

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO,
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Nika Tomšič

**ZAJEMANJE 3D OBJEKTOV S POMOČJO
FOTOGRAMETRIJE ZA POTREBE
ANIMACIJE IN 3D TISKANJA**

Diplomsko delo

Maribor, avgust 2021

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO,
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Nika Tomšič

**ZAJEMANJE 3D OBJEKTOV S POMOČJO
FOTOGRAMETRIJE ZA POTREBE
ANIMACIJE IN 3D TISKANJA**

Diplomsko delo

Maribor, avgust 2021

**ZAJEMANJE 3D OBJEKTOV S POMOČJO FOTOGRAMETRIJE
ZA POTREBE ANIMACIJE IN 3D TISKANJA**
Diplomsko delo

Študentka: Nika Tomšič
Študijski program: univerzitetni študijski program
Medijske komunikacije
Smer: Vizualna komunikacija
Mentor: doc. dr. SIMON KOLMANIČ, univ. dipl. inž. rač. in inf.
Somentorica: izr. prof. dr. KRISTA RIZMAN ŽALIK, univ. dipl. inž. rač. in inf.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Simonu Kolmaniču, za vso strokovno pomoč, svetovanje in usmerjanje pri pisanju zaključnega dela.

Hkrati se zahvaljujem tudi somentorici izr. prof. dr. Kristi Rizman Žalik za vso pomoč in napotke.

Hvala tudi družini in prijateljem, ki so mi stali ob strani in bili v moralno pomoč.

Zajemanje 3D objektov s pomočjo fotogrametrije za potrebe animacije in 3Dtiskanja

Ključne besede: *fotogrametrija, 3D tiskanje, animacija, geometrijsko modeliranje*
UDK: 528.74:070.32(043.2)

Povzetek

V diplomski nalogi smo raziskali fotogrametrijo v povezavi z računalniško animacijo in 3D tiskanjem. Fotogrametrija je zaenkrat še slabo poznana tehnika zajemanja tridimenzionalnih objektov, uporablja pa se že v mnogih velikih podjetjih na različnih področjih, do neke mere pa je dostopna že skoraj vsakemu posamezniku. Tudi 3D tiskanje je v zadnjem desetletju postal zelo popularen hobi, animacija pa se praktično že pojavlja povsod v zabavni industriji in oglaševanju. Cilj diplomske naloge je ustvariti čim boljšo repliko izbranega objekta s pomočjo fotogrametrije. Pridobljen 3D model smo še prototipirali s 3D tiskalnikom in ga uporabili v animaciji.

3D objects capturing using photography for the animation and 3D printing

Keywords: *photogrammetry, 3D printing, animation, geometric modeling*
UDK: 528.74:070.32(043.2)

Abstract

In the diploma thesis we researched photogrammetry, animation in 3D printing. Photogrammetry is still an unknown process to majority of people. However, it is already used in many large companies in various fields, to some extent it is available to almost every individual. 3D printing has in the last decade also become a very popular hobby, while animation is appearing practically everywhere in the entertainment industry and advertising. The main goal of the diploma thesis is to create a close replica of the selected object with the help of photogrammetry. We will prototype the obtained 3D model with a 3D printer and also use it in animation.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	FOTOGRAMetriJA	4
2.1	Opis fotogrametrije	4
2.2	Principi fotogrametrije	5
2.3	Vrste fotogrametrije.....	5
2.4	Omejitve fotogrametrije.....	7
2.5	Uporaba fotogrametrije v praksi.....	7
2.6	Uporaba fotogrametrije za izdelavo modela	9
3	POPRAVKI ZAJETEGA OBJEKTA IN PRIPRAVA ZA ANIMACIJO	18
3.1	Kaj je animacija	18
3.2	Popravki 3D modela	19
3.3	Priprava animacije.....	25
4	PRIPRAVA OBJEKTA ZA 3D TISKANJE	27
4.1	Priprava za 3D tisk.....	30
5	REZULTATI	35
5.1	Ideja in načrt izvedbe	35
5.2	Ugotovitve in predlogi.....	35
6	ZAKLJUČEK.....	39
7	VIRI IN LITERATURA	40

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Izbran predmet za fotogrametrijo	10
Slika 2.2: Posnete fotografije 360° okoli predmeta.....	11
Slika 2.3: Delovni prostor z naloženimi fotografijami.....	12
Slika 2.4: Začetek postopka fotogrametrije – poravnava fotografij.....	13
Slika 2.5: Procesiranje poravnave fotografij	13
Slika 2.6: Poravnane fotografije	13
Slika 2.7: Spustni meni in nastavitve oblaka točk.....	14
Slika 2.8: Oblak točk	14
Slika 2.9: Spustni meni in nastavitve mreže.....	15
Slika 2.10: Tvorba mreže objekta	15
Slika 2.11: Spustni meni in nastavitve za izgradnjo teksture	16
Slika 2.12: Končni izgled 3D modela	16
Slika 3.1: Uvoz 3D modela v okolje Blender.....	20
Slika 3.2: Uvožen model, pridobljen s fotogrametrijo.....	21
Slika 3.3: Označeni nepotrebni deli, ki smo jih izbrisali.....	22
Slika 3.4: Izberemo odstranitev oglišč	22
Slika 3.5: Odstranjeni glavni odvečni deli, model pa je še potreben obdelave	23
Slika 3.6: Orodna vrstica	23
Slika 3.7: Orodja za glajenje in sploščitev	24
Slika 3.8: Pred in po uporabi orodij za kiparstvo.....	24
Slika 3.9: Končen rezultat obdelave 3D modela.....	24
Slika 3.10: Pripravljena scena za animacijo.....	25
Slika 3.11: Posnetki iz končne animacije.....	26
Slika 4.1: 3D tiskalnik za stereolitografijo [24]	29
Slika 4.2: Glavni deli 3D tiskalnika s tehnologijo FDM	30
Slika 4.3: Z modifikatorjem smo izrazito zmanjšali število mnogokotnikov v objektu	31
Slika 4.4: Nastavitve za zapolnitev 3D objekta	32
Slika 4.5: 3D objekt razrezan na polovico	32
Slika 4.6: Obe polovici modela postavljeni na podlago in pripravljeni za tisk	33
Slika 4.7: Nastavitve 3D tiskalnika za optimalen rezultat	33
Slika 5.1: 3D model pridobljen s fotogrametrijo (levo) in originalna figura (desno).....	36
Slika 5.2: 3D natisnjen model (levo) in originalna figura (desno).....	37
Slika 5.3: Primerjava 3D natisnjenega modela (levo) in originalne figure (desno)	38

SEZNAM KRATIC

3D	tridimenzionalno
2D	dvodimenzionalno
CAD	računalniško podprto oblikovanje (ang. Computer Aided Design)
SLS	selektivno lasersko sintranje (ang. Selective Laser Sintering)
MJF	Multi Jet Fusion
EBM	taljenje z elektronskim žarkom (ang. Electron Beam Melting)
SLA	stereolitografija (ang. Stereolithography)
DLP	digitalni svetlobni proces (ang. Digital Light Processing)
FDM	modeliranje s spajanjem slojev (ang. Fused Deposition Modeling)
PLA	Poliaktična kislina (Polyactic Acid)

1 UVOD

Fotogrametrija že stoletja igra ključno vlogo za naše razumevanje oddaljenih predmetov in zemeljske površine. Njena uporaba pa se je skozi leta širila in privedla do velikega nabora tehnologij, ki spreminjajo igre, filme, gradbeništvo, inženiring, medicino in še veliko več [19].

Tehnologija fotogrametrije obstaja že zelo dolgo in je bila v zadnjem stoletju tudi pomemben del različnih raziskav. Če besedo razstavimo, si lažje razlagamo pojem, saj se "foto" nanaša na svetlobo, "gram" na risanje, "metrija" pa na meritve. Fotogrametrija torej uporablja fotografije za zbiranje meritev, s katerimi lahko ustvarjamo zanesljive risbe in modele brez fizičnega stika. Glavni del fotogrametrije sestavlja skupek fotografij, katerih rezultat obdelave je zemljevid, risba, meritev ali 3-dimenzionalni model (v nadaljevanju 3D model) realnega fotografiranega predmeta ali okolja. Številni zemljevidi, ki jih danes uporabljamo, so že ustvarjeni s fotogrametrijo in fotografijami, posnetimi z letala. Poznamo več vrst fotogrametrije. Najširše jo lahko opredelimo kot zračno fotogrametrijo, s katero zajemamo predvsem okolje, in fotogrametrijo od blizu, s katero zajemamo manjše predmete [20]. V diplomski nalogi želimo raziskati, kako se danes uporablja fotogrametrija in poiskati dobre prakse za pridobitev željenih rezultatov. Izpostavili bomo tudi probleme, ki lahko nastanejo med delom in ponudili rešitve, kako jih odpraviti. Ugotoviti želimo tudi, na kakšen način se lahko fotogrametrija uporabi v animaciji in 3D tiskanju, ki sta danes zelo popularna tako v amaterskem kot tudi profesionalnem svetu. V empiričnem delu diplomske naloge bomo prej raziskane dobre prakse uporabili za izdelavo lastnega 3D objekta, ki ga bomo kasneje tudi pripravili za animacijo in 3D tiskanje.

Cilji, ki jih želimo doseči v diplomskem delu, so:

- definirati, kaj je fotogrametrija in kako deluje,
- opredeliti animacijo in 3D tiskanje,
- raziskati, na kakšen način lahko fotogrametrijo uporabimo za potrebe animacije in 3D tiskanja,
- s pomočjo programa ustvariti 3D model iz skupka fotografij,

- 3D model pripraviti za učinkovito uporabo v animaciji in 3D tiskanju,
- analizirati rezultate in narediti diskusijo.

Pri tem se postavlja hipoteza, da je lahko fotogrametrija ob upoštevanju dobrih praks uspešen način pretvorbe fotografij v 3D model za nadaljnjo uporabo.

Diplomska naloga je sestavljena iz teoretičnega in praktičnega dela. V teoretičnem delu smo preučili literaturo in opisali splošne pojme, ki so povezani s tematiko naše diplomske naloge. Raziskali smo, kako fotogrametrija deluje in kakšne so omejitve in zahteve. Predstavili smo še primere vsakdanje uporabe. Raziskali in opisali smo tudi 3D tiskanje in animacijo. V praktičnem delu smo uporabili fotoaparati in programe Agisoft Metashape, Blender, Autodesk Meshmixer in Creality slicer. Agisoft Metashape je plačljiv program, s katerim procesiramo digitalne fotografije in jih s prilagajanjem nastavitvev pretvorimo v željene 3D prostorske podatke [4]. Blender je brezplačni odprtokodni program za ustvarjanje 3D modelov in animacij. S pomočjo tega programa dobljen 3D model pripravimo za nadaljnjo uporabo in ga animiramo [18]. Autodesk Meshmixer je brezplačen program, ki omogoča popravke in pripravo 3D modela za 3D tiskanje [5]. Creality slicer je brezplačen program za pretvorbo nastalega modela v ukaze razumljive 3D tiskalniku. Z njim nastavimo željene parametre in 3D model za tiskanje [1]. V teoretičnem delu pa smo aplicirali teorijo in s pomočjo fotogrametrije izdelali 3D objekt. Tega smo nato popravili in ga pripravili za nadaljnjo uporabo v kratki animaciji in 3D tisku.

V drugem poglavju smo predstavili pojem fotogrametrije in kako deluje. Opisali smo njene principe in omejitve. Predstavljeni so tudi načini uporabe fotogrametrije v različnih panogah. Na koncu poglavja je opisan še proces izdelave fotogrametričnega izdelka in prikazan v praksi.

V tretjem poglavju je definirana animacija. S pomočjo praktičnega primera je prikazan proces popravka fotogrametričnega izdelka v programu Blender. Opisana je tudi izdelava kratke animacije s pridobljenim 3D modelom.

V četrtem poglavju je opisano 3D tiskanje. Predstavili smo vrste 3D tiskanja in s praktičnim primerom prikazali kako pripraviti 3D model za uspešno tiskanje.

Peto poglavje zajema predstavitev končnih rezultatov in ugotovitev. Prikazan je končni 3D model, pridobljen s fotogrametrijo v primerjavi z originalno figuro.

V zadnjem poglavju smo napisali zaključek diplomske naloge.

2 FOTOGRAMetriJA

2.1 Opis fotogrametrije

Poznamo več različnih procesov fotogrametrije, a v splošnem govorimo o znanosti pridobivanja zanesljivih informacij o lastnosti površin in predmetov brez fizičnega stika ali merjenja le-teh. [20]

Pridobivanje podatkov pri fotogrametriji je hitro in ga je mogoče enostavno vključiti v standardni potek snemanja. Vse kar je potrebno za začetek, je le kamera, ki fotografira objekt iz veliko zornih kotov. Za nadaljevanje je potrebno imeti še programsko opremo in dovolj močan računalnik. Ko se fotografije prenesejo v programsko opremo, nas ta sama vodi skozi potek nastanka modela. Mi pa lahko pri tem nastavljamo želene parametre. Sam proces lahko sicer traja dlje, odvisno od velikosti fotografiranega objekta in izračunanih točk. V razvoju fotogrametrije skozi leta se lahko poudarijo štiri pomembni razvojni cikli. Ravninska fotogrametrija mize leta 1850, analogna fotogrametrija leta 1900, analitična fotogrametrija leta 1960 in digitalna fotogrametrija, ki je zmeraj bolj prisotna v zadnjem stoletju. [2] Fotogrametrija ravninske mize (ang. Plane table photogrammetry) je sestavljena iz fotografiranja območja na dveh ali treh različnih postajah. Fotografski pravokotniki so lahko usmerjeni pod katerim koli kotom na podlago. Težava se pojavi pri identifikaciji slikovnih točk na paru fotografij. V primeru homogenih površin peska ali trave, identifikacija postane nemogoča in tako manj uporabna od novejših načinov. [2]

Analogna fotogrametrija je veja fotogrametrije, ki vključuje vse metode in tehnike za pridobivanje informacij iz analognih fotografij, ki temeljijo na mehanskih in optičnih metodah ali njihovih kombinacij [2].

Analitična fotogrametrija temelji na rekonstrukciji položaja analogne kamere med letom letala. Ta rekonstrukcija se ne izvaja mehansko ampak matematično s pomočjo računalnikov.

Digitalna fotogrametrija prav tako uporablja matematične principe kot analitična. Razlikuje pa se v tem, da uporablja digitalne fotografije. Te lahko pridobimo s skeniranjem analognim fotografij ali pa z uporabo digitalne kamere [2].

2.2 Principi fotogrametrije

Postopek fotogrametrije je lahko zapleten, vendar zmeraj deluje na konceptu triangulacije. Triangulacijo dobimo s fotografiranjem z najmanj dveh različnih lokacij. Računalnik na podlagi informacij s fotografij določi lokacije teh fotografij v 3D prostoru. Lokacije teh fotografij računalnik uporabi v matematičnih izračunih, ki pomagajo ustvariti 3D koordinate določenih točk. Primerjamo jo lahko s tem, kako naše oči delujejo in ustvarjajo globino. O globinskem zaznavanju govorimo takrat, ko vidimo predmet iz nekoliko drugačnih kotov v vsakem očesu. Naši možgani obe podobi obdelajo pretvorijo v eno sliko [3].

Triangulacija se danes uporablja na najrazličnejših področjih, od kmetijstva do uporabe v vojaške namene, pogosto pa je povezana z geodetskim popisom. Geodeti namreč s pomočjo triangulacije pridobijo lokacijo točke s pomočjo izračuna kotov. Triangulacijske mreže pri geodetskem sistemu tako povečajo natančnost.

Vsi fotogrametrijski modeli imajo nekatere skupne ključne lastnosti. Prva so vezne točke – to so koordinate, ki jih je mogoče povezati med več prekrivajočimi se slikami. Običajno gre za podobe, ki so prisotne na obeh ali vseh naših fotografijah. Vezne točke pomagajo fotografijam pri poravnavi. Druga lastnost so zemeljske nadzorne točke, ki pomagajo usmeriti sliko glede na zemeljsko površje. Uporabljajo se znane koordinate za postavitve slike v resnični svet. Tretja lastnost pa prilagajanje in odstranjevanje vseh popačenj znotraj nabora slik. S tem zmanjšamo napake iz resničnih in predvidenih slikovnih točk.

Fotogrametrija na podlagi več slik istega objekta pridobiva podatke o predmetu z analizo spremembe položaja v množici fotografij. Za uspešen rezultat uporablja parametre, kot so perspektiva, barve in podobnosti med fotografijami. Za to je potrebna napredna programska oprema za obdelavo in analizo fotografij [3].

2.3 Vrste fotogrametrije

Kot že omenjeno, je skozi leta razvoja nastalo mnogo različnih vrst fotogrametrije. Lahko jo razvrstimo glede na lokacijo kamere ali na vrsto zbranih podatkov.

Glede na lokacijo kamere jo ločimo na dve skupini: zračno fotogrametrijo ter kopensko ali bližnjo fotogrametrijo. Pri zračni fotogrametriji je kamera nameščena na letalu, ki lahko posname veliko fotografij območja iz različnih kotov. V ta namen je za doseganje vrhunskih slik uporabljena fotogrametrična kamera z visoko natančnostjo. Občasno so lahko uporabljene tudi satelitske slike. Model zračne fotogrametrije se uporablja za geografske preglede, študije zemljišč in tal, strukturno načrtovanje za izboljšanje mest, koordinacije, vojaško rabo in podobno.

Pri kopenski ali bližnji fotogrametriji je motiv oddaljen manj kot 1000 metrov od kamere. V tem postopku je kamera ročna ali nameščena na stojalo. Fotoaparati so na tleh oz. površini, posnete fotografije pa niso topografske narave. Za to vrsto fotogrametrije ni potreben poseben fotoaparat. Standardno kamero ali celo telefonsko kamero lahko uporabimo za prikaz gradbenih konstrukcij, naklonov, skal, rudnikov ali katerikoli manjših predmetov. Že kamera pametnega telefona z vsaj 8 milijoni slikovnih točk bo prinesla sprejemljive rezultate, za visoko natančnost pa je najbolje uporabiti DSLR kamero z vsaj 18 milijoni slikovnih točk. Najbolje je uporabiti širokokotno kamero, saj ima najmanjše popačenje leč. Fotografije fotografiramo v krogu okoli predmeta, najprej pod nizkim kotom, nato pa ponovimo še z višjimi. Cilj je zajeti vsaj 50% prekrivanja med vsako fotografijo.

Pri ločitvi glede na vrsto zbranih podatkov sta najpogostejši interpretativna in metrična fotogrametrija. Interpretativna fotogrametrija prepoznava objekte in zbira pomembne podatke na sliki s sistematično analizo. Z ocenjevanjem in analiziranjem zbira informacije in lastnosti predmeta iz fotografij. Ta vrsta fotogrametrije lahko vključuje tehnologije daljinskega zaznavanja. To pomeni, da podatke iz kamere na satelitih, letalih ali sonarnih sistemih na ladjah združuje z analizo fotografij.

V metrični fotogrametriji pa je cilj najti meritve. S fotografije lahko pridobimo določene podatke in meritve s pomočjo drugih informacij o prizorišču. Metrična fotogrametrija zajema tudi planimetrično in topografsko preslikavo. Planimetrično kartiranje se osredotoča na letala in vključuje elemente zunaj nadmorske višine, kot so ceste, reke in jezera. Topografskih značilnosti ne upošteva in se osredotoča le na geografske objekte. Topografsko kartiranje pa počne ravno nasprotno in razkriva obliko kopnega ter njegove višine in konture. Prikazuje

površino Zemlje v primerjavi z določeno referenčno točko, na primer gladino morja. Uporablja se lahko tudi za podvodne površine.

2.4 Omejitve fotogrametrije

Fotogrametrija je lahko uporabljena za izdelavo digitalnih 3D modelov za računalniške igre, animacijo in filme. Hkrati pa se uporablja tudi v medicinskih postopkih in ustvarjanju 3D zemljevidov v različne namene. Kljub številnim možnostim fotogrametrije, pa ima tudi ta nekaj omejitev. Eden izmed najpogostejših problemov se pojavi v svetlobi. V primeru premočne osvetljenosti se na objektu in okoli njega pojavijo sence. Pri izdelavi 3D modela se bo tako pojavila težava, saj bodo sence postale del modela, ali pa bodo povzročile napačne meritve. Objekt lahko tudi odbija svetlobo in prav tako negativno vpliva na končni rezultat. Seveda lahko probleme preosvetljenosti spregledamo, če ne potrebujemo izjemno natančnega rezultata. Z večjo težavo pa se srečamo v primeru, ko imamo na sceni premalo svetlobe. Fotogrametrija namreč ni mogoča pri odsotnosti svetlobe, saj so fotografije pretemne, nerazločne in nezmožne prikazati dovolj lastnosti za uporaben končni rezultat.

Fotogrametrije prav tako ni mogoče uporabiti za natančne meritve, če na območju obstajajo omejitve vidljivosti, na primer vremena, kot so padavine ali megla. Tudi v primeru, da v naravi vegetacija omejuje vidno polje kamere, velika natančnost merjenja ni mogoča. Velikokrat pride tudi do samo okluzije fotografiranega predmeta, kar pomeni, da ima skrite predele za katere je potrebno posneti dodatne fotografije.

2.5 Uporaba fotogrametrije v praksi

Zaradi napredka fotogrametrijske tehnologije, se danes ta pogosto pojavlja že v mnogih panogah. Razna podjetja si s tem olajšajo vsakodnevno delo. Na velikih površinah si najpogosteje pomagajo z droni, ki uspešno zajamejo vse potrebno. Na manjših področjih (npr. v medicini) pa si pomagajo z zato namenjenimi napravami, ki delujejo na podoben način.

- Kartografija

Kartografija je proces ustvarjanja zemljevida s pomočjo fotogrametrije zračnih posnetkov območja. Pridobljene 3D rezultate lahko nato uporabijo v geodeziji, inženiringu, načrtovanju nepremičnin in podobno. Fotogrametrija se v te namene danes uporablja že zelo pogosto, saj zmanjša nepredvidljivosti na delovnem mestu, hkrati pa ustvari uporabne zemljevide brez veliko človeškega truda. Priprava takšnih zemljevidov je lahko zelo uporabna tudi v vojski. S pomočjo natančnih geoloških lokacij modela lahko bolje razumejo območje na katerem delujejo. Kartografija nepremičnin je zelo zaželeno za prodajo, saj omogoča kupcem popolni 3D pregled stanovanja kar iz svojega pametnega telefona. [6]

- Medicina

Tudi v medicini se občasno že uporablja fotogrametrija v namen diagnosticiranja brez invazivnih postopkov. S pomočjo fotogrametrije lahko s fotografijami pridobimo 3D model ali načrt dela telesa. Z ustvarjenega modela lahko nato dobimo natančne meritve potrebne za kirurgijo, protetiko, mavčenje in podobno. [7] V Sloveniji med drugim fotogrametrijo uporabljajo v ortodontskih ambulantah za izdelavo načrta zobnega aparata.

- Forenzika

V forenzičnih preiskavah se fotogrametrija pogosto uporablja za natančno 3D rekonstrukcijo nesreče ali prizorišča zločina. Poleg zelo pomembnih meritev, ki jih pri tem lahko pridobimo, se lahko ta model uporabi tudi kot način arhiviranja informacij. Velikokrat se namreč zgodi, da se ključne meritve ali informacije skozi leta izgubijo in se tako lahko primer razplete popolnoma drugače. [8]

- Arheologija

Že vrsto let se fotogrametrija uporablja tudi v arheologiji. Je zelo zaželena, saj je popolnoma brezkontaktna in ni invazivna do krhkih artefaktov. Z njo lahko pridobimo vrsto rezultatov, kot so 3D modeli najdb, meritve artefaktov in dokumentacije mesta izkopavanja. Za visokokakovostne rezultate je žal potrebno investirati večje količine denarja za dobro opremo, vendar so že slabši rezultati

boljši kot da jih ni. 3D modeli artefaktov omogočajo replikacijo v primeru, da se ta uniči in tako ponuja boljše obnovitvene možnosti za prihodnost. [9]

- Šport

Uporablja se lahko tudi v športu za izboljšanje ekipne igre. S pomočjo bližnje fotogrametrije si ekipe pomagajo pri analiziranju posameznih gibanj telesa in orientacije. Na podlagi tega lahko popravijo morebitne napake v svoji igri. Prav tako pa je fotogrametrija lahko zelo uporabna za športe kot na primer plezanje, kjer si lahko s pomočjo topografskega zemljevida predvidimo, kako bo naša pot izgledala in morebitne ovire. [10]

- Kmetijstvo

Z zračno fotogrametrijo si lahko pomagamo tudi na različnih področjih v kmetijstvu. Kmetje si lahko s tem pomagajo pri načrtovanju zalivanja ter gnojenja in nadzoru morebitnih poškodb na pridelkih. Modeli pridobljeni s fotogrametrijo lahko prav tako pokažejo volumen krošenj ali lesa, ki je pokazatelj zdravja dreves. [11]

- Filmi in zabava

V diplomski nalogi se bomo osredotočili predvsem na uporabo fotogrametrije na tem zmeraj razvijajočem se področju. Širša javnost se tega verjetno ne zaveda, vendar lahko fotogrametrijo danes zasledimo že v mnogih velikih filmskih naslovih, video igrah in drugod v zabavni industriji. V scenah lahko prikažejo realistične 3D zemljevide ali modele v virtualnem svetu. Lahko pa fotogrametrijo uporabijo tudi za ustvarjanje posebnih učinkov v scenah posnetih za filme. S tem so skozi leta razvijali, izboljševali in širili možnosti v zabavni industriji. [12].

2.6 Uporaba fotogrametrije za izdelavo modela

Za dobre končne rezultate smo morali najprej izbrati primeren objekt in okolje za fotografiranje. Izbrati smo želeli prepoznavno figuro, ki je raznolika in vsebuje manjše podrobnosti. Pred tem smo poskusili že z nekaj drugimi objekti in spoznali nekaj ključnih

lastnosti, ki jih mora vsebovati objekt za dobre fotogrametrične rezultate. Najbolje je, da se izognemo prozornim ali svetlečim objektom, saj bomo najverjetneje med procesom fotogrametrije naleteli na težave pri grajenju 3D objekta. Prav tako je bolje izbrati objekt, ki ni preveč enobarven ali enak iz vseh strani, saj program ne bo znal razbrati pozicije kamere. V ta namen smo izbrali objekt, ki se razlikuje na vsaki strani, ima več barv in se ne sveti. Vsebuje tudi manjše podrobnosti po katerih se lahko računalnik orientira, mi pa lahko z njimi lažje primerjamo kakovost 3D modela z originalno figuro. Edini problem, ki bi lahko nastal, je bila rahlo samozakrivanje, vendar na srečo ni prišlo do nepopravljivih odstopanj. Izbrana figura se imenuje D-O iz filma Star Wars, vidimo jo lahko na sliki 2.1.

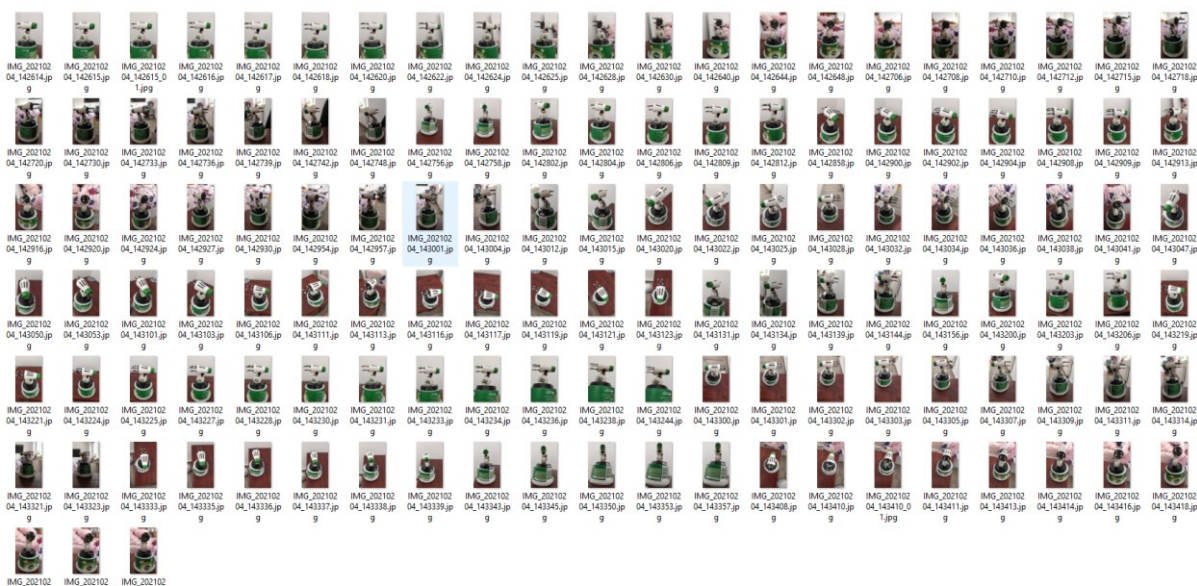
Naslednji izziv je bilo pripraviti primerno okolje za fotografiranje. Pri fotografiranju za fotogrametrijo je izredno pomembna čim večja odsotnost senc [21]. Objekt smo zato postavili na nočno omarico v senčnem delu dobro osvetljene sobe. Tako smo lahko okrog objekta hodili nemoteno in ga fotografirali iz vseh kotov. Da ne bi prišlo do napak v procesiranju, smo objekt postavili še na skutin lonček, ki se je iz različnih kotov razlikoval. Tako je fotogrametrijski program kasneje imel še eno lastnost več, po kateri se je lahko orientiral in poravnal kamere.



Slika 2.1: Izbran predmet za fotogrametrijo

Fotografirali smo vrsto prekrivajočih se fotografij izbranega predmeta. Pri tem je bila uporabljena kamera pametnega telefona z 10 milijoni slikovnih točk. Fotografije so bile posnete v popolnem krogu okoli figure in pod različnimi koti. Kot lahko vidimo na sliki 2.2 je bilo posnetih 129 fotografij, med katerimi so bile tudi dodatne fotografije območij s

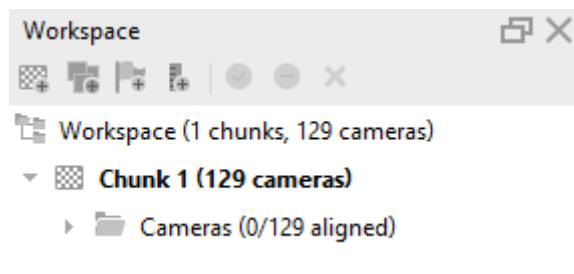
pomembnimi podrobnostmi. Dokaj dobre rezultate bi lahko dobili tudi z manj fotografijami, vendar smo se odločili uporabiti več fotografij za večjo natančnost pri podrobnostih v teksturi.



Slika 2.2: Posnete fotografije 360° okoli predmeta

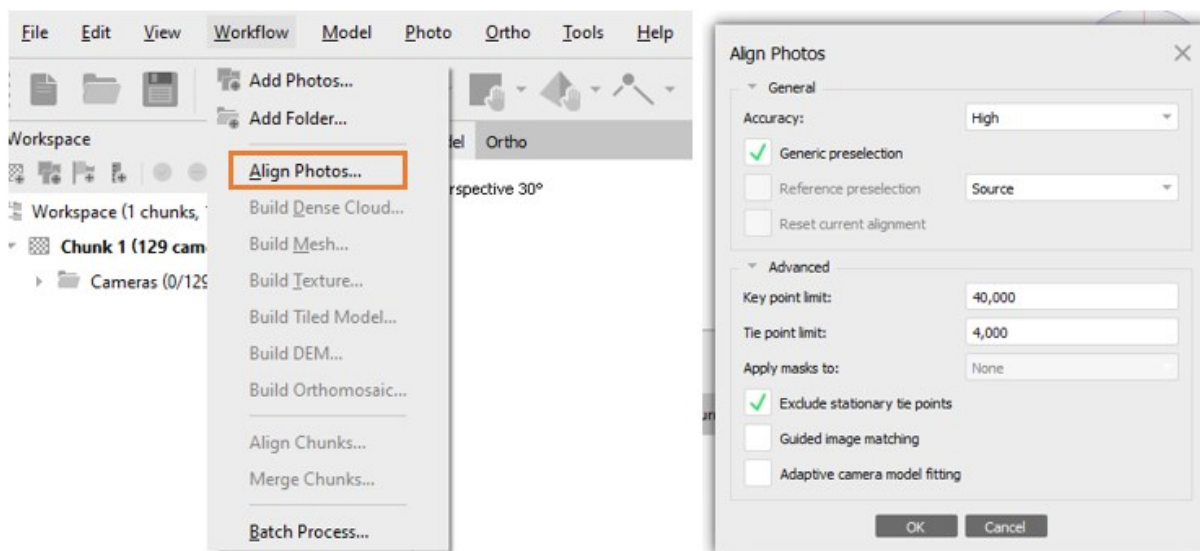
Posnete fotografije smo vstavili v program Agisoft Metashape. To je programska oprema, s katero opravimo fotogrametrijski proces [4]. S pomočjo tega programa je bilo ustvarjenih nekaj zelo znanih filmov, kot so Chappie ali Mad Max: Fury Road in videoiger, kot so Cyberpunk 2077, Star Wars Battlefront ter Halo 4. Poleg plačljive oblike je na voljo tudi v brezplačni standardni verziji, ki ponuja vsa potrebna orodja za potrebe naše diplomske naloge. Poleg Agisoft Metashape poznamo še veliko drugih programov za fotogrametrijo, tudi nekaj popolnoma brezplačnih. Nekateri izmed primerov drugih programov so Meshroom (brezplačen), Autodesk ReCap (mesečna ali letna naročnina) in MicMac (brezplačen). Razlikujejo se predvsem po formatu v katerem je končni izdelek in operacijskem sistemu na katerem lahko delujejo. Meshroom [27] je primeren predvsem za začetnike, medtem ko je Agisoft Metashape [4] primeren tudi za profesionalno uporabo. MicMac [28] se od njiju razlikuje po tem, da je namenjen le profesionalni in akademski uporabi, saj je ustvarjen za ohranjanje kulturne dediščine. Vsi trije programi delujejo v formatu kompatibilnem z modelirnim programom Blender. Za Agisoft Metashape smo se odločili predvsem zaradi predhodnih izkušenj in razpoložljivosti programa. V nadaljevanju bomo opisali osnovna orodja, ki smo jih uporabili za ustvarjanje končnega 3D modela.

Programska oprema omogoča, da fotografije preprosto povlečemo in spustimo v delovni prostor programa. Tam se nato ustvari mapa z vsemi fotografijami. Vsaka fotografija postane svoja kamera, saj je posneta iz unikatne lokacije.

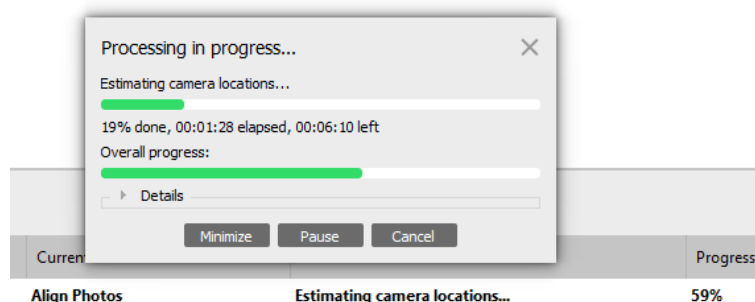


Slika 2.3: Delovni prostor z naloženimi fotografijami

Na sliki 2.3 vidimo orodno vrstico programa. Orodna vrstica vsebuje veliko različnih zavihkov, ki pa v našem primeru niso bili poglobitveni. V zavihku Potek dela (ang. Workflow) lahko sprva naložimo fotografije, nato pa nas ta vodi skozi celoten proces izdelave 3D modela. Proces fotogrametrije se prične s poravnavo fotografij. Na sliki 2.4 lahko vidimo možnosti nastavitve za poravnavo, od splošne natančnosti modela pa vse do bolj podrobnih nastavitve največjega števila točk. Ko prilagodimo zelene nastavitve, jih potrdimo z gumbom "Ok" in počakamo. Proces poravnave lahko traja dlje časa, saj mora program ugotoviti natančne lokacije vsake kamere (slika 2.5).

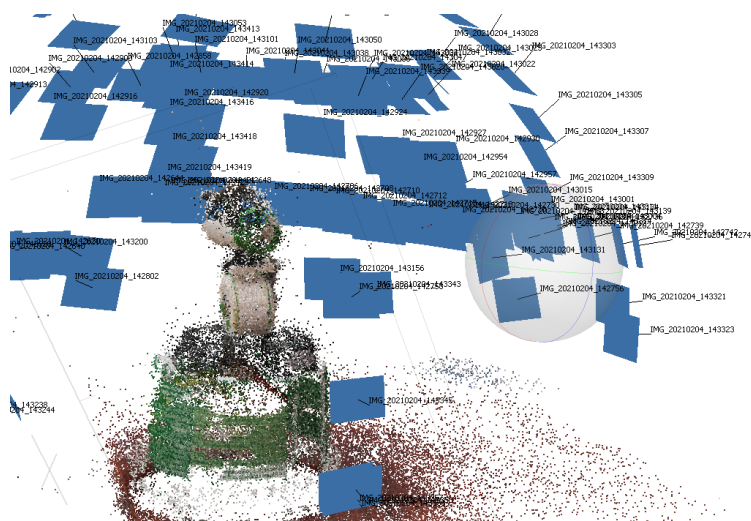


Slika 2.4: Začetek postopka fotogrametrije – poravnava fotografij



Slika 2.5: Procesiranje poravnave fotografij

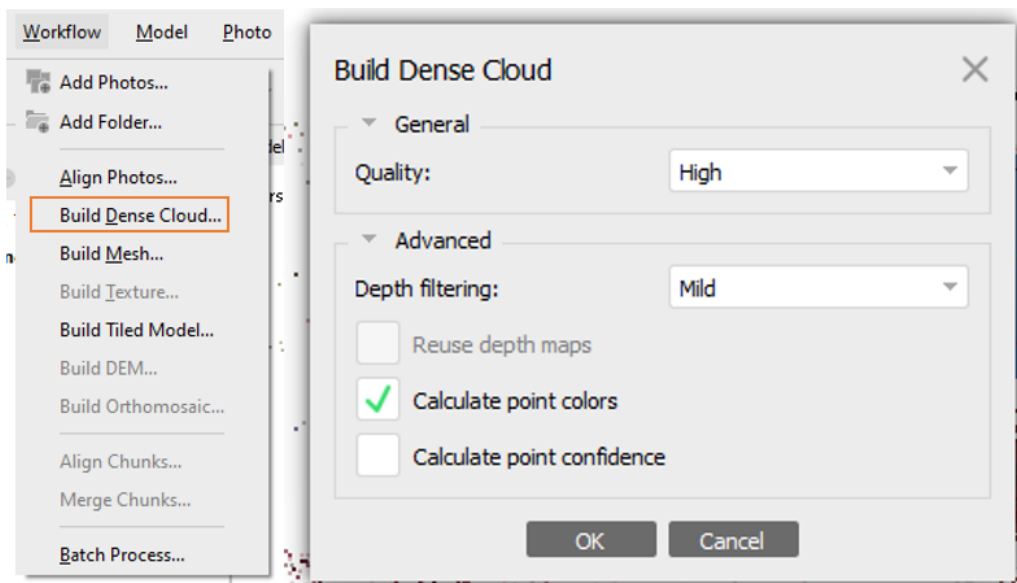
Na sliki 2.6 je rezultat poravnave fotografij. Iz posnetka zaslona lahko razberemo, da vsak moder pravokotnik prikazuje eno kamero, oziroma eno fotografijo. Ključ uspešne fotogrametrije je pokriti čim večjo površino okrog samega modela [21].



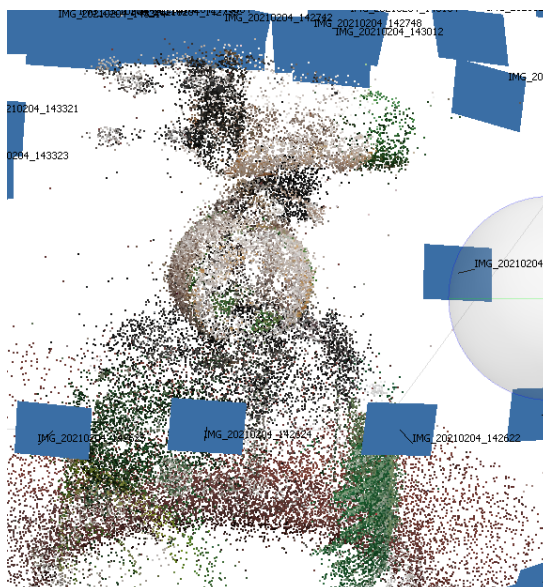
Slika 2.6: Poravnane fotografije

Naslednji korak je izgradnja gostega oblaka točk (ang. Dense Point Cloud), ki ga izberemo iz spustnega menija na sliki 2.7. To se nanaša na število točk zbranih na enoto površine. Te točke so bile izračunane na podlagi presekov fotografij in kasneje v 3D modelu delujejo kot slikovne pike. Zaradi velikega števila točk lahko proces izgradnje gostega oblaka na večjih modelih traja tudi več dni. V našem primeru je model manjši, za hitrejše delovanje pa smo v nastavitvah

prilagodili na srednjo raven kvalitete. Višja kot je kvaliteta, več bo izračunanih točk in bo tako posledično trajalo dlje.



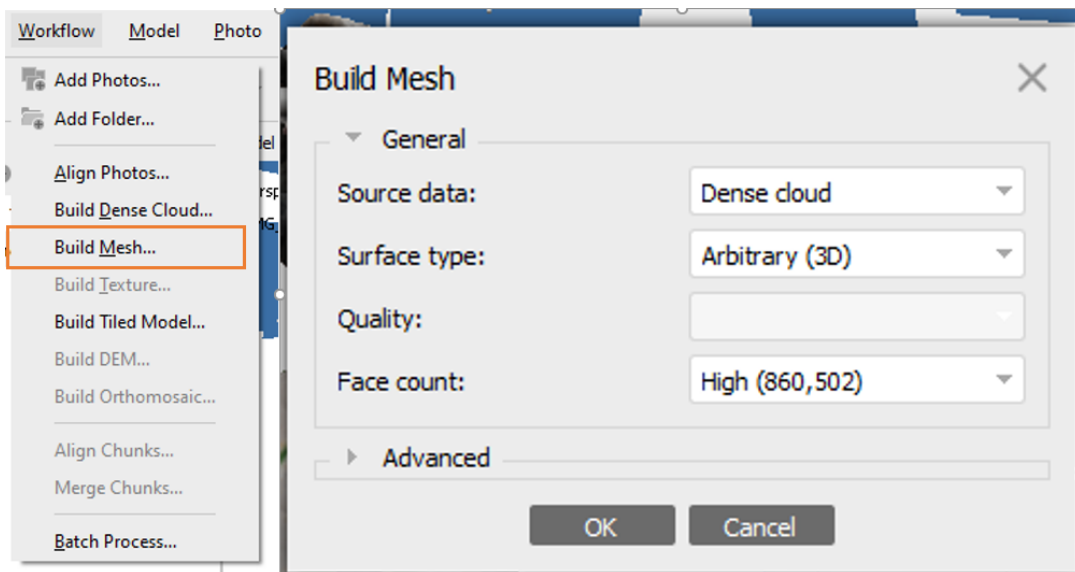
Slika 2.7: Spustni meni in nastavitve oblaka točk



Slika 2.8: Oblak točk

Točke od daleč delujejo povezano, vendar ob približanju opazimo, da temu ni tako (glej sliko 2.8). Za uporabo v animaciji in 3D tisku je pomembno, da imamo koherenten model. Zato je potrebno ustvariti mrežo (ang. Mesh), glej sliko 2.9. Ta postopek poveže tri sosednje točke v

trikotno ploskev. Te ploskve pa se povežejo in tvorijo mrežo površine našega modela (glej sliko 2.10).

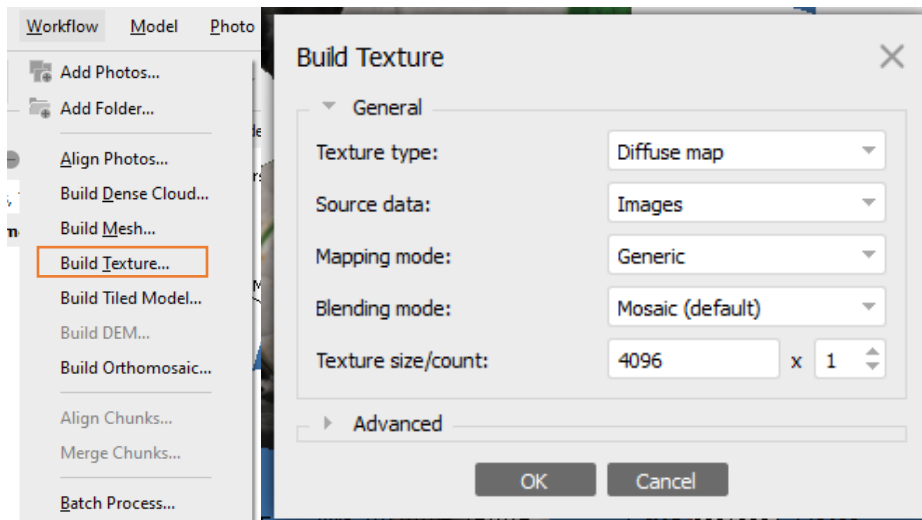


Slika 2.9: Spustni meni in nastavitve mreže

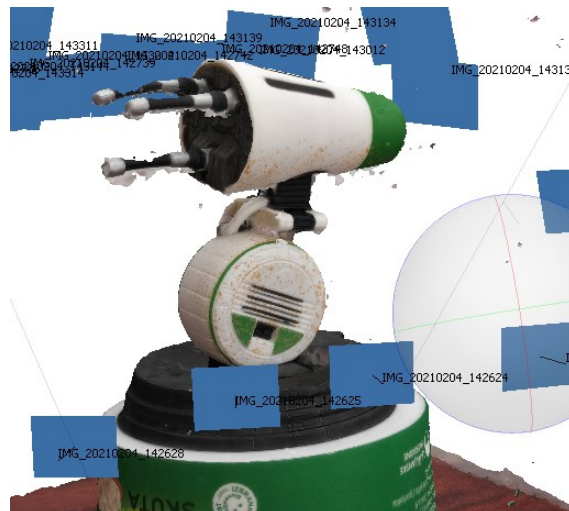


Slika 2.10: Tvorba mreže objekta

Izgradnja teksture je zadnji in zelo pomemben del, ko želimo ustvariti 3D model za nadaljnjo uporabo v animaciji. Ta del uporabi začetne fotografije, da za naš model ustvari fotorealistično teksturo. V nastavitvah lahko prilagodimo, koliko podrobnosti želimo imeti na končnem izdelku (glej sliko 2.11). Ta del procesiranja je po navadi najhitrejši, saj več ni potrebna izgradnja velikega števila točk.



Slika 2.11: Spustni meni in nastavitve za izgradnjo teksture



Slika 2.12: Končni izgled 3D modela

Na koncu smo pridobljeni 3D model na sliki 2.12 še izvozili kot datoteko tipa .obj. Pri tem smo pazili, da smo izbrali tako točke modela, kot tudi teksturo. To vrsto datoteke smo izbrali, saj je lahko združljiva in prenosljiva v program za nadaljnjo obdelavo.

Ko smo dobili zadovoljiv 3D model, smo ga prenesli v okolje Blender za 3D modeliranje in animiranje. To je odprtokodni brezplačni program, ki je na voljo komurkoli. Uporabljajo pa ga tudi že nekatera večja podjetja, kot tudi profesionalni animatorji in drugi umetniki. Z njim

lahko ustvarimo vse od 3D vizualiziranih slik, do animacij in video produkcije. Uporabljamo ga lahko na vseh platformah, Windows, Linux in macOS, saj se med drugim ponaša z razmeroma nizkimi zahtevami pomnilnika v primerjavi z drugimi podobnimi programi. Zaradi svoje prilagodljivosti in variabilnosti je primeren tako za napredne, profesionalne projekte, kot tudi za popolne začetnike [13]. V nadaljevanju bomo opisali tudi proces uvoza in obdelave 3D modela v Blender.

3 POPRAVKI ZAJETEGA OBJEKTA IN PRIPRAVA ZA ANIMACIJO

3.1 Kaj je animacija

Beseda animacija v grobem pomenu iz latinščine govori o oživljanju predmetov ali karakterjev. Animiranje je umetnost ustvarjanja zanimivih likov v zgodbi, v katero se zlahka zatopimo. Poznamo več tipov animacije: tradicionalno, 2D animacijo, 3D animacijo, stop animacija (ang. stop-motion) in gibljivo grafiko.

O tradicionalni animaciji govorimo, kadar animatorji rišejo na več celuloidnih folij in jih sestavljajo skupaj v celoto. Eden izmed najbolj znanih tradicionalnih animatorjev je Walt Disney. Walt Disney Animation Studios še zmeraj pogosto inkorporira tradicionalno animacijo skupaj z bolj moderno računalniško. Postopek risanja in sestavljanja je zelo zamuden in drag, zato so umetniki skozi leta prešli bolj na druge načine. [15]

Stop-motion je animacija, ustvarjena z zaporednim fotografiranjem predmeta, ki se počasi premika skozi slike. Ta postopek je zelo dolgotrajen in zahteva veliko potrpljenja. Je podoben tradicionalni animaciji, s tem, da so uporabljeni pravi materiali in lutke. Te fotografije kasneje prenesemo na računalnik in jih združimo v animacijo. [16]

2D animacija lahko prav tako pomeni tradicionalno animacijo, vendar danes govori bolj o vektorski računalniški animaciji. Uporablja enake načine kot tradicionalna animacija, vendar zanjo ni potrebnih toliko resursov, saj se vse ustvarja digitalno. Njena izdelava je tudi hitrejša od tradicionalne, saj namesto risanja vsake sličice uporablja računalniško interpolacijo (samodejno računanje vmesnih vrednosti). [14]

Tudi 3D animacija spada pod računalniško animacijo, a deluje popolnoma drugače. Pri tej vrsti animiranja risarjeve sposobnosti niso toliko pomembne, kot pa so pomembne sposobnosti 3D modeliranja in premikanje tega modela. Poznati je potrebno animacijski program, da ga lahko po vseh možnostih uporabimo za čim boljše animacije. Kljub temu, da je veliko stvari že avtomatiziranih pa je vseeno lahko zelo časovno in računsko zahtevna, saj se daljša in zahtevnejša animacija lahko upodablja (ang. Render) zelo dolgo. [14]

Gibljava grafika (ang. Motion graphics) se razlikuje od drugih vrst animacije. Uporabljamo jo med drugim v komercialne namene kot so reklame, animirani logotipi ali animirani teksti. [16] Je digitalna animacija, katere namen je privabiti kupce ali gledalce.

3.2 Popravki 3D modela

Principi in načela računalniške 3D animacije so enaki tistim pri tradicionalni. Animacija mora biti atraktivna in zapomnljiva ter mora povedati zgodbo. 3-dimenzionalna animacija pa se seveda razlikuje po tem, da je okolje in karakterje zgodbe potrebno postaviti na drugačen način. Objekti, karakterji in celotna scena so namreč v 3D prostoru. Če pridobimo naš model s fotogrametrijo je tega seveda pred uporabo potrebno pripraviti. Objekt bo namreč najverjetneje imel dodane odvečne dele okolice ali pa bo zaradi pomanjkanja informacij na katerem delu celo potreben popravkov. To je po navadi na srečo preprosto rešiti kar v animacijskem okolju, v našem primeru, programu Blender. V oknu za urejanje izbrišemo odvečno geometrijo, morebitne popravke modela pa lahko najlažje naredimo z digitalnim kiparjenjem.

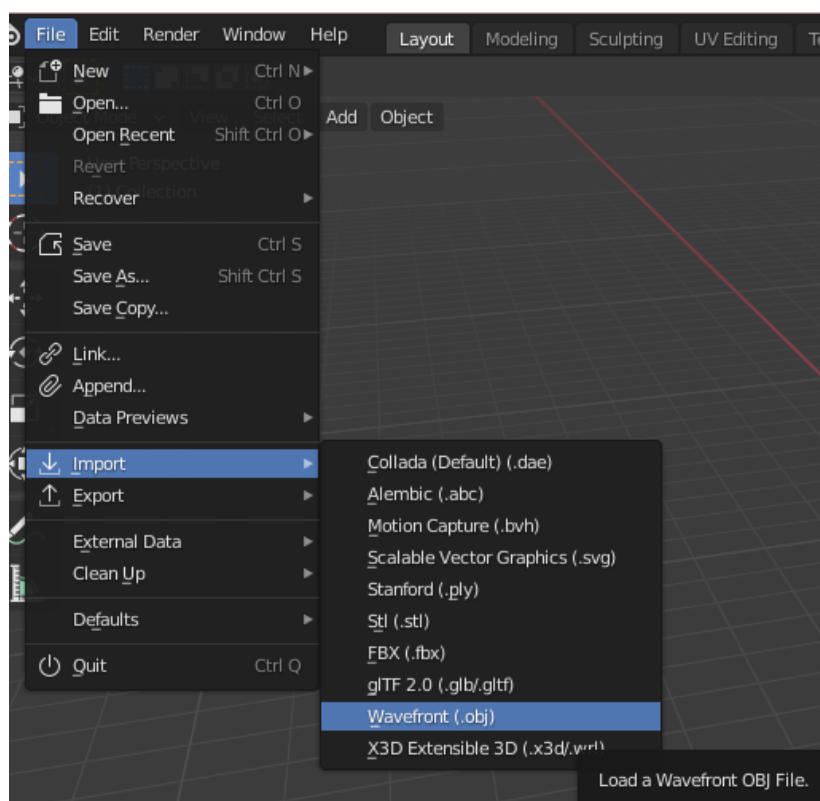
Ko smo zadovoljni z našim objektom, je čas za pripravo scene. Glede na potrebe animacije bo morda potrebno dodati še kakšne objekte za ozadje ali zgodbo, v našem primeru pa bomo uporabili le preprosto enobarvno ozadje. Ena izmed poglavitnih delov scene je osvetljenost. S svetlobo lahko pričramo vzdušje naše animacije, hkrati pa je seveda pomembna za dobro vidljivost celote. Na sceni je po navadi več svetlobnih virov, da dosežemo željen učinek.

Animacija seveda potrebuje tudi kamero, ki bo vse zajela. V našem okolju je potrebno postaviti kamero ter nastaviti željene nastavitve, ki so podobne tem na pravi kameri. Kamera je lahko statična ali pa se premika po sceni, možna je tudi kombinacija z več kamerami. Količina, postavitev in premiki kamere se seveda razlikujejo glede na potrebe animacije. V našem primeru bo kamera statična.

Izgradnja kontrolnega skeleta z utežmi (ang. Rigging in weights) je prav tako eden izmed zelo pomembnih delov animacije, v kateri se bo subjekt premikal. Skelet je v večini primerov uporabljen predvsem za živa bitja, v našem primeru pa ta ne bo potreben.

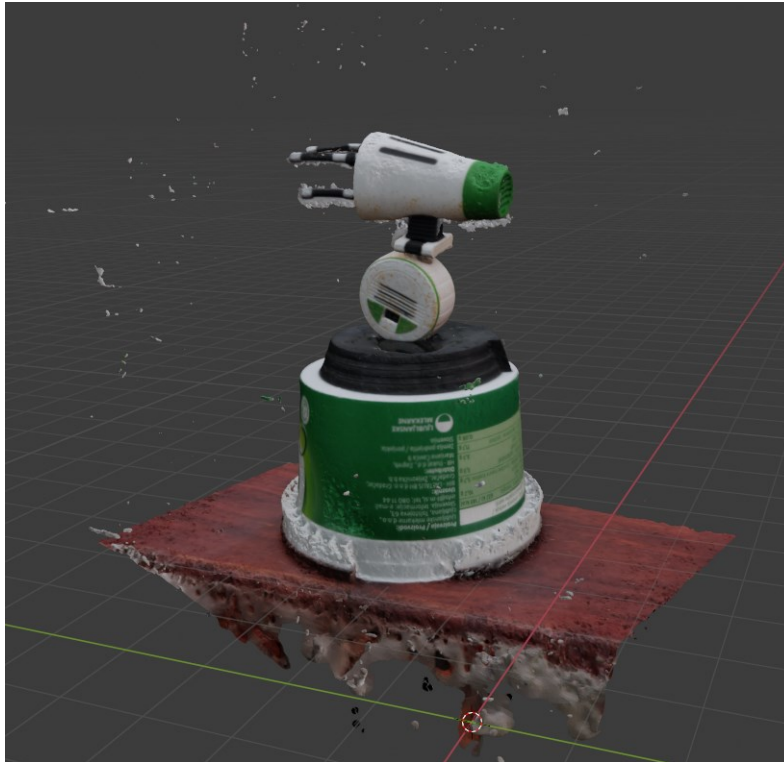
Ko imamo pripravljene vse elemente, lahko pričnemo z animacijo. Ta sestoji predvsem s premikanjem objektov in definiranjem ključnih sličic (ang. Keyframes). Ključne sličice so označevalci časa, ki shranjujejo vrednosti objekta. S tem je omogočena interpolirana animacija, ki avtomatično določi pravilen položaj med dvema sličicama in tako olajša animiranje. [18]

Najprej smo model uvozili v Blender tako, da smo v orodni vrstici izbrali uvoz .obj datoteke (glej sliko 3.1) in poiskali naš model.



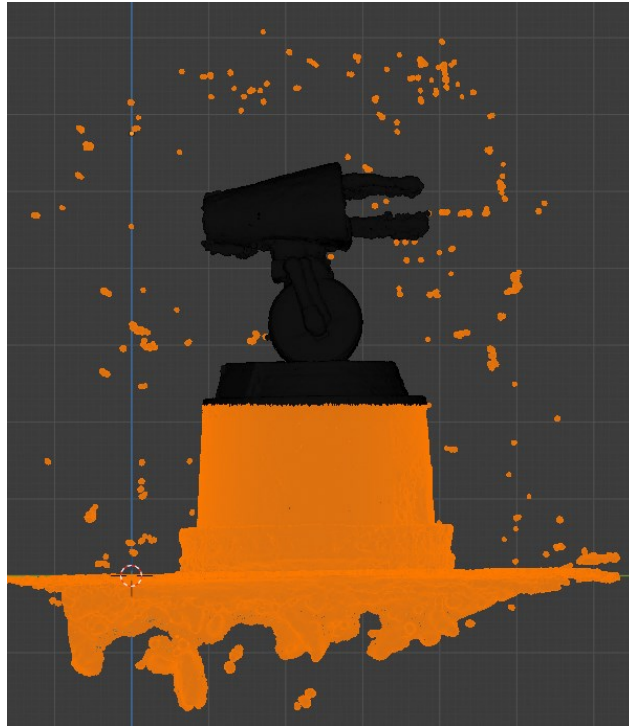
Slika 3.1: Uvoz 3D modela v okolje Blender

Ob uvozu so takoj vidni deli, ki so za naš model odvečni in potrebni odstranitve (glej sliko 3.2).

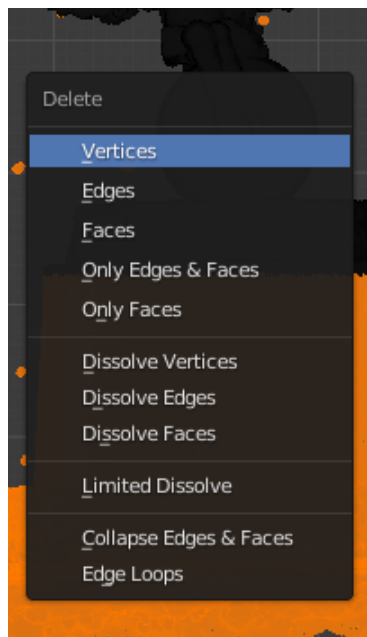


Slika 3.2: Uvožen model, pridobljen s fotogrametrijo

Za najlažjo odstranitev odvečne geometrije smo se premaknili v urejevalni način (ang. Edit mode) s privzeto bližnjico na tabulatorju na tipkovnici. S privzeto bližnjico na tipki C smo v urejevalnem načinu pričeli označevati dele, ki so bili nepotrebni. Na sliki 3.3 se vidijo z oranžno označeni deli, pripravljeni na izbris. Za natančno in hitro označevanje lahko kontroliramo velikost polja izbiranja s kolesčkom na računalniški miški. Ko imamo izbrano vse željeno, pritisnemo tipko X, ki je bližnjica za brisanje. Izberemo izbris oglišč (ang. Vertices), kot lahko vidimo na sliki 3.4. S tem bomo natančno izbrisali vse, kar smo izbrali brez kakršnih ostankov.



Slika 3.3: Označeni nepotrebni deli, ki smo jih izbrisali



Slika 3.4: Izberemo odstranitev oglišč

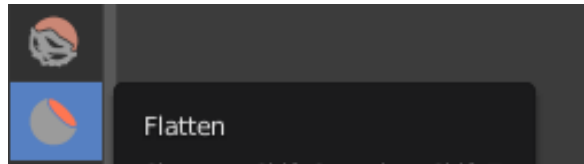


Slika 3.5: Odstranjeni glavni odvečni deli, model pa je še potreben obdelave

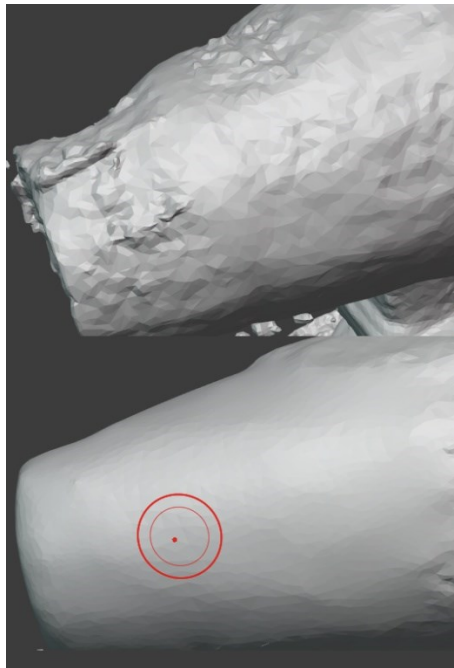
Na sliki 3.5 lahko vidimo, da je ta postopek uspešno odstranil velik odvečni delež, vendar 3D model še ni popoln. Zaradi pomanjkanja fotografije iz spodnjega dela originalnega modela, je v procesu fotogrametrije izdelek na tem mestu pridobil rahlo napačne informacije. Zaradi minimalnih napak je lažje, da se te odstranijo s pomočjo digitalnega kiparjenja, ki je na voljo v programu Blender. V orodni vrstici na sliki 3.6 smo izbrali digitalno kiparjenje (ang. Sculpting). Na sliki 3.7 lahko vidimo, da smo uporabili orodje za glajenje (ang. Smooth) in za sploščitev modela (ang. Flatten). Orodje za glajenje je eno izmed najbolj uporabljenih v digitalnem kiparjenju. Uporabljeno je namreč za glajenje neželenih gub ali tekstur. Lahko deluje le na majhnem delu objekta ali pa kot v našem primeru uporabimo kar po celotnem objektu. Izrastke, ki so nastali na spodnjem delu glave modela pa smo odstranili s pomočjo orodja za sploščitev. Ta zniža geometrijo, ki ni ravna in jo splošči na nivo preostalih sorodnih točk. Na sliki 3.8 lahko vidimo, kakšno drastično razliko ta orodja naredijo. Kljub spremembam pa se na končnem izdelku (slika 3.9) tekstura brez problemov ohrani.



Slika 3.6: Orodna vrstica



Slika 3.7: Orodja za glajenje in sploščitev



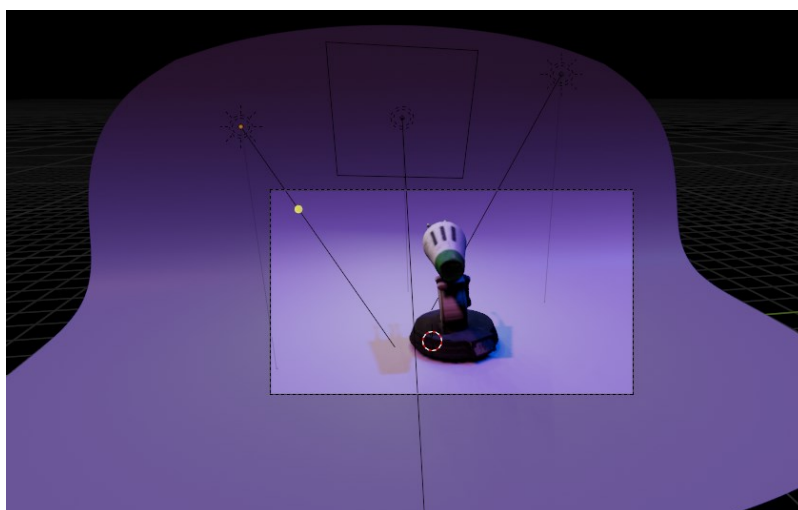
Slika 3.8: Pred in po uporabi orodij za kiparstvo



Slika 3.9: Končen rezultat obdelave 3D modela

3.3 Priprava animacije

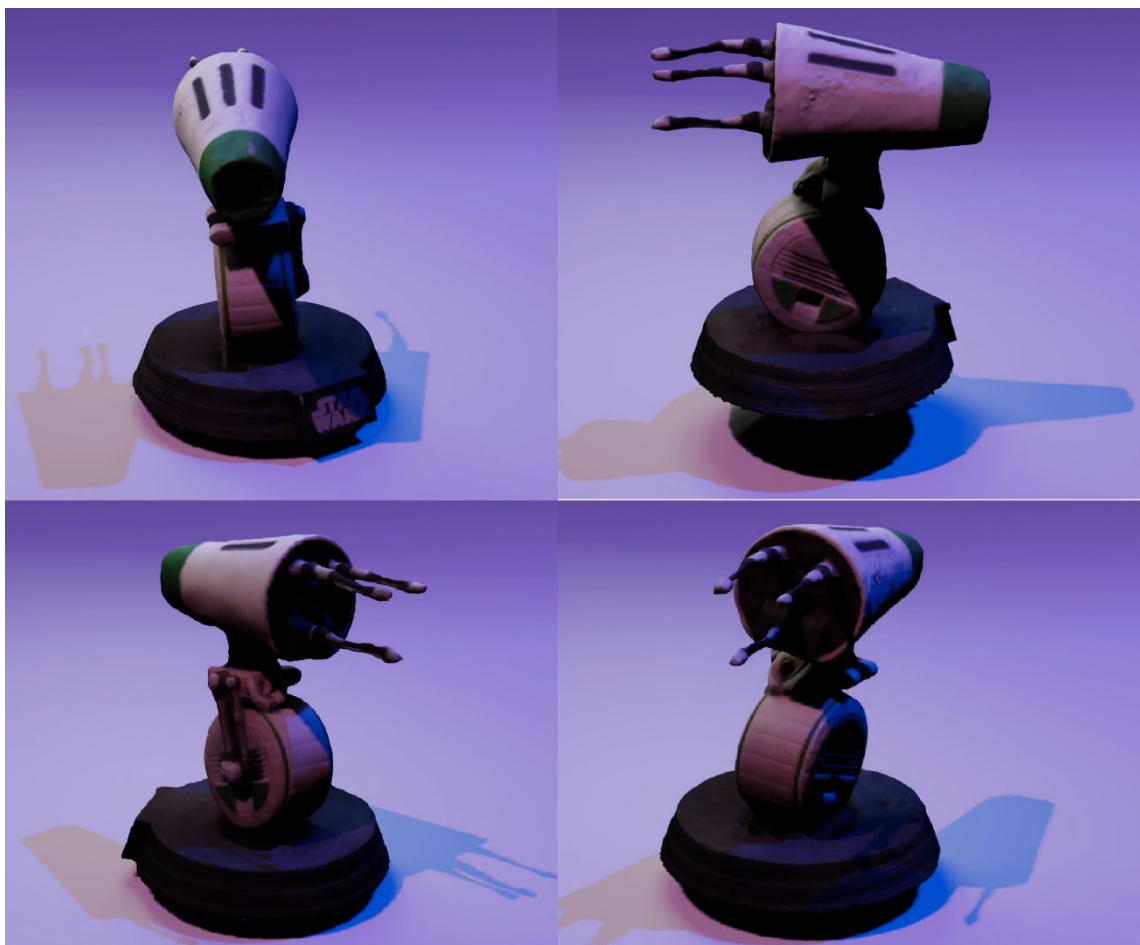
Popravljen model je tako pripravljen na animacijo. Za diplomsko nalogo smo naredili kratko animacijo, ki prikazuje 3D model v 360° obratu. S takšno animacijo je najlažje prikazati, kako uspešno je fotogrametrijski proces zajel vse podrobnosti na objektu. Najprej smo pripravili sceno tako, da smo za objekt postavili enobarvno ukrivljeno ravnino, ki služi kot ozadje. Pred objekt smo nastavili kamero, nad objekt pa tri različne svetlobne vire. Za model smo postavili močnejšo belo območno svetlobo (ang. Area light). Ta je služila kot glavni osvetlitveni vir, da scena ne bi bila pretemna. Želeli smo prikazati tudi, da na fotogrametričnem izdelku delujejo tudi sence in barve. V ta namen smo na levi strani pod kotom nastavili rožnato sončno svetlobo (ang. Sun light). Ta vrsta svetlobe potuje v snopu do objekta in ne izgublja moči. Na desni strani smo postavili enak vir svetlobe, a v modri barvi.



Slika 3.10: Pripravljena scena za animacijo

Na pripravljene sceni (glej sliko 3.10) smo nato pričeli z animiranjem. Odločili smo se za animacijo dolgo 200 sličic. Izbrali smo objekt in ga najprej skozi teh 200 sličic s pomočjo postavitve ključnih sličic (ang. Keyframes) zavrteli v krogu. Tako smo s premikanjem objekta prikazali celoten 3D model in dinamično spreminjanje senc ter barv na teksturi fotogrametričnega izdelka. Za bolj estetski videz premikanja pa smo dodali še rahlo spuščanje in dvigovanje objekta vsakih 50 sličic. Ko smo bili s končnim videzom zadovoljni, smo

animacijo izvozili kot video datoteko tipa .mp4. Na sliki 3.11 lahko vidimo zaslonske posnetke iz končne animacije.



Slika 3.11: Posnetki iz končne animacije

4 PRIPRAVA OBJEKTA ZA 3D TISKANJE

3D tiskanje ali aditivna proizvodnja je hitro rastoča tehnologija tako v industriji, kot že tudi v vsakdanjiku ljudi. Je proces grajenja 3-dimenzionalnega objekta z združevanjem 2-dimenzionalnih plasti ene na drugo. Včasih je bilo 3D tiskanje finančno in časovno zelo požrešno, v zadnjih letih pa se to zelo spreminja [17]. Uporabljajo ga že v mnogih panogah kot so medicina, umetnost, proizvodnja in izobraževanje.

Z mehanskega vidika so 3D tiskalniki preproste robotske naprave, ki tiskajo modele pripravljene z modelirnimi programi ali fotogrametrijo. Zanašajo se na programsko opremo za računalniško podprto oblikovanje (ang. Computer Aided Design oz. CAD). Ta omogoča vizualizacijo in oblikovanje modelov v virtualnem okolju. Računalniško podprto oblikovanje se uporablja v mnogih področjih, saj olajša in optimizira naše delo ter izdelek prikaže z veliko podrobnostmi in blizu realnosti [22]. CAD programi so uporabljeni za ustvarjanje 3D modelov s pomočjo računalnika. To pomeni, da nam ni potrebno modelirati celoten objekt od začetka, saj so na voljo že nekatere oblike (npr. kvadrati, krogi, trikotniki). Omogočajo nam tudi olajšano ponavljanje vzorcev ali drugih podrobnosti. Hkrati pa ima program merilo, s katerim si lažje predstavljamo kako velik bo dejanski objekt v okolju. V njih je mogoče modelirati tako organske umetnine, kot tudi precizne mehanične komponente. Nekateri izmed najbolj znanih CAD programov so Meshmixer [5], TinkerCAD [25] in Fusion 360° [26]. Programi z računalniško podprtim oblikovanjem so zelo prijazni začetnikom zaradi svoje preprostosti, kot tudi profesionalcem zaradi možnosti lahke izdelave zapletenih objektov.

Danes so zelo dobri 3D tiskalniki na voljo praktično že vsem. Seveda pa tukaj govorimo o cenejših različicah, ki delujejo z različnimi materiali kot pa dražji modeli. Poznamo že veliko različnih vrst 3D tiskalnikov, v glavnem pa se razlikujejo glede na uporabljen material za tiskanje. Večino teh se uporablja le v industriji ali v profesionalne namene [17]. Najprej bomo predstavili različne vrste in jih na kratko opisali, nato pa se bomo osredotočili na vrsto uporabljeno tudi v praktičnem delu te diplomske naloge.

- **Selektivno lasersko sintranje (SLS)**
Selektivno lasersko sintranje združuje praške na osnovi najlona v trdo plastiko, keramiko ali steklo. Ta način tiskanja ne zahteva veliko kasnejše obdelave.

Izdelek je ustvarjen brez kakšnih podpornih stebrov (to je pogosto pri SLA in FDM tiskanju), tako je poraba materiala optimalna. Ta način 3D tiskanja se uporablja predvsem za hitro prototipiranje in masovno proizvodnjo kovinskih ali najlonskih delov. Tiskalnik deluje na podoben način kot drugi, ki delajo s prahom. Za razliko od drugih pa ta tiskalnik prahu ne topi v celoto vendar uporabi postopek sintranja za utrjevanje [23].

- Tehnologija Multi Jet Fusion (MJF)

Pri tem načinu 3D tiskanja tiskalnik uporablja brizgalno matriko za selektivno nanašanje združevalnega sredstva na plast najlonskega prahu. Grelni element to nato utrdi v trdno plast. Ko se tiskanje konča se celotna površina premakne v predelovalno postajo, kjer se z vakuumom odstrani odvečni prah. Uporablja se v namen proizvodnje funkcionalnih prototipov, končni izdelek pa lahko dobimo že v enem dnevu [23].

- Taljenje z elektronskim žarkom (EBM)

Tudi ta način tiskanja se uporablja predvsem v proizvodnjah, glavni uporabljeni material pa je kovinski prašek ali žica. S pomočjo vakuuma in segrevanja elektronskih žarkov se združijo plasti in ustvarijo trden končni izdelek. Zaradi izredno natančnih žarkov omogoča proizvodnjo več različnih izdelkov hkrati [23].

- Stereolitografija (SLA)

Ta vrsta 3D tiskanja se je pred kratkim precej razširila tudi v gospodinjstva. Za to je potreben specializiran zaprt 3D tiskalnik (glej sliko 4.1), ki tiska s smolo. Uporablja svetlobni laserski vir ali projektor, ki utrjuje tekočo smolo v utrjeno plastiko. Izdelki SLA imajo izredno visoko raven podrobnosti, so zelo natančni in so eni izmed najbolj gladkih modelov brez dodatne obdelave. Zaradi načina delovanja je čas izdelave zelo dolg, sami materiali pa so po navadi tudi precej dragi [23].



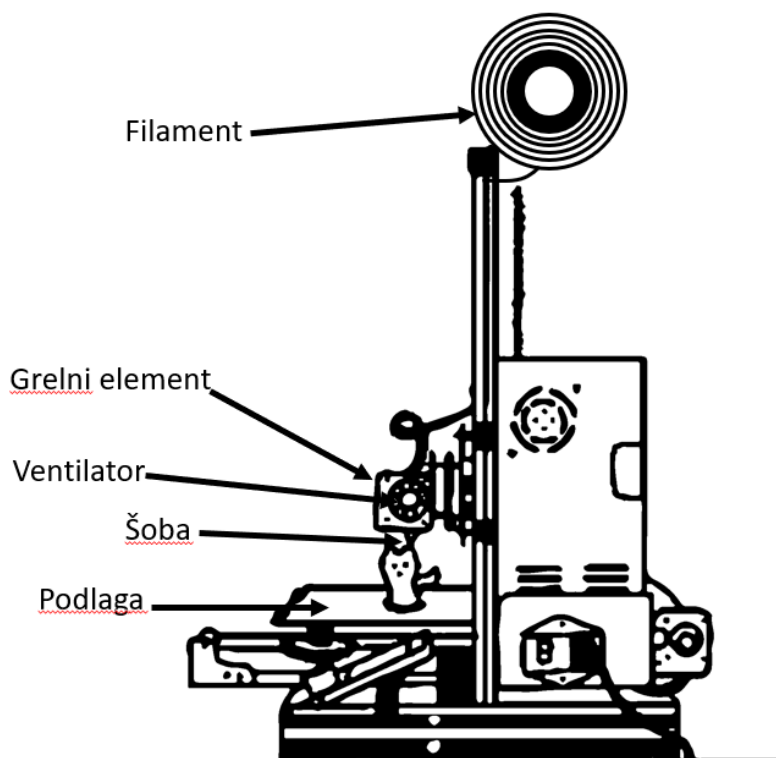
Slika 4.1: 3D tiskalnik za stereolitografijo [24]

- Digitalni svetlobni proces (DLP)

Pri tem načinu 3D tiskanja je prav tako glavni material smola. Celoten postopek deluje zelo podobno kot pri zgoraj opisanem postopku SLA. Razlikuje se pa pri svetlobnem viru. Medtem, ko SLA uporablja premikajoči laserski svetlobni vir, pa tiskalnik DLP uporablja stacionarni svetlobni projektor na dnu tiskalnika. Tudi ta vrsta je že zelo dostopna, je hitrejša od SLA in celo lažja za uporabo [23].
- Modeliranje s spajanjem slojev (FDM)

Trenutno so tiskalniki FDM komercialno najbolj razširjeni. Sama kratica pomeni modeliranje s spajanjem slojev (ang. Fused Deposition Modeling). Pri tem se uporabljajo različne termoplastike, v domači uporabi najpogosteje PLA (Poliaktična kislina). Ta material je najpogosteje uporabljen zaradi preproste uporabe. Ne potrebuje visoke temperature za taljenje, je cenovno lahko dostopen in najmanj neškodljiv zdravju in okolju. Pri uporabi pa se moramo zavedati, da ima končni izdelek slabšo odpornost proti vročini, hkrati pa tudi ni tako močan, kot bi lahko bil ob uporabi druge vrste plastičnega filameta. Plastika je zvita v kolut (to imenujemo filament), ki je nato distribuirana v 3D tiskalnik skozi grelni element, kjer se topi. Taljen filament potuje do šobe (ang. nozzle), kjer se iztiska na podlago. Šoba je pritrjena na os, ki se premika v smereh X, Y in Z. Iztisnjena plastika se sloj po sloju pritrdi na podlago, kjer se

začne strjevati s pomočjo ventilatorja (slika 4.2). 3D tiskalnik ima že od samega začetka zastavljene ukaze, ki določajo po kateri poti se bo šoba premikala. Ti ukazi se ustvarijo v programu CreaLitySlicer za razrez digitalnega 3D modela na plasti. Shranijo se v datoteko formata .gcode, ki jo tiskalnik lahko prebere. V tem programu se prav tako nastavijo drugi potrebni parametri, kot so temperatura podlage in šobe, hitrost premikanja, debelina stene in podobno. Nastavitve se po navadi razlikujejo glede na 3D model, uporabljen material in strojne opreme. Za uspešno tiskanje je torej s poskušanjem potrebno ugotoviti optimalne nastavitve za določen 3D tiskalnik. Zelo pomembno je tudi, da je podlaga 3D tiskalnika zmeraj čista in uravnana, saj se tako zmanjša možnost odlepljenja modela [23].

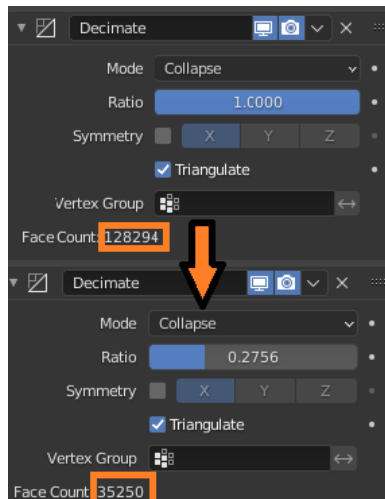


Slika 4.2: Glavni deli 3D tiskalnika s tehnologijo FDM

4.1 Priprava za 3D tisk

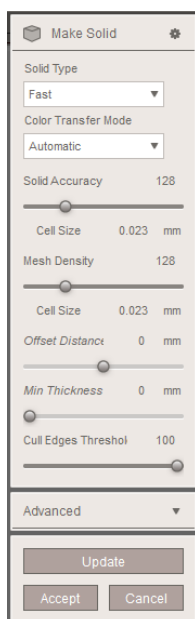
Čeprav je objekt na videz že urejen in očiščen, pa ta še ni primeren za 3D tiskanje. Za lažje procesiranje 3D tiskalnika smo model najprej v Blenderju rahlo prilagodili. V zavihku za modifikatorje smo aplicirali modifikator decimacije (ang. Decimate), ki zmanjša število

mnogokotnikov v mreži objekta (glej sliko 4.3). Število smo zmanjšali, kolikor se je dalo, da je objekt še zmeraj izgledal enako. Pregledali smo model brez texture in zgladili morebitne napake ter ga izvozili kot .stl datoteko. To vrsto formata smo izbrali, saj je kompatibilen s programom, uporabljenim za 3D tiskanje.



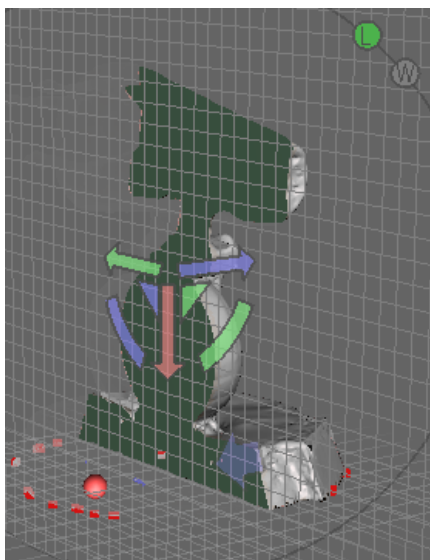
Slika 4.3: Z modifikatorjem smo izrazito zmanjšali število mnogokotnikov v objektu

Za čim lažje 3D tiskanje smo model še dodatno prilagodili v programu Meshmixer. To je brezplačni program, s katerim lahko modificiramo 3D objekte in jih pripravimo za 3D tiskanje. S fotogrametrijskim programom smo ustvarili 3D objekt, ki pa je znotraj popolnoma prazen in ima zelo tanke stene. Za animacijo in druge vrste digitalne uporabe to ni moteče, za 3D tiskanje pa predstavlja problem. Tiskalnik namreč ne more natisniti kvalitetnega modela, če je stena zelo krhka ali pa nima polnila. V programu Meshmixer smo zato najprej uvozili naš 3D model. Nato smo izbrali nastavev za avtomatsko zapolnitev modela (glej sliko 4.4). Pri tem smo poskusili več nastavitev gostote, da se objekt od zunaj ni popačil.



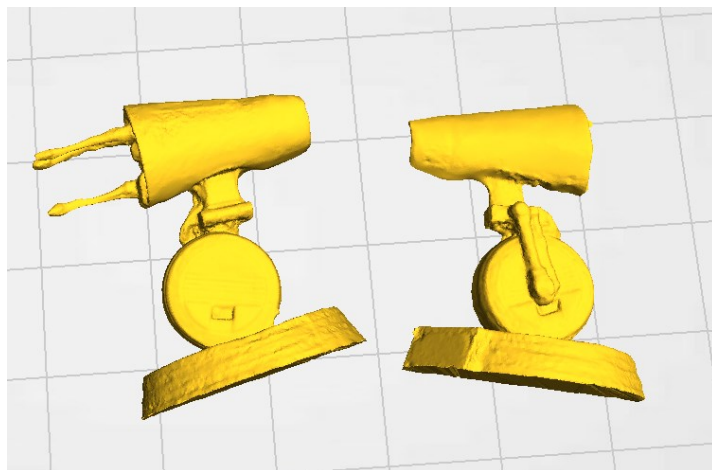
Slika 4.4: Nastavitve za zapolnitev 3D objekta

3D objekt smo nato razrezali na polovico (glej sliko 4.5). To smo naredili zato, da bi 3D tiskalnik izdelek natisnil karseda brez težav. Zaradi velike glave objekta in manjšega telesa namreč pride do mnogo previsov, ki jih 3D tiskalnik ne bi mogel natisniti brez podpornih stebrov. Za razrez smo se odločili, saj so lahko visoki podporni stebri včasih nezanesljivi in lahko uničijo celoten tisk.



Slika 4.5: 3D objekt razrezan na polovico

Obe polovici smo izvozili kot .stl datoteko. Vsako posebej smo nato uvozili še v zadnji potreben program, Creality Slicer. Ta program se uporablja za končne nastavitve in pripravo 3D objekta za tiskanje. Uvozili smo obe polovici in ju postavili horizontalno za čim hitrejše in učinkovito 3D tiskanje (glej sliko 4.6). V nastavitvah na sliki 4.7 smo nastavili temperaturo podlage 3D tiskalnika in šobe. Nastavili smo tudi gostoto polnila, velikost modela in hitrost tiskanja. Vključili smo tudi podporne stebre za antene, ki so bile v zraku.



Slika 4.6: Obe polovici modela postavljeni na podlago in pripravljeni za tisk

Quality	
Layer height (mm)	<input type="text" value="0.1"/>
Shell thickness (mm)	<input type="text" value="1.2"/>
Enable retraction	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="button" value="..."/>
Fill	
Bottom/Top thickness (mm)	<input type="text" value="1.2"/>
Fill Density (%)	<input type="text" value="15"/> <input type="button" value="..."/>
Speed and Temperature	
Print speed (mm/s)	<input type="text" value="40"/>
Printing temperature (C)	<input type="text" value="200"/>
Bed temperature (C)	<input type="text" value="60"/>
Support	
Support type	<input type="text" value="Everywhere"/> <input type="button" value="..."/>
Platform adhesion type	<input type="text" value="None"/> <input type="button" value="..."/>
Filament	
Diameter (mm)	<input type="text" value="1.75"/>
Flow (%)	<input type="text" value="100"/>
Machine	
Nozzle size (mm)	<input type="text" value="0.4"/>

Slika 4.7: Nastavitve 3D tiskalnika za optimalen rezultat

Na koncu smo datoteko shranili kot .gcode datoteko, jo prenesli v 3D tiskalnik in objekt natisnili z materialom PLA. Polovici smo zlepili s sekundnim lepilom in ju pobarvali s čopičem in akrilnimi barvami. Pri tem smo poskusili dobiti karseda podobne rezultate originalni figuri.

5 REZULTATI

5.1 Ideja in načrt izvedbe

Za celoten proces je bila ključna kamera na telefonu, zgoraj opisani računalniški programi in 3D tiskalnik Creality Ender 3.

5.2 Ugotovitve in predlogi

Koliko dela bomo imeli s post produkcijo oziroma naknadno obdelavo, leži v velikem delu na kvaliteti zajetih fotografij. Zato je pomembno, da pridobimo kar se da kvalitetne fotografije in si tako olajšamo nadaljnje delo. V našem primeru so fotografije omogočile veliko raven podrobnosti na pridobljenem 3D modelu. Fotografiranje je bilo po predhodnih poskusih precej nezahtevno in končano v približno desetih minutah.

Ugotovili smo, da je bližnja fotogrametrija ob upoštevanju priporočil za boljše rezultate in predhodnem testiranju lahko precej nezahtevna. Za lažje delo je priporočljivo izbrati predmet z matirano površino in brez odsevnih ali prozornih delov. V primeru neizogibne odsevne površine pa se lahko uporabi lak za lase ali suhi šampon, ki predmet rahlo matira in olajša naše delo. Ozadje fotografij mora imeti dovolj barvnega kontrasta s predmetom. Ozadje, ki ne vsebuje enakih barv, kot predmet se obnese najbolje. Svetloba mora biti konstantna med vsemi slikami, zato je optimalno fotografirati ob oblačnem vremenu. Za projekt je lahko zadostuje že 50 fotografij, vendar so dodatne v našem primeru le še bolj pripomogle k boljšim rezultatom. Pri tem dve fotografiji nista nikoli smeli biti posneti v popolnoma enakem položaju, saj bi to lahko privedlo do napačnih meritev. Med fotografiranjem je prav tako bilo ključno, da je večino prostora zasedal predmet, tega pa nismo premikali. Opazili smo boljše rezultate pri uporabi manjše globinske ostrine, saj tako objekt ostane oster medtem, ko je ozadje zamegljeno.

Postopek ustvarjanja fotogrametričnega izdelka je precej preprost, saj ima program precej linearen potek dela. Ponuja veliko različnih nastavitev, vendar smo opazili, da jih skorajda ni bilo potrebno spreminjati. Medtem ko je proces fotogrametrije od nas zahteval le prilagoditev nastavitvev, pa je za računalnik bil kar naporen in časovno dokaj požrešen. Za fotogrametrijo majhnega modela smo za celoten proces morali čakati približno tri ure. Čas procesiranja se pa seveda lahko zelo razlikuje glede na zmogljivost računalnika – bolj zmogljivi bi verjetno

procesirali krajši čas. S končnim produktom fotogrametrije smo zelo zadovoljni, saj smo uspeli zajeti veliko raven podrobnosti. Tekstura je brez vidnih napak, tako je končni izdelek bil zelo uporaben za nadaljnjo animacijo (glej sliko 5.1).



Slika 5.1: 3D model pridobljen s fotogrametrijo (levo) in originalna figura (desno)

Po končani fotogrametriji je bilo 3D model potrebno očistiti odvečne geometrije, kar je bil zelo preprost proces. Popravki 3D modela v Blenderju tako niso trajali dlje od ene ure. Samo ustvarjanje animacije je bilo prav tako nezahtevno in je vzelo kakšno uro. Ob pravilni pripravi za 3D tiskanje nam je uspelo pridobiti zadovoljive rezultate z veliko podrobnostmi tudi pri natisnjem modelu. Priprava za uspešno 3D tiskanje zahteva predhodne izkušnje in poznanje uporabljenega 3D tiskalnika. Kot zgoraj opisano, je bilo model potrebno zapolniti, poravnati

in digitalno razrezati, da je bil kompatibilen s tiskalnikom. Ta proces je v celoti trajal približno uro in pol, samo 3D tiskanje pa približno štiri ure in pol. Končni natisnjen model je nekoliko manjši od originala, saj bi tiskanje v originalni velikosti trajalo veliko dlje. Na koncu smo 3D model še pobarvali karseda podobno originalu. To je bilo počasno, saj je bilo potrebno čakati, da se posamezne barve posušijo pred aplikacijo drugih. Brez čakanja sušenja pa je samo barvanje trajalo približno eno do dve uri. Mislimo, da je končni 3D izdelek dober, vendar bi ga seveda bilo možno tudi izboljšati. Opazili smo, da je model v celoti natisnjen precej dobro, je pa tiskalnik imel nekaj težav pri izdelavi majhnih anten na koncu glave. Kot lahko vidimo na sliki 5.2 so te kljub popravkom precej krhke, kar pa je posledica tiskanja v zraku. Za boljše rezultate bi morda lahko antene natisnili posebej in jih zalepili naknadno. Na natisnjenem 3D modelu je rahlo vidno, da je sestavljen iz dveh delov (glej sliko 5.3). Temu bi se bilo možno izogniti z aplikacijo mase za zapolnitev razpok, vendar tega žal nismo imeli na voljo. Menimo pa, da ta razpoka ni prekomerno moteča, saj smo jo karseda prekrili z barvami. 3D izdelek bi lahko bil boljši in bolj podoben originalu v primeru bolj kvalitetnega barvanja. Zaradi velikosti modela je bilo barvanje zahtevnejše, a menimo, da zadostuje za prikaz podobnosti realnemu objektu.



Slika 5.2: 3D natisnjen model (levo) in originalna figura (desno)



Slika 5.3: Primerjava 3D natisnjenega modela (levo) in originalne figure (desno)

6 ZAKLJUČEK

V teoretičnem delu diplomske naloge smo raziskovali fotogrametrijo, animacijo in 3D tisk. Ugotovili smo, da se fotogrametrija uporablja že vrsto let in na veliko različnih področjih. Dandanes je že tako pogosta, da je na primer v medicini že stvar vsakdanjika. Predstavili smo različne vrste in natančneje opisali bližnjo fotogrametrijo, ki je že lahko dostopna skorajda vsakemu od nas. S pomočjo praktičnega primera smo prikazali proces fotogrametrije in opisali, kako doma ustvariti dokaj kvaliteten izdelek. Naš cilj je bil replicirati že obstoječ objekt le s pomočjo fotografij, ki jih računalniško spremenimo v 3D model. Naš cilj je bil prikazati, da za dobre in uporabne rezultate za fotogrametrijo ne potrebujemo profesionalne opreme. Pridobljen 3D model smo uporabili v animaciji, za direktno primerjavo pa smo ga še 3D natisnili in pobarvali. Da smo to dosegli, smo definirali še animacijo in 3D tiskanje ter raziskali kakšne vrste tiskanja in animacije poznamo.

V diplomski nalogi smo se spoznali s programom za proces fotogrametrije Agisoft Metashape [4] in predstavili program za modeliranje in animacijo Blender [13]. Prikazali smo tudi, na kakšen način ustrezno pripravimo 3D model za uspešno 3D tiskanje. To smo naredili s programom Meshmixer za rekonstrukcijo 3D modela za tiskanje [5]. V programu Creality Slicer [1] smo določili nastavitve za 3D tiskalnik in 3D model shranili v kodo, berljivo tiskalniku.

Izbran predmet smo uspešno replicirali in ga uporabili tako v animaciji kot tudi v 3D tisku. V petem poglavju smo predstavili rezultate in dodali fotografije, ki kažejo primerjavo med ustvarjenim izdelkom in originalno figuro. Ugotovili smo, da lahko s pomočjo fotogrametrije tudi doma brez profesionalne opreme dobimo zelo dobre rezultate. Pokazali smo, da lahko s fotogrametrijo zajamemo veliko podrobnosti, zardi česar so ustvarjeni 3D modeli precej podobni originalnemu predmetu.

7 VIRI IN LITERATURA

1. Creality slicer. Dostopno na: <https://www.creality.com/download> [13.07.2021]
2. The Center for Photogrammetric Training, 2008. History of photogrammetry. Dostopno na: https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History_of_Photogrammetry.pdf [29.07.2021]
3. Aicardi, I., Chiabrando, F., Lingua, A. M., & Noardo, F. (2018). Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 257-266. Dostopno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S129620741630423X> [27.07.2021]
4. Agisoft Metashape. Dostopno na: <https://www.agisoft.com/> [29.07.2021]
5. Autodesk Meshmixer. Dostopno na: <https://www.meshmixer.com/> [20.07.2021]
6. Schmid, H. H. (1969). Application of photogrammetry to three-dimensional geodesy. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 50(1), 4-12. Dostopno na: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/EO050i001p00004> [27.07.2021]
7. Mitchell, H. L. (1995). Applications of digital photogrammetry to medical investigations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 50(3), 27-36. Dostopno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/092427169591288U> [29.07.2021]
8. Urbanová, P., Hejna, P., & Jurda, M. (2015). Testing photogrammetry-based techniques for three-dimensional surface documentation in forensic pathology. *Forensic science international*, 250, 77-86. Dostopno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073815001073> [28.07.2021]
9. Anderson, R. C. (1982). Photogrammetry: the pros and cons for archaeology. *World Archaeology*, 14(2), 200-205. Dostopno na:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00438243.1982.9979860>

[29.07.2021]

10. Hermoso, V. M. S. (2002). Photogrammetric system for movement analysis in team sports. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*. Dostopno na: <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/702> [27.07.2021]
11. Delgado-Vera, C., Aguirre-Munizaga, M., Jiménez-Icaza, M., Manobanda-Herrera, N. and Rodríguez-Méndez, A., 2017, October. A photogrammetry software as a tool for precision agriculture: a case study. In *International Conference on Technologies and Innovation* (pp. 282-295). Springer, Cham. Dostopno na: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-67283-0_21 [29.07.2021]
12. Statham, N., Jacob, J., & Fridenfalk, M. (2020). Photogrammetry for Game Environments 2014-2019: What Happened Since The Vanishing of Ethan Carter. In *DIGRA 2020, Tampere, Finland, June 2–6, 2020*. Dostopno na: https://www.researchgate.net/profile/Nataska-Statham/publication/345995149_Photogrammetry_for_Game_Environments_2014-2019_What_Happened_Since_The_Vanishing_of_Ethan_Carter/links/5fb4ee3092851cf24cdc4414/Photogrammetry-for-Game-Environments-2014-2019-What-Happened-Since-The-Vanishing-of-Ethan-Carter.pdf [29.07.2021]
13. Blender. Dostopno na: <https://www.blender.org/about/> [29.07.2021]
14. Magnenat-Thalmann, N., & Thalmann, D. (1985). Computer animation. In *Computer Animation* (pp. 13-17). Springer, Tokyo. Dostopno na: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-4-431-68433-6_3 [29.07.2021]
15. Wells, P. (2013). *Understanding animation*. Routledge. Dostopno na: https://books.google.si/books?hl=sl&lr=&id=tkEYAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=animation&ots=xjqeQKIsE3&sig=SrHctH1gE04Al4e8Bm_hguQaEuM&redir_esc=y#v=onepage&q=animation&f=false [29.07.2021]
16. New York Film Academy (2017). 5 Types Of Animation: Finding Inspiration In All Styles. Dostopno na: <https://www.nyfa.edu/student-resources/5-types-of-animation-finding-inspiration-in-all-styles/> [20.07.2021]
17. Brian, E. (2012). *Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing*. Apress, New York. Dostopno na: <https://books.google.si/books?hl=sl&lr=&id=R4qxOQZV9T0C&oi=fnd&pg=PR3&dq=3>

[d+printing&ots=pCDdH QU-w&sig=6FP-
JZPRWYSFPhwfX7Yf6C7NSrE&redir_esc=y#v=onepage&q=3d%20printing&f=false](#)

[23.07.2021]

18. Blender manual. Dostopno na:
<https://docs.blender.org/manual/en/latest/animation/keyframes/introduction.html>
[29.07.2021]
19. Niharika (2020). *Photogrammetry is used in surveying and mapping by using photography*. Geoinfor Geostat: An Overview 8:3. Dostopno na:
https://www.scitechnol.com/peer-review/photogrammetry-is-used-in-surveying-and-mapping-by-using-photography-NBr6.php?article_id=11683 [28.07.2021]
20. Schenk, T. (2005). Introduction to photogrammetry. *The Ohio State University, Columbus, 106*. Dostopno na:
<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58585147/IntroPhoto-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1627578673&Signature=Vq7jkGLbgmNz4jenqXzfeQ5o9Gw6UnX10V9msaGhoKnDBgJBld6z5B7W9UQyH-tH3A4xCqIx-LHjXOcNmo0pqB4HQMsdjEB2g6wT-tsCasi2F6OhZpCg302Dgt6Mr01-JYhHjtThJx~JHaEOmoDgOEy1I~kylzLWA4o7BHZV7fcL4~EuNbCqiUvl6RPDcmFEIFxaoSLrsYckx00cKaiTb5-T9cBvDtdFCUbjalGuc16CHQCA7NJKAHWBqnDFdltLyqXBIGTqBVR19p~n3j6M7ZLlc8Y-Ap1RkMr3qFdOTU4w3R4bDOisAUUV6fwd-k6ekDBeqXI8RTY-hAEChEVMuw &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA> [22.07.2021]
21. Salazar-Gamarra, R., Seelaus, R., da Silva, J. V. L., da Silva, A. M., & Dib, L. L. (2016). Monoscopic photogrammetry to obtain 3D models by a mobile device: a method for making facial prostheses. *Journal of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 45(1), 1-13. Dostopno na:
<https://journalotohns.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40463-016-0145-3>
[29.07.2021]
22. Junk, S., & Kuen, C. (2016). Review of open source and freeware CAD systems for use with 3D-printing. *Procedia CIRP*, 50, 430-435. Dostopno na:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116304140>
[30.07.2021]

23. Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286-1296. Dostopno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919308169> [1.08.2021]
24. <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>
25. TinkerCAD. Dostopno na: <https://www.tinkercad.com/> [20.08.2021]
26. Fusion 360°. Dostopno na: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview> [20.08.2021]
27. Meshroom. Dostopno na: <https://alicevision.org/#meshroom> [23.08.2021]
28. MicMac. Dostopno na: <https://micmac.ensg.eu/index.php/Accueil> [23.08.2021]