

Fotogrammetrian hyödyntäminen virtuaalitodellisuustuotannossa

Petteri Aaltonen

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2019

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Aaltonen, Petteri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2019
	Sivumäärä 49	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Fotogrammetrian hyödyntäminen virtuaalitodellisuustuotannossa		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Manninen Pasi, Niemi Kari		
Toimeksiantaja(t) Movya Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä selvitettiin, mitä fotogrammetria on ja kuinka sitä voitaisiin hyödyntää osana virtuaalitodellisuustuotantoa. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi digitaalista mediaa tuottava jyväskyläinen Movya Oy. Tavoitteena oli selvittää, voidaanko fotogrammetriaa käyttämällä tuottaa perinteistä 3D-mallinnusta nopeammin realistisia 3D-malleja, joita voidaan hyödyntää virtuaalitodellisuussovelluksissa.</p> <p>Työssä tuotettiin fotogrammetrian avulla pelimoottoriin soveltuva kevennetty 3D-malli lenkkikengästä. Työ aloitettiin valokuvaamalla kohde. Otetut kuvat vietiin 3DF Zephyr Aerial -ohjelmistoon, joka muodosti kuvista pistepilven. Tästä pistepilvestä ohjelmisto laski 3D-mallin sekä sille tekstuurin. 3D-mallille tehtiin kevennysmallinnus käyttäen samaa ohjelmistoa. High poly -mallista paistettiin kevennetylle Low poly -mallille tekstuurikartat käyttäen Substance Painter -ohjelmistoa. Näillä toimenpiteillä saatiin aikaiseksi realistinen 3D-malli, jonka yhteensopivuus varmistettiin viemällä malli Unreal Engine pelimoottoriin.</p> <p>Toteutuksessa huomattiin, että kuvaaminen vaati erityistä tarkkuutta. Kohde voitiin kuvata ottamalla kuvia tai videota. Sopivimmaksi osoittautui valokuvaaminen JPEG-formaattiin. Tällä menetelmällä 3D-malli muodostui sekä laadukkaasti että nopeimmin prosessin kestäessä noin 30 minuuttia. 3D-malli voitiin keventää 1,5 miljoonasta polygonista 20 000 polygoniin säilyttäen silti mallin realismin. Fotogrammetrian heikkoudeksi ilmeni sen kykenemättömyys muodostaa malleja kohteista, joiden pinta oli kiiltävä, peilaava tai tasainen. Ympäristöjen ja orgaanisten kohteiden huomattiin toimivan parhaiten.</p> <p>Johtopäätöksenä todettiin, että fotogrammetrian avulla voidaan tuottaa realistisia 3D-malleja, joiden etuna on tuotannon automaattisuus ja nopeus. Tietyistä rajoitteista huolimatta fotogrammetria on toimiva lisätyökalu osana virtuaalitodellisuustuotantoa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) 3D-mallinnus, fotogrammetria, valokuvaus, virtuaalitodellisuus, Low poly, High poly		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Aaltonen, Petteri	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 49	Permission for web publication: x
Title of publication Utilizing photogrammetry in virtual reality production		
Degree programme Information and communications technology		
Supervisor(s) Manninen Pasi, Niemi Kari		
Assigned by Movya Oy		
Abstract <p>The thesis explored what photogrammetry is and how it could be introduced into virtual reality production. The project was assigned by Movya Oy, a digital media production company in Jyväskylä. The goal was to find out if using photogrammetry could produce realistic virtual reality compatible 3D models faster than traditional 3D modeling.</p> <p>A Low poly 3D model of a running shoe suitable for game engine use was produced using photogrammetry. The work was started by photographing the subject. The captured images were taken to 3DF Zephyr Aerial software, which formed a point cloud of the images. From this point cloud, the software formed a 3D model and its texture. The 3D model was converted to a Low poly model using the same software. Using the High poly model, texture maps were baked for the Low poly model, using Substance Painter software. These measures produced a realistic 3D model that was verified to be compatible with the Unreal Engine game engine.</p> <p>In the implementation, it was found out that photography required special precision. The subject could be photographed by taking pictures or video. Most suitable was photography using JPEG format. With this method, the 3D model was produced with high quality and the fastest process lasting about 30 minutes. The 3D model could be converted from 1,5 million polygons to 20 000 polygons, still retaining the model's realism. The weakness of using photogrammetry was its inability to form 3D models of glossy, mirroring, or flat subjects. The environments and organic objects were found to work best.</p> <p>The conclusion is that photogrammetry can produce realistic 3D models with the advantage of automation and speed of production. Despite certain constraints, photogrammetry is a useful additional tool as part of virtual reality production.</p>		
Keywords/tags (subjects) 3D-modeling, photogrammetry, photography, virtual reality, Low poly, High poly		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Taustaa	5
1.2	Toimeksiantajan esittely.....	6
1.3	Tavoitteet	6
1.4	Tietoperusta	7
1.5	Menetelmät.....	7
2	Virtuaalitodellisuus.....	8
2.1	Virtual reality (VR)	8
2.2	Augmented reality (AR)	8
2.3	Mixed reality (MR).....	9
2.4	Extended reality (XR)	10
2.5	Laitteet	10
	2.5.1 Virtuaalilasit.....	10
	2.5.2 Virtuaalitalat	12
2.6	Sisällön tuottaminen	13
	2.6.1 360 asteen kuva.....	13
	2.6.2 3D-grafiikka.....	13
2.7	Käyttökohteet.....	14
	2.7.1 Viihde.....	14
	2.7.2 Arkkitehtuuri ja tuotekehitys.....	15
	2.7.3 Tiede	16
	2.7.4 Opetus	16
	2.7.5 Data.....	17
2.8	Tulevaisuus	18
3	3D-mallinnus	18
3.1	Yleistä	18
3.2	Tuotantoputki.....	18
	3.2.1 Mallinnus	18
	3.2.2 Low poly ja High poly.....	21

	2
3.2.3 UV-kartoitus.....	21
3.2.4 Tekstuuri	22
4 Fotogrammetria	22
4.1 Yleistä	22
4.2 Toimintaperiaate	23
4.3 Käyttökohteet.....	23
4.4 Kuvaaminen	25
4.4.1 Kamera.....	25
4.4.2 Kameran asetukset	25
4.4.3 Kohde.....	26
4.4.4 Kuvaustapa	26
4.5 Ohjelmisto	27
5 3D-mallien valmistus fotogrammetrialla	28
5.1 Lähtökohta.....	28
5.2 Kohteen valokuvaus	29
5.3 Mallin muodostaminen valokuvista	31
5.4 Kevennysmallinnus.....	35
5.5 Paisto	36
5.6 Pelimoottoriin vienti.....	37
6 Työn tulokset.....	38
6.1 Tuotannon kulku.....	38
6.2 3D-mallit	40
7 Johtopäätökset.....	41
7.1 Hyödyt	41
7.2 Haitat	42
7.3 Mahdollisuudet	42
8 Pohdinta.....	43
Lähteet	44

Kuviot

Kuvio 1. Älypuhelimessa toimiva AR-sovellus Pokemon Go	9
Kuvio 2. Näytölle, jonka läpi voidaan nähdä, muodostetaan virtuaalista sisältöä	9
Kuvio 3. Langaton Oculus Rift Quest	11
Kuvio 4. Googlen pahviset Cardboard virtuaalilasit	11
Kuvio 5. Yhdysvaltain armeijan harjoitussimulaattori	12
Kuvio 6. Kuvan henkilö tekemässä maalaustaidetta virtuaaliympäristössä	14
Kuvio 7. Virtuaalitodellisuuden avulla saadaan asiakkaat mukaan suunnittelutyöhön aikaisessa vaiheessa	15
Kuvio 8. Virtuaalitodellisuuden avulla voidaan tehdä altistushoitoja eläinfobioista kärsiville.....	16
Kuvio 9. Visualisoimalla isoja datamääriä virtuaalitodellisuudessa, voidaan tiedon ymmärtämistä helpottaa.....	17
Kuvio 10. Vertex, edge, polygon ja face havainnollistettu koordinaatiston avulla	19
Kuvio 11. Sculpting mahdollistaa tarkat yksityiskohdat.....	20
Kuvio 12. UV-kartoituksessa 3D-malli puretaan saumoistaan ja levitetään tasaiseksi.....	21
Kuvio 13. Oikealla 2D-tekstuurikartta, jolla saadaan 3D-hahmolle vaatetus	22
Kuvio 14. Fotogrammetrian mittausmenetelmä	23
Kuvio 15. Esimerkki kaukokartoitetusta kohteesta.....	24
Kuvio 16. Fotogrammetrian hyödyntämistä videopelissä	25
Kuvio 17. Esimerkki kuvauspaikoista kohdetta valokuvattaessa	27
Kuvio 18. Muodostunut pistepilvi sekä teksturi. Siniset ovat kameran sijainteja	27
Kuvio 19. Fotogrammetrian avulla mallinnettava kohde.....	29
Kuvio 20. Käytetyt kameran asetukset sekä kamera ja objektiivi.....	30
Kuvio 21. Ylhäällä editoimaton RAW-kuva ja alhaalla RAW-kuva valotus säädettyinä	31
Kuvio 22. Muodostunut harva pistepilvi	32
Kuvio 23. Tiheä pistepilvi.....	33
Kuvio 24. Useista polygoneista muodostunut 3D-malli	33
Kuvio 25. Ohjelmiston lenkkikengästä luoma tekstuurikartta	34
Kuvio 26. Siistimisen jälkeen mallista on saatu ylimääräiset osat pois.....	35

Kuvio 27. Oikealla kevennetyssä mallissa on selvästi vähemmän polygoneja	36
Kuvio 28. UV-kartan luonti	36
Kuvio 29. Kolmen tekstuurikartan muodostama materiaali.....	37
Kuvio 30. Kevennetyt mallit pelimoottorissa tarkasteltavana. Vasemmalla 2036 polygonin ja oikealla 20 036 polygonin -malli.....	40
Kuvio 31. Läpinäkyvistä kohteista ei pystytä muodostamaan kolmiulotteista mallia .	42

Taulukot

Taulukko 1. Kuvausmenetelmien vertailu.....	39
Taulukko 2. Mallinnusmenetelmien vertailu	41

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Virtuaalitodellisuuden kovan kasvun sekä mahdollisen läpimurron ollessa käsillä, sen tuotantomenetelmien tarkastelulle on hyvä hetki. Vaikka virtuaalitodellisuustuotanto on pitkiltä osin sama kuin pelikehityksessä, on siinä tiettyjä ominaisuuksia, joihin on tuotantoja tehdessä panostettava erityisesti.

Virtuaalitodellisuuden sovellukset ovat pääosin VR-laseja hyödyntävää mediaa, joten niitä varten tarvitaan mahdollisimman realistista sisältöä. Mahdollisimman aidon tuntuinen sisältö tekee kokemuksesta immersioivisemmän ja samalla vähentää mahdollista pahoinvointia, jota käyttäjälle saattaa tulla. Nämä edut ovat merkittäviä VR-tuotteiden haluttavuuden lisäämiseksi.

Tuotannon perustuessa samoihin työskentelytapoihin kuin pelikehityksessä niin sanottua manuaalista käsityötä on tuotannoissa paljon. 3D-grafiikkaa hyödyntävät virtuaalitodellisuuden sovellukset vaativat toimiakseen 3D-malleja. Näiden valmistaminen vaatii usein niin sanottua käsin mallinnusta. Tämä vaatii tuotannosta ison osan aikaa, tekijöitä sekä rahaa. Käsin mallintaminen vie aikaa ja se tuottaa haasteita saada 3D-malleista realistisia.

Fotogrammetria on menetelmä, jossa otetuista valokuvista saadaan muodostettua 3D-malleja ja niille tekstuurit eli pintamateriaalit. Tätä menetelmää hyödyntämällä voitaisiin minimoida käsin tehtävä mallinnus ja samalla tuoda 3D-malleihin realismia. Koska 3D-mallin ja sen tekstuurien tuottaminen fotogrammetrialla on lähes automaattista, se toisi suuria etuja verrattuna perinteiseen tuotantoon.

1.2 Toimeksiantajan esittely

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi vuonna 2009 perustettu digitaalista mediaa tuottava jyvaskyläläinen Movya Oy. Movyalla on vahva osaaminen eri medioiden laadukkaana tuottajana. Pitkä alan kokemus ja taidokkaat ammattilaiset tuottavat korkealuokkaisia sovelluksia sekä palveluita räätälöitynä asiakkaan toiveiden mukaan. Asiakkaina ovat pääosin suuret metsä- ja konepajateollisuuden yritykset maailmanlaajuisesti. Movya tuottaa muun muassa 3D-visualisointeja, videotuotantoja, tarinankerrontaa, verkkosovelluksia ja virtuaalitodellisuuden tuotteita. (Mitä teemme 2019.) Näistä tuotteista virtuaalitodellisuuden tuotannot ovat haluttuja. Kysynnän kasvaessa tuotannon kehittämiseksi on sijaa.

1.3 Tavoitteet

Oletuksena oli, että fotogrammetria mahdollistaa tiettyjen työvaiheiden nopeuttamisen sekä sillä tuotettavien 3D-mallien realistisuuden lisäämisen. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, pitääkö tämä oletus paikkaansa. Tavoite oli selvittää, mitä fotogrammetria on ja kuinka sen käyttö voitaisiin valjastaa virtuaalitodellisuuden tuotantoihin mukaan. Tämä toisi lisäarvoa virtuaalitodellisuustuotantoihin, jotka yleisesti ottaen ovat työläitä tehdä ja vaativat mahdollisimman realistia malleja toimiakseen edukseen. Lopuksi tuli selvittää voisiko opinnäytetyön toimeksiantaja hyötyä fotogrammetriasta omissa tuotannoissaan.

Käytännön työnä tuli tuottaa 3D-malleja fotogrammetriaa hyödyntäen. Näitä malleja oli tarkoitus verrata oletuksiin perinteistä mallinnusta käyttämällä tehtyihin malleihin. Tuli ottaa selvää, tuoko tämä tapa säästöjä resursseihin vähentämättä toimitusta sekä laatua. Lisäksi tuli selvittää, mitä mahdollisuuksia fotogrammetria tuo tuotantoon ja mitä haittoja sen käytöstä on.

1.4 Tietoperusta

Työ rajattiin 3D-mallien tuottamiseen fotogrammetrian avulla ja sen vertaamiseen perinteiseen mallinnukseen virtuaaliodellisuustuotannon näkökulmasta. Rajauksen ulkopuolelle jätettiin tarkempi pohdinta 3D-animoinnin ja 3D-kuvien tuotannosta. Lisäksi aihealueiden historian tarkastelu jätettiin pois, sillä siitä ei ollut tuotannon näkökulmasta hyötyä.

Tärkeimpinä tiedonlähteinä tietoperustan muodostamiseen käytettiin verkkojulkaisuja sekä painettuja kirjoja. Käytännön työtä tehtäessä myös verkossa olevat opetusvideot olivat käytössä. Alustavasti tiedettiin, että fotogrammetrian ja 3D-mallinnuksen yhteiskäytöstä on tietoa ja sitä myös hyödynnetään joissain alan yrityksissä. Opinnäytetyöhön käytettiin jo olemassa olevaa tietoa.

1.5 Menetelmät

Tämän kuvailevan selvityksen tarkoituksena oli selvittää uuden työkalun hyödynnettävyyttä virtuaaliodellisuustuotannossa. Ongelmanasettelun ratkaisuun tuotettiin 3D-malleja fotogrammetriaa hyödyntämällä. Näitä malleja verrattiin olettamuksiin perinteisellä tavalla mallinnetuista malleista. Mallien vertailussa tarkasteltiin muun muassa 3D-mallien laatua, realistisuutta, tuotannon nopeutta sekä tuotannon helpoutta. Lisäksi selvitettiin, mitä on mahdollista tuottaa ja mitä ei.

Käytännön työn tuloksia analysoitiin vertailemalla. Tulosten analysoinnissa mallien laatua ja realistisuutta määrittävä tarkastelu tehtiin silmämääräisesti valmiita malleja tutkien. Tuotannon nopeutta mitattiin mallien valmistamiseen käytetyllä ajalla. Lisäksi tarkasteltiin yleisesti prosessin sujuvuutta.

2 Virtuaalitodellisuus

2.1 Virtual reality (VR)

Virtual reality eli suomeksi virtuaalitodellisuus on interaktiivinen tietokoneella tuotettu pääosin visuaalinen kokemus simuloitussa ympäristössä. Tämä kokemus voi olla visuaalisuuden lisäksi auditiivinen sekä haptinen. Virtuaalitodellisuudessa simuloidaan jotain oikeaa tai täysin kuvitteellista paikkaa luomalla sen visuaalinen näkymä, äänimaailma tai mahdollisesti myös sen tuomat aistiärsykkeet. Virtuaalitodellisuuden tavoitteena on olla immersiiivinen kokemus, jossa käyttäjä uppoutuu keinotekoiseen todellisuuteen. Virtuaalitodellisuus luodaan käyttäjälle käyttämällä virtuaalilaseja, näyttölaitetta tai projisoimalla kuvaa valkokankaalle. Nykyään näistä ehdottomasti suosituin ja eniten käytetty on virtuaalilasit tai toiselta nimeltään virtuaalikyypäri. (Añorbe-Díaz, González-Marrero, Mora & Martín-Gutiérrez 2016.)

2.2 Augmented reality (AR)

Augmented reality tai suomeksi lisätty todellisuus on jollain laitteella tuotettu näkymä reaali maailmasta, johon lisätään tietokoneella tuotettua sisältöä kuten grafiikkaa, ääntä tai videota. Toisin kuin virtuaalitodellisuudessa, joka vaatii käyttäjän olemaan täysin virtuaalisessa ympäristössä, lisätty todellisuus käyttää luonnollista ympäristöä ja tuo sen päälle virtuaalisen informaation. Tällä hetkellä suosituimmat lisättyyn todellisuuteen käytetyt laitteet ovat älypuhelimet ja tablettitietokoneet. AR-sisältöä voidaan katsoa esimerkiksi älylaitteen kameran läpi sovelluksen luodessa virtuaalisia elementtejä kameran kuvaaman sisällön päälle. Esimerkkinä lisätystä todellisuudesta ovat suositut Snapchatin AR Bitmojit sekä Pokemon Go (ks. kuvio 1). (What really is the difference between AR / MR / VR / XR? 2018.)



Kuvio 1. Älypuhelimessa toimiva AR-sovellus Pokémon Go (Naudus 2016)

2.3 Mixed reality (MR)

Mixed reality eli niin kutsuttu sekoitettu todellisuus yhdistää todellisen ja virtuaali- maailman. Näissä ympäristöissä sekä visualisoinneissa fyysiset ja digitaaliset objektit ovat samanaikaisesti olemassa sekä vuorovaikutuksessa toisiinsa reaaliajassa. Mixed realityn keskeinen ominaisuus on, että virtuaalinen sisältö sekä reaali maailman sisältö voivat reagoida toisiinsa reaaliajassa. Microsoftin HoloLens on päähän puettava näyttölaite, jolla tällaista MR sisältöä on mahdollista katsella (ks. kuvio 2). (What is mixed reality? 2018.)



Kuvio 2. Näytölle, jonka läpi voidaan nähdä, muodostetaan virtuaalista sisältöä (Billinghurst 2017)

2.4 Extended reality (XR)

Extended reality eli laajennettu todellisuus on hiljattain teknisten sanojen sanakirjaan lisätty termi. XR käsittää kaikki reaali maailman ja virtuaalitodellisuuden yhdistetyt ympäristöt sekä ihmisen ja koneen väliset vuorovaikutukset, joita tietotekniikalla ja siihen soveltuvilla laitteilla tuotetaan. Toisin sanoen VR, AR ja MR ovat yhdistetynä XR. XR on tulevaisuuden termi virtuaalitodellisuuden tuotteille. (Scribani 2019.)

2.5 Laitteet

2.5.1 Virtuaalilasit

Monet nykyaikaiset virtuaalilasit toimivat suurilta osin samalla toimintaperiaatteella. Lasien sisällä on linssit, joiden läpi katsotaan laseissa olevaa näyttöä tai näyttöjä. Linseillä muodostetaan stereoskooppinen näkymä, joka luo syvyyden vaikutelman. Joissain malleissa on myös kuulokkeet, joiden avulla luodaan äänimaailma. Mallit voidaan karkeasti jakaa kahteen eri kategoriaan: tietokoneen tai pelikonsolin avulla toimivat sekä älypuhelinta käyttävät virtuaalilasit. (Aukstakalnis 2017, 56-58, 104-115.)

Virtuaalilasit, joiden sisältöä ohjataan tietokoneen tai pelikonsolin avulla, ovat useimmiten monipuolisempia ja niiden tuoma kokemus on vaikuttavampi. Laseissa on kaksi korkearesoluutioista näyttöä, yksi kummallekin silmälle. Tietokoneen tuoma suorituskyky mahdollistaa monipuoliset ja korkearesoluutioiset sisällöt. Tämä kuitenkin vaatii tietokoneelta paljon suorituskykyä. Tämän mallisiin laseihin on myös mahdollisuus liittää käsiohjaimia, jotka toimivat perinteisen peliohjaimen tavoin. Ohjaimen avulla käyttäjä voi esimerkiksi liikkua tai ohjaimissa olevan liikkeen tunnistuksen avulla käsitellä objekteja virtuaalimaailmassa. Liiketunnistuksen omaavat ohjaimet vaativat toimiakseen sensorit, jotka tarkkailevat ohjainten liikettä. Haittapuolena laitteille ovat niiden vaatimat kytkentäjohdot, jotka rajoittavat käyttäjän liikkuvuutta. Markkinoille tulossa oleva Oculus Rift Quest tuo uuden ulottuvuuden laseihin olemalla täysin langaton järjestelmä (ks. kuvio 3). (Mts. 56-58, 104-112.)



Kuvio 3. Langaton Oculus Rift Quest (Robertson 2018)

Älypuhelinta hyödyntävät virtuaalilasit ovat todella suosittuja johtuen niiden alhaisesta hinnasta. Näissä laseissa älypuhelin sijoitetaan lasien sisään ja puhelimen näytöltä heijastetaan sisältö linssien läpi katsojan silmiin. Koska käytössä on vain yksi näyttö, pitää sisältö jakaa näytöllä kahteen osaan, että kuvasta saadaan stereoskooppinen. Älypuhelisten näyttöjen matalampi resoluutio ja sisällön kahdeksi jakaminen tekee katsottavasta sisällöstä heikompi laatuista, ja näin ollen se ei ole kokemuksena niin miellyttävä. Koska tämän malliset virtuaalilasit ovat edullisia, niiden avulla on helppo tutustua virtuaalitodellisuuteen. Googlen Cardboard -virtuaalilasit saa halvimmillaan vain muutamalla eurolla (ks. kuvio 4). (Añorbe-Díaz ym. 2016.)



Kuvio 4. Googlen pahviset Cardboard virtuaalilasit (Buczowski 2015)

2.5.2 Virtuaalitulat

Virtuaalitodellisuus käsitetään usein lasien avulla koettavaksi, mutta se ei kuitenkaan vaadi käytettäväksi virtuaalilaseja. Virtuaalitodellisuus voidaan luoda näyttämällä sisältöä halutussa tilassa. Sisältö voidaan heijastaa seinille, tai seinät voivat olla näyttöpaneeleja. Tilat voivat olla nurkkauksia tai kupoleita, joiden sisäpinnoilla sisältöä näytetään. Käyttäjän ollessa lähes ympäröity näytettävällä sisällöllä saadaan aikaseksi virtuaalitodellisuuden tuottama immersio. Tällaisia virtuaalituloja käytetään usein koulutuskäytössä. Yhdysvaltain armeija käyttää koulutuksessaan kupolimaista virtuaalituloa (ks. kuvio 5). (JTAC solutions 2019.)



Kuvio 5. Yhdysvaltain armeijan harjoitussimulaattori (JTAC solutions 2019)

2.6 Sisällön tuottaminen

2.6.1 360 asteen kuva

360 asteen videot ja kuvat sekä 3D-grafiikat ovat kaksi suosituinta tapaa tuottaa virtuaalitodellisuussisältöä. Kuvattaessa 360-sisältöä tarvitaan siihen soveltuva kamera sekä ohjelmisto, jonka avulla materiaali prosessoidaan virtuaalitodellisuuskäyttöön sopivaksi. Kuvaukseen voi käyttää tavallista kameraa, jonka kuvat editointivaiheessa nidotaan yhteen kupolimaiseen muotoon, joka toimii virtuaalisena ympäristönä. Tämä kuitenkin soveltuu vain kuvien käyttöön. Parempi vaihtoehto on niin sanottu 360-kamera. Se on kamera, joka ottaa kuvia tai videota yhtä aikaisesti 360 asteen laajuudelta. Kuvaaminen on helppoa mutta kuitenkin vain osa tuotannosta. Kuvattu materiaali pitää nittoa yhteen ja prosessoida yhteensopivaksi käytettävän laitteiston kanssa. Haittapuolena kuvaamalla tuotetussa sisällössä on interaktiivisuuden puute. Kuvattu sisältö mahdollistaa lähinnä vain sen katselemisen, mutta siellä liikkuminen tai toimiminen ei ole mahdollista. (Bozhenko 2018.)

2.6.2 3D-grafiikka

3D-grafiikoita hyödyntävä sisältö mahdollistaa huomattavasti laajemman kokemuksen. Haluttu sisältö tuotetaan tietokoneen avulla 3D-muotoon. Tämä on niin kutsuttua 3D-mallinnusta, jota tehdään jollain 3D-ohjelmistolla. Mallinnettaessa on vain tekijän mielikuvitus rajana. 3D-grafiikoilla voidaan tuottaa kuvia tai videota samoin kuin kuvausmenetelmällä. Mahdollisuutena on kuitenkin luoda myös 3D-grafiikoista pelimäisiä virtuaaliympäristöjä. Pelimäinen ympäristö mahdollistaa siellä liikkumisen, toimimisen sekä monet erilaiset interaktiiviset toiminnot. Tällainen pelillisyyttä saadaan usein aikaiseksi käyttämällä pelimoottoria. (Bozhenko 2018.)

2.7 Käyttökohteet

2.7.1 Viihde

Virtuaalitodellisuus antaa uusia mahdollisuuksia ja ulottuvuuksia viihteen tekemisessä. Taide saa uuden käsityksen tuottamiselle, jolla ei tarvitse olla fyysisiä rajoitteita. Veistos tai vaikka kanvaasi voi olla täysin eri kokoluokkaa kuin reaali maailmassa. Se mahdollistaa luovuudelle aivan uudet toimintatavat, joilla on mahdollista luoda jotain täysin uutta (ks. kuvio 6). Fotogrammetrian avulla tuotettujen virtuaalilojen tekeminen on taiteen saralla hyvä keino tuoda ihmisten esiteltäväksi merkittäviä taideteoksia tai vaikka historiallisia paikkoja. Tallentamalla merkittäviä kohteita virtuaaliseen muotoon voidaan konservoida kohteita. (Aukstakalnis 2017, 228.)



Kuvio 6. Kuvan henkilö tekemässä maalaustaidetta virtuaaliympäristössä (Stewart 2017)

Pelit ovat alkaneet vahvimmin hyödyntää virtuaalitodellisuutta ja suuri osa sovelluksista onkin peliteollisuudessa. Pelien kehitys on osaltaan luonut tietä virtuaalitodellisuudelle. Pelit ovat merkittävä voima, jotka ovat ajaneet laitteiden ja komponenttien kehitystä eteenpäin vuosi vuodelta. (Mts. 229-232.)

Mahdollisuus päästä seuraamaan elokuvaa päähahmon perspektiivissä luo kiinnostavan asetelman, jonka potentiaalin Hollywoodin isoimmat studiotkin ovat ymmärtäneet. Disneyn tiedetään tehneen isoja investointeja virtuaalitodellisuuteen liittyen, mikä herättää ajatuksia virtuaalitodellisuuden yleistymisestä elokuvateollisuudessa. Immersiiviselle sisällölle muodostunut kysyntä on saanut viihdealan toimijat pohtimaan, miten hyödyntää virtuaalitodellisuutta parhaalla mahdollisella tavalla. (Mateer 2018.)

2.7.2 Arkkitehtuuri ja tuotekehitys

Mahdollisuus päästä katsomaan vasta suunnitteilla olevan rakennuksen sisään lisää suunnittelutyön potentiaalia ja tekee siitä tehokkaampaa. Vasta konseptitasolla oleva virtuaalisesti valmistettu rakennus tai tuote on myynnin ja markkinoinnin näkökulmasta mainio etu. Virtuaalista tilaa tai tuotetta asiakkaalle esittelemällä voidaan lisätä myyntiä tai mahdollisesti saada vielä epäröivä asiakas vakuuttuneeksi. Virtuaalitodellisuus antaa mahdollisuuden tarkastella tuotetta etänä, mikä helpottaa asiakkaan valintaa, kun hän harkitsee tuotteen ostamista (ks. kuvio 7). (Virtual reality uses in architecture and design 2017.)



Kuvio 7. Virtuaalitodellisuuden avulla saadaan asiakkaat mukaan suunnittelutyöhön aikaisessa vaiheessa (How virtual reality is transforming architecture and design 2018)

2.7.3 Tiede

Etsittäessä erilaisia näkökulmia tutkimuksiin ja niiden analysointiin voidaan se tehdä virtuaalisessa ympäristössä. Tämä antaa mahdollisuuden tarkastella tutkittavaa asiaa aivan uudella tavalla, jolloin voidaan huomata jotain, mikä olisi voinut muuten jäädä huomaamatta. Eri tieteenalat käyttävät virtuaalitodellisuutta simuloinneissaan ja pääsevät näin tarkastelemaan tuloksia läheltä niiden tapahtuessa. Esimerkkinä ilmailuteollisuuden tutkiessa uutta rakettimoottoria, on sen toimintaa vaikea tarkastella läheltä reaali maailmassa, mutta virtuaalisessa simulaatiossa voidaan päästä toiminnan ytimeen. Lääketieteen saralla virtuaalitodellisuudesta on todennettu olevan hyötyä muun muassa traumausten ja fobioiden hoidossa (ks. kuvio 8). (Aukstakalnis 2017, 250-277.)



Kuvio 8. Virtuaalitodellisuuden avulla voidaan tehdä altistushoitoja eläinfobioista kärsiville (Nag 2017)

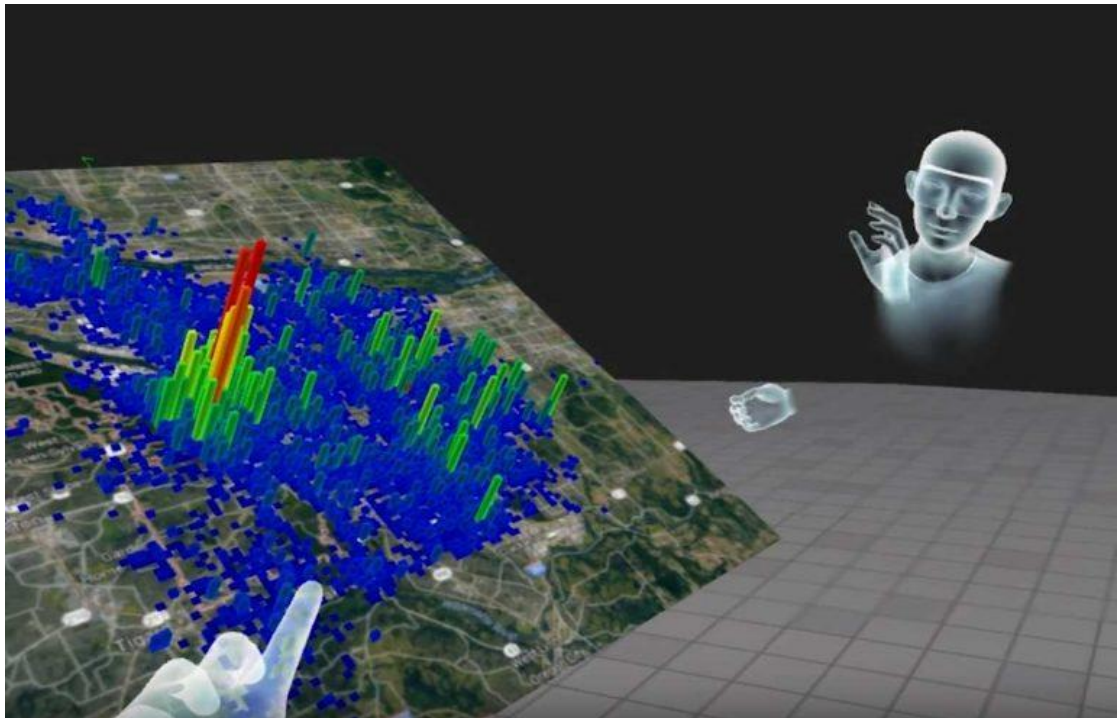
2.7.4 Opetus

Opetuksen sekä koulutuksen apuna virtuaalitodellisuuden edut on huomattu jo alusta alkaen, ja niiden potentiaali on merkittävän suuri. Opetuksesta voidaan tehdä todella kiinnostavaa, kun on mahdollisuus tutkia esimerkiksi Egyptin pyramideja luokahuoneesta käsin. Oli koulutustarve sitten hitsaamisen, maalaamisen tai hammashoidon saralla, voidaan koulutusta antaa lähes mihin tahansa tarvittavaan tietoon.

Yhdysvaltain armeija on yksi edelläkävijä virtuaalitodellisuuden käyttäjänä koulutuksessaan. Virtuaalinen koulutus lisää sotilaiden tilanneherkkyyttä ja tietoisuutta, joka vähentää mahdollisia ihmisuhreja. (Aukstakalnis 2017, 280-309.)

2.7.5 Data

Dataa kerätään jatkuvasti ja sen määrä kasvaa päivä päivältä. Kasvava tiedon määrä luo haasteita sen käsittelyyn, havainnollistamiseen ja tarkasteluun. Tieto saattaa olla jossain määrin abstraktia tai tietoa voi olla niin paljon, että sen esittäminen on vaikeaa perinteisin tavoin. Visualisoimalla dataa ja esittämällä sitä virtuaalitodellisuudessa voidaan sitä havainnollistaa paremmin (ks. kuvio 9). Vaikka tällainen käytäntö on vielä melko alkutekijöissä, on sillä potentiaalia olla apuna datan käsittelyssä. (Koucheryavy, Ometov, Olshannikova & Olsson 2015.)



Kuvio 9. Visualisoimalla isoja datamääriä virtuaalitodellisuudessa, voidaan tiedon ymmärtämistä helpottaa (Dotson 2017)

2.8 Tulevaisuus

Virtuaalitodellisuutta pidetään yhtenä kiinnostavimpana kohteena osakemarkkinoilla. Odotukset ovat korkealla ja tutkimusyriitys IDC ennustaa VR-alan kasvavan vuoden 2017 hieman yli 9 miljardista dollarista, 215 miljardiin dollariin vuoteen 2021 mennessä. Tämä ennustettu 118 prosentin kasvu neljässä vuodessa tekisi virtuaalitodellisuudesta yhden nopeimmin kasvavimmista aloista. Laitteiden hintojen alentuessa markkinat tavoittavat entistä isompia yleisöjä. Laitteiden kehittyessä ja muuttuessa mukavammiksi käyttää, saadaan useammat siirtymään virtuaalitodellisuuden pariin. Suosiota hidastavana tekijänä pidetään ihmisten ennakkoajatuksia virtuaalilailien hinnan ja käytettävyyden suhteen. (Erickson 2018.)

3 3D-mallinnus

3.1 Yleistä

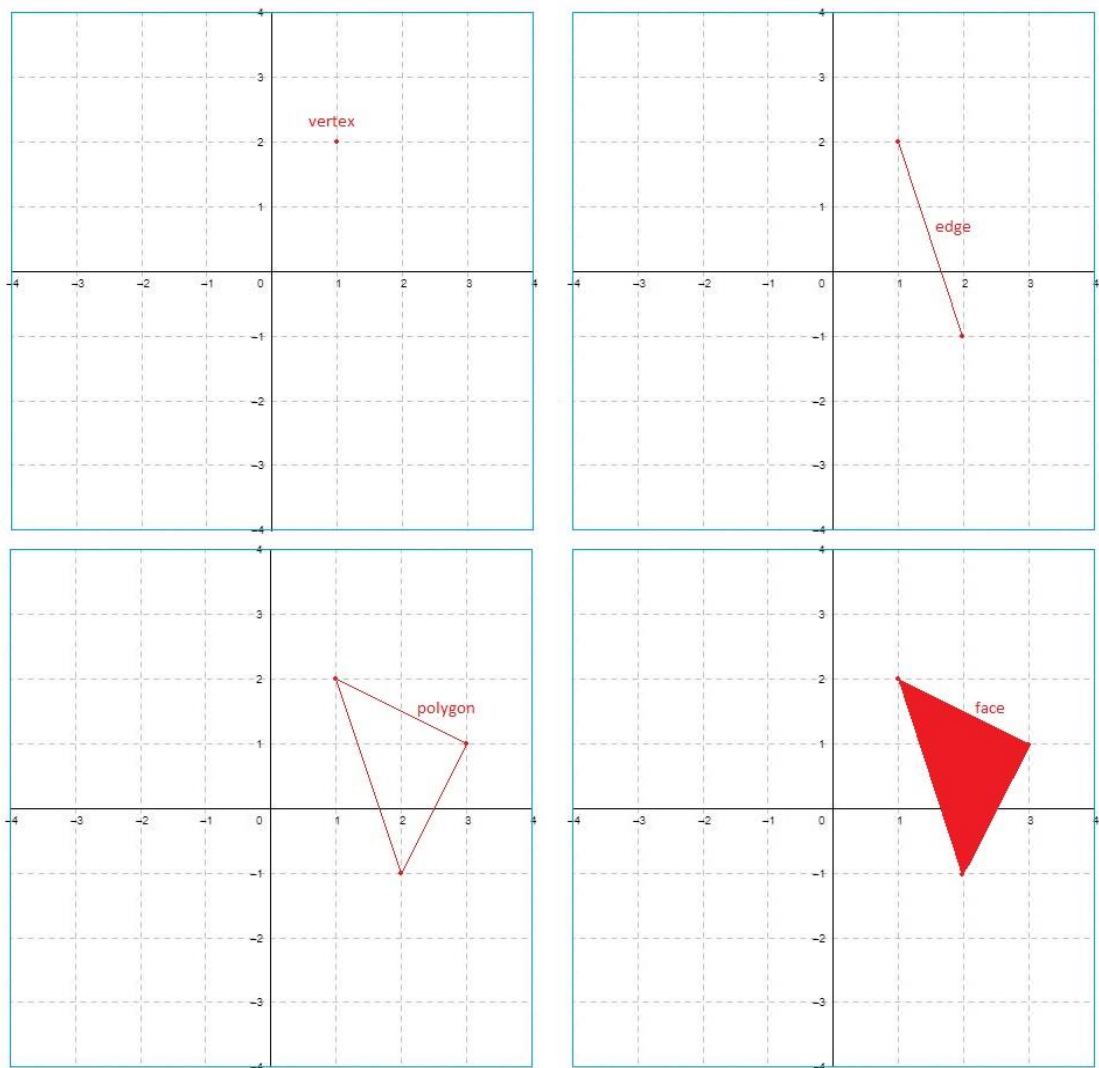
3D-grafiikoiden tuotanto virtuaalitodellisuuden sovelluksissa on vastaavaa kuin pelituotannoissa. Virtuaalimaailmat ovat usein juurikin pelejä. Tuotanto noudattaa yleisesti ottaen hyvin samanlaista kaavaa. Tätä tuotantoputkea noudattavat useat eri tuotannot ympäriinsä. Kaikki mikä pätee pelikehityksessä, pätee virtuaalitodellisuustuotantojen parissa. (Aukstakalnis 2017, 228-235.)

3.2 Tuotantoputki

3.2.1 Mallinnus

3D-mallinnus on prosessi, jossa voidaan matemaattisesti esittää minkä tahansa kohteen pinta kolmiulotteisesti siihen käytettävän ohjelmiston avulla. Tästä prosessista muodostuvaa tuotetta kutsutaan 3D-malliksi. Manuaalisesti tuotettava mallintaminen on kappaleen geometrian muokkaamista 3D-ohjelmalla. Muokkaamista voidaan verrata esimerkiksi veistoksen muovaamiseen. (Puhakka 2008.)

3D-malli muodostuu x -, y -, z -koordinaatistoon aseteltavista pisteistä ja näiden välille muodostuvista janoista. X -, y -koordinaatistoon asetettu piste tunnetaan nimellä vertex. Kun tällaisten pisteiden välille muodostetaan jana, saadaan aikaseksi niin kutsuttu edge. Janoja yhdistelemällä suljetuksi muodoksi, saadaan polygon. Polygon on yksinkertaisimmassa muodossaan kolmen janan muodostama kolmio. Jos tällaiselle polygonille asetetaan pinta, kutsutaan sitä faceksi (ks. kuvio 10). Kun x -, y -koordinaatistoon tehdyille muodoille lisätään z -akselin suuntainen piste tai jana, saadaan muodosta kolmiulotteinen. Näitä pisteitä ja janoja sekä niiden muodostamien muotojen paikkoja muokkaamalla, voidaan muovata kappaleen geometriaa eli 3D-mallintaa. (Mt. 2008.)



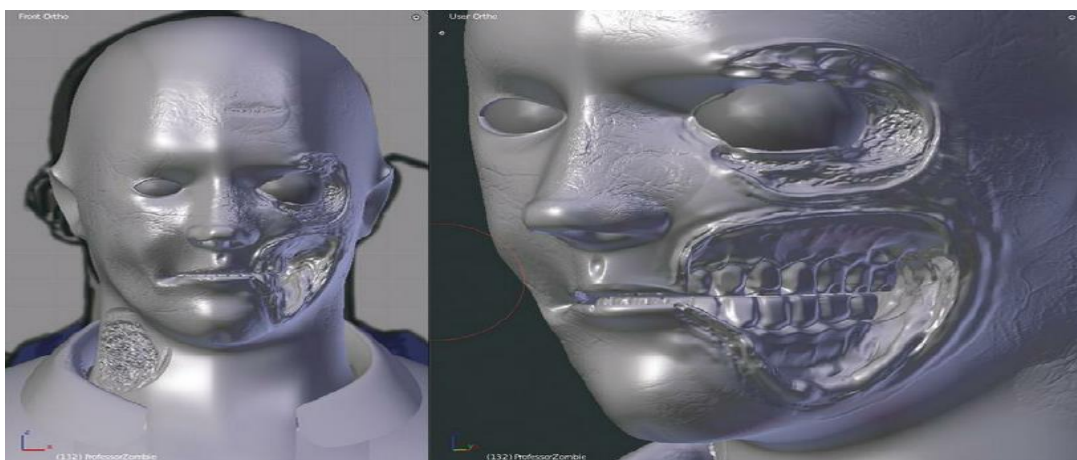
Kuvio 10. Vertex, edge, polygon ja face havainnollistettu koordinaatiston avulla

Mallinnusta voidaan tehdä eri tavoilla, joita katsotaan tyypillisesti olevan neljä. Primitiivinen mallintaminen on yksinkertaisin näistä neljästä. Menetelmässä käytetään mallinnusohjelmiston tarjoamia geometrisiä perusmuotoja. Näitä muotoja ovat muun muassa kuutiot, pallot ja monet muut yksinkertaiset muodot, joita kasaamalla sekä yhteen liittämällä saadaan isompia kokonaisuuksia. (Mt. 2008.)

Laajimmin käytössä oleva tapa on polygon-mallinnus. Tässä menetelmässä hyödynnetään ohjelmiston sisältämiä muokkaimia eli modifiereitä. Näillä muokkaimilla saadaan yksinkertaisiin muotoihin lisättyä monenlaisia muotoja. Mallinnusohjelmistoissa on useita erilaisia modifiereitä, joilla saadaan nopeasti aikaan vaativiakin muotoja. (Mt. 2008.)

Kun tarvitaan tarkkoja muotoja, vaikkapa lentokoneen suunnittelussa, on siihen hyvä soveltaa NURBS-mallinnusta. Toisin kuin polygon-mallintamalla, NURBS-mallinnuksella voidaan saada aikaan täsmällisen kaarevia muotoja. (Mt. 2008.)

Sculpting-mallintaminen on nimensäkin mukaisesti kuvanveistoa. Tätä menetelmää käytetään usein elävien sekä pehmeiden asioiden mallintamiseen. Koska mallinnusmenetelmä on kuin saven muokkaamista, saadaan sculpting-menetelmällä aikaseksi todella yksityiskohtaisia kohteita, jotka perinteisillä mallinnusmenetelmillä olisi haastava toteuttaa (ks. kuvio 11). (Totten 2012.)



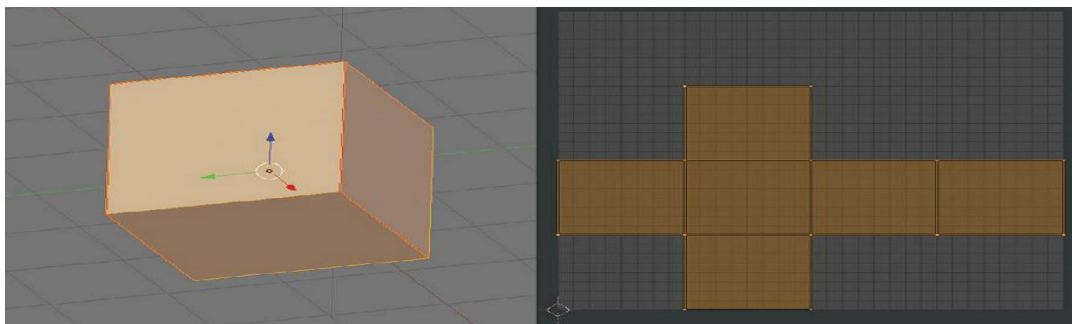
Kuvio 11. Sculpting mahdollistaa tarkat yksityiskohdat (Totten 2012)

3.2.2 Low poly ja High poly

Koska virtuaalitodellisuussovellukset sisältävät pääosin reaaliajassa renderöityä sisältöä, tulee niissä näytettävien mallien olla siinä osin optimoituja, jotta laitteistolla riittää suorituskyky näyttämään niitä. Mitä enemmän mallissa on yksityiskohtia ja polygoneja, sitä raskaampi sitä on renderöidä. Tässä vaiheessa samasta mallista tuotetaan usein Low poly sekä High poly -mallit. High poly -malli on mahdollisimman yksityiskohtainen ja realistinen tuotos, jossa on korkea määrä polygoneja. Low poly -malli on kevennetty versio, jonka polygon määrää on laskettu huomattavasti pienemmäksi kuin High poly -versiossa, säilyttäen kuitenkin mallin muodot. Varsinaisena toiminnallisena 3D-mallina sovelluksissa käytetään Low poly -versiota. High poly -versiosta niin sanotusti paistetaan (bake) yksityiskohdat Low poly -mallin päälle. Paistossa High poly -mallin yksityiskohdat siirretään tekstuurikarttojen muotoon ja näin ollen yksityiskohdat voidaan esittää Low poly -mallin päällä. Koska muodot ovat vain tekstuurikarttojen muodossa eikä kokonaisena 3D-mallina, säästetään suorituskyvyssä. (Totten 2012.)

3.2.3 UV-kartoitus

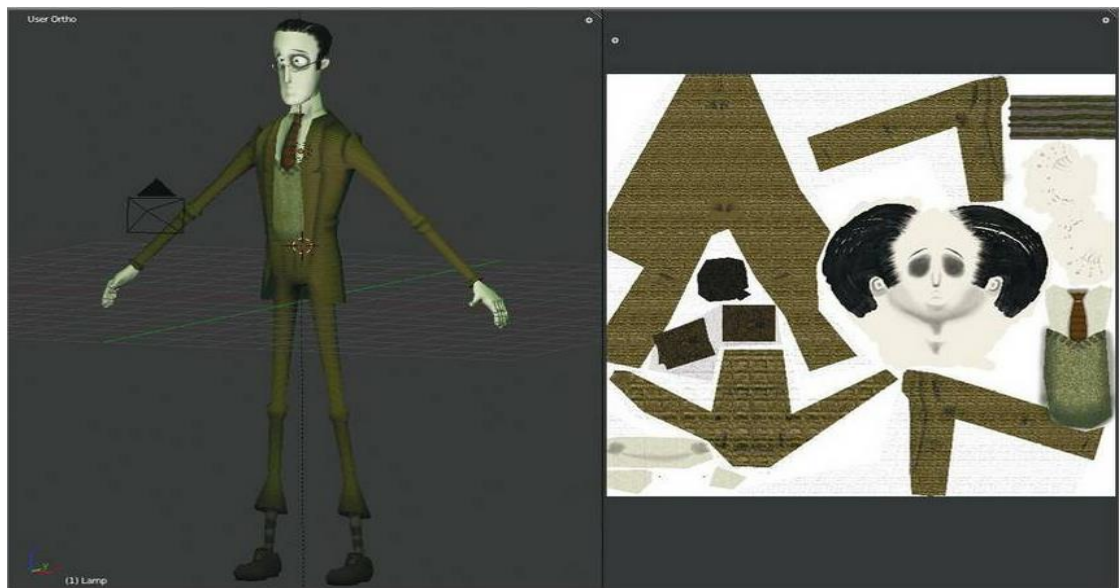
Jotta 3D-mallin pintaan voidaan paistaa yksityiskohtia High poly -versiosta tai asettaa värejä, täytyy malliin tehdä UV-kartoitus. UV-kartoituksessa 3D-mallin pinnat kuorietaan 2D-muotoon. (ks. kuvio 12). Näille 2D-pinnoille voidaan projisoida tekstuurikarttojen sisältämää tietoa. (Totten 2012.)



Kuvio 12. UV-kartoituksessa 3D-malli puretaan saumoistaan ja levitetään tasaiseksi (Totten 2012)

3.2.4 Tekstuuri

Tekstuurien avulla malleihin saadaan luotua halutut pintamateriaalit ja yksityiskohdat. Tekstuurikartat ovat kuvatiedostoja, joiden avulla voidaan määrittää muun muassa mallin värit, kiilto, pinnanmuodot, materiaali ja valaistus. Tekstuurikartoilla voidaan maalata UV-karttaan muodostuneiden kuorittujen 2D-pintojen kohdille haluttuja pintoja (ks. kuvio 13). (Totten 2012.)



Kuvio 13. Oikealla 2D-tekstuurikartta, jolla saadaan 3D-hahmolle vaatetus (Totten 2012)

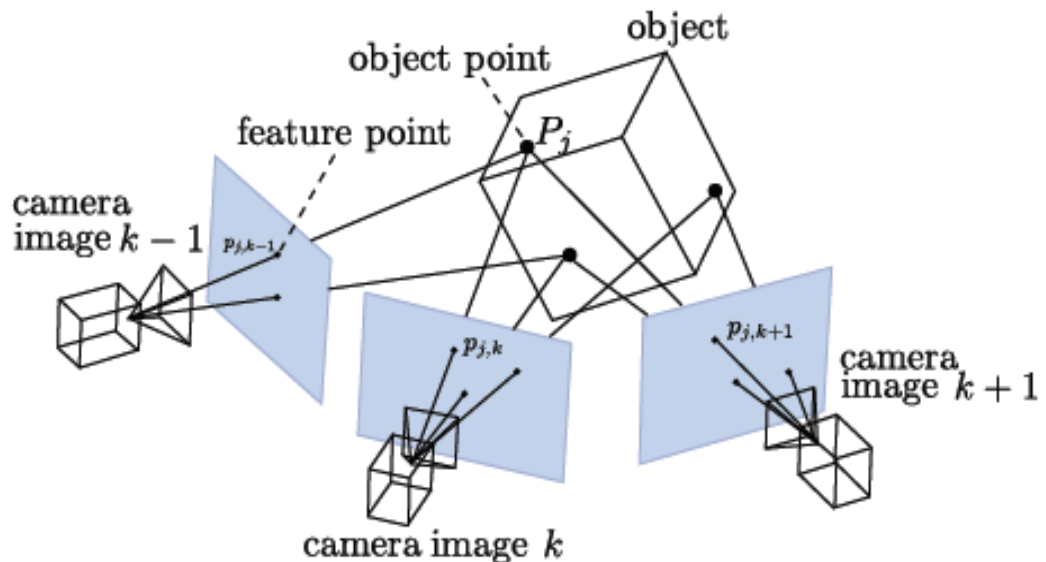
4 Fotogrammetria

4.1 Yleistä

Fotogrammetria on menetelmä, jossa kolmiomittausta hyödyntämällä voidaan mitata halutun kohteen eri pisteitä. Näistä mitatuista pisteistä pystytään muodostamaan kolmiulotteinen malli. Mittaukseen voidaan käyttää kaksiulotteisia kuvia tai lasereita. Fotogrammetriaa on alun perin alettu käyttämään karttojen laatimisen apuna. Viimeistään tietokoneiden ja digitaalikameroiden yleistyttyä, ovat sen käyttömahdollisuudet monipuolistuneet. (Boehm, Kyle, Luhmann & Robson 2014, 1-17.)

4.2 Toimintaperiaate

Yhden valokuvan sisältäessä kaksiulotteista tietoa voidaan sille määrittää pisteitä vain x- y -koordinaatistoon. Vähintään kahden päällekkäisyyksiä sisältävän valokuvan sisällöstä on kuitenkin mahdollista laskea kolmiulotteisen avaruuden koordinaattipisteitä käyttämällä kolmiomittausta. Kun otetuista valokuvista on saatavissa selville kuvauskulma ja kameran sijainti, pystytään näiden tietojen pohjalta muodostamaan niin sanottuja suoria kuvissa oleviin samoihin kiintopisteisiin. Kolmiulotteisen pisteen paikka voidaan laskea näiden suorien muodostamista kulmista sekä leikkauskohdista (ks. kuvio 14). (Boehm ym. 2014, 28-30.)



Kuvio 14. Fotogrammetrian mittausmenetelmä (Tiganik 2016)

4.3 Käyttökohteet

Alun perin maanmittaustyökaluksi kehitetty tekniikka on edelleen laajasti mittauskäytössä. Fotogrammetrialla saatavan datan ollessa visualisoitavissa, voidaan mitaustuloksia tuoda helposti myös visuaaliseen muotoon. Maanmittaus ja kartoitus ovat fotogrammetrian suurimmat käyttökohteet. Esimerkiksi Googlen karttapalvelut hyödyntävät fotogrammetrian avulla tehtävää kaukokartoitusta. Kaukokartoituksella tarkoitetaan ilmasta otettujen kuvien käyttämistä. Kaukokartoitusta on tehty muun

muassa kuumailmapalloja, lentokoneita ja kuvauskoptereita käyttämällä. Kaivostointa ja maatalous hyödyntävät kaukokartoitusta analysoidessaan maaperän muutoksia ja laatua. Arkeologisesti ja arkkitehtuurisesti tärkeät kohteet voidaan mitata, kartoittaa tai mallintaa myöhempää analysointia ja konservointia varten. Kaukokartoituksen katsotaan kattavan kuvausetäisyydet 200 metristä ylöspäin (ks. kuvio 15). 200 metristä alaspäin olevat kuvausetäisyydet ovat niin sanottua lähikartoitusta. Periaate on molemmissa sama, vain termi muuttuu etäisyyden mukaan. Lähikartoitusta ovat muun muassa teollisuudessa tehdyt tarkat mittaukset esimerkiksi autojen korien valmistuksessa. (Boehm ym. 2014, 579-625.)



Kuvio 15. Esimerkki kaukokartoitetusta kohteesta (Hassall 2018)

Käyttökohteita on hyvin paljon, ja mittaamisen ohella fotogrammetriaa käytetään paljon myös pelkkään visualisoimiseen. Viihdeteollisuus on suuri fotogrammetrian käyttäjä hyödyntäen sen etuja visualisoinnissa. Elokvat *Fight Club* ja *The Matrix* vuodelta 1999 ovat hyviä esimerkkejä fotogrammetrian käyttämisestä viihdeteollisuudessa. Molemmissa käytettiin fotogrammetriaa tilojen luomiseen kuvattaessa hyvin erikoistehostepainotteisia kohtauksia. (Kovak-Lewis 2014.) Peliteollisuudessa fotogrammetriasta on katsottu olevan paljon hyötyä. Peli *Star Wars Battlefront* käytti tuotannossaan fotogrammetriaa saaden aikaan realistia ja hienoja ympäristöjä (ks. kuvio 16). (Lievendag 2017.)



Kuvio 16. Fotogrammetrian hyödyntämistä videopelissä (Lievendag 2017)

4.4 Kuvaaminen

4.4.1 Kamera

Kuvausvälineeksi käy digitaalinen kamera, jonka resoluutio on vähintään 5 megapikseliä. On kuitenkin suositeltavaa käyttää mahdollisimman korkearesoluutioista kameraa laadukkaan lopputuloksen varmistamiseksi. Kameran linssin polttovälin tulisi olla 20-80 mm. Laajakulma- ja kalansilmälinssejä tulisi välttää, koska ne aiheuttavat kuvaan vääristymiä. Polttovälin tulee pysyä koko kuvausajan samana. Näin ollen zoomilla varustettujen objektiivien sijaan tulisi suosia kiinteän polttovälin objektiiveja. Jos kuitenkin käytetään zoomilla varustettua objektiivia, täytyy zoomi lukita haluttuun polttoväliin. (Agisoft metashape user manual 2018.)

4.4.2 Kameran asetukset

Kameran asettaminen oikeille asetuksille on tärkeä osa onnistunutta kuvausta. Suositeltavaa on tallentaa kuvat hävikittömässä RAW-formaatissa. Tämä mahdollistaa myös kuvien jälkiprosessoinnin tarvittaessa. RAW-formaatin tiedostokoko on kuitenkin iso verrattuna kuvan pakkausta käyttävään JPEG-formaattiin. Jossain tilanteissa saadaan yhtä hyvää jälkeä käyttämällä JPEG-formaattia säästämällä prosessointiaikaa

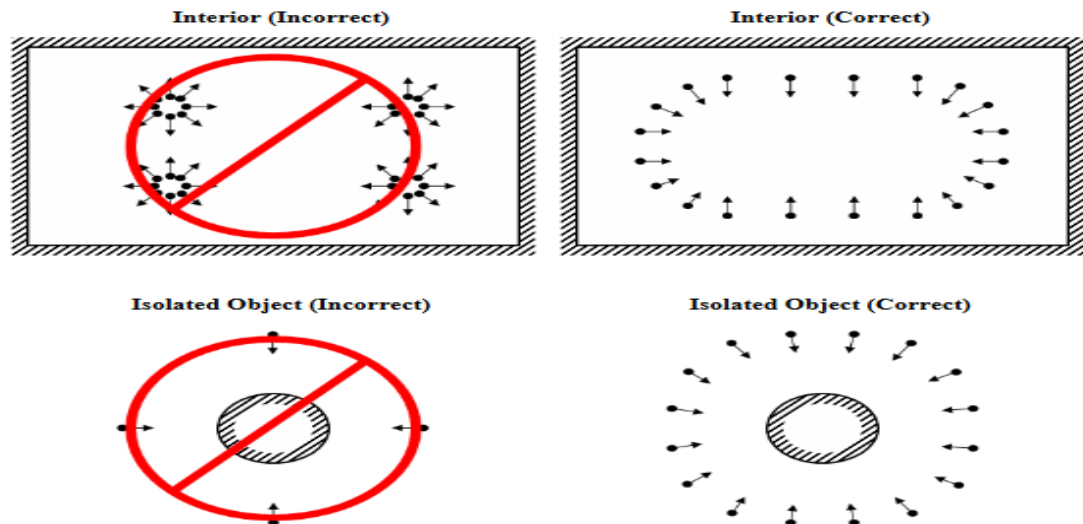
tiedostokoon ollessa pienempi. Koska digitaalisissa kameroissa on mahdollista tallentaa kuvat molemmissa formaateissa, on se suositeltavaa. Kameran ISO-arvon tulisi olla mahdollisimman pieni. Jos kuvattava kohde on hämärässä, voidaan kuvan valoisuutta saada nostettua nostamalla ISO-arvoa. ISO-arvoa nostettaessa on pidettävä mielessä, että kuvaan muodostuu kohinaa, joka heikentää kuvan laatua. Kameran valotusaukon säätäminen kohdilleen riippuu käytettävästä objektiivista. Objektiivin ominaisuudet määrittävät, milloin se on tarkimmillaan. Yleisesti ottaen aukon valinta voidaan asettaa karkeasti välille f8-f22. Tärkeintä on, että syväterävyys on tarkimmillaan ja kuva on tarkka kauttaaltaan. Suljinaikaa säädettäessä sopii, että nopeus riittää ottamaan tarkan kuvan ja tuomaan sopivan valotuksen. Kameran valkotasapainoasetusta ei tulisi jättää automaattivalinnalle, vaan se tulisi säätää kuvauskohteen valaistuksen mukaisesti. (Lachambre, Lagarde & Jover 2017.)

4.4.3 Kohde

Kuvattavassa kohteessa ei saisi olla kiiltäviä, läpinäkyviä eikä peilaavia pintoja. Kuvattava kohde ei saisi myöskään olla täysin tasainen. Kohteen tulisi olla liikkumatta koko kuvauksen ajan. Valaistuksena tulee olla mahdollisimman tasainen ja luonnollinen valo. Ulkona kuvattaessa pilvinen ilma on paras valaistuksen kannalta. (Lachambre, Lagarde & Jover 2017.)

4.4.4 Kuvaustapa

Otettavien kuvien määrä voi vaihdella kohteen mukaan, mutta yleisesti mitä enemmän kuvia on käytettävissä sen parempi. Kohdetta tulisi kuvata niin, että jokaisten kuvien välillä on vähintään 60 % päällekkäisyyttä. Kohteen tulisi täyttää kuvan kehys mahdollisimman laajalti. Valaistuksen näkymistä kuvissa tulee välttää, eikä salaman käyttöä suositella. Jos kuvista on tarkoitus tehdä mittauksia, voidaan kuvausympäristöön lisätä viivoitin mittauksen avuksi. Kuvia tulee ottaa tasaisin välein kiertäen kohde joka puolelta (ks. kuvio 17). (Agisoft metashape user manual 2018.)

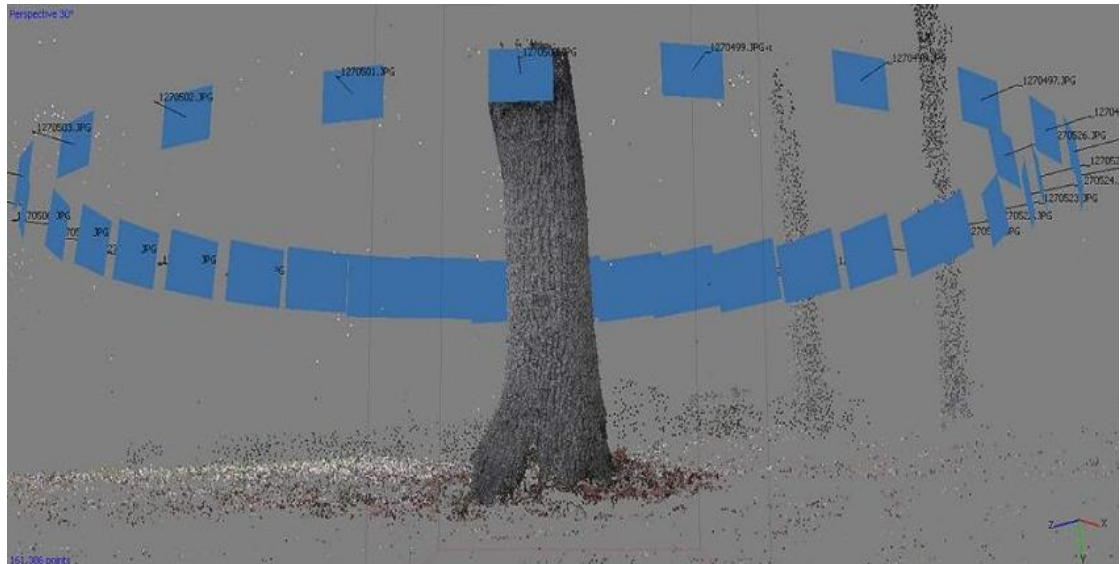


Kuvio 17. Esimerkki kuvauspaikoista kohdetta valokuvattaessa (Agisoft metashape user manual 2018)

4.5 Ohjelmisto

Fotogrammetrialla mallintaminen tehdään tietokoneella käyttäen siihen tarkoitettua ohjelmistoa. Fotogrammetriaohjelmistoja on saatavilla useita kymmeniä erilaisia eri käyttötarkoituksia varten. Ohjelmia on saatavilla tietokoneen työpöytä- sekä älypuhelinsovelluksina. Sovelluksia on ilmaisversioina sekä maksullisina ammattikäyttöön tarkoitettuina. Vaikka fotogrammetriaohjelmistoja on moniin eri käyttötarkoituksiin, niiden toimintaperiaate on usein sama.

Ohjelmiston käyttö ja fotogrammetriaprosessi on hyvin pitkälti automaattinen. Prosessi aloitetaan tuomalla otetut valokuvat ohjelmaan. Tämän jälkeen ohjelma järjestää ja asettelee kuvat käyttäen SIFT-algoritmia sekä kuvan EXIF tietoja. Asetelluista kuvista aletaan tutkia ja laskea samankaltaisuuksia, yhteisiä pisteitä sekä kameran sijainteja. Näiden tietojen perusteella ohjelma laskee kuvatun kohteen syvyytiedot ja muodostaa niistä pistepilven. Muodostuneesta pistepilvestä pystytään jo havainnoidaan kuvatun kohteen karkea muoto. Tästä pistepilvestä ohjelma alkaa laskemaan 3D-mallia. Tekstuuri eli pintamateriaali mallille saadaan valokuvien pikseleistä. Muodostuneen 3D-mallin pinnasta saadaan purettua kartta, johon pikseleiden värit laskeaan ja muodostetaan (ks. kuvio 18). (Agisoft metashape user manual 2018.)



Kuvio 18. Muodostunut pistepilvi sekä tekstuuri. Siniset ovat kameran sijainteja (Agi-soft photoscan review 2015)

5 3D-mallien valmistus fotogrammetrialla

5.1 Lähtökohta

Työ aloitettiin selvittämällä paras saatavilla oleva fotogrammetriaohjelmisto, joka sopisi työhön. Kun oli selvitetty, mitä ohjelmistoja on saatavilla ja yleisiä kokemuksia näiden toimivuudesta, päätettiin ottaa testattavaksi kolme eri ohjelmistoa. Koska ohjelmiston tuli olla saatavissa ilmaiseksi, rajautui testattavaksi ilmainen Meshroom-ohjelma sekä opiskelijalisenssillä saatavissa olleet Autodesk ReCap Photo- ja 3DF Zephyr Aerial -ohjelmistot. Näitä ohjelmistoja testattiin muutamalla kuvasarjalla testaten nopeutta, käytettävyyttä, laatua ja monipuolisuutta. Näiden kriteerien valossa parhaaksi ohjelmistoksi osoittautui 3DF Zephyr Aerial. Ohjelmisto suoriutui nopeimmin mallin muodostamisesta tuottaen samalla laadukkaimman pistepilven sekä 3D-mallin. 3DF Zephyr Aerialissa todettiin olevan myös monipuoliset säätömahdollisuudet työn eri vaiheisiin sekä muita työkaluja esimerkiksi kevennysmallinnusta varten.

Mallinnettavaksi kohteeksi valittiin Adidaksen lenkkikenkä (ks. kuvio 19). Kenkä valittiin, koska haluttiin käyttää jotain helposti saatavilla olevaa sekä kohtuullisen kokoista kohdetta. Lenkkikenkä on perinteistä mallinnusta käyttämällä haastava kohde valmistaa, joten se sopi hyvin testikohteeksi fotogrammetrialle. Kengässä oli paljon erilaisia pinnanmuotoja sekä materiaaleja, joiden muodostumista olisi helppo tarkastella.



Kuvio 19. Fotogrammetrian avulla mallinnettava kohde

5.2 Kohteen valokuvaus

Kohde kuvattiin ottamalla kuvia älypuhelimella ja järjestelmäkameralla sekä videota älypuhelimella. Tavoitteena oli ottaa selvää, mikä näistä menetelmistä olisi käytännöllisin. Kuvaus tehtiin sisätiloissa käyttäen luonnollista valaistusta. Kuvausalueena toimi valkoinen pöytä tuoden samalla heijastamalla hieman lisävaloa kohteeseen. Jotta kohdetta saatiin kuvattua myös alapuolelta, asetettiin se kolmijalan päälle lepäämään. Kuvat sekä video otettiin kiertämällä kohdetta ympäri kuvaten jokaisen kuvakulman mahdollisimman tarkasti. Kuvia otettaessa pyrittiin saamaan vähintään 60 prosentin päällekkäisyydet kuvien välillä.

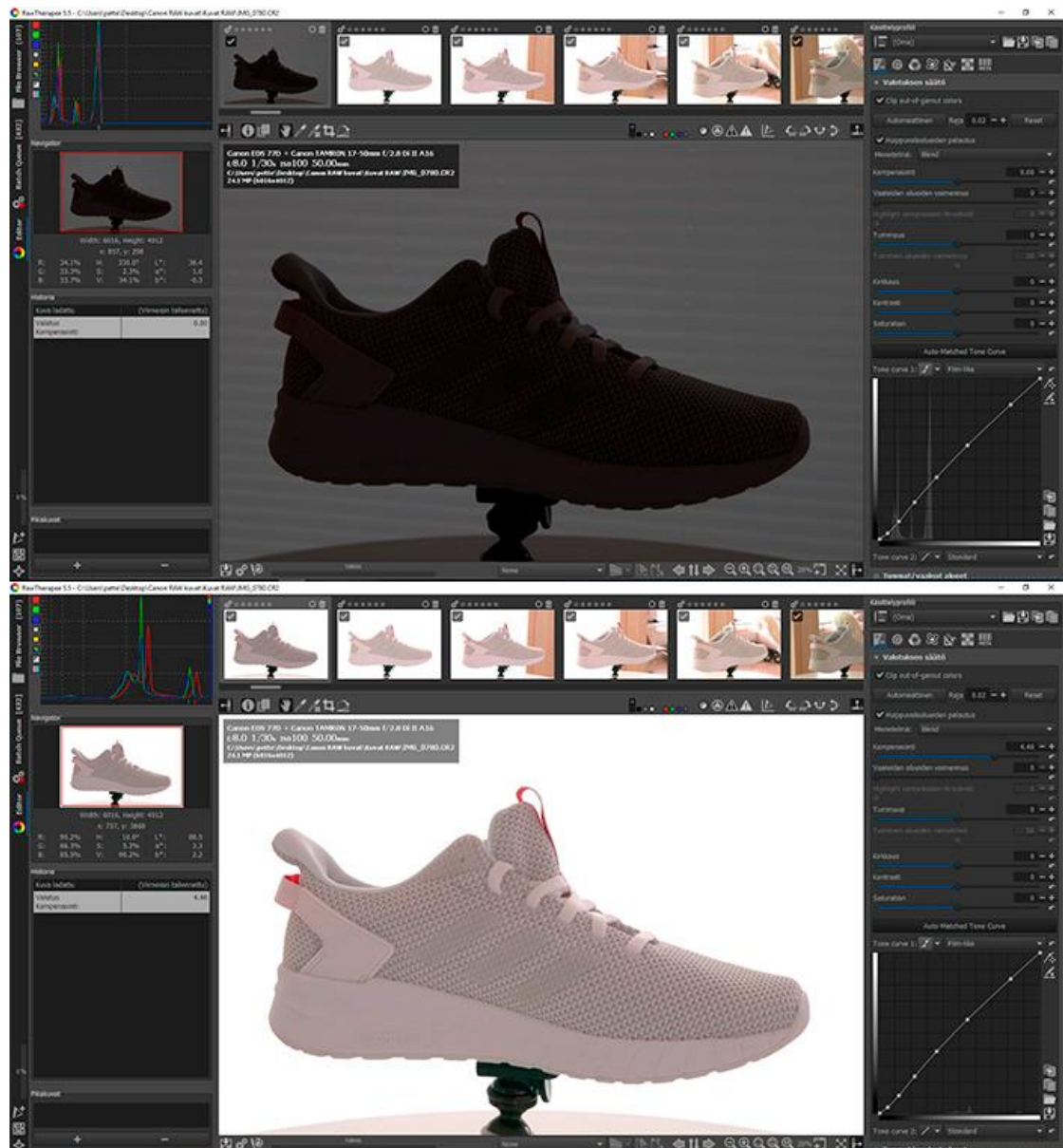
Ensimmäinen kuvasarja otettiin käyttämällä iPhone 7 älypuhelimien takakameraa. Kameran asetuksia ei muutettu, vaan kuvat kuvattiin niin kuin ne automaattisesti älypuhelimella tulevat. Älypuhelimella kuvaus oli vaivatonta ja nopeaa, kuvauksen kestäessä vain noin 5 minuuttia. Kuvia otettiin yhteensä 114 kappaletta.

3DF Zephyr Aerial ohjelmistossa oli mahdollisuus käyttää videota, joten tämä ominaisuus päätettiin myös testata. Toinen kuvasarja muodostui ohjelmiston eritellessä videosta kuvia. Tähän tarkoitukseen kuvattiin videota käyttäen jälleen iPhone 7 älypuheliminta. Kuvausvälineeksi älypuhelin valittiin sen hyvien videokuvaus ominaisuuksien takia. Videokuva kuvattiin korkeaan 4K-resoluutioon muotoon, tallentaen sen 30 kuvaruudun sekunti nopeudella. Videokuvaa oli vaivattomin tallentaa. Video varmisti myös kuvien päällekkäisyydet parhaiten näistä kolmesta eri menetelmästä. Kuvaaminen kesti vain noin 2 minuuttia. Tästä 2 minuutin videosta ohjelmisto eritteli käytettäväksi 204 valokuvaa.

Viimeinen kuvasarja kuvattiin järjestelmäkameralla, tallentaen 107 valokuvaa. Kuvaaminen järjestelmäkameralla oli myös nopeaa, aikaa kuluu vain noin 4 minuuttia. Kamerakalustona toimi Canon 77D kamera, johon oli liitettynä Tamron 17-50mm f/2.8 objektiivi. Kuvat otettiin objektiivi säädettynä 50 mm polttovälille ja valotusaukko säädettynä arvoon f8. Kuvaan muodostuvan kohinan minimoimiseksi, kameran ISO-arvo asetettiin arvoon 100. Suljinaika säädettiin 1/30 sekuntiin ja valkotasapaino asetettiin loistevalo -asetukselle (ks. kuvio 20). Näillä asetuksilla kuvista tuli hyvin hämärä, mutta koska kuvat tallennettiin RAW-formaattiin, valotus voitiin säätää kohdilleen myöhemmin jälkikäsittelyssä (ks. kuvio 21). Jälkikäsittelyyn käytettiin RawTherapee -kuvankäsittelyohjelmistoa. RAW-formaatin ollessa häviötön, saatiin myös testattua, onko laadussa eroa älypuhelimella otettuihin JPEG-formaatin kuviin.



Kuvio 20. Käytetyt kameran asetukset sekä kamera ja objektiivi

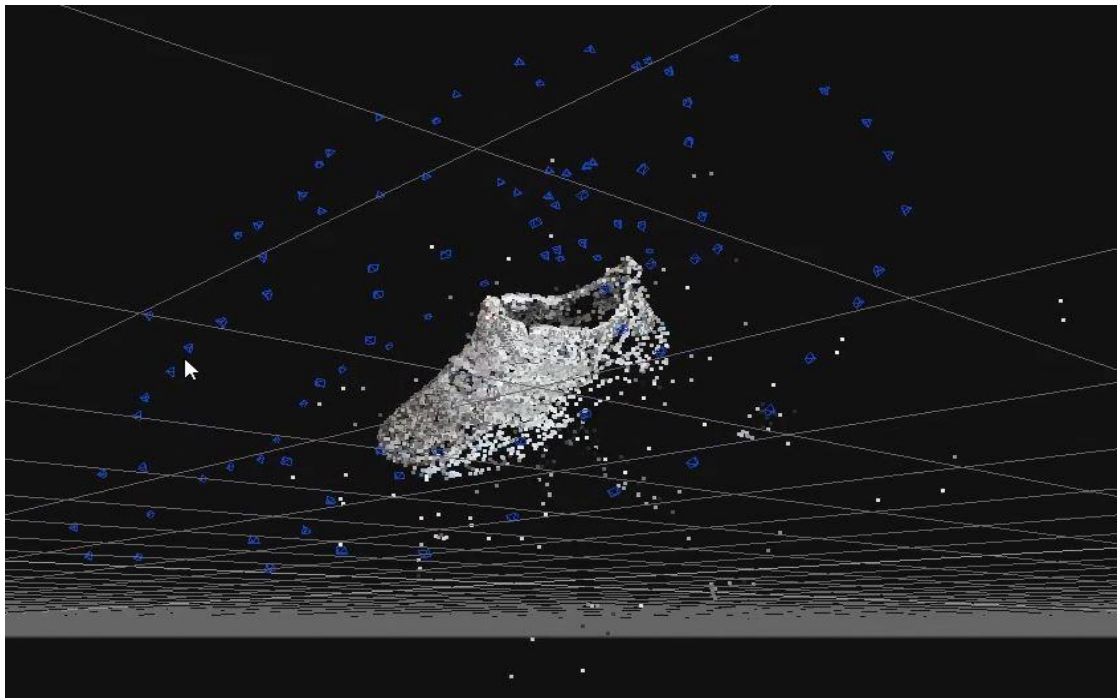


Kuvio 21. Ylhäällä editoimaton RAW-kuva ja alhaalla RAW-kuva valotus säädettyinä

5.3 Mallin muodostaminen valokuvista

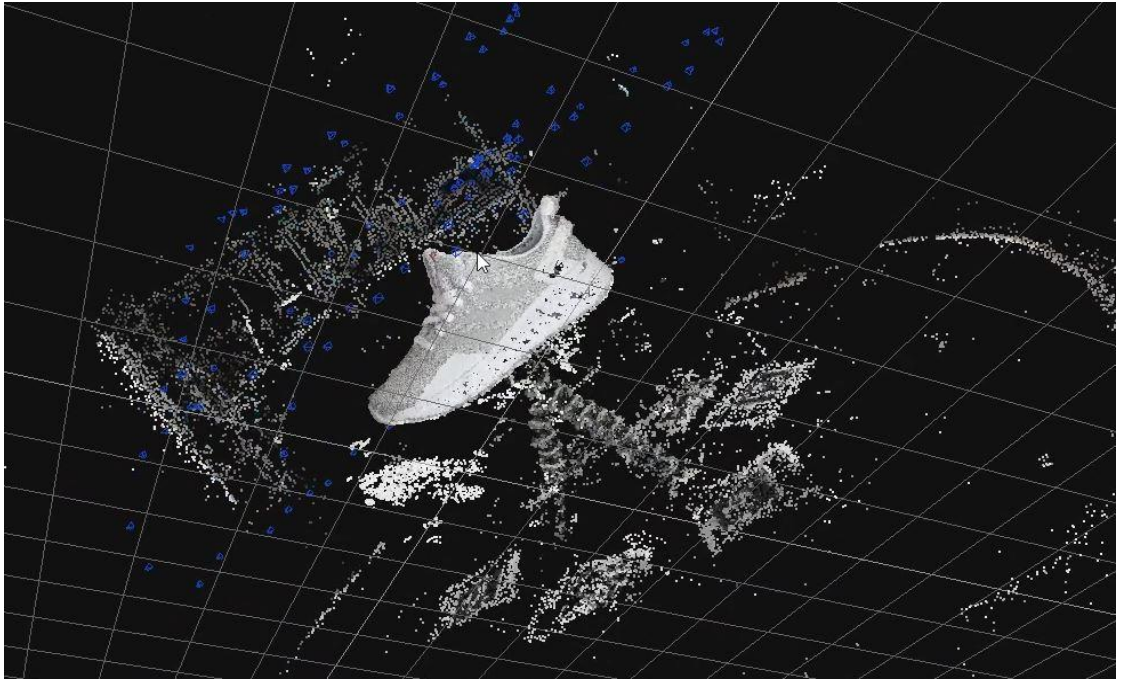
Työssä käytetyn 3DF Zephyr Aerial -ohjelmiston tekemä prosessi muodostui neljästä eri vaiheesta. Nämä vaiheet olivat kuvien tarkastelu, tiheän pistepilven luonti, 3D-mallin luonti sekä teksturointi. Ohjelmiston ajamiseen käytettiin pöytätietokonetta, jonka suorituskyvystä vastasi AMD Ryzen 3 1200 -prosessori, 16GB RAM -muistia, Nvidia Geforce GTX 1050Ti -näyttöohjain sekä Samsung 860 EVO 250GB SSD-levy. Käyttöjärjestelmänä toimi Windows 10.

Työ aloitettiin tuomalla otetut kuvat ohjelmistoon, joka tämän jälkeen aloitti kuvien tarkastelun. Asetuksista muutettiin kategorian valintaan Close Range eli lähikuvaus sekä Preset valintaan Deep. Esivalintana olevalla Deep asetuksella saatiin minimoitua kuvien karsinta asetuksen tarkastellessa kuvat syvemmin. Ohjelmisto tarkasteli kuvia verraten sekä etsien niiden välisiä yhteneviä pisteitä. Tässä vaiheessa ohjelmisto karsi pois kuvat, joista ei yhteneväisyyksiä löytynyt. Myös kuvat, joiden tarkkuus tai valotus ei ollut tarpeeksi hyvä, karsiutuivat pois. Kuvien yhteneväisyyksiä tarkastellessa ohjelmisto muodosti harvan pistepilven, joka valmistui ensimmäisen vaiheen päätyttyä (ks. kuvio 22). Tätä pistepilveä oli mahdollista muokata, karsien ylimääräisiä kohteita pois. Karsiminen kuitenkin jätettiin tekemättä vielä tässä vaiheessa.



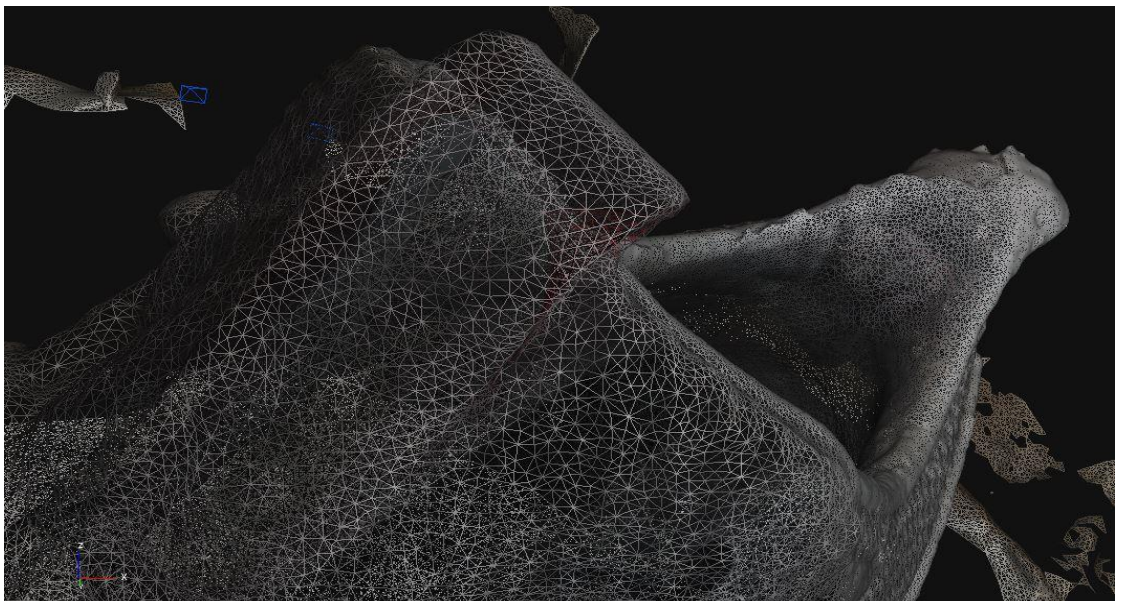
Kuvio 22. Muodostunut harva pistepilvi

Harvan pistepilven jälkeen käynnistettiin tiheän pistepilven luontiprosessi. Tämä prosessi tehtiin käyttämällä ohjelmiston oletusasetuksia. Ohjelma laski pisteiden paikat muodostaen tarkan pistepilven, jonka pisteiden paikoista pystytään muodostamaan kolmiulotteinen malli (ks. kuvio 23). Tämä vaihe oli kestoaltaan prosessin pisin. Myös tämän vaiheen jälkeen oli mahdollista tehdä muokkauksia pistepilveen. Muokkaukset jätettiin tekemättä tässäkin työvaiheessa.



Kuvio 23. Tiheä pistepilvi

Seuraavana vaiheena oli varsinaisen 3D-mallin muodostaminen tiheän pistepilven pohjalta. Työvaihe tehtiin käyttämällä ohjelmiston oletusasetuksia. Koska kuvasarjoista muodostuneet pistepilvet olivat laadukkaita, muodostui myös kolmiulotteisista malleista erittäin hyvälaatuisia. Mallien hyvää lopputulosta selitti ohjelmiston niihin luoma korkea polygonien määrä. (ks. kuvio 24).



Kuvio 24. Useista polygoneista muodostunut 3D-malli

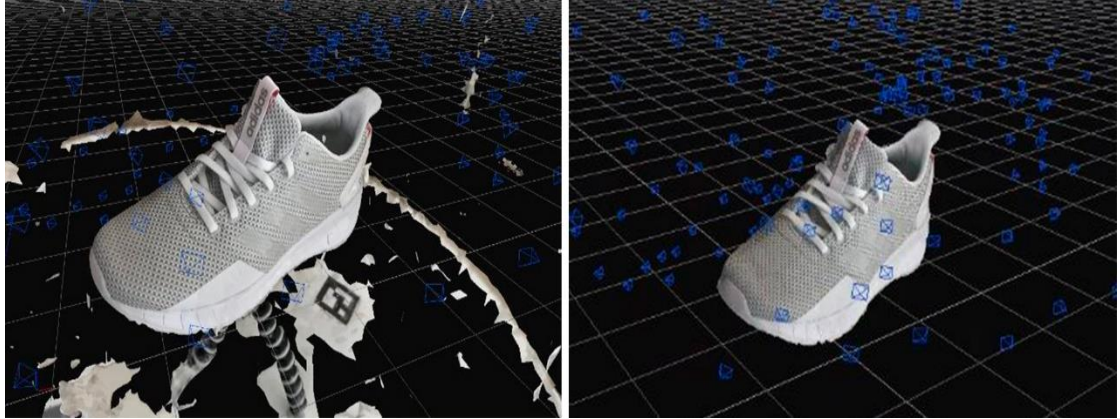
Viimeisessä vaiheessa ohjelmisto laskee 3D-mallille tekstuurin (ks. kuvio 25). Tässä vaiheessa asetuksia muutettiin niin, että tekstuurin koko pieneni 8192 pikselistä 4096 pikseliin. Vaihtamalla tekstuurin koko pienemmäksi laatu hieman heikkeni, mutta tällä säästettiin prosessointiaikaa. Teksturointi oli vaiheista nopein, joten halutessaan suuremman tekstuurikartan, on sen luonti nopeaa.



Kuvio 25. Ohjelmiston lenkkikengästä luoma tekstuurikartta

Kuvien kuljettua näiden prosessien läpi, ohjelmisto muodosti valmiin 3D-mallin. Varsinaisen kohteen lisäksi malliin muodostui myös kaikki kohdetta ympäröivä, jonka ohjelmisto kuvista havaitsi. 3D-malliin muodostui osa pöytää sekä jalustaa, joiden päällä kohde kuvattiin. 3DF Zephyr Aerial -ohjelmistossa oli mainiot työkalut, joiden avulla saatiin poistettua mallista ylimääräiset osat sekä täytettyä malliin muodostuneet

reiät (ks. kuvio 26). Tämä siistimisvaihe oli mahdollista tehdä millä tahansa mallinnus-ohjelmistolla, mutta työssä haluttiin testata 3DF Zephyr Aerial -ohjelmiston ominaisuuksia.

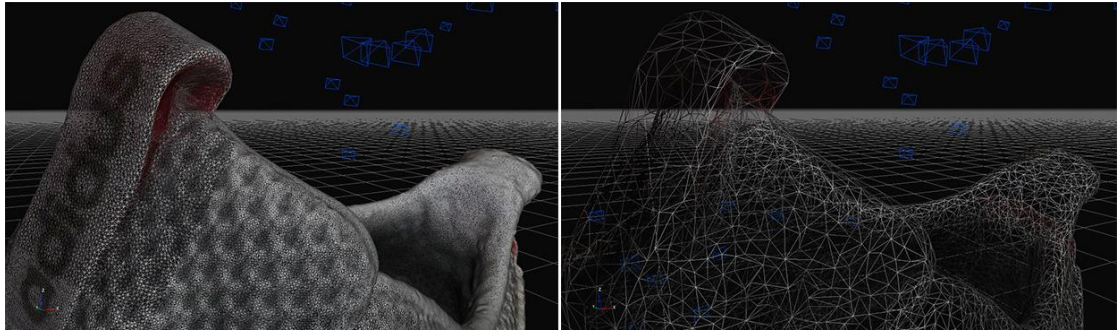


Kuvio 26. Siistimisen jälkeen mallista on saatu ylimääräiset osat pois

5.4 Kevennysmallinnus

3D-malli lenkkikengästä olisi ollut siistimisen jälkeen valmis käytettäväksi 3D-kuviin tai -animaatioihin, mutta pelimoottorissa käytettäväksi objektiksi mallin polygonimäärä oli vielä turhan korkea. Jotta malli oli optimoitu, sille tehtiin kevennys. Koska haluttiin välttää useiden ohjelmistojen välistä käyttöä ja 3DF Zephyr Aerial -ohjelmiston sisältäessä kevennystyökalut, päätettiin testata niiden toimivuutta. Tämä työvaihe oli mahdollista toteuttaa myös muilla ohjelmistoilla.

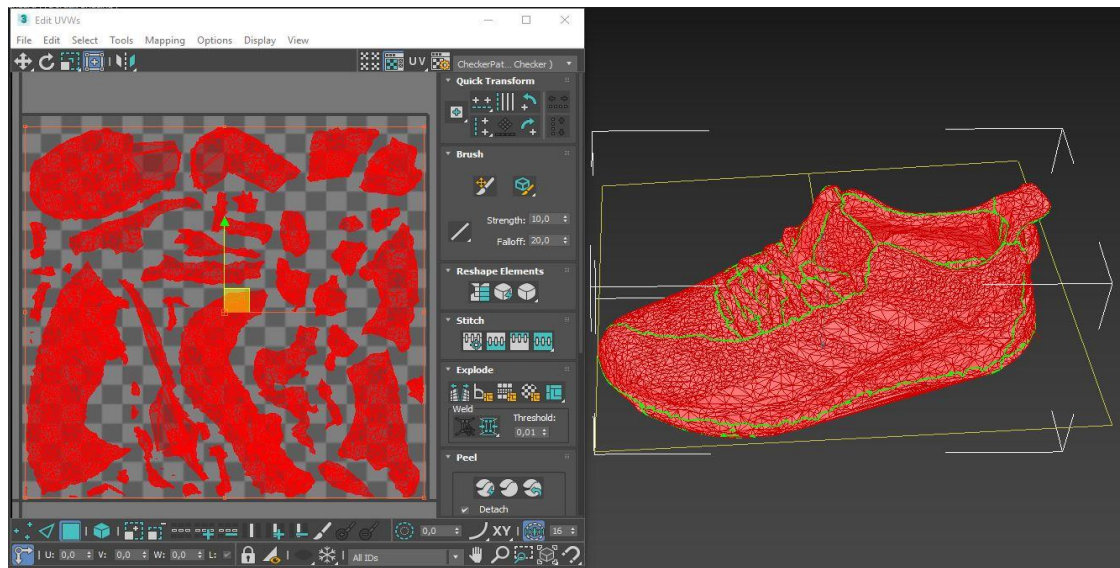
3DF Zephyr Aerial -ohjelmiston tuottamiin 3D-malleihin oli asetettavissa erilaisia suodattimia, joilla mallia oli mahdollista keventää. Ohjelman suodattimista Decimation-suodattimen todettiin toimivan parhaiten malliin. Decimation-suodin näytteistää mallin uudelleen halutulla vertex määrällä eli laskee mallin uudelleen kevyemmäksi (ks. kuvio 27). Kevyemmän mallin laskemiseen suodattimella kului aikaa vain 1 minuutti ja 30 sekuntia. Lopuksi 3DF Zephyr Aerial -ohjelmistosta vietiin ulos teksturoidut High poly sekä Low poly -mallit.



Kuvio 27. Oikealla kevennetyssä mallissa on selvästi vähemmän polygoneja

5.5 Paisto

Kevennysmallinnuksen laskiessa polygon-määrän tarvittavalle tasolle, laski se myös mallin yksityiskohtia ja visuaalista laatua. Jotta ulkonäkö saataisiin High poly -version tasolle, tehtiin kevennetylle mallille materiaalien paisto eli bake. Jotta Low poly -version voitiin paistaa High poly -version pinnanmuotoja, piti Low poly -versiosta olla UV-kartta. Työ aloitettiin tekemällä UV-kartta. Tämä tehtiin käyttämällä Autodesk 3DS Max -ohjelmistoa. UV-kartta pyrittiin saamaan mahdollisimman isoihin kokonaisuuksiin (ks. kuvio 28).



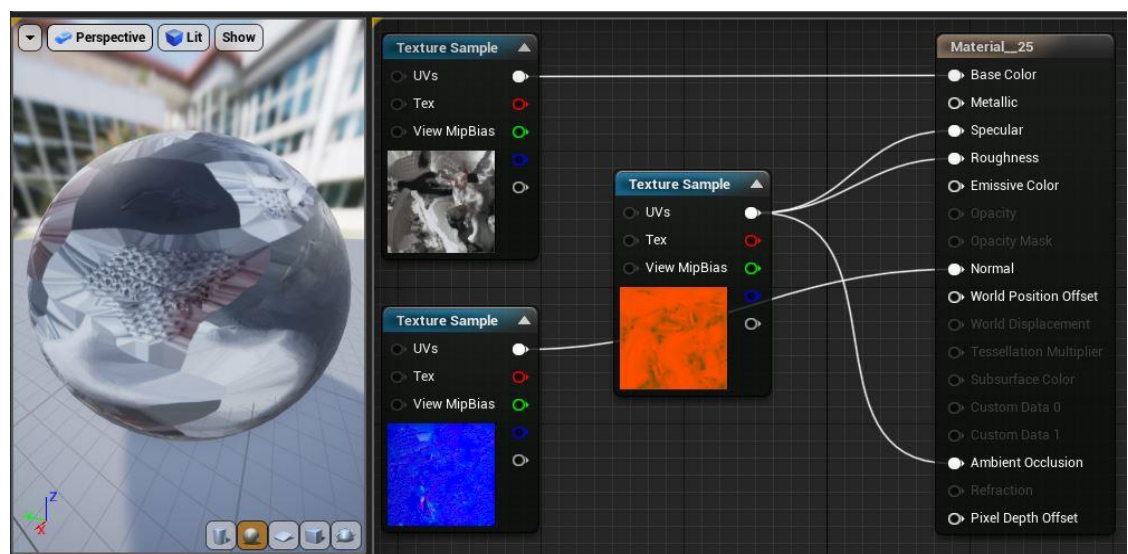
Kuvio 28. UV-kartan luonti

UV-kartoituksen jälkeen mallille luotiin valokuvista uusi tekstuurikartta vastaamaan kartoituksessa tehtyä uutta UV-karttaa. Tämä työ tehtiin 3DF Zephyr Aerial -ohjelmis-

tossa. Itse paistotyövaiheeseen valikoitui käytettäväksi ohjelmistoksi Substance Painter. Paistoprosessi oli Substance Painterissa hyvin yksinkertainen. Ohjelmistoon tuotiin ensin Low poly -versio lenkkikengästä. Tämän jälkeen valittiin haluttu High poly -versio kengästä ja aloitettiin paisto. Kuten muissakin ohjelmistoissa, myös Substance Painterissa ohjelman oletusasetuksilla pääsee pitkälle, eikä tässä vaiheessa tarvinnut tehdä suuria säätöjä. Tekstuurien resoluutio vaihdettiin 4096 -kokoon, jättäen muut asetukset oletuksiin.

5.6 Pelimoottoriin vienti

Lopuksi kevennetty malli vietiin pelimoottoriin, sillä haluttiin varmistaa, että malli toimisi oikein pelimoottorissa. Työssä käytettiin Unreal Engine 4 -pelimoottoria. Substance Painterista otettiin ulos paistetut tekstuurit. Tekstuurit saatiin ulos suoraan pelimoottoriin sopivina käyttämällä Substance Painterista löytyviä Unreal Engine 4 -esiasetuksia. Esiasetuksella luotiin kolme eri tekstuurikarttaa. BaseColor-kartta antamaan mallille värit, Normal-kartta tuomaan pinnan muodot sekä ORM-kartta, joka määrittää mallin karheuden, valaisun sekä metallisuuden. Pelimoottorissa näistä tekstuurikartoista luotiin 3D-mallille materiaali yhdistämällä ne Unreal Enginen blueprint-editorissa (ks. kuvio 29).




Kuvio 29. Kolmen tekstuurikartan muodostama materiaali

6 Työn tulokset

6.1 Tuotannon kulku

Toteutus oli kaikissa työvaiheissa melko vaivatonta. Vaihe, joka vaati eniten huomiota työssä, oli kohteen kuvaaminen. Kuvaaminen vaatii erityistä tarkkuutta sekä huolellisuutta. Valokuvatessa kohdetta huomattiin, että on tärkeää saada mahdollisimman tarkkoja sekä valotukseltaan hyviä kuvia. Kuvia tulisi olla otettuna jokaisesta mahdollisesta kulmasta niin läheltä kuin kaukaa. Haasteita työssä tuotti kuvien ottaminen läheltä sekä kaukaa säilyttäen samalla kuvien riittävän päällekkäisyyden. Mitä enemmän kuvia on varaa ottaa, sen parempi lopputulos saadaan aikaiseksi. Kuvia otettiin kolmella eri menetelmällä, joista älypuhelimella otettujen kuvien todettiin olevan paras vaihtoehto nopeuden sekä 3D-mallin laadun suhteen. Sama menetelmä sopii myös kameralla tehtäväksi. Oleellista on tallentaa kuvat JPEG-formaatissa. Koska JPEG-kuvat ovat tiedostokooltaan pienempiä, nopeuttaa se huomattavasti fotogrammetria -ohjelmiston suorittamaa prosessia. JPEG-kuvilla tuotetun 3D-mallin valmistumiseen kului aikaa vain noin 30 minuuttia, kun taas RAW-kuvien sekä videon prosessointiin aikaa kului yli tunti kauemmin. Yleisesti JPEG-kuvien käyttö on käytännöllisin vaihtoehto. Jos kuvat tarvitsevat jälkikäsittelyä, on kuvien ottaminen RAW-formaattiin todella suositeltavaa. RAW-kuvat voidaan jälkikäsittelyssä muuttaa JPEG-formaattiin, jolloin saadaan nopeutta myöhempisiin työvaiheisiin. Videon kuvaaminen ja sen muuttaminen kuviksi vaatii fotogrammetria -ohjelmistolta kauemmin aikaa, mutta kuvaustapana videon kuvaaminen on nopea. Videokuvauksella kuvien päällekkäisyydet saadaan varmistettua ja näin ollen myös videosta eroteltujen kuvien määrä on suuri. Verrattaessa kuvausmenetelmiä suhteessa kuluneeseen aikaan ja valmistuneiden 3D-mallien laatuun, oli älypuhelimella otetut kuvat paras vaihtoehto. Mallien laadussa ei juurikaan ollut eroja, vaan ne olivat tasaisesti yhtä hyviä. RAW-kuvista muodostui hieman enemmän polygoneja 3D-malliin, mutta tämä ei tuonut silmämääräisesti eroa muihin malleihin (ks. taulukko 1).

Taulukko 1. Kuvausmenetelmien vertailu

	iPhone 7 JPEG-valokuvat	iPhone 4K-video	Canon 77D RAW-kuvat
Kuvauksen kesto	5 min	2 min	5 min
Otettujen kuvien määrä	114 kpl	232 kpl	107 kpl
Hyväksytyt kuvat (3DF Zephyr Aerial)	97 kpl	204 kpl	99 kpl
Prosessoinnin kesto (3DF Zephyr Aerial)	25 min	1 t 24 min	1 t 23 min
Polygon määrä	534 050	546 157	769 046
Lopputulos			

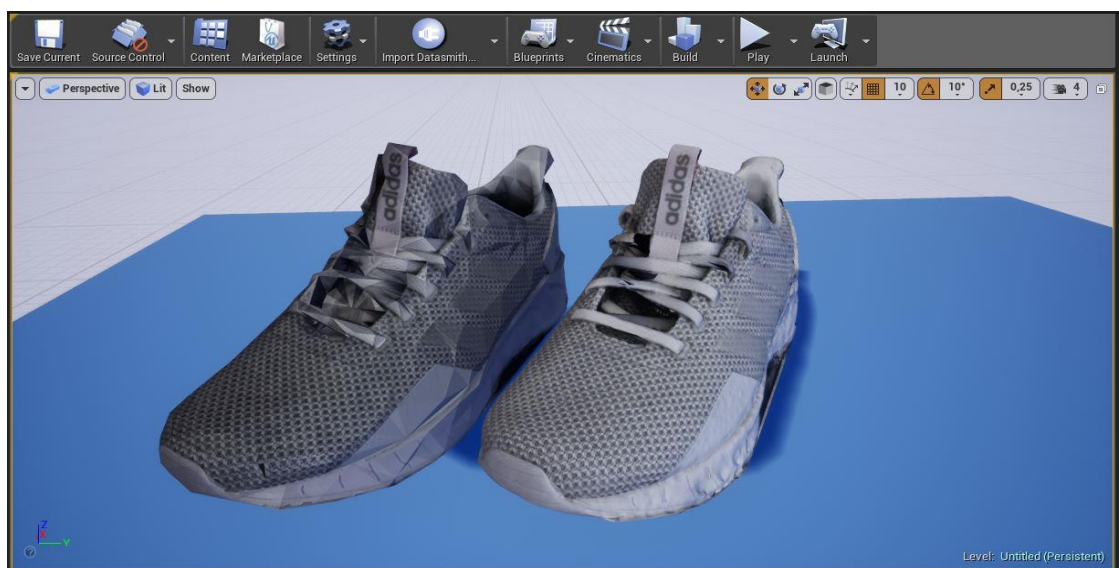
Mallin luomisen ollessa ohjelmiston automaattisesti tekemää, perinteiseen mallinnukseen verrattuna säästettiin aikaa ja työtä. Fotogrammetriaa hyödyntämällä High poly -mallin luomiseen kului aikaa nopeimmillaan noin 30 minuuttia. Perinteisellä käsin mallintamalla vastaavan mallin tekemiseen ammattilaiselta kuluisi arvion mukaan nopeimmillaan vähintään 2-3 tuntia. Tätä työtä tehdessä mallien valmistamiseen käytetty 3DF Zephyr Aerial -ohjelmisto oli helppokäyttöinen ja ominaisuuksiltaan laaja. Ohjelmiston hyvät työkalut helpottivat osaltaan Low poly -mallin valmistamista.

Low poly -mallin tekemiseen menee lähes saman verran aikaa, oli High poly -malli tehty fotogrammetrialla tai käsin mallintamalla, sillä molemmilla tavoilla tehdyille malleille täytyy tehdä samat toimenpiteet. Käsin mallinnetulla mallilla on etunaan ehjä ja puhtaampi geometria, jota on helpompi työstää. Kevennysmallinnusvaiheessa käsin tehtävässä mallin siivoamisessa ylimääräisistä polygoneista sekä UV-kartoituksessa oli suurin työmäärä. Fotogrammetriaohjelmiston tuottama 3D-malli oli rakenteeltaan sotkuisempi kuin mitä käsin mallinnettu olisi. Tämä teki UV-kartoituksesta hieman hankalaa. Myös mallin muoto sekä suuri polygon määrä tekivät kartoituksesta haastavaa. 3DF Zephyr Aerial -ohjelmiston kevennystyökaluja hyödyntämällä mallin keventäminen sujui vaivattomasti. Myös paistovaiheessa käytetty Substance Painter teki suoraan pelimoottoriin soveltuvat tekstuurikartat mallille ilman ongelmia, vaiheen ollessa yksi työn nopeimmista.

6.2 3D-mallit

Voidaan sanoa, että fotogrammetrialla tuotettu 3D-malli on laadukkaan sekä realistisen näköinen. Erityisesti mallille luotu tekstuurikartta tekee mallista hyvin aidon näköisen. Malli on ehdottomasti käyttökelpoinen moneen käyttötarkoitukseen. Teke-mällä mallille kevennysmallinnus, saatiin käyttömahdollisuuksia lisää. Tämä antaa mahdollisuuden käyttää mallia mahdollisessa virtuaalitodellisuussovelluksessa.

Työssä tehtiin kaksi kevennettyä mallia lenkkikengästä, jotta voitiin testata keventämisen toimivuutta sekä kevennetyn mallin realistisuutta. Tätä varten luotiin jo aiemmin hyväksi todetuista JPEG-kuvista uusi malli. Tätä mallia varten lisättiin kuvasarjaan myös lisäkuvia kengästä. Kuvia oli testiversiossa kaikkiaan 173 kappaletta, joista muodostui 1 510 656 polygonia sisältävä 3D-malli. Tästä mallista saatiin keventämällä sekä paistamalla 2036 polygonia ja 20 036 polygonia sisältävät Low poly -mallit. Nämä mallit vietiin Unreal Engine -pelimoottoriin testattavaksi sekä tarkasteltavaksi. Molemmat mallit toimivat pelimoottorissa moitteettomasti ilman ongelmia. Malleja tarkasteltaessa todettiin, että 20 036 polygonin malli näytti käyttökelpoiselta sekä realistiselta. Kevyemmän 2036 polygonin mallin todettiin näyttävän kulmikkaalta, mutta toki sille voi löytyä käyttöä jostain sovelluksesta (ks. kuvio 30).



Kuvio 30. Kevennetyt mallit pelimoottorissa tarkasteltavana. Vasemmalla 2036 polygonin ja oikealla 20 036 polygonin 3D-malli

7 Johtopäätökset

7.1 Hyödyt

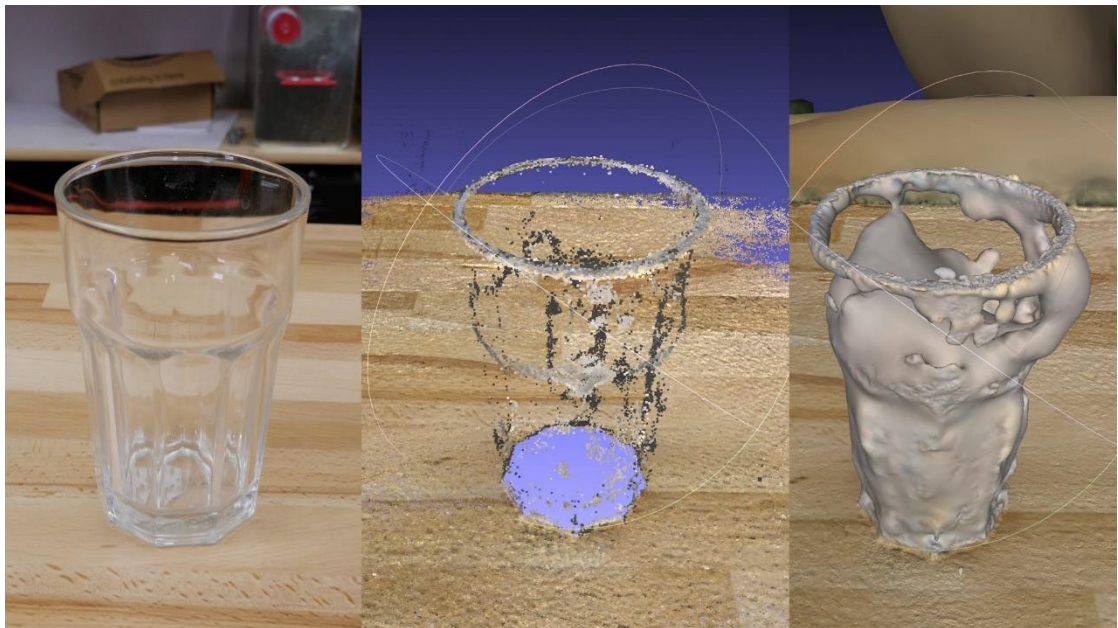
Fotogrammetriaa hyödyntävässä 3D-mallinnuksessa työskentely on nopeaa, suoraviivaista sekä osiltaan automatisoitua. Malleja pystytään tuottamaan nopealla aikataululla, mikä on suuri etu. Erityisesti orgaanisten kohteiden mallintamiseen saadaan fotogrammetrian avulla suuria etuja ajan sekä mallin haastavuuden suhteen. Fotogrammetrialla tuotettuihin malleihin saadaan usein myös hyvin korkea fotorealistisuus. Mallintamistyötä helpottaa se, että kohde on jo valmiina, eikä sitä varten tarvitse alkaa etsimään referenssejä, vaan voi aloittaa kuvaamaan suoraan oikeaa kohdetta. Tämä on myös etu sille, että kohde on juuri se mitä halutaan mallintaa. Kohdeesta saadaan fotogrammetrian avulla tallennettua kaikki tarvittavat yksityiskohdat tekstuureihin. Käsin mallintamisen ollessa todella vähäistä, fotogrammetria antaa 3D-mallien luomiseen mahdollisuuden myös sellaiselle, joka ei ole kokenut mallintaja. Fotogrammetrian käytössä huomattiin olevan tiettyjä etuja, mutta joissain työvaiheissa perinteinen mallinnustapa voi toimia paremmin. Alla oleva taulukko havainnollistaa eroja mallinnusmenetelmien välillä (ks. taulukko 2).

Taulukko 2. Mallinnusmenetelmien vertailu

	Perinteisellä tavalla mallinnettu kohde	Fotogrammetrian avulla mallinnettu kohde
Tuottamisen nopeus	Yksinkertaisissa muodoissa nopeampi Monimutkaiset muodot kestävät kauan valmistaa	Valmistusaika usein sama kohteesta riippumatta Monimutkaiset muodot nopeampia tuottaa
Realistisuus	Mahdollisuus tuottaa fotorealistisia malleja Vaatii enemmän työtä sekä kokemusta	Voidaan luoda yksityiskohtaisen tarkkoja malleja jotka vastaavat reaali maailman kohdetta
Laatu	Saadaan luotua ehjiä ja selkeitä rakenteita	Tuottaa sotkuisia ja välillä rikkonaisia rakenteita
Kevennysmallinnus	Ohjelmallinen kevennys ei eroa Käsin tehtynä helpompi toteuttaa	Ohjelmallinen kevennys ei eroa Käsin tehtynä vaikeampi
UV-kartoitus	Helpompi tehdä selkeämmän rakenteen vuoksi	Sotkuisa rakenne saattaa aiheuttaa haasteita
Tekstuuri	Vaatii työtä Mahdollisuus valmistaa realistinen lopputulos	Automaattista Muodostaa realistisen tekstuurin valokuvista
Vaativuus	Vaatii kokemusta mallintamisesta / Erittäin vaativa	Ei kovin vaativa Pienellä kokemuksella liikenteeseen
Referenssi kohteelle	Vaatii mahdollisen referenssin Saattaa tuottaa haasteita jos referenssi on huono	Ei tarvita erikseen Referenssi on kuvattava kohde
Plussat	Kaikki kohteet on mahdollisia	Prosessin automaattisuus
Miinukset	Työläämpä	Jotkin kohteet ja pintamateriaalit eivät ole mahdollisia tehdä

7.2 Haitat

Selkeitä haittoja fotogrammetrian käytölle ovat sen rajoitteet kuvattavan kohteen pintamateriaaleista. Peilaavat, tasaiset ja yksiväriset pinnat eivät toimi, sillä ne muodostavat malliin epämuodostumia (ks. kuvio 31). Toki tällaisten pintojen ominaisuuksia voidaan muokata tai lisänä voidaan käyttää laserskannausta, jotta malli pystytään muodostamaan. Tämä kuitenkin vaatii lisää resursseja.



Kuvio 31. Läpinäkyvistä kohteista ei pystytä muodostamaan kolmiulotteista mallia (Zuza 2018)

Työssä huomattiin prosessin olevan todella tarkka kuvista ja niiden laadusta. Koska kuvaaminen vaatii erityistä tarkkuutta tai vastaavasti suurta määrää kuvia, tuo se lisää työtä kuvausvaiheeseen. Huolimattomasti toteutettu valokuvaus saattaa johtaa siihen, että ohjelmisto ei kykene muodostamaan 3D-mallia huonoista kuvista.

7.3 Mahdollisuudet

Vaikka työssä kuvattavana kohteena toimi pienikokoinen lenkkikenkä, on fotogrammetrialla mahdollista tuottaa isojakin kokonaisuuksia. Kuvauskopterilla kuvatut ra-

kennukset, luonto ja ympäristöt ovat valjastettavissa virtuaaliodellisuuden käyt-
töön tai esimerkiksi kuvaustaustaksi videotuotantoihin. Lähikartoitettavat kohteet
ovat loistavia kohteita 3D-objekteiksi muun muassa peleihin ja animaatioihin. Kun ku-
vaukseen lisätään useita kameroita, voidaan niiden yhdenaikaisesti tallentamista ku-
villa luoda malleja esimerkiksi ihmisistä tai eläimistä, joista olisi perinteisin keinoin
haastavaa tuottaa 3D-malli.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia fotogrammetriaa ja sen avulla tuotettujen 3D-
mallien toimivuutta osana virtuaaliodellisuuden tuotantoa. Tavoitteena oli myös sel-
vittää, miten näitä 3D-malleja tuotetaan ja mikä olisi niiden tuottamiseen sopivin
tapa. Todettiin, että fotogrammetrialla voidaan tuottaa virtuaaliodellisuuden sovel-
lukseen soveltuvia hyvin realistisia malleja. Tuottamalla malleja fotogrammetrialla,
huomattiin, että isoimmat edut olivat prosessin nopeus sekä automaattisuus. Vaikka
prosessi oli nopea, todettiin, että fotogrammetria on vain yksi tapa tuottaa 3D-mal-
leja. Se voi olla mainio työkalu tuotannoissa perinteisen mallintamisen ohella. Foto-
grammetrian edut tulevat esille tuottaessa 3D-malleja ympäristöistä sekä orgaani-
sista kohteista. Fotogrammetrian käyttöä rajoittaa siihen tarkoitettujen ohjelmisto-
jen vaikeus muodostaa malleja tasaisista, peilaavista sekä läpinäkyvistä pinnoista.
Prosessin perustuessa valokuviiin huomattiin, että erityistä huomiota on kiinnitettävä
kuvaamisen, kuvauskalustoon sekä valaistukseen. Opinnäytetyötä sekä siinä tehtyjä
tuloksia voidaan käyttää ohjeena, kun fotogrammetriaa hyödynnetään 3D-mallien
tuottamiseen.

Lähteet

Agisoft metashape user manual. 2018. Käyttöopas Agisoft verkkosivuilla. Viitattu 4.3.2019. https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf

Agisoft photoscan review. 2015. Ohjelmistoarvostelu CGPress verkkosivuilla. 11.5.2015. Viitattu 5.3.2019. <https://cgpress.org/archives/agisoft-photoscan-review.html>

Añorbe-Díaz, B., González-Marrero, A., Efrén Mora, C. & Martín-Gutiérrez, J. 2016. Virtual technologies trends in education. Eurasia journal of mathematics science and technology education 7.8.2016. Viitattu 12.3.2019. https://www.researchgate.net/profile/Beatriz_Anorbe2/publication/311373822_Virtual_Technologies_Trends_in_Education/links/58431d5908ae2d2175637acd/Virtual-Technologies-Trends-in-Education.pdf

Aukstakalnis, S. 2017. Practical augmented reality : a guide to the technologies, applications, and human factors for Ar and Vr. Boston: Addison-Wesley

Billinghamurst, M. 2017. What is mixed reality?. Medium 31.3.2017. Viitattu 8.4.2019. <https://medium.com/@marknb00/what-is-mixed-reality-60e5cc284330>

Boehm, J., Kyle, S., Luhmann, T. & Robson, S. 2014. Close-range photogrammetry and 3D imaging. 2. p. Berlin: De Gruyter

Bozhenko, K. 2018. Life without edges – creating content for virtual reality apps. Oct Dev 24.9.2018. Viitattu 6.2.2019. <https://octodev.net/life-without-edges-creating-content-for-virtual-reality-apps-octodev/>

Buczowski, A. 2015. Google cardboard – paper virtual reality set now supports street view. Geoawesomeness 13.10.2015. Viitattu 4.3.2019. <http://geoawesomeness.com/google-cardboard-paper-virtual-reality-set-now-supports-street-view-app/>

Dotson, K. 2017. Using virtual reality to make big data analysis as immersive as games. SiliconAngle 27.1.2017. Viitattu 9.4.2019. <https://siliconangle.com/2017/01/27/explore-big-data-virtual-reality-virtualitics-visualization-software/>

Erickson, S. 2018. What does the future hold for virtual reality?. The Motley Fool 26.3.2018. Viitattu 12.3.2019. <https://www.fool.com/investing/2018/03/26/what-does-the-future-hold-for-virtual-reality.aspx>

Hassal, J. 2018. Aerial 3D model created with drone through photogrammetry. Jonathan Hassal kotisivu 17.8.2018. Viitattu 9.4.2019. <https://www.jonhassall.com/photographs/aerial-3d-model-created-with-drone-through-photogrammetry/>

- How Virtual Reality is transforming architecture and design. 2018. Artikkelel Champagne Soda yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 9.4.2019.
<https://champagnesoda.com.au/how-virtual-reality-vr-is-transforming-architecture-and-design/>
- JTAC solutions. 2019. Esittely JTAC solutions verkkosivuilla. Viitattu 4.3.2019.
<https://www.immersivedisplayinc.com/our-solutions/jtac/>
- Koucheryavy, Y., Ometov, A., Olshannikova, E. & Olsson, T. 2015. Visualizing big data with augmented and virtual reality: challenges and research agenda. Journal of big data. Viitattu 12.3.2019.
<https://journalofbigdata.springeropen.com/track/pdf/10.1186/s40537-015-0031-2>
- Kovak-Lewis, G. 2014. Amazing photogrammetry. Stockpile Reports 23.7.2014. Viitattu 12.2.2019 <https://www.stockpilereports.com/insights/photogrammetry>
- Lachambre, S., Lagarde, S. & Jover, C. 2017. Unity photogrammetry workflow. Unity 23.6.2017. Viitattu 13.3.2019.
https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf
- Lievendag, N. 2017. How 3D scanning was used to create the worlds of star wars battlefront. 3D Scan Expert 2017. Viitattu 12.2.2019. <https://3dscanexpert.com/3d-scanning-star-wars-battlefront/>
- Mateer, J. 2018. Hollywood 360: how virtual reality is poised to take on the traditional movie industry. The Conversation 15.2.2018. Viitattu 12.3.2019.
<http://theconversation.com/hollywood-360-how-virtual-reality-is-poised-to-take-on-the-traditional-movie-industry-91426>
- Mitä teemme. 2019. Movya Oy:n verkkosivut. Viitattu 6.2.2019 <http://movya.fi/>
- Nag, P. 2017. Virtual reality could help fight phobias, anxiety and addictions. International Business Times 3.3.2017. Viitattu 9.4.2019.
<https://www.ibtimes.sg/virtual-reality-could-help-fight-phobias-anxiety-addictions-8049>
- Naudus, K. 2016. 'Pokémon Go' is the 'aha' moment AR has been waiting for. Engadget 12.7.2016. Viitattu 8.4.2019.
https://www.engadget.com/2016/07/12/pokemon-go-augmented-reality/?guccounter=1&guce_referrer_us=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_cs=XjEql6Pr8Av-qfFothCdWw
- Puhakka, A. 2008. 3D-grafiikka. Helsinki: Talentum
- Robertson, A. 2018. Oculus Quest is a new, \$399 standalone VR headset shipping next year. The Verge 26.9.2018. Viitattu 4.3.2019.
<https://www.theverge.com/2018/9/26/17906298/oculus-quest-santa-cruz-standalone-vr-headset-price-shipping>

Scribani, J. 2019. What is extended reality (XR)?. Visual Capitalist 16.1.2019. Viitattu 8.4.2019. <https://www.visualcapitalist.com/extended-reality-xr/>

Stewart, R. 2017. Is virtual reality the future of art?. Deutsche Welle 17.3.2017. Viitattu 9.4.2019. <https://www.dw.com/en/is-virtual-reality-the-future-of-art/a-37942941>

Tiganik, S. 2016. Rough estimation of interior dimensions using structure from motion techniques. University of Tartu, institute of computer science 18.11.2016. Viitattu 4.3.2019. <http://ds.cs.ut.ee/courses/course-files/artikkel.pdf>

Totten, C. 2012. Game character creation with blender and unity. Indiana: John Wiley & Sons, Inc.

Virtual reality uses in architecture and design. 2017. Tmd studio verkkosivuston blogi 21.1.2017. Viitattu 12.3.2019. <https://www.tmd.studio/blog/2017/7/9/virtual-reality-uses-in-architecture-and-design>

What is mixed reality?. 2018. Artikkelin Microsoftin verkkosivuilla 21.3.2018. Viitattu 8.4.2019. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mixed-reality>

What really is the difference between AR / MR / VR / XR ?. 2018. Medium verkkosivuston artikkeli. 20.3.2018. Viitattu 8.4.2019. <https://medium.com/@northof41/what-really-is-the-difference-between-ar-mr-vr-xr-35bed1da1a4e>

Zuza, M. 2018. Photogrammetry - 3D scanning with just your phone/camera. Prusa Printers 13.3.2018. Viitattu 10.4.2019. <https://www.prusaprinters.org/photogrammetry-3d-scanning-just-phone-camera/>