

Opinnäytetyö (AMK)

Tietotekniikan Koulutusohjelma

Mediatekniikka

2016

Jaani Viljanen

3D-SKANNAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN PELINKEHITYKSESSÄ

MALLIN LUONTI PELIMOOTTORIIN
FOTOGRAMMETRIAA KÄYTTÄEN



Jaani Viljanen

3D-SKANNAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN PELINKEHITYKSESSÄ

- MALLIN LUONTI PELIMOOTTORIIN FOTOGRAMMETRIAA KÄYTTÄEN

Opinnäytetyössä tutkittiin, miten 3D-skannausta voidaan hyödyntää pelien kehityksessä. Skannaustekniikka jota työssä käytettiin on nimeltään fotogrammetria. Fotogrammetrian avulla voidaan luoda kolmiulotteisia malleja digitaalisista valokuvista. Työssä käytiin läpi prosessin vaiheet aina kuvaamisesta mallin optimointiin. Teoriaosuudessa tutkittiin kuvaamiseen liittyviä asioita, lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä ja mallin optimointiin liittyviä asioita.

Työosuudessa toteutettiin koeskannaus, jossa teoriaa sovellettiin käytäntöön. Tavoite oli luoda pelimoottorissa toimiva malli. Kohteesta otetut kuvat jälkikäsiteltiin ja ladattiin fotogrammetria-ohjelmistoon. Kuvien pohjalta kohteesta luotiin tarkka malli, josta jälkikäsiteltiin pelimoottoriin paremmin sopiva versio. Pelimoottorit, joihin malli oli tarkoitus liittää, olivat Unity3D ja Unreal Engine.

Fotogrammetria todettiin toimivaksi työkaluksi kolmiulotteisten mallien luomiseen. Tekniikka ei suoraan korvaa mitään tiettyä pelinkehitykseen liittyvää prosessia, vaan sitä voidaan käyttää avustamaan ja nopeuttamaan työntekoa. Vaikka työssä käsiteltiin mallin luontia pelinkehityksessä, pätevät kuvaamiseen liittyvät asiat alasta riippumatta.

ASIASANAT:

3D, 3D-skannaus, pelit, pelinkehitys, fotogrammetria

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information technology

2016 | 33

Principal Lecturer Mika Luimula, Adj.Prof.

Jaani Viljanen

THE UTILIZATION OF 3D SCANNING IN GAME DEVELOPMENT

- CREATING A GAME ASSET USING PHOTOGRAMMETRY

This thesis studies how 3D scanning could be used in the process of game development. The scanning technology used is called photogrammetry. With the help of photogrammetry, three-dimensional models can be created from digital photos. The theoretical part of this thesis examined photography, factors affecting the photographs, and requirements related to the optimization of the 3D models.

The practical part consists of a test scan where theoretical part was put into practice. The goal was to create a model, that could be used in a game engine. All the photos taken from the test subject were post-treated, and loaded in to a photogrammetry software. A high accuracy version model was created based on the photos. The model was then post-processed to be more suitable for game engines. The game engines which the model was intended to be imported were Unity3D and Unreal Engine.

Photogrammetry was found to be a very helpful tool in the process of creating three-dimensional models. While this technology does not directly replace any current part in the process of creating models for games, it can be used to assist the workflow and save time. Although this thesis was mostly about creating models for game development, the theory related to photography and the methods for taking photos apply to various fields.

KEYWORDS:

3D, 3D scanning, games, game development, photogrammetry

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 3D-SKANNAUS	2
3 FOTOGRAMMETRIA	3
3.1 Historia	3
3.2 Toimintaperiaate	4
3.3 Käyttötarkoitukset yleisesti	4
3.4 Fotogrammetria peleissä	5
4 KAMERAN ASETUKSET JA LAITTEISTOSUOSITUKSET	8
4.1 Kamera	8
4.1.1 Valoherkkyys (ISO)	8
4.1.2 Valotusaika	9
4.1.3 Aukko	11
4.1.4 Syväterävyys	11
4.1.5 Valkotasapaino	12
4.1.6 Tallennusmuoto	12
4.2 Tietokone	13
5 KUVAUS JA TULOKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	14
5.1 Vaikuttavat tekijät	14
5.2 Staattinen kamera	14
5.3 Liikkuva kamera	15
5.4 Tilan kuvaaminen	16
6 PELIALUSTOJEN SUOSITUKSET	17
6.1 Polygonimäärät	17
6.2 Tekstuurikoot	17
6.3 UV-kartta	18
7 KOHTEEN KOESKANNAUS	19
7.1 Kohteen valinta	19
7.2 Kuvaus	19

8 DATAN KÄSITTELY	21
8.1 Kuvien arviointi	21
8.2 Jälkikäsitteily	21
9 MALLIN LUONTI	22
9.1 Kuvien yhdistäminen	22
9.2 Tiheäpistepilvi	23
9.3 Mallin luonti	24
10 MALLIN OPTIMOINTI	25
10.1 Optimoidun mallin luonti pelimoottoriin	25
10.2 UV-kartan uudelleenluonti	26
10.3 Teksturointi	27
11 TULOSTEN TARKASTELU	28
11 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	31
KUVALÄHTEET	33

KUVAT

Kuva 1. Kuvakaappaus Brigham Young -yliopiston teettämästä 3D-mallista. Mallissa 24.8.2016 Italiassa tuhoutunut Pescaran kylä.	5
Kuva 2. Pelitalo DICE:n aikavertailu fotogrammetrian hyödyistä mallien luonnissa Battlefield 4 -pelin (2013) sekä Star Wars: Battlefront -pelin (2015) välillä.	6
Kuva 3. Hollywood-tähti Kevin Spacey mallinnettuna pelissä Call of Duty: Advanced Warfare (2014).	6
Kuva 4. Fotogrammetrialla skannattu rakennus pelistä The Vanishing of Ethan Carter	7
Kuva 5. ISO-herkkyyttä nostettaessa kohinan määrä kuvissa kasvaa.	9
Kuva 6. Tähtitaivas kuvattuna 25 sekunnin valotusajalla ja f/3.5 aukolla.	10
Kuva 7. Kolibri kuvattuna lyhyellä 1/250 valotusajalla.	10
Kuva 8. Aukon pienempi luku tarkoittaa suurempaa kokoa.	11
Kuva 9. Aukon koko vaikuttaa myös syväterävyyteen. Aukoilla f/4 ja f/22 otetut kuvat.	12
Kuva 10. Kuvat voidaan ottaa pyörittämällä alustaa tai kohdetta kameran pysyessä paikallaan.	15
Kuva 11. Suositellut tyylit julkisivua tai eristettyä kohdetta kuvattaessa.	15
Kuva 12. Suositeltu eteneminen tilaa kuvattaessa.	16

Kuva 13. UV-kartta	18
Kuva 14. Kohteeksi valikoitunut jätteasia.	19
Kuva 15. Koska kohdetta ei rajattu kuvista, kaikki tieto kohteen ympärillä tallentui raakapistepilveen. Kuvan pistepilvessä yhteensä 59,957 pistettä.	22
Kuva 16. Siivottu ja rajattu tiheäpistepilvi sekä kameran sijainnit. Pistepilven koko 5,213,319 pistettä.	23
Kuva 17. 500,000 polygonin malli ilman tekstuuria ja tekstuurin kanssa. Kuivan ja halkeilevan maalin reunat säilyivät kohteen pinnalla.	24
Kuva 18. Alkuperäinen 500,000 kolmion malli sekä uusi 25,000 neliön malli.	25
Kuva 19. Mallin alkuperäinen UV-kartta sekä uudelleen luotu, teksturoimaton versio.	26
Kuva 20. Uudelleen projisoitu diffuusio ja normaalikartta.	27
Kuva 21. Luotu malli liitettynä Unreal Engine 4 -pelimoottoriin.	28
Kuva 22. Malli Unity3D-moottorissa.	29

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Algoritmi	Kuvaus tai ohje siitä, miten tehtävä tai prosessi suoritetaan.
OBJ	Tiedostomuoto, johon tallentuu 3D-mallin geometria.
PBR	Physically-Based Rendering viittaa 3D-mallin materiaalin realistiseen käyttäytymiseen eri valaistuksissa.
PNG	Portable Network Graphics on kuvamuoto, joka tukee häviötöntä tiedon pakkaamista.
RAW	Digitaalikameran tallentama häviötön raakakuva.
TIFF	Tagged Image File Format on kuvien tallennukseen käytetty häviötön tiedostomuoto.
Verteksi	Verteksi on kolmiulotteisen mallin pinnan muodostavien polygonien kulmien yhtymäkohta.

1 JOHDANTO

3D-skannaus on nopeasti ja jatkuvasti kehittyvä tekniikka, jota käytetään useilla eri aloilla. Myös peliteollisuudessa asia on huomattu, ja kysyntä 3D-skannaus tekniikoille on kasvanut. 3D-skannaukseen tarkoitettujen laitteiden yleistymisen sekä kohtuuhintaisten ohjelmistojen saatavuus ovat osaltaan lisänneet mielenkiintoa tekniikkaa kohtaan.

Opinnäytetyössä keskitytään valokuvapohjaiseen 3D-skannaustekniikkaan nimeltä fotogrammetria. Kyseinen tekniikka mahdollistaa kolmiulotteisten mallien luonnin valokuvista. Fotogrammetria on lyhyessä ajassa noussut peliteollisuudessa käytettäviin vakio työkaluihin. Opinnäytetyön tavoite on selvittää, mitä onnistunut fotogrammetrinen skannaus vaatii, ja millaisia yleisiä suosituksia pelimoottoreilla on mallien mahdolliseen jälkikäsittelyyn liittyen. Teoriaosuudessa käydään läpi kameraan ja kuvaustyyliin liittyviä asioita sekä pyritään tuomaan esiin mahdollisesti ongelmia tuottavia asioita.

Käytännön osuudessa sovelletaan teoriaa skannaamalla esimerkkikohde ja katsotaan, miten malleja jälkikäsittelään, jotta ne sopivat paremmin pelimoottoreihin. Pelimoottorit, joita varten malli luodaan ja optimoidaan, ovat ilmaiseksi saatavilla olevat Unity3D sekä Unreal Engine.

Vaikka työssä käydään läpi prosessi aina kuvaamisesta mallin luontiin, raportin pääpaino on lähinnä skannaukseen liittyvissä asioissa sekä kuvaustekniikoissa. Siitä huolimatta, että työ tehdään peliteknologiaa ajatellen, voidaan teoriaa sekä kuvaamiseen liittyviä asioita soveltaa muidenkin alojen tarpeisiin.

Opinnäytetyössä ei vertailla laitteistoja eikä ohjelmistoja. Koska kohteiden skannaus fotogrammetrisesti perustuu valokuvaamiseen, ei työssä käytettyjen ohjelmistojen asetuksiin tai yleiseen käyttämiseen puututa syvällisemmin. Mallin optimointi sekä teksturointi käydään läpi lähinnä pintapuolisesti. Mallien optimointiin sekä muuhun jälkikäsittelyyn tarkoitettuja ohjelmistoja ja tekniikoita löytyy niin paljon, ettei niihin yksinkertaisesti ole olemassa suoranaista ohjenuoraa.

Fotogrammetrian ja pelinkehityksen ollessa yleisesti ottaen laajoja aiheita, työ pyritään pitämään mahdollisimman yksinkertaisena. Tarkoituksena on antaa selkeä yleiskuva prosessin vaiheista.

2 3D-SKANNAUS

3D-skannauksella tarkoitetaan menetelmää, jossa fyysisen objektin pinta tai muoto tallennetaan digitaaliseen muotoon. 3D-skannaustekniikat ovat yleisesti niin sanottuja kontaktittomia menetelmiä. Skannattavaan kohteeseen ei tarvitse koskea, eikä sitä yleensä tarvitse muuten käsitellä. Skannaamalla saadun tiedon perusteella on mahdollista tehdä mittauksia ja kolmiulotteisia visualisaatioita kyseisestä kohteesta. Mitä enemmän tietoa saadaan tallennettua, sitä tarkempi malli on mahdollista luoda. (Laser Design, 2016.)

Skannaustekniikat voidaan karkeasti luokitella kahteen ryhmään: aktiiviset ja passiiviset tekniikat. Aktiiviset ovat valoon perustuvia tekniikoita, joissa käytetään joko laser-, infra-puna- tai jäsenneltyä valoa. Skannauslaitteet heijastavat kohteeseen valoa, ja samanaikaisesti sensorit tallentavat valon vaihtuvan etäisyyden kohteeseen nähden. Etenkin laservaloon perustuvia laitteita voidaan käyttää sekä pimeällä että valoisalla. (LMI Technologies, 2013.)

Fotogrammetria lasketaan passiiviseen tekniikkaan, jossa kohteeseen ei erikseen heijasteta valoa, vaan kohde mallinnetaan ottamalla valokuvia kohteesta tavallisella kameralla. Tietokoneohjelmisto etsii kuvista yhtäläisyyksiä, ja yhdistää löydetyt kiintopisteet. Toisin kuin lasertekniikat, fotogrammetrian pistemittaus perustuu täysin ohjelmistojen algoritmeihin. Kameran lisäksi ulkoisia laitteita ei vaadita. Koska fotogrammetriassa kyse on valokuvaamisesta, tekniikka vaatii keino- tai päivänvaloa, eikä toimi täydellisessä pimeydessä. (Baltsavias, 1998.)

3 FOTOGRAMMETRIA

3.1 Historia

Fotogrammetrian juuret ulottuvat aina 1480-luvulle, jolloin Leonardo da Vinci oli yksi ensimmäisistä aiheen parissa työskennelleistä henkilöistä. Aiheen parissa jatkoivat jälkeempään useammat tiedemiehet. Albrecht Durer kehitti v.1525 laitteen, jota voitaisiin käyttää luomaan todellisen näkökulman piirustuksia. Tästä ajatuksesta tiedemiehet alkoivat kehittämään matemaattisia periaatteita pisteen koordinaattien määrittämiseksi kahdesta tai useammasta kuvasta. Kuviin pohjautuva fotogrammetria sai alkunsa, kun Joseph Niépce otti ensimmäinen kuvan. Häntä seuraten Jacques Daguerre otti ensimmäisen ”käytännöllisen” valokuvan käyttäen Daguerrotypia tekniikkaa v.1837. (The Center for Photogrammetric Training.)

Aimé Laussedat oli ensimmäinen, joka käytti maanpäällistä valokuvausta karttojen rakentamiseen v.1849. Häneen viitataan myös nimityksellä ”Fotogrammetrian isä”. Tekniikka jota Laussedat käytti, oli nimeltään iconometria. Termillä viitataan kreikkalaisiin sanoihin icon (kuva), sekä metry, joka on prosessi tai mittausiede. Laussedat teki myös kokeiluja ilmakuvausten parissa.

Fotogrammetria-termiä käytti ensimmäisen kerran Albrecht Meydenbauer v.1893. Meydenbauer on tunnettu fotogrammetrian käytöstä arkkitehtuurisissa tutkimuksissa. Hänen mielestään sen ajan kamerat eivät olleet sopivia fotogrammetriaan, joten hän suunnitteli oman kameransa v.1867. Tämä oli ensimmäinen laajakulmaobjektiivilla varustettu kamera, jota käytettiin kartoittamiseen. Kameraa käytettiin luomaan topografinen kartta saksalaisesta Freyburgin kylästä.

Analogisen fotogrammetrian kehittymiseen liittyi kaksi tärkeää asiaa: stereoskopian käytön yleistyminen sekä Wrightin veljesten lentokoneen kehittäminen vuonna 1903. Wilbur Wrightin ollessa ensimmäinen henkilö, joka otti kuvan lentokoneesta, italialainen Cesare Tardivo oli ensimmäinen, joka teki kuvauksia lentokoneesta kartoittamista ajatellen. Tardivo loi 1:4,000-mittasuhteen mosaiikkikuvan Italialaisesta Bengasin alueesta.

Digitaalifotogrammetrian pioneereihin kuulunut Gilbert Hobrough kehitti automatisoidun ortograafisen järjestelmän, joka hyödynsi kahden stereokuvan korrelaatiota. Tämä kuului digitaalifotogrammetrian esiasteeseen. (The Center for Photogrammetric Training.)

Nykyaikainen digitaalifotogrammetria on varsinaisessa muodossaan ollut olemassa vain muutamia vuosia. Tekniikka on kehittynyt ja tulee kehittymään nopeasti mikroprosessorien, digitaalisten tallennustilojen sekä digitaalisen valokuvaamisen myötä. Yhtenä modernin fotogrammetrian edelläkävijänä voidaan pitää Paul Debeveciä. Debevec toteutti oman lopputyönsä liittyen fotogrammetriaan Berkeleyn yliopistossa v.1996. Vuotta myöhemmin hän oli mukana projektissa, jossa toteutettiin virtuaalinen yllento Berkeleyn yliopiston pihalla sijaitsevan kellotornin ohi. Debevec on myös tunnettu tutkimuksistaan realistisen valaistuksen luomiseen tietokonegrafiikassa, ja hänen työhönsä liittyviä tekniikoita on käytetty useammassa elokuvassa. (Wikipedia, 2016.) (Mahalodotcom, 2008.)

3.2 Toimintaperiaate

Fotogrammetria on menetelmä, jossa yhdestä tai useammasta kuvasta voidaan tehdä mittauksia ja tulkintoja kuvattavan kohteen muodosta sekä sijainnista. Periaatteessa fotogrammetriaa voidaan soveltaa kaikkiin kohteisiin, joita on mahdollista valokuvata. Pääasiallisesti fotogrammetristen mittausten tarkoitus on rakentaa kolmiulotteinen uudelleenrakennelma kuvatusta kohteesta digitaaliseen muotoon. Alueet ja kohdat, joita ei kuvissa näy, eivät myöskään rekisteröidy lopulliseen malliin.

Fotogrammetria tekniikalla mallin luontiin vaikuttavat useat tekijät. Valonlähteet, kohteen muoto sekä tekstuuri, kuvaamiseen käytettävän kameran kenno, kameran objektiivi sekä kuvien resoluutio, ovat keskeisessä osassa. (Luhmann, Thomas, Robson, Stuart, Kyle, Stephen, Harley & Ian, 2006.)

3.3 Käyttötarkoitukset yleisesti

Fotogrammetriaa on jo käytetty laajalti eri aloilla. Viihdeteollisuudesta mainittakoon elokuvat sekä pelit. Elokuvateollisuudessa kyseistä tekniikkaa käytettiin esimerkiksi jo vuoden 1999 elokuvassa The Matrix, jossa näyttelijöiden vihreä studiotauusta vaihdettiin fotogrammetrialla skannattuun ympäristöön. (Mahalodotcom, 2008.) Tekniikkaa on käytetty etenkin myös kulttuuriperinnöllisten kohteiden mallintamisessa ja arkeologisten kaivausten visualisoinnissa.

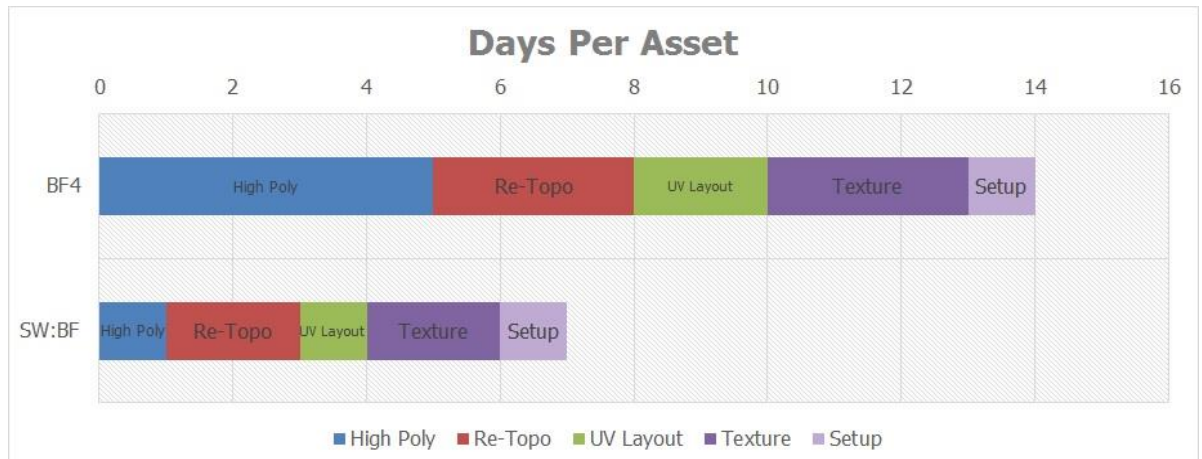
Fotogrammetriaa käytetään myös rikospaikkojen, onnettomuus- sekä katastrofialueiden mallintamiseen sekä visualisointiin. Kuluttajakäyttöön tarkoitettujen radio-ohjattavien lennokkien saatavuus ja halpeneminen osaltaan vaikuttavat käyttötarkoitusten laajenemiseen. (Eos Systems, 2016.) Myös vedenalaisten kohteiden mallintaminen on mahdollista. Kansainvälinen tutkijatiimi löysi Mustanmeren pohjasta uponneita puualuksia By-santtien sekä Ottomaanien valtakunnan ajoilta. Uponneista aluksista otettiin tuhansia kuvia, ja laivojen hylät mallinnettiin fotogrammetriaa hyödyntäen. (National Geographic, 2016.)



Kuva 1. Kuvakaappaus Brigham Young -yliopiston teettämästä 3D-mallista. Mallissa 24.8.2016 Italiassa tuhoutunut Pescaran kylä.

3.4 Fotogrammetria peleissä

Teknologian kehittyessä tietokoneiden, pelikonsolien sekä mobiililaitteiden laskentatehot kasvavat nopeasti. Kyseinen kehitys luo pelien kehittäjille uudenlaisia mahdollisuuksia toteuttaa visuaalisesti vakuuttavaa sisältöä peleihin. Monet pelifirmat ovat ottaneet fotogrammetrian käyttöön yhtenä työkaluna osana pelinkehitystä. Sen lisäksi, että fotogrammetrialla on mahdollista tuottaa realistisen näköisiä malleja suhteellisen halvalla, sen avulla voidaan säästää aikaa. Virtuaalitekniikoiden yleistyessä menetelmät luoda realistisia ympäristöjä saavat yhä enemmän suosiota.



Kuva 2. Pelitalo DICE:n aikavertailu fotogrammetrian hyödystä mallien luonnissa Battlefield 4 -pelin (2013) sekä Star Wars: Battlefront -pelin (2015) välillä.

Etenkin suurten budjettien peleihin palkataan erikseen näyttelijöitä. Näyttelijät voidaan 3D-skannata kokonaan tai osittain. Tyypillisintä on tehdä tarkat mallit näyttelijän kasvoista ja eri ilmeistä. Skannaus voidaan yhdistää myös liikkeenkaappaustekniikkaan. Tällöin näyttelijän suoritus saadaan tallennettua kokonaan aina kasvon ilmeistä kehon eleisiin. Peliteollisuuden kasvaessa myös Hollywood näyttelijät ovat lähteneet mukaan peliprojekteihin (Kuva 3.)



Kuva 3. Hollywood-tähti Kevin Spacey mallinnettuna pelissä Call of Duty: Advanced Warfare (2014).

Hahmojen skannaamisen lisäksi fotogrammetriaa käytetään rakennusten (Kuva 4.) sekä ympäristön mallintamiseen. Esimerkkeinä mainittakoon puut, kivet, maaperät, huonekalut, asusteet, ja kokonaiset rakennukset. Malleja voidaan käyttää referensseinä jatkokehitystä varten, ideoiden luontiin tai muokattuna sellaisenaan.



Kuva 4. Fotogrammetrialla skannattu rakennus pelistä The Vanishing of Ethan Carter.

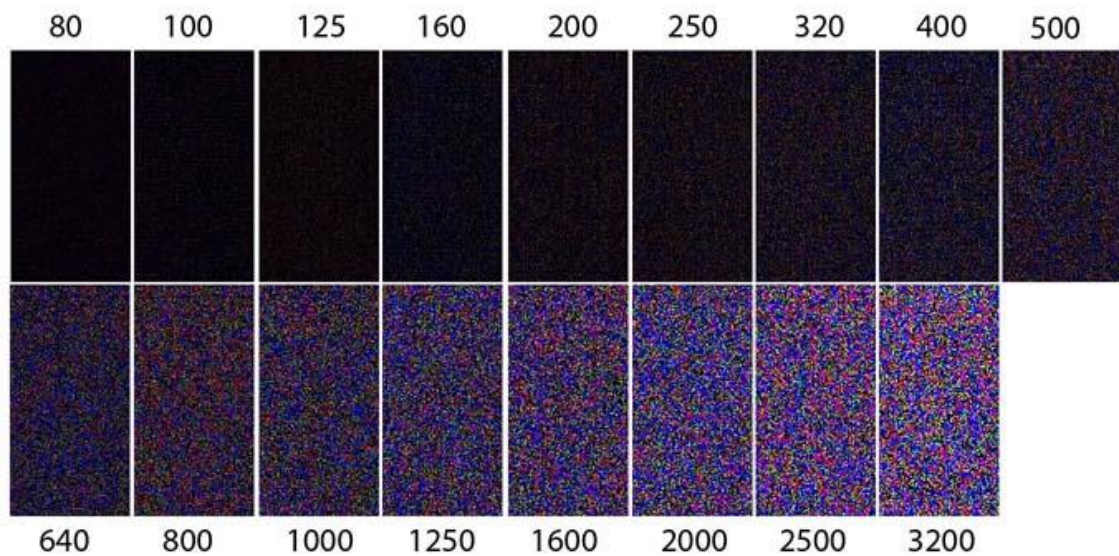
4 KAMERAN ASETUKSET JA LAITTEISTOSUOSITUKSET

4.1 Kamera

Kuvaamiseen on suositeltua käyttää järjestelmäkameraa (DSLR). Järjestelmäkamera mahdollistaa asetusten säätämisen paremmin kuvattavaan kohteeseen, ja vallitsevaan valaistukseen sopivaksi. Järjestelmäkamera mahdollistaa myös raakakuvien (RAW) ottamisen, joka on tärkeää kuvien jälkikäsittelyn kannalta. Työssä skannaukseen käytettiin Canon 550D -kameraa, ja 18—55 mm objektiivia. Tärkeimpänä esille nousevat kuitenkin kamerasetukset, kuvausmenetelmät sekä valaistus, jotka yhdessä määrittävät lopullisen tuloksen. Kuvauksen voi toteuttaa millä tahansa digitaalikameralla, esimerkiksi kännykällä, mikäli kuvien ottamiseen käytetään aikaa ja tarkkuutta. Kännykät eivät kuitenkaan ainakaan toistaiseksi tarjoa kaikkia hyödyllisiä asetuksia jälkikäsittelyä varten, kuten raakakuvia tai syväterävyyden säätämistä. Tärkeää on arvioida, mitä lopulliselta tulokselta halutaan. Suunnittelu sekä lopullisen mallin käyttötarkoituksen kartoitus helpottavat kuvaamiseen vaadittavan laitteiston valintaa. Mallin luontiin on mahdollista käyttää myös videosta irrotettua kuvasarjaa.

4.1.1 Valoherkkyys (ISO)

Valoherkkyys eli ISO-arvo tarkoittaa digitaalikameran kennon herkkyttä valoa kohtaan. Suuremmalla ISO-arvolla voidaan tuottaa kirkkaampia kuvia pienemmällä valolla. Tavallisia ISO-arvoja ovat 100, 200, 400, 800, 1 600 ja 3 200. Korkea ISO-arvo kuitenkin lisää rakeisuutta, eli kohinaa kuvassa. ISO-arvon säätäminen riippuu pitkälti siitä, millaista valotusaikaa kyseisessä tilanteessa halutaan käyttää. Kirkkaalla valolla ISO-arvoa voidaan pitää alhaisena, ja vähäisessä valossa nostaa tarpeen mukaan. (Kolari & Forsgård, 2010.)



Kuva 5. ISO-herkkyttä nostettaessa kohinan määrä kuvissa kasvaa.

4.1.2 Valotusaika

Kameran valotusaika, toiselta nimeltä suljinaika, määrittää, kuinka kauan kameran suljin on auki, ja miten kauan kennolle päästetään valoa. Mitä pidempi valotusaika on, sitä enemmän valoa kennolle pääsee. Pitkä valotusaika mahdollistaa hämärässä ja pimeässä kuvaamisen. Lyhyt valotusaika taas mahdollistaa nopeiden tapahtumien tallentamisen. Valotusajat kamerassa ilmoitetaan sekunneissa tai sadasosissa riippuen asetuksesta. Sekunnit esitetään kamerassa normaalisti muodossa sekunteina 1", 2", 3"2, ja sadasosat jaettuna per sekunti 1/6, 1/10, 1/20, 1/250. Sama valotus voidaan saavuttaa yhdistelemällä eri aukon koon sekä valotusajan asetuksia. (Kolari & Forsgård, 2010.)



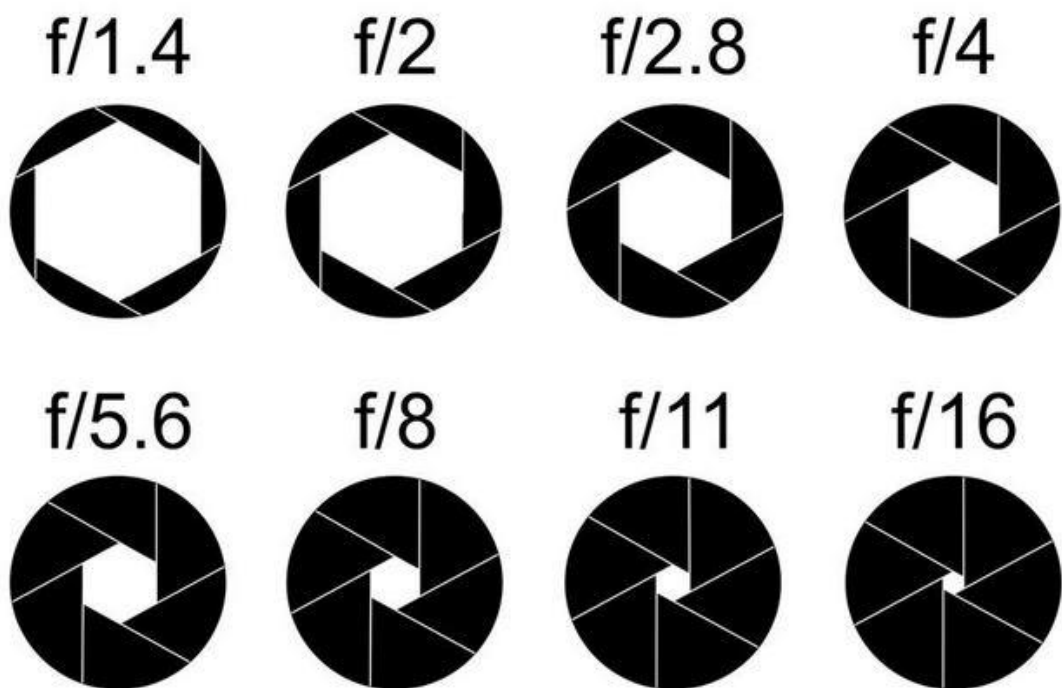
Kuva 6. Tähtitaivas kuvattuna 25 sekunnin valotusajalla ja f/3.5 aukolla.



Kuva 7. Kolibri kuvattuna lyhyellä 1/250 valotusajalla.

4.1.3 Aukko

Aukko on objektiivissa oleva reikä, jonka kokoa säätämällä vaikutetaan kennolle pääsevän valon määrään. Aukon kokoa ilmaistaan f-luvulla. F-luku kertoo aukon koon suhteessa polttoväliin. F-luku on käänteisluku, joten pienempi luku tarkoittaa aukon suurempaa kokoa. Merkintä $f/8$ tarkoittaa, että aukon halkaisija on polttoväli jaettuna 8. Alhaisessa valossa kuvattaessa normaalisti pidetään pientä f-lukua. Tällöin suuresta aukosta kennolle pääsee enemmän valoa. Valon määrää voidaan nostaa myös pidentämällä valotusaikaa. (Kolari & Forsgård, 2010.)



Kuva 8. Aukon pienempi luku tarkoittaa suurempaa kokoa.

4.1.4 Syväterävyys

Syväterävyydellä tarkoitetaan sitä, miten tarkkana kuvattavan kohteen edessä ja takana oleva alue näkyy. Syväterävyyteen vaikutetaan säätämällä aukon kokoa. Mitä suurempi

aukko, sitä pienempi syväterävyys. Terävyyteen vaikuttaa myös tarkennusetäisyys. Lähelle tarkennettuna syväterävyys pienenee. Suuri syväterävyysalue saadaan aikaan kuvaamalla kauempaa ja pienellä aukolla. Syväterävyysalue jakautuu niin, että tarkka alue on 1/3 tarkennustason edessä ja 2/3 takana. (Kolari & Forsgård, 2010.)



Kuva 9. Aukon koko vaikuttaa myös syväterävyyteen. Aukoilla f/4 ja f/22 otetut kuvat.

4.1.5 Valkotasapaino

Erialaisten valonlähteiden värilämpötilat vaikuttavat kuvan väriin. Värilämpötiloja kuvataan Kelvinin (k) lämpöasteilla. Auringonpaiste sekä keinovalot, antavat toisiinsa verraten hyvin erilaiset värimaailmat. Alhaisissa värilämpötiloissa kuvassa esiintyy enemmän oranssia, ja korkeissa enemmän sinistä. Auringonvalo (n. 5 000-6 500k) sisältää enemmän valkoista valoa, varjot (n. 8 000k) sisältävät sinistä, ja keinovalot kuten hehkulamput (n. 2 400-2 900k), antavat enemmän keltaista valoa. Riippuen valaistuksesta, valkotasapainoa säätämällä voidaan vaikuttaa siihen miltä värit kuvissa näyttävät, niin kuin ihmissilmä ne näkee. (Kolari & Forsgård, 2010.)

4.1.6 Tallennusmuoto

Järjestelmäkamerat tallentavat normaalisti kuvat joko JPEG- tai RAW-muotoon. JPEG on tiedostomuoto joka on valmiiksi pakattu. Pakkauksen yhteydessä tiedosto pakataan pieneen tilaan, mutta tietoa katoaa ja kuvanlaatu kärsii jonkin verran. Mitä enemmän

kuva pakataan, sitä enemmän kuvanlaatu kärsii. JPEG-pakkauksen laatuun voi vaikuttaa kamerasta riippuen. JPEG sopii tapauksiin joissa kuvia ei tarvitse jälkikäsitellä, tai vaaditaan nopeaa työkulkua. (Kolari & Forsgård, 2010.)

RAW-muoto kannattaa valita mikäli kuvien jälkikäsitely on tarpeen. RAW on häviötön muoto, joten tiedostoon tallentuu kaikki kamerasen kennoon taltioitu tieto. Värisyvyys on suurempi, kuin JPEG-muodossa tallennettujen kuvien. Etuna RAW-muotoon kuvattaessa on jälkikäsitelyn mahdollisuuksien laajuus. RAW-kuvien valotusta sekä valkotasapainoa voidaan helposti muokata jälkikäteen, uhraamatta kuvan laatua. Kuvien muokkaamiseen kuitenkin tarvitaan ohjelma joka tunnistaa RAW-kuvamuodon. RAW-tiedostomuotoja ovat esimerkiksi Canonin CR2 (Canon Raw 2), Nikonin NEF (Nikon Electronic Format) sekä Adoben DNG (Digital Negative). (Wikipedia, 2016.)

4.2 Tietokone

Kuvien käsittelyyn ja mallien luontiin liittyy olennaisesti myös laitteistovaatimuksia, joilla tieto käsitellään. Laitteisto katsotaan tärkeäksi ottaen huomioon sen olevan yksi suurimmista ajankäyttöön sekä luotavan mallin tarkkuuteen liittyvistä asioista. Tietoa käsittelevän tietokoneen ominaisuudet määrittävät, montako kuvaa voidaan käsitellä, ja miten tarkka kuvastusta mallista on mahdollista rakentaa. Yleisesti ottaen mallien luominen on raskasta. Avainasemassa ovat koneen prosessori, näytönohjain, keskusmuisti ja kiintolevy. Prosessori sekä näytönohjain tekevät suurimman työn. Pisteiden etsiminen kuvista, pistepilvien sekä mallien ja tekstuurien rakennus ovat näiden kahden varassa. Keskusmuistiin tallentuu kaikki keskeneräinen, työn alla oleva tieto. Keskusmuistista riippuu, montako kuvaa voidaan käsitellä yhdellä kertaa. Myös kuvien resoluutio vaikuttaa keskusmuistin käyttöön. Kiintolevyn nopeus määrittää, miten nopeasti kuvista voidaan pistetietoa alun perin lukea. Laitteistovaatimukset kuitenkin vaihtelevat riippuen käytettävästä fotogrammetriaohjelmistosta.

Esimerkkinä Agisoft Photoscan -ohjelmiston vähimmäissuosittelun mukaan keskusmuistia olisi hyvä olla 32 GB, prosessoriksi mainitaan Intel i7 -sarja sekä näytönohjaimeksi Nvidian GTX 780.(Agisoft, 2016.) Työssä käytetyn tietokoneen laskentatehot eivät täytä edes kyseisiä suosituksia. Tämä ei kuitenkaan aiheuttanut minkäänlaisia työn toteuttamiseen liittyviä ongelmia.

5 KUVAUS JA TULOKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

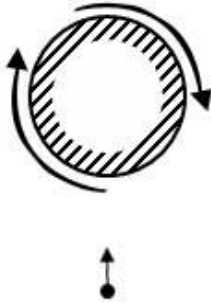
5.1 Vaikuttavat tekijät

Kameran asetusten ohella oikean tyylinen kuvaaminen on tärkeää fotogrammetrian kannalta. Tyypillisesti kuvia kannattaa ottaa enemmän kuin on tarpeen. Tarkoitus on kuvata kohde mahdollisimman monesta kulmasta, jolloin niin sanottujen sokeiden kohtien määrä minimoituu. Jokaisen kohdan pitää näkyä vähintään kahdessa kuvassa, jotta kyseisen kohdan geometria voidaan rakentaa. Suositus kuvien päällekkäisyydelle on noin 50 %—70 %. Tämä tarkoittaa, että kameraa tai kohdetta liikuttaessa uudessa kuvassa näkyy vähintään noin puolet edellisestä kuvasta. Mikäli päällekkäisyyttä on liian vähän, fotogrammetria-ohjelmisto ei osaa yhdistää kuvista löytyneitä pisteitä. Tällöin syntyy sokea kohta tai pistepilven luonti epäonnistuu kokonaan. On pyrittävä välttämään heijastavia, kirkkaita, läpinäkyviä sekä täysin tekstuurittomia pintoja. Liikkuvat kohteet eivät myöskään normaalisti sovellu kuvattavaksi. Liikkeestä johtuva sumeus kuvissa tekee niistä käyttökelvottomia.

Valaistus on tärkeää kuvia otettaessa. Liian tummat tai vaaleat kuvat vaikeuttavat kiintopisteiden tunnistusta. Suositeltavaa on kuvata kohde tasaisessa valaistuksessa. Ulkona kuvattaessa pilvinen keli on paras mahdollinen. Varjot sekä mahdollisesti valosta aiheutuvat kirkkaammat kohdat näkyvät myöhemmin mallin tekstuurissa. (Agisoft Photoscan User Manual, Agisoft 2016.)

5.2 Staattinen kamera

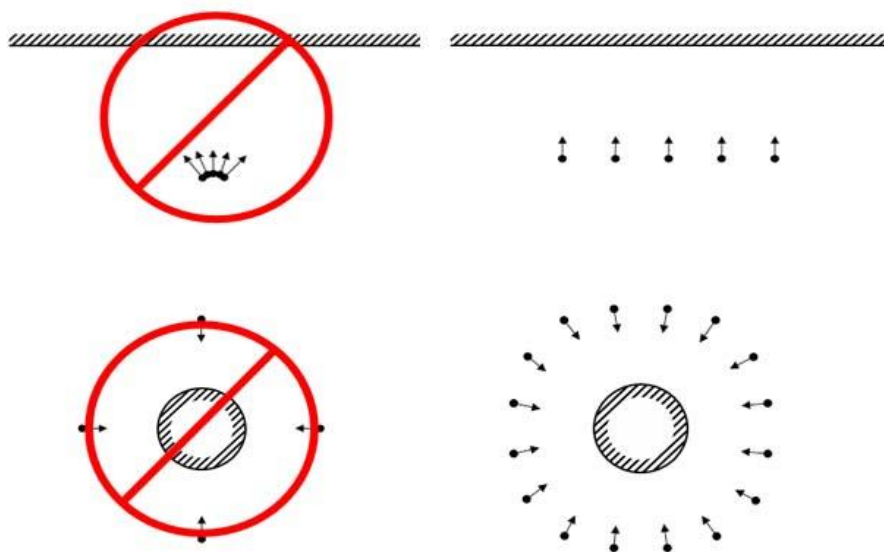
Staattisella kameralla tarkoitetaan tilannetta, jossa kamera pysyy paikallaan. Tällöin kuvattava kohde asetetaan pyörivän alustan päälle, ja kuvia otetaan aina alustaa vähän pyörittämällä (Kuva 10.) Tyyli toimii myös ilman pyörivää alustaa jolloin kohteen asentoa vaihdetaan käsin. Kyseinen metodi vaatii yleensä kohteen taakse yksivärisen taustan. Tarkoitus on huijata fotogrammetria-ohjelmaa luulemaan, että kamera liikkuu kohteen ympäri. Metodi on kätevä, jos kohde on pieni, liikkumatilaa kohteen ympärillä ei ole tai halutaan kontrolloida valaistusta. (Sketchfab, 2015.)



Kuva 10. Kuvat voidaan ottaa pyörittämällä alustaa tai kohdetta kameran pysyessä paikallaan.

5.3 Liikkuva kamera

Tavallisin kuvaustyyli on liikkua kohteen ympärillä. Tällöin tausta vaihtuu kohteeseen nähden, eikä erillistä yksiväristä taustaa tarvita. Mikäli kohde on suuri, esimerkiksi rakennus tai julkisivu, on suositeltua liikkua samassa suunnassa kuvaten suoraan kohti. Mikäli kyseessä on julkisivu, joka sisältää ulkonevia kohtia tai syvänteitä, kannattaa kuvia ottaa myös eri kulmista. Kohteet ovat kuitenkin aina tapauskohtaisia, joten kuvaustyylien soveltaminen on usein tarpeen. (Photoscan User Manual, Agisoft 2016.)



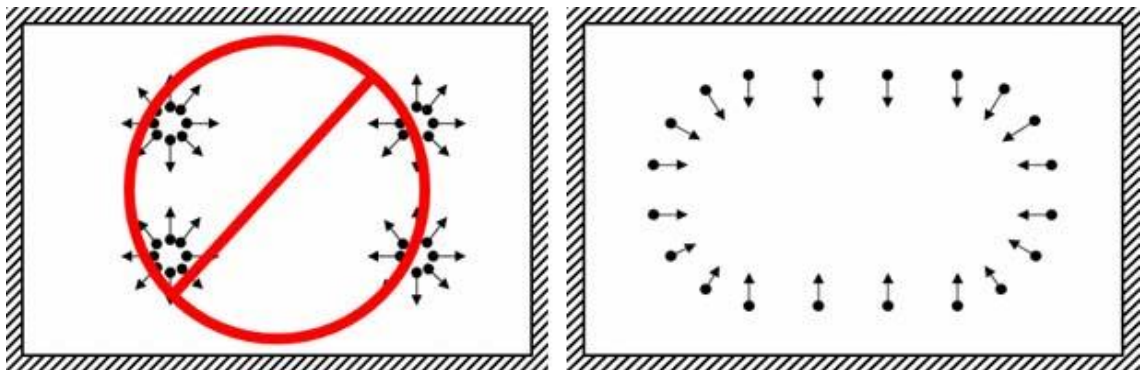
Kuva 11. Suositellut tyylit julkisivua tai eristettyä kohdetta kuvattaessa.

5.4 Tilan kuvaaminen

Tilaa kuvattaessa liikutaan normaalisti vastakkaista seinää tai sivua pitkin. Kohteen koosta riippuen yksityiskohtaisempia kuvia voidaan ottaa myöhemmin lisää lähempää. Koska kohteen muodon ja syvyyden selvittämiseen tarvitaan sivuttaisliikettä sekä vaihtuvia kuvakulmia, ei panoraamakuvauksella toimi kunnolla fotogrammetriaa ajatellen.

Panoraamakuvauksella tarkoitetaan tilannetta, jossa useampi kuva samasta kohtaa otettuna yhdistetään yhdeksi suureksi kuvaksi. 360-panoraamakuvassa kuvat otetaan kääntyen paikallaan 360 astetta ympäri. Panoraamakuvasta nykyään havainnoi hyvin Googlen Street View -palvelu. Ympäristöä voidaan tarkastella yhdestä kohdasta vain yhdestä kulmasta. (Arnaud Frich, 2016.)

Tilan kuvaamisessa pitää ottaa huomioon myös irtonaiset objektit. Tilan tulisi olla tyhjä kaikesta ylimääräisestä, kuten esimerkiksi pöydistä ja penkeistä. Irtonaiset objektit luovat suurimman osan ongelmista tilaa kuvattaessa. Ylimääräisten kohteiden poistaminen jälkikäteen on vaivalloista.



Kuva 12. Suositeltu eteneminen tilaa kuvattaessa.

6 PELIALUSTOJEN SUOSITUKSET

6.1 Polygonimäärät

Suosituksset mallien tarkkuudelle vaihtelevat pelialustojen mukaan. Tietokoneet sekä pelikonsolit kykenevät käsittelemään enemmän tietoa nopeammin, kuin esimerkiksi mobiililaitteet. 3D-mallin pinta koostuu monikulmioista eli polygoneista. Polygonit ovat tavallisesti joko kolmioita tai neliöitä (Wikipedia, 2016.) Mitä useammasta polygonista malli muodostuu, sitä tarkempi pinta on. Polygonimäärältään suuret ja tarkkapintaiset mallit kuitenkin vaativat laitteistolta enemmän tehoa.

Unity3D-pelimoottorin ohjeiden mukaan, mobiililaitteille suositeltu määrä on noin 300—1500 polygonia. Tietokoneille sekä konsoleille malleja tehtäessä, määrää voidaan nostaa 1500—4000 polygoniin. (Unity Technologies, 2016.) Määrät ovat kuitenkin vain suosituksia, ja tarkan mallin luomiseen todella vähäisiä.

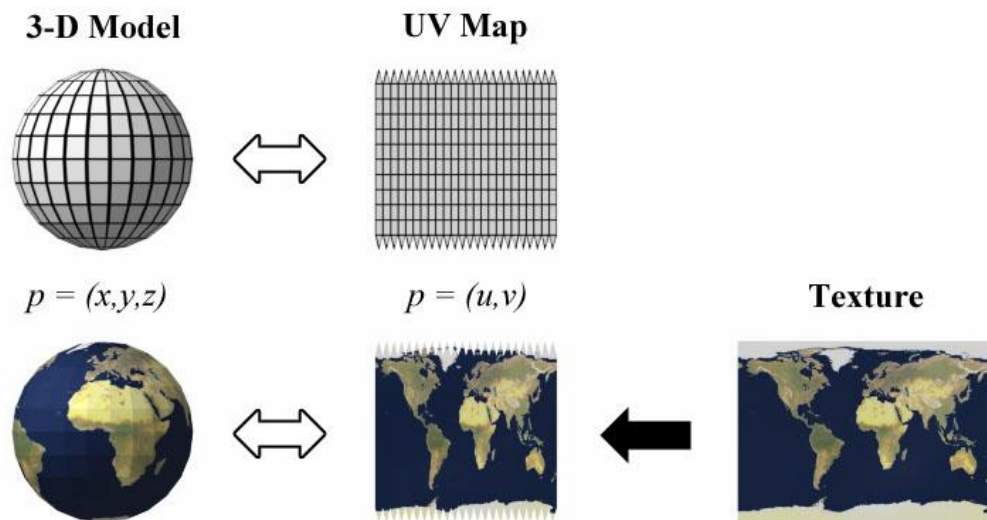
Unreal Enginen ohjeista ei suoria viittauksia polygonimääriin löytynyt. Keskustelupalstoilla mallien suositukset heittelevät aina 10,000 ja 150,000 välillä. Mallien lopullinen tarkkuus on aina tapauskohtainen, ja polygonien määrä riippuu useammasta asiasta. Mitä vähemmän malleja on näkyvissä samaan aikaan, sitä tarkempia ne voivat olla. Näin ollen polygonimäärien suosituksiin on todella vaikea ottaa kantaa.

6.2 Tekstuurikoot

Kuten polygonimäärät, tekstuurikoot riippuvat projektista ja pelialustasta. Unity3D:n ohjeiden mukaan pelimoottorissa käytettävien tekstuurien pikselimäärät vaihtelevat noin 256x256- ja 4096x4096-resoluution välillä. Pelialustasta riippumatta useimmin tuetun tekstuurin mainittiin olevan 2048x2048 pikseliä. (Unity Technologies, 2016.) Unreal Engine tukee virallisesti resoluutiota aina 8192x8192 pikseliin asti. Kyseiset ohjeistukset vaihtelevat pelialustan laitevalmistajan, laitteen mallin, ja tekstuureille varatun muistin mukaan. (Epic Games, 2016.)

6.3 UV-kartta

UV-kartoituksella tarkoitetaan prosessia, jossa kaksiulotteinen kuva projisoidaan kolmiulotteisen mallin pinnalle. Koska kolmiulotteisessa ympäristössä kirjaimet X, Y ja Z ilmaisevat mallin sijaintia, U- ja V- kirjaimilla viitataan tekstuurin korkeus ja sivu akseleihin. UV-kartta mahdollistaa 3D-mallin värityksen kuvista. UV-kartta on tasainen, kaksiulotteinen kuva, joka esittää kolmiulotteisen mallin pinnan tekstuurin koordinaatit.



Kuva 13. UV-kartta

Suosittelun mukaan UV-kartassa pitäisi olla mahdollisimman vähän leikkauskohtia. Mitä suurempi ja yksinkertaisempiin paloihin 3D-mallin tekstuuri on halkaistu, sitä nopeammin ne voidaan käsitellä pelimoottorissa. (Unity Technologies, 2016.)

7 KOHTEEN KOESKANNAUS

7.1 Kohteen valinta

Koekuvaus päätettiin toteuttaa valitsemalla satunnainen kohde. Tarkoituksena oli soveltaa kuvausmetodeja sekä kuvaukseen liittyvää teoriaa ilman minkäänlaista suunnitelmaa. Kuvaus suoritettiin järjestelmäkameralla ja kuvaamalla käsivaralla. Myös ajankäyttö pyrittiin ottamaan huomioon. Normaalisti kuvaaminen kannattaa suunnitella, ja kuvat ottaa harkiten. Kuvaus kuitenkin pyrittiin suorittamaan mahdollisimman yksinkertaisesti sekä nopeasti, ilman ylimääräistä välineistöä. Kohteeksi valikoitui Turun kaupungin tarjoaman graffitiseinän vierestä löytynyt jäteastia. Kohteen muoto sekä väritys olivat sopivia koeskannauksen suorittamiseen.



Kuva 14. Kohteeksi valikoitunut jäteastia.

7.2 Kuvaus

Kuvat otettiin kahdessa osassa: yleiskuvat koko kohteesta ja lähempää kannesta. Kohdetta kierrettiin ympäri, ja kuva otettiin aina yhden sivuaskelen jälkeen. Yhteensä kuvia

kertyi 77 kappaletta, joka on määrältä yleisesti ottaen melko vähän. Kaikki kuvat otettiin nopeasti ylhäältä alaspäin, jolloin kohteen alaosa ja kannen alareuna jäivät osittain tal-
lentamatta. Tärkeää oli välttää kuvissa esiintyvää kohinaa, joten kameran ISO-arvo oli
400. Tarvittavan syvyytarkkuuden saamiseksi aukon kooksi asetettiin f/9, jolloin valo-
tusaikaa piti nostaa 1/30 s, että kuviin saataisiin kirkkautta.

Hidas 1/30 s valotusaika nosti riskiä, että kuvista tulisi sumeita mahdollisen liikahtamisen
takia. Vaikka kuvat otettiin RAW-muotoon jälkikäsittelyä varten, olisi ollut varmempaa
kuvata nopeammalla valotusajalla. Jälkikäsittelyssä valoisuutta voidaan nostaa tiettyyn
pisteeseen asti, mutta mahdollisesta liikkeestä johtuvaa sumeutta ei voida kunnolla pois-
taa. Kuvaustilanteessa valaistus oli optimaalinen. Pilvinen päivä loi tasaisen valaistuk-
sen, jolloin varjoja kohteessa ei näkynyt. Kuvaamiseen aikaa käytettiin noin 5 min.

8 DATAN KÄSITTELY

8.1 Kuvien arviointi

Arviointivaiheessa käytiin läpi kaikki otetut kuvat. Tarkoitus oli poistaa kaikki mahdollisesti ongelmia tuottavat kuvat. Huonoiksi kuviksi katsotaan kaikki sumeat, alivalottuneet, ylivalottuneet sekä rakeiset kuvat. Vaikka yleisesti ottaen kuvalaadun pitää olla hyvää ja tarkkaa, ei muutama huonompi kuva estä työn edistymistä. Heikkolaatuiset kuvat kuitenkin vaikuttavat esimerkiksi teksturoinnin laatuun ja ajankäyttöön. Jos fotogrammetria-ohjelmisto joutuu käymään läpi suuren määrän huonolaatuisia kuvia turhaan, hävitään ajankäytöllisesti huomattavasti. Onneksi kuvista yksikään ei ollut käyttökelvoton, joten kuvaus onnistui ajankäyttöön verrattain erinomaisesti.

8.2 Jälkikäsitteily

Kuvien jälkikäsitteily suoritettiin Adobe Lightroom -ohjelmalla. Lightroom on ohjelmisto, jolla kuvien valaistusta ja värejä voidaan muokata nopeasti. Tässä kohtaa kuvien tallentaminen RAW-muotoon varsinaisesti tulee esiin. RAW-kuvien muokkaaminen ei huononna kuvien laatua merkittävästi.

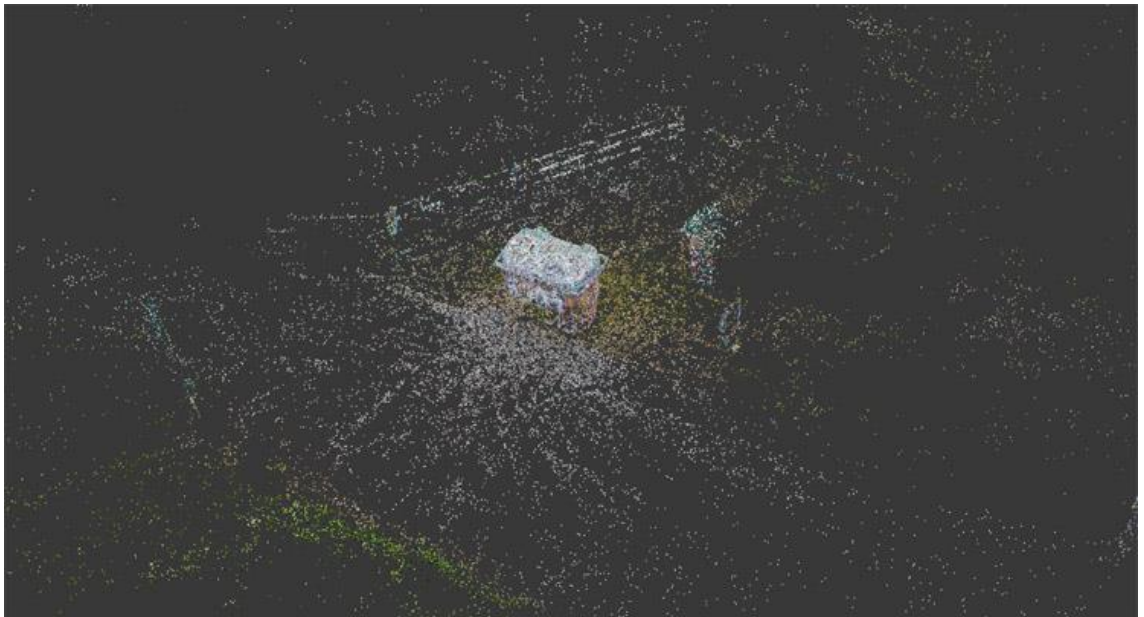
Pääasiallisesti kuvista oli tarkoitus poistaa mahdollisia varjoja, sekä tummia kohtia. Koska kuvaolosuhteet olivat hyvät, varjoja tai muita valaistukseen liittyviä ongelmia ei ollut. Sen sijaan kuvien kirkkautta, sävyjä, ja tarkkuutta vahvennettiin hieman. Tämä auttaa fotogrammetria ohjelmistoa löytämään kiintopisteitä kuvista. Kuvien liiallinen käsitteily voi johtaa myös huonompiin tuloksiin.

Käsitellyt kuvat tallennettiin kahteen kertaan. Kuvat joita käytettiin pisteiden hakemiseen sekä raakapistepilven luontiin, tallennettiin 8-bittiseen TIF-muotoon. Mallin teksturointia varten kuvat tallennettiin erikseen 16-bittiseen TIF-muotoon. Koska 16-bittisen TIF-kuvan värisyvyys on laajempi, kuvia käytetään vain ja ainoastaan teksturoinnissa. TIF on tiedostomuotona häviötön, joten kuvien laatu tallennettaessa ei kärsi. Mallin luonnin kannalta kuvien erikseen tallentaminen ei ole pakollista. Parhaan mahdollisen tuloksen kannalta, 16-bittiset TIF-kuvat ovat optimaalinen valinta. Häviöttömät kuvamuodot kuitenkin ovat suurikokoisia, vaativat paljon konetehoa käsittelyyn, sekä vievät paljon kiintolevytilaa. Yksi 16-bittinen TIF on kooltaan noin 102 MB ja 8-bittinen noin 50 MB.

9 MALLIN LUONTI

9.1 Kuvien yhdistäminen

Ensimmäinen osa mallin luonnissa oli kuvien yhdistäminen. 8-bittiset TIF-kuvat ladattiin Agisoft Photoscan -ohjelmaan. Mallin luonti fotogrammetria ohjelmistoilla on suurimaksi osaksi automatisoitua. Ohjelman algoritmi etsi kuvista kiintopisteitä, minkä jälkeen vertaili kaikista kuvista saatuja pisteitä toisiinsa. Näin saatiin raakapistepilvi (Kuva 14.), joka karkeasti esittää kuvatun mallin. Raakaversioon perusteella voitiin päätellä, että kuvaus oli onnistunut. Kuvien käsittelyaikaa olisi voitu nopeuttaa rajaamalla kohde kuvista. Kuvien vähäisen määrän takia rajaamista ei kuitenkaan katsottu tarpeelliseksi.

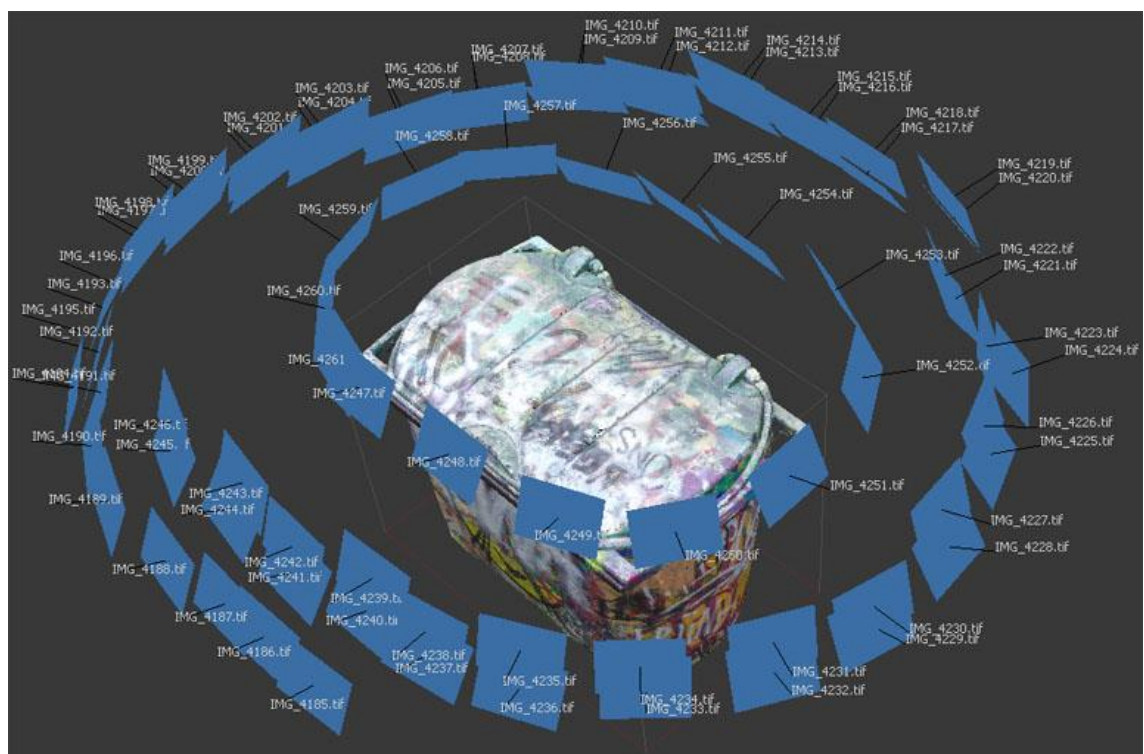


Kuva 15. Koska kohdetta ei rajattu kuvista, kaikki tieto kohteen ympärillä tallentui raakapistepilveen. Kuvan pistepilvessä yhteensä 59,957 pistettä.

9.2 Tiheäpistepilvi

Tiheän pistepilven idea on periaatteessa sama kuin raakapilven. Ohjelmisto käy raakapilven tarkemmin läpi ja lisää pisteitä kohteen mahdollisen pinnan sijainnin mukaan. Tiheäpilvi määrittää tarkemmin 3D-mallin verteksien sijainnin, joiden mukaan lopullinen malli yhdistetään. Ennen tiheän pilven luontia, raakapilvestä rajattiin pois kaikki muu paitsi itse kuvattu kohde. Tällöin ohjelmiston ei tarvinnut käsitellä uudestaan raakapilven pisteitä, joita ei tiheään pilveen tarvittu.

Tiheän pistepilven valmistuttua siitä poistettiin kaikki mahdollisesti väärässä paikassa olevat pisteet. Myös kohteen alaosa, josta kuvatietoa ei ollut tarpeeksi, kumitettiin kokonaan. Koska varsinainen 3D-malli luodaan tiheän pistepilven pohjalta, oli tärkeää käydä läpi mahdolliset ohjelmiston tekemät väärät arvioinnit pisteiden sijainnista. Väärässä paikassa olevat pisteet luovat malliin virheellisen pinnan muodon. Työssä käytetyn laskentatehoiltaan heikohkon tietokoneen takia pistepilvien tarkkuus toteutettiin vain keskiverotarkkuudella. Tarkkuutta nostamalla ohjelmiston tekemät virhearvioinnit vähenevät sekä pistepilvien koko ja tarkkuus kasvaa.

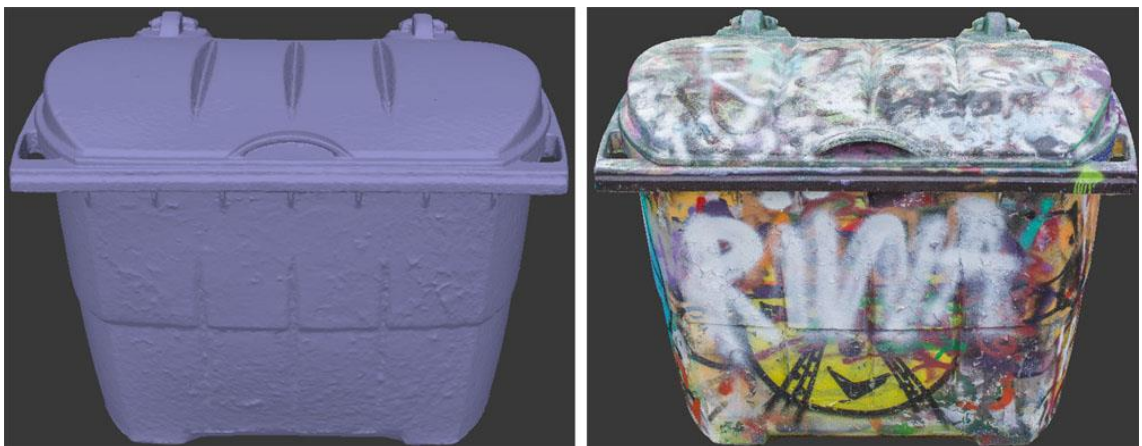


Kuva 16. Siivottu ja rajattu tiheäpistepilvi sekä kameran sijainnit. Pistepilven koko 5,213,319 pistettä.

9.3 Mallin luonti

Mallin luontivaiheessa ideana oli tehdä tarkka malli, jonka pohjalta pelimoottoriin tuleva malli muokataan. Itse mallin luontiin aikaa ei juurikaan kulunut. Yksinkertaisesti ohjelmistoon asetettiin haluttu polygonimäärä ja annettiin ohjelman tehdä työt. Mikäli polygonimäärää ei rajata, ohjelma laskee pisteiden perusteella niin tarkan mallin kuin mahdollista. Tätä kokeiltiin, ja mallin tarkkuudeksi saatiin 11,285,322 polygonia. 11 miljoonan polygonin mallin todettiin olevan liian tarkka ja raskas kyseisen esimerkkikohteen esittämiseen. Polygonien määräksi asetettiin lopulta 500,000. Tämä oli korkea, mutta sopiva määrä pinnan muotojen sekä yksityiskohtien säilyttämiseen. Ohjelmistolla luotiin malliin myös tarkka teksturi, jota käytetään pohjana lopullisessa mallissa. Tarkan tekstuurin kooksi valittiin 8192x8192 pikseliä. Tekstuurin luominen oli automaattista, ja siihen käytettiin samoja kohteesta otettuja kuvia kuin pistepilvien valmistamiseen. Teksturointia varten kuvat vaihdettiin 16-bittisiin TIF-kuviin. Niin kuin aiemmin mainittiin, kuvien vaihtaminen ei ole mallin tai tekstuurin luonnin kannalta vaadittua.

Korkean polygonimäärän malli tallennettiin OBJ-muotoon, ja tekstuurikuva TIF-muotoon.



Kuva 17. 500,000 polygonin malli ilman tekstuuria ja tekstuurin kanssa. Kuivan ja halkeilevan maalin reunat säilyivät kohteen pinnalla.

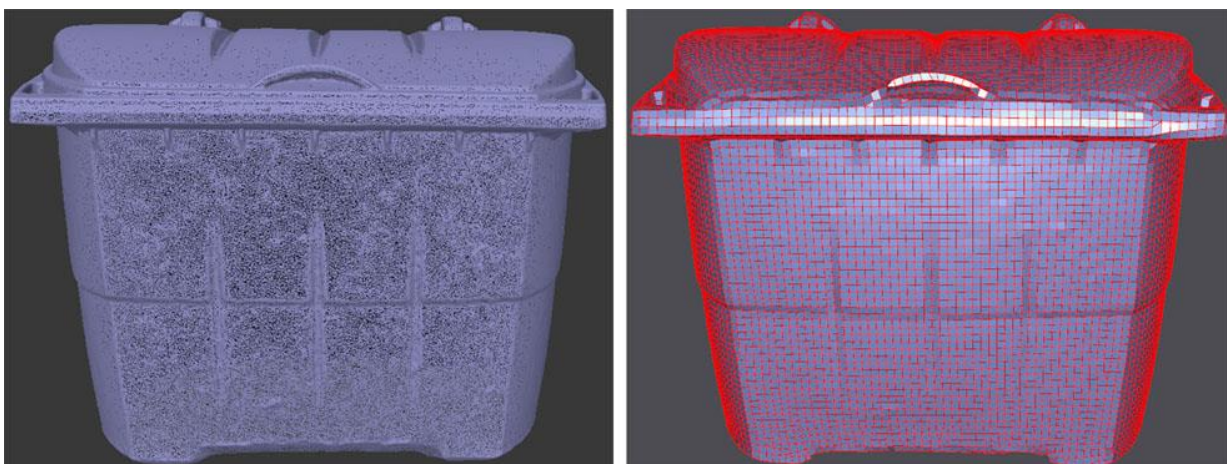
10 MALLIN OPTIMOINTI

10.1 Optimoidun mallin luonti pelimoottoriin

Koska alkuperäinen 500,000 polygonin malli sekä 8192x8192 pikselin tekstuuri ovat melko suuria pelimoottoriin, niistä luotiin alhaisemman tarkkuuden versiot. Esimerkkinä malli ei ollut osa peli- tai videoprojektia, joten mallin ja tekstuurin kohdetarkkuus jäivät vapaasti valittaviksi. Malli kuitenkin pidettiin pelimoottoreihin sopivissa mittasuhteissa. Mallin optimointi on aina täysin kiinni siitä, millaiseen projektiin sitä käytetään. Esimerkkinä malli optimoitiin lähinnä visualisointia varten. Aikaa pyrittiin säästämään, joten mallin uudelleenrakentaminen suoritettiin automaattisesti. Manuaalinen mallin uudelleenluonti on kuitenkin aina suositeltavaa. Tällöin saadaan paras mahdollinen optimoitu muoto ja vain tarvittava määrä polygoneja.

Alhaisen polygonimäärän mallin rakentamiseen käytettiin ilmaista Instant Meshes -ohjelmaa. Ohjelma kykenee luomaan alkuperäisen, tarkan mallin pinnasta automaattisesti uudelleen sekä kolmio- että neliömuotoihin perustuvia malleja. Uuden mallin verteksimääräksi asetettiin 12,8 tuhatta. Polygonien määrinä tämä on noin puolet enemmän, joten polygoneja uudessa mallissa oli noin 25,6 tuhatta.

Fotogrammetria ohjelmistot luovat ainoastaan kolmioihin perustuvia malleja. Myös pelimoottorit käsittelevät mallien pinnat aina kolmioina. Uusi malli kuitenkin luotiin neliöpinnaiseksi. Tämä siksi, että uuden mallin UV-kartta jouduttiin uusimaan käsin. Neliöpinnasta mallia oli helpompi käsitellä suorien reunaviivojen takia.

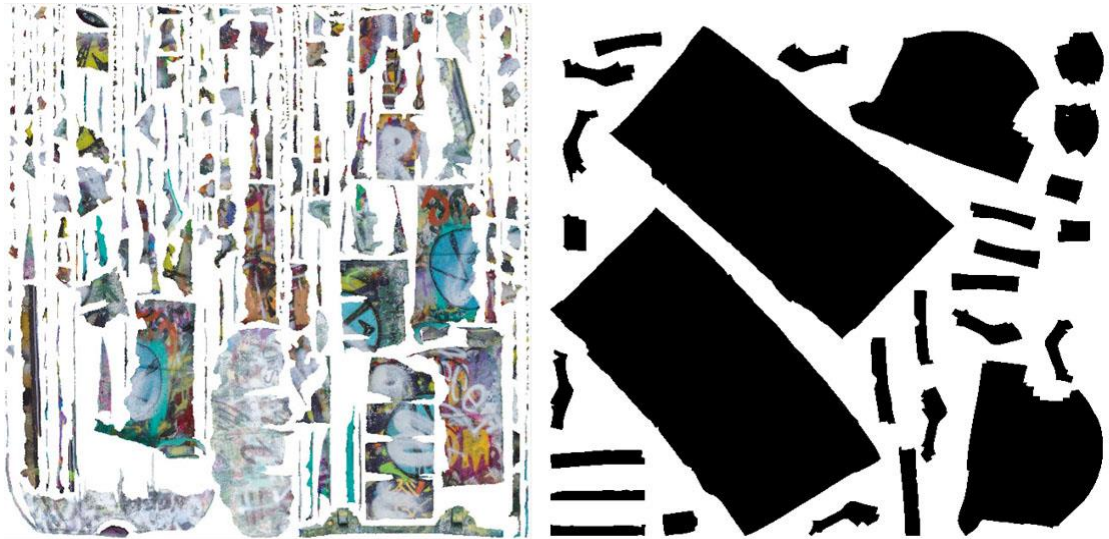


Kuva 18. Alkuperäinen 500,000 kolmion malli sekä uusi 25,000 neliön malli.

10.2 UV-kartan uudelleenluonti

Tallennettaessa uudelleen tehtyä mallia tekstuurien koordinaatit mallin pinnasta katosivat. Tämä tarkoittaa sitä, että malli ei sisällä tietoa siitä, mikä kuva esittää mitään kohtaa mallissa. Tällöin mallin uudelleen teksturointi on mahdotonta ilman, että malliin luodaan UV-kartta uudestaan. Koska fotogrammetria ohjelmiston luoma alkuperäinen UV-kartta on todella hajautettu, on optimoinnin kannalta muutenkin suositeltavaa luoda se uudestaan.

Mallin UV-kartta luotiin uudestaan Autodesk 3DsMax -ohjelmalla. Uudelleen luotu malli avattiin ohjelmistossa, ja malli "kuorittiin" kaksiulotteiseen muotoon. Näin saatiin yksinkertaisempi UV-kartta mallin pinnasta, johon tekstuuri voitaisiin uudelleen projisoida. Hyvän UV-kartan luonti oli melko hankalaa, sillä kohde sisältää ahtaita, avoimia kohtia. Yksinkertaisesta muodosta on helpompi valmistaa hyvin optimoitu UV-kartta.



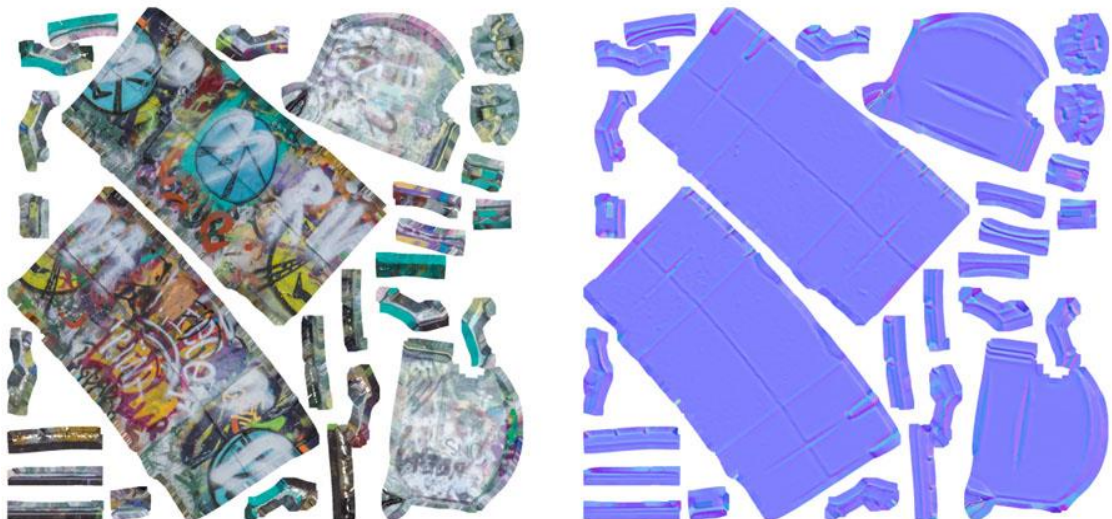
Kuva 19. Mallin alkuperäinen UV-kartta sekä uudelleen luotu, teksturoimaton versio.

10.3 Teksturointi

Teksturointi on osasy, siihen että mallista alun perin tallennettiin kaksi eri versiota. Tekstuurikartat joita työssä käytettiin ovat diffuusio, sekä normaalikartta. Diffuusio kartalla tarkoitetaan mallin alkuperäistä värikarttaa eli tekstuuria. Normaalikartta osaltaan simuloi valon käyttäytymistä mallin pinnalla. Alkuperäisen tarkan mallin pinnanmuodot on mahdollista siirtää uudelleen luodun mallin pinnalle käyttäen normaalikarttaa. Normaalikartta on avainasemassa mallien optimoinnissa. Tällöin polygonimäärissä voidaan säästää yksityiskohtia menettämättä.

Mallin diffuusio sekä normaalikartta luotiin xNormal-ohjelmalla. Ohjelmaan ladattiin alkuperäinen, korkean polygonin malli sekä uudelleen luotu, alhaisen polygonimäärän malli. Ohjelma prosessoi molemmat mallit ja kopioi tekstuurit tarkemmasta mallista uudelleen luotuun malliin. Alkuperäisen mallin tekstuurikoon ollessa 8192x8192 pikseliä, uuden mallin tekstuurikooksi valittiin 2048x2048 pikseliä. Näin saatiin korkean tarkkuuden mallin pinnasta normaalikartta sekä diffuusio kartasta kopio uuden mallin UV-karttaan. Uudelleen luodut tekstuurikartat tallennettiin PNG-muotoon.

Teksturointiin ei kuitenkaan olisi ollut pakko käyttää alkuperäisiä kuvia. Mallin väritys ja pinta voidaan vaihtaa jälkepäin käyttämällä mitä tahansa saumatonta kuvaa.



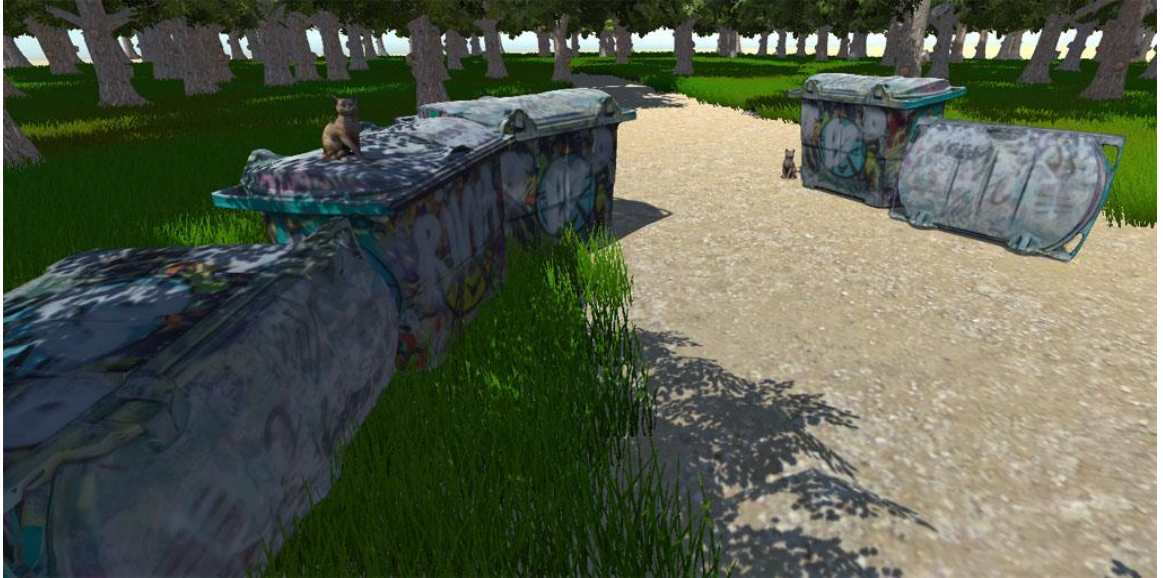
Kuva 20. Uudelleen projisoitu diffuusio ja normaalikartta.

11 TULOSTEN TARKASTELU

Mallin valmistuttua se siirrettiin pelimoottoriin tarkastelua varten. Kyseisessä vaiheessa varmistettiin, että malli siirtyy pelimoottoriin ilman ongelmia. Toinen tarkastelun kohteena ollut asia, oli tekstuurit. Katsottiin että tekstuurit näkyvät mallissa, niin kuin ne alun perin olivat kohdetta kuvattaessa. Mallin toimivuus varmistettiin aiemmin mainituissa Unreal Engine ja Unity3D-moottoreissa. Eroja mallin liittämiseen näihin kahteen pelimoottoriin ei ole. Mallin mahdolliseen muokkaamiseen ja jatkokäsittelyyn pelimoottorien sisällä, ei enää oteta kantaa. Nopean tarkastelun perusteella mallin luonti onnistui niin kuin alun perin oli suunniteltu.



Kuva 21. Luotu malli liitettynä Unreal Engine 4 -pelimoottoriin.



Kuva 22. Malli Unity3D-moottorissa.

11 YHTEENVETO

Tavoite oli selvittää välivaiheet sekä mahdollisesti skannaamiseen liittyvät ongelmat mallin luomisessa. Yleisesti tärkeimmät huomioon otettavat asiat liittyivät kameran asetukseen, kuvaustyyliin ja käytettävien kuvien tiedostomuotoihin. Mikäli kuvaus olisi suoritettu väärin tai kuvat olleet laadullisesti heikkoja, niin myös lopputulos olisi ollut huono tai prosessi olisi voinut keskeytyä kokonaan jo alkuvaiheessa.

Koeskannaus onnistui kaiken kaikkiaan hyvin. Vaikka kuvaamiseen sekä mallin luontiin ja optimointiin pyrittiin käyttämään mahdollisimman vähän aikaa, saatiin lopputulokseksi käyttökelpoinen malli. Laatua olisi voitu parantaa lisäämällä ajankäyttöä kaikissa vaiheissa ja käyttämällä mallin optimointiin paremmin soveltuvia ohjelmistoja. Ohjelmistojen käyttö sekä fotogrammetria ja siihen liittyvät kuvaustekniikat olivat entuudestaan tuttuja. Tämä osaltaan nopeutti koko koeskannausprosessia.

Mallin mahdollista jatkokehitystä ei käsitelty. Kuitenkin mallin näyttävyyttä pelimoottorin sisällä voitaisiin parantaa tutkimalla valaistusta, teksturointia sekä materiaalien käyttöä. Näiden kolmen asian hienosäätämisestä ja laajemmasta käytöstä saisi kirjoitettua uuden opinnäytetyön.

Fotogrammetria osoittautui hyväksi apuvälineeksi mallien luonnissa. Vaikka tekniikka mahdollistaa realistisen mallin nopean luonnin, on se vain yksi työkalu, joka vaatii ainakin toistaiseksi graafikon käsin tekemää jälkikäsitelyä ja optimointia. Valokuvaamiseen ja kameran käyttöön liittyvät asiat on tärkeää osata, sillä koko tekniikka perustuu kuviin ja niiden laatuun.

LÄHTEET

- Agisoft Photoscan User Manual. 2016. [viitattu 21.10.2016] http://www.agisoft.com/pdf/photoscan_1_2_en.pdf
- Agisoft. 2016. Tietokone. Recommended Hardware. [viitattu 25.11.2016] <http://www.agisoft.com/downloads/system-requirements/>
- Algoritmi. Wikipedia 2016. [viitattu 4.12.2016] <https://fi.wikipedia.org/wiki/Algoritmi>
- Frich, The guide to panoramic photography. 2016. [viitattu 2.12.2016] <http://www.panoramic-photo-guide.com/virtual-tour-360-photography/how-to-make-virtual-tour-summary.html>
- Baltsavias, 1998. A comparison between photogrammetry and laser scanning. [viitattu 2.9.2016] <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.turkuamk.fi/science/article/pii/S0924271699000143>
- Eos Systems. 2016. Photomodeler applications. [viitattu 4.11.2016] <http://www.photomodeler.com/applications/default.html>
- Epic Games. 2016. Tekstuurit. Texture Support and Settings. [viitattu 13.11.2016] <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Content/Types/Textures/SupportAndSettings>
- Laser Design. 3D Scanning Technology — Hard Work That Looks Like “Magic”. [viitattu 2.9.2016] <http://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning>
- Lifewire. 2016. Verteksi. 3D Model Components – Vertices, Edged, Polygons & More. [viitattu 4.12.2016] <https://www.lifewire.com/3d-model-components-1952>
- LMI Tehcnologies. 2013. A Simple Guide To Understanding 3D Scanning Technologies. [viitattu 2.9.2016] http://lmi3d.com/sites/default/files/EBOOK_A_Simple_Guide_To_3D.pdf
- Luhmann, T. Robson, S. Stephen, K & Harley, I. 2006. Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications. [viitattu 21.10.2016] <http://site.ebrary.com.ezproxy.turkuamk.fi/lib/turkuamk/reader.action?docID=10904604>
- National Geographic. 2016. Centuries of Preserved Shipwrecks Found in the Black Sea. [viitattu 4.11.2016] <http://news.nationalgeographic.com/2016/10/black-sea-shipwreck-discovery/>
- Parempia kuvia, 6. painos. 2010. – Kolari, J. Forsgård, P. [viitattu 19.11.2016]
- Paul Debevec. Wikipedia 2016. [viitattu 10.12.2016] https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Debevec
- PNG, Portable Network Graphics. Wikipedia 2016. [viitattu 4.12.2016] https://en.wikipedia.org/wiki/Portable_Network_Graphics
- Polygon mesh. Wikipedia 2016. [viitattu 4.12.2016] https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh
- Raw image format. Wikipedia 2016. [viitattu 19.11.2016] https://en.wikipedia.org/wiki/Raw_image_format
- Sketchfab. 2015. How to set up a successful photogrammetry project. [viitattu 21.10.2016] <https://blog.sketchfab.com/how-to-set-up-a-successful-photogrammetry-project/>
- The Center for Photogrammetric Training, History of photogrammetry. [viitattu 3.9.2016] http://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History_of_Photogrammetry.pdf

TIFF. Wikipedia 2016. [viitattu 4.12.2016] <https://en.wikipedia.org/wiki/TIFF>

Unity Technologies. 2016. Polygonimäärät. Modeling characters for optimal performance. [viitattu 12.11.2016] <https://docs.unity3d.com/Manual/ModelingOptimizedCharacters.html>

Unity Technologies. 2016. Tekstuurit. Art Asset Best Practice Guide.[viitattu 12.11.2016] <https://docs.unity3d.com/Manual/HOWTO-ArtAssetBestPracticeGuide.html>

Unity Technologies. 2016. UV-kartta. Optimizing graphics performance. [viitattu 13.11.2016] <https://docs.unity3d.com/Manual/OptimizingGraphicsPerformance.html>

Wavefront .obj file. Wikipedia 2016. [viitattu 4.12.2016] https://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront_obj_file

Virtual reality, HDR, Photogrammetry at ICT. 2008. mahalodotcom. [viitattu 10.12.2016] <https://www.youtube.com/watch?v=UUvAVjUnE8M>

KUVALÄHTEET

Kuva 1. Brigham Young University. 2016. Kuvakaappaus. <http://prismweb.groups.et.byu.net/IP/App/#%2F>

Kuva 2. DICE, GDC. 2016. <http://www.gdcvault.com/play/1022981/Photogrammetry-and-Star-Wars-Battlefront>

Kuva 3. Call Of Duty Kevin Spacey Interview. GamerHubTV. Kuvakaappaus. <https://www.youtube.com/watch?v=NXIDEL4vSVI>

Kuva 4. The Astronauts. 2014. <http://www.theastronauts.com/2014/03/visual-revolution-vanishing-ethan-carter>

Kuva 5. Carl Chapman Photography. 2011. Camera sensor noise profile of a Canon Powershot G12. <http://blog.carlchapman.com/photography-workflow/camera-sensor-noise-profile-canon-powershot-g12/>

Kuva 7. Secrets of digital bird photography. <http://www.digitalbirdphotography.com/7.7.html>

Kuva 8. Pixelarge. 2014. What is Aperture ? – Quick Photography Tutorials. <http://pixelarge.com/aperture-quick-photography-tutorials>

Kuva 9. Depth of field. Wikipedia. 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Depth_of_field

Kuvat 10-12. Agisoft Photoscan User Manual. 2016. http://www.agisoft.com/pdf/photoscan_1_2_en.pdf

Kuva 13. UV mapping. Wikipedia 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/UV_mapping