti. Naravno, postupak utvrđivanja „prave vrijednosti“ je upitan iz razloga što svako mjerenje se jedino može usporediti sa nezavisnim mjerenjima koja su postignuta drugim instrumentima. Drugim riječima skup podataka može biti vrlo precizan dok istovremeno potpuno netočan. Zbog toga postoji određena razina nesigurnosti za svako mjerenje [4], [7]. Maksimalna točnost se postiže samo u kontroliranim uvjetima [5].

6. ZAKLJUČAK

Za potrebe izrade ovog diplomskog rada uspostavljen je sustav za zračnu i podvodnu fotogrametriju u Centru za istraživanje mora Rovinj (IRB) nadogradnjom postojeće opreme radi daljnje primjene fotogrametrije u geoinformatičkoj, biološkoj analizi nultog stanja obale, sastava biocenoza i podmorskih struktura u svrhu procjene obraštaja i bioraznolikosti prisutnih zajednica te praćenja promjena tijekom vremena (monitoring).

Metode prikupljanja podataka, zračno snimanje dronom (DJI Air 3) i podvodno snimanje ROV-om (CHASING M2) podrazumijevaju terenska *in situ* istraživanja, koja ovise o mnogo čimbenika, za dobivanje maksimalne kvalitete osim zakonske regulative i vremenskih uvjeta, nužno je voditi računa i o sigurnosti osoblja.

Snimanja (zračnim dronom i ROV-om) pokazala su mogućnosti, ali i nedostatke vezano za osvjetljenje i prisutne sjene prilikom snimanja, te nužnost planiranja snimanja (kadriranja detalja) i kretanja kamere/drona. Za potrebe daljnjih snimanja ROV je opremljen s dodatnom kamerom (GoPro 11) i dodatnim osvjetljenjem (MARES) koje može omogućiti prikupljanje podataka iz podvodnih okruženja slabijeg osvjetljenja.

Korišteni programi Agisoft Metashape (Pro verzija, edukacijska licenca) i CloudCompare program (GNU/GPL licenca) zadovoljavaju potrebe znanstvenih analiza i interpretaciju dobivenih rezultata te predstavljaju moćan softverski alat koji može unaprijediti/olakšati postojeća istraživanja. Metashape omogućava izradu 3D modela na temelju slika i videa, te izvoz modela u formatu kompatibilnom sa većinom drugih programa za daljnju analizu.

Usporedbom LiDAR i fotogrametrijskog modela obale male luke – staništa kamotočca, utvrđena je veća kvaliteta i točnost prikupljenih podataka pomoću LiDAR tehnologije.

Fotogrametrijskom obradom postojećih videa podvodnih dijelova platformi (0-40 m) napravljenih za dokumentiranje obraštaja i biodiverziteta zajednica napravljen je 3D model površinskog djela nogara (0-10 m) koji se pokazao se vrlo svrsishodan, jer je pružio mogućnost 3D pregleda pojedinih područja (detalja) i direktnu usporedbu s snimljenim fotografijama SCUBA ronioca uz istovremeno praćenje dubine podvodne strukture na zaslonu računala. Utvrđeno je opadanje kvalitete modela s povećanjem dubine, prvenstveno zbog turbiditeta mora i osvijetljenosti područja snimanja.

Generalno, zračna fotogrametrija i podvodna fotogrametrija se pokazala kao koristan alat koji omogućuje precizno mapiranje, modeliranje i analizu površina snimljenih iz zraka pomoću letjelica opremljenih kamerama, dok podvodna fotogrametrija omogućuje prikupljanje podataka, stvaranje modela uz cjeloviti prikaz

na zaslonu, utvrđivanje-potvrdu vrsta te ovisno o kvaliteti snimki pojedinih dijelova ili cijelih struktura omogućava izračun npr. volumen obraštaja po dubinama i lokacijama.

LITERATURA

- [1] I. Exposito, "3D fotogrametrija: šta je to, kako je koristiti i kako započeti," *Creativos Online*, <https://www.creativosonline.org/bs/3d-fotogrametrija-kako-je-koristiti-i-kako-zapoceti.html>, Pristupljeno 10.06.2024.
- [2] "Fotogrametrija: Hrvatska enciklopedija," *Leksikografski zavod Miroslav Krleža*, 2013–2024, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/fotogrametrija>, Pristupljeno 30.08.2024.
- [3] "Fotografija: Tehnička enciklopedija," <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/fotografija.pdf>, Pristupljeno 10.08.2024.
- [4] J. Šarić, *3D portretna fotografija*, Diplomski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2016, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:216:349096>, Pristupljeno 20.07.2024.
- [5] G. Marre, F. Holon, S. Luque, P. Boissery, and J. Deter, "Monitoring marine habitats with photogrammetry: A cost-effective, accurate, precise and high-resolution reconstruction method," *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, p. 256, 2019.
- [6] E. Nocerino, F. Neyer, A. Gruen, M. Troyer, F. Menna, A. Brooks, A. Capra, C. Castagnetti, and P. Rossi, "Comparison of diver-operated underwater photogrammetric systems for coral reef monitoring," in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W10, 2019.
- [7] W. Rutkowski and T. Lipecki, "Use of the iPhone 13 Pro LiDAR Scanner for Inspection and Measurement in the Mineshaft Sinking Process," *Remote Sens.* , vol. 15, p. 5089, 2023.
- [8] "Pholas: Natura Histrica 2023," <https://www.natura-histrica.hr/hr/novost/postavljena-nova-informativna-tabela-kamotocac-pholas-dactylus-390>, Pristupljeno 20.06.2024.
- [9] T. Schenk, *Introduction to Photogrammetry*, <http://www.mat.uc.pt/~gil/downloads/IntroPhoto.pdf>, Pristupljeno 20.06.2024.
- [10] "Umjetni podvodni greben: Glas Istre, 2021," <https://www.glasistre.hr/more-i-nautika/na-milju-i-pol-od-poreca-izgradit-ce-se-umjetni-podvodni-greben-proucavanje-naseljavanja-biljnih-i-zivotinjskih-organizama-755010>, Pristupljeno 20.06.2024.
- [11] "Pholas: Wikipedia 2024," <https://en.wikipedia.org/wiki/Pholas>, Pristupljeno 20.07.2024.
- [12] *World Register of Marine Species (WORMS)*, <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=138343>, Pristupljeno 20.07.2024.
- [13] Agisoft LLC, *Agisoft Metashape User Manual (v1.8)*, Agisoft Official Website, <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>, Preuzeto 26.07.2024.

- [14] CHASING Innovation, *CHASING M2 ROV User Manual*, CHASING Innovation Official Website, <https://www.chasing.com/chasing-m2>, Preuzeto 26.07.2024.
- [15] D. Girardeau-Montaut, "CloudCompare - 3D point cloud and mesh processing software," <https://www.danielgm.net/cc/>, Pristupljeno 20.07.2024.
- [16] DJI, *DJI Air 3 User Manual*, DJI Official Website, <https://www.dji.com/air-3>, Preuzeto 26.07.2024.
- [17] "What is Photogrammetry?" <http://www.photogrammetry.com/>, Pristupljeno 20.07.2024.
- [18] K. Hanke and P. Grussenmeyer, "Architectural photogrammetry: Basic theory, Procedures, Tools," in *ISPRS Corfu 2002*, http://www.isprs.org/commission5/tutorial02/gruss/tut_gruss.pdf, Pristupljeno 22.06.2024.
- [19] Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo, "Dozvola za letenje daljinski upravljanim zrakoplovima," <https://www.ccaa.hr/hr/dozvola-za-letenje>, Pristupljeno 26.07.2024.
- [20] Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo, "Mrežno osposobljavanje za daljinski upravljane zrakoplove," <https://www.ccaa.hr/hr/mrežno-osposobljavanje>, Pristupljeno 26.07.2024.
- [21] Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo, "Osiguranje za operatere dronova," <https://www.ccaa.hr/hr/osiguranje-dronova>, Pristupljeno 26.07.2024.
- [22] Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo, "Registracija operatera daljinski upravljanih zrakoplova," <https://www.ccaa.hr/hr/registracija-operatera>, Pristupljeno 26.07.2024.
- [23] "Školjkaši: Zelena Istra 2024," <https://www.istra.hr/hr/doziviljaji/zelena-istra/zivotinjski-svijet/zasticeni-skoljkasi-istarskog-podmorja?chapter=4>, Pristupljeno 20.07.2024.
- [24] "Školjkaši: SMSI Rovigno 2022," <https://zelenipojas.ina.hr/prisutnost-kamotocca-pholas-dactylus-u-obalnom-podrucju-rovinja/>, Pristupljeno 20.07.2024.
- [25] Institut Ruđer Bošković, *Izvješće INA Jadran Ugovor 67/17: Praćenje utjecaja INA Jadran-ovih platformi na okoliš*, Zagreb, 2018.
- [26] Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture Republike Hrvatske, "Dozvola Lučke kapetanije za snimanje iz zraka iznad vodenih površina," <https://mmpi.gov.hr/more/inspektorat-sigurnosti-plovidbe/16892>, Pristupljeno 26.07.2024.

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz principa fotogrametrije. (http://www.clemson.edu/restoration/wlcc/_files/photogrammetry.jpg).....	4
Slika 2. Geometrijska predodžba optičkog preslikavanja (Fotografija: Tehnička enciklopedija).....	6
Slika 3. Aeropoligonizacija.	7
Slika 4. Prikaz potrebnog preklapanja fotografija (http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/images/photo).	7
Slika 5. Vanjski izgled ljušture i žive jedinice kamotočca <i>Pholas dactylus</i>	12
Slika 6. Karta rovinjskog priobalja s označenom lokacijom staništa zaštićene vrste kamotočca <i>Pholas dactylus</i> u zoni plime i oseke u maloj lučici Specijalne ortopedske bolnice „Martin Horvat“, Rovinj.	12
Slika 7. Uklanjanje nanesenog materijala (IRB-SMSI Rovinj-Rovigno) na lokaciji staništa zaštićene vrste kamotočca tijekom 2022. godine.....	13
Slika 8. Platforma Ivana B.....	14
Slika 9. Obraštajna zajednica na nogaru platforme (3 m) i dagnje, crni ježinci, rakovi vitičari i kolonije mahovnjaka u obraštaju nogara na 10 m dubine.	14
Slika 10. Lokacija umjetnog grebena Žontuja u Porečkom akvatoriju.	16
Slika 11. Umjetni greben Žontuja, Poreč: Aksonometrijski prikaz s jednim detaljem (SCUBA fotografija).....	17
Slika 12. Dron DJI Air 3 sa Fly More Combo opremom.	18
Slika 13. ROV Chasing M2 sa opremom.	19
Slika 14. Korišteni ROV CHASING M2 s montiranom dodatnom kamerom (GoPro 11) i dodatnim osvjetljenjem (MARES) koje omogućuje prikupljanje podataka iz podvodnih okruženja slabijeg osvjetljenja. Adapteri za pričvršćivanje su vlastite proizvodnje (Prusa 3D printer).	20
Slika 15. Prikaz fotogrametrijske analize pomoću Agisoft Metashape programa.	23
Slika 16. Službena web stranica Projekta CloudCompare koji omogućava usporedbu različitih 3D objekata (https://www.cloudcompare.org/).	24
Slika 17. Prikaz preklapanja i značajnih točaka dviju fotografija.	25
Slika 18. Izgled rjeđeg točkastog oblaka male lučice rezultatom aliniranja fotografija.	25
Slika 19. Prikaz generiranog gustog točkastog oblaka male lučice.....	26
Slika 20. Prikaz scene nakon filtriranja i ručnog očišćenja.	26
Slika 21. Prikaz 3D mreže terena.	27
Slika 22. Izgled terena nakon teksturiranja terena.....	27
Slika 23. Usporedba jedinica (udaljenosti i površine) prikaza aplikacije 3d Scan App i CloudCompare programa.	28

Slika 24. Završna vizualizacija.....	29
Slika 25. Razlika operatera i udaljenog pilota drona.....	30
Slika 26. Aplikacija AMC Portal Mobile (https://apps.apple.com/hr/app/amc-portal-mobile/id1437249560?l=hr).	31
Slika 27. Geolociranje fotogrametrijskog modela male lučice pomoću Agisoft Metashape programa.....	34
Slika 28. Fotogrametrijski model probnog umjetnog grebena.	35
Slika 29. Prikaz modela probnog umjetnog grebena na suhom s prikazom supraponiranih slika izdvojenih iz videa (GoPro 11).	35
Slika 30. Zračne snimke male lučice napravljene pomoću drona DJI.	36
Slika 31. Fotogrametrijski model (engl. dense point cloud) male lučice napravljen pomoću zračne snimke dronom DJI.	37
Slika 32. Procesuiran fotogrametrijski 3d model male lučice napravljen pomoću zračne snimke dronom DJI.	38
Slika 33. 3D LIDAR (iPhone) skenirana obala tijekom oseke i povoljnih vremenskih uvjeta dana 30.5.2024.	38
Slika 34. Usporedba LIDAR (iPhone) i zračnog fotogrametrijskog modela (dron) staništa zaštićene vrste školjkaša – kamotočac <i>Pholas dactylus</i> (30.05.2024. vs 29.09.2024.) pomoću CloudCompare programa.....	39
Slika 35. Histogram razlike volumena uspoređenih površina početnog i završnog stanja obale s utvrđenom maksimalnom razlikom visine od <0,3 m.	39
Slika 36. Neuspjeli pokušaj stvaranja modela umjetnog grebena snimkom pod uvjetima slabe vidljivosti.	41
Slika 37. Fotogrametrijska obrada postojećih videa podvodnih dijelova platforme Ivana B (0-40 m).	43
Slika 38. Detalj fotogrametrijskog modela korišten za daljnje biološke analize.	44
Slika 39. Usporedni detalj fotogrametrijskog modela nogara platforme Ivana B korišten za daljnje biološke analize.	45

PRILOZI

Prilog 1: Suglasnost lučke kapetanije



**ŽUPANIJSKA LUČKA UPRAVA ROVINJ
AUTORITÀ PORTUALE REGIONALE DI ROVIGNO
REGIONAL PORT AUTHORITY ROVINJ**

Obala/Riva Pino Budicin 1
52210 Rovinj-Rovigno
MB: 1383230 / OIB: 32857429536
IBAN: HR7223400091118004637

Tel: +385 (0)52 814166
Web: www.port-rovinj.hr
Mail: info@port-rovinj.hr

Klasa – Classe: 342-04/24-01/02
Ur.broj – No. prot.: 2163/15-01-24-6
Rovinj – Rovigno, 14.08.2024.g.

Temeljem zahtjeva Instituta Ruđer Bošković, Giordana Paliage 5, Rovinj, ravnatelj županijske Lučke uprave Rovinj izdaje

SUGLASNOST

za ciljano zračno 2D i 3D snimanje dronom male lučice kod Specijalne bolnice za ortopediju i rehabilitaciju „Martin Horvat“, Valdibora, Rovinj radi utvrđivanja ugroženosti staništa zaštićenog školjkaša kamotočca *Pholas dactylus*

Snimanje se mora obaviti van vremena ukrcaja putnika na brodice privezane sa vanjske strane polukružnog lukobrana.



Ravnatelj
Adolf Marić, dipl.ing.

DOSTAVITI:

1. Institut Ruđer Bošković, Rovinj
2. arhiva, ovdje