



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Jesse Åhlgren

# Figuurien soveltuvuus pelihahmoiksi fotogrammetrialla

Figuurin 3D-skannaus ja animointi pelimoottoriin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja Viestintätekniikka

Insinööriyö

9.5.2021

Tekijä Otsikko	Jesse Åhlgren Figuurien soveltuvuus pelihahmoiksi fotogrammetrialla
Sivumäärä Aika	33 sivua + 0 liitettä 9.5.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja Viestintätekniikka
Ammatillinen pääaine	Software Engineering
Ohjaajat	Osaamisaluepäällikkö Janne Salonen
<p>Insinööriyössä tutkittiin fotogrammetria-nimistä skannaustekniikkaa ja sen käyttökelpoisuutta pelihahmojen tekoon skannaamalla toimintafiguureja tai muita käsintehtyjä hahmoja. Työssä selvitettiin fotogrammetrian perusteet, ensin skannattiin yksinkertainen esine tekniikkaan tutustumiseksi ja tämän jälkeen skannattiin rakennuspalikoista tehty monimutkaisempi toimintahahmo, joka muunnettiin pelihahmoksi. Mallin konsepti toimivana pelihahmona todistettiin tekemällä sille animaatoriggi, yksinkertainen animaatio, ja sijoittamalla molemmat pelimoottoriin niin, että ne toimivat pelitilassa.</p> <p>Työvaiheessa tehtiin useiden kokeilujen jälkeen onnistunut skannaus yksinkertaiseen esineeseen ja tämän jälkeen rakennuspalikoista tehtyyn hahmoon. Hahmo rigattiin ja animoitiin, ja saatiin toimimaan pelimoottorissa. Hahmon ulkonäkö jäi tosin karkeaksi, mikä voi johtua monesta syystä, kuten käytetyn kameran laadusta, kuvasaasteesta ja liian vähäisistä kuvista. Skannattu malli kuitenkin toimi tavoitellun konseptin todistamiseksi.</p> <p>Tällä työllä oli tarkoitus valaista kuvanveistäjien ja vastaavien harrastajien potentiaalia pelimallien tekijöinä. Vaikka mallien luominen on pääosin digitaalista, pelialalla on potentiaalia myös hyödyntää muun tyyppisten artistien taitoja, jos fotogrammetria-tekniikan saa hiottua komplekseille esineille, kuten figuureille ja toimintahahmoille, sopivaksi.</p>	
Avainsanat	3D-skannaus, fotogrammetria, pelit, pelikehitys, animaatio

Author Title	Jesse Åhlgren Suitability of action figures as video game characters using photogrammetry
Number of Pages Date	33 pages + 0 appendices 9 May, 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communication Technology
Professional Major	Software Engineering
Instructors	Head of Department Janne Salonen
<p>The purpose of this thesis was to research the fundamental information of photogrammetry and perform practical tests to first create a successful scan on a basic object, and then a scan on an action figure to turn it into a video game character. To prove this concept, the character was rigged and given a small idle animation in Blender, both of which were then imported into the Unity game engine.</p> <p>Through some trial and error, a figure constructed from building blocks was successfully scanned, rigged and animated for video game compatibility. The created model was partially malformed, which could be caused by multiple reasons: a too simple camera, background noise in the pictures or perhaps there was not enough pictures to capture the details properly. But it worked for the purposes of this thesis.</p> <p>This thesis shed some light on the potential of sculptors and other model artists as model designers. Although video game modeling is a largely digital medium, there is potential in utilizing the talents of other types of artists as well, if the photogrammetry process can be polished for more complex objects like figurines.</p>	
Keywords	3D-scanning, photogrammetry, games, game development, animation

## Sisällys

### Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	3D-skannaus	2
3	Fotogrammetria	2
3.1	Historia	3
3.2	Fotogrammetrian tyypit	3
3.2.1	Ilmakuvattu fotogrammetria	3
3.2.2	Maanpäällinen fotogrammetria	4
3.3	Käyttökohteet	4
3.4	Fotogrammetria pelialalla	6
3.4.1	Fotogrammetriset asetit ja ympäristöt	6
3.4.2	Ihmisten skannaus fotogrammetrialla	8
4	Kameran asetukset ja kuviin vaikuttavat tekijät	10
4.1	Perusasetukset	11
4.2	Kuvausympäristö	11
4.3	ISO	12
4.4	Valotus	12
4.4.1	Apertuuri	12
4.4.2	Valotusaika	14
4.5	Polttoväli	15
5	Kuvaus ja skannaus	16
5.1	Ensimmäiset kuvat ja niiden arviointi	17
5.2	Skannausohjelma	19
5.3	Ensimmäinen testi	19
5.4	Toinen testi	21
5.5	Kolmas ja neljäs testi	23
5.6	Viides testi	24

6	Mallin valmistelu, animointi ja implementointi pelimoottoriin	26
6.1	Mallin optimointi	26
6.2	Mallin riggaus	27
6.3	Mallin animointi	28
6.4	Mallin siirto pelimoottoriin	29
7	Yhteenveto	30
	Lähteet	32

## Lyhenteet ja sanasto

Stereoskopia	Yhteisnimitys tekniikoille, joilla kaksiulotteiseen kuvaan luodaan syvyysvaikutelma.
Assetti	Asiat, jotka vaikuttavat pelin ulkonäköön ja sisältöön, kuten 3D-mallit, tasot, tehtävät, musiikki, äänieffektit, erikoiseffektit jne.
Renderöinti	3D-mallin muuntaminen visuaaliseksi näkymäksi näytölle tai muuhun medialaitteeseen.
Chroma key	Erikoistehostemenetelmä, jossa kaksi kuvaa tai niiden elementtejä sekoitetaan toisiinsa. Tavallisesti kuvasta poistetaan vihreä tai sininen tausta, joka korvataan toisella kuvalla.

ISO	Valoherkkyys. Nimi tulee International Organization of Standardization-järjestöstä. Järjestö loi valoherkkyuden nimeämisstandardin, minkä takia kameran valoherkkyys kantaa ISO-nimeä.
Node	Node (tai Solmu) on monentyyppisten tietorakenteiden perusosa. Se voi sisältää tietoa ja linkkejä toisiin nodeihin, mikä muodostaa eräänlaisen verkon, joka suorittaa tehtävää.
Monipistepilvi	Ryhmä pisteitä, jotka muodostavat fotogrammetrisen mallin ääriiviivat ja joiden pohjalta luodaan polygonit.
T-asento	Humanoidin 3D-mallin neutraali asento, jossa kädet osoittavat sivuille. Asennosta on helpompi alkaa luoda animaatioita, minkä vuoksi se on yleinen standardi animaatio- ja peliteollisuudessa.
Polygoni	Monikulmio, tavallisesti kolmio tai neliö, joka muodostaa yhden osan 3D-mallin ulkopintaa. Mallit koostuvat tuhansista polygoneista tavallisesti.
Riggaus	3D-mallin valmistelu animaatioon luomalla sille virtuaalinen "luuranko".
Painomaalaus	3D-mallin rigin luukohtainen väritys, joka ilmaisee, mitä alueita valittu luu liikuttaa.

## 1 Johdanto

3D-skannaus on tekniikka, jota on pitkään käytetty lukuisilla aloilla ja jonka kysyntä on kasvanut samalla, kun tekniikka on kehittynyt paremmaksi ja saatavammaksi.

Skannauslaitteiden ja -tekniikoiden yleistyessä tekniikka on herättänyt huomiota myös peliteollisuudessa, jossa kysyntä mallinnustöitä helpottaville tekniikoille on suuri.

Opinnäytetyössä tutkitaan fotogrammetria-nimistä tekniikkaa, jolla luodaan 3D-malli valokuvista kuvaamalla objekti joka suunnasta riittävän pienin astevälein. Tekniikka on yleistynyt pelialalla viime vuosien aikana, kun sen ensimmäiset onnistuneet fotorealistiset implementaatiot herättivät pelistudioiden huomion.

Opinnäytetyön tavoite on selvittää fotogrammetrian vaatimukset onnistunutta skannausta varten: miten malli animoidaan ja kuinka se voidaan sijoittaa pelimoottoriin. Skannauskohteilla on tarkoitus selvittää, kuinka hyvin kompleksit toimintafiguurit soveltuvat peleihin ja kuinka suuri tarve niiden jälkikäsitteilylle on.

Teoriaosuudessa käydään läpi kuvaukseen liittyviä asioita sekä esitellään mahdollisia ongelmia kuvausprosessiin liittyen. Käytännön osuudessa tehdään koeskannaus soveltamalla teoriaa aluksi yksinkertaiseen esineeseen ja sitten kompleksimpaan Lego-rakennusjärjestelmästä rakennettuun toimintahahmoon sekä selvitetään mahdolliset jälkikäsitteilytoimenpiteet, jotta mallit sopivat pelimoottoriin animaatioiden kanssa. Mallit skannataan Meshroom-ohjelmalla, muokataan MeshLab- ja Blender-ohjelmilla ja sijoitetaan Unity 3D -pelimoottoriin. Kaikki käytetyt ohjelmat ovat ilmaisia.

Opinnäytetyön pelikeskeisyydestä huolimatta tutkittuja menetelmiä voidaan soveltaa myös muillekin aloille eikä vain peleihin. Opinnäytetyössä käydään läpi prosessiin liittyviä ohjelmistoja vain pintapuolisesti, koska työn aihe fotogrammetria pohjautuu valokuvaamiseen, jonka yksityiskohdat ovat oleellisempia prosessin kannalta.

## 2 3D-skannaus

3D-skannaus on prosessi, jossa analysoidaan objekti oikeasta maailmasta ja kerätään kaikki sen data, jotta kyseinen objekti voidaan luoda tarkasti uudelleen digitaalisessa muodossa. Tämä sallii objektin tarkastelun turvallisesti digitaalisesti, mikä tehostaa työskentelyä teknisissä ammateissa, kuten insinööreillä, mekaniikoilla ja tekniikoilla. 3D-skannaukseen on olemassa lukuisia laitteita ja tapoja, mutta yleisimpiin metodeihin kuuluvat laserskannaus, valorakenneskannaus ja fotogrammetria. (1.)

3D-skannerit jaetaan yleisesti kahteen tyyppiin, jotka ovat kontaktiskannerit ja kontaktittomat skannerit. Tämän lisäksi kontaktittomat skannerit jaetaan aktiivisiin ja passiivisiin ratkaisuihin.

Kontaktiskannerit tunnustelevat objekteja fyysisesti, jotka koskevat pintaa eri kulmista ja laskevat kontaktipisteiden koordinaatit, joista luodaan 3D-malli. Kontaktiskannerit ovat usein suuria ja hitaita, ja ne saattavat muokata tai vahingoittaa skannattavaa esinettä.

Useimmat skannerit ja menetelmät ovat kontaktittomia. Aktiiviset menetelmät heijastavat valoa objektin pintaan, jonka heijastus havaitaan ja heijastuspisteiden etäisyydet ja koordinaatit lasketaan. Näistä pisteistä kolmiomittaan digitaalinen malli. Passiiviset menetelmät sen sijaan tukeutuvat luonnonvaloon, eivätkä sen takia sovellu pimeään. Tämän takia passiivisille menetelmille pitää usein simuloida riittävä valaistus esimerkiksi valolaatikossa tai studio-olosuhteissa. (2.)

## 3 Fotogrammetria

Fotogrammetria on skannausmenetelmä, jonka pääperiaate on kolmiomittaus. Fotogrammetriassa otetaan mittauksia valokuvista löytämällä yhteisiä pisteitä eri sijainneista otetuista kuvista. Vähintään kahdesta eri kulmasta otetuista kuvista voidaan kehittää "säteitä" jokaisesta kameran sijainnista kohteeseen, jotka matemaattisesti yhdistetään, kun pyritään tuottamaan kiintopisteen kolmiulotteiset koordinaatit. Näistä koordinaateista voidaan mallintaa kohteen digitaalinen kopio.



Menetelmä ei käytännössä eroa siitä, kuinka ihmisen silmät työskentelevät objektin etäisyyden arvioimiseksi, mikä yleisemmin tunnetaan syvyysnäköä. (3.)

### 3.1 Historia

Vuonna 1851 ranskalainen keksijä Aimé Laussedat näki juuri keksityn kameran potentiaalın karttojen tekoon, mutta tekniikkaa käytettiin onnistuneesti vasta 50 vuotta myöhemmin. Ensimmäistä maailmansotaa edeltävänä vuosikymmenenä käytettiin maanpäällistä fotogrammetriaa laajalti, mutta sodan aikana esiteltiin huomattavasti tehokkaampi ilmakuvattu fotogrammetria. Ilmakuvattua fotogrammetriaa käytettiin pääasiassa sotilastarkoituksiin toisen maailmansodan aikana, mutta rauhan jälkeen käyttökohteet kasvoivat runsaasti. (4.)

### 3.2 Fotogrammetrian tyypit

Fotogrammetria jaetaan eri tyypeihin riippuen kuvien oton sijainnista. Kaksi yleisintä tyyppiä näistä on ilmakuvattu ja maanpäällinen fotogrammetria.

#### 3.2.1 Ilmakuvattu fotogrammetria

Ilmakuvatussa fotogrammetriassa kamera kiinnitetään ilma-alukseen, kuten lentokoneeseen tai kauko-ohjattavaan lennokkiin, ja normaalisti osoitetaan kohtisuoraan maata kohti. Maasta otetaan lukuisia, jopa tuhansia, toistensa päälle meneviä valokuvia ilma-aluksen lentäessä lentorataa pitkin. Kuvat sitten prosessoidaan perinteisesti stereosuunnittelijalla, jota käytetään korkeuksien määrittämiseen stereoskopian avulla, ja siten korkeuskarttojen tekoon tai automatisoiduilla tietokonejärjestelmillä. (5.)

### 3.2.2 Maanpäällinen fotogrammetria

Maanpäällisessä fotogrammetriassa kamera on maan pinnalla, ja se pidetään käsissä, kolmijalassa tai tangossa. Tämän tyyppinen fotogrammetria ei ole normaalisti karttojen tekoon, vaan lopputuotteena on piirroksia, 3D-malleja, mittauksia tai monipistepilviä. Arkipäiväiset kamerat soveltuvat moniin tarkoituksiin maanpäällisessä fotogrammetriassa. Tietokoneyhteisössä tämän tyyppistä fotogrammetriaa kutsutaan joskus kuvapohjaiseksi mallinnukseksi (Image-Based Modeling). (5.)

### 3.3 Käyttökohteet

Fotogrammetriaa käytettiin alun perin topografisten karttojen tekoon, mutta sen käyttökohteet ovat laajentuneet huomattavasti sen hyötyjen ja tehokkuuden tullen enemmän ilmi. Vaikka tekniikkaa käytetään yhä karttojen teossa, sitä on alettu hyödyntää myös mm. maanmittauksessa. Satelliittien sijaan lennokit pystyvät ottamaan tarkempia kuvia maanmuodoista, mikä auttaa rakennusinsinöörejä suunnittelemaan rakennusprojektien toteutusta.

Koska fotogrammetria pystyy taltioimaan ympäristön hyvin tarkasti, sitä käytetään myös rikosteknisessä tutkimuksessa luomalla virtuaalisesti rikospaikan kopio, jotta sitä voidaan tarkastella jälkikäteen useammasta näkökulmasta ja uusien tekniikoin. (6.)

Fotogrammetria on tarjonnut myös turvallisemman tavan tarkastella historiaa. Fotogrammetrialla voidaan mallintaa historiallista arkkitehtuuria, fossiileja ja muita artefakteja tarkasteltavaksi tavalla, joka ei vahingoita kyseisiä rakennuksia tai esineitä. (7.)



Kuva 1. Monipistepilvi Little Flowerin kirkosta Floridassa



Kuva 2. Fotogrammetrialla skannattu Luzian naisen 11 500 vuotta vanha pääkallo.

Fotogrammetria on myös huomattu viihdealalla. Monet elokuvat hyödyntävät fotogrammetriaa lavasteiden suunnittelussa, mikä mahdollistaa laajempaa luovuutta,

tai täysin osana editointiprosessia. Tekniikan varhaisimpia adoptoijia olivat mm. elokuvat Fight Club ja The Matrix.



Kuva 3. Fight Club -elokuva (1999) käytti fotogrammetriaa keittiöräjähdyskohtauksessaan.

### 3.4 Fotogrammetria pelialalla

Fotogrammetriaa sovelletaan nyt yhä enemmän peliteollisuudessa luomalla erittäin realistisia 3D-asetteja sekä immersivisiä ja interaktiivisia reaaliaikaisia 3D-ympäristöjä. Vaikka tietokoneiden prosessointi ja grafiikka kehittyvät jatkuvasti, 3D-datalla on siitä huolimatta raja, kuinka paljon sitä voidaan näyttää reaaliajassa. Tästä syystä fotogrammetrialla luotuja asetteja pitää optimoida, jotta ne ovat renderöintikelpoisia ja vähemmän laitteistoa kuormittavia.

#### 3.4.1 Fotogrammetriset asetit ja ympäristöt

Fotogrammetrian prioriteetti vaihtelee studiosta ja pelistä toiseen. Jotkin pelit hyödyntävät sitä fotorealististen ympäristöjen tekoon, jotka ovat virtuaalisia klooneja oikeista ympäristöistä tai täysin kuvitteellisia maailmoja. Esimerkkejä tällaisista peleistä

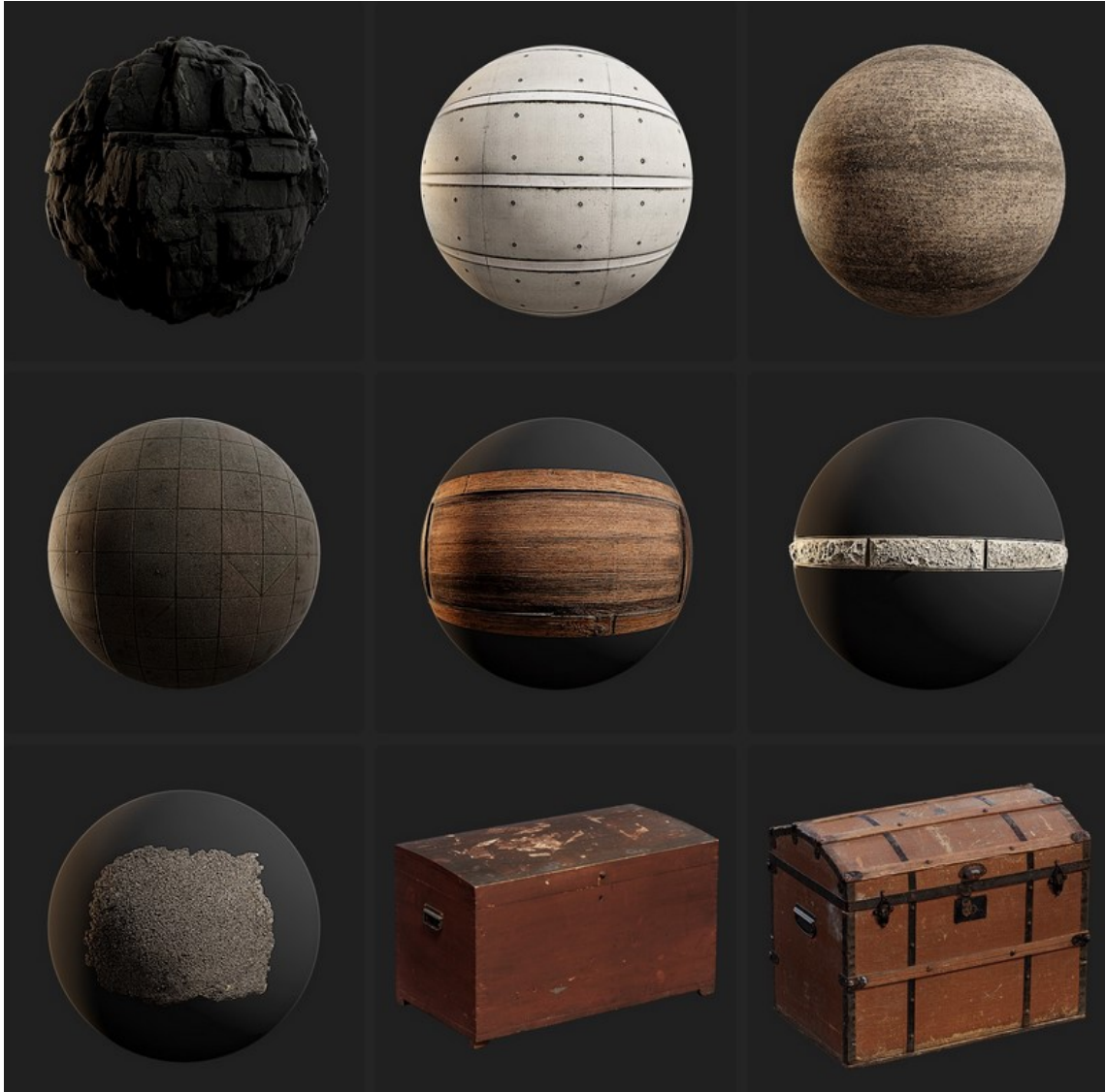


ovat "The Vanishing of Ethan Carter", "Call of Duty: Modern Warfare" ja "Star Wars Battlefront". Tämä on mahdollista skannaamalla oikeita luonnollisia kohteita ja sommittelemalla niistä luotuja asetteja uudelleen.



Kuva 4. Star Wars Battlefront -pelin (2015) ympäristöt luotiin fotogrammetrialla skannatuista aseteista.

Tällaiset assetit eivät ole välttämättä rajattuja vain suuribudjettisille studioille, vaan myös pienemmät pelistudiot voivat hyötyä niistä. Esimerkiksi Epic Games ostettuaan Quixel-yhtiön toi yli 10 000 fotogrammetrista 2D- ja 3D-asetteja saatavaksi Unreal-moottorin pelinkehittäjille Quixelin Megascans-kirjaston kautta. (8.)



Kuva 5. Quixelin Megascans-kirjasto tarjoaa yli 10 000 fotorealistista assettia Unreal-moottoriin. (9.)

### 3.4.2 Ihmisten skannaus fotogrammetrialla

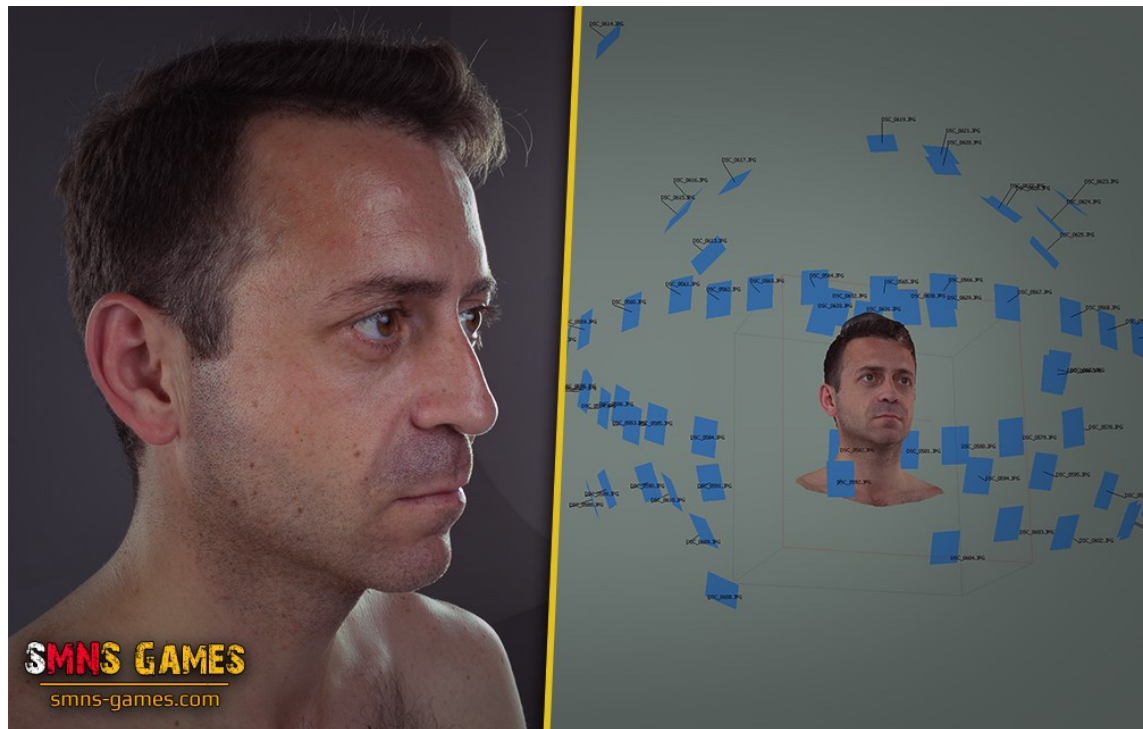
Fotogrammetrialla skannataan myös ihmisiä mahdollisimman aitojen pelihahmojen luomiseksi. Fotogrammetrian tarkkuuden ansiosta tekniikka voi taltioida ihmiskasvojen pienimmätkin piirteet. Nämä pienet piirteet ja virheet ovat, mitkä tekevät ihmisen kasvoista realistiset, mutta tämänlaatuista mallia on optimoitava, jotta pelimoottori pystyy prosessoimaan sen reaaliajassa.

Ihmisten kuvaamisen haasteena on ihmisten liikkuvuus, sillä pienetkin liikkeet eri kuvakulmien välillä tekevät kuvadatasta käyttökelvotonta. Tämän takia ihmisen skannaaminen yhdellä kameralla on erittäin vaikeaa. Ihmisten skannaaminen vaatii tavallisesti kymmeniä kameroita, jotka ottavat kuvat samanaikaisesti eri kulmista hyvien tulosten takaamiseksi. Kameroiden määrästä ja kuvien laadusta riippuen datan käsittelyn kesto vaihtelee viikosta kuukauteen. (10.)



Kuva 6. Fotogrammetriajärjestelmä.





Kuva 7. Elävä malli, ja hänen kasvonpiirteistä Metro: Exodus-peliin luotu 3D-malli sekä skannauksen kuvauskulmat. (10.)

#### 4 Kameran asetukset ja kuviin vaikuttavat tekijät

Onnistuneen fotogrammetrisen skannauksen suorittamiseksi tarvitaan korkealaatuisia valokuvia, joten on tärkeää ymmärtää, mitkä kameran asetukset ja oheistekijät vaikuttavat kuvien laatuun. Säätämällä olennaiset asetukset oikein voidaan ottaa laadukkaita kuvia, jotka fotogrammetriaohjelma pystyy yhdistämään toisiinsa ja luomaan skannatun 3D-mallin.

Tässä opinnäytetyössä käytettävä kamera on Canon IXUS 240 HS -digitaalikamera. Kamera on taskukokoinen malli, joten se ei ole yhtä tarkkuussäädettävä ja kehittynyt kuin järjestelmäkamera, mutta tarjoaa 16,1 megapikselin Full HD -tarkkuuden ja 4,3 - 21,5 mm:n linssin leveyden. Mikäli nämä riittävät skannaukseen, ne selviävät käytännön testissä.



Opinnäytetyössä kuvattavat kohteet ovat pienikokoisia, joten kameran asetukset ja kuvausympäristö heijastavat niiden kuvaamisen vaatimuksia sekä optimointimahdollisuuksia.

#### 4.1 Perusasetukset

Alustavasti on tärkeää, että kameran kaikki automaattiset asetukset vaihdetaan manuaaliseen tilaan, jotta asetukset ovat yhtenäiset jokaisessa kuvassa.

On myös suositeltavaa vaihtaa kamera RAW-kuvamuotoon, joka tallentaa kuvan datan ja väriarvot käsittelemättömässä ja tarkassa muodossa. Tätä vaihtoehtoa ei ole käytössä olevassa kamerassa, mutta vastaavana asetuksena säädämme kuvien datakompression minimaaliseksi, jotta mahdollisimman paljon dataa säilyy.

#### 4.2 Kuvausympäristö

Turhan kuvadatan minimoimiseksi on tärkeää eliminoida ylimääräiset visuaaliset elementit kuvista sekä taata kuvattavan kohteen visuaalinen selkeys.

Kuvausympäristöksi on suositeltavaa käyttää hyvin valaistua tilaa, jossa on yksivärinen tausta. Valaistuksen tarkoituksena on poistaa varjoja kuvattavasta kohteesta. Tausta puolestaan minimoi tarpeettomat visuaaliset elementit.

Taustan väriä valittaessa on huomioitava kuvattavan kohteen värit, etteivät ne sekoitu taustan kanssa. Suositeltavia värejä ovat musta tai valkoinen. Myös vihreä tai sininen ovat sovellettavia, jos niiden kanssa käytetään chroma key -tekniikkaa, jolla poistetaan tausta kokonaan, ja jätetään vain skannattava kohde jäljelle.

Pienten esineiden skannaamiseen sopivan ympäristön saa helposti valolaatikolla/ministudiolla, jolla on vaihdettavat taustavärit. Käytännön osuudessa käytetään König KN-Studio12 -ministudiota ja testataan mustaa ja valkoista taustakangasta. Taustavärejä vaihdellaan, jos skannaustulos on huono tai kuvattavassa kohteessa on liikaa taustan väriä, jolloin se voi häiritä skannausta. (11.)

### 4.3 ISO

ISO, eli valoherkkyys, alun perin hallitsi sitä, kuinka paljon kamera kerää valoa, mikä määrittää valokuvan kirkkauden. Nykyään ISO ei kirjaimellisesti määritä valoherkkyyttä, vaan keinotekoisesti tulkitsee otetulle kuvalle kirkkauden.

ISO-arvo alkaa tavallisesti luvusta 100, ja kukin seuraava arvo kaksinkertaistaa edeltävän luvun, mikä myös tarkoittaa, että kukin arvo kaksinkertaistaa kuvan kirkkauden. Suurempi arvo lisää myös riskiä, että kuvaan tulee epätarkkuuksia, mikä tapahtuu, jos lähtökuvassa on kirkkaita tai pimeitä alueita, joita kamera ei pysty tulkitsemaan tarkasti kirkastusprosessissa. Korkeaa ISOa käytetään pääasiassa pimeässä kuvaamiseen. Muutoin ISO-arvo kannattaa pitää matalana parhaan kuvanlaadun takaamiseksi. (12.)

Käytännön vaiheessa käytettävä valokuvausympäristö on hyvin valaistu, joten skannauskuvia varten käytämme arvoa 100.

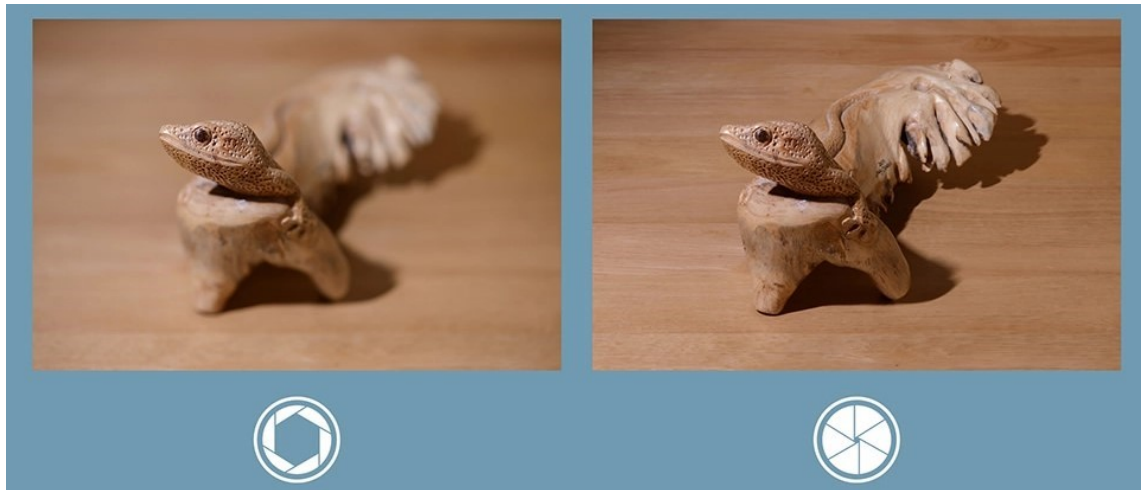
### 4.4 Valotus

Valotus tarkoittaa valon määrää, joka saavuttaa kameran sensorin tai filmin. Se määrittää kuinka kirkkaalta tai tummalta lopullinen valokuva näyttää. Kamerassa on vain kaksi asetusta, jotka vaikuttavat valotukseen: apertuuri ja valotusaika. Myös ISO vaikuttaa valokuvan kirkkauteen mutta eri syistä.

#### 4.4.1 Apertuuri

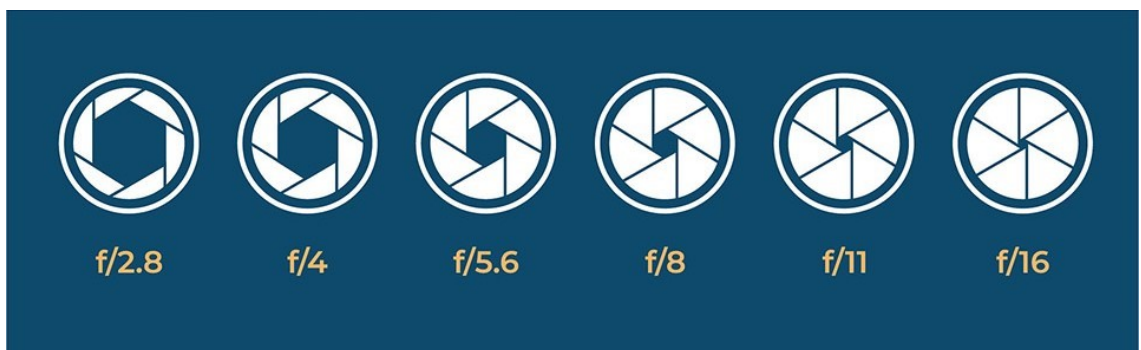
Apertuuri on kameran linssin keskellä oleva aukko, joka toimii samalla periaatteella kuin silmän pupilli. Se säätelee valon pääsyä sisään: suuri aukko päästää enemmän valoa, jolloin kuvan on kirkkaampi, ja pieni aukko päästää vähän valoa, jolloin kuva on tummempi.

Valotusta tärkeämmin aperttuuri vaikuttaa syväterävyyteen, eli kuinka tarkasti kuvan eri etäisyyksissä olevat elementit näkyvät. Suuri aperttuuri antaa pienen ja pieni aperttuuri suuren syväterävyyden. Suuriaperttuurisessa kuvassa vain tietyllä etäisyydellä oleva kohde näkyy tarkasti, mutta muut liian lähellä tai kaukana olevat elementit, kuten tausta, ovat sumuisia.



Kuva 8. Suuren (vas.) ja pienen (oik.) aperttuurin vaikutus syväterävyyteen.

Aperttuurin arvoista on tärkeää ymmärtää, että pienempi arvo tarkoittaa suurempaa aperttuuria. Tämä johtuu siitä, että aperttuurin arvot ovat murtolukuja. Suurin aperttuuri on usein noin  $f/1,4$  ja pienin  $f/16$ , mutta minimi- ja maksimiarvot vaihtelevat kameran mukaan.



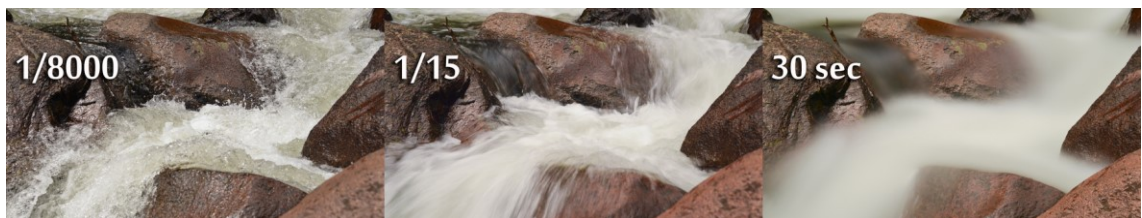
Kuva 9. Aperttuurikokoja.

Käytännön vaiheessa käytössä olevassa kamerassa ei ole käsin säädettävää apertuuria, mutta skannausta varten tullaan käyttämään lähikuvausmoodia, joka esiintyy kukka-symbolina kamerassa. Apertuuri-tieto on myös referenssinä, jos käytännön vaiheessa on tarve vaihtaa kameraa tai tämän opinnäytetyön lukija on toistamassa projektia.

#### 4.4.2 Valotusaika

Valotusaika on yksinkertaisesti se, kuinka kauan kamera ottaa valokuvaa ja päästää valoa sisään. Sen vaikutus valotukseen on yksinkertainen: mitä kauemmin kuvaa otetaan, sitä kirkkaampi kuva. Valotusaika voi kestää murto-osasekunnista jopa puoleen minuuttiin. Myös pidemmät, jopa vuosien valotusajat ovat mahdollisia, mutta vaativat erityisesti valmistettuja kameroita.

Valotusajasta on huomioitava, että myös kaikki liike tallentuu valotusajan aikana, minkä takia pitkän valotusajan kuvat ovat alttiita liikesumulle. Fotogrammetriaa varten valotusajan olisi hyvä olla varsin lyhyt, mutta on varottava, ettei se tummenna kuvaa liikaa. (13.)



Kuva 10. Valotusajan vaikutus liikesumuun.

Käytännön vaiheessa käytössä oleva kamera säätää valotusajan automaattisesti, mutta oletusaika näyttää olevan noin 1/60 sekuntia, joka teoriassa riittää fotogrammetriaan, jos kameran ja esineen liike on minimoitu.

#### 4.5 Polttoväli

Kameran polttoväli ilmaisee, kuinka ”zoomattu” kamera on. Arvo ilmaistaan millimetreinä (mm). Polttovälin pidentyessä kameran näkökenttä pienenee, ja tämä heijastuu eri polttovälien ja objektiivien käyttötarkoituksissa. Lyhyemmät polttovälit soveltuvat maisemakuvaukseen, mutta lähi- tai objektikuvauksessa ne voivat vääristää kuvauskohteen piirteitä kameran perspektiivistä johtuen. Noin 45 – 50 mm:n polttoväli vastaa suunnilleen ihmissilmän perspektiiviä ja taltioi parhaiten mitä näemme. (14.)



Kuva 11. Lyhyen ja pitkän polttovälin ero. Huomataan, kuinka lyhyt väli vääristää kohteen kasvonpiirteitä.

Fotogrammetriaa ajatellen haluamme välttää lyhyempiä polttovälejä, jotta saamme mahdollisimman realistisen kuvan skannattavasta objektista. Tässä voi olla käytännön testien suurin haaste: käytössä olevan kameran polttoväli on vain 4,3 - 21,5 mm, mikä voi vaikuttaa kuvien laatuun. Välttääksemme vääristymisiä mahdollisimman paljon käytämme kameran lähikuvausmoodia ja pidämme sitä riittävän etäällä kompensoidaksemme perspektiiviä kuvauskohteeseen.

## 5 Kuvaus ja skannaus

Valokuvat otetaan König KN-Studio12 -ministudiossa. Studio on kehikko, jonka sivuilla ja päällä on valkoiset kankaat, jotka hajottavat valoa, jotta kuvauskohde ei saa liian vahvoja varjoja. Studiossa käytetään mustaa taustakangasta, mutta se vaihdetaan valkoiseen, jos kuvauskohde sisältää paljon mustaa.

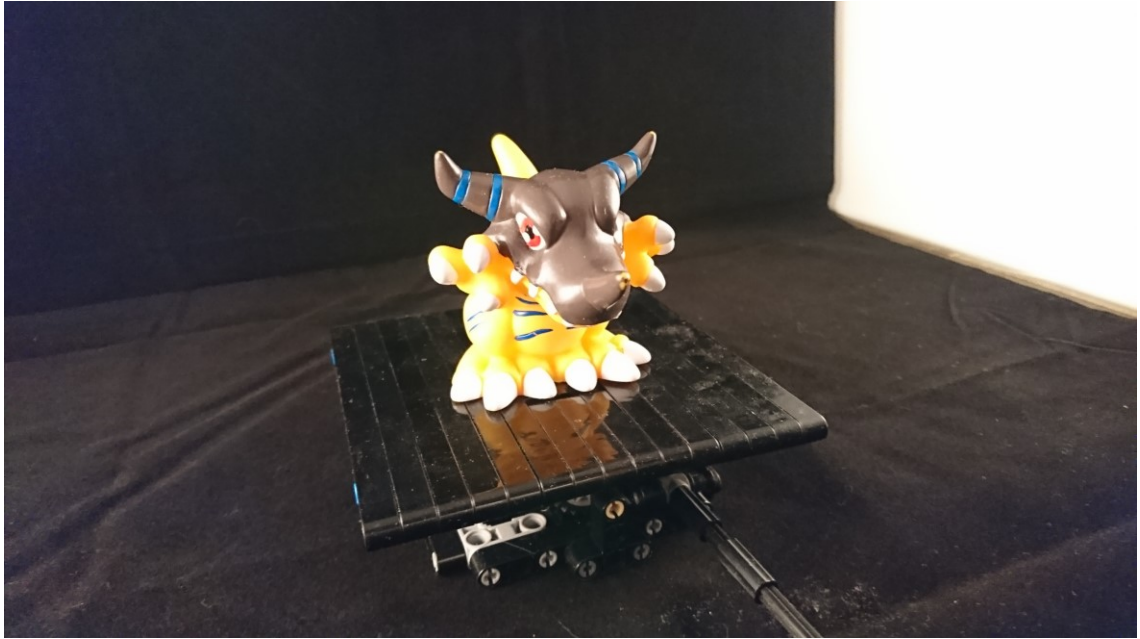
Kuvauskohteen alla on Lego Technic -osista rakennettu kääntöpöytä, joka on kytköksissä kampeen, joka kääntää pöytää 12 astetta per kierros. Näin valokuvat saadaan otettua tasavälein 30 kuvakulmasta. Kuvauskierros toistetaan eri kamerajalustan korkeuksilla, jos se vaikuttaa tarpeelliselta kuvauskohteesta riippuen.



Kuva 12. Kuvausjärjestelyt tässä insinööriyössä.

Ensimmäiseksi skannattavaksi testikohteeksi on valittu pieni Greymon-figuuri, jonka syynä figuurin pieni koko, kirkaat värit ja yksinkertainen muoto, minkä pitäisi helpottaa skannauksen prosessointia. Kun tämä yksinkertainen skannaus on suoritettu, voidaan kokeilla jotain, mikä sisältää enemmän yksityiskohtia ja komplekseja muotoja.





Kuva 13. Kuvausjärjestelmän kääntöpöytä ja Greymon-figuuri.

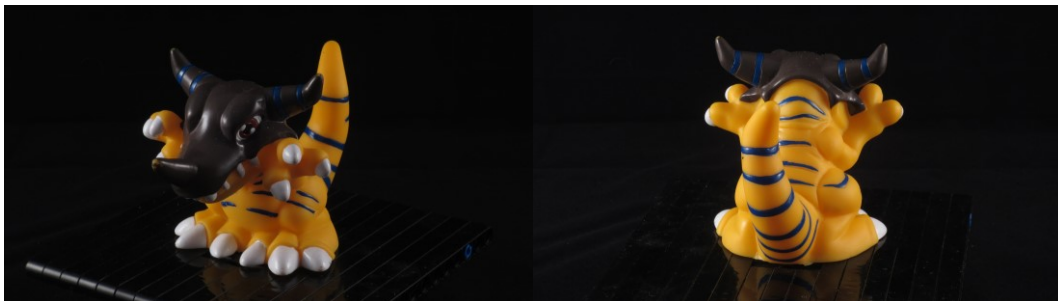
Kameran asetukset manuaalisessa tilassa ovat ISO 100, lähikuvausmoodi, -1 valotus, 2 sekunnin viive laukaisimessa. Kamera on noin puolen metrin päässä ja hieman figuuria korkeammassa asemassa, jotta figuurin päällinen puoli tallentuu kuviin. Tiedostokoot ja resoluutiot ovat mahdollisimman suuret.

### 5.1 Ensimmäiset kuvat ja niiden arviointi

Ensimmäiset 30 testikuvaa näyttävät onnistuneilta. Niissä ei ole sumeutta, syvyysnäkyvä näyttää hyvältä ja jopa pölyhiukkaset näkyvät selkeästi. Muutamasta epäkohdasta huolimatta niillä voidaan jatkaa testiskannaukseen. Myös kuvausjärjestelyt näyttävät toimivilta, joten niitä ei tarvitse muuttaa myöhempiä skannauksia varten, paitsi kohdevaloja voi asetella hieman paremmin.

Mahdollisia epäkohtia:

- Kuvauskohteen kuonon sarvi. Joissain kuvissa se vaikuttaa hieman sumealta, koska se on lähimpänä kameraa, mutta tästä on vaikea varmistua, koska sarvi on tumma.
- Kolme kuvaa ovat jostain syystä muita kirkkaampia. Tämä johtuu todennäköisesti kameran automaattisista toiminnoista, joille ei saa manuaalista säätöä. Tämä on rajoite, joka koskee pokkarikameroita, mahdollisesti myös puhelimia.
- Kuvat vaikuttavat hieman tummilta ja tuntuvat sisältävän melko tummia varjoja. Valotusarvon lisääminen ja kohdevalojen asettelun muuntaminen on todennäköinen ratkaisu.



Kuva 14. Vasemmalla testikuva ja oikealla normaalia kirkkaampi kuva, joka on mahdollinen häiriötekijä.



## 5.2 Skannausohjelma

Tämän insinööriyön skannausohjelmaksi on valittu Meshroom-niminen avoimen lähdekoodin sovellus. Sen lisäksi, että ohjelma on ilmainen, se luo skannaukset .obj-muotoon, minkä voi syöttää suoraan pelimoottoriin. Toinen merkittävämpi tekijä, joka johti Meshroomin valitsemiseen, oli sen virtaviivaistettu prosessi. Sovellukseen on rakennettu valmiiksi node-pohjainen putkisto, joka suorittaa fotogrammetrian kaikki vaiheet järjestyksessä tarvitsematta käyttäjän ohjausta.

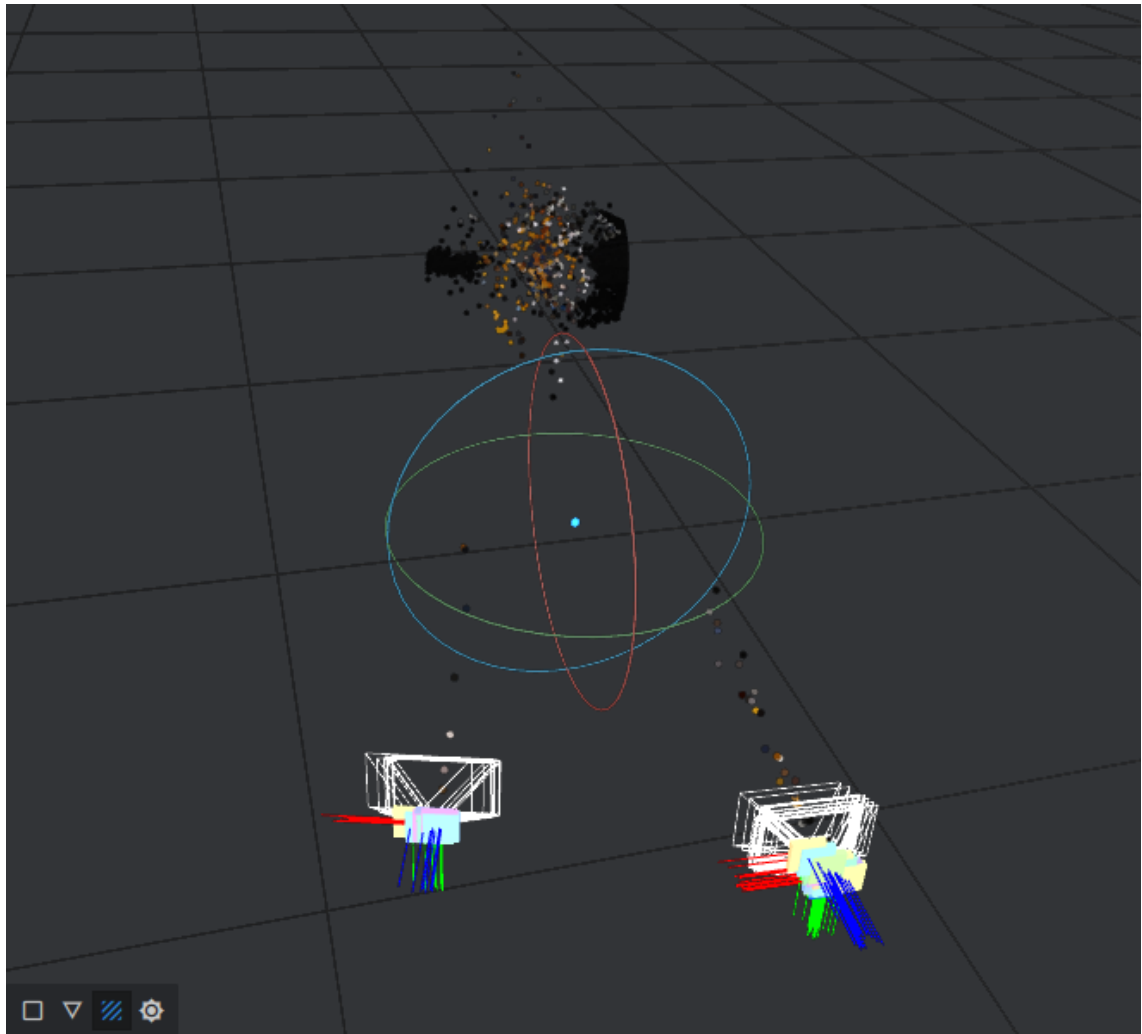
## 5.3 Ensimmäinen testi

Ensimmäiset skannausyritykset toivat usean ongelman esille. Ensimmäisessä yrityksessä prosessi päättyi virheeseen ImageMatching-nodessa. Tämä korjattiin poistamalla kuvaklusterista kolme muita kirkkaampaa kuvaa. Värien yhteneväisyys on siis tärkeää tämän pohjalta. Myös keinovalaistuksen häiritsevä vaikutus nousee pohdintaan.

Toinen yritys meni pidemmälle, mutta sekin päättyi virheeseen tällä kertaa myöhemmässä StructureFromMotion-nodessa. Ohjelma ei pystynyt kunnolla löytämään kuvapareja, joilla se voisi alkaa muodostaa 3D-mallia. Tämä vihjasi siihen, että skannaukseen käytetyt 27 kuvaa eivät olleet riittävät. Korjausyrityksenä yritettiin laskea skannauksen parametrejä. FeatureExtraction-noden DescriptorDensity ja DescriptorQuality nostettiin High-tasolle, akaze otettiin käyttöön describer-tyyppinä, ja FeatureMatching-nodessa otettiin käyttöön Guided Matching. (15.) Tämä pidensi skannausprosessin kestoa huomattavasti aiemmasta tunnista useaan tuntiin.

Viimeinen testi ensimmäisellä klusterilla toi skannausprosessin päätökseen ongelmitta, mutta skannaustulos ei ole selkolukuinen. Ohjelma tulkitsi, että kaikki kuvat on otettu vain kahdesta eri kuvakulmasta, jolloin kaikki data on sekoittunut, mikä luo sekavan monipistepilven. Potentiaalisia syitä on monia, mutta pääsyyksi epäillään huonoa valaistusta ja liian pientä kuvaklusteria. Kohdevalojen takia skannauskohteen varjot ja värit muuttuvat, mikä todennäköisesti vaikeuttaa yhteispisteiden löytämistä skannauksessa. Skannauskohde saattaa myös heijastaa valoa liikaa ja sisältää liian

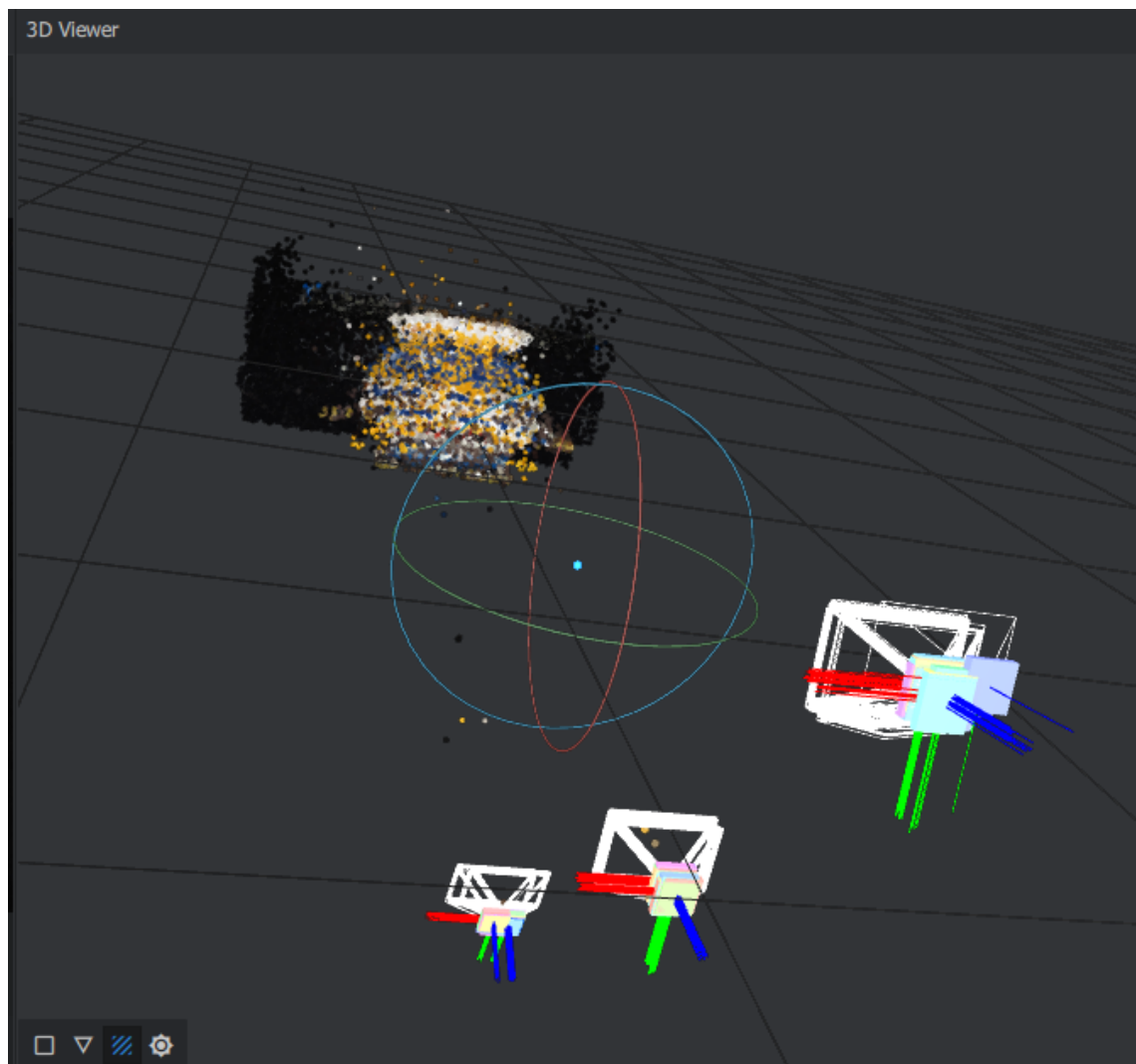
vähän yksityiskohtia, joihin skannausohjelma voisi tarrautua. Vaihtoehtoista kohdetta harkitaan seuraavaan skannausklusteriin, samoin luonnonvaloa tai muunneltua valaistusta.



Kuva 15. Ensimmäinen skannaustulos. Monipistepilvi on sekava, ja kameran sijainti (valkoiset laatikot) tulkittu vain kahteen pisteeseen siitä huolimatta, että kuvat otettiin 27 eri kulmasta.

#### 5.4 Toinen testi

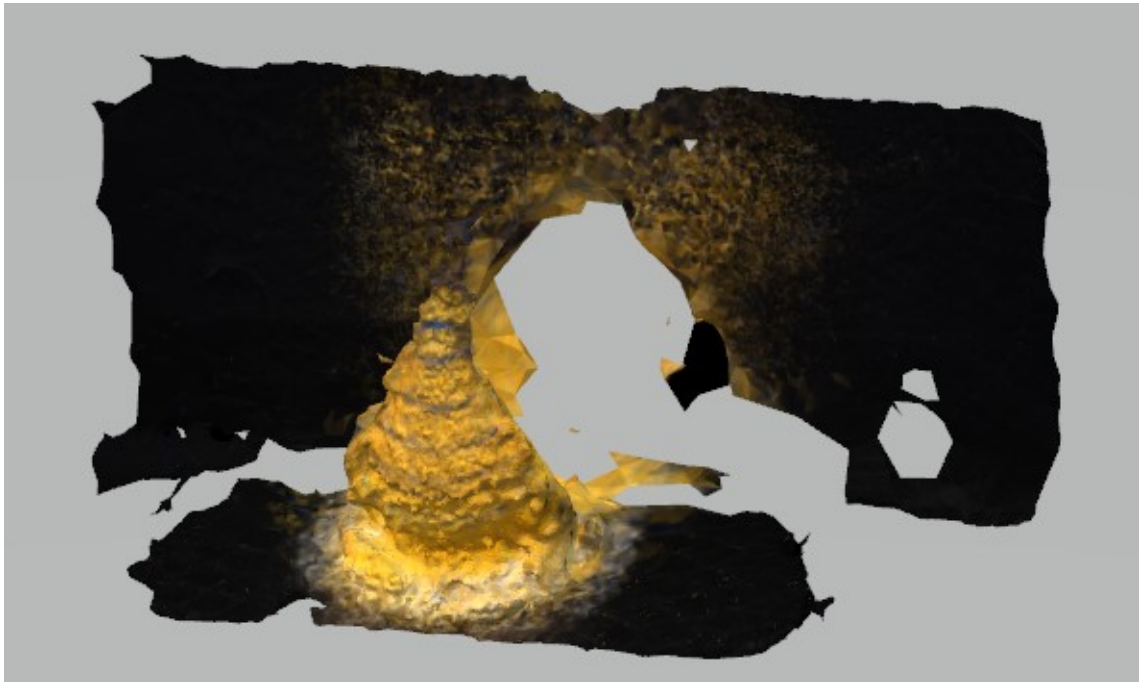
Toiseen testiklusteriin otettiin 90 kuvaa kolmelta eri korkeudelta. Asetukset pysyivät oletuksena, mutta akaze otettiin taas describer-typiksi, koska se auttoi saattamaan skannauksen jonkinlaiseen tulokseen ensimmäisessä testissä. Akaze on käytössä myös jatkossa. Suurempi kuvaklusteri antoi huomattavasti paremman monipistepilven, mutta ongelmaksi edelleen osoittautui, että kaikki kuvakulmat oli jälleen tulkattu yhteen. Tosin kuvauskulmien korkeuserot oli tunnistettu.



Kuva 16. Toisen testin monipistepilvi.

Valmistunut 3D-malli valaisi ongelman ydintä. Todennäköinen syy ongelmiin oli, että Meshroom priorisoi kuvien taustan skannausprosessissa, jolloin kääntöpöydällä pyörivä kuvauskohde sulautui jokaisen kuvakulman kompromissiksi. Tummasta taustasta huolimatta ohjelma pystyi löytämään siitä tarpeeksi yksityiskohtia skannattavaksi.

Oli ilmeistä, että kääntöpöydän kanssa tarvittaisiin muita tekniikoita, jotta sen kanssa saataisiin toimivia skannauksia. Tämä tarkoittaisi tapoja, joilla kuvista voidaan poistaa tarpeettomia elementtejä esikäsittelyllä. Tällaisia keinoja voisi olla mm. green-screen-kuvaustausta, jolla poistetaan kaikki paitsi kuvauskohde jokaisesta kuvasta, tai käyttämällä kuvankäsittelymaskia, jolla maalataan pois kuvan turhat elementit. Maskin saatavuus riippuu käytetystä skannausohjelmasta.



Kuva 17. Toisen testin valmistunut 3D-malli.

## 5.5 Kolmas ja neljäs testi

Kolmannessa testissä tausta vaihdettiin valkoiseksi, mutta aiemmin osoittautuneet ongelmat säilyivät: ohjelma priorisoi taustan ja mallista tuli massa.

Internetistä löytyy monia taustan poisto-ohjelmia, mutta jokainen niistä on joko maksullinen tai rajoittaa kuvien laatua ilman ohjelman tilausta. Mikäli jossain internetin syövereissä on laadukas ilmainen taustanpoistaja, olisi kiinnostavaa tietää. Mutta tällaisen puutteessa tämä työ siirtyi perinteisempään skannausmetodiin, eli kuvauskohde on paikallaan, ja kuvaaja sekä kamera liikkuu kohteen ympäri. Valitettavasti tämä vaati studiotauustasta luopumista.

Neljännessä testissä kuvauskohde asetettiin talousjakkaralle ja kuvat otettiin käsintuntumalta sisätiloissa ja vain päivänvalossa. Ilman kuvaustelinettä kuvien laatu hieman kärsi, mutta skannaustulos oli ensimmäinen onnistunut. 3D-malli valmistui ylösalaisin jostain syystä, mutta tulos oli askel oikeaan suuntaan.



Kuva 18. Ensimmäinen onnistunut 3D-malli.

## 5.6 Viides testi

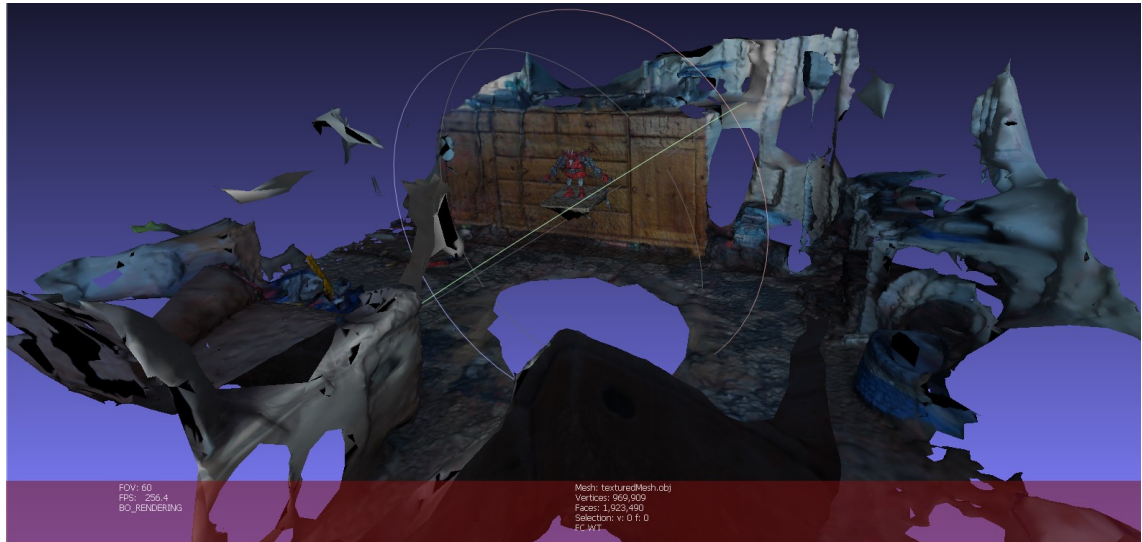
Neljännän testin rohkaisemana viides testi käytti uutta kompleksimpaa kuvauskohdetta: legoista rakennettua toimintafiguuria. Kuvaustapa oli lähestulkoon sama: figuuri talousjakkaran päällä, mutta kamera oli jälleen kameratelineessä toisen jakkaran päällä, jolloin kuvat olivat taas vakaita siirtämällä jakkaraa ja jalustaa kohteen ympäri. Figuuri oli asetettu T-asentoon, jotta se skannautuisi paremmin.



Kuva 19. Uusi kompleksimpi skannattava kohde. Legoista rakennettu figuuri, joka perustuu Awesomenauts-pelin Skølldir-hahmoon.

101 kuvasta koostuva skannausklusteri toi melko hyvän skannaustuloksen, mutta monipistepilveen tallentui myös runsaasti ympäristöä. Tämä on yksi pääsyyistä, miksi taustojen poistaminen olisi suositeltavaa, mutta vaatisi automatisoitua ohjelmistoa, jotta jopa satoja taustoja ei tarvitsisi poistaa manuaalisesti. Toinen syy on, että taustojen poisto leikkaisi skannauksen prosessointiaikaa runsaasti. Lopullinen malli oli helposti korjattavissa leikkaamalla kaikki ylimääräinen pois 3D-mallista, mutta olisi suotavaa, että tämän saisi tehtyä ennalta edellämämainituista syistä. Mallista puuttuu myös yksityiskohtia, mikä viittaa, että tarkempi skannaus vaatii vielä enemmän kuvia. Malli vaikuttaa kuitenkin riittävän hyvältä, että se soveltuu seuraavaan vaiheeseen.





Kuva 20. 3D-malli. Ilman taustojen poistoa tulokseen tallentui paljon huonetta.



Kuva 21. Sama 3D-malli, huone leikattu pois. Mallissa puuttuvia yksityiskohtia.

## 6 Mallin valmistelu, animointi ja implementointi pelimoottoriin

Tätä aihealuetta käydään vähemmällä tarkkuudella, koska se koskee insinööriyön päätavoitetta vain sivuavasti.

### 6.1 Mallin optimointi

Jotta 3D-malli ei rasittaisi pelimoottoria liikaa, sen polygonimäärää pitää vähentää. Riippuu siitä, onko malli pelihahmo vai ympäristöobjekti, suositellavat polygonimäärät vaihtelevat. Taustaobjektien polygonimääräksi riittää maksimissaan 20 000 polygonia tai noin kymmenesosa siitä, jos kyseessä on mobiilipeli. Pelattavalle hahmolle suositus on maksimissaan 100 000 polygonia, joten tämä on tavoite mallillemme. (16.)

Työhön skannatulla 3D-mallilla on vajaa 500 000 polygonia, joten sen polygonimäärää voi vähentää runsaasti käyttämällä MeshLabin filteriä ”Simplification: Quadric Edge Collapse Decimation (with texture)”, joka vähentää polygoneja yrittäen ylläpitää mallin muotoa ja väritystä. Polygonimäärän vähennyttyä noin 100 000:een mallin ulkonäkö ei ole muuttunut merkittävästi.

Mallista poistettiin myös leijuvat komponentit, jotka siihen olivat syntyneet skannauksen johdosta. Tällä minimoitiin riskejä seuraavasta vaiheesta, riggauksesta. Koska kuvia ei ollut tarpeeksi, tai ne eivät näyttäneet tarpeeksi yksityiskohtia tietyiltä alueilta, kyseiset alueet ovat muotoutuneet virheellisesti, ja ne sisältävät usein irtautuneita osia. Mallin selkä ja oikean käden sormet erityisesti sisälsivät tätä ongelmaa. Toinen ongelma oli myös, miten käsivarret olivat mallissa liimautuneet figuurin kylkiin. Nämä alueet siistittiin karkeasti poistamalla ei-toivotut polygonit ja paikkaamalla syntyneet reiät niin, että mallin kädet voivat liikkua vapaammin. Myös jalkapohjat suljettiin, koska niitä ei voitu renderöidä 3D-skannauksessa.



Skannauksen jäljiltä mallin orientaatio ja keskipiste olivat vialliset. Jatkotoimien helpottamiseksi ne piti asettaa uudelleen. Tämä oli mahdollista MeshLabin toiminnoilla, mutta jostain syystä MeshLab ei tallentanut näitä muutoksia exportattuun malliin. Orientaatio ja keskitys suoritettiin Blenderissä, joka oli myös seuraavan vaiheen keskeinen työkalu.

## 6.2 Mallin riggaus

Riggauksella tarkoitetaan "luurangon" luomista 3D-mallille. Malliin luodaan virtuaaliset luut, jotka kontrolloivat mallin asentoa ja liikettä. Luut ovat kytköksissä toisiinsa, joko fyysisesti tai matemaattisella etäisyydellä, jolloin ne simuloivat niveliä. Luiden määrä vaihtelee, mikä riippuu siitä kuinka paljon liikettä mallilta toivotaan.

Yksityiskohtaisemmissa malleissa esimerkiksi sormille voi tehdä omat luut, jotta mallin eleitä voi kontrolloida tarkemmin.

Tämän työn mallia käytetään vain yksinkertaiseen demonstraatioon, joten sen luuranko on yksinkertaisempi: selkäranka, pää, kädet, ja jalat. Sormiluille ei ole tarvetta tässä tapauksessa.



Kuva 22. Työmme 3D-mallin riggi. Kuvakaappaus Blenderistä.

Luurangon luonnin jälkeen se pitää vielä yhdistää malliin itseensä painomaalaamalla luut. Painomaalaus merkkää, mihin alueisiin kunkin luun liike vaikuttaa. Tälle on onneksi automaattinen toiminto, mutta sen käyttö vaatii, että mallissa ei ole elementtejä, jotka estävät tämän. Tyypillisesti tämä tarkoittaa irtonaisia komponentteja mm. tapauksissa, joissa malli on luotu useasta osasta, jotka eivät ole kiinni toisissaan. Näissä tapauksissa menettely on hieman erilainen. Fotogrammetrinen mallimme on vain yksi osa, joten automaattisen toiminnon pitäisi toimia. Vaihtoehtoisesti luut voi painomaalata manuaalisesti, mutta prosessi on huomattavasti hitaampi. (17.)

Automaattinen painomaalaus ei toiminut ensi yrittämällä. Vaikka leijuvat komponentit poistettiin, kävi ilmi, että poistettujen polygonien kulmapisteet olivat jääneet leijumaan mallin ympärille. Niiden poiston jälkeen luuranko yhdistyi malliin asiallisesti. Joidenkin luiden liike vaikutti mallin muotoon liikaa, mutta tämä oli helppo korjata maalaamalla pois osan painomaalausalueista.

### 6.3 Mallin animointi

Mallin animaation ei tarvinnut olla monimutkainen. Tarkoituksena oli tehdä yksinkertainen askelliike sivulle, joka toimisi idle-animaationa. Riggauksessa oli tosin tapahtunut jonkinlainen virhe, joka sai mallin vasemman käden liikkumaan ja venymään luonnottomasti suhteessa muuhun vartaloon, joten tyydyimme yksinkertaiseen pään kääntöliikkeeseen välttääksemme turhan painimisen animaation kanssa. Pään liike tallennettiin yhtenä liikesarjana, mutta niitä voi tehdä usean eri tarkoitukseen, kuten kävelyanimaatio eteenpäin, taaksepäin ja sivuille. Animoitu malli exportattiin tiedostoihin. (18.)

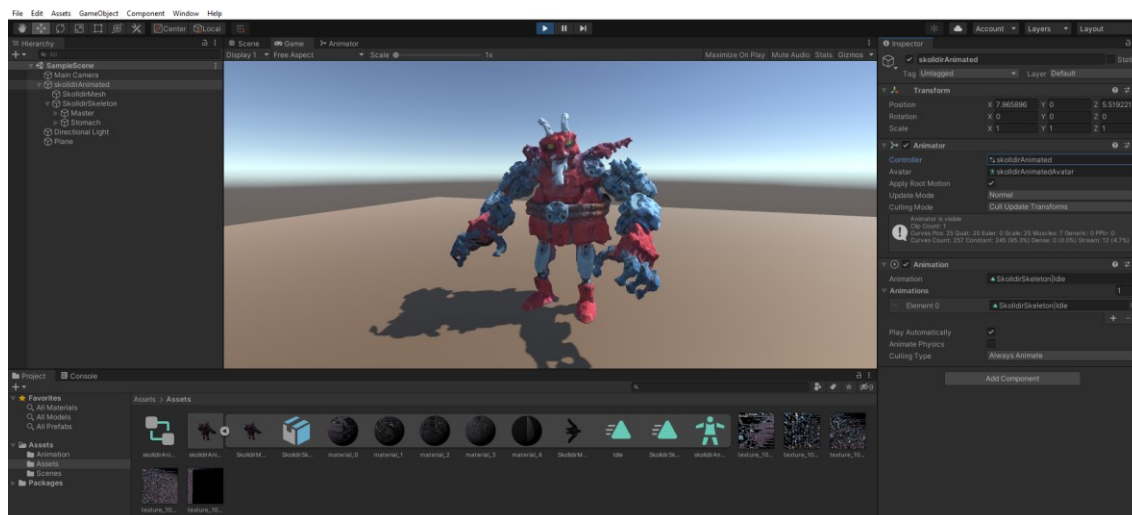


Kuva 23. Rigin idle-animaation muokkaus. Pää kääntyy ensin oikealle, sitten vasemmalle, ja lopuksi eteen.

#### 6.4 Mallin siirto pelimoottoriin

Mallin siirto Unity-pelimoottoriin oli nopea prosessi. Unityyn luotiin tasainen alusta, jossa malli voi seistä, ja exportattu mallimme pystyttiin tiedostoista hiirellä siirtämään moottorin kansioihin. Mallin tekstuurit eivät siirtyneet moottoriin, vaan olivat valkoiset, mutta siirtämällä alkuperäisen mallin materiaalitiedostot niiden päälle mallin väritys palautui.

Jotta mallin animaatiot toimivat moottorissa, piti importatulle mallille lisätä animator-komponentti, sekä mallin mukana tuotu idle-animaatio. (18.) Animaatio laitettiin looppaamaan, ja kokonaisuus toimi play-tilassa. Mallille ei ohjelmoitu liikettä, koska työn tarkoitus oli vain todistaa konsepti, että fotogrammetrisia malleja voi soveltaa myös animoiduiksi pelattaviksi hahmoiksi.



Kuva 24. Malli suorittamassa idle-animaatiota play-tilassa.

## 7 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli selvittää fotogrammetrisen skannauksen vaatimukset ja prosessit, joilla voidaan luoda fyysisen figuurin pohjalta pelattava hahmo videopeliin. Vaikka fotogrammetriassa kuvien laadulla on suuri rooli, tekniikan kehittyessä nykyään on mahdollista käyttää joka kodin laitteita, kuten pokkarikameroita, niin kuin tässä työssä, tai jopa älypuhelimia hyvänlaatuisten mallien tekoon.

Työssä käytetyn fotogrammetriaohjelman yksinkertaisuus mahdollisti kokeiluja kuvata kohteita kääntöpöydällä, mutta skannaustestit ilmaisivat, että näissä tapauksissa ohjelma priorisoi taustan kuvauskohteen sijaan. Halutun skannaustuloksen saamiseksi kuvista pitäisi poistaa taustat, mutta tämä olisi pitkä prosessi ilman ohjelmistoa, joka poistaisi taustat suurista kuvamääristä kerralla. Tällaisia ohjelmistoja on olemassa, mutta ne ovat maksullisia, ja kuvakohtainen hinnasto ei toistaiseksi ole fotogrammetria- tai opiskelijajaystävällinen.

Mallin skannaus olli yksinkertainen, mutta pitkäkö prosessi. Vaikka valokuvaus on varsin tuttua, kokemattomuus fotogrammetriasta pidensi toimivan skannauksen saamista. Kääntöpöytätestit eivät tuottaneet hedelmää, niin loppupeleissä malli kuvattiin perinteisesti kävelemällä kohteen ympäri. Noin sadalla kuvalla syntyi melko

hyvä malli, mutta tulos korosti, että kuvia olisi ammattimaisemmassa tilanteessa hyvä olla jopa satoja, koska monet raot ja välit eivät muotoutuneet erityisen hyvin skannaustuloksessa. Mahdollisia häiriötekijöitä voivat olla kuvatun muovifiguurin kiiltävyys ja kuvien taustojen luoma ylimääräinen saaste.

Mallia hienosäädettiin putsaamalla siitä ylimääräisiä ja irtonaisia elementtejä keskittämällä ja orientoimalla se uudelleen. Sille tehtiin myös animaatoriggi, jolla sille luotiin pieni idle-animaatio. Animoitu malli saatiin toimimaan Unity-pelimoottorissa.

Mallin ulkonäkö oli melko karkea skannauksen jäljiltä verrattuna elävään vastakappaleeseensa, mutta tallensi olennaiset piirteet melko hyvin. Mallin ulkonäköä voisi parantaa optimoimalla sen kuvamääriä ja kuvauskulmia skannauksessa, hienosäätämällä tekstuureja ja valaistusta, tai muokkaamalla sen 3D-mallia sileyttävin tekniikoin. Näistä jatkotoimenpiteistä pystyisi kirjoittamaan uuden opinnäytetyön.

Fotogrammetria osoittautui varsin kehittyneeksi tekniikaksi, kun huomioidaan miten virtaviivaistettu mallin luontiprosessi oli. Tekniikka voi avata mahdollisuuksia kuvanveistäjille ja vastaaville harrastajille esimerkiksi pelialalla, jossa 3D-mallitekniikoille on aina tarvetta. Mallien optimointi vaatii tavallisesti graafisia toimenpiteitä, mutta on mahdollista, että ne voidaan minimoida, jos fotogrammetrian kuvausympäristö ja kuvausmenetelmät saadaan tilaan, missä malli syntyisi ideaalissa olemuksessaan.

## Lähteet

- 1 What is 3D scanning? A definitive guide. 2021. Verkkoaineisto. Capture 3D Inc. <<https://www.capture3d.com/knowledge-center/blog/what-3d-scanning-definitive-guide>> Luettu 22.10.2020.
- 2 Bennett, Allison. 2019. An introduction of 3D scanning and 3D scanners. Verkkoaineisto. <<https://www.revopoint3d.com/an-introduction-of-3d-scanning-and-3d-scanners/>> 12.10.2019. Luettu 23.10.2020.
- 3 What is photogrammetry? 2020. Verkkoaineisto. Geodetic Systems Inc. <<https://www.geodetic.com/v-stars/what-is-photogrammetry/>> Luettu 5.11.2020.
- 4 Photogrammetry. 1998. Verkkoaineisto. Encyclopaedia Britannica. <<https://www.britannica.com/science/photogrammetry/>> 21.10.2016. Luettu 5.11.2020
- 5 Walford, Alan. 2017. What is photogrammetry? Verkkoaineisto. <<http://www.photogrammetry.com/>> Luettu 5.11.2020.
- 6 Dessler, Wendy. 2018. Most common business uses of photogrammetry. Verkkoaineisto. GIS Resources. <<https://www.gisresources.com/common-business-uses-photogrammetry/>> 1.10.2018. Luettu 6.11.2020.
- 7 Young, Chris. 2020. 11 incredible engineering-related applications for photogrammetry. Verkkoartikkeli. Interesting Engineering. <<https://interestingengineering.com/11-incredible-engineering-related-applications-for-photogrammetry>> 24.5.2020. Luettu 6.11.2020.
- 8 Marre, Fabrice. 2021. Photogrammetry, game-engines and the geospatial industry. Verkkoartikkeli. Aerometrex. <<https://aerometrex.com.au/resources/blog/photogrammetry-game-engines-and-geospatial-industry/>> Luettu 11.11.2020.
- 9 Megascans. 2021. Verkkoaineisto. Quixel AB. <<https://quixel.com/megascans/home/>> Luettu 11.11.2020.
- 10 Photogrammetry in game industry, 4A games experience. 2019. Haastatteluartikkeli. SMNS Games. [<https://smns-games.com/photogrammetry-in-game-industry-4a-games-experience/>] Luettu 11.11.2020.

- 11 Haines, Julia. 2019. Photogrammetry workflow using a DSLR camera. Blogi. University of Virginia Library. <<https://scholarslab.lib.virginia.edu/blog/documentation-photogrammetry/>> 24.9.2019. Luettu 18.11.2020.
- 12 Mansurov, Nasim. 2019. What is ISO? The complete guide for beginners. Verkkoaineisto. Photography Life. <<https://photographylife.com/what-is-iso-in-photography>> 14.8.2019. Luettu 5.2.2021.
- 13 Cox, Spencer. 2019. What is exposure? (A beginner's guide.) Verkkoaineisto. Photography Life. <<https://photographylife.com/what-is-exposure>> 19.7.2019. Luettu 11.2.2021.
- 14 Dunlop, Josh & Holtzer, Gabor. 2021. What is focal length? (And why it matters in photography!). Verkkoaineisto. Expert Photography. <<https://expertphotography.com/understand-focal-length-4-easy-steps/>> Luettu 19.2.2021.
- 15 Reconstruction parameters. 2021. Verkkoaineisto. GitHub. <<https://github.com/alicevision/meshroom/wiki/Reconstruction-parameters>> 16.4.2021. Luettu 9.3.2021.
- 16 Maxwell, Wayne. 2019. How many polygons should a game model have? Blogi. CG Obsession. <<https://cgobsession.com/how-many-polygons-should-a-game-model-have/>> 13.12.2019. Luettu 23.3.2021.
- 17 Lund, Steve. 2019. Blender 2.8. tutorial: Rig any character for animation in 10 minutes! Video. CG Geek. <<https://www.youtube.com/watch?v=SBYb1YmaOMY>> 18.10.2019. Luettu 27.4.2021.
- 18 Kelly, Adam. 2019. Blender 2.8 to Unity – Animations (Idle, Forward, Left, Right). Video. Immersive Limit. <<https://www.youtube.com/watch?v=jH-VofVFsFo>> 23.6.2019. Luettu 29.4.2021.