

Niko Kuivalainen

# Fotogrammetria apuna suurten peliobjektien luonnissa



Tradenomi (AMK)

Tietojenkäsittely

Kevät 2020



**KAMK • University  
of Applied Sciences**

## Tiivistelmä

**Tekijä(t):** Kuivalainen Niko

**Työn nimi:** Fotogrammetria apuna suurten peliobjektien luonnissa

**Tutkintonimike:** Tradenomi (AMK), tietojenkäsittely

**Asiasanat:** fotogrammetria, 3D-mallinnus, grafiikka, ilmakuvaus

Fotogrammetria on valokuvausta hyödyntävä 3D-mallinnusmenetelmä, jossa luodaan ohjelmallisesti 3D-malli kuvatusta kohteesta. Perinteisesti fotogrammetriamalleja on luotu pienistä objekteista, ja kuvausvälineenä on käytetty esimerkiksi järjestelmäkameraa. Suurempien kuvauskohteiden yhteydessä tällaisen kuvausmenetelmän hyödyntämisessä on kuitenkin paljon rajoitteita.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kuvauslennokin käyttöä suuren mallinnuskohteen kuvauksessa sekä luotiin fotogrammetrian ja mallin optimointimenetelmien avulla 3D-malli, joka soveltuu käytettäväksi peliobjektina. Työn tavoitteena oli testata ilmafotogrammetrian soveltuvuutta mallinnuksessa sekä toteuttaa hyvin nopean optimoinnin avulla näyttävä malli peliympäristöön.

Opinnäytetyön alussa käsitellään lyhyesti fotogrammetrian perusteita, historiaa ja sen käyttökohteita. Lisäksi käytiin läpi kuvauksessa huomioitavia asioita keskittyen nykyaikaisen kuvauslennokin tuomiin hyötyihin.

Käytännön osuudessa kuvattiin suurta kohdetta lennokkia apuna käyttäen, sekä tuotiin esille asiakohtia, joita lennokkia käytettäessä tulee ottaa huomioon. Lisäksi selvitettiin pienempien kohteiden kuvausta ja suuren kuvamäärän hallintaa, sekä useamman kohteen yhdistämistä yhdeksi kokonaisuudeksi.

Suuren fotogrammetriamallin luomisessa tulee ottaa huomioon käytössä olevan tietokoneen ominaisuudet ja työssä selvitettiin millä tavoin tietokoneen tuomia rajoituksia voidaan kiertää.

Lopputuloksena on useammasta fotogrammetriamallista yhdistelty peliobjekti, jota tullaan käyttämään koulutuskäytössä.

## **Abstract**

**Author(s):** Kuivalainen Niko

**Title of the Publication:** Photogrammetry in Creating Large Game Objects

**Degree Title:** Bachelor of Business Administration, Business Information Technology

**Keywords:** photogrammetry, 3D-modelling, game graphics, aerial photography

Photogrammetry is a 3D modeling method that utilizes photography to programmatically create a 3D model of a photographed object. Traditionally, photogrammetric models have been created from small objects, and a system camera, for example, has been used as the imaging medium. However, when dealing with larger objects, there are many limitations in utilizing such an imaging method.

In this thesis, the use of an imaging drone with a large object was investigated, and a 3D model suitable for use as a game object was created using photogrammetry and model optimization methods. The aim of the work was to test the suitability of aerial photogrammetry in modeling and to implement a spectacular model for the game environment with the help of very fast optimization.

At the beginning of the thesis, the basics of photogrammetry, its history and its applications were briefly discussed. In addition, the issues to be considered in the description were reviewed, focusing on the benefits of a modern imaging drone.

In the practical part, a large object was photographed with the help of a drone, as well as points that should be taken into account when using a drone. In addition, photogrammetry of smaller objects and the management of a large number of images, as well as the merging of several objects into one entity were investigated.

When creating a large photogrammetry model, the characteristics of the computer in use must be taken into account, and the work explored how the limitations of the computer can be circumvented.

The result is a game object combined from several photogrammetry models, which will be used in educational contexts.

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Fotogrammetria.....	2
2.1	Fotogrammetrian perusteet.....	2
2.2	Fotogrammetrian historia .....	3
2.3	Fotogrammetrian käyttökohteet .....	3
3	Fotogrammetrinen valokuvaus .....	4
4	Kuvauslennokki.....	7
4.1	Historia .....	7
4.2	Tekniikka.....	8
4.3	Käyttökohteet.....	8
5	3D-mallinnus.....	10
5.1	Mallinnuksen perusteet .....	10
5.2	3D-mallinnus fotogrammetrian työvaiheena.....	10
6	Case: Kuvauslennokin hyöty fotogrammetriassa .....	12
6.1	Teknologia: kuvauslennokki, kamera ja ohjelmistot.....	12
6.2	Toteutus ja jatkokäsittely .....	13
6.2.1	Kuvaus .....	13
6.2.2	Kuvien käsittely .....	14
6.3	Mallin käsittelyvaiheet .....	14
6.3.1	Mallin luonti Reality Capture -ohjelmalla .....	14
6.3.2	Mallin siivoaminen Zbrush-ohjelmalla .....	16
6.3.3	Normaalikartan ja tekstuurikartan luominen Zbrush-ohjelmassa .....	16
6.3.4	Uudelleenmallinnus 3ds Max -ohjelmassa.....	16
6.3.5	3D-mallin käyttöönotto pelimoottorissa.....	17
7	Yhteenveto .....	19
	Lähteet .....	20

## **Symboliluettelo**

<b>Autodesk 3ds Max</b>	3D mallinnusohjelma
<b>Normaalikartta</b>	Kuvaa mallin pinnanmuotoja
<b>Smoothing group</b>	Ryhmä polygoneja, jotka näyttävät tasaisilta polygoniverkossa.
<b>Tektuurikartta</b>	Kuvaa mallin pintaominaisuuksia, kuten värejä ja heijastuksia
<b>UV-mappaus</b>	3D-mallin tahkojen projisointi kaksiulotteiselle pinnalle
<b>VR</b>	Virtuaalitodellisuus
<b>Zbrush</b>	Digitaaliseen veistämiseen keskittynyt 3D mallinnusohjelma

## 1 Johdanto

Fotogrammetriaa on jo useamman vuoden käytetty peliteollisuudessa grafiikan luonnin apuvälineenä. Fotogrammetrian avulla voidaan tuottaa erittäin realistisia 3D-malleja, tai vaihtoehtoisesti sitä voidaan käyttää apuna hahmottelemaan oikean esineen mittakaavoja ja muotoja. Käyttövasta riippumatta fotogrammetrialla luotu malli on käsiteltävä graafikon toimesta, sillä mallit ovat geometrialtaan usein liian yksityiskohtaisia suoraan käyttöön. Useimmissa fotogrammetriaohjelmissa on mahdollisuus automaattiseen geometrian suodatukseen, mutta siitä saatu lopputulos on kuitenkin harvoin käyttökelpoinen.

Tässä opinnäytetyössä yhdistetään suuren kohteen kuvausmenetelmiä pienempien kohteiden tarkkuuteen ja tällä tavoin pyritään luomaan suuri kohde, jota peliympäristössä tarkastellaan erittäin läheltä. Kuvaslaitteina käytetään nykyaikaista lennokkia ja järjestelmäkameroita sekä erillisiä valonlähteitä. Fotogrammetriamallin luomisessa ja käsittelyssä käytetään useampaa kaupallista 3D- ja 2D-kuvankäsittelyohjelmaa.

Opinnäytetyössä käydään läpi omakohtaisia kokemuksia ja havaintoja suuren mallin luomisesta fotogrammetrian avulla. Lisäksi tarkastellaan prosessin aikana ilmenneitä ongelmia. Mallinnettava kohde on Suomen puolustusvoimien käytössä oleva Leopard 2a4 -panssarivaunu. Työ tehtiin osana projektia, jossa kehitettiin digitaalista sovellusta panssarivaunujen huoltohenkilökunnan kouluttamiseen.

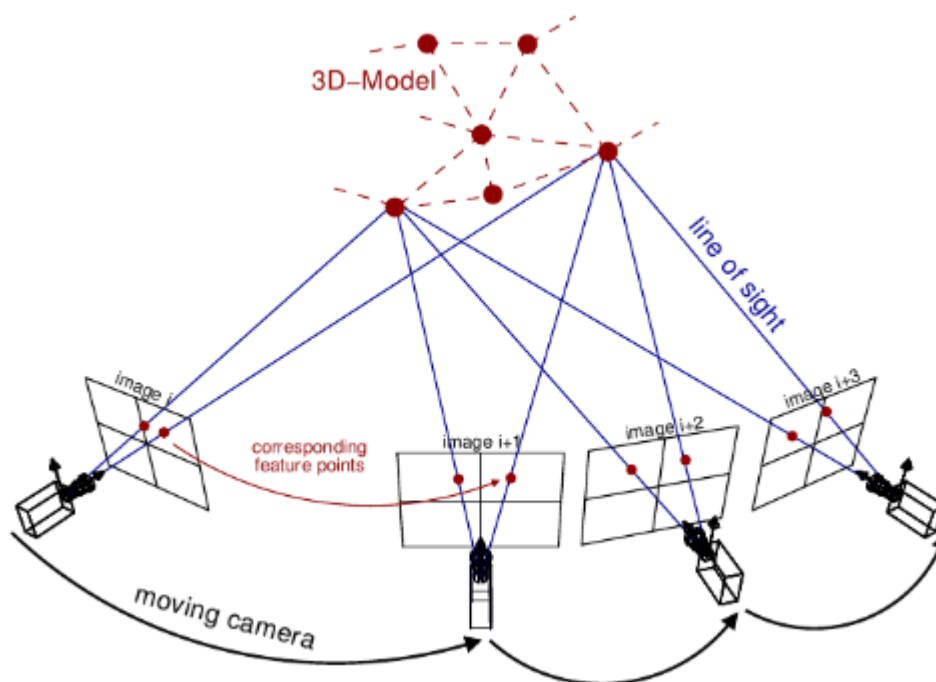
Toimeksiantajan toivomuksesta osa kuvista on siirretty liitteiksi, joita ei julkaista niiden luottamuksellisen sisällön takia.

## 2 Fotogrammetria

Fotogrammetria tarkoittaa tapaa mitata kohteita valokuvien tai laserin avulla. Mittauksen tuloksena syntyy kolmiulotteinen malli, jota voidaan käyttää useisiin eri tarkoituksiin.

### 2.1 Fotogrammetrian perusteet

Kun kohdetta kuvataan niin, että kuvan muutos seuraavaan kuvaan on riittävän pieni, voidaan valokuvien perusteella triangulaation eli kolmiomittauksen avulla laskea pisteiden sijainti kolmiulotteisessa avaruudessa kuvan 1 mukaisesti. Fotogrammetriassa ohjelmisto vertailee kiintopisteitä yhdestä tai useammasta valokuvasta ja järjestee valokuvat oikeille paikoilleen. Tämän jälkeen valokuvista luodaan kolmiomittauksen avulla pisteitä kolmiulotteiseen koordinaatistoon. Jos kuvia on vain yksi, siinä tapauksessa pisteet luodaan kaksiulotteiseen koordinaatistoon, sillä kaksiulotteisesta kuvasta on mahdotonta määrittää syvyyttä. [1.]



Kuva 1. Fotogrammetrian periaate

## 2.2 Fotogrammetrian historia

Fotogrammetrian isänä pidetään Aimè Laussedatia, joka esitteli termin vuonna 1851. Myöhemmin saksalainen arkkitehti Maydenbauer käytti ja kehitti fotogrammetrisia tekniikoita rakennusten dokumentointiin. Hän myös perusti ensimmäisen fotogrammetrisen instituutin. Ensimmäisiä kuvia käytettiin lähinnä apuna karttoja laadittaessa, ja ne otettiin yleensä mahdollisimman korkealta, kuten talojen katoilta tai muilta korkeilta paikoilta. [2.]

Ilmakuvausta käytettiin fotogrammetriassa ensimmäisen kerran 1900-luvun alussa, mutta ensimmäinen maailmansota hidasti kehitystä. Reinhard Hugerhoffin valmisti ensimmäisen fotograafisen piirturin vuonna 1921. Täysin digitaaliseen fotogrammetriaan siirryttiin, kun tietokoneiden tehot nousivat ja digikameroiden hinnat laskivat. Nykyään koko fotogrammetriaprosessi kuvaamisesta mallin laskentaan voidaan suorittaa älypuhelimella, joskin tällöin joudutaan tinkimään lopputuloksen tarkkuudesta. [2.]

## 2.3 Fotogrammetrian käyttökohteet

Fotogrammetria hyödyntäminen on levinnyt laajasti usealle eri toimialalle sen alkuperäisestä käyttökohteesta, kartoituksesta. Arkkitehtuurissa fotogrammetriaa käytetään historiallisten rakennusten ja esineiden dokumentointiin ja tutkimiseen. Fotogrammetrialla kuvattu historiallinen kohde voidaan lisäksi rekonstruoida digitaalisesti muokkaamalla 3D-mallin pintamateriaaleja ja muotoja vastaamaan kohteen alkuperäistä muotoa.

Peliteollisuus on ottanut fotogrammetrian käyttöönsä 2000-luvun puolella, kun pelien graafiset vaatimukset ovat kasvaneet ja peleistä pyritään luomaan mahdollisimman realistisen näköisiä. Aikaisemmin tietokoneiden tehot eivät riittäneet kovinkaan tarkan grafiikan piirtämiseen, eikä fotogrammetriasta ollut käytännössä hyötyä.



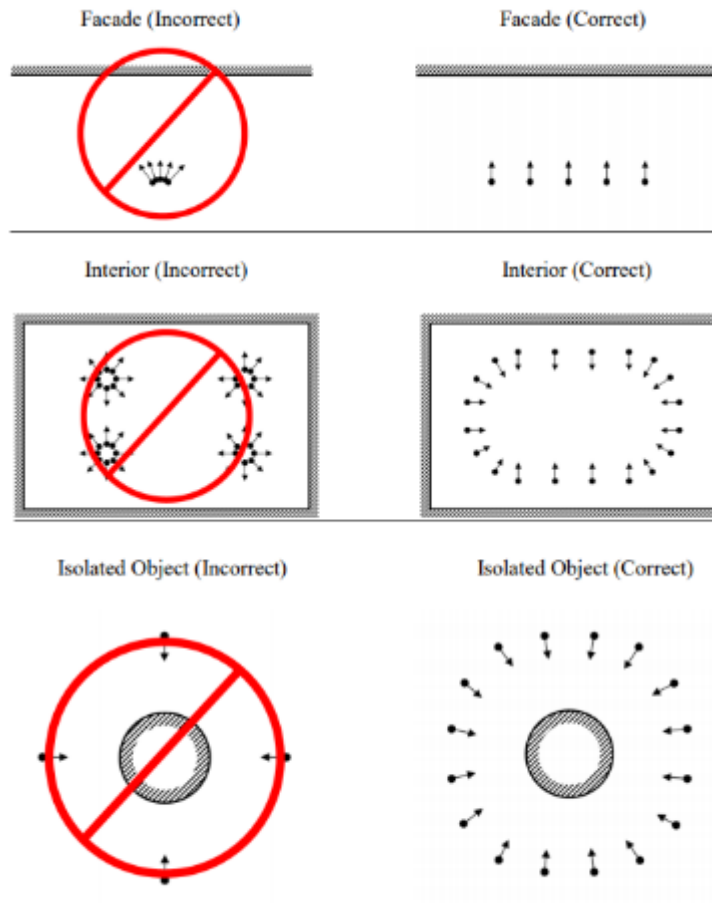
### 3 Fotogrammetrinen valokuvaus

Fotogrammetrian ehkä tärkein työvaihe on itse kuvan ottaminen. Hyvällä kuvalla fotogrammetrialla luodusta mallista tulee tarkempi, ja täten sen jälkikäsitteily on helpompaa. Nykyään kuvia voidaan ottaa monella eri laitteella, kuten kännykällä, järjestelmäkameralla ja kuvauslennokeilla.

Fotogrammetrisessä valokuvauksessa kohteen valinta ja mahdolliset esivalmistelut ovat erittäin suuressa osassa lopputuloksen onnistumisessa. Koska fotogrammetriassa vertaillaan useaa kuvaa samasta kohteesta, on tärkeää, että valaistus ja itse kohde eivät muutu kuvausession aikana. Valaistus olisi hyvä pitää mahdollisimman tasaisena, ja tästä syystä suositellaan epäsuoraa valaistusta, joka ei luo varjoja.

Ulkotiloissa kuvatessa tämä tarkoittaa pilvistä päivää tai sitä, että kohde on jo kokonaisuudessaan varjossa. Sisätiloissa kuvaus vaatii tasaista studiovalaistusta. Kohteen olisi myös suotavaa olla paikallaan koko kuvausession ajan, sillä pienikin liike luo virheellisiä mittaustuloksia, jotka aiheuttavat lopullisen mallin pintaan virheitä. Esimerkiksi henkilöitä kuvattaessa ongelma on ratkaistu ottamalla kuvat samanaikaisesti usealla kameralla.

Kuvauksessa tulee myös ottaa huomioon kuvaustapa. Esimerkiksi tasaista seinää kuvatessa ei kuvausta toteuteta ainoastaan kääntämällä kameraa seinän myötäisesti, vaan kamera tulee siirtää seinän vierusta pitkin koko kuvausmatkalla. Kuvassa 2 on esitetty kaupallista fotogrammetriaohjelmaa tarjoavan Agisoftin ohjeistus oikeaoppisen kuvauksen suorittamiseen. Tällä tavoin seinään ei tule vääristymää fotogrammetriaohjelman laskennassa. Kokonaista huonetta kuvatessa kameral tulisi olla vastakkaisella seinällä osoittaen huoneen poikki kohti kuvattavaa seinää. [3.]



Kuva 2. Agisoftin ohjeet yleisimpiin kuvauskohteisiin

Fotogrammetriaohjelma ei osaa määrittellä esineen kokoa valokuvien perusteella, joten käyttäjän tulee itse syöttää esineen mitat ohjelmalle. Mittauksen voi suorittaa esimerkiksi määrittämällä mittanauhalla kahden selkeästi erottuvan pisteen välisen etäisyyden, tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää erityistä mittatikkua tai jopa ihan viivoitinta kuvan 3 mukaisesti. Mittatikkua tai viivoitinta käytettäessä ne on asetettava esineen viereen siten, että ne ovat selkeästi havaittavissa esineestä otetuissa kuvissa. Tällöin fotogrammetriaohjelma voi mitoittaa esineen oikean kokoiseksi paljon tarkemmin. [4.]



Kuva 3. Esimerkki mittatikun käytöstä

## 4 Kuvauslennokki

Lennokki on teknisesti ilmaistuna miehittämätön lentokone. Käytännössä lennokki on lentävä robotti, jota pystytään ohjaamaan radio-ohjaimella. Lennokki kykenee myös itsenäiseen lentoon sisäänrakennetuilla sensoreilla ja GPS-avustuksella. Lennokit olivat ennen lähinnä armeijoiden käytössä olevia maalitauluja tai tiedustelukoneita, ja jossain määrin niitä käytettiin myös asealustoina. Sittemmin lennokkien kaupalliset versiot ovat lisääntyneet merkittävästi, ja niitä käytetäänkin laajasti eri aloilla ja harrastetoiminnassa.

### 4.1 Historia

Ensimmäiset miehittämättömät lentokoneet olivat käytössä vuonna 1849 Itävallan piirittäessä Venetsiaa. Tuolloin käytössä oli ilmapalloja, jotka kuljettivat palopommeja, ja pommien pudotuksessa käytettiin ajastettuja sytyttimiä.

Ensimmäinen radio-ohjattava lennokki tuli käyttöön vuonna 1935. Täysikokoiseen, kaksitasoiseen de Havilland DH82B -lentokoneeseen asennettiin radio-ohjaus, jolla konetta pystyi lentämään. Konetta käytettiin tykistön maalitauluna harjoituksissa. Englanninkielinen nimitys lennokista, Drone, pohjautuu tähän koneeseen.

Lennokkien sotilaskäyttö yleistyi kunnolla vuonna 1982, kun Israelin armeija käytti niitä Syyriaa vastaan. Lennokkeja käytettiin yhteyksien häiriköintiin ja videovakoiluun. Siitä lähtien lennokkien sotilaskäyttö on kasvanut juuri vakoilun puolella.

Nykyisten lennokkien laajempi käyttö alkoi USA:n rajavartioston otettua käyttöön lennokit rajavalvonnassa vuonna 2006. Samana vuonna sai alkunsa myös lennokkimarkkinoita johtava kiinalainen lennokkiyritys DJI, jonka perusti Hong Kongin yliopistossa opiskellut Frank Wang. Yrityksen ensimmäinen kaupallinen menestys oli vuonna 2013 julkaistu Phantom. [5.]

## 4.2 Tekniikka

Nykyaikaiset lennokit ovat täynnä uusinta teknologiaa valmistusmateriaaleista aina paikannus sensoreihin asti. Materiaalien täytyy olla kevyitä ja kestäviä, jotta niiden paino ja liikkuvuus saadaan mahdollisimman hyväksi. Runko on yleensä toteutettu komposiittimateriaaleista, kuten hiilikuidusta tai magnesiumalumiinista. [5.]

Yleisin lennokityyppi on nelikopteri, jossa on nimensä mukaan neljä propellia. Raskaammille kamerajärjestelmille on myös olemassa kahdeksanpropellinen kopteri. Propellien valmistusmateriaalina käytetään muovia, ja niistä on valmistajasta riippuen saatavilla myös suurempiin lentokorkeuksiin vaadittavat versiot. Esimerkiksi DJI valmistaa 2500–5000 metrin korkeuksille tarkoitettuja propelleja. [5.]

Jotta lennokin lento olisi turvallista, monissa lennokeissa on nykyään käytössä sensorit, jotka seuraavat jatkuvasti ympäristöä ja lentokorkeutta maan päällä lennettäessä. Samaan aikaan ohjelmisto luo datasta 3D-kartan, jonka avulla lennokka osaa väistää esteet. Useimmissa lennokeissa on etäisyysensorit alas, eteen ja ylös. Lennokeista löytyy tuki satelliittipohjaisille navigointijärjestelmille, kuten GPS ja GLONASS. Näillä järjestelmillä lennokka pystytään paikallistamaan erittäin tarkasti, ja sen avulla kopteri pystyy autonomisesti lentämään ennalta määritettyjä reittejä tai palaamaan automaattisesti lähtöpaikalleen. [5.]

Lennokin vakaat lento-ominaisuudet ovat inertian seurantajärjestelmän ansiota. Järjestelmä lukee kiihtyvyyssanturien datan ja säätää gyroskooppien avulla lennokin kallistusta, kääntymistä ja pyöritystä. Joissain lennokeissa saattaa olla useampikin kiihtyvyyssanturi, ja osassa malleissa on myös magnetometri, jolla vakautta voidaan lisätä seuraamalla magneettikenttiä. [6.]

## 4.3 Käyttökohteet

Kalliit hinnat ja tekniset rajoitukset ovat olleet pitkään esteenä lennokkien yleistymiselle. Valmistuskustannusten ja hintojen lasku sekä teknologian yleistymisen ovat kasvattaneet lennokkien suosiota uusissa käyttökohteissa. Lennoykkien hyöty varsinkin maataloudessa ja rakennusalalla on huomattu. Nykyään työtehtäviä, joihin ennen tarvittiin helikoptereita tai lentokoneita, voidaan

hoitaa paljon halvemmalla lennokin avulla. Lennokkeja voidaan käyttää esimerkiksi peltojen kunnon ja tuottavuuden arviointiin, rakennusten ulkopuoliseen kuntotarkastukseen tai korkeiden tietoliikennemastojen tarkastukseen. Myös suuret varastot ovat ottaneet pienet lennokit käyttöön inventaarion seurannassa automatisoimalla ne lentämään ja tarkistamaan hyllyjen sisältöä. Näin saatetaan vähentää inventaarioon kuluva aika murto-osaan verrattuna siihen, jos työntekijät hoitaisivat saman tehtävän kävellen. [5.]

Lennokkeja käytetään myös pelastustoimissa niiden monipuolisuuden takia. Lennokin kameraobjektiivin voi helposti vaihtaa infrapunakameraan tai lämpökameraan, jolloin kohteen löytäminen esimerkiksi metsästä helpottuu. Etsintä ja pelastustöitä hidastaa tosin lennokkien melko lyhyt lentoaika, joka mallista ja akustosta riippuen on 20-50 minuuttia. Tosin lennokkien suuri lentonopeus auttaa kattamaan suuren alueen lyhyenkin lentoajan puitteissa.

Viimeisimpänä ja ehkä eniten uutisoituna lennokin käyttökohteena voidaan mainita lähetysten toimittaminen, jota on testattu Yhdysvalloissa esimerkiksi Amazonin toimesta. Lennokkien laajempi hyödyntäminen lähetysten toimittamisessa odottaa kuitenkin lupien saantia ja lentomääräysten muutosta. Afrikassa on käytössä lennokeilla toimivat lääkekuljetukset, joilla lääkkeet saadaan nopeasti siirrettyä keskusvarastolta lääkkeitä tarvitseville alueille.

## 5 3D-mallinnus

Kolmiulotteinen mallinnus esittää objektin pisteiden ja niiden välille piirrettyjen kolmioiden avulla 3D-avaruudessa.

### 5.1 Mallinnuksen perusteet

Kolmiulotteisen mallinnuksen kolme yleisintä tapaa ovat polygonimallinnus, jossa kärkipisteet yhdistetään toisiinsa janoilla, joita kutsutaan reunoiksi. Tästä syntyvää muodostelmaa kutsutaan polygoniverkoksi. Kurvimallinnuksessa pinnat esitetään kurveina, jotka seuraavat ohjainpisteitä. Ohjainpisteiden vaikutusta kurviin voidaan säätää lisäämällä pisteelle painoarvoa. Digitaalinen veistäminen on uusin tapa kolmiulotteisessa mallinnuksessa. Se on digitaalinen versio tavanomaisesta veistämisestä.

Näistä yleisin on polygonimallinnus, koska sillä tavalla on helppo esittää lähes kaikki tarvittavat kolmiulotteiset mallit. Tietokoneet myös piirtävät polygonimallit tehokkaimmin. Polygoni voi olla pinta, jossa on rajaton määrä kärkipisteitä, mutta yli neljän kärkipisteen polygoneja ei suositella käytettävän missään tilanteessa. Kärkipisteitä voi yhdistää reunoilla, jotta polygonista saadaan joko kolmi- tai nelisivuinen. Kolmisivuista polygonia kutsutaan myös vain kolmioksi, ja kaikki pelimoottorit käsittelevät malleja kolmioina. Kaikki mallinnusohjelmat muuntavat mallin kolmioiksi, kun ne vievät eri pelimoottorin ymmärtämään tiedostomuotoon, kuten \*.fbx tai \*.obj. Malli luodaan kuitenkin yleensä nelisivuisilla polygoneilla, sillä tällöin topologiaa on helpompi ylläpitää. Topologia tarkoittaa reunojen kulkua mallissa. Topologia on erityisen tärkeää orgaanisissa malleissa, joita halutaan animoida.

### 5.2 3D-mallinnus fotogrammetrian työvaiheena

Kun toteutetaan 3D-malleja pelikäyttöön, on huomioitava muutamia eri seikkoja, joihin tavallisessa 3D-mallinnuksessa ei tarvitse kiinnittää erityistä huomiota. Esimerkiksi mallin sisältämän kolmiomäärän optimointiin tulee erityisesti panostaa. Pelimoottorit renderöivät mallit kolmioittain, ja täten sujuvan ruudunpäivityksen takia käytettävien 3D-mallien kolmiomäärän tulisi olla

mahdollisimman alhainen. Mallin raskauteen vaikuttaa myös UV-karttojen saumat, materiaalika-  
navien ja smoothing groupien määrä. Myös UV-kartoitus on tärkeässä roolissa, jotta mallin teks-  
tuuri ja materiaalit saadaan optimoitua. Jossain tapauksissa UV-kartoitus täytyy tehdä tekstuuri-  
kartalle ja pelimoottorin luomalle varjokartalle erikseen.



## 6 Case: Kuvauslennokin hyöty fotogrammetriassa

Työn tavoitteena oli luoda panssarivaunun 3D-malli yhdistelemällä järjestelmäkameralla ja lennokilla otetut kuvat yhdeksi kokonaisuudeksi fotogrammetriatekniikkaa käyttäen. Lisäksi tarkoituksena oli kuvata panssarivaunun moottori ja sen irrotukseen liittyvät työvälaineet. Lopullista mallia tullaan käyttämään koulutussovelluksessa, jonka tarkoituksena on kouluttaa huoltohenkilöstöä kyseisen panssarivaunun moottorin poistoon ja samalla esitellä uutta tekniikkaa koulutuksessa.

### 6.1 Teknologia: kuvauslennokki, kamera ja ohjelmistot

Panssarivaunun suuren koon takia pelkästään järjestelmäkameran avulla toteutettu kuvaus ei tarjonnut riittävästi kuvausmateriaalia, joten ilmakehävälä varten käytettiin DJI Inspire 2 -lennokkia. Kyseinen lennokki on pääasiassa videokuvaamiseen tarkoitettu, mutta sen Zenmuse X5S -kamera pystyy ottamaan myös korkealaatuisia kuvia. Ammattitason Inspire 2 -lennokin fyysiset mitat ovat 42,7 cm x 42,5 cm x 31,7 cm (pituus, leveys, korkeus), ja painoa koneella on kameras kanssa noin 4 kiloa. Lennoikki on varustettu kaikilla nykyaikaisilla lentojärjestelmillä, kuten esteen tunnistuksella, infrapunasensoreilla ja GPS-paikannuksella.

Kuvauksessa käytettiin Canon EOS 6D -järjestelmäkameran runkoa ja Canon EF 20mm/f2.8 USM -laajakuvalinssiä. Laajakuvalinssin ansiosta panssarivaunu saatiin kokonaan kuvaan ahtaasta tilasta huolimatta, eikä linssi kuitenkaan aiheuttanut liikaa vääristymää, joka olisi haitannut lopputulosta. Lisäksi mukana oli kamerajalusta ja studiovaloja, joiden avulla saatiin tarpeeksi hyvin valotettuja kuvia ilman turhan pitkää valotusaikaa.

Kuvankäsittelyssä käytettiin Adobe Lightroom -ohjelmaa, jolla tasattiin kuvien valkotasapaino ja kirkkaus. Fotogrammetriamallin luontiin käytettiin Reality Capture -ohjelmaa, jonka avulla tuotettiin erittäin korkeatasoinen 3D-malli panssarivaunusta. Panssarivaunun tekstuurikartta toteutettiin myös samalla ohjelmalla. Lopuksi Reality Capture -ohjelman avulla tuotettu 3D-malli suodatettiin ja käsiteltiin Zbrush- ja 3DS Max 2019 -ohjelmistojen avulla. Lopullinen 3D-malli otettiin käyttöön Unreal Engine -pelimoottorilla toteutetussa ohjeistusohjelmassa.

## 6.2 Toteutus ja jatkokäsittely

Leopard 2a4 -panssarivaunun kuvaus toteutettiin Kainuun prikaatin tiloissa, joissa panssarivaunuja huolletaan. Kyseinen panssarivaunu oli tuohon aikaan moottorihuollossa, joten moottori oli kuvaustapahtuman aikana valmiiksi poistettu. Tämä sopi kuvaustilanteeseen erittäin hyvin, koska kuvauksen aikana voitiin kuvata tyhjä moottoritila. Tämän jälkeen jo valmiiksi irrotettu moottori oli helpompi kuvata irrallisena objektina.

Ennen kuvausta kartoitettiin voimayksikön vaihdon kannalta oleelliset osa-alueet ja määriteltiin huoltohenkilöstön kanssa kuvauksen kannalta tärkeimmät vaiheet. Koska kyseessä oli Suomen puolustusvalmiuteen liittyvä ajoneuvo, käytiin läpi myös ne elementit, joita ei saa kuvata. Näihin lukeutuvat panssarivaunun sisätilat pois lukien moottoritila, sekä ajoneuvon sisältämät tunnistusmerkinnot panssarivaunun ulkopuolella. Kuvaustapahtuman aikana huoltohenkilöstö auttoi kuvaustapahtumassa erittäin hyvin ja tarjosi käyttöön kuvauksessa tarvittavat lisävälineet sekä telineratkaisut, joiden päältä tiettyjen kohteiden kuvaukset oli helpompi suorittaa.

### 6.2.1 Kuvaus

Järjestelmäkameran lisäksi kuvaukset suoritettiin lennokilla samassa hallissa, jossa panssarivaunuja huolletaan. Lentämisen aikana piti huomioida katossa olevat nosturit ja muut esteet. Lisäksi panssarivaunun päällä olevat antennit poistettiin kuvaustilanteen helpottamiseksi.

Panssarivaunua kuvattiin myös perinteisillä järjestelmäkameroilla useasta eri kuvakulmasta telineitä apuna käyttäen. Kun panssarivaunu oli kuvattu ulkopuolelta, huoltohenkilökunta poisti moottoritilan kannen, jotta tyhjän moottoritilan kuvaus voitiin toteuttaa. Moottoritilan kuvauksessa käytettiin ainoastaan järjestelmäkameraa ja kamerajalustaa. Ennen kuvausta moottoritilan yläpuoliselle telineelle asennettiin kuvausvalot, jotta valaistus pysyi tasaisena koko moottoritilassa.

Irrotettu panssarivaunun moottori oli sijoitettuna panssarivaunun läheisyyteen, joten sen kuvaus onnistui järjestelmäkameran avulla. Moottorin alkuperäinen sijoituspaikka ei kuitenkaan mahdollistanut alapuolen kuvausta, joten moottori jouduttiin nostamaan alkuperäiseltä kuvauspaikalta.

Kuvauskohteen siirtäminen aiheuttaa ongelmia fotogrammetrialaskennassa, koska moottorin liikkuttaminen aiheutti muutoksia sekä valaistuksessa että sijainnissa. Pienempien objektien kuvauksessa kohteen kääntäminen on usein riittävä ratkaisu, mutta koska panssarivaunun voima-yksikkö on erittäin raskas, kääntäminen ei ollut mahdollista. Käytössä ei ollut myöskään riittävän pitkiä tikkaita tai telineitä, jotta koko moottorin kuvaus sen roikkuessa olisi onnistunut.

### 6.2.2 Kuvien käsittely

Ennen fotogrammetriamallin toteutusta eri komponenteista otetut kuvat käsiteltiin Adobe Lightroom -ohjelmalla, jotta kuvien valkotasapaino ja värisävyt saatiin yhdenmukaistettua. Kuvien massiivisen määrän käsittely toteutettiin Adobe Lightroomin automaattiasetuksilla. Lisäksi kuvat jaoteltiin eri kansioihin komponenttien mukaan, jotta fotogrammetriamallien toteuttaminen olisi tehokkaampaa.

### 6.3 Mallin käsittelyvaiheet

Tässä osiossa käydään läpi mallin työstämisen keskeiset työvaiheet. Fotogrammetriaan pohjautuvaa 3D-mallia joudutaan siirtämään useamman ohjelman välillä parhaan lopputuloksen aikaansaamiseksi.

#### 6.3.1 Mallin luonti Reality Capture -ohjelmalla

Valokuvien käsittelyn jälkeen valokuvat otettiin käyttöön fotogrammetriamallien laskemiseen tarkoitettussa Reality Capture -ohjelmassa. Aluksi ohjelmistoon syötettiin kaikki rungon ulkopuoliset kuvat tavoitteena laskea yhtenäinen pistepilvi koko panssarivaunun rungosta.

Koko rungon pistepilven laskennassa kuitenkin ilmeni odottamattomia ongelmia tarkkuuden kanssa, joten panssarivaunu päätettiin jakaa pienempiin kokonaisuuksiin. Panssarivaunun runko toteutettiin lopuksi neljänä eri kokonaisuutena, jotka sisälsivät erilliset pistepilvet panssarivaunun kyljistä, panssarivaunun yläprofiilista sekä näiden komponenttien ulkopuolelle jääneistä rungon osista. Lisäksi panssarivaunun moottoritilan ja moottorin pistepilvet laskettiin erikseen. Kun yksittäisten komponenttien pistepilvet olivat valmistuneet, ne siirrettiin saman Reality Capture -

projektin alaisuuteen ja yhdistettiin samaksi malliksi. Tämän jälkeen käytössä oli pistepilvi kokonaisesta panssarivaunusta hyödynnettäväksi seuraavassa työvaiheessa, 3D-mallin laskemisessa.

3D-mallin asetukset Reality Capturessa asetettiin niin, että tuotetun 3D-mallin tarkkuus oli mahdollisimman suuri. Lisäksi malli rajattiin sisältämään ainoastaan tankin komponentteja, sillä pistepilveen oli tullut paljon ylimääräistä tietoa panssarivaunun ympärillä olevista esineistä ja huoltohallista. Tarkka alueen rajaus oli tarpeellista laskenta-ajan minimoimiseksi. Kun mallin rajaus oli valmis, 3D-mallin laskenta käynnistettiin. Noin 24 tuntia kestäneen yhtäjaksoisen laskennan tuloksena syntyi noin 183 miljoonan kolmion 3D-malli.

Mallin kolmiomäärä oli niin valtava, että edes suurien fotogrammetriatiedostojen käsittelyyn tarkoitettu Reality Capture ei voinut näyttää mallia kokonaisuudessaan, koska näytönohjaimesta loppui muisti. Jotta 3D-mallin tarkastelu onnistuisi, mallia yksinkertaistettiin ohjelmassa käytävissä olevan Decimate-työkalun avulla. Kyseisellä työkalulla pystytään automaattisesti vähentämään mallin kolmiomäärää. Automaattisen suodatuksen tavoitekokoksi asetettiin 10 miljoonaa kolmiota.

Mallin yksinkertaistamisen jälkeen toteutettiin vielä panssarivaunun tekstuurikarttojen laskenta. Panssarivaunun suuren koon takia tekstuurikarttojen kooksi määriteltiin 8196 x 8196 pikseliä, ja niitä toteutettiin yhteensä neljä kappaletta. Panssarivaunun rungon 3D-mallin valmistumisen jälkeen siirryttiin muiden komponenttien laskentaan.

Moottorin kuvauksen yhteydessä ilmenneiden ongelmien takia oli selvää, että moottorin pistepilven laskenta tulisi toteuttaa kahtena erillisenä komponenttina. Moottorin yläpuoli ja sivut laskettiin yhdessä komponentissa, ja moottorin pohja erillisenä elementtinä.

Moottorin pistepilven laskemisen jälkeen mallien saumaton yhdistäminen vaati erillisten ohjainpisteiden määrittämisen. Ohjainpisteiden avulla autetaan ohjelmaa määrittämään yhdistävä piste usean eri kuvan välillä. Ohjainpisteiden avulla ohjelma pystyy yhdistämään kuvat, joiden välinen kulma tai kuvan valaistuksen tai ympäristön muutos olisi muuten ollut liian suuri. Yhdistämistä varten kuvista etsittiin selkeitä ja teräviä kulmia, joihin ohjainpisteet oli helppo asettaa. Muutaman kuvan jälkeen Reality Capture pystyi itsenäisesti havaitsemaan kaikki samantyylliset pisteet sisältävät kuvat ilman erikseen tehtävää määrittelyä. Samalla se näytti toleranssin pisteiden välillä aina 0,1 pikselin tarkkuudella.

### 6.3.2 Mallin siivoaminen Zbrush-ohjelmalla

Vaikka 3D-mallin tarkkuutta oli jo suodatettu pienemmäksi, malli oli liian raskas käsiteltäväksi 3ds Max -ohjelmassa. Tämän takia 3D-mallin seuraava käsittelyvaihe toteutettiin Zbrush-ohjelmalla. 3D-malli sisälsi paljon ylijäämiä virheellisestä datasta, joita Reality Capturen automaattinen mallin laskenta ei pystynyt poistamaan. Virheitä oli varsinkin panssarivaunun piipussa, telojen ja lattian välissä ja panssarivaunun pohjassa. Virheet korjattiin ZBrushin avulla. Turhien elementtien poistamisen jälkeen käytettiin Zbrushin optimize-työkalua, jolla kolmiomäärä vähennettiin menettämättä mallin yksityiskohtia.

Siistimisen jälkeen panssarivaunun tykkitorni irrotettiin erilliseksi osaksi, sillä pelin aikainen toiminnallisuus vaati tykkitornin liikuttelua. Moottoritilan malli yhdistettiin panssarivaunun runkoon, jotta voitiin luoda yhtenäinen tekstuuri koko rungosta.

### 6.3.3 Normaalikartan ja tekstuurikartan luominen Zbrush-ohjelmassa

Mallin siivouksen ja virheiden korjauksen jälkeen vanhan, tarkemman mallin yksityiskohtia projisoitiin takaisin siivottuun malliin. Tämän jälkeen luotiin normaalikartta ja tekstuurikartta Zbrushissa. Tässä vaiheessa huomattiin, että tekstuurikarttojen tarkkuus ei olisi riittävän korkea VR-ympäristöön. Tilannetta yritettiin korjata palauttamalla optimoitu malli Reality Capture -ohjelmaan ja projisoimalla uusi tekstuurikartta valokuvien pohjalta. Tämäkään ratkaisu ei tuottanut riittävän tarkkaa lopputulosta, joten tekstuurikartta päätettiin toteuttaa alusta saakka itse.

### 6.3.4 Uudelleenmallinnus 3ds Max -ohjelmassa

Kun valmis malli oli toteutettu ja sitä testattiin peliympäristössä, havaittiin ongelmia pinnan epätasaisuudessa. Fotogrammetriamallin pinta oli liian epätasainen tehokkaaseen optimointiin, ja toteutettu malli oli edelleen liian raskas sujuvaan pelikäyttöön. Tämän takia panssarivaunu päädyttiin mallintamaan uudelleen manuaalisesti. Tässä vaiheessa toteutettu fotogrammetriamalli nopeutti 3D-mallinnusta huomattavasti.

3D-mallinnuksen nopeuttamiseksi mallinnuksen pohjana käytettiin siistittyä fotogrammetriamallia. Tämä mahdollisti sen, että panssarivaunun mittasuhteet, muodot sekä yksityiskohdat saatiin

toteutettua erittäin tehokkaasti. Samalla kyettiin optimoimaan mallia vielä aikaisempaa paremmin. Tavoitellun lopputuloksen kannalta tärkeimmät osa-alueet tankissa olivat moottoritila ja moottorin kiinnitykseen liittyvät ulkopuoliset yksityiskohdat. Huomiota piti kiinnittää varsinkin takapyörän keskiössä olevaan huoltoaukkoon ja panssarivaunun takana oleviin luukkuihin.

Manuaalinen mallinnus jouduttiin toistamaan myös moottorille. Fotogrammetriamalli sisälsi liian paljon suodatettavia yksityiskohtia, joten uudelleenmallinnus katsottiin tehokkaimmaksi tavaksi toteuttaa kustannustehokas 3D-malli. Moottorissa on noin 10 kertaa vähemmän kolmioita kuin fotogrammetriamallissa. Moottorissa oli muutamia yksityiskohtia, joiden sijainti ja yksityiskohtien määrä olivat pelin toiminnallisuuden kannalta oleellisia. Niiden toteutus fotogrammetriamallin perusteella oli huomattavasti nopeampaa ja helpompaa perinteisiin menetelmiin verrattuna. Moottorin mallissa keskityttiin enimmäkseen moottorin yläosaan, sillä se oli lähes ainoa osa moottorista, joka näkyi tarkemmin itse pelin aikana.

#### 6.3.5 3D-mallin käyttöönotto pelimoottorissa

Panssarivaunun runko, moottori ja muut irtonaiset mallit siirrettiin Unreal Engine 4-pelimoottoriin, jossa niille luotiin materiaalit tekstuurikarttojen pohjalta. Fotogrammetrian avulla toteutettu panssarivaunun malli sijoitettiin virtuaaliseen metsäympäristöön, ja ohjelmointityökalujen avulla liitettiin panssarivaunun voimayksikön vaihtoon liittyvät toiminnalliset elementit. 3D-mallinnuksen aikana luoduille komponenteille toteutettiin yksilöllisiä animaatioita sekä muuta toiminnallisuutta, ja lopputuloksena oli voimayksikön vaihtoon keskittyvä opetusympäristö, jossa käyttäjät voivat opetella panssarivaunun voimayksikön vaihtamista erittäin realistisen panssarivaunun avulla. Kuvassa 4 on esitettyä panssarivaunu lopullisessa toimintaympäristössä.



Kuva 4. Panssarivaunu Unreal-pelimootorissa

## 7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda fotogrammetrian avulla panssarivaunumalli projektia varten. Kuvaamisessa päätettiin käyttää apuna lennokkia, sillä panssarivaunun koon takia sen kuvaaminen ylhäältä päin olisi muuten ollut erittäin vaikeaa. Suuren lennokin lennättäminen huoltorakennuksen sisätiloissa ei tuottanut ongelmia, ja koko kuvausessio onnistui hyvin. Kuvauksen onnistuminen oli osittain myös huoltohenkilökunnan ansiota, sillä heidän kanssaan työskentely oli erittäin sujuvaa, ja saimme heiltä apua esimerkiksi komponenttien siirtämiseen. Kahden päivän kuvausession jälkeen oli koossa yhteensä lähes 3000 eri kuvakulmista otettua kuvaa panssarivaunusta ja sen moottorista. Kuvien suuren määrän takia päädyttiin käyttämään apuna automaatiota kuvien editoinnissa ja yhdenmukaistamisessa.

Fotogrammetrialla luotu panssarivaunu oli näyttävä ja pintapuolisesti onnistunut, mutta se ei kuitenkaan olisi tullut riittämään hankkeessa määriteltyihin tarpeisiin. Edes noin 2000 kuvan aineisto ei auttanut ohjelmistoa luomaan tarpeeksi yksityiskohtaista tekstuurikarttaa tai virheetöntä mallia panssarivaunun ulkokuoresta VR-ympäristöön. Lopulta panssarivaunu päädyttiin mallintamaan käsin. Fotogrammetriamallista oli kuitenkin erittäin suuri hyöty niin mallinnusprosessissa kuin tekstuurikartan luonnissa, eikä kuvaamiseen ja mallin laskentaan käytetty aika missään nimessä ollut turhaa. Suurimmaksi esteeksi prosessissa muodostui lopulta käytössä olevan tietokoneen suorituskyky, minkä takia laskennassa ei ollut mahdollista käyttää tarkimpia asetuksia.

Olen vakuuttunut siitä, että käytän tulevaisuudessakin fotogrammetriaa suurten ja pienten kohteiden mallinnuksen apuvälineenä. On kuitenkin hyvin paljon kohteesta kiinni, voiko siitä luotua fotogrammetriamallia käyttää suoraan peleissä. Uskonkin, että mallien manuaaliselle optimoinnille tulee jatkossakin olemaan tarvetta.



## Lähteet

- 1 Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S & Harley, I. 2011. Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications. Whittles Publishing.
- 2 Center for Photogrammetric Training. History of Photogrammetry  
[https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History\\_of\\_Photogrammetry.pdf](https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History_of_Photogrammetry.pdf) Viitattu 25.03.2020
- 3 Useful Tips on Image Capture: How to Get an Image Dataset that Meets Metashape Requirements? Saatavilla: [https://www.agisoft.com/pdf/tips\\_and\\_tricks/Image%20Capture%20Tips%20-%20Equipment%20and%20Shooting%20Scenarios.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/tips_and_tricks/Image%20Capture%20Tips%20-%20Equipment%20and%20Shooting%20Scenarios.pdf) Viitattu 27.03.2020
- 4 Guidelines for Calibrated Scale Bar Placement and Processing. Saatavilla: [https://www.agisoft.com/pdf/tips\\_and\\_tricks/CHI\\_Calibrated\\_Scale\\_Bar\\_Placement\\_and\\_Processing.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/tips_and_tricks/CHI_Calibrated_Scale_Bar_Placement_and_Processing.pdf) Viitattu 28.03.2020
- 5 How Do Drones Work And What Is Drone Technology. Saatavilla: <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/what-is-drone-technology-or-how-does-drone-technology-work/> Viitattu 30.03.2020
- 6 Drone Gyro Stabilization, IMU And Flight Controllers Explained. Saatavilla: <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/three-and-six-axis-gyro-stabilized-drones/> Viitattu 31.03.2020