

# 3D skeniranje primjenom postupka fotogrametrije

---

**Kurečić, Gabrijela**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:002768>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-19**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Gabrijela Kurečić**

**3D SKENIRANJE PRIMJENOM POSTUPKA FOTOGRAMETRIJE  
3D SCANNING USING PHOTOGRAMMETRY PROCEDURE**

**Završni rad**

**Rijeka, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij  
Građevinarstvo  
Računalni programi**

**Gabrijela Kurečić  
JMBAG: 0114025397**

**3D SKENIRANJE PRIMJENOM POSTUPKA FOTOGRAMetriJE  
3D SCANNING USING PHOTOGRAMMETRY PROCEDURE**

**Završni rad**

**Rijeka, rujan 2019.**

## IZJAVA

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Ime Prezime

U Rijeci,16.09.2019.

## **SAŽETAK**

Cilj ovog rada je istražiti tehnologije koje se trenutno primjenjuju za postupak 3D skeniranja, s posebnim osvrtom na one koje zahtijevaju minimalnu količinu opreme, te svakodnevno dostupnu tehnologiju.

Istraženi su dostupni računalni alat za izradu digitalnih 3D modela objekta na osnovu njihovih fotografija, te alati za dalju obradu modela. Radom je prikazan postupak 3D skeniranja fizičkog objekta iz njegove stvarne veličine postupkom metode fotogrametrije.

Opisan je rad u nekim od softvera koji se primjenjuju za izradu 3D modela, te su na vlastitim primjerima ukazane moguće pogreške prilikom primjene 3D skeniranja.

Ključne riječi: 3D skeniranje, 3D model, ReCap Photo, fotogrametrija, fotografije

## **ABSTRACT**

The aim of this paper is to investigate the technologies currently used for the 3D scanning process, with particular reference to those that require the minimum amount of equipment and technology available on a daily basis.

The available computer tools for creating digital 3D models of the object based on their photographs, as well as tools for further processing of the model are explained. The paper presents a 3D scanning procedure of a physical object in its true size using a photogrammetry method.

In this paper some of the softwares which can be used to create 3D models are described, and possible difficulties in scanning and modeling procedures are pointed out through practical examples.

Keywords: 3D scanning, 3D model, ReCap Photo, photogrammetry, photographs

# Sadržaj

1. UVOD.....	5
2. 3D SKENIRANJE OPĆENITO .....	6
3. TEHNOLOGIJE 3D SKENIRANJA.....	7
3.1. Tehnologija 3D skeniranja laserom .....	7
3.2. Strukturirana tehnologija 3D skeniranja.....	7
3.3. Tehnologija 3D skeniranja na temelju kontakta .....	8
3.4. Laserski puls.....	9
3.5. Fotogrametrija .....	10
4. IZRADA 3D MODELA SKENIRANOG OBJEKTA .....	11
4.1. Programi za izradu 3D modela .....	12
4.1.1. Autodesk ReCap Pro .....	12
4.1.2. Autodesk ReCap Photo .....	13
4.1.3. Meshroom.....	14
4.1.4. Autodesk Meshmixer.....	14
4.1.5. Programi za mobilne aplikacije .....	15
4.2. Formati 3D modela.....	17
4.3. Uloga oblaka u 3D skeniranju .....	17
4.3.1. My cloud drive (A360) .....	17
5. POSTUPAK 3D SKENIRANJA I IZRADE DIGITALNOG MODELA: PRIMJER PRIMJENE FOTOGRAMETIJE .....	19
5.1. Snimanje fotografija .....	19
5.2. Izrada digitalnog 3D modela objekta iz fotografija .....	20
5.3. Uređivanje 3D modela objekta .....	33
5.4. Primjeri neuspjelih pokušaja izrade 3D modela.....	33
5.5. Usporedba gotovog 3D modela u ReCap-u Photo i Meshroom-u .....	39
5.6. Usporedba 3D modela nastalog na pametnom telefonu i u ReCapu Photo.....	42
6. PRIMJENA 3D SKENIRANJA .....	44
6.1. U građevinarstvu i građevinskoj industriji .....	44
6.2. Obrnuti inženjering: .....	44
6.3. Zabava: .....	44
6.4. Medicina .....	44
6.5. Nesretni događaji:.....	44
7. ZAKLJUČAK .....	45
8. LITERATURA .....	46



## POPIS SLIKA:

1. Prikaz postupka skeniranja laserskog 3D skenera [6]
2. Prikaz postupka skeniranja strukturiranog 3D skenera [6]
3. Prikaz skeniranja kontaktnom sondom [1]
4. Prikaz zglobne ruke na koju je pričvršćena kontaktna sonda [6]
5. Prikaz postupka skeniranja laserskim pulsni 3D skenerom [6]
6. Različita gledališta modela [4]
7. Oblak točki [2]
8. Trokutasta mreža [2]
9. Sučelje ReCap-a Pro [foto autor]
10. Sučelje ReCap-a Photo [foto autor]
11. Ikona oblaka za pohranu podataka [foto autor]
12. Sučelje Meshrooma [foto autor]
13. Sučelje Meshmixera [foto autor]
14. Prikaz izrade modela putem mobilne aplikacije [foto autor]
15. Prikaz mogućnosti u oblaku [14]
16. Sprej za zatamnivanje površina [6]
17. Početak izrade modela [foto autor]
18. Izrada modela [foto autor]
19. Prvo stanje modela [foto autor]
20. Djelomično obrisan višak modela [foto autor]
21. Prikaz rezanja i uklanjanja viška pomoću alata *Slice* [foto autor]
22. Postupak ispravljanja pogrešaka na modelu [foto autor]
23. Prikaz nakon što smo ispravili ploču stola [foto autor]
24. Prikaz pozicija fotoaparata [foto autor]
25. Postavljanje stvarne veličine objekta [foto autor]
26. Izbornik za analizu objekta [foto autor]
27. Izbornik za promjenu topologije modela [foto autor]
28. Izvoz modela iz ReCap-a Photo [foto autor]
29. Neuspjeli 3D model vrtuljka [foto autor]
30. Neuspjeli model kule od šalica [foto autor]
31. Predmet i okolina iste su boje [foto autor]



32. Prikaz neuspjelog modela osobe [foto autor]
33. Prikaz lošeg fokusiranja kamere prilikom fotografiranja [foto autor]
34. Prikaz pozicija kamere prilikom fotografiranja [foto autor]
35. Prikaz dijelova koji nedostaju na modelu izbliza [foto autor]
36. Zamučeni dijelovi modela iz ReCapa Photo [foto autor]
37. Model nastao u Meshroomu otvoren u ReCapuPhoto [foto autor]
38. Analiza dvaju objekata [foto autor]
39. Slika modela dobivenog u ReCapu [foto autor]
40. Slika modela dobivenog na mobilnoj aplikaciji Scann3D [foto autor]

## 1. UVOD

U današnje doba gotove sve je digitalizirano. Tehnologija konstantno napreduje. Svaki se dan javlja nešto novo i nemoguće je zamisliti svijet bez ikakve tehnologije. Kakvo će biti vrijeme? Kako da dođem od točke A do točke B? Kako izgleda zgrada opere u Sydneyju? Odgovore na svako od tih pitanja možemo pronaći koristeći samo naš pametni telefon. S obzirom da se javlja tolika potreba za digitalizacijom došlo je i do razvoja 3D skeniranja. Primjena 3D skeniranja jako je raširena, a opet vrlo jednostavna. Skenirati možemo i samo s našim pametnim telefonom, a čak su razvijene i aplikacije za uređivanje modela kojeg želimo iz stvarnog svijeta prenijeti u virtualni. *Google Earth*, aplikacija koju mnogi koriste gotovo svaki dan, također je izrađena upravo koristeći se fotogrametrijom, jednom od metoda 3D skeniranja. Nešto više o 3D skeniranju i fotogrametriji biti će objašnjeno u daljnjem radu.

## **2. 3D SKENIRANJE OPĆENITO**

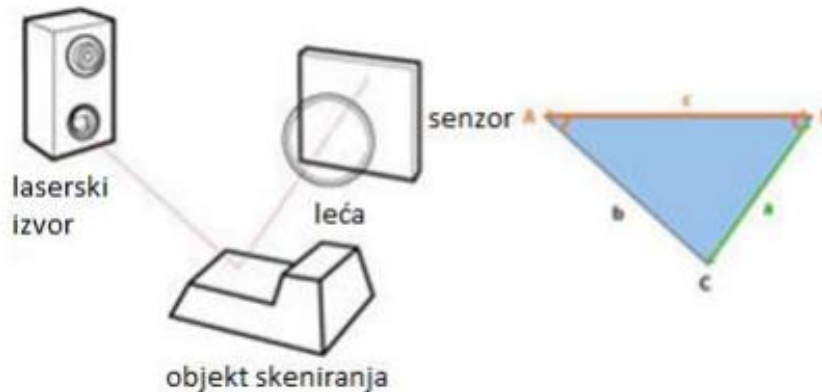
3D skeniranje je proces koji se bazira na tehnici mjerenja trodimenzionalnih površina. Jedno skeniranje rezultat je velike količine točaka u sistematiziranom uzorku. Postoje različite tehnologije 3D skeniranja za 3D skeniranje objekata, okoline i ljudi. Svaka od njih ima svoja ograničenja, prednosti i troškove, a njihova svrha je stvaranje 3D modela. 3D model obično se sastoji od oblaka točaka na površini ili trokutaste mreže. Te točke mogu se koristiti za ekstrapolaciju oblika objekta – proces koji se zove rekonstrukcija. Ako se podaci o boji sakupljaju u svakoj točki, na temelju toga se može odrediti i boja objekta. [1,2]

3D skeneri imaju nekoliko zajedničkih značajki s fotoaparatom. Poput njih, imaju vidno polje i mogu pokriti objekte koji nisu zatamnjeni. Dok fotoaparat prikuplja informacije o boji, skeneri prikupljaju podatke o udaljenosti. Slika koju proizvodi 3D skener opisuje udaljenost na površini na svakoj točki na slici, to omogućuje 3D položaj svake točke na slici. [1]

### 3. TEHNOLOGIJE 3D SKENIRANJA

#### 3.1. Tehnologija 3D skeniranja laserom

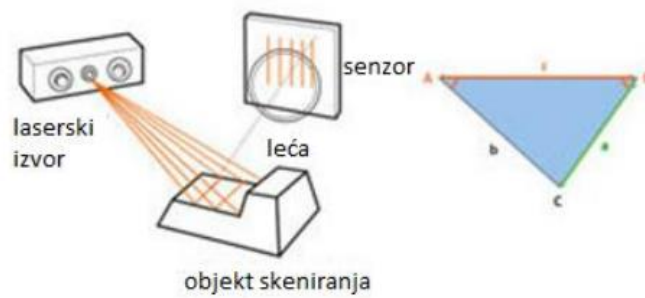
Ova tehnologija projicira lasersku zraku na površinu objekta i mjeri deformaciju laserske zrake (Slika 1.). 3D skeneri koji su temeljeni na laserskoj triangulaciji koriste ili lasersku liniju ili jednu lasersku točku za skeniranje preko nekog objekta. Nakon što 3D skener izbaci lasersko svjetlo, ono se odbija od 3D skeniranog objekta, a potom njegovu početnu putanju modificira i probire senzor. Iz modifikacije laserske putanje i trigonometrijske triangulacije sustav može razabrati određeni kut odstupanja. Izračunati kut izravno je povezan s udaljenošću objekta od skenera. Kad 3D skener prikupi dovoljno udaljenosti od objekta, moći će preslikati površinski objekt i stvoriti 3D model.[1]



Slika 1. Prikaz postupka skeniranja laserskog 3D skenera

#### 3.2. Strukturirana tehnologija 3D skeniranja

Strukturirana tehnologija 3D skeniranja mjeri deformaciju svjetlosnog uzorka na površini do 3D skeniranja oblika površine. Strukturirani svjetlosni 3D skeneri koriste trigonometrijsku triangulaciju, ali ne oslanjaju se na laser. Umjesto toga, strukturirana tehnologija 3D skeniranja djeluje zajedno s projekcijom niza linearnih uzoraka na objekt (Slika 2.).



Slika 2. Prikaz postupka skeniranja strukturiranog 3D skenera

Tada je sustav sposoban ispitati rubove svakog retka u obrascu i izračunati udaljenost od skenera do površine objekta. Strukturirano svjetlo koje se koristi za 3D skeniranje može biti bijelo ili plavo i generirano od strane brojnih vrsta projektora. Projektirani uzorak obično je niz svjetlosnih zraka, ali može biti i slučajna matrična točka.[1]

### 3.3. Tehnologija 3D skeniranja na temelju kontakta

Tehnologija 3D skeniranja na temelju kontakta oslanja se na uzorkovanje nekoliko točaka na površini prilikom čaga objekt stoji mirno. Kontaktnom sondom pomiče se površinom objekta kroz različite točke i tako se snimaju 3D informacije (Slika 3.).



Slika 3. Prikaz skeniranja kontaktnom sondom

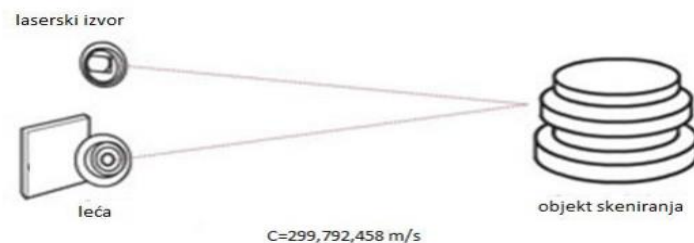


Slika 4. Prikaz zglobne ruke na koju je pričvršćena kontaktna sonda

Također, kontaktna sonda može biti pričvršćena na zglobnu ruku (Slika 4.) koja ima mogućnost sakupljanja podataka svih svojih pokreta i kutova kretanja što daje veću preciznost. Prikupljeni podatci tako se šalju u softver i stvara se 3D model koji je potrebno dodatno modelirati. [1]

### 3.4. Laserski puls

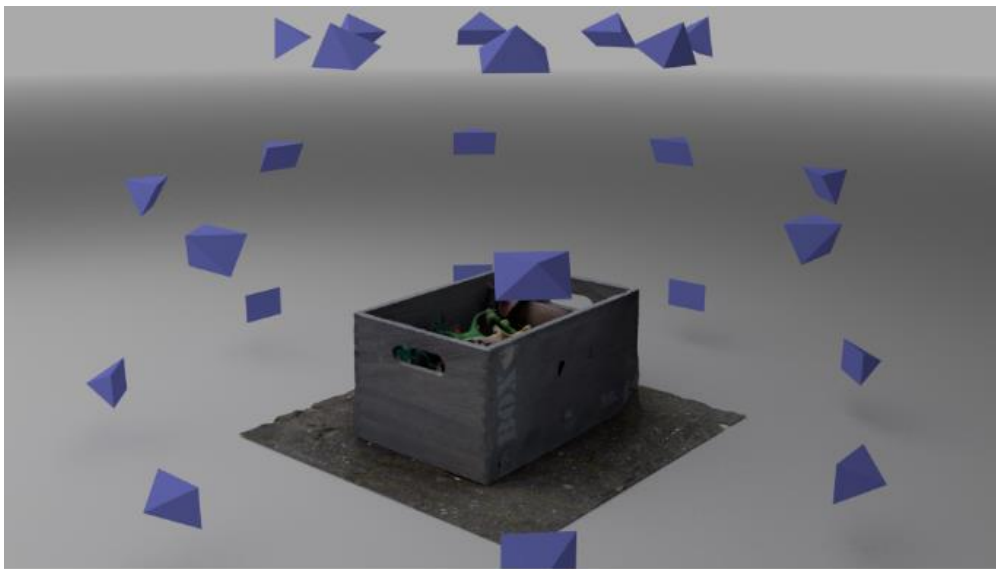
Tehnologija 3D skeniranja laserskim pulsom temelji se na vremenu leta laserskog snopa. Laserski snop se projicira na površinu objekta i skuplja na senzoru. Vrijeme putovanja lasera između njegove emisije i prijema daje površinske geometrijske informacije. Skeneri laserskim pulsom mjere koliko je vremena između udaranja laserskog snopa u objekt i povratka (Slika 5.). Budući da se brzina svjetlosti točno zna, vrijeme potrebno za povratak daje točnu udaljenost između 3D skenera i objekta. Kako bi precizno izmjerio udaljenost, 3D skener izračunava milijune laserskih impulsa s pikosekundnom točnošću. S obzirom da svaka mjera sakuplja samo jednu točku, 3D skener mora baciti svoj laser 360 stupnjeva oko objekta. Za obavljanje ove značajke, 3D skener obično je opremljen ogledalom koje mijenja orijentaciju lasera. [1]



Slika 5. Prikaz postupka skeniranja laserskim pulsom 3D skenerom

### 3.5. Fotogrametrija

Fotogrametrija je modeliranje na temelju fotografija fokusirajući se na pronalaženju točnih površinskih točaka. Princip fotogrametrije je analizirati nekoliko fotografija statičkog predmeta snimljenih s različitih gledališta i automatski prepoznati piksele koji odgovaraju istoj fizičkoj točki (Slika 6.). Fotogrametrijska tehnologija ima mogućnost rekonstruirati objekte različitih veličina, a potrebne podatke moguće je sakupiti iz zraka ili sa zemlje. Nakon sakupljenih podataka u različitim softverima stvara se 3D model. [1]

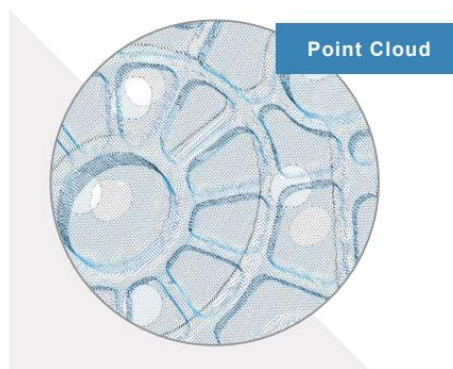


Slika 6. Različita gledališta modela

#### 4. IZRADA 3D MODELA SKENIRANOG OBJEKTA

Programi za obradu i stvaranje modela rade na principu da trodimenzionalne podatke stvore u obliku oblaka točki ili trokutaste mreže.

Oblak točki (slika7.) prikazuje objekt definiran točkama u koordinatnom sustavu. U trodimenzionalnom koordinatnom sustavu, te točke definirane su x, y i z koordinatama, a njihova je zadaća predstaviti vanjsku površinu objekta. Točke u oblaku točaka mogu međusobno biti udaljene i do jednog milimetra, a njihova se gustoća može mijenjati i prilagođavati u programima za obradu podataka. [2]



Slika 7. Oblak točki

Trokutasta mreža (slika 8.) je mreža koja formira optimiziranu površinu objekta uzimajući u obzir uvjete mjerenja i konzistenciju. Također se naziva i poligonalni model. Dobiveni podatci mogu se koristiti izravno u programima za obradu podataka. [2]



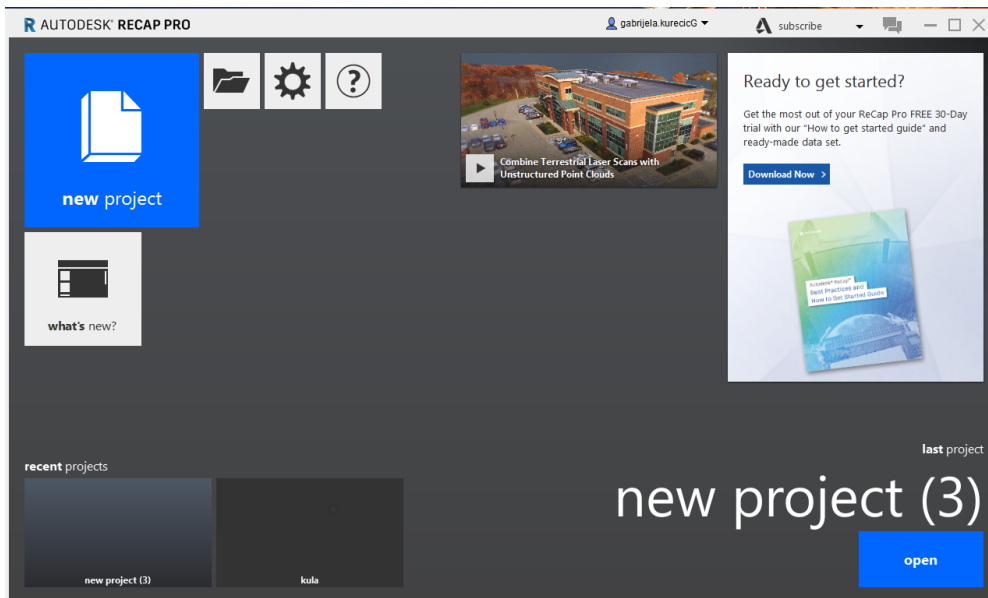
Slika 8. Trokutasta mreža



## 4.1. Programi za izradu 3D modela

### 4.1.1. Autodesk ReCap Pro

Autodeskov ReCap pro (slika 9.) je softver koji radi na način da prikupi točke oblaka laserskih skenera. Svaki sken kreira tisuće točaka koje su vidljive kao pojednostavljeni model kojeg smo skenirali. ReCap je skraćenica od *Realiy Capture* što prevedeno znači snimanje stvarnosti.



Slika 9. Sučelje ReCap-a Pro

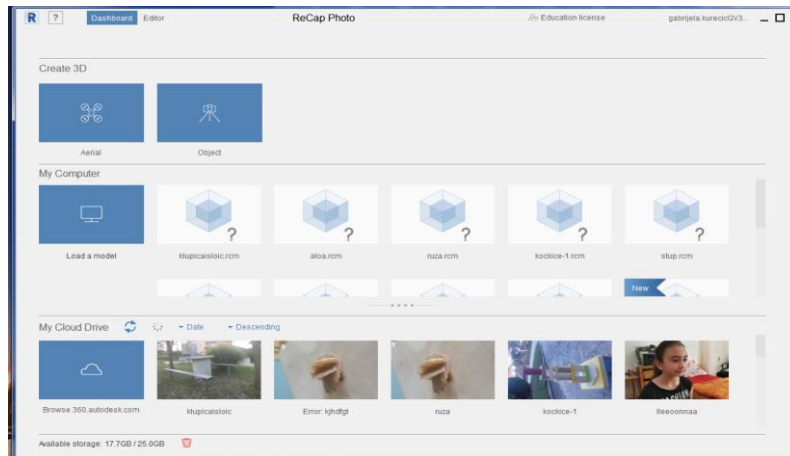
U sklopu ovog programa također se instalira i ReCap Photo (taj se program ne može zasebno instalirati).

ReCap ima pun mogućnosti, a ovu su najbitnije:

- moguće je uvesti i registrirati projekt
- moguće je filtrirati podatke koji nisu potrebni npr. ukloniti drveće ili prikazati samo zgrade
- uvesti druge projekte pa ih spojiti
- primijeniti "filtre za buku" koji omogućavaju uklanjanje zalutalih snimaka koje je snimanje možda pokupilo
- moguće uređivati projekt i prilagoditi ga za druge programe
- generirati poziciju objekta u koordinatnom sustavu
- moguće je izvesti projekt u sljedećim formatima: .rcs, .pts, .e57, .pcg [4, 5, 6]

### 4.1.2. Autodesk ReCap Photo

Autodeskov ReCap Photo (Slika 10.) je softver koji izrađuje 3D modele iz fotografija. Nakon što je instaliran na računalo postoje dvije mogućnosti rada: izvanmrežni rad ili rad za koji je potrebna internet veza. Prilikom izrade modela postoje dvije opcije kreiranja od kojih je jedna *aerial*, a druga *object*.

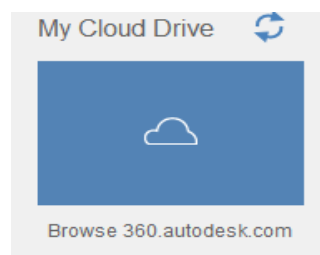


Slika 10. Sučelje ReCap-a Photo

*Aerial* se koristi za izradu modela snimanih iz zraka koristeći fotografije najčešće snimljene dronom. Za jedan takav projekt potrebno je minimalno 20 dobrih fotografija, a moguće ih je učitati do 1000 u pretplatničkoj verziji ReCapa, dok je u studentskoj verziji moguće podijeliti samo 100 fotografija.

Opcija *object* koristi se za izradu modela nekih manjih predmeta, prostorija, okoliša ili čak ljudi. Fotografije za ovakvu izradu projekta mogu biti uslikane bilo kojom kamerom. Za izradu modela u pretplatničkoj verziji programa minimalan broj fotografija je 20, a maksimalan 250. U studentskoj verziji opet je moguće učitati samo 100 fotografija.

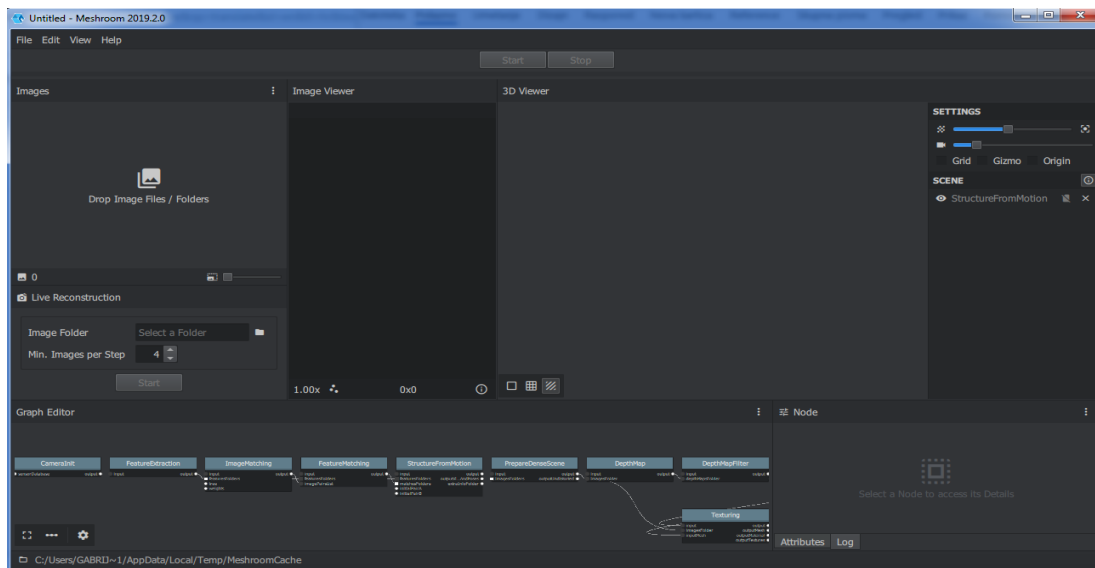
Nakon što se fotografije učitaju one se potom pohranjuju u *My cloud drive* (slika 11.), a model krene sa svojom izradom.



Slika 11. Ikona oblaka za pohranu podataka

### 4.1.3. Meshroom

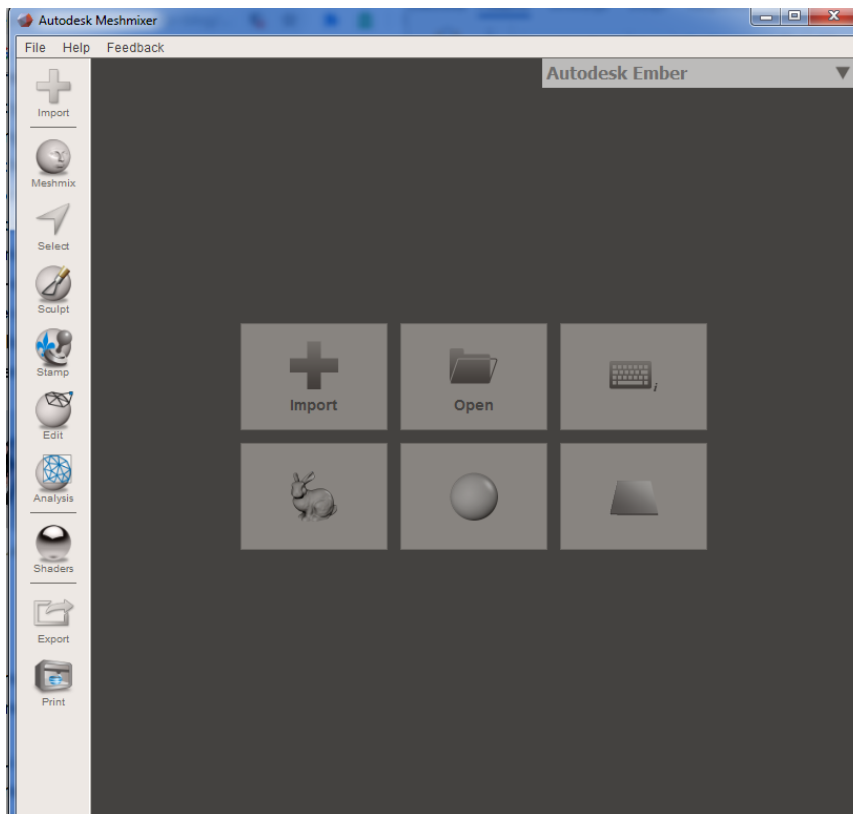
Meshroom (Slika 12.) je softver za izradu 3D modela iz fotografija tvrtke AliceVision. Ovaj se softver besplatan, a nakon preuzimanja nalazi se u zip datoteci iz koje se može prenijeti na računalo pa pokrenuti. Program je moguće instalirati na računala koja se koriste Windows ili Linux operacijskim sustavima. Nakon što se u program ubace fotografije stvara se oblak točaka. Izrada samog modela u ovom programu traje poprilično dugo. Za obradu 40 fotografija bilo mu je potrebno čak četiri sata, što nije slučaj kod autodeskovih programa. Nakon što je model izrađen nije ga moguće uređivati u samom programu. Također, pri završetku izrade objekta nije potrebno izvoziti model jer se svi mogući formati direktno spremaju u datoteku koja se predviđa za određeni model. Formati koje je moguće upotrebljavati nakon izrade modela su .obj, i .mg.



Slika 12. Sučelje Meshroom-a

### 4.1.4. Autodesk Meshmixer

Autodeskov Meshmixer (Slika 13.) je besplatan softver koji se koristi za obradu 3D modela i njihovu pripremu za 3D printanje. Formati koje se mogu učitati u programu su: .obj, .ply, .stl, .amp, .3mf, .off, .mix. U Meshmixeru je moguće urediti objekt te ga tako u potpunosti transformirati, isti je moguće skalirati pa čak i reducirati finoću trokutaste mreže. S obzirom da je softver prije svega namijenjen pripremi za 3D ispis ima opciju analiziranja objekta kako bi se predvidjele moguće poteškoće prilikom printanja, a samim time i predvidjela rješenja istih.



Slika 13. Sučelje Meshmixer-a

#### ***4.1.5. Programi za mobilne aplikacije***

Razvojem 3D skeniranja razvile su se i aplikacije za mobilne uređaje koje pametni telefon pretvaraju u 3D skener. Programi korišteni na mobilnim uređajima baziraju se na tehnologiji fotogrametrije, koja fotografije nekog predmeta snimih iz različitih uglova spaja u 3D model. Modeli nastali obrađivanjem na pametnom telefonu nisu toliko precizni, ali većinom su aplikacije besplatne pa nije potrebnom ulagati u malo bolje računalo.

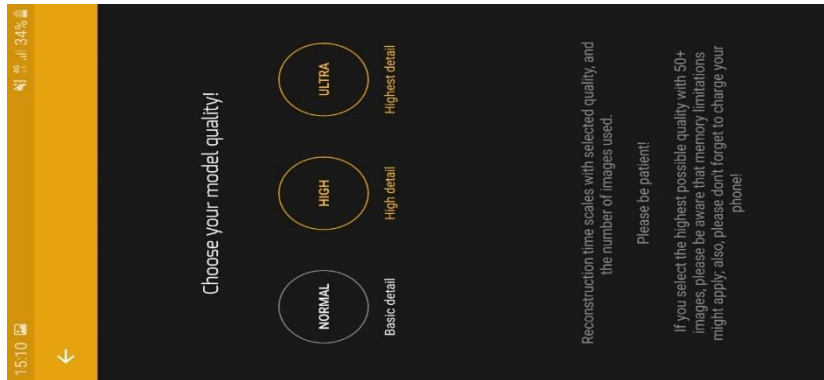
Trenutno je na tržištu najviše aplikacija razvijeno za iOS operativni sustav, dok ih za ostale ima nešto manje. Također, čest problem kod aplikacija jest taj što iste nisu dovršene pa imaju samo dio mogućnosti ili prikaz onoga što će se na njima moći. Osim toga aplikacije koje su besplatne ne mogu odraditi proces skeniranja do kraja pa se tako skenirani objekt npr. ne može spremiti bez dodatne nadoplate.

Aplikacije za iOS: 3DSizeMe, Capture: 3D Scan Anything, Canvas, Qlone...

Aplikacije za Android: 3D Creator, Qlone, Scann3D...

Skeniranje pametnim telefonom toliko je pojednostavljeno da se prilikom fotografiranja u samom programu za skeniranje na zaslonu prikazuju točke koje prikazuju je li uhvaćeno

dovoljno preklapanja s prethodnom fotografijom (Slika14.). Za skeniranje je dovoljno 20 fotografija. A izrada modela traje samo 2-3 minute, puno kraće od onog potrebnog na računalu. Iako je mreža modela puno jednostavnija, sasvim je dovoljna kako bi se isti taj model mogao urediti za 3D ispis.



Slika 14. Prikaz izrade modela putem mobilne aplikacije

## 4.2. Formati 3D modela

Ne podržavaju svi programi za izradu 3D modela jednake formate. Ovisno o tome u kojem će se programu model uređivati ili u koje će se svrhe upotrebljavati prilikom izvoza odabiru se formati. Najčešće upotrebljavani formati datoteka kod 3D skeniranja su:

- RCP/RCS (Reality Capture Project/scan )- formati nastali kao oblak točaka. Nastaju prilikom kreiranja novih projekata
- RCM (mesh file)-format koji je sastavljen od mreže trokuta.
- OBJ- Jednostavan i čest format koji ilustrira 3D geometrijske podatke. Najčešće korišten kod izrade 3D modela
- FBX- Datoteka 3D modela koja ima široku primjenu. Ovaj format se uglavnom umeće u druge autodeskove programe
- ORTHO- datoteke koje koriste georeferentne informacije

Svaki od ovih formata osim .rcp formata pretežno nastaje učitavanjem grupe slika, dok .rcp format nastaje spremanjem grupe datoteka. [4]

## 4.3. Uloga oblaka u 3D skeniranju

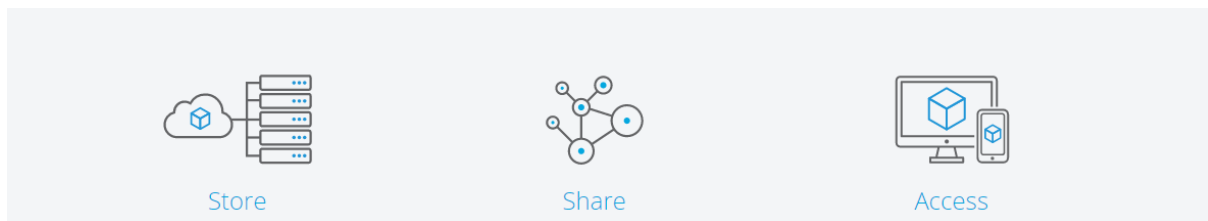
Oblak predstavlja podatkovni centar na koji se pohranjuju podatci kako bi se uštedio prostor na samom računalu, ali i kako bismo imali pristup podacima bila kada i bilo gdje.

Najpoznatiji oblaci koji se danas koriste su: OneDrive i Dropbox.

Gotovo svaka platforma ima svoj oblak za pohranu podataka i većinom ograničen prostor za pohranu koji je korisnicima besplatan. Jedan od takvih oblaka je i *My cloud drive* od Autodesk.

### 4.3.1. *My cloud drive (A360)*

A360 je spremište koje u sebi automatski pohranjuje fotografije i modele, s obzirom da je povezan s računalom. Koristi se online i može mu se pristupiti s bilo kojeg drugog uređaja, spremaju se svi projekti koji se pokrenu u Autodeskovim programima kao i originalne fotografije istih. Osim što ima mogućnost spremanja, sadrži i opciju dijeljenja s drugim korisnicima. (Slika 15.) [7]



Slika 15. Prikaz mogućnosti u oblaku

## 5. POSTUPAK 3D SKENIRANJA I IZRADE DIGITALNOG MODELA: PRIMJER PRIMJENE FOTOGRAMETIJE

Fotogrametrija je najjednostavniji način 3D skeniranja. Da bi se izradio 3D model nisu potrebni skeneri koji su uobičajeno poprilično skupi, već je dovoljan samo fotoapararat. To može biti digitalni fotoapararat, ali isto tako dovoljno je upotrijebiti kameru pametnog telefona.

### 5.1. Snimanje fotografija

Softveri za izradu 3D modela koji rade na principu fotogrametrije prolaze kroz fotografije pritom izračunavajući poziciju kamere i perspektivu fotografije generirajući tako geometriju objekta. S toga je vrlo bitno dobiti što više kvalitetnih fotografija snimljenih iz različitih kutova sa svih strana objekta. Poželjno je snimiti što više fotografija oko objekta. Prilikom fotografiranja može se koristiti opcija portreta ili slikanja pejzaža. Najbolje je fokusirati se na objekt ne obuhvaćajući okolinu u fotografiju. Potrebno je uslikati objekt svakih 5-10 stupnjeva oko njegove osi, a isto tako i na različitim visina objekta. Objekt se može uslikati i izbliza tako da fotografija sadrži samo neki detalj objekta, ali i ne mora. Tokom zabilježavanja objekta najbolje je ne koristiti bljeskalicu fotoapararata jer to može kreirati nepoželjne sjene na određenim dijelovima objekta što kasnije rezultira nepravilnostima prilikom izrade modela. Prilikom fotografiranja vrlo je bitno paziti na osvjetljenje. Najbolje fotografije dobivaju se vani na otvorenom po oblačnom vremenu kada ne može doći do refleksije i stvaranja sjene. U slučaju da se objekt bez obzira na sve sjaji moguće ga je premazati sprejom (Slika 16.) koji umanjuje sjaj i zatamnjuje svijetle površine pa tako poboljšava proces skeniranja.[6,8]



Slika 16. Sprej za zatamnivanje površina



## 5.2. Izrada digitalnog 3D modela objekta iz fotografija

Nakon što su fotografije snimljene vrijeme je za učitavanje modela. (Slika 17. i Slika 18.)

Fotografije koje koristimo za izradu modela snimljene su pametnim telefonom.

Nakon što otvorimo softver ReCap Photo odabiremo ikonu *Object*. Potom se otvori prozor u koji možemo povući ili naprosto učitati fotografije s računala. Nakon što su fotografije učitane moguće je ukloniti one kojima smo nezadovoljni. Potom klikom na *Create project* i njegovog imenovanja krećemo s učitavanjem modela. Fotografije se prvo učitavaju na A360, a potom se čeka da se model kreira. Najčešće vrijeme čekanja je oko sat vremena. Potom se model mora preuzeti da bi se mogao otvoriti na računalu. Tokom čekanja na model potrebno je biti spojen na internet. Nakon što je model preuzet on se nalazi na računalu i moguće ga je otvoriti. (Slika 19.) Na slici 19. može se vidjeti kako su se fotografije rekonstruirale. Također primjećuje se da je prilikom fotografiranja uhvaćeno dosta okolnog područja oko objekta kojeg ćemo obrisati. Tako da odaberemo dio koji ne želimo te desnim klikom miša odaberemo obrisati.

Nakon što je dio viška modela obrisan možemo primijetiti da se kućica u kojoj se model nalazi smanjila i prilagodila novim dimenzijama. (Slika 20.)

Iz modela smo uklonili i ostale nepotrebne detalje kombinirajući opciju označavanja pa desnim klikom miša obrisali i opciju koju pronalazimo u izborniku urediti koji je prikazan malo olovkom, a zove se odsjeci. Ova opcija funkcionira na način da se oko osi objekta pojave kružnice koje možemo pomicati gore-dolje ili lijevo-desno pa tako otklanja veći dio nepotrebnog sadržaja (Slika 21.)

Slika 22. i Slika 23. prikazuju trokutastu mrežu objekta koja se prikazuje prilikom dodatnog uređivanja modela u programu. Opcijom površinski alati možemo povećati ili smanjiti neki dio objekta, a to funkcionira na način da se trokutići iz mreže pomiču četkicom i tako oblikuju model.

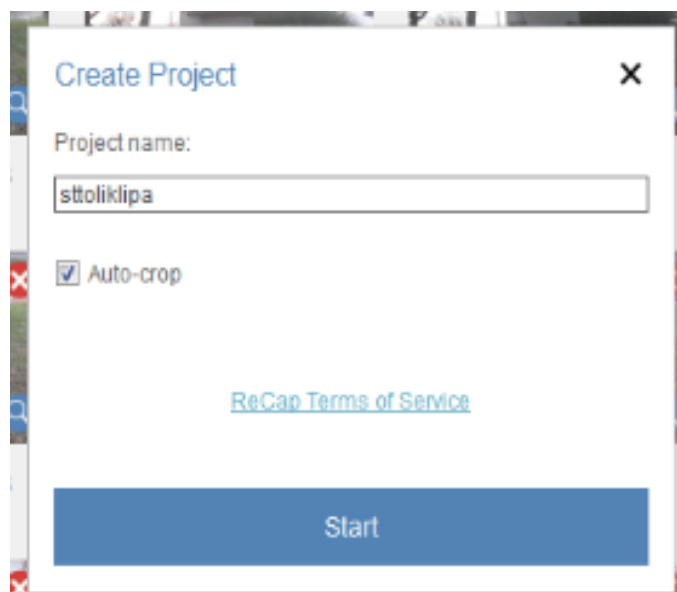
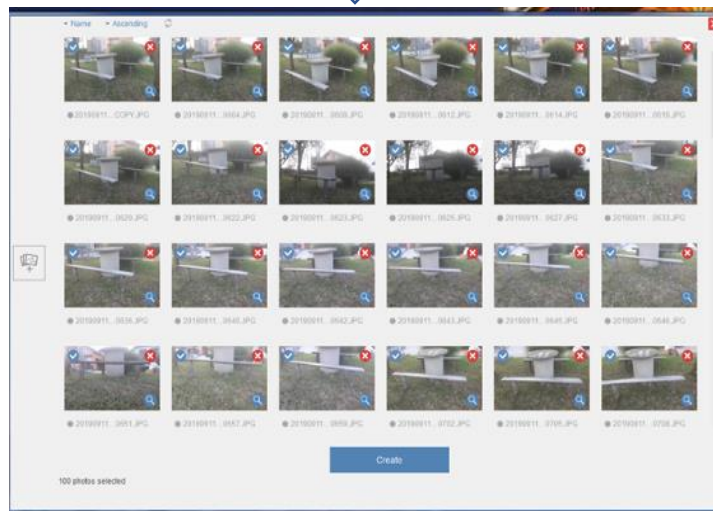
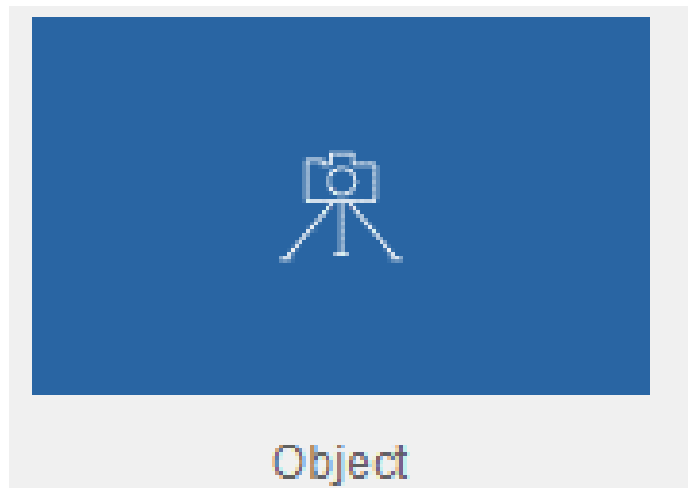
U programu također možemo provjeriti iz kojih je sve kutova objekt fotografiran (Slika 24.) na slici je to prikazano malim piramidama oko objekta. Primjećuje se da nedostaju fotografije s jedne strane objekta pa vjerojatno zbog toga model s te strane ispao malo lošije.

Osim toga, također je moguće uvođenje mjera objekta (Slika 25.) možemo to napraviti na više načina, a najjednostavnije je odrediti udaljenost između dvije točke.

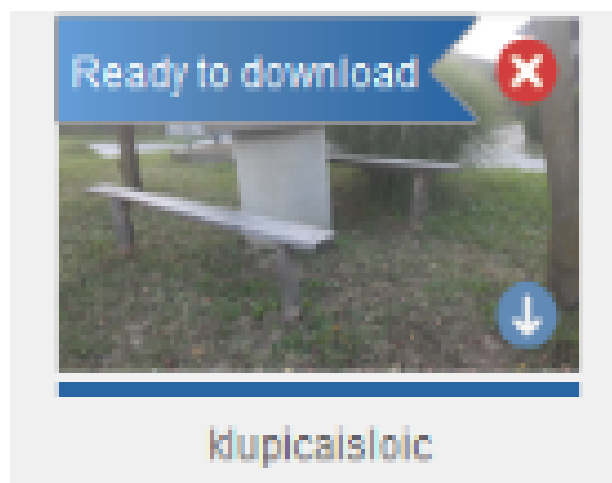
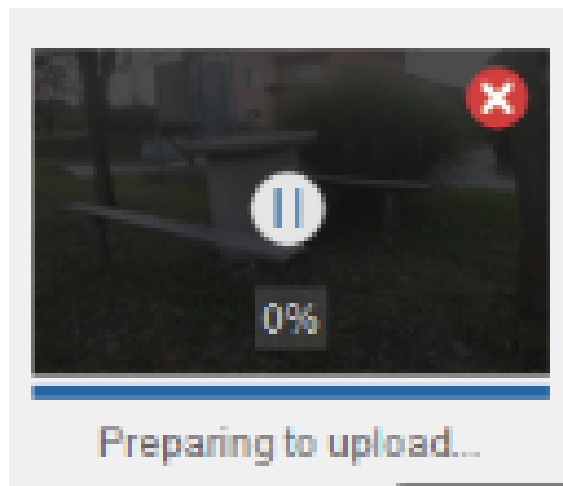
Moguće je i odabrati analizu objekta (Slika 26.) pa tako analizirati i popraviti eventualne pogreške na objektu. Ova opcija najčešće samo zagladi objekt iako piše da bi trebalo napraviti puno više. Tokom analiziranja moguće je izmjeriti udaljenost između dvije točke, usporediti dva modela i vidjeti podatke o mreži točaka.

Alatom za promjenu topologije modela (Slika 27.) možemo umanjiti ili povećati finoću trokutaste mreže objekta pa tako umanjiti ili povećati njegu složenost kako bismo si olakšali rad u nekom drugom softveru nakon izvoza modela.

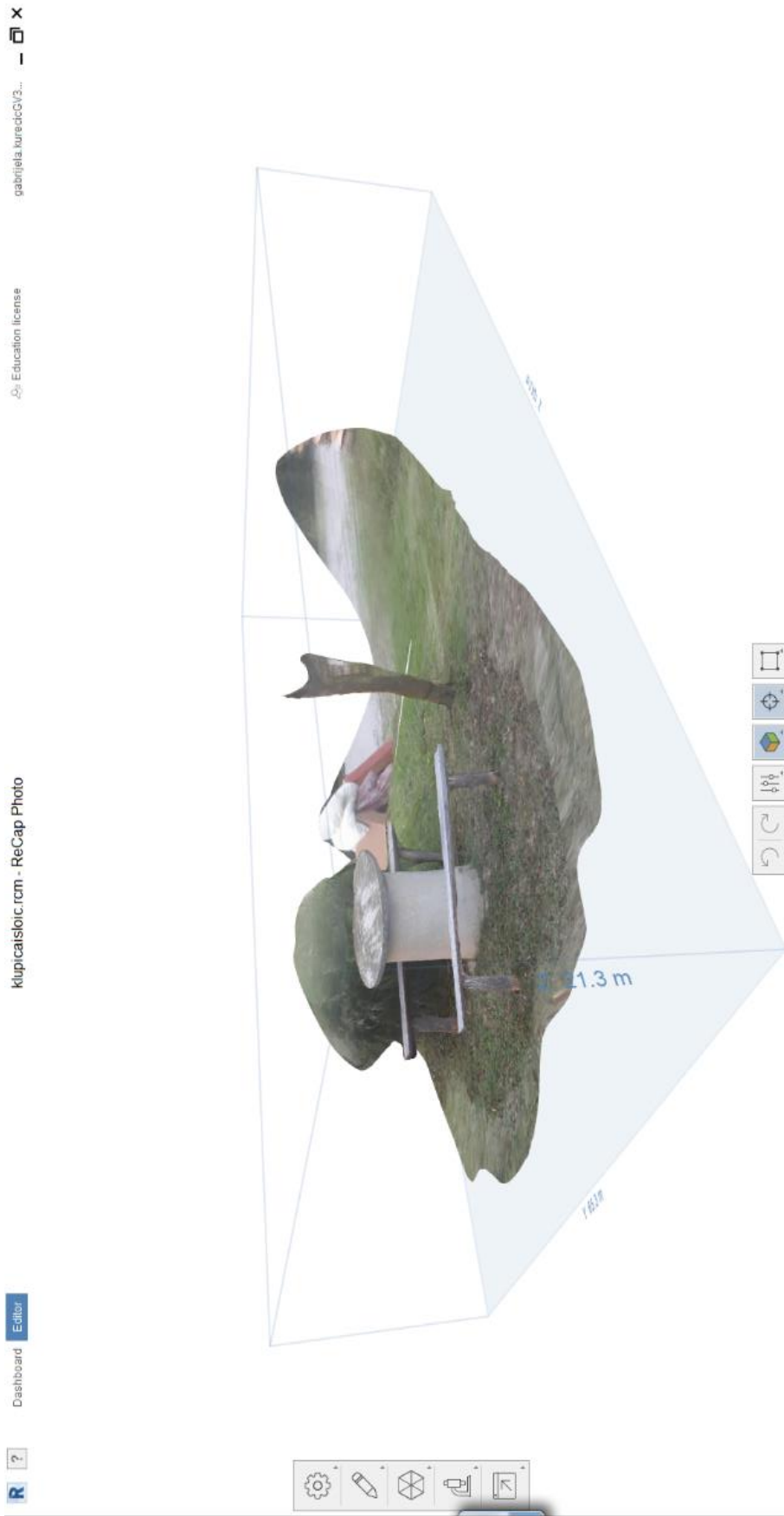
Nakon što smo napravili sve što smo mogli u programu vrijeme je za izvoz objekta. Odabirom izbornika izvoz. Postoje tri moguće opcije: izvezi sliku, izvezi video ili izvezi model. Odabirom izvoza modela u mogućnosti smo odabrati u kojem formatu model želimo izvesti ovisno o tome za što će dalje biti upotrebljavan. S obzirom da format .obj ima najširu primjenu i dostupan je za uvoz u najviše drugih program odabiremo njega (Slika 28.).



Slika 17. Početak izrade modela



Slika 18. Izrada modela



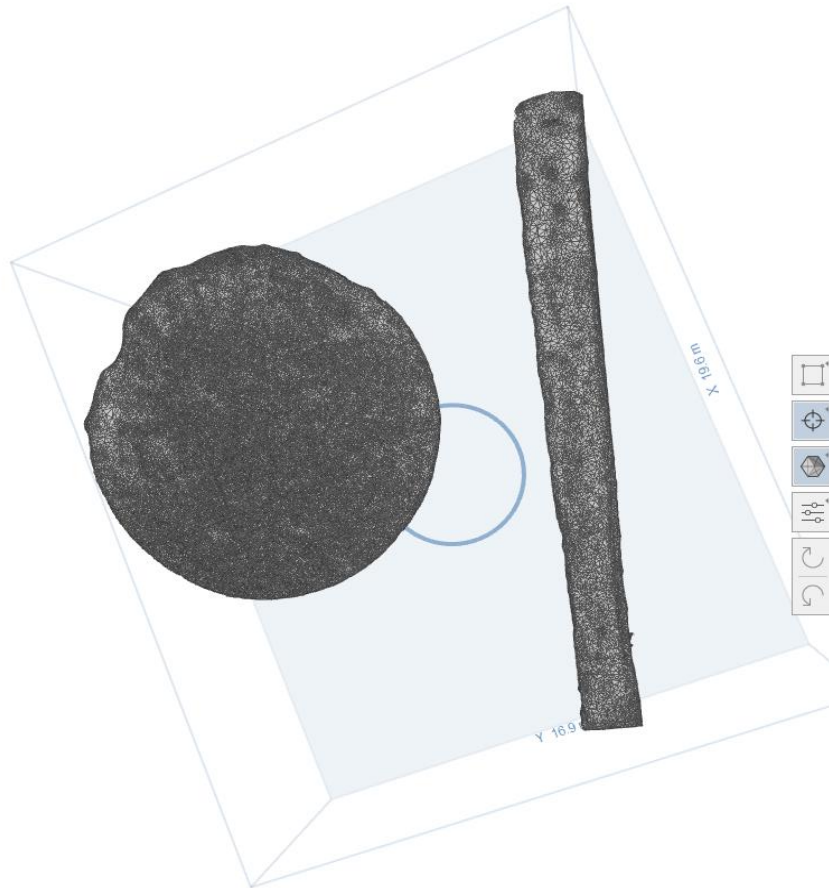
Slika 19. Prvo stanje modela



Slika 20. Djelomično obrisan višak



Slika 21. Prikaz rezanja i uklanjanja viška pomoću alata *Slice*



Surface tools

**Smooth**

Brush size: [Slider]

Strength: [Slider]

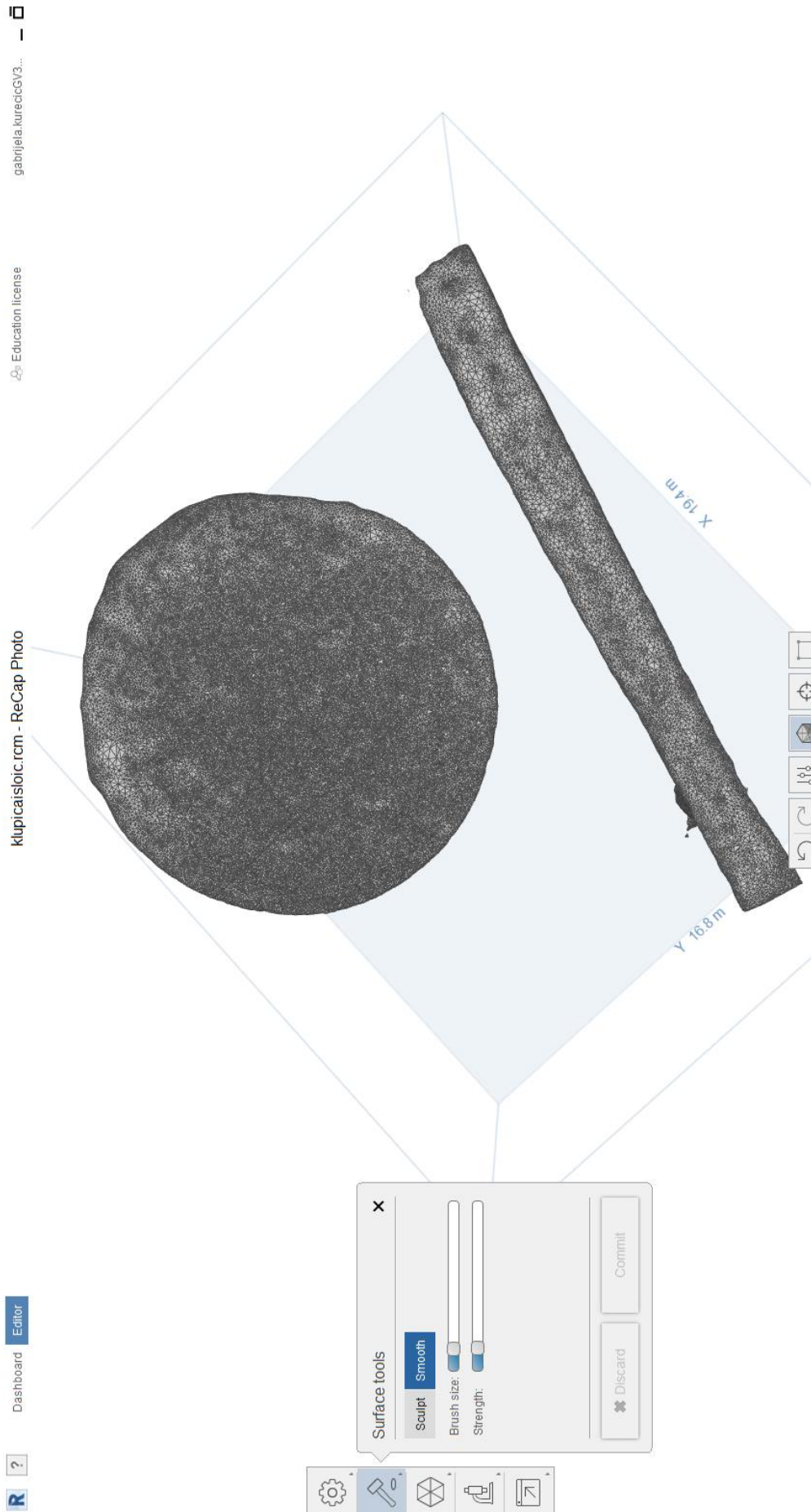
Brush tip: Rounded

Direction: Pull

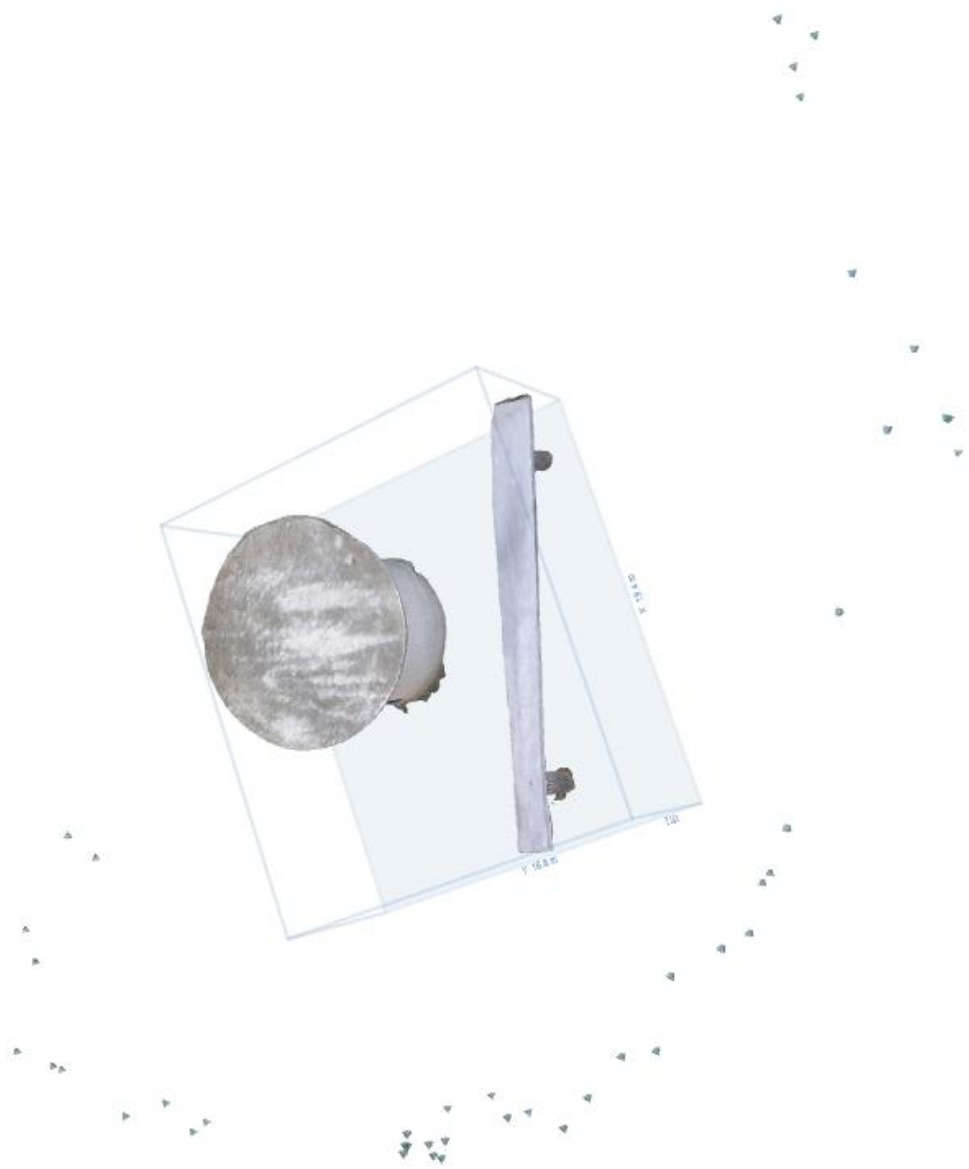
Discard Commit

Slika 22. Postupak ispravljanja pogrešaka na modelu

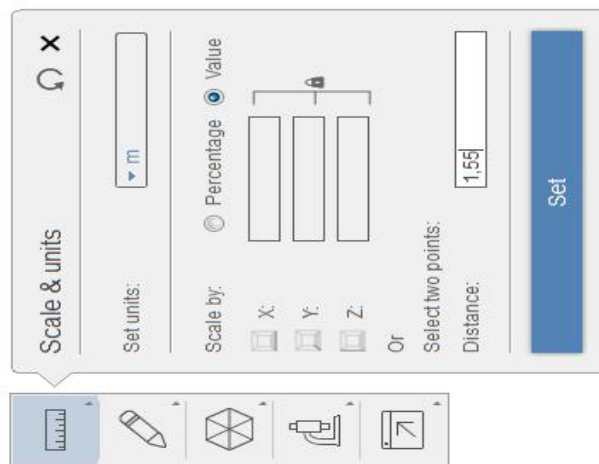




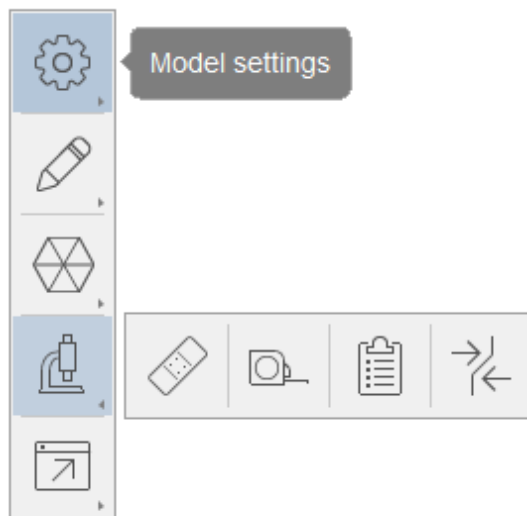
Slika 23. Prikaz nakon što smo ispravili ploču stola



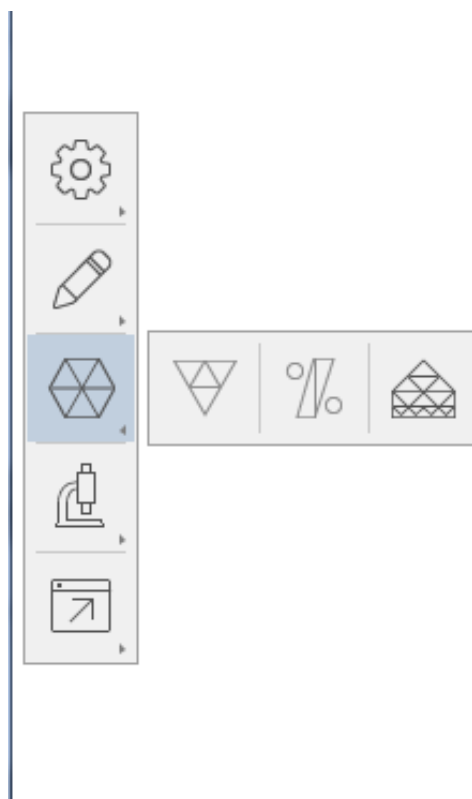
Slika 24..Prikaz pozicija fotoaparata



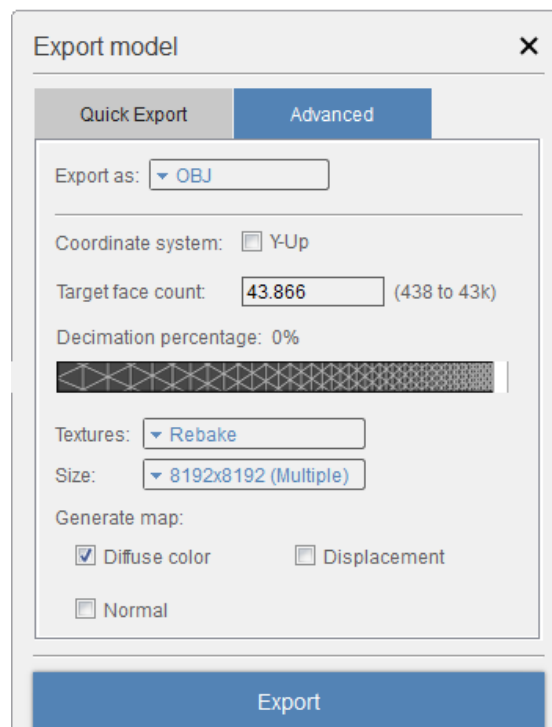
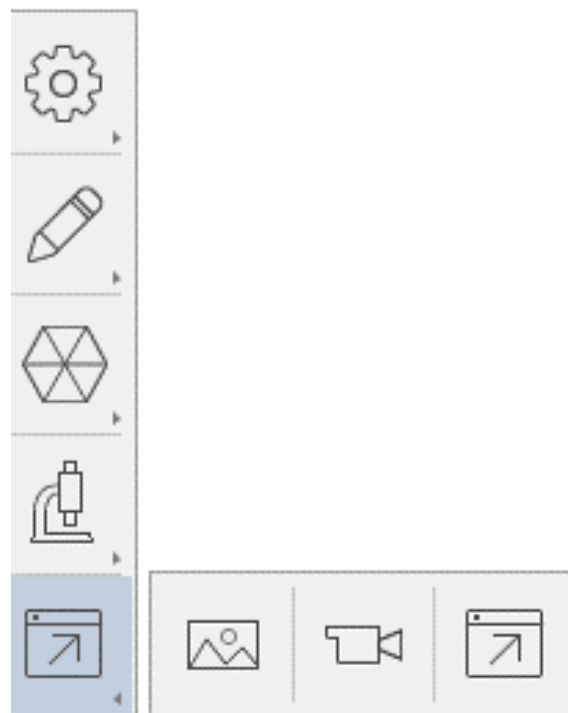
Slika 25. Postavljanje stvarne veličine objekta



Slika 26. Izbornik za analizu objekta



Slika 27. Izbornik za promjenu topologije modela



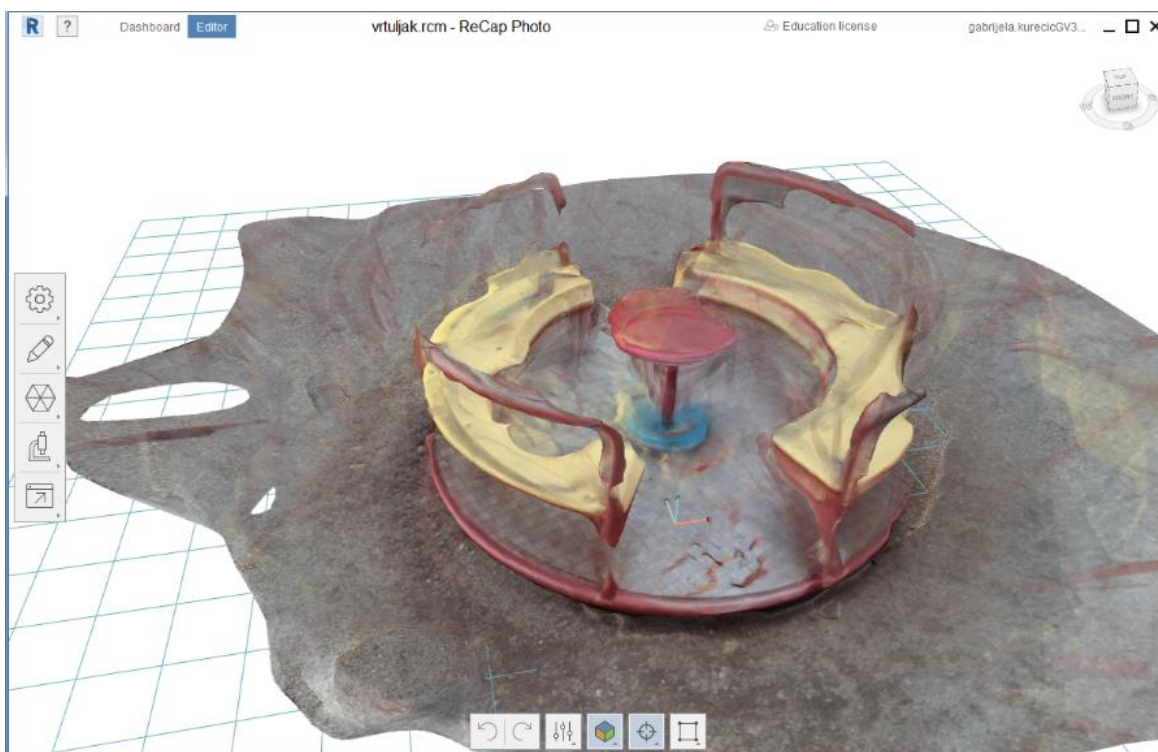
Slika 28. Izvoz modela iz ReCap-a Photo

### 5.3. Uređivanje 3D modela objekta

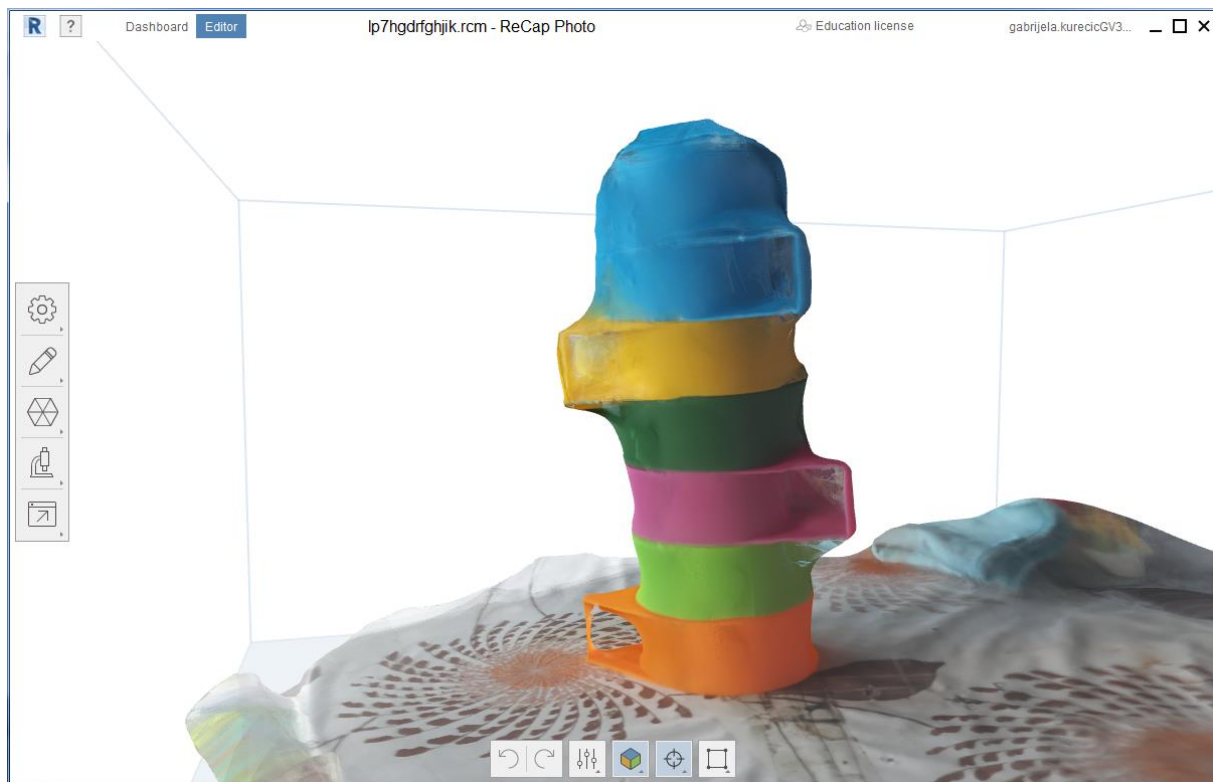
Prilikom izvoza opet postoji mogućnost za odabir finoće trokutaste mreže. Što je mreža rjeđa to će drugi softveri biti brži pri daljnjem uređivanju. Na kraju model se pohranjuje u računalo i spreman je za daljnju uporabu. Najčešće se modeli umanjuju, a potom 3D ispisuju kako bismo imali realnu predodžbu nečega velikoga u umanjenom obliku.

### 5.4. Primjeri neuspjelih pokušaja izrade 3D modela

Tokom izrade modela nije uvijek sve savršeno. Potrebno je dosta prakse kako bi vidjeli na što je potrebno posebno obratiti pažnju. Najčešći problem zadaje refleksija koja se stvara kod sjajnih predmeta. Pa tako model na kraju ispadne izobličen što je moguće vidjeti na slikama 29. i 30. Na Slici 29. na kojoj je prikazana neuspjela izrada modela vrtuljka primjećuje se da neki dijelovi nedostaju za što je prije svega kriv upravo odsjaj koji se pojavljuje zbog metalnog materijala. Bez obzira što je vrijeme bilo pogodno za fotografiranje, što znači da je bilo oblačno na vrtuljku je ipak bilo sjajnih mjesta i ona su se naprosto izgubila prilikom izrade. Slika 30. prikaz je naslaganih plastičnih šalica koje se također sjaje zbog svog materijala. Korištena je ista tehnika prilikom fotografiranja te je ono je vršeno prilikom oblačnog vremena. Neovisno o tome predmet opet sjaji i javlja se poprilično veliko pozadinsko osvjetljenje što rezultira 3D modelom koji izgleda kao da se topi pod utjecajem velike topline.



Slika 29. Neuspjeli 3D model vrtuljka



Slika 30. Neuspjeli model kule od šalica

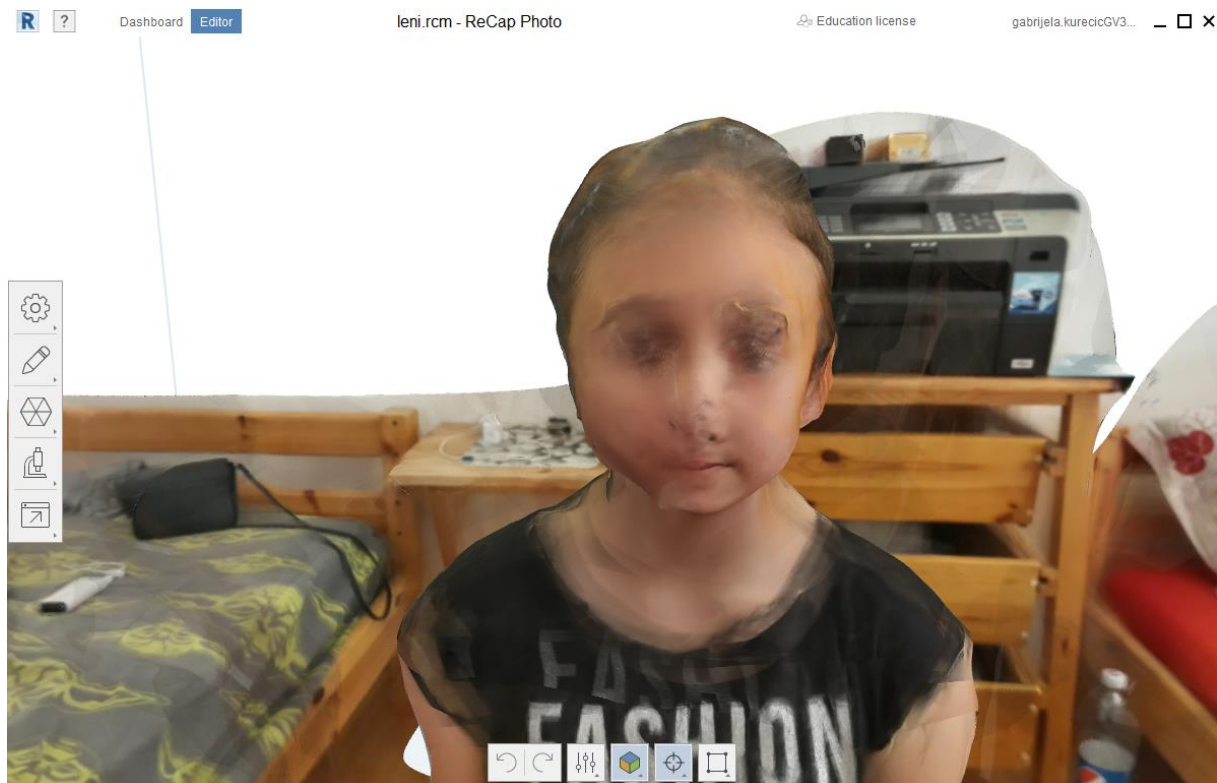
Nadalje, problem koji se javlja nastaje kada je predmet slične boje kao i pozadina na kojoj se nalazi. Slika 31. detaljno prikazuje kako se predmet i njegova okolina stope ukoliko je taj problem u pitanju. Sa strane je umetnuta i jedna od fotografija prilikom fotografiranja predmeta.



Slika 31. Predmet i okolina iste su boje



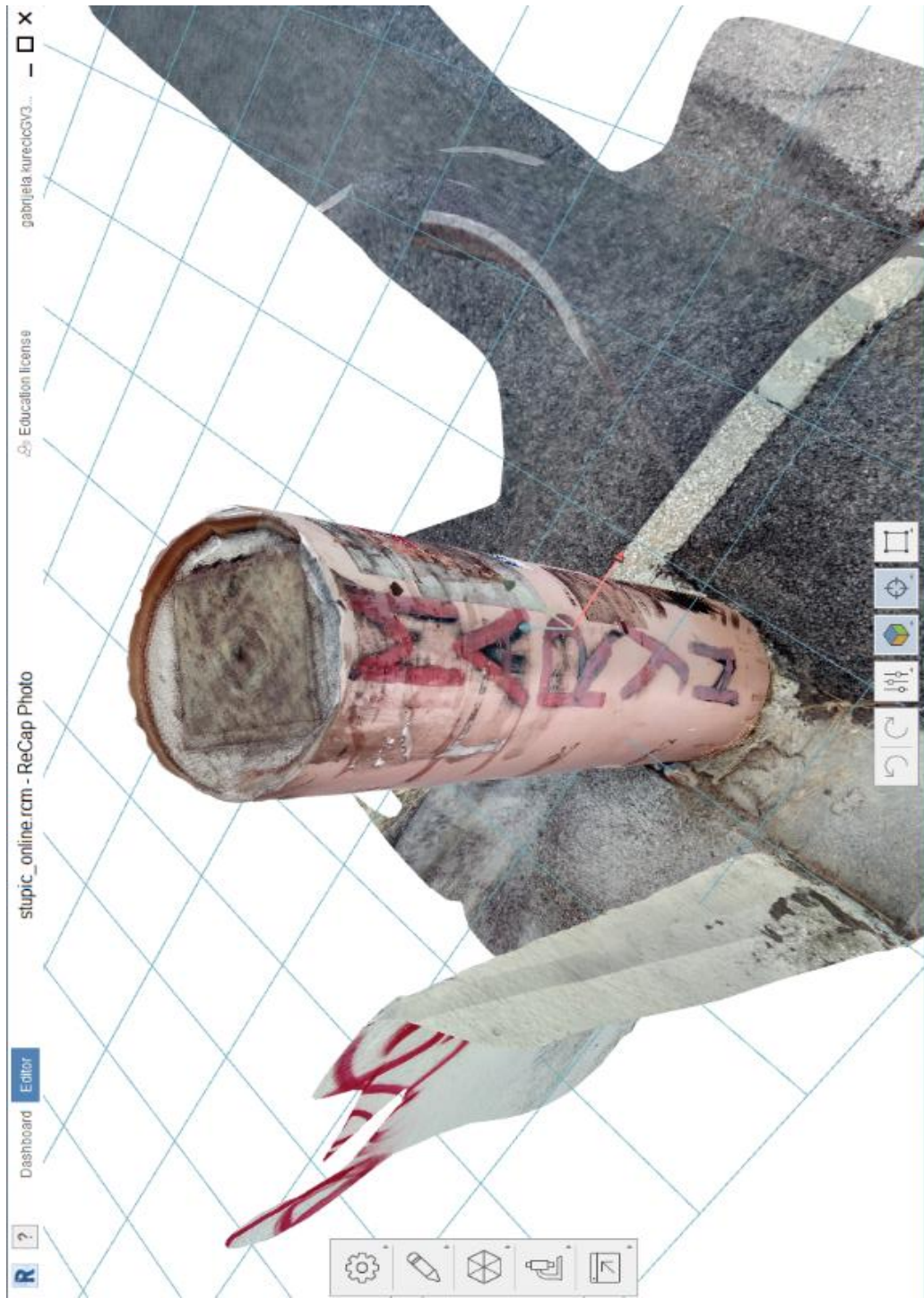
Naredni problem može se dogoditi prilikom fotografiranja ljudi. Naime, ukoliko se prilikom fotografiranja osoba pomakne ili promijeni izraz lica 3D model izgledati će otprilike kao i na Slici 32.



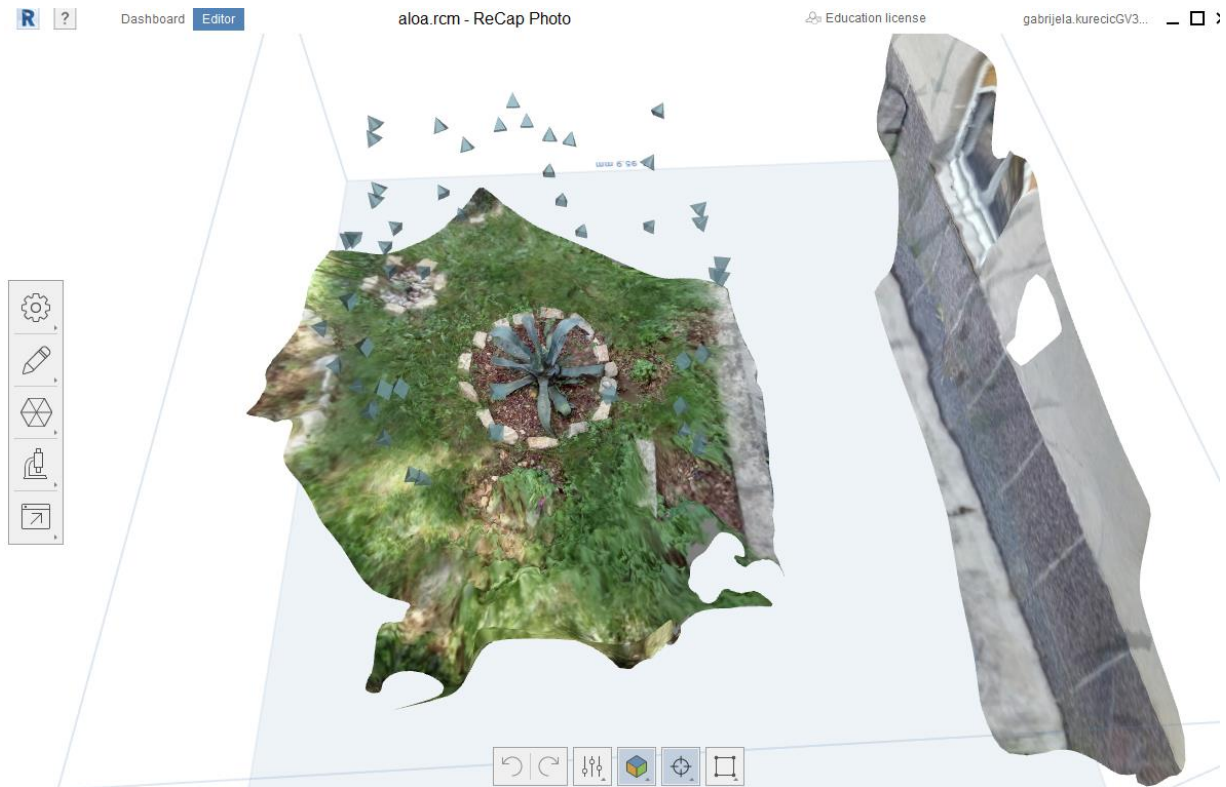
Slika 32. Prikaz lošeg modela osobe

Osim toga, problem se može javiti ukoliko je kvaliteta fotografija loša ili se fotografije fokusiraju na određeni dio objekta što rezultira mutnim dijelom na 3D modelu. (Slika 33.)

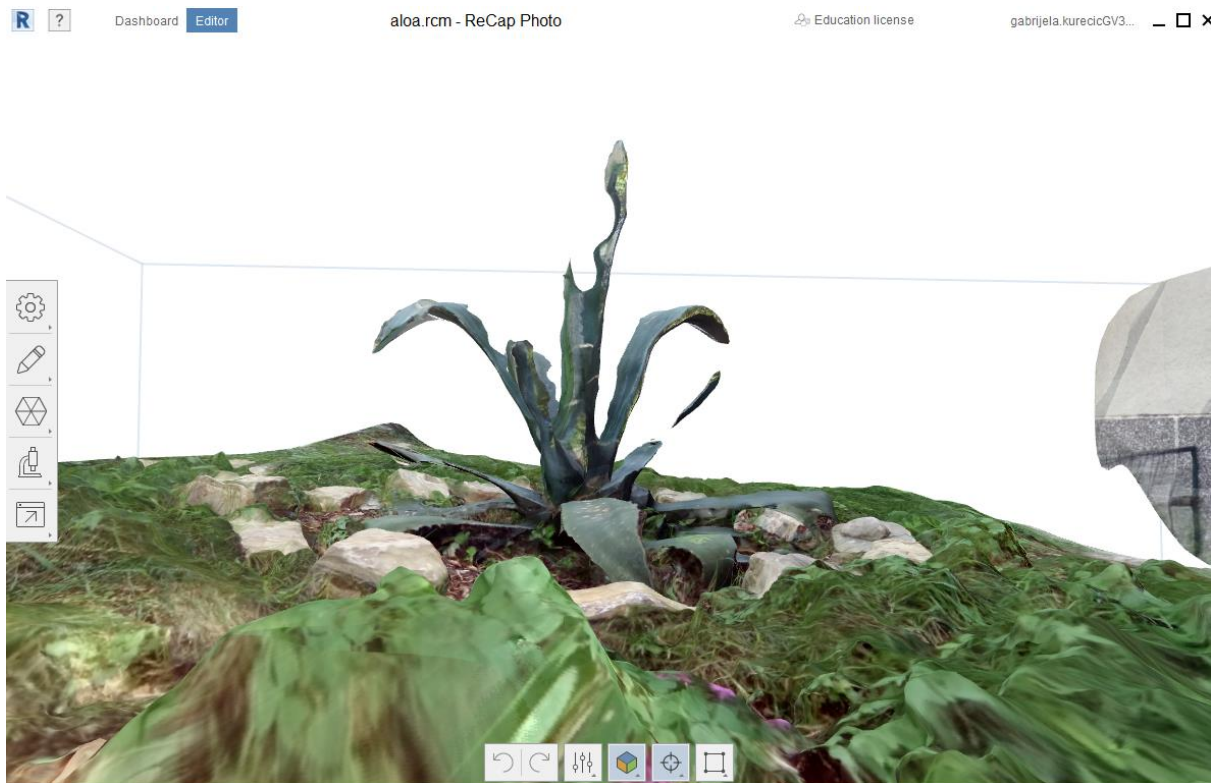
Problem se također može javiti ukoliko je objekt kojeg snimamo dosta uzak i visok, pa prilikom fotografiranja umjesto objekta fokus bolje zabilježi njegovu okolinu nego njega samoga. Opet se javljaju rupe na modelu zbog obrade prevelike okolne pozadine (Slika 34.) (Slika 35.).



Slika 33. Prikaz lošeg fokusiranja kamere prilikom fotografiranja



Slika 34. Prikaz pozicija kamere prilikom fotografiranja

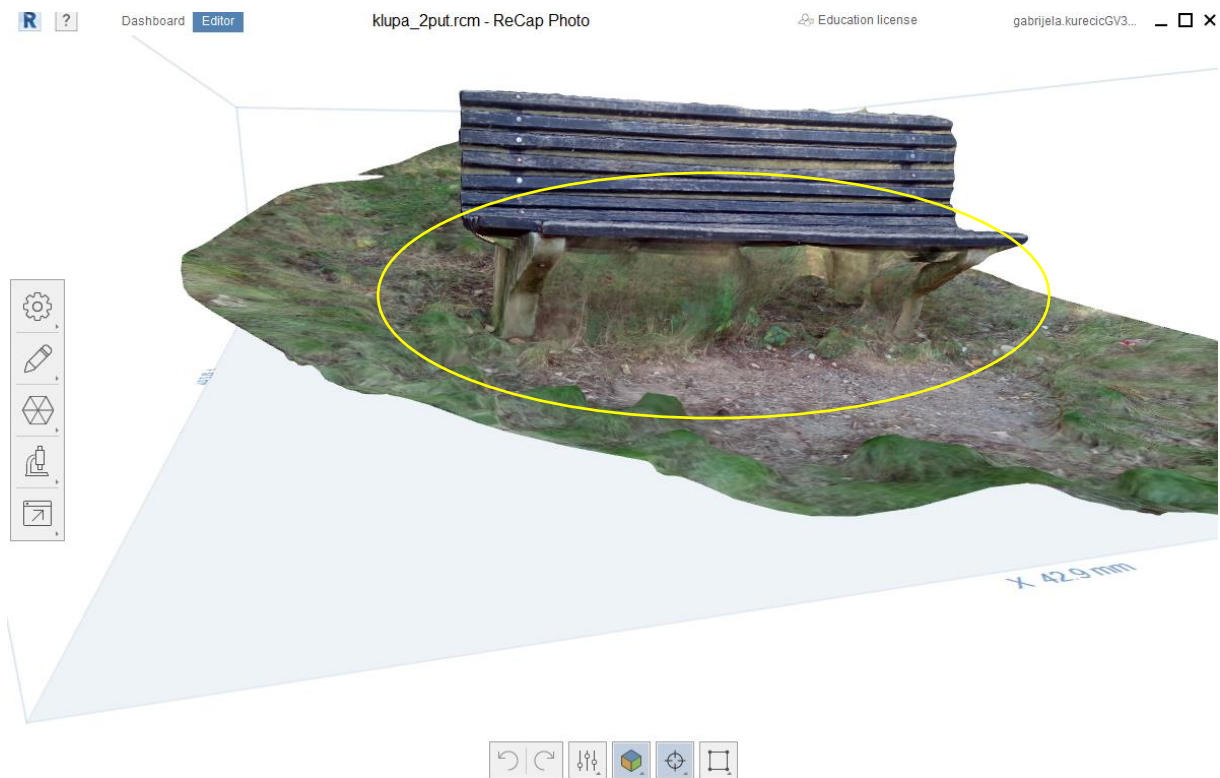


Slika 35. Prikaz dijelova koji nedostaju na modelu izbliza



## 5.5 Usporedba gotovog 3D modela u ReCap-u Photo i Meshroom-u

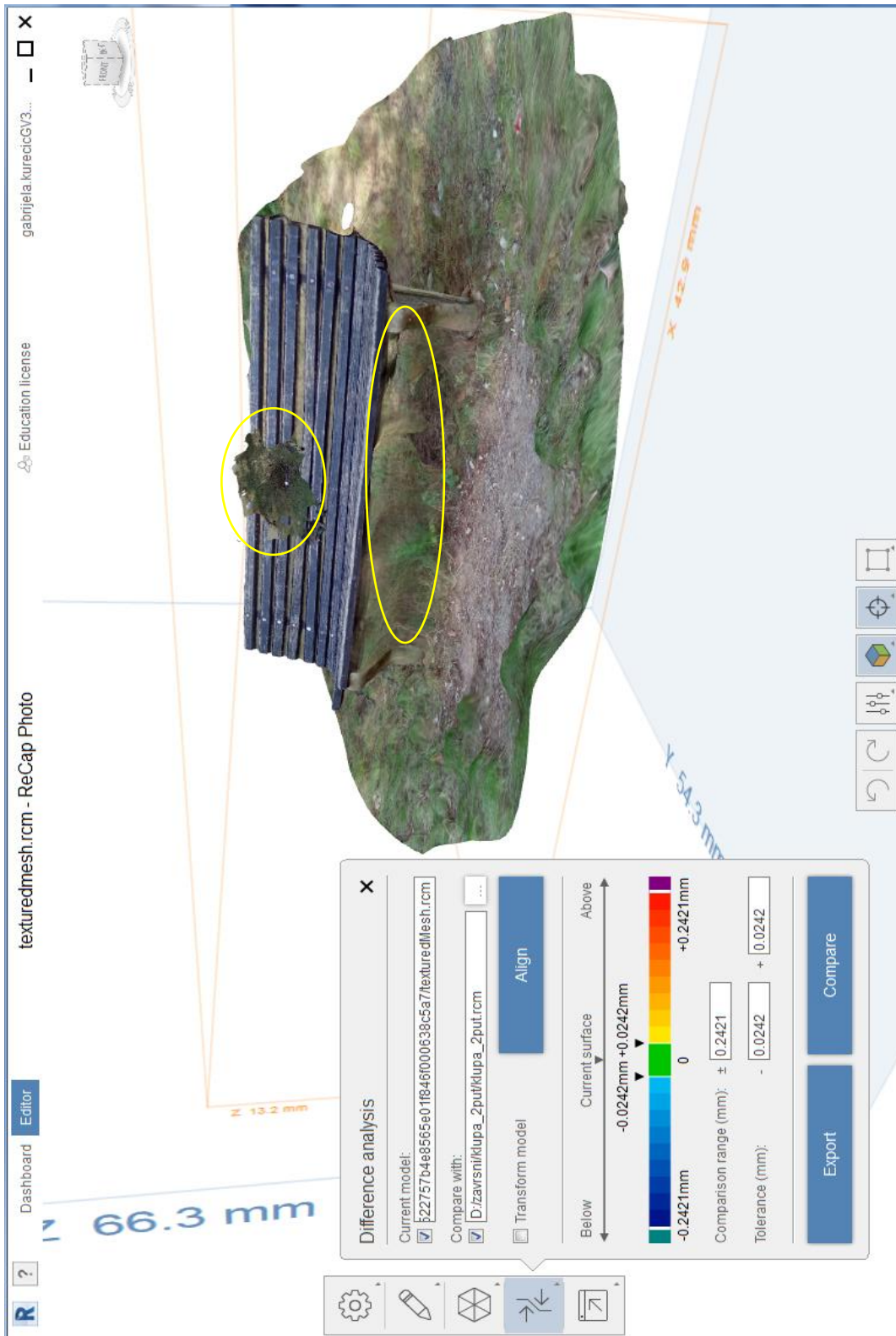
Prilikom izrade 3D modela u ReCapu dolazi do zamućenja i stapanja pojedinih dijelova objekta koji su označeni na Slici 36., a vrijeme čekanja za izradu modela je sat vremena. Koristeći identične fotografije za izradu modela u Meshroomu izrada modela traje tri sata, ali model ispada jasnije. Međutim zbog određenih sjena koje se javljaju prilikom fotografiranja neki dijelovi modela su šuplji (Slika 37.). Bez obzira što je model dobiven u Meshroomu jasniji i bolje kvalitete, prilikom opcije analiziranja objekta u ReCapu Photo krajnji model poprima dijelove modela dobivenog u ReCapu (Slika 38.).



Slika 36. Zamućeni dijelovi modela iz ReCapa Photo



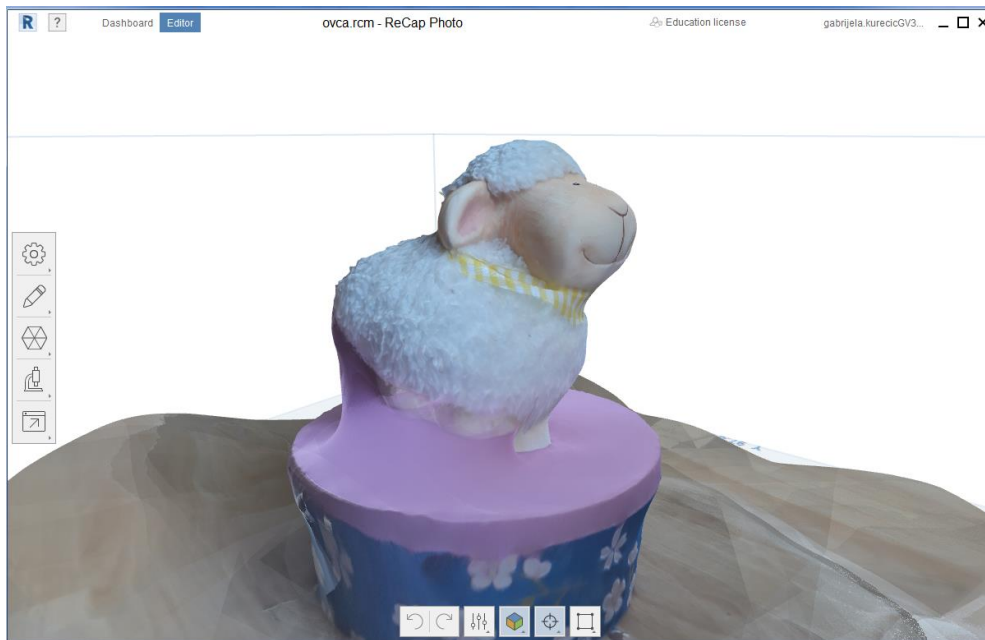
Slika 37. Model nastao u Meshroomu otvoren u ReCapuPhoto



Slika 38. Analiza dvaju modela u ReCapu

## 5.6. Usporedba 3D modela nastalog na pametnom telefonu i u ReCapu Photo

Za ove modele koristili smo jednake fotografije koje smo dobili prilikom izrade modela na pametnom telefonu prateći korake fotografiranja date u aplikaciji Scann3D. Izrada modela na pametnom telefonu trajala je 2 minute. Dok je izrada modela na računalu trajala 30 minuta. Model dobiven u ReCapu Photo (Slika 39.) bio je jasniji te nije na sebi imao rupe kao što je slučaj kod modela dobivenog na mobilnom uređaju (Slika 40.). Kvaliteta modela je također puno bolja na računalu, ali je i na telefonu dobro vidljiva tekstura fotografiranog predmeta.



Slika 39. Slika modela dobivenog u ReCapu



Slika 40. Slika modela dobivenog u scann3D aplikaciji za mobitel



## **6. PRIMJENA 3D SKENIRANJA**

Tehnologija 3D skeniranja vrlo se brzo razvija. Na tržištu vrlo često možemo primijetiti neku novu inačicu 3D skenera ili softvera za 3D modeliranje. Unatoč tome, sama primjena 3D skeniranja konstantno se širi, a ovo su neka od područja u kojima se 3D skeniranje koristi.

### **6.1. U građevinarstvu i građevinskoj industriji**

- Izrada nacrt za rekonstrukciju instalacija
- Modeliranje mjesta gradilišta
- Kontrola kvalitete
- Dokumentacija povijesnih građevina
- Rekonstrukcija građevina, autocesta i mostova
- Snimanje terena prije izgradnje
- Izrada karata za geografski informacijski sustav [9]

### **6.2. Obrnuti inženjering:**

- Rekonstrukcija modela mehaničkih komponenti [9]

### **6.3. Zabava:**

- Kreiranje digitalnih 3D modela, za filmove i video igrice
- Kreiranje virtualne stvarnosti [9]

### **6.4. Medicina**

- Snimanje 3D oblika pacijenta u ortozima i stomatologiji.
- Izrada ortoza, proteza ili dentalnih implantata [9]

### **6.5. Nesretni događaji:**

- Snimak trenutnog stanja kod prizora zločina, putanje metka
- Rekonstrukcija nesreća
- Rekonstrukcija bombaških napada [9]

## 7. ZAKLJUČAK

Ovim radom objašnjeno je što je to 3D skeniranje, te koje sve tehnologije 3D skeniranja postoje. Objašnjeno je da je 3D skeniranje bazirano je na tehnici mjerenja trodimenzionalnih površina, a jedno skeniranje rezultat je velike količine točaka u sistematiziranom uzorku. Konačni rezultat skeniranja nakon obrade podataka može biti prikazan kao linijski crtež, CAD model, površinski 3D model ili video animacija.

Iako prevladavaju metode laserskog 3D skeniranja, najviše smo se bavili metodom fotogrametrije. Fotogrametrija je modeliranje na temelju fotografija, a njena tehnologija ima mogućnost rekonstruirati objekte različitih veličina dok je potrebne podatke moguće je sakupiti iz zraka ili sa zemlje.

Na kraju smo sami iskušali jednostavnost primjene autodeskovog ReCap Photo softvera, te kreiranje 3D modela koristeći fotografije snimljene pametnim telefonom. Također je ukazano na moguće poteškoće koje mogu nastati prilikom 3D skeniranja.

S obzirom na raširenost i jednostavnost uporabe 3D skeniranja, smatram ga vrlo korisnim. Fotogrametrijskom tehnologijom može se koristiti bilo tko jer ne zahtijeva prethodno znanje o drugim softverima za izradu 3D modela kao što su npr. AutoCad ili Rhinoceros. Osim toga vjerujem da će kroz narednih nekoliko godina tehnologija 3D skeniranja još više napredovati, a sve više će stvari biti premješteno u virtualni svijet.

## 8. LITERATURA

- [1] <https://www.aniwaa.com/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/>  
pristup: kolovoz 2019.
- [2] [https://www.ems-usa.com/tech-papers/An\\_Introduction\\_to\\_3D\\_Scanning\\_E-Book.pdf](https://www.ems-usa.com/tech-papers/An_Introduction_to_3D_Scanning_E-Book.pdf)  
pristup: rujan 2019
- [3] <https://knowledge.autodesk.com/support/recap/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Reality-Capture/files/GUID-9B5661B9-4B67-4574-93F6-A850892FA075-htm.html> pristup: rujan 2019.
- [4] <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Add-3D-Photogrammetry-Your-Desktop-and-Mobile-Apps-using-ReCap-Photo-API-2014> pristup: veljača 2019.
- [5] <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Hands-ReCap-Pro-Field-Office-2017>  
pristup: veljača 2019
- [6] <https://repozitorij.unin.hr/islandora/object/unin%3A1465/datastream/PDF/view>  
pristup: rujan 2019.
- [7] <https://a360.autodesk.com/drive/> pristup: rujan 2019.
- [8] <https://sketchfab.com/blogs/community/how-i-create-my-3d-scans-with-autodesk-recap360/> pristup: kolovoz 2019.
- [9] <http://www.am.unze.ba/pzi/2010/MehmedbasicEnisa/primjena.htm> pristup: rujan 2019.