

# Izrada 3D modela pomoću mobilne aplikacije i fotogrametrijskog softvera

---

Dujmić, Matea

Master's thesis / Diplomski rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:622737>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-03**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij Hidrogeologije i inženjerske geologije

**IZRADA 3D MODELA POMOĆU MOBILNE APLIKACIJE I  
FOTOGRAMETRIJSKOG SOFTVERA**

Diplomski rad

Matea Dujmić

G2229

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
100-0000 Zagreb, Prilježeva 6, p.p. 390

OBRAZAC SUSTAVA UPRAVLJANJA KVALITETOM

KLASA: 602-01/24-01/17  
URBROJ: 251-70-14-24-2  
U Zagrebu, 03.09.2024.

Matea Dujmić, studentica


## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/17, URBROJ: 251-70-14-24-1 od 19.06.2024. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### IZRADA 3D MODELA POMOĆU MOBILNE APLIKACIJE I FOTOGRAMETRIJSKOG SOFTVERA

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Doc.dr.sc. Ivan Medved nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

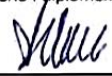
Mentor:

  
(potpis)

Doc.dr.sc. Ivan Medved

(titula, ime i prezime)

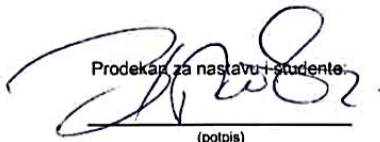
Predsjednica povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

  
(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Ana Maričić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

  
(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

Oznaka: OB 8.5.-1 SRF-1-13/0

Stranica: 1/1

Čuvanje (godina) Trajno

IZRADA 3D MODELA POMOĆU MOBILNE APLIKACIJE I FOTOGRAMETRIJSKOG SOFTVERA

Matea Dujmić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Ovaj rad se bavi izradom 3D modela koristeći fotogrametrijsku metodu uz pomoć mobilne aplikacije Polycam i softvera Agisoft Metashape. U radu se uspoređuju različiti načini obrade i prikaza konačnih 3D modela. Fokus je na metodama snimanja, obrade i izrade 3D modela te analizi rezultata kako bi se prikazale prednosti i nedostaci ovih tehnologija u stvaranju preciznih trodimenzionalnih prikaza.

Ključne riječi: Fotogrametrija, 3D skeniranje, Polycam, Agisoft

Diplomski rad sadrži: 29 stranica, 26 slika, 1 tablica i 21 referenca.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: doc. dr. sc. Ivan Medved, RGNF

Ocjenjivači: dr. sc. Ivan Medved, docent RGNF-a  
dr. sc. Jasna Orešković, profesorica RGNF-a  
dr. sc. Tomislav Korman, izvanredni profesor RGNF-a

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentoru, doc. dr. sc. Ivanu Medvedu, na pruženom znanju kroz studij te stručnoj pomoći i savjetima tijekom izrade ovog rada.

Matea Dujmić

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. 3D MODELIRANJE .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. 3D skeniranje i fotogrametrija .....</b>	<b>2</b>
2.1.1. Structure from Motion (SfM) .....	2
<b>2.2. Primjena u geologiji.....</b>	<b>4</b>
<b>3. KORIŠTENA OPREMA I SKENIRANI OBJEKTI .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1. Korištena oprema .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2. Rimski nadgrobni spomenik.....</b>	<b>6</b>
<b>3.3. Meteorološki stup.....</b>	<b>7</b>
<b>4. METODOLOGIJA .....</b>	<b>8</b>
<b>4.1. POLYCAM.....</b>	<b>8</b>
<b>4.2. AGISOFT METASHAPE .....</b>	<b>10</b>
<b>5. PRAKTIČNI DIO.....</b>	<b>11</b>
<b>5.1. Izrada 3D modela pomoću mobilne aplikacije Polycam .....</b>	<b>11</b>
<b>5.2. Izrada 3D modela pomoću fotogrametrijskog softvera Agisoft Metashape.....</b>	<b>17</b>
<b>6. REZULTATI .....</b>	<b>25</b>
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>28</b>
<b>8. LITERATURA .....</b>	<b>29</b>

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Prikupljanje podataka SfM tehnikom (Westoby, M. J., 2012).....	3
Slika 3.1 Rimski nadgrobni spomenik Egnatuleja Florentina .....	6
Slika 3.2 Meteorološki stup .....	7
Slika 4.1 Logo Polycam aplikacije (Polycam, 2024.) .....	8
Slika 4.2 Logo Agisoft Metashape softvera (Agisoft LLC, 2024.) .....	10
Slika 5.1 Sučelje mobilne aplikacije Polycam.....	12
Slika 5.2 Prikaz prikupljenih fotografija prvog objekta .....	13
Slika 5.3 3D model rimskog nadgrobnog spomenika Egnatuleja Florentina .....	14
Slika 5.4 Prikaz prikupljenih fotografija objekta broj dva .....	15
Slika 5.5 Prikaz 3D modela Meteorološkog stupa .....	16
Slika 5.6 Sučelje softvera Agisoft Metashape-a s učitanim fotografijama prvog objekta ..	18
Slika 5.7 Parametri za poravnanje fotografija .....	18
Slika 5.8 Dobiveni rijetki oblak točaka za prvi objekt .....	19
Slika 5.9 Dobiveni rijetki oblak točaka za drugi objekt .....	19
Slika 5.10 Parametri za dobivanje gustog oblaka točaka .....	20
Slika 5.11 Dobiveni gusti oblak točaka za prvi objekt.....	20
Slika 5.12 Prvi objekt nakon brisanja viška točaka .....	21
Slika 5.13 Drugi objekt nakon generiranja gustog oblaka točaka i brisanja viška točaka ..	21
Slika 5.14 Parametri za dobivanje 3D modela .....	22
Slika 5.15 3D model prvog objekta .....	22
Slika 5.16 3D model drugog objekta .....	23
Slika 5.17 Parametri za dobivanje teksture .....	23
Slika 5.18 3D model prvog objekta s teksturom .....	24
Slika 5.19 3D model drugog objekta s teksturom .....	24
Slika 6.1 Zumirani dio Meteorološkog stupa dobiven fotogrametrijskim softverom .....	26
Slika 6.2 Zumirani dio Meteorološkog stupa dobiven mobilnom aplikacijom .....	27

## POPIS TABLICA

Tablica 5-1 Prikaz dobivenih 3D modela pomoću mobilne aplikacije i fotogrametrijskog softvera.....	25
--	----

## 1. UVOD

U suvremenom dobu, tehnologija fotogrametrije zauzima značajno mjesto u području digitalne rekonstrukcije i trodimenzionalnog modeliranja. Fotogrametrija, kao znanstvena i tehnička metoda, omogućuje izradu preciznih 3D modela koristeći niz digitalnih fotografija snimljenih iz različitih kutova. Ova tehnika nalazi primjenu u različitim industrijama, uključujući geodeziju, arhitekturu, arheologiju i mnoge druge.

Jedan od najpopularnijih fotogrametrijskih softvera je Agisoft Metashape, koji nudi širok spektar funkcionalnosti za analizu i obradu digitalnih slika u svrhu izrade visokokvalitetnih 3D modela. Metashape omogućuje automatsko poravnavanje fotografija, izgradnju oblaka točaka, generiranje poligonalnih mreža i tekstura, te pruža alate za napredno filtriranje i uređivanje rezultata. Njegova jednostavnost korištenja i visoka preciznost čine ga idealnim alatom za profesionalce i entuzijaste.

Uz Metashape, u posljednje vrijeme popularnost stječe i mobilna aplikacija Polycam. Polycam omogućuje korisnicima da koriste svoje pametne telefone za snimanje okoline i stvaranje 3D modela u pokretu. Ova aplikacija koristi napredne algoritme za obradu slika i može se integrirati s drugim softverima za daljnju obradu i analizu, što je čini korisnom za brzu i praktičnu izradu 3D modela na terenu.

Ovaj diplomski rad bavi se istraživanjem procesa izrade 3D modela iz digitalnih fotografija korištenjem fotogrametrijskih tehnika i alata kao što su Agisoft Metashape i Polycam. Fokusirat ćemo se na metode snimanja, obradu i izradu 3D modela te analizu rezultata kako bismo istaknuli prednosti i nedostatke ovih tehnologija u stvaranju preciznih i detaljnih trodimenzionalnih prikaza.



## **2. 3D MODELIRANJE**

### **2.1. 3D skeniranje i fotogrametrija**

3D skeniranje je proces kojim se fizički objekti digitalno snimaju i pretvaraju u trodimenzionalne modele. Ova tehnologija koristi različite metode, uključujući laserske skenere, strukturalnu svjetlost i fotogrametriju. 3D skeniranje omogućava precizno hvatanje oblika, veličine i teksture objekta, čineći ga korisnim za različite aplikacije kao što su industrijski dizajn, animacija, virtualna stvarnost i medicinska istraživanja.

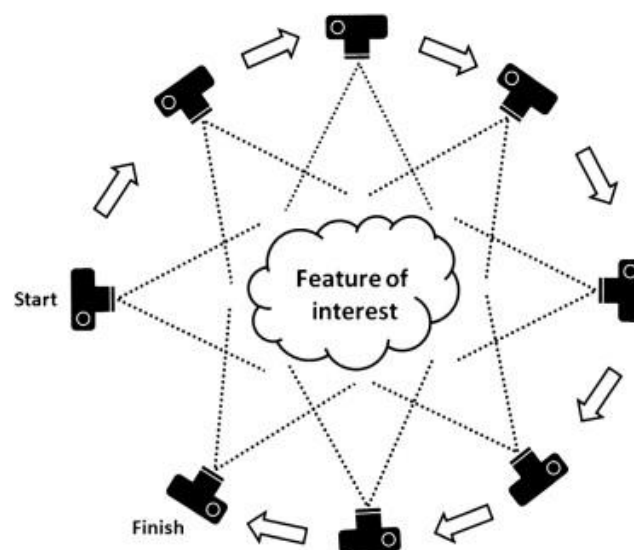
Fotogrametrija je znanstvena disciplina koja se bavi mjerenjem i interpretacijom fotografija s ciljem rekonstrukcije objekata i scena u trodimenzionalnom prostoru. Njena primarna funkcija je pretvorba 2D fotografija u 3D podatke, omogućujući tako analizu prostora i objekata koji su snimljeni. Fotogrametrija se koristi u različitim područjima poput kartografije, geodezije, arheologije, građevinarstva i forenzičke znanosti.

Fotogrametrija i 3D skeniranje su usko povezani procesi koji se međusobno nadopunjuju. Fotogrametrija koristi standardne fotografije za stvaranje 3D modela, dok 3D skeniranje može koristiti specijaliziranu opremu za digitalno hvatanje oblika i teksture objekata. U mnogim slučajevima, fotogrametrija se koristi kao metoda 3D skeniranja, posebno kada je potrebna velika količina detalja ili kada je objekt prevelik ili nepristupačan za tradicionalne 3D skenere (Bernik i Cetina, 2018).

#### **2.1.1. Structure from Motion (SfM)**

U posljednja dva desetljeća, napredak u računalnoj viziji doveo je do razvoja naprednih metoda koje omogućuju automatsku rekonstrukciju 3D modela iz dvodimenzionalnih slika. Prema znanstvenom članku Westoby M.J., „Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications“ iz 2012.godine jedna od najznačajnijih metoda u ovom području je Structure from Motion (SfM), koja koristi niz fotografija snimljenih iz različitih perspektiva kako bi se izgradila trodimenzionalna reprezentacija objekta ili scene. Structure from Motion temelji se na ideji da se 3D struktura objekta može rekonstruirati analizom pokreta kamere u odnosu na promatrani objekt. Ovaj proces uključuje više faza, od kojih svaka igra ključnu ulogu u konačnoj rekonstrukciji 3D modela. Prvi korak u SfM procesu je prikupljanje slikovnih podataka. Potrebno je snimiti niz fotografija objekta iz različitih kutova kako bi se osigurala dovoljna pokrivenost i preklapanje između slika (Slika 2.1). Važno je da slike imaju visoku kvalitetu i dovoljan

broj detalja kako bi algoritmi mogli identificirati zajedničke točke na različitim slikama. Obično se koristi obična digitalna kamera ili čak pametni telefon, što čini SfM pristup izuzetno dostupnim i ekonomičnim. Nakon prikupljanja slikovnih podataka, sljedeći korak je identifikacija značajki na slikama. Značajke predstavljaju prepoznatljive točke na objektu koje se mogu lako uočiti na više slika. Tipični algoritmi za detekciju značajki uključuju SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), SURF (Speeded-Up Robust Features) i ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF). Ovi algoritmi traže lokalne ekstreme na slikama koji predstavljaju značajne točke, kao što su uglovi ili rubovi objekta. Jednom kada su značajke detektirane, potrebno je podudariti ih na različitim slikama. Ovo se postiže analizom sličnosti između značajki na različitim slikama. Ako se ista značajka prepoznata na dvije ili više slika, može se koristiti za procjenu relativne pozicije kamere u trenutku snimanja. Ovaj korak je ključan za kasniju rekonstrukciju 3D strukture objekta. Sljedeći korak uključuje procjenu položaja i orijentacije kamere u trenutku snimanja svake slike. Ova se procjena temelji na podudaranju značajki između različitih slika. Nakon što su procijenjeni položaji kamere, algoritam koristi triangulaciju za izračunavanje 3D koordinata značajki. Triangulacija se temelji na geometriji koja koristi položaje kamere i kutove pod kojima su slike snimljene kako bi se odredila točna pozicija značajki u 3D prostoru. Rezultat je niz 3D točaka koje opisuju površinu objekta. Konačni korak u SfM procesu je generiranje gustog oblaka točaka, koji može biti pretvoren u 3D mrežu (mesh) i teksturiran kako bi se dobio realističan 3D model. Oblak točaka predstavlja diskretne točke u prostoru koje definiraju površinu objekta (Jurković i dr. 2021).



Slika 2.1 Prikupljanje podataka SfM tehnikom (Westoby, M. J., 2012)

## 2.2. Primjena u geologiji

U području geologije, fotogrametrija omogućuje analizu slijeganja tla u vulkanskim područjima, generiranje orto-karata i digitalnih modela terena na kojima se mogu generirati studijski profili i druge analize kao što su brojanje volumena, topografija i altimetrija (AV3 aerovisual, 2024).

Dimitrijević u svom stručnom radu (1955) godine navodi da je Kanadska Topografska Služba razradila metodu kosih, panoramskih snimaka iz zraka čija je svrha bila topografska i geološka interpretacija velikih i pustih jezerski predjela na Kanadskom štitu. Zaključeno je da se metoda može upotrijebiti ako su vertikalne razlike kota točaka manje od 100 m na snimljenom terenu. Snimci dobiveni aerofotogrametrijom služe kao topografska podloga, posebno snimci u mjerilu 1:10 000 koji imaju mnogo detalja i koji se koriste kod geološkog kartiranja, no i ti snimci imaju svoje mane a to je nedostatak kota i imena mjesta koje je potrebno naknadno unijeti. Također, snimci dobiveni aerofotogrametrijom služe i kao modeli terena na kojima je moguće ukoliko je područje dobro otkriveno i geološki raznoliko iscrtati granice, odrediti starost i sastav pojedinih formacija.

Fotogrametrija, točnije snimljene fotografije mogu imati značajnu ulogu u pregledu svojstava terena poput pojave erozije, klizišta, utjecaja vlage na bilje itd. U rudarsko-geološko-naftnoj praksi primjenjuje se samo u osnovnoj namjeni, točnije za izradu prostornih planova, crteža, karata i u svrhu kontrole rudarskih radova i njihovo napredovanje. U geologiji fotogrametrija je svrhu našla kod tektonike, kontakta između stijena, odrona zemlje i snimanja bušačkih garnitura (Kanajet, 1973).

### **3. KORIŠTENA OPREMA I SKENIRANI OBJEKTI**

Cilj fotogrametrije je generiranje trodimenzionalnog modela iz dvodimenzionalne ravnine, točnije u našem slučaju riječ je o izradi 3D modela iz fotografije. Kako bi to bilo moguće potrebno je izabrati odgovarajući objekt i koristiti odgovarajuću opremu. Objekt je potrebno fotografirati što više puta iz što više različitih kutova (poželjno je da preklapanje između slika bude 70-80%). Također, osvijetljenost objekta važan je faktor prilikom fotografiranja. Ako je objekt previše osvijetljen moguća je pojava neželjene sjene koja može imati negativan utjecaj na krajnji rezultat. Upravo iz toga razloga, izabrani objekti su fotografirani u poslijepodnevnim satima kada je vrijeme bilo oblačno, idealno za fotografiranje. Što se tiče odabira objekata, potrebno je da željeni objekti imaju jasnu teksturu i da površina objekta nije reflektirajuća.

#### **3.1. Korištena oprema**

Dobivene fotografije izabranih objekata uslikane su iPhone mobilnim uređajima, točnije iPhone-om 14 i iPhone-om 15 Pro. Prvi objekt, rimski nadgrobni spomenik Egnatuleja Florentina, fotografiran je s iPhone-om 14, koji u okviru stražnje kamere ima glavnu kameru visoke rezolucije od 12 MP, koja omogućava hvatanje više svjetla, što je ključno za snimanje jasnih i oštrih fotografija u uvjetima slabog osvjetljenja. Uz glavnu kameru nalazi se ultraširokokutna kamera koja ima sposobnost snimanja makro fotografija, tj. hvatanja detalja iz blizine, što je idealno za detaljne snimke. Drugi objekt, Meteorološki stup, fotografiran je s iPhone-om 15 Pro s ciljem usporedbe kvalitete dobivenih slika dva različita uređaja. Pretpostavka je da su fotografije dobivene iPhone-om 15 Pro bolje kvalitete, čiju stražnju kameru čine glavna kamera, telefoto kamera i širokokutna kamera. Visoka rezolucija glavne kamere od čak 48 MP omogućava izuzetno detaljne fotografije. Veliki otvor blende (f/1.78) i sensor-shift OIS osiguravaju izuzetne performanse u uvjetima slabog osvjetljenja i stabilne snimke bez zamućenja.

### 3.2. Rimski nadgrobnji spomenik

Svrha ovog diplomskog rada izrada je 3D modela iz fotografija snimljenih mobilnim uređajem. S tim ciljem kao prvi objekt izabran je rimski nadgrobnji spomenik Egnatuleja Florentina (Slika 3.1), točnije njegova kopija koja se nalazi u zagrebačkom parku „Ribnjak“. Spomenik je na tu lokaciju postavljen 2014.godine u sklopu projekta „Zagreb dok ga još nije bilo – prije 1094.“



Slika 3.1 Rimski nadgrobnji spomenik Egnatuleja Florentina



### 3.3. Meteorološki stup

Za izradu drugog 3D modela izabran je Meteorološki stup (Slika 3.2) na zagrebačkom parku „Zrinjevac“, ujedno jedan od najstarijih meteorološki postaja u Zagrebu. Stup mjeri tlak, vlagu i temperaturu zraka. Dobiveni podaci danas se ne koriste jer stup nije izgrađen po modernim standardima Svjetske meteorološke organizacije. Stup je kvadratna tlocrta te je građen od istarskog mramora (Radović Mahečić, 1994).



Slika 3.2 Meteorološki stup

## 4. METODOLOGIJA

### 4.1. POLYCAM

Polycam je mobilna aplikacija za 3D skeniranje za Android i iOS uređaje (Slika 4.1). Služi za stvaranje kvalitetnih 3D modela iz fotografija snimljenih mobilnim uređajem. Aplikacija je u potpunosti besplatna, no ukoliko se želi koristiti Pro verzija s dodatnim opcijama i mogućnostima tada je moguće uzeti 7 dana probnog korištenja te je nakon toga potrebno platiti. Naime, postoje četiri načina skeniranja u Polycam aplikaciji: LiDAR Mode, Room Mode, 360° Mode i Photo Mode (Polycam, 2024).



Slika 4.1 Logo Polycam aplikacije (Polycam, 2024.)

LiDAR način omogućava snimanje prostora, no za njegovo korištenje potrebno je da mobilni uređaj ima ugrađen senzor poput „Pro“ i „Pro Max“ verzija iPhone uređaja. Pomoću LiDAR senzora vrlo brzo dobivaju se podaci o dubini koji služe za generiranje rekonstrukcije izravno na korisnikov mobilni uređaj (Polycam, 2024).

Način sobe omogućuje generiranje 3D i 2D tlocrta te trenutno mjerenje unutarnjih prostora. Također, kao prethodni način rada, zahtjeva LiDAR senzor za svoj rad. 360° način rada omogućava snimanje panoramske slike za 360° (Polycam, 2024).

Način fotografije je najčešće korišten način rada od četiri ponuđena. Odličan je za izradu 3D modela čak i ako na mobilnom uređaju nije dostupan LiDAR senzor. Photo mode radi na principu uzastopnom snimanja fotografija od kojih će se rekonstrukcijom dobiti 3D model. Moguće je automatsko i ručno snimanje. Kod automatskog snimanja potrebno je samo jednom dodirnuti gumb za pokretanje snimanja, a aplikacija će sama odlučiti kada će snimiti fotografije na temelju vašeg kretanja. Opcijom ručnog snimanja možete dodirnuti gumb za snimanje kako biste snimili pojedinačne fotografije točno kada i kako želite. Kako bi 3D model ispao dobro potrebno je da objekt fotografirate iz svih

kutova kako biste snimili najmanje 20, a najviše 150 fotografija. Također, potrebno je održavanje najmanje 50% preklapanja između fotografija. Fotografirani objekt bi trebao imati puno površinskih detalja i tekstura. Dobro osvjetljenje, posebno difuzno, ravnomjerno raspoređeno ključno je za dobro snimanje željenog objekta. S druge strane, treba izbjegavati reflektirajuće i prazne površine te tanke strukture. Nakon snimljenih fotografija aplikacija sama izradi 3D model koji je moguće izvesti u više oblika datoteka poput *dae*, *dxf*, *fbx*, *gltf*, *las*, *obj*, *pts*, *stl*, *usdz* i *xyz* (Polycam, 2024).



## 4.2. AGISOFT METASHAPE

Agisoft Metashape je softver za fotogrametriju koji transformira digitalne slike u 3D prostorne podatke (Slika 4.2). Podaci se mogu koristiti u raznim aplikacijama, uključujući GIS (Geografski Informacijski Sustav), dokumentaciju kulturne baštine, produkciju vizualnih efekata, kao i za neizravna mjerenja objekata različitih razmjera. Agisoft Metashape se ističe svojom sposobnošću da iz RGB i termalnih slika generira precizne prostorne informacije u obliku oblaka točaka i teksturiranih poligonalnih modela. Kao što je rečeno, softver omogućuje transformaciju 2D fotografija u detaljne 3D modele. Proces započinje automatskim poravnavanjem fotografija i kreiranjem oblaka točaka. Nakon toga slijedi generiranje gustog oblaka točaka koji se koristi za izradu 3D mreža (mesh). Na kraju, primjenjuju se teksture na mreže kako bi se dobili vizualno realistični modeli (Agisoft LLC, 2024).



Slika 4.2 Logo Agisoft Metashape softvera (Agisoft LLC, 2024.)

Agisoft Metashape podržava više operativnih sustava, uključujući Windows, macOS i Linux. Preporučeni hardverski zahtjevi uključuju višejezgreni procesor, grafičku karticu s podrškom za OpenGL i najmanje 16 GB RAM-a, iako se za veće projekte preporučuje 32 GB ili više (Agisoft LLC, 2024).

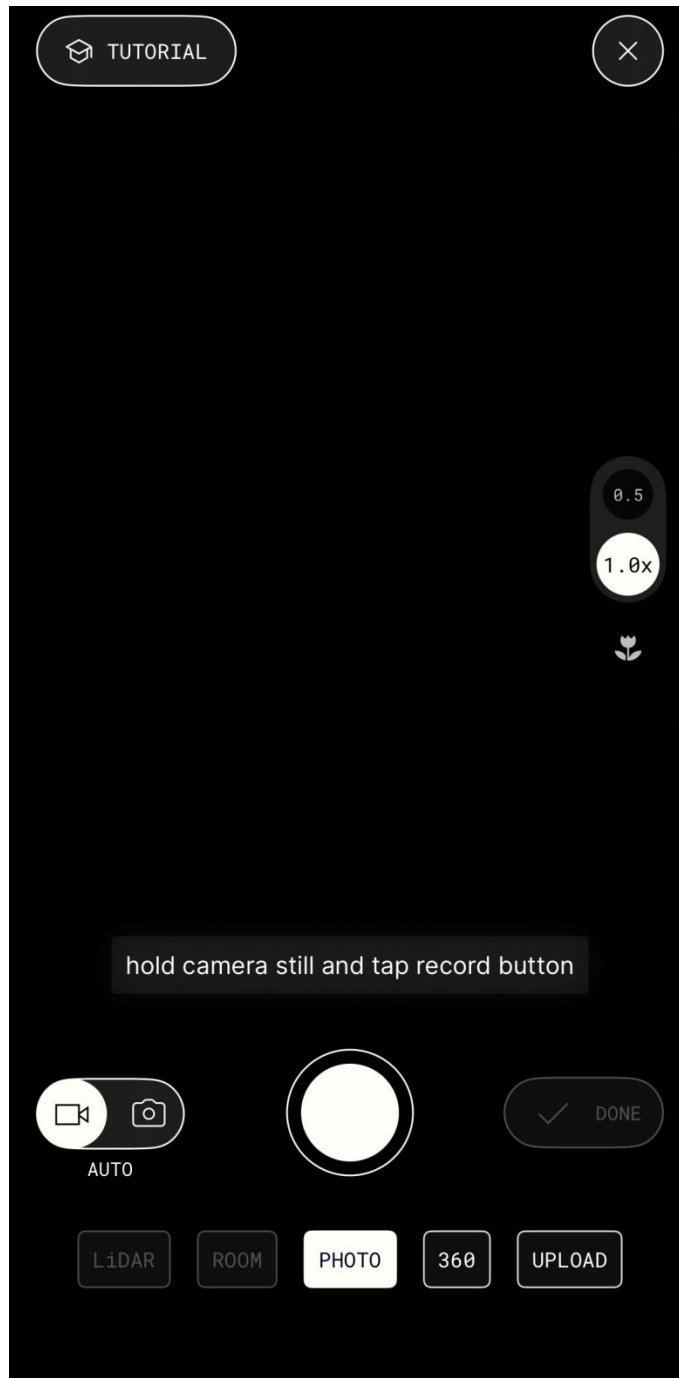
Obrada slika pomoću Metashapea uključuje sljedeće glavne korake: učitavanje slika u Metashape, pregled učitanih slika, uklanjanje nepotrebnih slika, poravnavanje slika, izgradnja gustog oblaka točaka, izgradnja mreže (3D poligonalni model), generiranje teksture i izvoz rezultata. Ako se Metashape koristi u punoj funkcionalnosti (ne u Demo načinu), međurezultati obrade slika mogu se spremati u bilo kojoj fazi u obliku projektnih datoteka i mogu se koristiti kasnije (Agisoft LLC, 2024).

## **5. PRAKTIČNI DIO**

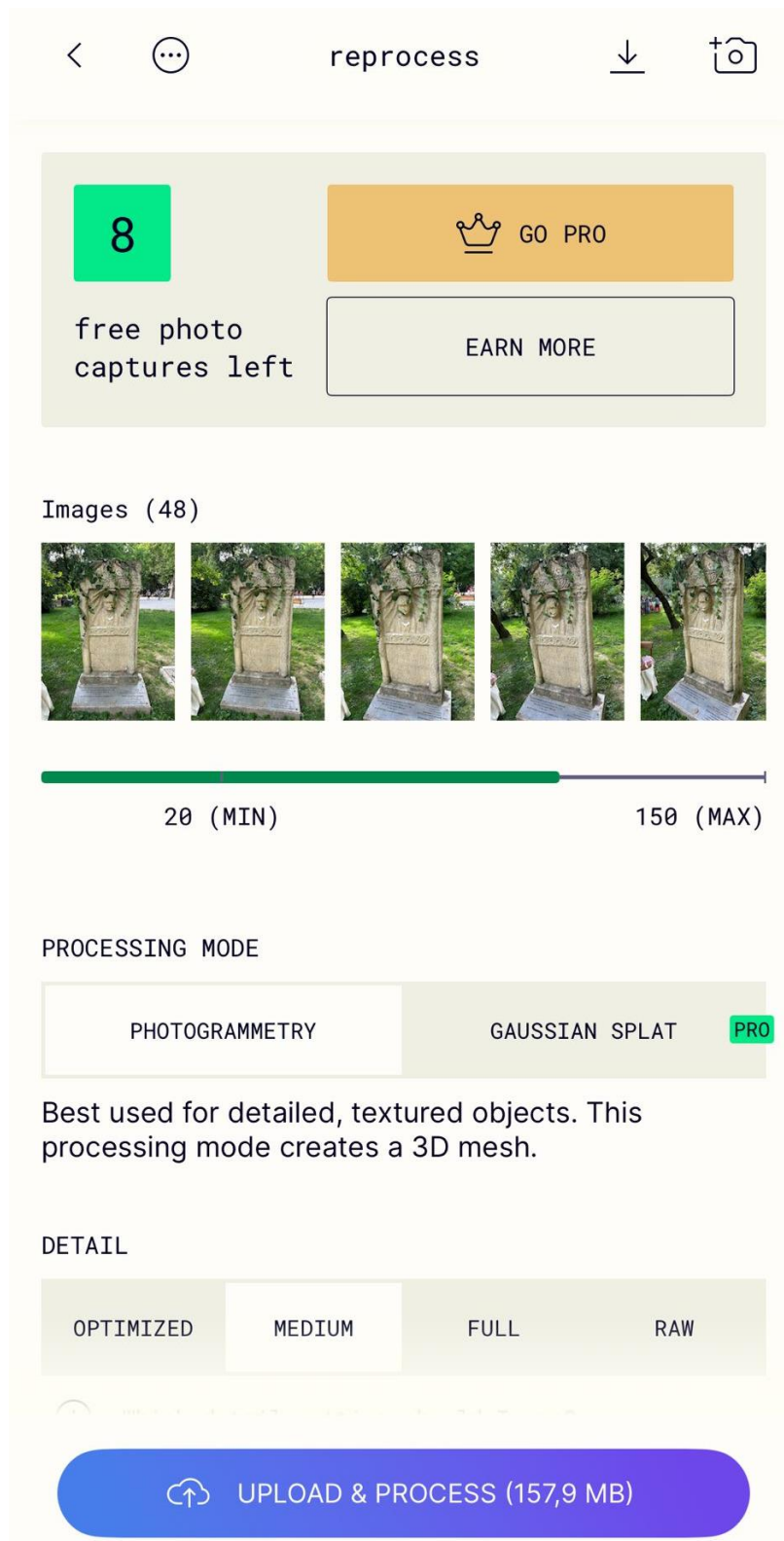
### **5.1. Izrada 3D modela pomoću mobilne aplikacije Polycam**

Kako bi dobili 3D model, bilo je potrebno otići na teren s ciljem fotografiranja objekata čije trodimenzionalne modele želimo dobiti. Kao što je navedeno u poglavlju 3. prvi fotografirani objekt bio je rimski nadgrobni spomenik Egnatuleja Florentina na Ribnjaku. Objekt svojim izgledom zadovoljava kriterije za daljnji rad. Površina objekta nije reflektirajuća niti transparentna.

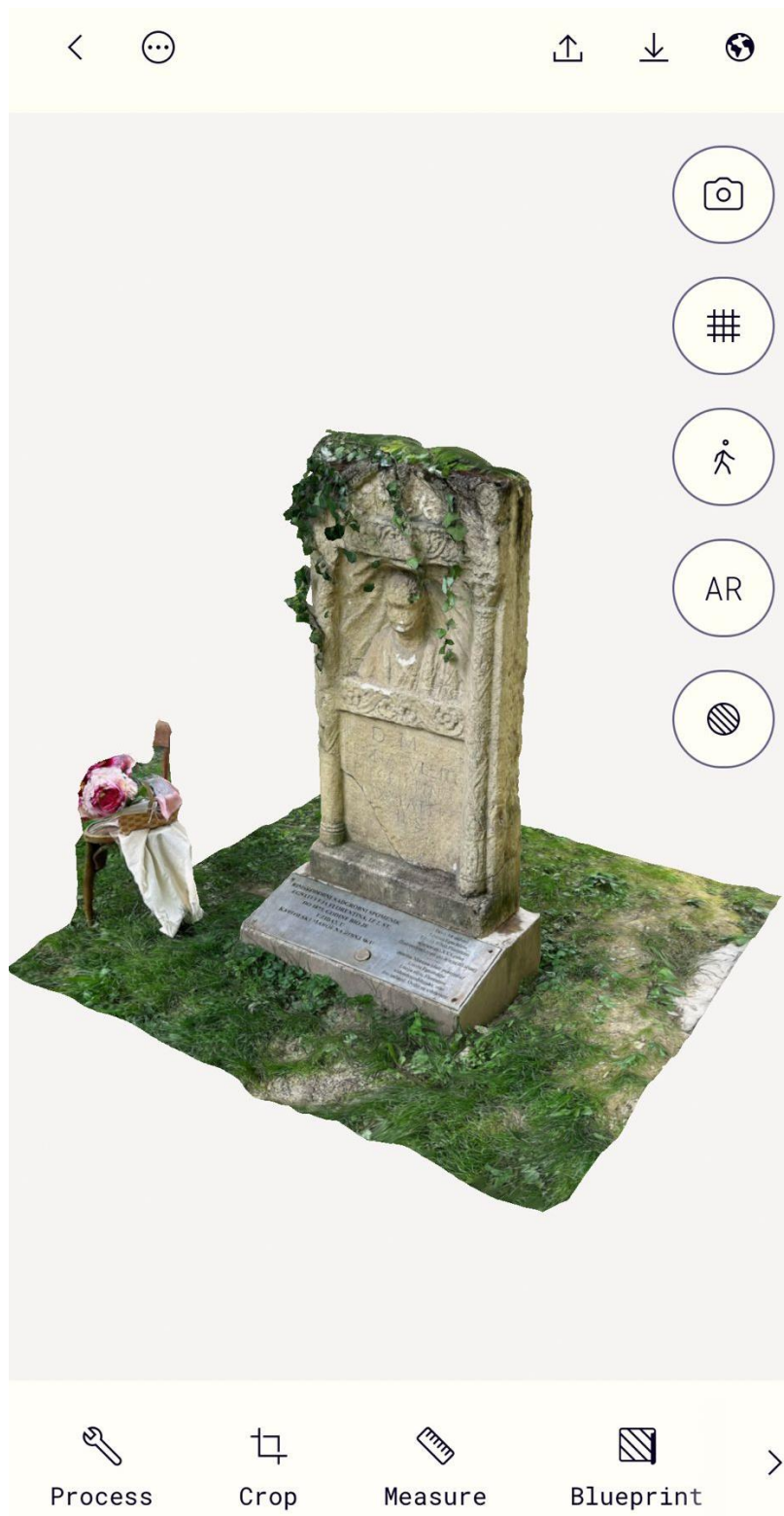
Prvi korak u izradi 3D modela pomoću mobilne aplikacije Polycam je instalacija aplikacije preko App Store ili Google Play. Veličina aplikacije je 130,9 MB. Nakon instalacije, bilo je potrebno otvoriti aplikaciju, izraditi korisnički račun i nastaviti dalje. Napravivši to, otvorilo se sučelje aplikacije Polycam prikazano na Slici 5.1. Zatim je bilo potrebno izabrati način rada, tj. skeniranja gdje je u ovom slučaju izabran Photo mode. Nakon toga postoji mogućnost odabira automatskog ili ručnog skeniranja. Za izradu 3D modela za ovaj diplomski rad izabran je Photo mode s automatskim skeniranjem. Slijedeći korak bio je slikanje objekta. Bilo je potrebno fotografirati objekt sa svih strana. Spomenik Egnatuleja Florentina uslikan je 48 puta što je prikazano na Slici 5.2. Nakon prikupljenih fotografija izabrana je opcija „Upload&Process“ kako bi preklapanjem tih slika dobili model. Dobiveni model prikazan je na Slici 5.3.



Slika 5.1 Sučelje mobilne aplikacije Polycam

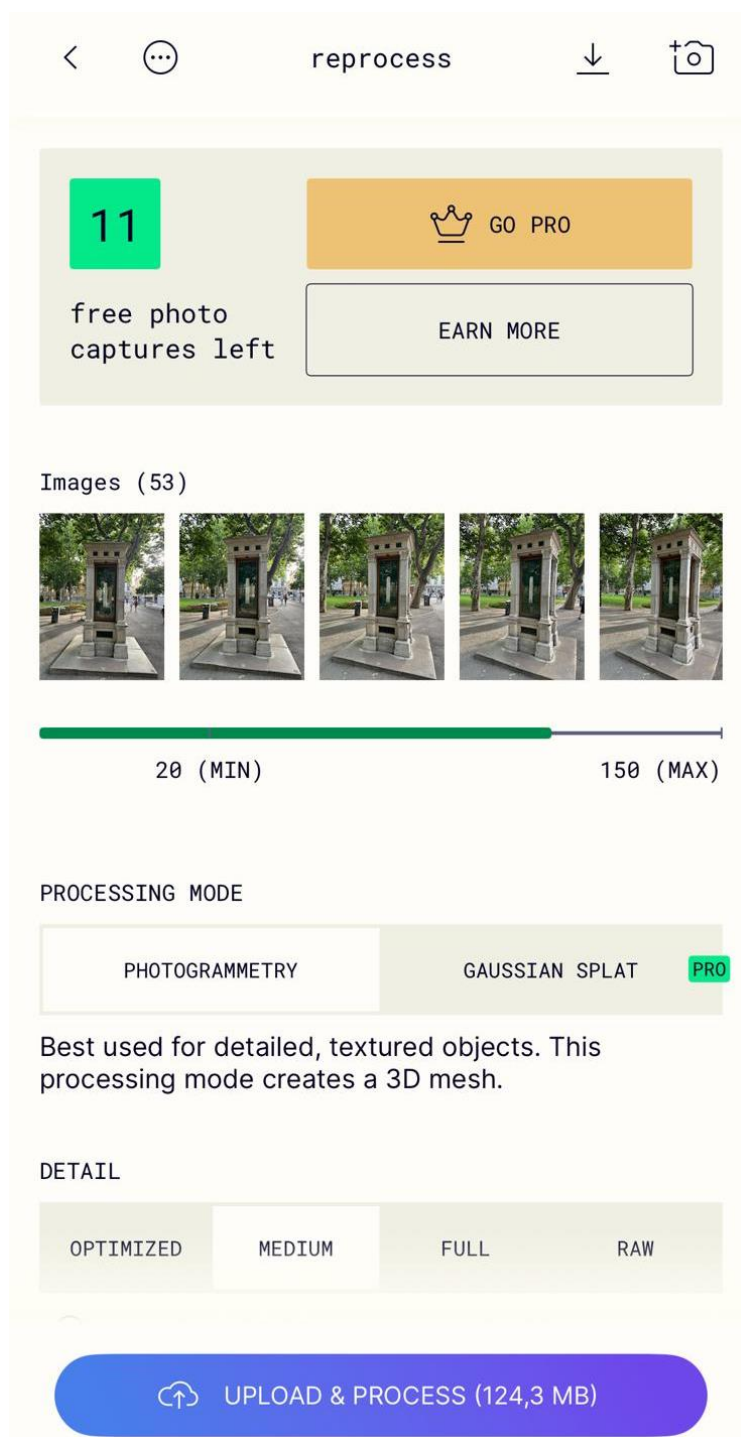


Slika 5.2 Prikaz prikupljenih fotografija prvog objekta

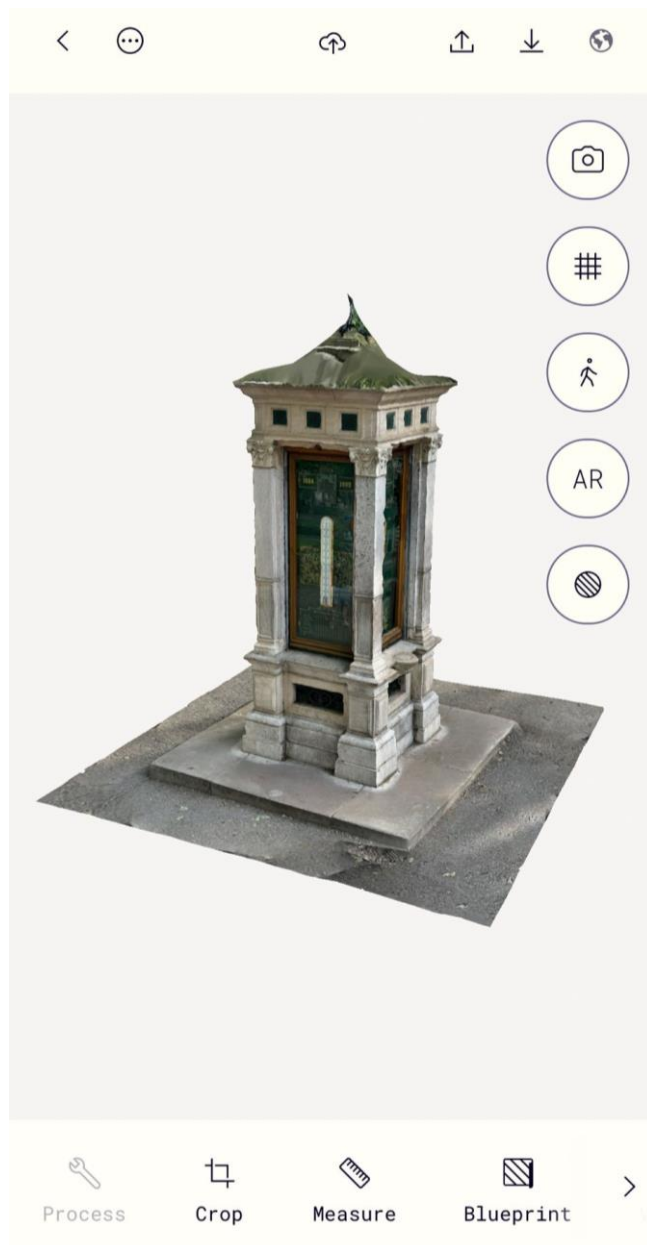


Slika 5.3 3D model rimskog nadgrobnog spomenika Egnatuleja Florentina

Isti princip rada i postupak ponovljen je za dobivanje drugog 3D objekta. Meteorološki stup na Zrinjevcu fotografiran je 53 puta (Slika 5.4.) kako bi preklapanjem fotografija snimljenih sa svih strana dobili trodimenzionalan model prikazan na Slici 5.5.



Slika 5.4 Prikaz prikupljenih fotografija objekta broj dva



Slika 5.5 Prikaz 3D modela Meteorološkog stupa

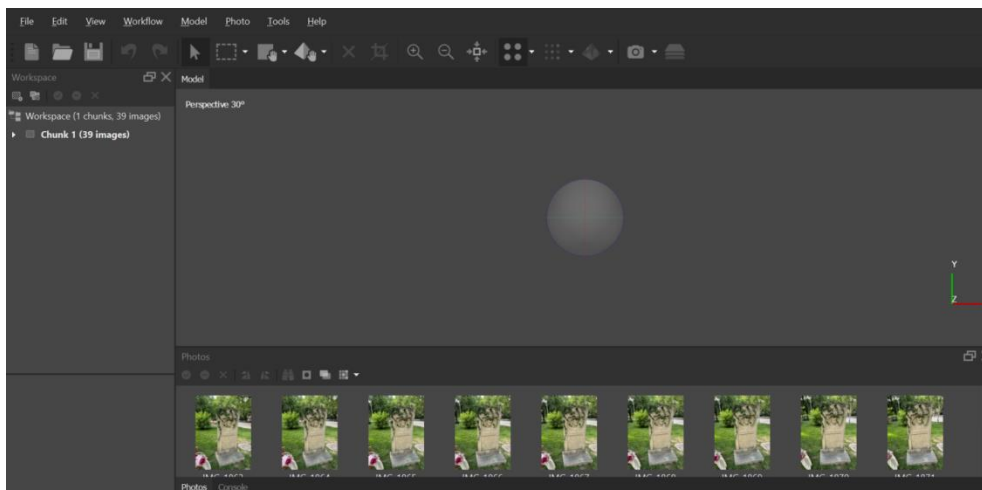
## 5.2. Izrada 3D modela pomoću fotogrametrijskog softvera Agisoft Metashape

Agisoft Metashape je popularan alat u području fotogrametrije zbog svoje jednostavnosti korištenja i širokog spektra mogućnosti koje nudi. Njegovo sučelje je lako razumljivo, što omogućuje korisnicima da brzo savladaju osnovne funkcije i započnu s radom. Jedna od ključnih prednosti Agisoft Metashape-a je veliki izbor mogućnosti i načina obrade. Korisnici mogu podešavati parametre prema svojim specifičnim potrebama, što im omogućuje postizanje rezultata u različitim vrstama projekata. Bez obzira na to radi li se o jednostavnom zadatku ili složenijem projektu, ovaj softver nudi fleksibilnost i prilagodljivost potrebnu za uspješno obavljanje posla (Agisoft LLC, 2024).

Tijek izrade trodimenzionalnog modela iz digitalnih fotografija, obuhvaća sljedeće faze: prikupljanje podataka, uvoz fotografija, poravnanje fotografija, izgradnju gustog oblaka točaka, uklanjanje viška točaka, generiranje modela, izgradnju teksture i izvoz modela. Prije svega, za izradu 3D modela potrebno je imati dovoljno fotografija željenog objekta, također potrebno je fotografirati objekt iz svih kutova. Metashape prihvaća sljedeće formate slika: JPEG (.jpg, .jpeg), JPEG 2000 (.jp2, .j2k), JPEG XL (.jxl), TIFF (.tif, .tiff), Digital Negative (.dng), PNG (.png), OpenEXR (.exr), BMP (.bmp), TARGA (.tga), Portable Bit Map (.pgm, .ppm), Norpax Sequence (.seq), AscTec Thermal Images (.ara) i JPEG Multi-Picture Format (\*.mpo). Datoteke slika u bilo kojem drugom formatu neće biti prikazane u dijaloškom okviru Dodaj fotografije. Za rad s takvim slikama potrebno ih je pretvoriti u jedan od podržanih formata (Agisoft LLC, 2024).

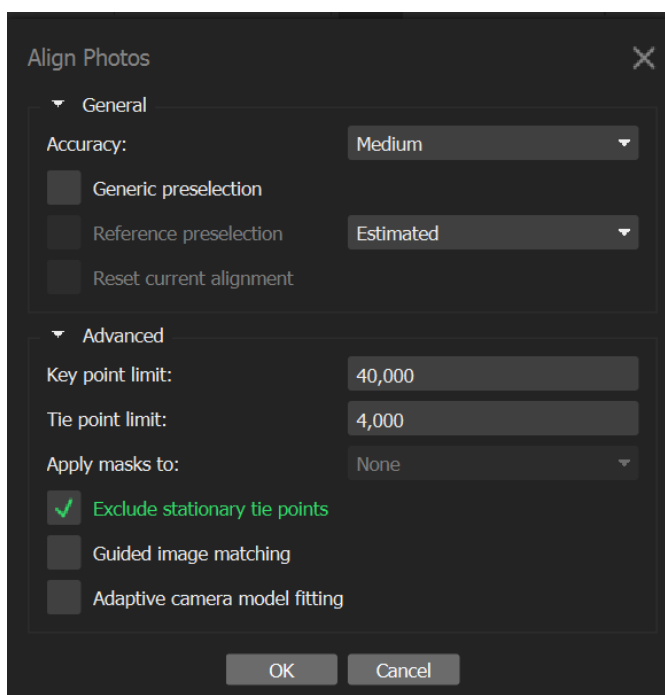
Prvi objekt fotografiran je 39 puta, dok drugi objekt čini set od 67 slika. Fotografije se u Agisoft Metashape-u učitavaju vrlo jednostavno. Moguće je učitati fotografije zasebno ili cijele datoteke s fotografijama, odabirom „Workflow“ izbornika na alatnoj traci te zatim „Add photos“ ili „Add folder“.





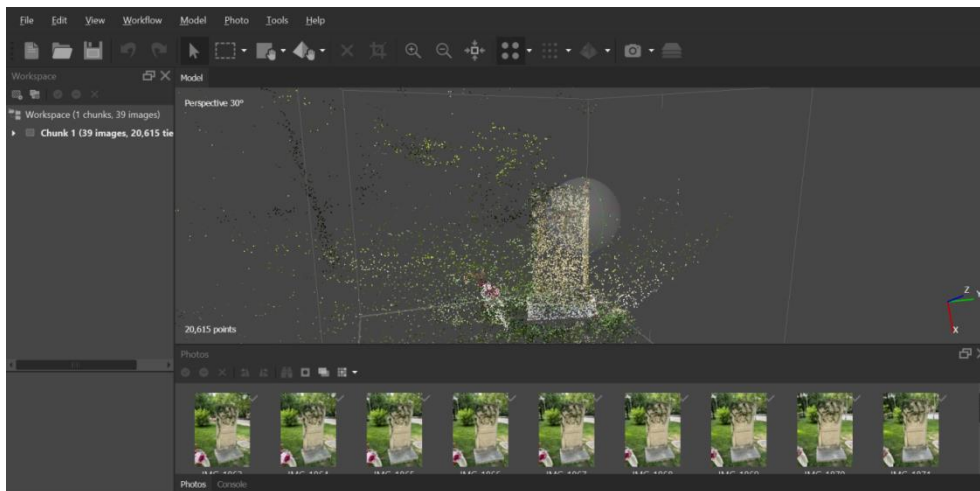
Slika 5.6 Sučelje softvera Agisoft Metashape-a s učitanim fotografijama prvog objekta

Nakon učitavanja fotografija (Slika 5.6), slijedi poravnanje fotografija naredbom „Align photos“ koja se nalazi pod izbornikom „Workflow“ na alatnoj traci. Ovaj korak identificira i usklađuje zajedničke točke između slika kako bi se kreirao rijetki oblak točaka (Agisoft LLC, 2024). Prije izvođenja naredbe postoji mogućnost odabira parametara prema kojima će se tražena naredba izvršiti (Slika 5.7). Parametri nude mogućnost odabira niske, srednje ili visoke točnosti, ograničenja ključnih točaka (broj ključnih točaka koje se detektiraju po slici) i ograničenja točaka vezanja (broj točaka koje se koriste za poravnanje).

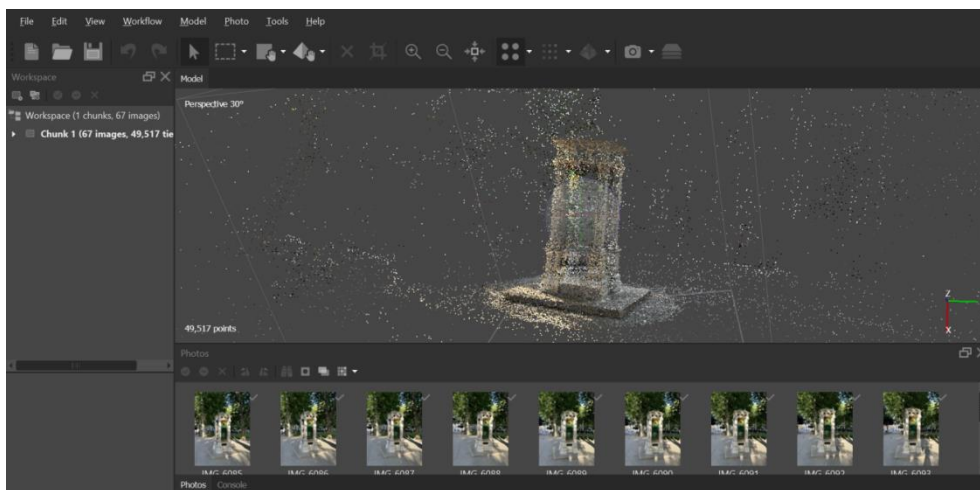


Slika 5.7 Parametri za poravnanje fotografija

Odabrana je srednja točnost prilikom izrade ovog modela uz ograničenje veznih točaka na 4000 i ključnih točaka na 40 000, što je prikazano na Slici 5.7. Proces obrađivanja, tj. poravnanja fotografija trajao je 17 minuta za prvi objekt i 9 min za drugi objekt. Rezultat poravnanja fotografija je rijetki oblak točaka prikazan na Slici 5.8. za prvi objekt te na slici 5.9 za drugi objekt.



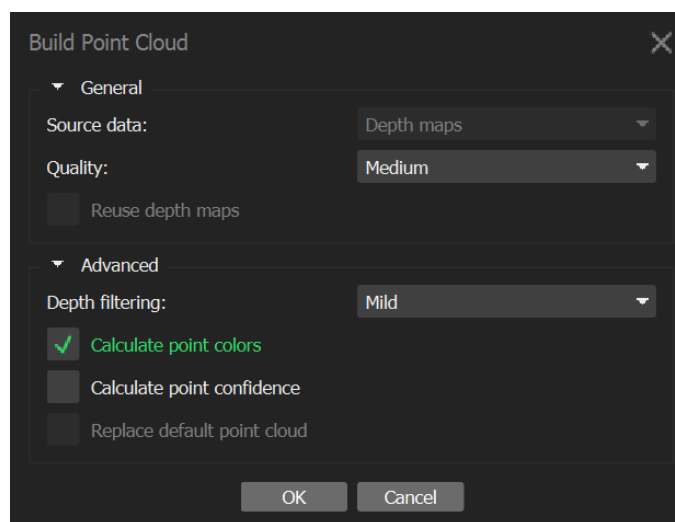
Slika 5.8 Dobiveni rijetki oblak točaka za prvi objekt



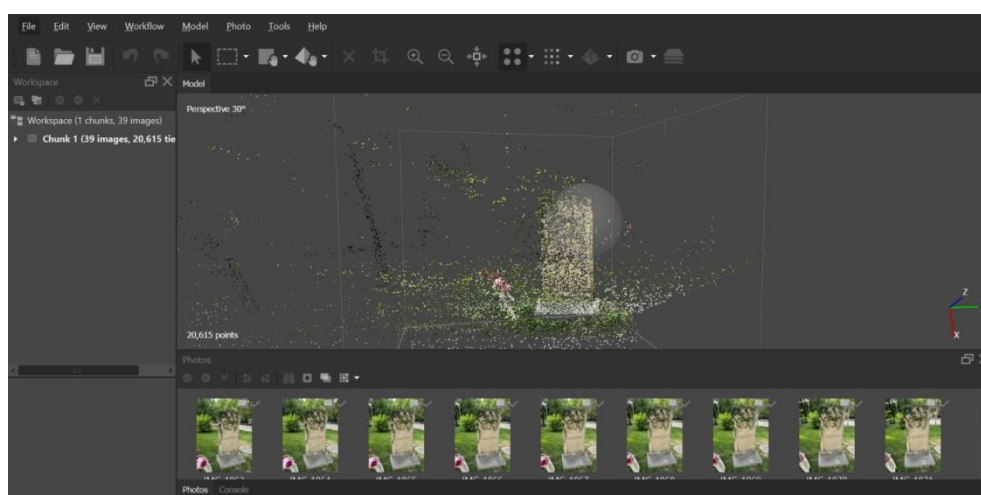
Slika 5.9 Dobiveni rijetki oblak točaka za drugi objekt

Idući korak je generiranje gustog oblaka točaka i brisanje viška točaka. Moguće je obrisati višak točaka prije generiranja gustog oblaka točaka, no redosljed odrađivanja te dvije naredbe ovisi o želji korisnika. Generiranje oblaka točaka temelji se na dubinskim kartama izračunatim pomoću gustog stereo usklađivanja. Dubinske karte izračunavaju se za preklapajuće parove slika uzimajući u obzir njihove relativne vanjske i unutarnje

parametre orijentacije, tj. Metashape izračunava dubinske karte za svaku sliku. Više parnih dubinskih karata generiranih za svaku kameru spajaju se u kombiniranu dubinsku kartu. Prije izvođenja naredbe za generiranje gustog oblaka točaka moguće je odabrati željene parametre koji daju mogućnost odabira kvalitete od niske pa sve do visoke te mogućnost filtriranja dubine. Ako postoje važni mali detalji koji su prostorno istaknuti u sceni koja se rekonstruira, preporučuje se postaviti način blagog filtriranja dubine (Mild depth filtering mode), kako važne značajke ne bi bile izdvojene kao odstupajući podaci (Agisoft LLC, 2024). Nakon postavljenih odgovarajućih parametara prikazanih na Slici 5.10. dobiven je gusti oblak točaka za prvi objekt (Slika 5.11).

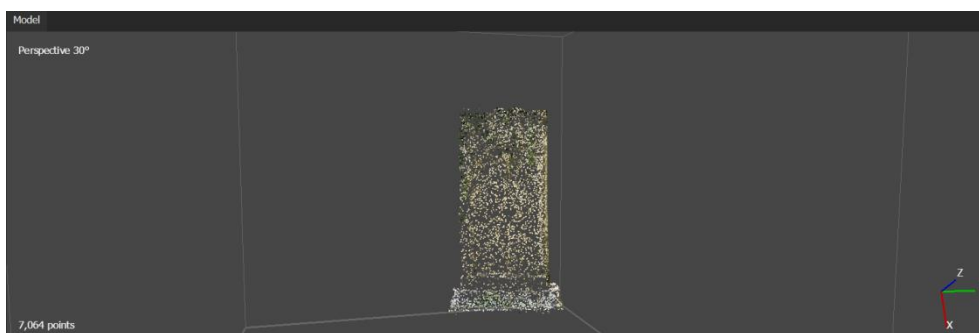


Slika 5.10 Parametri za dobivanje gustog oblaka točaka

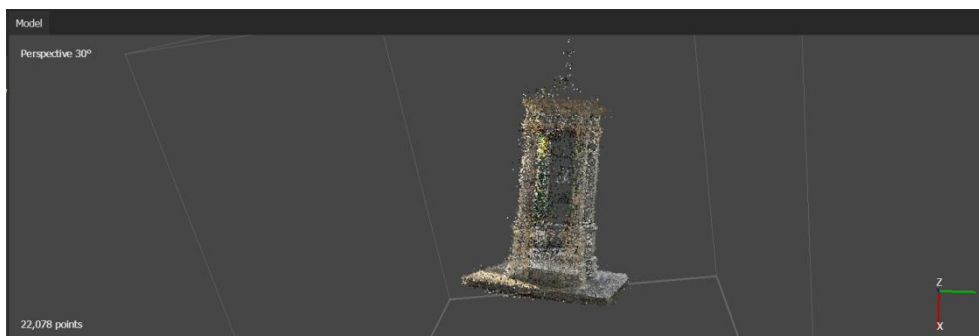


Slika 5.11 Dobiveni gusti oblak točaka za prvi objekt

Kada je dobiven gusti oblak točaka potrebno je ukloniti višak točaka kako bi smanjili količinu podataka koju softver mora obraditi kako bi generirao konačni model. Brisanje je moguće pomoću opcije „Rectangle Selection“ gdje sami odabiremo koje područje ili dio želimo obrisati. Na Slici 5.12 prikazan je prvi objekt nakon brisanja viška točaka, dok je na Slici 5.13 prikazan drugi objekt nakon generiranja gustog oblaka točaka i uklanjanja viška točaka.



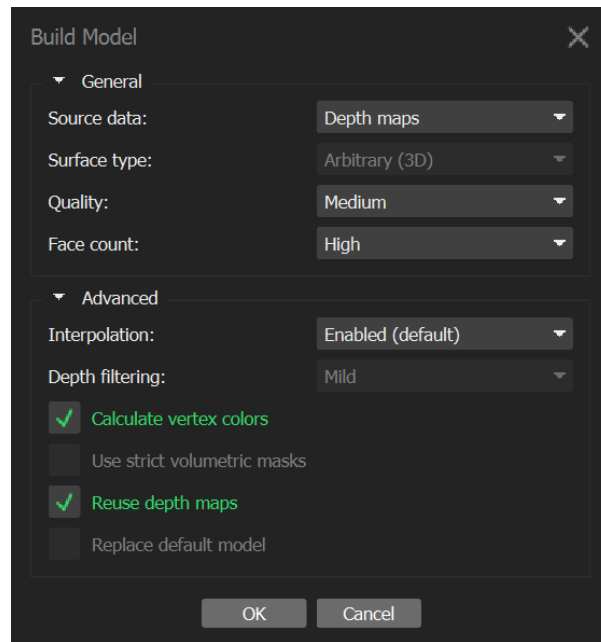
Slika 5.12 Prvi objekt nakon brisanja viška točaka



Slika 5.13 Drugi objekt nakon generiranja gustog oblaka točaka i brisanja viška točaka

Idući korak je izgradnja modela. Opcija "Build Model" u Agisoft Metashape omogućuje izradu 3D modela iz oblaka točaka generiranih iz preklapajućih fotografija. Nakon što je generiran gusti oblak točaka, potrebno je na izborniku "Workflow" odabrati "Build Mesh" ili "Build Model". Zatim se postavljaju željeni parametri. Potrebno je izabrati izvor za izradu modela (odabran je izvor „Depth Maps“, tj. dubinska karta dobivena generiranjem gustog oblaka točaka), te postaviti ostale parametre koji obuhvaćaju: Face Count, Interpolation, Surface Type i Depth Filtering. Kod parametra „Face Count“ potrebno je odabrati broj trokutastih ploha koje će činiti mrežu/model, on može biti "High", "Medium" ili "Low“. Za interpolaciju je potrebno odabrati „Enabled“, dok je za „Surface Type“

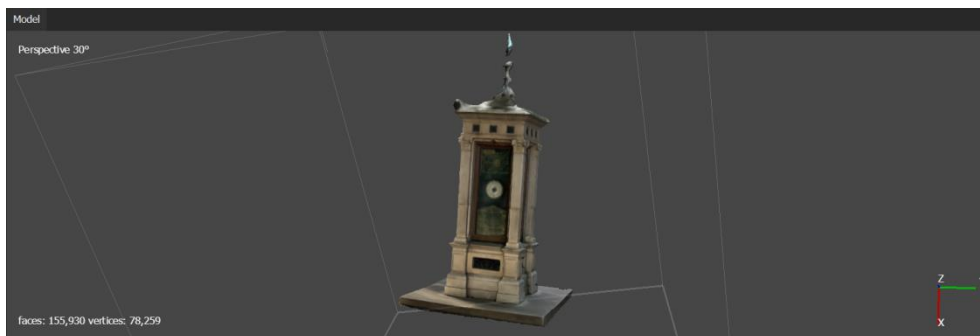
opcija „Arbitrary“ najbolja za opće modele. Opcijom „Depth Filtering“ moguće je primijeniti različite razine filtracije dubine kako bi se uklonili netočni podatci. Nakon postavljenih odgovarajućih parametara prikazanih na Slici 5.14 dobiven je 3D model prvog i drugog objekta (Slika 5.15 i Slika 5.16).



Slika 5.14 Parametri za dobivanje 3D modela

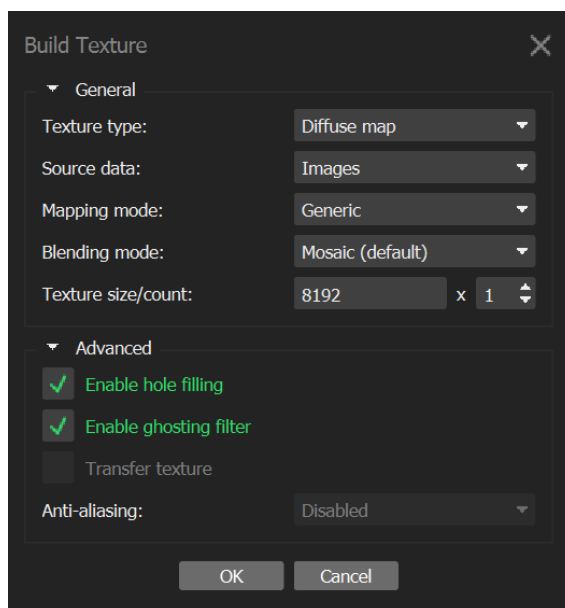


Slika 5.15 3D model prvog objekta



Slika 5.16 3D model drugog objekta

Posljednji korak kod izrade 3D modela željenih objekata je dodavanje teksture modelima. Ovaj korak primjenjuje teksturu na 3D modelu koristeći originalne fotografije. Na alatnoj traci potrebno je odabrati izbornik „Workflow“ i naredbu „Build Texture“. Zatim je potrebno postaviti odgovarajuće parametre prikazane na Slici 5.17.

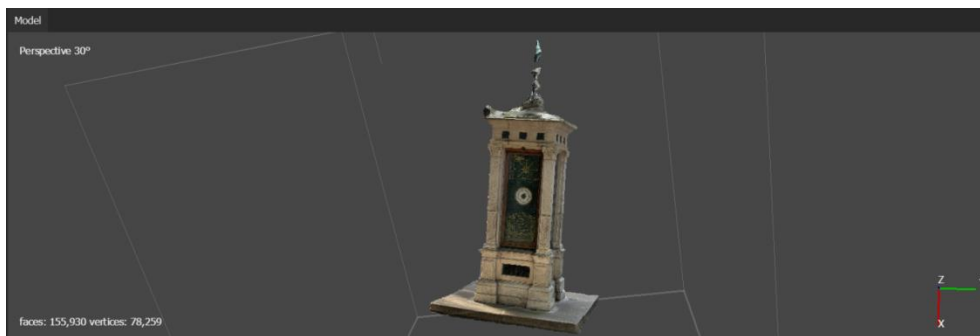


Slika 5.17 Parametri za dobivanje teksture

Odabran je „Generic“ način mapiranja teksture koji se koristi za modele nepravilna oblika. Kao način spajanja teksture odabran je način „Mosaic“ koji kombinira više slika u jednu teksturu, pokušavajući minimizirati vidljive prijelaze. Rezultati su prikazani na Slici 5.18 i na Slici 5.19.



Slika 5.18 3D model prvog objekta s teksturom



Slika 5.19 3D model drugog objekta s teksturom

Posljednja mogućnost kod izrade ovakvih projekata je opcija izvoza modela/rezultata. To je moguće pod izbornikom „File“ na alatnoj traci te opcijama „Export“ i „Export Model“. Konačni trodimenzionalni model moguće je izvesti u formatima kao što su OBJ, FBX, itd.

## 6. REZULTATI

Cilj ovog diplomskog rada bio je generirati 3D modele iz fotografija koristeći mobilnu aplikaciju i fotogrametrijski softver. Dobiveni rezultati prikazani su u Tablici 5-1 ispod kako bi se omogućila jasna usporedba kvalitete modela dobivenih ovim dvjema metodama.

Tablica 5-1 Prikaz dobivenih 3D modela pomoću mobilne aplikacije i fotogrametrijskog softvera

Polycam	Agisoft Metashape
	
	



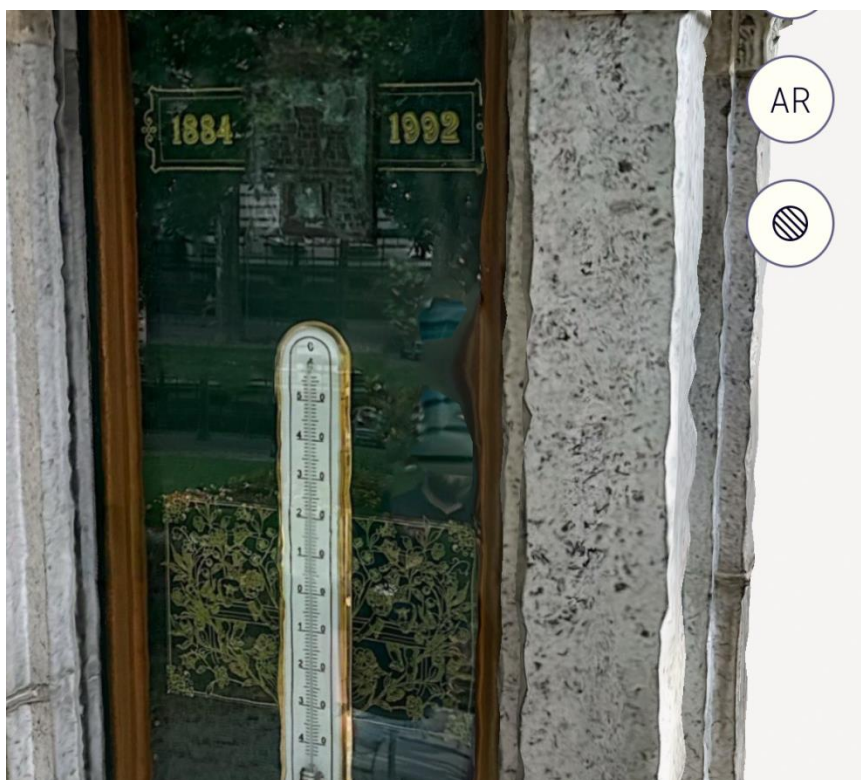
Već na prvi pogled uočava se da je vrh na krovu meteorološkog stupa bolje rekonstruiran u modelu dobivenom fotogrametrijskim softverom. Softver je, zahvaljujući naprednim algoritmima, „pretpostavio“ oblik dijela koji nije bio dobro vidljiv na fotografijama. Zbog specifičnih tehničkih karakteristika objekta, posebno njegove visine, nije bilo moguće pristupiti objektu sa svih strana kako bi se osigurao detaljan prikaz krova. Iako bi uporaba drona omogućila takvu snimku, ova opcija nije korištena jer je diplomski rad usmjeren isključivo na snimke dobivene mobilnim uređajem. Stoga, ovaj automatski proces dorade modela rezultirao je preciznijom rekonstrukcijom krova.

Međutim, detaljna analiza Slika 6.1. i 6.2., koje prikazuju zumirani dio meteorološkog stupa, pokazuje da je kod modela dobivenog softverom bolje izvučena geometrija objekta, dok model dobiven mobilnom aplikacijom puno jasnije prikazuje sitne detalje, točnije tekstura je bolje izvučena mobilnom aplikacijom.

Ova preciznost omogućila je identifikaciju vrste kamena od kojeg je stup izgrađen – riječ je o onkolitnom vapnencu gornjo-kredne starosti, poznatom pod nazivom „Istarski žuti“. Osim toga, mobilna aplikacija bolje je prikazala natpise godina 1884. i 1992., koji su jasno vidljivi na modelu.



Slika 6.1 Zumirani dio Meteorološkog stupa dobiven fotogrametrijskim softverom



Slika 6.2 Zumirani dio Meteorološkog stupa dobiven mobilnom aplikacijom

Boljoj detaljnosti svakako je pridonijela činjenica da je meteorološki stup fotografiran s mobilnim uređajem koji daje puno kvalitetnije fotografije od uređaja kojim je fotografiran prvi objekt, jer posjeduje napredniju kameru. Time je omogućeno stvaranje preciznijeg modela s jasnijim prikazom materijala i povijesnih detalja.

Uspoređujući oba fotografirana objekta, došlo se do zaključka da je drugi objekt, meteorološki stup, rekonstruiran s puno većom kvalitetom. Ovo se posebno odnosi na detalje prikazane u modelu dobivenom mobilnom aplikacijom, što je ključan faktor za precizno prepoznavanje materijala i povijesnih natpisa na objektu.

## 7. ZAKLJUČAK

Fotogrametrija i 3D skeniranje su ključne tehnologije za pretvaranje stvarnog svijeta u digitalne modele. Njihova primjena omogućuje precizno mjerenje, analizu i vizualizaciju objekata i prostora, što je od velike važnosti u mnogim znanstvenim i industrijskim disciplinama. Izrada 3D modela iz fotografija pruža jednostavan i učinkovit način za digitalizaciju objekata, omogućujući daljnju obradu i primjenu u različitim područjima.

U ovom diplomskom radu istraženi su procesi izrade 3D modela iz digitalnih fotografija korištenjem fotogrametrijskih tehnika i alata poput Agisoft Metashape i Polycam. Kroz detaljnu analizu metoda snimanja, obrade i izrade 3D modela, dobili smo uvid u učinkovitost i preciznost ovih tehnologija.

Rezultati istraživanja pokazuju da oba alata, Agisoft Metashape i Polycam, nude značajne prednosti u stvaranju detaljnih i preciznih trodimenzionalnih prikaza. Agisoft Metashape se istaknuo po svojoj sposobnosti da obradi velike količine podataka i generira visoko detaljne modele, što ga čini idealnim za profesionalne primjene. S druge strane, Polycam je pokazao svoju vrijednost u bržoj i jednostavnijoj izradi 3D modela, čime je pogodan za brze i efikasne projekte, ali s manjim zahtjevima za detaljnom preciznošću. Međutim, svaka tehnologija ima svoje nedostatke. Agisoft Metashape zahtijeva visoke računalne resurse i više vremena za obradu, dok Polycam može imati ograničenja u točnosti i detaljima modela u usporedbi s Metashapeom. Ove razlike ističu važnost odabira odgovarajućeg alata prema specifičnim potrebama projekta.

Zaključno, fotogrametrijske tehnike predstavljaju moćan alat za izradu 3D modela, omogućujući stvaranje preciznih i detaljnih prikaza. Uz pravilno odabiranje alata i metode snimanja, moguće je postići visoke standarde u kvaliteti modela, što otvara širok spektar primjena u različitim industrijama, od geodezije i arhitekture do umjetnosti i kulture. Daljnja istraživanja i razvoj ovih tehnologija sigurno će donijeti još naprednije i učinkovitije metode za 3D modeliranje.

## 8. LITERATURA

- AGISOFT LCC. 2024. Agisoft Metashape User Manual: Standard Edition, Version 2.1. [https://www.agisoft.com/pdf/metashape\\_2\\_1\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape_2_1_en.pdf) (06.08.2024.)
- AV3 AEROVISUAL. 2024. What is photogrammetry and its applications. <https://av3aerovisual.com/en/what-is-photogrammetry-and-its-applications/> (24.07.2024.)
- BERNIK, A., CETINA, L. 2018. Usporedba 3D skeniranja i fotogrametrije., Politehnika i dizajn, 6(01). (17.07.2024.)
- DIMITRIJEVIĆ, M. 1955. Primena fotogrametrije u geologiji. Geodetski list, 9(5–6), 206-215. (10.07.2024.)
- JURKOVIĆ, D., GALOVIĆ, A., GRGURIĆ, I., IMŠIREVIĆ, E., GALIĆ, G., & MAROVIĆ, I. 2021. Primjena SfM metode u predmjeru zemljanih radova. Zbornik Radova (Građevinski Fakultet Sveučilišta U Rijeci), 24(1), 67-80. (20.08.2024.)
- KANAJET B. 1973. Fotogrametrija u Rudarsko-geološko-naftnoj praksi i osvrt na područje Jurjevo-Jablanac. Magistarski rad. (14.07.2024.)
- POLYCAM. 2024. Getting started with Polycam. <https://learn.poly.cam/hc/en-us/sections/27489349760788-Getting-Started> (28.06.2024.)
- RADOVIĆ MAHEČIĆ, D. 1994. Meteorološki stup Dr. Holzera. Život umjetnosti: časopis o modernoj i suvremenoj umjetnosti i arhitekturi, 54(1), 48-49. (08.07.2024.)
- WESTOBY, M. J., BRASINGTON, J., GLASSER, N. F., HAMBREY, M. J., & REYNOLDS, J. M. 2012. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. Geomorphology, 179, 300-314. (14.08.2024.)