

# 3D – skannaamisen ja fotogrammetrian hyödyntäminen suunnittelutyössä

Eetu Siitonen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2011

Paperikoneteknologian koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) SIITONEN Eetu	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 27.5.2011
	Sivumäärä 46	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus ( ) saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi 3D – SKANNAUKSEN JA FOTOGRAMMETRIAN HYÖDYNTÄMINEN SUUNNITTELUTYÖSSÄ		
Koulutusohjelma  Paperikoneteknologia		
Työn ohjaaja(t) SÄLLINEN Pekka		
Toimeksiantaja(t) Insinööritoimisto ProLine Oy MALVISALO Timo		
Tiivistelmä Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kuinka Insinööritoimisto ProLine voisi hyödyntää 3D – skannausta ja fotogrammetriaa suunnittelutyössään.  3D – skannaamisessa tehtävä oli tutustua skannaamiseen ja pistepilvien käsittelyyn, sekä jo ilmenneiden ongelmien ratkaisemiseen. Photomodeler oli aivan uusi ohjelmisto. Tehtävä oli opetella ohjelman käyttö ja selvittää kuinka ohjelman avulla luodaan valokuvista 3D – malleja. Ensisijaiseksi tehtäväksi muodostui skannattujen 3D – mallien ja Photomodelerilla luodun laajemman 3D – mallin yhdistäminen CATIA – suunnitteluohjelmalla.  Opinnäytetyön toteutus tapahtui Insinööritoimisto ProLinen tiloissa erinäisten pilot – projektien kautta. Pilot – projekteissa selvitettiin asiakkailta tulleiden toimeksiantojen pohjalta 3D – skannauksen ja fotogrammetrian soveltuvuutta ongelmien ratkaisemiseen. 3D – skannaukseen liittyneissä pilot – projekteissa selvitettiin kuinka skannatusta kappaleesta voidaan tunnistaa haluttuja muotoja ja mittoja. Photomodeler – ohjelmaan tutustuminen kävi opetusvideoiden ja käytännön harjoitteiden kautta. Photomodeler – ohjelman käytöstä selvitettiin kameran kalibrointi, kuvaustilanteessa huomioitavat asiat, automaattisesti tunnistettavien koodattujen kohteiden käyttö ja Photomodelerin tarkkuus.  Työn keskeisenä tuloksena saatiin tietoa, kuinka valokuvista saadaan muodostettua 3D – malli Photomodeler – ohjelman avulla ja kuinka malliin saadaan paikoitettua skannattuja 3D – malleja CATIA – suunnitteluohjelmassa. Työssä selvitettiin myös kuinka skannattujen 3D – mallien tiedostokokoa voidaan keventää. Opinnäytetyön tuotteena syntyi myös 3D – malleja, joita voidaan käyttää markkinoidessa uusia sovelluksia asiakkaille		
Avainsanat (asiasanat) 3D – skannaus, fotogrammetria		
Muut tiedot		



Author(s) SIITONEN Eetu	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 27.5.2011
	Pages 46	Language Finnish
	Confidential ( ) Until	Permission for web publication ( X )
Title 3D – SCANNING AND PHOTOGRAMMETRY IN DESIGN WORK		
Degree Programme Paper Machine Technology		
Tutor(s) SÄLLINEN Pekka		
Assigned by Engineering Office ProLine Oy MALVISALO Timo		
Abstract The purpose of this bachelor's thesis was to explore how Engineering Office ProLine can exploit 3D – scanning and photogrammetry as part of their design work.  In 3D – scanning the task was to get familiar with handling point clouds and to solve the problems shown up. Photogrammetry software Photomodeler was totally new software for the company. It is possible to produce 3D – models out of photographs with Photomodeler. The task was to examine the usage and the qualities of Photomodeler. My primary task was to combine 3D – scanned models and the larger model created with Photomodeler in CATIA design software.  The author worked at ProLine's office during the thesis process. The thesis proceeded through pilot projects, where the problems based on customer's demands were solved with 3D – scanning and photogrammetry. In the pilot projects concerning 3D – scanning, The purpose was to study how to recognize shapes and measures from scanned objects. Photomodeler software was explored through tutorial videos and practical training. The purpose was to find out how to calibrate the camera and what to pay attention when you are photographing the target. The accuracy of Photomodeler and the usage of automatically recognized coded targets were also defined.  The essential result of this thesis was the knowledge and information about how 3D – models are produced from photographs and how to combine scanned 3D – models and photogrammetry models in CATIA. As a result of this thesis some 3D – models that can be used in marketing these applications to customers were created.		
Keywords  3D – scanning, photogrammetry		
Miscellaneous		

## Sisällys

1 Johdanto .....	4
1.1 Toimeksiantajan esittely .....	4
1.2 Tehtävän lähtökohdat ja suoritus .....	5
2 3D-Skannaus .....	7
2.1 Yleistä .....	7
2.2 Toiminta .....	8
2.3 Skannerit .....	8
2.3.1 Kontakti .....	8
2.3.2 Kontaktiton .....	9
3 Fotogrammetria .....	12
3.1 Fotogrammetrian historia .....	13
3.2 Teoria .....	14
3.2.1 Valokuvaus .....	14
3.2.2 Mittajärjestelmä .....	16
3.2.3 Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät fotogrammetriassa .....	18
4 Käytetyt ohjelmistot .....	20
4.1 Artec Studio .....	20
4.2 Geomagic .....	21
4.2.1 Geomagic Studio .....	21
4.2.2 Geomagic Qualify .....	21
4.3 Photomodeller Scanner .....	22
4.4 CATIA V5R17 .....	22
5 3D-skannauksen ja photogrammetrian hyödyntäminen suunnittelutyössä .....	24
5.1 Toteutus .....	24
5.1.1 Skannien kevennys .....	26

5.1.2 Geomagic muotojen luominen ja mittaus .....	28
5.1.3 Photomodeller kameran kalibrointi.....	29
5.1.4 Photomodelerin tarkkuus .....	32
5.1.5 Kohteen kuvauksessa huomioon otavat asiat.....	33
5.1.6 Automaattisesti tunnistettavat kohteet .....	34
5.2 Suunnittelu ympäristön luominen .....	39
5.2.1 Projektin taustatiedot .....	39
5.2.2 3D-skannien käsittely.....	39
5.2.3 Rautalankamallin luominen .....	40
5.2.4 3D-mallien yhdistäminen CATIA – suunnittelu ympäristössä.....	41
6 Pohdinta.....	44
Lähteet .....	46

## **Kuviot**

Kuvio 1 Artec L 3D-skanneri .....	10
Kuvio 2 Polttopisteen ja digitaalisen sensorin vaikutus kuvausalaan.....	15
Kuvio 3 Kolmiomittauksen periaate.....	17
Kuvio 4 Kameran orientaation selvitys .....	17
Kuvio 5 Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät fotogrammetriassa .....	19
Kuvio 6 3D Dimensioning - valikko.....	29
Kuvio 7 Kameran kalibrointiarkit .....	30
Kuvio 8 Kameran kalibroinnin tarkistusnäkyvä .....	31
Kuvio 9 Photomodeler - mallin skaalaus.....	32
Kuvio 10 Mitattuja mittoja.....	33
Kuvio 11 Automaattisesti tunnistettava koodattu kohde .....	35
Kuvio 12 Kohteiden sijoittelua kuvaustilanteessa .....	36
Kuvio 13 Koodattujen kohteiden avulla luotu 3D-malli.....	36
Kuvio 14 Koodattu kohdepari .....	37

Kuvio 15 Koodattujen kohdeparien määrittäminen taulukko .....	38
Kuvio 16 Photomodelerilla luoto 3D-malli.....	41
Kuvio 17 Rautalankamalli ja 3D-skanni paikoitettuna .....	42
Kuvio 18 3D-skannit ja rautalankamalli yhdistettynä .....	43

## **Taulukot**

Taulukko 1 Artec L 3D-skanneri yleiset spesifikaatiot .....	11
---	----

# 1 Johdanto

## 1.1 Toimeksiantajan esittely

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Insinööritoimisto Proline Oy. Insinööritoimisto Proline Oy on yksityisen omistama suunnittelutoimisto, jossa työntekijöitä on noin 20. Liikevaihto vuonna 2009 oli 730 000 €. Insinööritoimisto Proline Oy:n tuotteet ja palvelut ovat monipuoliset. Yrityksen toiminta koostuu kolmesta pääosa-alueesta:

- Suunnittelu ja asiantuntijuustehtävät
- 3D-pikamallit ja 3D-laserkannaus
- Teollisuuden ja kiinteistöjen huolto – ja ylläpitotehtävät.

Suunnittelupalveluista mekaniikkasuunnittelu on Insinööritoimisto Proline Oy:n keskeisintä osaamista, mutta yrityksen osaamiseen kuuluu myös lujuuslaskentaa, hydraulikka- ja pneumatiikkasuunnittelua, putkistosuunnittelua sekä sähkö- ja koneautomaatio-suunnittelua. Proline on lisäksi monipuolisesti mukana erilaisissa suunnitteluprojekteissa ja pyrkii löytämään innovatiivisia ratkaisuja kustannustehokkaasti. (Insinööritoimisto Proline Oy 2010.)

Monipuolisten suunnitteluosa-alueiden lisäksi Prolinella voidaan tehdä erilaisia proto- /mallikappaleita, joissa käytetään hyödyksi 3D – skannereita. Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, että tietokoneella suunnitellun tuotteen pohjalta tulostetaan ensimmäinen varsinainen tuotteen näköinen ja kokoinen käsin kosketeltava esine 3D – tulostimella. Suunnitelma siirtyy siis käytännössä tietokoneen näytöltä oikean näköiseksi tuotteeksi. 3D – skannauksen lisäksi erilaisia pika- ja valumalleja voidaan tehdä Prolinella. Suunnittelun jälkeen tuotteen kestävyys

sekä toiminta testataan. Mallinnus voi olla aina rakennusten pienoismalleista valumuotteihin. (Insinööritoimisto Proline Oy 2010.)

Kiinteistöpuolella Proline tarjoaa palvelujaan asuntojen ja kiinteistöjen kuntoarvioihin ja -tutkimuksiin sekä pitkän aikavälin kunnossapitosuunnitelmaan eli PTS:n. Myös kiinteistöjen energia- ja sisäilmatutkimukset kuuluvat yrityksen palveluihin. Näihin sisältyy myös lämpökamerakuvaukset ja kosteusmittaukset. (Insinööritoimisto Proline Oy 2010.)

## 1.2 Tehtävän lähtökohdat ja suoritus

Insinööritoimisto ProLine Oy oli hankkinut uuden 3D – skannerin ja aikeissa hankkia fotogrammetria ohjelman tukemaan jo olemassa olevia suunnittelutyökaluja. Tehtävänä oli tutkia kuinka kyseisiä laitteita ja ohjelmia voidaan käyttää hyödyksi suunnittelutyössä. Suoritin tehtävän Insinööritoimisto ProLinen tiloissa ja heidän laitteillaan. Tehtävä eteni erillisten pilot – projektien kautta, joissa asiakkailta saatujen toimeksiantojen pohjalta yritin ratkaista ongelmia uusilla ohjelmilla. Ensisijaiseksi tehtäväksi muodostui skannattujen 3D – mallien ja fotogrammetria ohjelman avulla luodun laajemman 3D – mallin yhdistäminen CATIA – suunnitteluohjelmalla.

3D – skannaamisesta Insinööritoimisto ProLinen henkilöstöllä oli jo aikaisempaa kokemusta, joten minun tehtäväksi muodostui jo havaittujen ongelmien ratkominen ja ohjelmiin syvemmin perehtyminen. Suurimmaksi ongelmaksi oli muodostunut skannattujen mallien suuri tiedostokoko.

Insinööritoimisto ProLine oli päätynt hankkimaan kokeilulisenssin fotogrammetria ohjelma Photomodelerista. Minun tehtävänä oli perehtyä Photomodelerin ominaisuuksiin ja käyttöön. Photomodelerista ei ollut aikaisempaa käyttökokemusta ProLinen henkilöstöllä, joten jouduin selvittämään ohjelman käyttöön ja ominaisuuksiin liittyvät asiat itsenäisesti. Ohjelman opettelua voisin kutsua ”kantapään kautta” oppimiseksi. Tavoitteena oli perehtyä ohjelmaan ja osoittaa onko ohjelma hankkimisen arvoinen, sekä oppia luomaan 3D – malleja ohjelman avulla.



Tehtävän rajaus opinnäytetyön alkuvaiheessa oli haastavaa, koska emme voineet tietää kuinka paljon työtä Photomodeler – ohjelman opettelu aiheuttaa ja mitä voimme sen avulla saada aikaiseksi. Työn rajaus tapahtuikin vasta siinä vaiheessa, kun kokemus Photomodeler – ohjelman käytöstä ja ymmärrys mitä saamme sillä aikaan kasvoi. Päädyin rajaamaan aiheen käsittämään 3D – skannien ja fotogrammetrian avulla luodun mallin yhdistämistä CATIA – suunnitteluohjelmalla, sekä tiedostokoon keventämistä, muotojen ja mittojen luomista skannatuista kappaleista ja 3D – mallin luomiseen fotogrammetrian avulla.

## 2 3D-Skannaus

### 2.1 Yleistä

3D-skannauksessa muodostetaan todellisuutta vastaava digitaalinen 3D-malli skannattavasta kohteesta. 3D-skannereita on kahta eri tyyppiä, kontakti 3D-skannerit ja kontaktittomat 3D-skannerit. Kontakti 3D-skannereissa skannerin mittapäätä liikutetaan skannattavan kappaleen pinnalla ja skanneri tallentaa pinnanmuodot digitaalisessa muodossa. Kontaktittomat 3D-skannerit voidaan jakaa aktiivisiin ja passiivisiin skannereihin. Aktiiviset skannerit lähettävät säteilyä tai valoa kohti kappaletta ja tunnistavat takaisin heijastuman avulla kappaleen muodot. Passiiviset skannerit eivät itse lähetä säteilyä, vaan tunnistavat ympäristöstä heijastuvaa säteilyä, kuten valoa tai lämpösäteilyä, jonka avulla skanneri muodostaa kuvan kohteesta tai ympäristöstä. (3D Scan Company. 2007.)

Skannattua 3D-mallia voidaan käyttää useisiin eri tarkoituksiin. Yleisimpiä käyttökohteita ovat:

- takaisinmallinnus, jossa olemassa olevasta kappaleesta luodaan 3D-mallin avulla mittapiirustukset
- laadun varmistus, jossa todellista vastaavaa 3D-mallia verrataan suunniteltuun 3D-malliin mahdollisten valmistusvirheiden varalta
- historiallisten monumenttien jäljentäminen ja dokumentointi
- suunnittelukohteiden mallintaminen
- skannatun kappaleen mittaus
- muottien ja valumallien valmistus 3D-mallin avulla. (Artec Group Inc. 2010.)

## 2.2 Toiminta

3D-skannerit ovat hyvin samankaltaisia kuin normaalit kamerat. Eroavaisuus tulee siinä, että kamerat tallentavat tiedon 2D-muodossa ja 3D-skannerit 3D-muodossa. 3D-skannerit keräävät tietoa skannattavan kohteen pinnanmuodoista ja mahdollisesti myös väristä. Tieto tallentuu yleensä lukemattomina pisteinä, jotka kuvastavat skannatun kappaleen pinnanmuotoja. Kerättyä pistejoukkoa kutsutaan *pistepilveksi*. Skannattava kappale voidaan skannata yhdellä kertaa, mutta useimmissa tapauksissa vaaditaan useita skannauksia, jotta saadaan kerättyä tarvittava määrä tietoa joka puolelta kappaletta. Tällöin saadut pistepilvet voidaan yhdistää yhdeksi kokonaisuudeksi. (3D Scan Company. 2007.)

## 2.3 Skannerit

### 2.3.1 Kontakti

Kontakti 3D-skannerit nimensä mukaisesti keräävät tietoa skannattavasta kappaleesta fyysisen kontaktin avulla. Kontakti 3D-skannerit ovat erittäin tarkkoja, niillä päästään jopa mikrometrin (1/1 000 000 m) tarkkuuteen. Suuren tarkkuuden johdosta skannereita käytetään yleisimmin mittatyökaluina mitattavan kappaleen dimensioitten, profiilin tai orientaation mittauksessa. Kontaktia skannattavan kappaleen kanssa voidaan pitää myös tämän menetelmän heikkoutena, koska kontakti voi muuttua tai vahingoittaa kohdekappaletta. Toinen heikkous kontakti 3D-skannauksessa on sen hitaus verrattuna muihin 3D-skannausmenetelmiin. (Rämö T, 2010.)

## 2.3.2 Kontaktiton

### Passiivinen

Passiiviset skannerit eivät itse lähetä minkäänlaista säteilyä, vaan ne tunnistavat ympäristöstä heijastuvaa säteilyä. Suurin osa passiivisista skannereista tunnistaa näkyvää valoa, myös infrapuna säteilyä voidaan käyttää hyödyksi. Passiivinen skannaus on yleensä halpa menetelmä, useimmissa tapauksissa ei tarvita muuta laitteistoa, kuin digitaalinen kamera. Tietojen käsittelyyn kuitenkin vaaditaan tarvittavat ohjelmistot halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. (Rämö T, 2010.)

### Aktiivinen

Aktiiviset 3D – skannerit lähettävät säteilyä skannattavaa kohdetta kohti ja tunnistavat siitä takaisinheijastuman. Yleisimmin käytetyt säteilytyypit ovat lasersäteily ja valo, muita käytettyjä säteilytyyppejä ovat ultraääni- ja röntgensäteily.

3D – laser skannerit ovat yleisimmin käytettyjä 3D – skannereita. Laserskannerit voidaan luokitella kolmeen kategoriaan, niiden käyttämän mittausmenetelmän perusteella. Menetelmät ovat kolmiomittaukseen, vaihe-eromittaukseen ja valon kuluaikaan perustuvat mittaukset. (Ruohonen S. 2007, 9.)

Laser kolmiomittauksessa lasersäde tai laserpiste kohdennetaan skannattavaan kohteeseen, josta sen heijastuman tunnistaa kamera. Kamera, laserlähde ja kohteeseen heijastettu laserpiste muodostavat kolmion, tästä tulee nimi kolmiomittaus. Mittaustulos saadaan, kun tiedetään etäisyys kameran ja laserlähteen välillä, kameran kulma laserpisteeseen nähden ja kulma jossa lasersäde lähetetään kohteeseen. (Ruohonen S. 2007, 9.)

Vaihe – eromittauksessa lähetetään jatkuvaa aallonmuotoista signaalia kohteeseen, josta sen takaisin heijastuma mitataan. Lähetetyn ja heijastuneen signaalien vaihe-eroja verrataan ja näiden tietojen perusteella saadaan tietoja skannattavasta kohteesta. (Ruohonen S. 2007, 9.)

Valon kuluaikaan perustuvassa mittauksessa mitataan lasersäteen kuluaikaa kohteeseen ja heijastuman kuluaikaa takaisin. Lasersäteen nopeus tunnetaan, joten

kuluneen ajan perusteella saadaan pääteltyä kohteen etäisyys skannerista.  
(Ruohonen S. 2007, 9.)

Opinnäytetyötä tehdessä on käytetty Artec TDSL 3D – skanneria, jossa säteilyn lähteenä toimii salamavallo. Skanneri koostuu kamerasta ja salamavalosta, salamavallo lähettää valokuvioita skannattavaan kohteeseen ja kamera tallentaa tätä kuvioita. Kamera havaitsee vääristymää valokuviossa, johtuen kohteen pinnanmuodoista ja Artecin ohjelmisto muuttaa tiedot digitaaliseksi pistepilveksi.  
(Artec Group Inc. 2010a.)



**Kuvio 1 Artec TDSL 3D-skanneri**

Skannaus tapahtuu liikuttelemalla skanneria kohteen ympärillä tai vaihtoehtoisesti skanneria pidetään paikallaan ja kohde pyörii akselinsa ympäri skannerin edessä. Skannausetäisyys on 0,8 - 1,6 m. Artec L 3D-skannerilla voidaan lähettää maksimissaan 15 valokuvioita sekunnissa kohteeseen, joka tarkoittaa käytännössä 15 kuvaa kohteesta sekunnissa. Tämä kuvausnopeus mahdollistaa kohteen nopean skannauksen. Artec L 3D-skannerilla skannattavat kohteet vaihtelevat muutaman kymmenen sentin kokoisista kappaleista useiden metrien suuruisiin kokonaisuuksiin, joissa yhdistellään kymmeniä skannauksia toisiinsa. (Artec Group Inc. 2010a)

Taulukko 12 Artec TDSL 3D-skanneri yleiset spesifikaatiot

Ability to capture texture	No
3D resolution, up to	1.0 mm
3D point accuracy, up to	0.2 mm
3D accuracy over distance, up to	0.15% over 100 cm
Colors	n/a
Light source	flash bulb (no laser)
Linear field of view, HxW @ closest range	598 mm x 459 mm
Linear field of view, HxW @ furthest range	1196 mm x 918 mm
Angular field of view, HxW	41x32°
Working distance	0.8 – 1.6 m
Video frame rate, up to	15 fps
Exposure time	0.0002 s
Data acquisition speed, up to	500'000 points/s
Calibration	no special equipment required
Output formats	OBJ, STL, WRML, ASCII, AOP, CSV
Processing capacity	40'000'000 triangles/1GB RAM
Dimensions, HxDxW	353x114x70mm
Weight	2.3 kg

### 3 Fotogrammetria

*Fotogrammetrialla* tarkoitetaan menetelmää, jolla tutkitaan kohteen muotoja ja ominaisuuksia siitä otettujen valokuvien perusteella.

Mikhail ja Bethel kuvailevat fotogrammetriaa seuraavalla tavalla kirjassaan *Introduction to Modern Fotogrammetry* ”Fotogrammetrian tärkein tehtävä on luotettavasti määrittää kuvan ja kohteen välinen geometrinen suhde sellaisena kuin se oli kuvanottohetkellä. Kun tämä on tehty, kuvalta voidaan saada tietoja kohteesta”.

Termi fotogrammetria englanniksi *photogrammetry* johtaa juurensa kolmeen kreikankieliseen sanaan, *photos* tarkoittaa valoa, *gramma* tarkoittaa tallennusta tai kirjausta ja *metreo* tarkoittaa mittausta. (Górski F, Kuczko W, Wichniarek R, Zawadzki P. 2010.)

Tyypillisiä fotogrammetrian avulla saatuja tuotoksia ovat kartat, piirroksot tai 3D-mallit jostain todellisesta kappaleesta tai maisemasta. Monet nykyaikaiset kartat ovat valmistettu fotogrammetrian avulla lentokoneesta kuvaamalla.

Fotogrammetriaa hyödynnetään myös yleisesti rakennusten ja arkkitehtuuristen kohteiden mallinnuksessa. Tuloksena saadaan kohteesta ensin rautalankamalli, johon saadaan lisättyä pintoja ja pintatekstuureja jatkokäsittelyllä mallia.

(Photomodeler. n.d.)

Fotogrammetrian vahvuuksia on, että halutusta kohteesta saadaan määriteltyä haluttuja tietoja ilman fyysistä kosketusta itse kohteeseen. Poikkeuksena joissain tapauksissa käytettävät kohteeseen kiinnitettävät mittauspisteet tai tunnistusmerkit, jotka helpottavat kuvien jatkokäsittelyä. Fotogrammetrialla pystytään käsittelemään ja mittaamaan lähes kaikenlaisia kuvia aina sata vuotta vanhoista kuvista nykyaikaisiin erikoiskameralla otettuihin digitaalisiin kuviin asti. (Photomodeler. n.d.)

Fotogrammetria voidaan jakaa kahteen eri osa-alueeseen perustuen kameran sijaintiin kuvaushetkellä. Osa-alueet ovat ilma – ja lähi – fotogrammetria. (Walford A. 2007.)

Ilma – fotogrammetriassa erikoiskamera on yleensä kiinnitetty lentokoneeseen ja on kohtisuorassa maata kohti. Kohteesta otetaan useita päällekkäisiä kuvia lentokoneen lentäessä kohteen yllä ja lopputuloksena kuvien käsittelyn jälkeen saadaan esimerkiksi kartta kohteesta. (Walford A. 2007.)

Opinnäytetyössä käsitelty fotogrammetria on lähi – fotogrammetriaa, jossa kamera on lähellä kohdetta, yleensä kuvaajan kädessä tai kolmijalkaan tuettuna.

Opinnäytetyössä lähi – fotogrammetriaa on käytetty apuna tilanmallinnuksessa ja tuloksena on saatu 3D-malli kohteesta. Muita yleisiä käyttökohteita lähi – fotogrammetrialle on rakennusten ja ajoneuvojen mallinnus, rikospaikka- sekä onnettomuuspaikkatutkimus, geologiset tutkimukset ja mittatyökaluna monissa eri kohteissa. Lähi – fotogrammetriassa ei vaadita kalliita erikoiskameroita vaan kuvattaessa voidaan käyttää normaaleja digitaalikameroita, tosin mitä tarkempia tuloksia halutaan samalla myös kameran vaatimukset ja kustannukset kasvavat. (Walford A. 2007.)

### 3.1 Fotogrammetrian historia

Fotogrammetriaa eli valokuvasta mittaamisen menetelmää alettiin kehittää Saksassa ja Ranskassa 1800-luvun puolivälissä. Menetelmässä kaksiulotteisista valokuvista mitataan kohteen x, y ja z -koordinaatit, joiden perusteella voidaan piirtää halutut elementit. Ranskassa Laussedat kehitteli ensimmäisen fotogrammetrisen kuvauskoneen, jolla hän otti Pariisin katoilta kuvia, tavoitteena piirtää Pariisin kartta kuvista tehtyjen mittausten perusteella. Saksassa Meydenbauer yritti korvata arkkitehtuurimittauksia valokuvien perusteella tehtyihin mittauksiin. (Vinni P, 2003.)

Ilmakuvausta alettiin kehittää 1800-luvun loppupuolella, aluksi kuvia otettiin kuumailmapallosta, mutta lentokoneet syrjäyttivät kuumailmapallot 1900-luvun



alussa. Maailmansodat vauhdittivat ilmakuvauksen kehittymistä, menetelmää käytettiin laajasti tiedusteluun ja maaston kartoitukseen. Toisen maailmansodan aikana fotogrammetria kehittyi edelleen nopeasti, kuvia käytettiin enemmän ja uusia enemmän informaatiota sisältäviä tekniikoita otettiin käyttöön, kuten väri- ja infrapunafilmit. (Vinni P, 2003.)

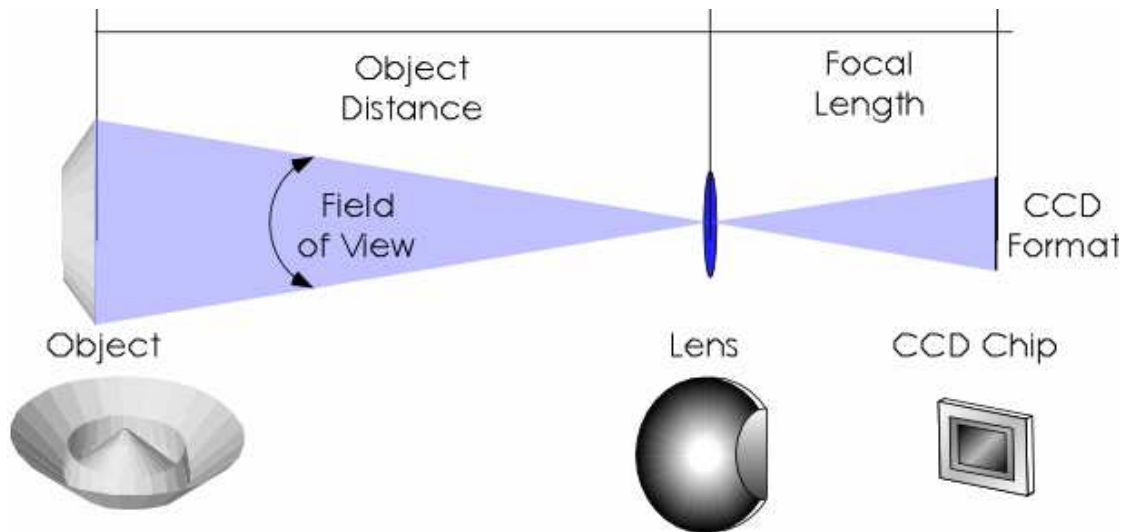
Sodan jälkeen kehitettiin vielä nykyäänkin käytössä olevia matemaattisia menetelmiä fotogrammetrian avuksi. Tietokoneiden kehitys lähihistoriassa on myös auttanut fotogrammetrian kehittymiseen tarjoamalla enemmän vaadittavaa laskentatehoa. 1900-luvun loppupuolella fotogrammetrinen prosessi on siirtynyt digitaaliseen muotoon, vanhoja kuvia on voitu skannata riittävän tarkasti skannereiden kehittyessä. Digitaalisten kameroiden yleistyessä uudet kuvat on saatu suoraan digitaalisessa muodossa, sekä fotogrammetria ohjelmistoja tarjoavat yritykset ovat kehittäneet palvelujaan vastaamaan nykyajan kysyntää, joka on siirtymässä kartoituksesta muille sovellusaloille. (Vinni P, 2003.)

## 3.2 Teoria

### 3.2.1 Valokuvaus

Valokuvaus on oleellinen osa aloittaessa fotogrammetristen mittausten tai mallien rakentamisen. Valokuvien tulee olla korkea laatusia saavuttaakseen tarvittavan tarkkuuden ja luotettavuuden lopputuloksessa. Kolme pääkohtaa tulisi huomioida hyvän valokuvauksen saavuttamiseksi, nämä huomioitavat pääkohdat ovat kameran *näkökenttä*, linssin *fokusointi* ja *valotus*. (Geodetic Systems, Inc. 2006.)

Kameran näkökenttä ilmaisee kuinka suuren alueen sillä näkee. Näkökenttä määräytyy linssin *polttopisteen* (focal length) ja *digitaalisen sensorin* (CCD format) koon toiminnan mukaan.



**Kuvio 2 Polttopisteen ja digitaalisen sensorin vaikutus kuvausalaan**

Mitä isompi digitaalinen sensori on, sitä laajemmaksi myös näkökenttä muodostuu. Polttopisteen vaikutus on päinvastainen, mitä lyhyempi polttopiste sitä laajempi näkökenttä saavutetaan. Laajan näkökentän omaavat kamerat tarvitsevat vähemmän tilaa kohteen ympärillä, mutta mitä laajempi näkökenttä sitä epätarkempia kuvat ovat. (Geodetic Systems, Inc. 2006.)

Linssin *fokusoinnin* tarkoituksena on kohdistaa linssi, jotta kuvasta saadaan tarpeeksi terävä. Kantomatka jolla hyväksyttävä terävyys saavutetaan, kutsutaan *terävyysalueeksi*. *Terävyysalue* on se osa kuvaa joka syvyysuunnassa näyttää terävältä tarkennusetäisyyden etu- ja takapuolella. "Näyttää" perustuu katsojan silmään ja kansainvälisiin sopimuksiin millainen epätarkkuus hyväksytään vielä teräväksi. Linssin terävyysalue on monen toiminnon summa. Siihen vaikuttaa linssin polttopiste, digitaalisen sensorin koko, kuvausetäisyys kohteesta, kohteen koko ja kameran linssin f-numero. (Geodetic Systems, Inc. 2006.)

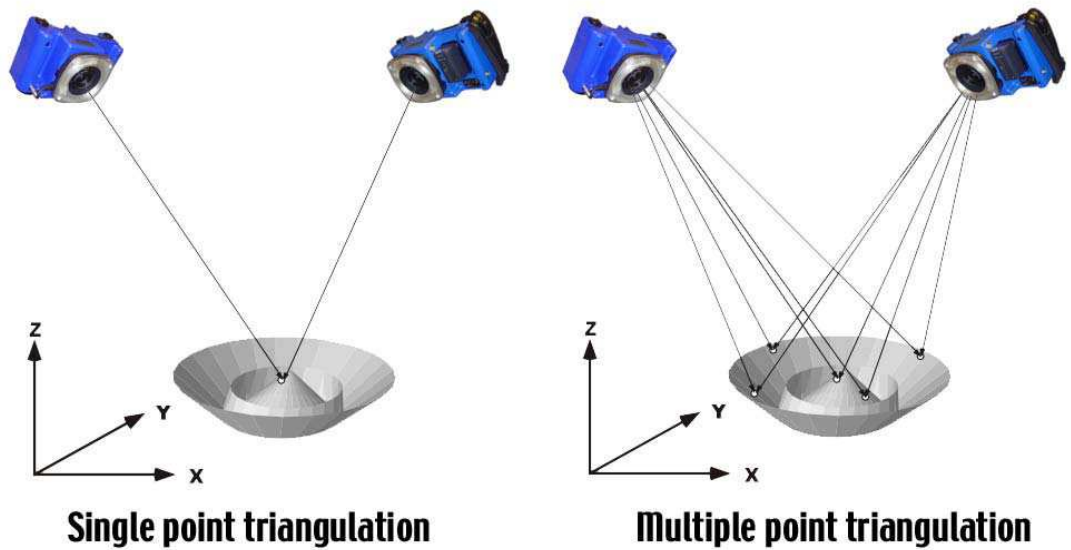
Fotogrammetrisissa kuvauksissa pääperiaatteena on, että kuvattava kohde on valaistu kirkkaaksi ja tausta jätetty himmeäksi. Kohteen valotus määräytyy kameran salamavalon voimakkuuden perusteella ja taustan valotus johtuu ympäröivästä valaistuksesta. Taustan valotusta voidaan kontrolloida kameran sulkimen aikaa säätelemällä. Taustan valotuksen minimoiminen helpottaa kohteitten paikannuksessa ja mittaamisessa. (Geodetic Systems, Inc. 2006.)

### 3.2.2 Mittajärjestelmä

Mittajärjestelmä eli metrologia on fotogrammetrian toinen oleellinen osa valokuvauksen ohella. Valokuvaus prosessissa muutetaan oikea 3D-maailma 2D-kuviksi. Tässä prosessissa, kuitenkin häviää joitakin tietoja kohteesta, ensisijaisesti syvyyttiedot. Fotogrammetriaa voidaan pitää käänteisenä prosessina valokuvaukselle, siinä muutetaan 2D-kuvat takaisin 3D-muotoon. Koska valokuvausprosessissa häviää tietoja kohteesta, ei yhdestä kuvasta saada rakennettua 3D-mallia. Kohteesta vaaditaan vähintään kaksi kuvaa eri kuvakulmista otettuna, jotta saadaan rakennettua todellisuutta vastaava 3D-malli. Todellisuudessa kaksi kuvaa harvoin riittää kattamaan koko kuvattavaa kohdetta, mutta useampia kuvia voidaan käyttää saadaksemme tarvittavan määrän informaatiota kohteesta. Lopputuloksena useamman kuvan fotogrammetrisista mittauksista ovat kohteesta saadut 3-dimensionaaliset koordinaatit. (Geodetic Systems, Inc. 2006.)

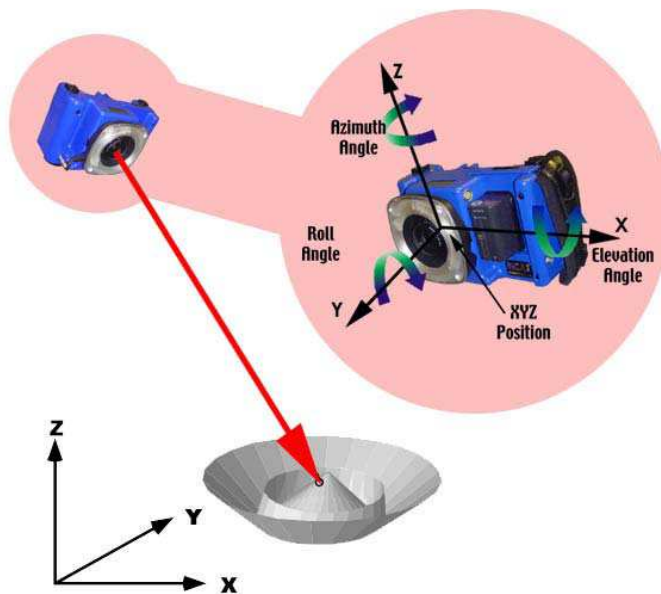
Fotogrammetria käyttää *kolmiomittausta* 3D-koordinaattien selvittämiseen, jossa tilassa leikkaavia linjoja käytetään pisteitten laskemiseen kaikissa kolmessa dimensiossa. Kolmiomittauksen suorittamiseen vaaditaan lisätietoja, joita ovat kameran positio ja suuntauskulma kuvan ottohetkellä. Näitä tietoja yhdessä kutsutaan kameran *orientaatioksi*. Kameran orientaatio on selvitettävä jokaisessa käytettävässä kuvassa. *Taaksepäinleikkaus* prosessi tekee tämän automaattisesti kuvia käsiteltäessä fotogrammetria ohjelmalla. (Geodetic Systems, Inc. 2006.)

Kolmiomittauksessa matemaattisesti yhdistetään yhteneviä viivoja avaruudessa, jolloin halutun pisteen tarkat koordinaatit voidaan päätellä. Fotogrammetria sovelluksissa voidaan samanaikaisesti mitata lukematon määrä pisteitten koordinaatteja, toisin kuin samaan kolmiomittaukseen perustuvassa maanmittauksessa yleisesti käytetyssä teodoliitti mittausmenetelmässä. (Geodetic Systems, Inc. 2006.)



Kuvio 3 Kolmiomittauksen periaate

Taaksepäinleikkauksessa kameran positiio ja suuntauskulma eli orientaatio lasketaan kuvanottohetkellä. Taaksepäinleikkaus suoritetaan fotogrammetria ohjelmalla ennen kuin voidaan aloittaa mittauksien ja 3D-mallien luominen valokuvista. Kameran position selvittämiseen tarvitaan kameran xyz-koordinaatit ja suuntauskulman selvittämiseen tarvitaan kolme kulmatietoa. (Geodetic Systems, Inc. 2006.)



Kuvio 4 Kameran orientaation selvitys

Taaksepäinleikkauksessa jokaisesta käsiteltävästä kuvasta tulisi löytyä vähintään 6 yhteistä pistettä, joiden avulla fotogrammetria ohjelma laskee tarkasti kameroiden orientaation. Kun kameroiden orientaatio on selvitetty, voidaan kuvista tehdä mittauksia kolmiomittaukseen perustuen ja luoda todellisuutta vastaavia 3D-malleja. (Geodetic Systems, Inc. 2006.)

### 3.2.3 Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät fotogrammetriassa

Fotogrammetrisia mittauksia tehtäessä mittaustarkkuuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Kameran ominaisuuksista eritoten kyky ottaa korkea resoluuksisia kuvia vaikuttaa suuresti lopputuloksen tarkkuuteen. Mitä suuremman pikseli määrän kamera pystyy ottamaan, sitä paremmin kamera soveltuu fotogrammetriisiin tarkoituksiin. (Photomodeler. n.d.)

Kamera täytyy kalibroida ennen kuvien käsittelyä fotogrammetria ohjelmalla. Kalibrointi tapahtuu ottamalla kuvia kalibrointiin tarkoitetuista kohdearkeista, (Liite) joita kuvataan ennalta määrätyistä kuvakulmista. Otetut kuvat syötetään fotogrammetriaohjelmaan, joka määrittää kuvien avulla kameran ominaisuuksia, kuten polttopisteen, digitaalisen sensorin koon ja linssin vääristymän. Useimmat fotogrammetriaohjelmat mahdollistavat myös kenttäkalibroinnin, jossa selvitetään kameran ominaisuuksia kuvaushetkellä. Kenttäkalibrointi tulee kyseeseen, jos kuvaushetken ja varsinaisen kalibroinnin välillä ilmenee suuria eroja ympäristössä tai ilmastossa, jotka voivat vaikuttaa kameran ominaisuuksiin. (Photomodeler. n.d.)

Kuvaushetkellä kohteesta tulee ottaa kuvia useasta eri kuvakulmasta, sillä lähekkäin toisistaan otetuissa kuvissa tarkkuus on huomattavasti pienempi kuin kuvissa joiden ero on noin 90 astetta. Optimaaliset kulmat kuvien välillä tarkkuuden maksimoimisen kannalta on 60 – 120 astetta. Kohde pystytään myös tarkemmin paikoittamaan, kun se löytyy useammasta kuin kahdesta kuvasta. (Photomodeler. n.d.)

Kuvia käsitellessä fotogrammetriaohjelman täytyy laskea kameran positio eli *orientaatio* joka kuvanottohetkellä. Kameran tarkan orientaation selvittäminen on

erittäin tärkeää mahdollisimman hyvän tarkkuuden saavuttamiseksi. Tarkka orientaatio saavutetaan, kun kuvista pystytään tunnistamaan tarvittava määrä yhteisiä pisteitä, vähintään 12 ja pisteitten tulisi kattaa mahdollisimman suuri osa kuvausalaista. ( Photomodeler. n.d.)

Kuvattaessa voidaan käyttää automaattisesti tunnistettavia kohteita, jotka sijoitetaan eripuolelle kuvattavaa kohdetta tai kriittisiin paikkoihin, jotka halutaan saada tunnistettua. Fotogrammetriaohjelma tunnistaa automaattisesti kohteet ja samalla orientoi kamerat tarkasti. Automaattisesti tunnistettavien kohteiden käyttö lisää lopputuloksen tarkkuutta, mutta ne eivät sovellu kaikkiin tehtäviin mittauksiin. (Photomodeler. n.d.)

	Camera Resolution	Camera Calibration Method	Angles between Photos	Photo Orientation Quality	Photo Redundancy	Targets
<b>Lowest Accuracy</b> 1 part in 100	Video 640x480	no calibration	most less than 15 degrees	few points per photo, low coverage	points mostly on only 2 photos	no targets, all user marked
<b>Average Accuracy</b> 1 part in 5,000	5-6 MegaPixel	Inverse Camera Camera Calibrator	most between 20 and 90 degrees	15+ points/photo, 25 to 60% coverage	all points on 3+ photos	some naturally lit targets for key points
<b>Highest Accuracy</b> 1 part in 30,000+	11 MegaPixel	Field Calibration*	most between 60 and 90 degrees	35+ points/photo, 50 to 80% coverage	most points on 8 or more photos	many good quality naturally lit retro-reflective

Kuvio 5 Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät fotogrammetriassa

## 4 Käytetyt ohjelmistot

### 4.1 Artec Studio

Artec Studio on 3D – skannauksessa käytetyn Artec L 3D skannerin ohjelmisto, jolla säädetään skannerin asetuksia ja käsitellään skannerilla tallennettuja pistepilviä. Ennen skannaus tapahtumaa ohjelmalla voidaan säätää kuvausnopeus, eli kuinka monta kuvaa kohteesta skanneri tallentaa sekunnissa. Kuvausnopeutta voidaan säädellä yhdestä kuvasta sekunnissa aina 15 kuvaan sekunnissa. Skannatavasta kohteesta riippuen ohjelmalla voidaan säätää skannerin parametrit vastaamaan skannausolosuhteita parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. (Artec Group Inc. 2010b.)

Pistepilviä käsiteltäessä jokainen kuva voidaan tarkastella erikseen ja tarvittaessa poistaa ylimääräisiä tai epäonnistuneita kuvia. Useimmissa tapauksissa skannattavasta kohteesta joudutaan ottamaan useita skanneja, jotka yhdistetään Artec Studio ohjelmalla yhdeksi kokonaisuudeksi. Yhdistäminen onnistuu yksinkertaisesti merkitsemällä skanneista yhteisiä pisteitä ja ohjelma automaattisesti yhdistää skannit. (Artec Group Inc. 2010b.)

Artec Studio ohjelmasta löytyy myös useita työkaluja joilla voidaan korjata skannattaessa ilmenneitä virheitä ja epätäydellisyyksiä mallissa. Työkaluilla voidaan tasoittaa mallin pintaa, täyttää mallissa olevia reikiä, poistaa ylimääräistä tietoa ja keventää tiedoston kokoa tarkkuutta alentamalla. Ohjelmassa on myös mittatyökalu, jolla saadaan haluttuja mittoja skannatusta kappaleesta. (Artec Group Inc. 2010b.)

Yhdistettyjä pistepilviä halutaan yleensä vielä jatkokäsitellä muilla 3D – ohjelmilla, kuten Geomagic, Rapidform tai 3D Max, halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Käsitellyt pistepilvet voidaan tallentaa seuraavissa tiedostomuodoissa stl, ply, wrl, obj, ptx, csv, asc ja aop. (Artec Group Inc. 2010b.)

## 4.2 Geomagic

Geomagic ohjelmistosta oli käytössä kaksi eri versiota Geomagic Studio ja Geomagic Qualify. Geomagic ohjelmilla jatkokäsitellään 3D-skannauksessa saatuja pistepilviä edelleen CAD – malleiksi tai käytetään mittatyökaluna vertaillessa skannattuja kappaleita suunniteltuihin malleihin. (Geomagic Inc. 2010.)

### 4.2.1 Geomagic Studio

Geomagic Studio ohjelmisto on suunniteltu takaisinmallinnukseen.

Takaisinmallinnuksessa olemassa oleva kappale on skannattu ja siitä saadusta pistepilvestä muodostetaan todellisuutta vastaava 3D – malli, jonka perusteella kappaleesta voidaan muodostaa mittapiirustukset. Geomagic Studiolla voidaan luoda parametrisiä malleja tai tunnistaa skannatuista kappaleista vain haluttuja muotoja. Lopputuloksena saadaan CAD – malli tai muokattu pistepilvi johon on tunnistettu haluttuja muotoja. (Geomagic Inc. 2010.)

### 4.2.2 Geomagic Qualify

Geomagic Qualify on tarkoitettu käytettäväksi mittatyökaluna vertaillessa skannattuja 3D-kappaleita CAD-malleihin ja tarkkojen mittojen ottamiseen skannatusta kappaleesta, sekä laadunvalvonnan apuna. Skannatun mallin ja CAD-mallin vertailu koostuu neljästä osasta. Skannatun mallin paikoitus CAD – mallin päälle on ensimmäinen vaihe, mallien paikoituksen jälkeen ohjelma vertailee mallien eroavaisuuksia. Kolmannessa vaiheessa arvioidaan tuloksia, jotka ohjelma ilmoittaa värikarttana ja numeroarvona käyttäjän haluamalla tarkkuudella. Lopuksi Geomagic Qualify:lla voidaan tulostaa kattava raportti tehdystä mittauksesta. (Geomagic Inc. 2010.)

Geomagic Qualify on saavuttanut PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) sertifiointin. Ohjelmaa käyttävät muun muassa tarkkaa laatua vaativat Fiat, General Motors ja Honeywell. (Geomagic Inc. 2010.)



### 4.3 Photomodeller Scanner

Photomodeller Scanner on fotogrammetriaohjelma, joka mahdollistaa tarkkojen ja korkealaatuisten 3D-mallien sekä mittauksien luomisen valokuvista. Photomodeller Scannerin avulla voidaan luoda 3D-malleja minkä kokoisista kohteista tahansa. (Photomodeler. n.d.)

Photomodeller Scannerin erikoisominaisuus on, että sillä pystytään luomaan valokuvatuista kohteista pistepilviä ja edelleen käsittelemään pistepilvistä pintamalleja. Photomodeller Scanneria voidaan pitää kameraperäisenä 3D-skannauksena. (Photomodeler. n.d.)

Photomodeller Scannerilla valmistetut mallit voidaan tallentaa seuraavissa muodoissa jatkokäsittelyä varten, stl, ply, txt, byu, iv, facet, dxf, wrl, obj, igs, 3dm, ja 3ds. (Photomodeler. n.d.)

### 4.4 CATIA V5R17

CATIA ohjelmiston on valmistanut Avions Marcel Dassault-Breguet Aviation – yhtiö. Yhtiö kehitti ohjelman omaan käyttöönsä hävittäjä – ja liikentokoneitten suunnitteluun. Vuonna 1981 yhtiö tuotteisti Cati – ohjelmansa ja perusti Dassault Systèmes yhtiön kehittämään edelleen ohjelmaa, samalla ohjelmiston nimi muutettiin CATIAksi. CATIA kuuluu nykyisin Dassault Systèmesin PLM – tuoteperheeseen ja sen markkinointikanavana toimii IBM. (Dassault systemes. 2010.)

CATIA on 3D-suunnitteluohjelma, jossa mallia muokkaavat toiminnot, eli piirteet, säilyvät mallin rakenteena. CATIAssa mallia muokkaavat arvot tallentuvat tietokantaan ja näin ollen arvoja voidaan muokata jälkeinpäin ja mallin geometria päivittyy muutettuja arvoja vastaamaan. CATIAlla voidaan luoda myös parametrisiä

malleja, jolloin parametreillä voidaan ohjata mallin, osien tai kokoonpanon piirteitä tehokkaasti. ( Dassault systemes. 2010.)

CATIAa käytetään yleisesti eri teollisuuden aloilla suunnittelutyökaluna.

Merkittävimpinä aloina voidaan pitää lentokone -, auto – ja

laivanrakennusteollisuutta unohtamatta metsäteollisuuden suunnittelukohteita.

(Dassault systemes. 2010.)

Opinnäytetyössä on käytetty CATIA V5R17 versiota. Ohjelmaa hyödynnettiin

suunnitteluympäristön luomiseen, jossa yhdistettiin skannattuja 3D – pistepilviä

valokuvista luotuun 3D – malliin CATIAN product – työtilassa. ( Dassault systemes.

2010.)

## 5 3D-skannauksen ja photogrammetrian hyödyntäminen suunnittelutyössä

### 5.1 Toteutus

Opinnäytetyössä tehtävänä oli tutkia kuinka Insinööritoimisto Proline voisi hyödyntää 3D – skannaus – ja fotogrammetriaohjelmistoja suunnittelutyönsä tukena. 3D – skannauksessa käytetyissä ohjelmistoissa Artec Studio ja Geomagic heiltä löytyi jo hieman aiempaa kokemusta, joten tehtäväksi muodostui jo havaittujen ongelmien ratkominen ja ohjelmien ominaisuuksiin tarkemmin perehtyminen. Suurimmaksi ongelmaksi oli ilmennyt pistepilvien suuri tiedostokoko ja siitä johtuen skannien käsittely vei paljon aikaa ja resursseja. Geomagicin puolella tuli selvittää kuinka pistepilvistä saadaan tunnistettua haluttuja muotoja ja mittoja, sekä kuinka tapahtuu vertailu skannatun kappaleen ja CAD-mallin välillä. Fotogrammetriaohjelma Photomodeller oli aivan uusi ohjelmisto ja minun tehtävä oli opetella sen käyttö ja tutustua ohjelmiston eri ominaisuuksiin ja käyttömahdollisuuksiin. Selvittää onko Photomodeler käyttökelpoinen ohjelma ja kannattaako se hankkia. Lopullisena tavoitteena oli saada paikoitettua skannattuja pistepilviä valokuvien avulla tehtyyn laajempaan 3D-malliin CATIAN suunnitteluohjelmistossa.

Tehtävän suoritus eteni erillisten pilot – projektien kautta, joissa ohjelmistojen haluttuja ominaisuuksia testattiin asiakkailta tulleiden toimeksiantojen perusteella. Työskentelin Insinööritoimisto Proline tiloissa ja heidän tietokoneilla ja ohjelmistoilla.

Aloitin tehtävän tutustumalla Artec TDSL skanneriin ja sen käyttöön, sekä skannerin ohjelmistoon Artec Studioon. Aluksi suoritin joitakin yksinkertaisia skannauksia ja yhdistelin skanneja Artec Studio ohjelmalla saadakseni kokemusta ohjelman käytöstä ja sen ominaisuuksista. Nopeasti siirryin pilot-projekteihin, joissa tehtäviini kuului skannien yhdistäminen ja pistepilvien käsittelyä. Työskennellessäni ohjelmistolla tiedostin olemassa olevat ongelmat, tein muistiinpanoja, huomioita ja

parannusehdotuksia. Taitojen ja tietojen kehittyessä jalostin syntyneitä ideoita ja tuloksia alkoi syntyä.

Geomagicillä työskennellessä ongelmanratkaisu oli suoraviivaisempaa, ohjelmiston ominaisuuksien testausta ja oikeiden työtapojen soveltamista eri tehtävien suorittamiseen.

Photomodeller oli aivan uusi ohjelmisto ja siihen ei Insinööritoisto Prolinen henkilöstöllä ollut aiempaa kokemusta, joten minun tehtävä oli perehtyä ohjelmistoon ja fotogrammetriaan perin pohjin. Photomodeller-ohjelmiston käytössä ongelmaksi muodostui, kun ei voinut kysyä neuvoa ohjelman käytöstä, vaan kaikkiin ongelma-kohtiin ja ohjelman käyttöön liittyviin ongelmiin oli selvitettävä ratkaisut itse. Aluksi lähestyin ohjelmaa sen kotisivuilta löytyneiden opetusvideoiden pohjalta ja opettelemalla yleistä teoriaa fotogrammetriasta. Opetusvideoilta selvisi Photomodeller – ohjelman käyttöön liittyviä perusasioita. Aloitin yksinkertaisten kohteiden kuvaamisella ja yritin mallintaa kuvista 3D – malleja, mutta ensimmäiset kohteet vaativat useita uusintakuvauskerroksia ennen kuin sain tarpeeksi laadukkaita ja oikeista kuvakulmista otettuja kuvia. Ohjelman käytön opettelu oli ”kantapään kautta” opettelua, uuden ongelman ilmetessä asia yleensä ratkesi kokeilemalla erilaisia vaihtoehtoja ja soveltamalla opetusvideoilla näytettyjä asioita. Vaikeimmat ongelmat kirjasin ylös ja jätin hautumaan tulevia ideoita varten. Kokemuksen ja teorian tuntemuksen karttuessa vaikeiltakin tuntuneet ongelmakohdat selvisivät kohtuullisen helposti.

Ohjelmiston tuntemuksen kasvaessa rajasin tehtäväkseni määrittää muutamia keskeisiä asioita Photomodellerin käytössä. Kameran tarkka kalibrointi on äärimmäisen tärkeää laadukkaan lopputuloksen kannalta fotogrammetriassa, perehdyin kameran kalibrointi menetelmään ja kuinka voidaan tarkastaa kameran kalibrointitarkkuus varsinaisen kalibroinnin jälkeen. Määritin kuinka tarkkoja malleja voimme mallintaa nykyisellä kameralla ja perehdyin automaattisesti tunnistettavien kohteiden käyttöön kuvaustilanteessa. Tärkeimmäksi kohteeksi osoittautui laajan 3D– mallin luominen ja siihen skannattujen pistepilvien yhdistäminen CATIA –

suunnitteluohjelmassa, sekä pintatekstuurien liittäminen valmiiseen 3D – malliin lisäämään visuaalisuutta.

### **5.1.1 Skannien kevennys**

Artec Studio – ja Geomagic – ohjelmilla pistepilviä käsitellessä ongelmaksi nousi pistepilvien suuri tiedostoko. Suuresta tiedostokoosta johtuen pistepilvien käsittely ja laskenta oli aikaa vievää sekä vaati runsaasti tietokoneen resursseja. Pistepilvien kokoon voidaan vaikuttaa skannauksen aikana ja käsiteltäessä pistepilviä Artec Studio - sekä Geomagic – ohjelmistoilla.

Skannaus vaiheessa on tärkeää tiedostaa mitä skannauksen lopputuloksesta halutaan saada. Halutaanko lopputuloksena täydellinen 3D – malli kohteesta vai vain joitain tiettyjä mittoja tai muotoja, vaikuttaa merkittävästi saadun pistepilven kokoon. Mittauksissa käytetyissä skannauksissa mitattavat kohteet ja niitä yhdistävät geometriat tulisi skannata tarkasti, mutta mittauksen ulkopuolelle jäävät kohteen osat voidaan jättää kokonaan pois tai skannata epätarkemmin vain kertaalleen antamaan visuaalista ilmettä kohteelle. Skannaustilanteessa voidaan säädellä skannausnopeutta yhdestä 15 kuvaan sekunnissa. Skannausnopeuden alentaminen vaikuttaa tallennetun pistepilven kokoon tallentamalla vähemmän kuvia skannattavasta kohteesta, mutta ongelmaksi muodostuu tarkkuuden pieni heikentyminen. Hitaalla nopeudella skannattaessa skannerin kamera ei aina tunnista lähetettyä säteilyä liikuteltaessa skanneria, jolloin skannaus keskeytyy sekä tallennetussa pistepilvessä esiintyy merkittäviä virheitä.

Pistepilvet koostuvat sadoista kuvista joita skannerilla on tallennettu, Artec Studio – ohjelmalla pistepilveä voidaan tutkia kuva kerrallaan. Artec Studio – ohjelmalla pystytään poistamaan yksittäisiä epäonnistuneita tai päällekkäisiä kuvia. Kuvausnopeuden ollessa 15 kuvaa sekunnissa, ei voida välttyä päällekkäisistä kuvista. Pistepilvestä voidaan myös valita haluttuja kuvia ja muodostaa niistä oma pistepilvi, jolloin ylimääräinen data jää pois ja tiedostokoko pienenee.

Pistepilvien yhdistämisen jälkeen mallinnettavasta objektista muodostetaan monikulmio pintamalli Fusion algoritmin avulla, jossa pistepilven pisteiden välille

vedetään viivoja muodostaen monikulmioita. Artec Studio – ohjelmassa on itsessään kaksi toimintoa joilla voidaan keventää käsiteltävien tiedostojen kokoa. Singletons toiminnolla voidaan poistaa käsiteltävästä tiedostosta kaikki haluttua pienemmät monikulmio objektit threshold – parametrilla tai jättää vain suurin objekti käsiteltäväksi. Toinen vaihtoehto tiedostokoon kevennykselle on Simplify toiminto, joka pitää sisällään kolme vaihtoehtoa mallin käsittelyyn. Remesh – parametri poistaa mallista kaikki haluttua lyhyemmät monikulmioiden sivut, Accuracy – parametrilla voidaan mallin tarkkuuden kustannuksella keventää tiedosta epätarkemmaksi ja Triangle quantity – parametrilla mallin kokoa voidaan pienentää haluttuun määrään monikulmioita.

Artec Studio – ohjelmalla käsitelty malli voidaan tallentaa useassa eri formaatissa ja jatko käsitellä muilla ohjelmilla. Tallennusformaateissa on suuria eroja tiedostokoossa, esimerkiksi jos käytetty ohjelma tukee stl – ja ply – tiedostoja, ply – tiedosto on huomattavasti kevyempi stl – tiedostoa. Artec Studion algoritmiasetuksia tutkiessani huomasin myös, että asetukset oli säädetty Artec M skannerin käyttöä varten, vaihdoin asetukset vastaamaan Artec L skanneria joka Insinööritoimisto ProLinella on käytössä.

Geomagic ohjelmassa on yksi erittäin toimiva toiminto mallien keventämiseen. Decimate toiminnolla voidaan mallin kokoa vähentää joko tiettyyn prosenttimäärään alkuperäisestä monikulmio määrästä tai suoraan haluttuun monikulmio määrään. Toiminnon haittapuolena on mallin tarkkuuden kärsiminen monikulmioita vähennettäessä. Skannatuissa malleissa on yleensä paljon ylimääräisiä pieniä monikulmio kappaleita, jotka eivät tuo lisäarvoa mallia tarkastellessa. Nämä monikulmio kappaleet on helppo poistaa valitsemalla ne haluamalla valintatyökalulla ja käyttämällä delete – toimintoa.

Yhdessä pilot – projektissa alkudataa oli noin 20 gigabittiä pistepilvien muodossa. Projektin tarkoituksena oli yhdistää skannattuja pistepilviä ja laajempi 3D-malli CATIA suunnitteluohjelmassa. 20 gigabittiä on kuitenkin aivan liian suuri määrä tietoa käsiteltäväksi samassa tiedostossa CATIA suunnitteluohjelmassa. Edellä mainittuja menetelmiä soveltaen sain lopulliseksi tiedostokooksi noin 190 megabittiä, joka on

yli sata kertaa pienempi kuin alkuperäinen koko ja tiedoston käsittely onnistuu CATIA:ssa. Projektissa skannatuilta malleilta ei vaadittu suurta tarkkuutta, vaan tärkeintä oli havainnollistaa kuinka suuren tilan skannatut alueet vievät todellisuudessa, tämä mahdollisti skannien koon rajun pienentämisen.

### **5.1.2 Geomagic muotojen luominen ja mittaus**

Geomagic Studio – ohjelmaan tutustuesssa tehtävänä oli perehtyä sen tiettyihin ominaisuuksiin tarkemmin, kuten esimerkiksi mittojen luomiseen skannatuista kappaleista ja luotujen muotojen muokkaamiseen todellisuutta vastaavammaksi.

Pilot – projekteissa tuli esille tarve selvittää kuinka saadaan kahden sylinterin tai reikien keskipisteiden etäisyys mitattua Geomagic Studio – ohjelmalla. Keskipisteiden etäisyyden mittaaminen onnistuu 3D – dimensions työkalulla. Sylinterit tai reiät täytyy ensin tunnistaa Feature – valikosta löytyvällä lieriöiden tunnistus työkalulla. Tunnista myös taso, jolla haluat etäisyyksiä tarkastella. 3D – dimensions työkalun takaa löytyy valikko, johon syötetään seuraavia tietoja. Ensin dimension type – valikosta valitaan linear ja work plane, jonka jälkeen pick method – valikosta valitsemme feature, joka mahdollistaa tunnistettujen muotojen käytön mittaamiseen. Seuraavaksi täytyy osoittaa, missä tasossa haluamme mittoja tarkastella. Selection – valikosta valitsemme work plane, jonka määritämme valitsemalla Object feature plain ja klikkaamalla haluttua tasoa. Varsinainen mittaus tapahtuu seuraavassa vaiheessa, kun määritämme mitattavat kohteet First end – ja Secon end – valikoista. Lopuksi vielä Annotation – komennolla asetamme saadun mitan haluttuun paikkaan kuvaruudulla.



**Kuvio 6 3D Dimensioning - valikko**

Putkia skannatessa, yleensä on mahdollista skannata vain pieni osa putkea. Pilot – projektin palautteessa asiakas tiedusteli, onko mahdollista saada tunnistettua koko putkea pienen osan sijaan. Asiaan perehtyessä löysin ratkaisun ongelmaan. Ensin luodaan sylinteri skannattuun kohtaan putkea ja sylinteriin keskiviiva. Luodaan taso kohtisuoraan keskiviivaan nähden, siten että keskiviiva ja taso leikkaavat toisensa. Keskiviivan ja tason leikkauskohtaan luodaan piste, jota käytetään apuna uutta sylinteriä luodessa. Uusi sylinteri luodaan sylinteri – valikosta löytyvällä Base and Height – vaihtoehdolla. Jolloin uudelle sylinterille voidaan määrittää sen dimensiot manuaalisesti.

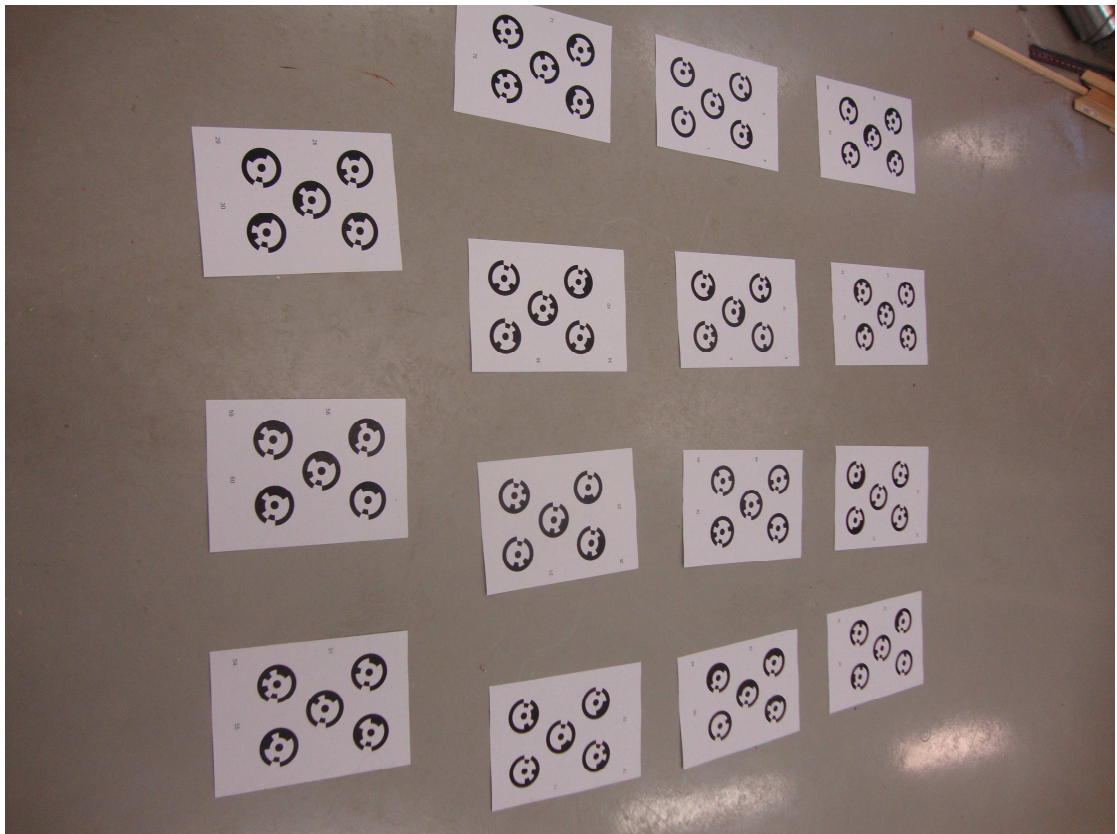
### 5.1.3 Photomodeller kameran kalibrointi

Kameran tarkka kalibrointi on ensiarvoisen tärkeää onnistuneen mallin luomiseen Photomodelerilla. Kameraa kalibroitaessa selvitetään seuraavat kameran ominaisuudet polttopisteen paikka, linssin vääristymä, digitaalisen sensorin koko ja



objektiivin pääsäteen kuvautumispiste. Näitä tietoja ohjelma tarvitsee selvittääkseen kameran position kuvaushetkellä ja kohteiden etäisyyksien tunnistamiseen kuvista.

Kalibrointi tapahtuu moni arkki kalibrointina, jossa tilasta riippuen levitetään lattialle joukko kalibrointiarkkeja neliön muotoon. Arkeista otetaan 12 kuvaa, arkkien ollessa neliön muodossa jokaiselta sivulta otetaan 3 kuvaa. Yhden sivun kuvat tulee ottaa siten, että kamera on vaakatasossa ja käännettynä 90 astetta molempiin suuntiin.

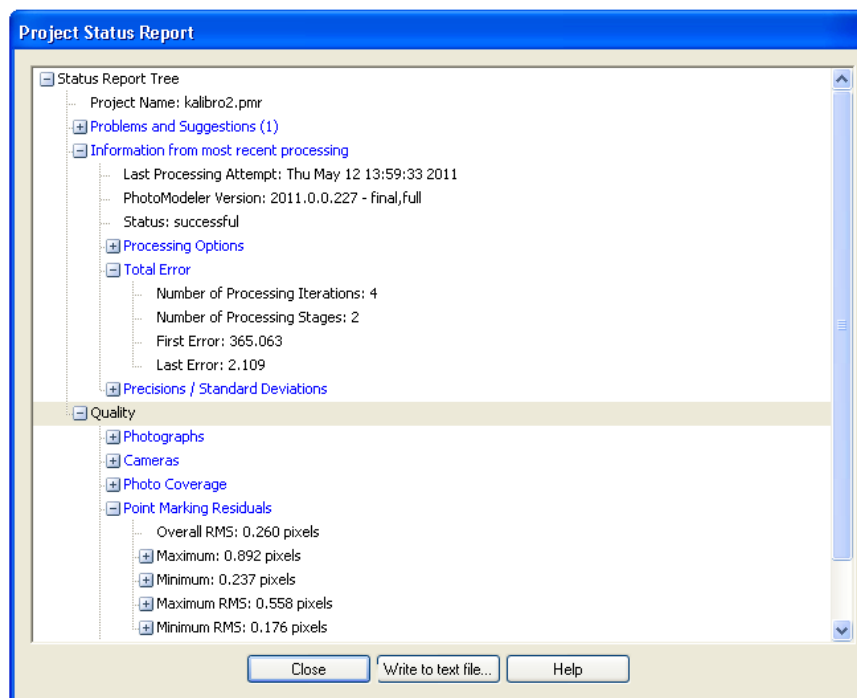


**Kuvio 7 Kameran kalibrointiarkit**

Kalibrointiarkkien tulisi täyttää mahdollisimman suuri osa kuvattavasta alasta ja kuvien pitää olla mahdollisimman tarkkoja. Kuvat on hyvä ottaa käyttäen tukea tai kolmijalkaa välttääkseen heilahduksia.

Otetut kuvat syötetään Photomodelerin kalibrointi ohjelmaan, jossa Photomodeler automaattisesti kalibroi kameran ja määrittää tarvittavat ominaisuudet kamerasta.

Photomodeler luo raportin kalibrointituloksesta, raportista voidaan tarkistaa kalibroinnin tulos ja kameran ominaisuudet. Raportista on syytä tarkistaa seuraavat kohdat varmistuakseen kameran tarkka kalibrointi. Total error alavalikosta kohta last error tulisi olla lähellä 1 tai alle sen hyvä laatusilla kameralla. Quality alavalikon maximum RMS:n tulisi olla alle 1,5 ja kaikkien residuaalien alle 1 sekä overall RMS:n alle 0,5 varmistuakseen onnistuneen kameran kalibroinnin.



Kuvio 8 Kameran kalibroinnin tarkistusnäkyvä

### 5.1.4 Photomodelerin tarkkuus

Photomodeler ilmoittaa omilla nettisivuillaan, että ohjelman avulla päästään jopa 0,1 mm tarkkuuksiin optimaalisella kameralla ja kuvaolosuhteilla. Oli kuitenkin tärkeää määrittää minkälaisiin tarkkuuksiin pääsemme käytössä olevalla kameralla.

Opinnäytetyössä käytettyihin kuvauksiin käytin tavallista SONY:n Cyper – shot 12.1 megapikselin digikameraa, jossa on laajakuvalinssi.

Kalibroin kameran tarkasti ennen kuin aloitin määrittämään Photomodelerin tarkkuutta. Tarkkuuden määrittämisessä ensin kuvasin Prolinen toimistorakennuksen julki- ja päätysivun ja tein 3D – mallin kuvien perusteella. Otin mitat toimistorakennuksen julkisivusta lasermittaimen avulla ja skaalasin 3D – mallin tätä mittaa hyväksikäyttäen. Julkisivun mitaksi sain 14 140 mm, mittapisteen sijaitsivat rakennuksen kulmalla ja sisäänkäynnin yllä olevan lipan reunalla.



**Kuvio 9 Photomodeler - mallin skaalaus**

Photomodelerin tarkkuuteen sain lukuarvon vertaamalla lasermittaimella mitattua mittaa rakennuksen päädyssä olevasta oviaukosta Photomodelerin antamaan

mittaan. Lasermittarilla mitattu arvo oli 4233 mm ja Photomodelerin antama arvo 4229 mm. Virheen voidaan sanoa olevan  $\pm 2$  mm. Tein tarkastusmittauksen toisesta kohtaa mallia ja tällöin virhearvoksi sain  $\pm 2.5$  mm.



**Kuvio 10** Mitattuja mittoja

### 5.1.5 Kohteen kuvauksessa huomioitavat asiat

Otetut valokuvat määrittävät, mitä valokuvista voidaan mallintaa ja mitata.

Kuvaustilanne on tärkeä vaihe fotogrammetriassa ja se tulisi suunnitella huolella etukäteen. Kuvattaessa tulee ottaa huomioon useita eri tekijöitä.

Fotogrammetria perustuu kolmiomittaukseen, joten pisteet jotka halutaan tunnistaa, tulee näkyä vähintään kahdessa kuvassa. Halutun pisteen tarkan paikan varmistamiseksi piste tulisi näkyä vähintään neljässä eri kuvassa. Kuvat tulisi ottaa eri kuvakulmista, siten että kuvien välinen kulma olisi  $60 - 120^\circ$ .

Otetuista kuvista täytyy löytyä vähintään kuusi yhteistä pistettä, jotta Photomodeler pystyy määrittämään kameroiden orientaation ja on mahdollista tunnistaa kuvista haluttuja muotoja. Mitä enemmän yhteisiä pisteitä kuvista löytyy sen parempi ja pisteiden tulisi kattaa suurin osa kuvausosalasta. Photomodeler ei automaattisesti tunnista kuvissa olevia etäisyyksiä, vaan kuvatusta kohteesta tulee tietää joku todellinen mitta, jonka avulla skaalataan koko malli. Tunnetun mitan tulisi olla mahdollisimman suuri kuin se käytännössä on mahdollista, näin vältetään skaalauksessa syntyvää virhettä.

Photomodelerin yksi ominaisuus on kameran kenttäkalibrointi. Kenttäkalibroinnilla halutaan vahvistaa kameran alkuperäistä kalibrointia ja minimoida kuvausolosuhteiden vaikutus kameran ominaisuuksiin. Kenttäkalibrointi vaatii vähintään viisi valokuvaa ja kuvat tulee ottaa samalla kameralla ja samalla polttopisteen arvolla. Kuvat tulee ottaa samalta etäisyydeltä kohteesta ja eri kuvakulmista. Vähintään kaksi kuvaa tulee ottaa kamera käännettynä 90° alkuperäisestä kuvausasennosta ja kuvista tulee löytyä vähintään 25 tunnistettua pistettä.

### **5.1.6 Automaattisesti tunnistettavat kohteet**

Photomodelerin ominaisuuksiin kuuluu automaattinen koodattujen kohteiden tunnistus. Automaattisesti tunnistettavia koodattuja kohteita voidaan käyttää orientoimaan kuvia tarkasti toisiinsa nähden tai niiden avulla voidaan tunnistaa kuvista tärkeitä kohteita.

Automaattisesti tunnistettavia koodattuja kohteita voidaan luoda Photomodeler ohjelmalla. Create coded targets – valikosta saadaan luotua 999 yksilöllistä kohdetta, koodattuja kohteita luodessa tulee tietää käytettävä kamera, kuvausetäisyys kohteesta ja kohteiden lukumäärä. Photomodeler luo näiden tietojen perusteella oikean kokoisia automaattisesti tunnistettavia koodattuja kohteita tulosteena paperiarkille.



*One of the RAD targets*

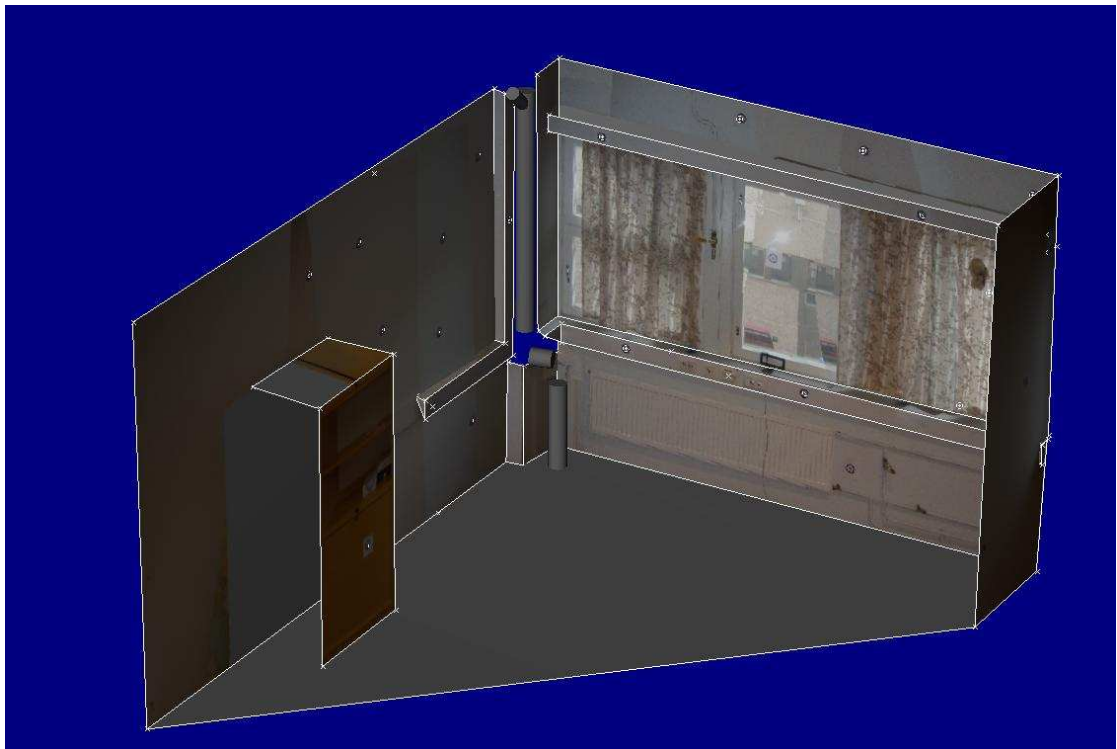
**Kuvio 11 Automaattisesti tunnistettava koodattu kohde**

Automaattisesti tunnistettavia koodattuja kohteita käytettäessä kuvaustilanteessa pätee samat lainalaisuudet kuin normaalissa kuvaustilanteessa. Automaattisesti tunnistettavat koodatut kohteet tulisi sijoittaa tasaisille pinnoille siten, että ne kattavat suuren osan kuvausalaista. Kohteet eivät saa liikkua kuvien oton välissä, sillä pienikin liike automaattisesti tunnistettavassa koodatussa kohteessa aiheuttaa epätarkkuutta lopullisessa mallissa. Jokainen automaattisesti tunnistettava koodattu kohde tulee näkyä vähintään kahdessa kuvassa ja jokaisessa kuvassa tulisi olla yli kahdeksan automaattisesti tunnistettavaa koodattua kohdetta.

Photomodeler tunnistaa automaattisesti koodatut kohteet kuvia prosessoidessa ja orientoi kuvat toisiinsa nähden tarkasti. Tämä helpottaa huomattavasti kuvien käsittelyä ja haluttujen muotojen tunnistamista jatkossa.

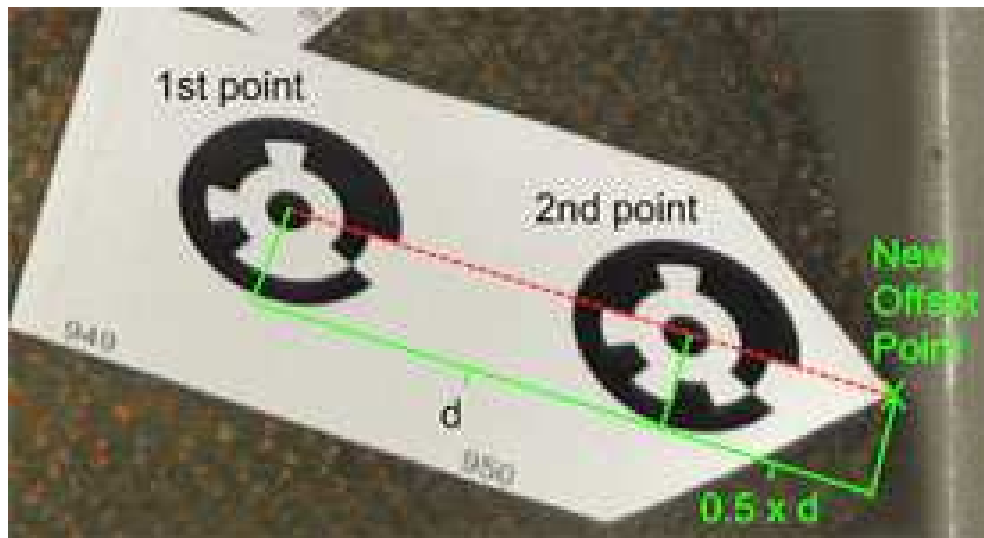


Kuvio 12 Kohteiden sijoittelua kuvaustilanteessa



Kuvio 13 Koodattujen kohteiden avulla luotu 3D-malli

Yksittäisillä koodatuilla kohteilla ei voida tarkasti osoittaa kulmapisteitä tai nurkkia. Tätä varten Photomodelerissa on mahdollisuus käyttää koodattuja kohdepareja. Koodattu kohdepari muodostaa nuolen, joka osoittaa tunnistettavaan kohtaan.



Kuvio 14 Koodattu kohdepari

Ensimmäisestä koodatusta kohteesta muodostetaan mitta tunnistettavaan kohtaan ja toinen koodattu kohde antaa suunnan uudelle pisteelle. Kohdeparit täytyy luoda käsin Photomodelerissa. Edit Coded Target Offset Pairs – valikossa syötetään tiedot koodattujen kohteiden numeroista ja ensimmäisen kohteen etäisyydestä haluttuun tunnistettavaan pisteeseen.





Kuvio 15 Koodattujen kohdeparien määrittäminen taulukko

Koodattujen parien käytön etuna kulmien ja nurkkien tunnistamisen lisäksi on, että niillä voidaan tunnistaa piilossa olevia kohteita. Esimerkiksi halutaan tunnistaa nurkkapiste, mutta edessä kulkee putki, voimme tunnistaa nurkan putken takana osoittamalla kohdeparilla nurkkaa kohti ja ilmoittamalla ensimmäisen pisteen etäisyyden nurkasta.

## 5.2 Suunnitteluympäristön luominen

### 5.2.1 Projektin taustatiedot

Opinnäytetyössä keskeiseksi aiheeksi nousi pilot-projekti, jossa tavoitteena oli mallintaa paperikoneympäristöä fotogrammetrian ja 3D-skannauksen avulla.

Fotogrammetrian avulla haluttiin luoda laaja 3D-rautalankamalli paperikoneympäristöstä ja yhdistää siihen 3D-skannaamalla saatuja tarkempia 3D-malleja CATIA - suunnitteluympäristössä.

Vastaavaa projektia ei aiemmin ollut tehty, joten projektia aloittaessa ilmassa oli useita kysymysmerkkejä ja selvittämättömiä asioita. Skannattuja kohteita oli 14 ja jokaisesta kohteesta oli otettu useita skanneja, niiden yhteinen tiedostokoko kohosi noin 20 gigabittiin, joka on aivan liian suuri koko käsiteltäväksi yhdessä tiedostossa CATIA - suunnitteluohjelmassa. Skannien keventämiseen olin perehtynyt jo aiemmin, mutta en ollut varma, pystytäänkö tiedostokokoa pienentämään tarpeeksi. Fotogrammetrian käytössä vastaavissa olosuhteissa ei ollut aikaisempaa kokemusta, joten varmasti emme voineet tietää, saadaanko fotogrammetrian avulla luotua tarpeeksi laaja 3D-malli, myös skannattujen kohteiden paikoitus 3D-rautalankamalliin oli kysymysmerkki projektia aloittaessa.

### 5.2.2 3D-skannien käsittely

Itse en ollut mukana skannaamassa kohteita, joka hankaloitti hieman työskentelyäni, koska en tiennyt tarkasti mistä kohtaa skannit oli otettu ja mitä ne esittivät. Minun työkseni jäi skannien yhdistäminen ja jatkokäsittely.

Ensin yhdistin samasta kohteesta skannatut pistepilvet Artec Studio – ohjelmalla ja poistin ylimääräistä tietoa Simplify – ja Singletons – algoritmien avulla. 3D –

skanneista muodostin 14 erillistä 3D – mallia. Tallensin mallit ply – tiedostomuodossa ja jatkoin mallien käsittelyä Geomagic Studio – ohjelmalla.

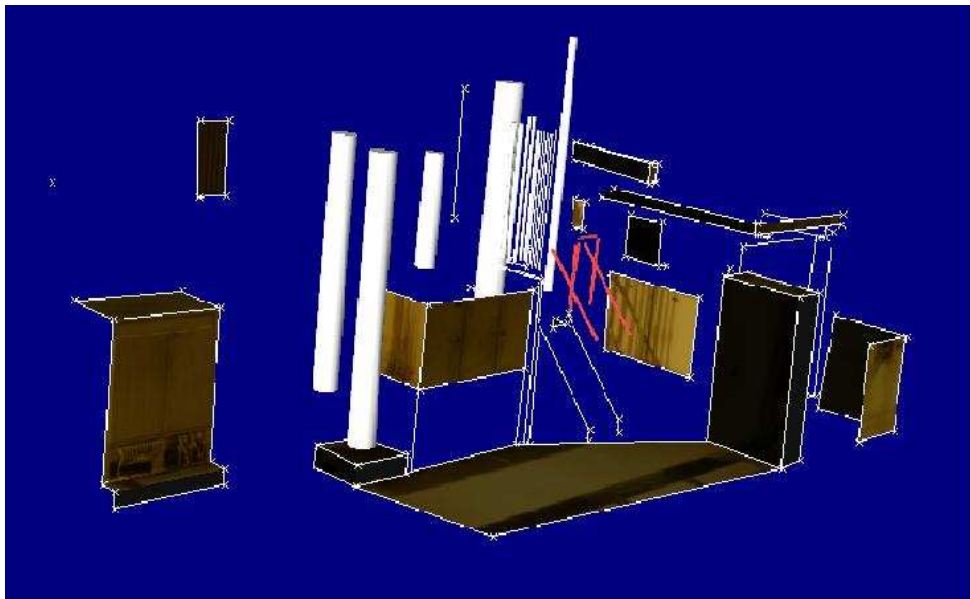
Geomagic Studio – ohjelmalla aluksi poistin skannatuista malleista ylimääräisiä monikulmio kappaleita, jotka eivät antaneet mitään lisäarvoa malleja tarkastellessa. Tämän jälkeen tunnistin malleista eri muotoja, kuten pintoja ja lieriöitä. Tallensin tunnistetut muodot iges - tiedostomuodossa myöhempää käyttöä varten. Seuraava vaihe oli mallien kevennys decimate toiminnolla. Skannatuilta malleilta ei vaadittu suurta tarkkuutta vaan tarkoituksena oli esittää, minkälaisia kohteita mallinnetussa ympäristössä sijaitsi ja kuinka suuren tilan skannatut kohteet vievät todellisuudessa. Päädyin keventämään malleja yhteen prosenttiin alkuperäisestä koosta, tällöin mallit vielä säilyttivät muotonsa tunnistettavasti ja tiedostokoko pieneni riittävästi. Lopuksi tallensin mallit wrl – tiedostomuodossa, jotta tiedostot olisi mahdollista avata CATIA – suunnitteluohjelmalla.

### **5.2.3 Rautalankamallin luominen**

Rautalankamallin luomisessa ensimmäinen ja tärkein vaihe oli mallinnettavan kohteen kuvaaminen. Kuvauskohteenä oli paperikoneen käyttöpuolen ympäristöä puristinosan alueella. Kuvattava ala oli kymmenen metriä leveä ja noin neljä metriä syvä. Kuvaamisesta teki haastavaa se, että kuvattava alue oli suhteellisen laaja verrattuna tilaan josta kuvat täytyi ottaa. Oli hankala saada tarpeeksi laajoja kuvakulmia, että kuvista saisi tunnistettua tarpeeksi muotoja. Otetuissa kuvissa täytyi näkyä yhteisiä piirteitä, jotta piirteiden luominen olisi mahdollista ja kuvat voidaan linkittää toisiinsa, mahdollistaen laajemman mallin luomisen.

Automaattisesti tunnistettavien koodattujen kohteiden käyttö ei soveltunut tässä projektissa. Kuvia täytyi ottaa niin monesta eri kulmasta, että koodattuja kohteita olisi tarvittu useita satoja ja kuvausetäisyys oli sitä luokkaa että koodattujen kohteiden tunnistaminen oli epävarmaa. Kuvauksen tuloksena sain noin 400 valokuvaa mallinnettavasta kohteesta, joista valitsin parhaiten onnistuneet valokuvat ja niiden pohjalta aloin mallintamaan 3D-mallia. Lopulliseen malliin käytin 18 kuvaa

400:sta. 3D-mallin luominen tapahtui Photomodeler – ohjelmalla, johon latsin osan valituista kuvista ja aloin tunnistamaan kuvista yhteisiä pisteitä ja muotoja. 3D – mallin luominen oli suoraviivaista tekemistä, kuvista tunnistettiin pisteitä ja vedettiin viivoja pisteitten väliin, sekä tunnistettiin putkia, jolloin haluttuja muotoja alkoi syntyä. Kun olin päässyt siihen vaiheeseen, että kuvista ei enää saanut tunnistettua enempää haluttuja muotoja, tallensin 3D-mallin iges – tiedostona.



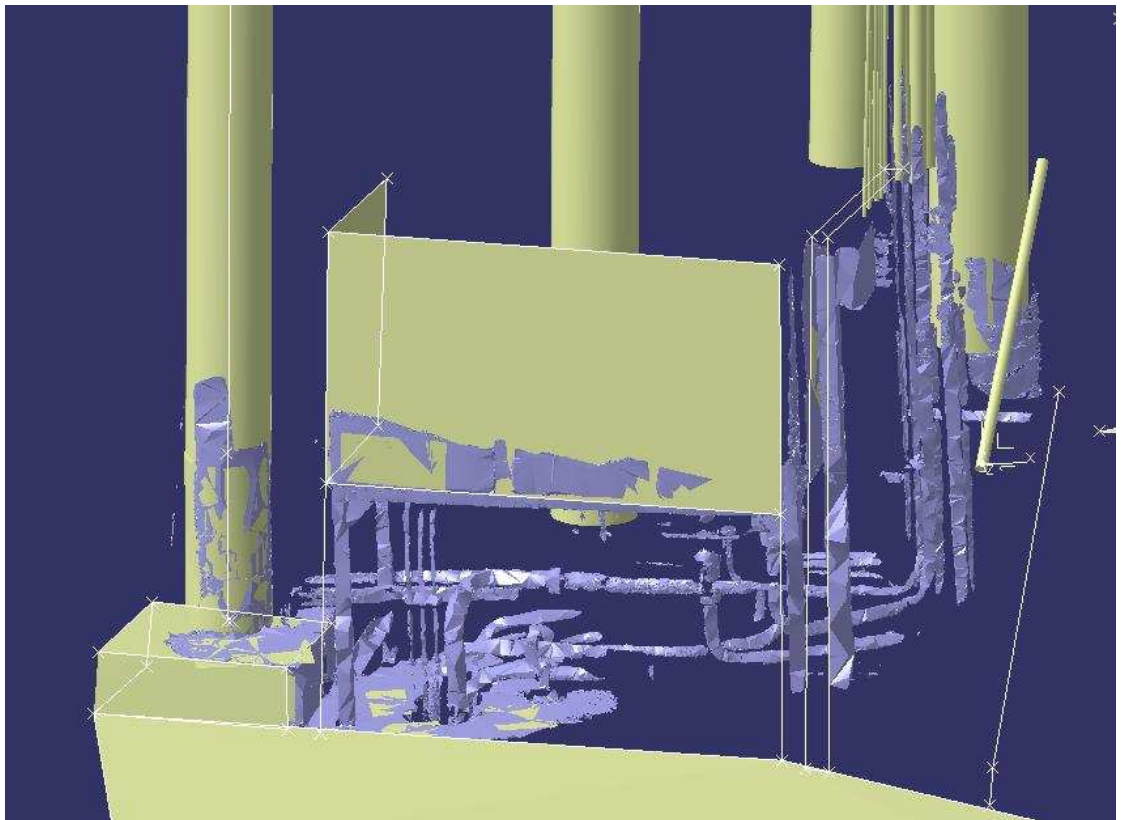
Kuvio 16 Photomodelerilla luoto 3D-malli

#### 5.2.4 3D-mallien yhdistäminen CATIA – suunnitteluympäristössä

3D-skannaamalla saatujen mallien ja fotogrammetrian avulla luodun mallin yhdistäminen yhdeksi kokonaisuudeksi tapahtui CATIA – suunnitteluohjelmassa product – työtilassa. Ensin avataan CATIA:ssa iges – tiedostona tallennettu rautalankamalli ja tallennetaan se uudestaan CATpart – tiedostona. Rautalankamallin CATpart – tiedosto avataan product – työtilassa ja kiinnitetään se paikoilleen FIX – pakotteella. 3D – skannatuista malleista oli tallennettuna kaksi tiedostoa iges ja wrf.

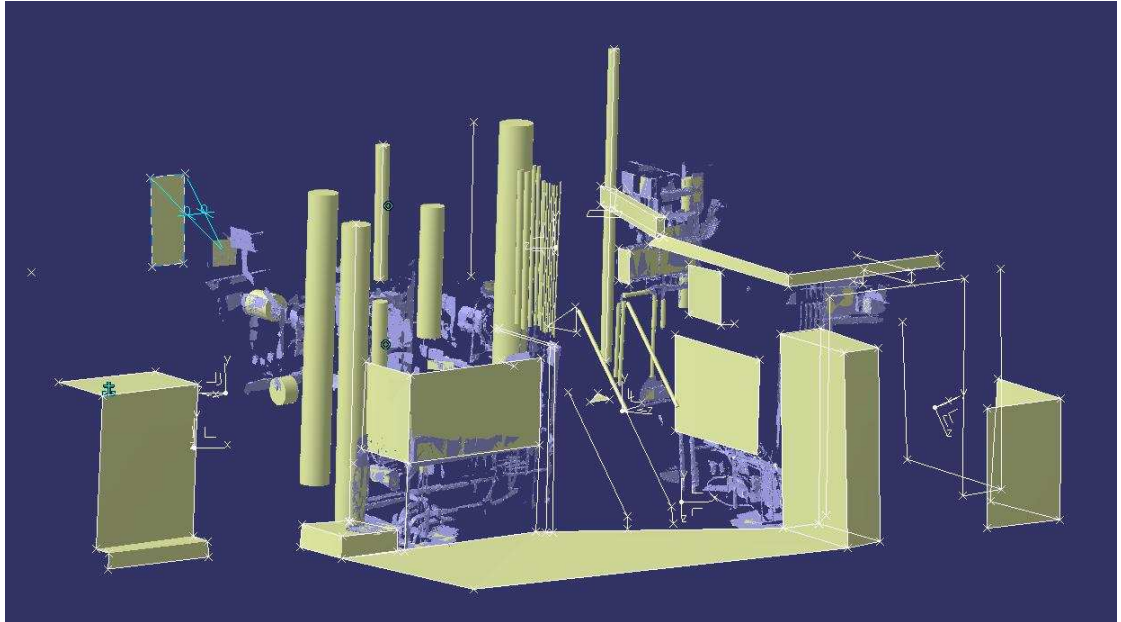
Iges – tiedostot, jossa tunnistetut muodot näkyivät, täytyi avata ensin CATIA:lla ja tallentaa CATpart muodossa. Nyt wrl – ja CATpart – tiedostot voitiin avata product – työtilassa Insert – valikon New component toiminnolla. Saman skannauksen wrl – ja CATpart – tiedostot sidottiin toisiinsa Fix together – pakotteella.

3D – skannatut mallit oli tarkoitus paikoittaa rautalankamalliin pakotteiden avulla. Paikoituksen apuna pystyimme käyttämään Offset – ja Coincidense – pakotetteita. Paikoitus tapahtui sitomalla yhteen Geomagikillä luotuja muotoja rautalankamallin pisteisiin, viivoihin ja lieriöihin pakotteiden avulla. Paikoituksen onnistuttua mallit liitetään lopullisesti yhteen FIX – pakotteella.



**Kuvio 17 Rautalankamalli ja 3D-skanni paikoitettuna**

Lopulliseen malliin sain paikoitettua viisi skannattua mallia. Syy miksi moni skannattu malli jäi paikoittamatta, oli että fotogrammetrian avulla oli mahdoton saada tunnistettua muotoja paikoista, joista osa skannauksia oli tehty.



**Kuvio 18 3D-skannit ja rautalankamalli yhdistettynä**

Viimeisenä tehtävänä oli saada pintatekstuurit näkymään CATIA:ssa Photomodelerilla luotuun malliin lisäämään visuaalisuutta. Tämä onnistui tallentamalla rautalankamalli wr1 – muodossa, tuomalla se paikoituksen jälkeen product – työtilaan alkuperäisen rautalankamallin päälle. Näin näkyviin jäi rautalankamallia vastaava malli, jossa lisäksi oli näkyvillä pintatekstuurit. Rautalankamallia ei alun perin voinut tallentaa ja tuoda CATIAan wr1 – tiedostomuodossa, koska wr1 – tiedostomuodossa olevaa mallia ei voida käyttää hyväksi paikoituksessa.

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyöni voisi jakaa kolmeen osaan, 3D – skannaus ja pistepilvien käsittely, fotogrammetriaan perehtyminen, sekä skannattujen 3D – mallien ja fotogrammetrian avulla luodun 3D – mallin yhdistäminen yhdeksi kokonaisuudeksi CATIA – suunnitteluohjelmalla.

Ensimmäisessä osassa perehdyin 3D – skannaukseen ja pistepilvien käsittelyyn. Samalla yritin kehitellä ratkaisuja esille tulleisiin ongelmiin, kuten skannattujen pistepilvien tiedostokoon keventämiseen, sekä muotojen ja mittojen tunnistamiseen skannatuista kappaleista. Tässä vaiheessa ei ilmennyt suurempia ongelmia, sillä käytössä oli hyvin materiaalia aihetta koskien ja pystyin kysymään neuvoa asiaan perehtyneiltä henkilöiltä. Sain selvitettyä kuinka skannatuista kappaleista tunnistetaan muotoja ja mittoja, sekä keinot pistepilvien tiedostokoon keventämiseen. Tiedostokoon keventämisen haittapuolena on aina skannatun kappaleen tarkkuuden heikentyminen, joten tilanteissa joissa skannatulta kappaleelta vaaditaan korkeaa tarkkuutta, ei kaikkia kevennys keinoja voida käyttää.

Fotogrammetrian osalta tehtävänäni oli perehtyä uuteen ohjelmaan Photomodeleriin ja kuinka sillä luodaan 3D – malleja. Photomodelerin käytöstä Insinööritoimisto ProLinen henkilöstöllä ei ollut aiempaa kokemusta, joten ohjelmaan ja sen ominaisuuksiin perehtyessä kaikki asiat oli selvitettävä itse alusta loppuun. Ohjelman opettelu oli ”kantapään kautta” oppimista ja vaati hyviä hermoja. Haastavinta 3D – mallien luomisessa on kohteen kuvaus, joka on ensisijaisen tärkeä vaihe onnistuneen lopputuloksen kannalta ja vaatii vielä harjoittelua. Photomodelerin käytöstä selvitin, kuinka 3D – malleja luodaan ja mitä tulee ottaa huomioon niitä luodessa. Insinööritoimisto ProLine päätyi myös hankkimaan Photomodeler – ohjelman pysyvän version käyttöönsä.

Pilot – projektissa, jossa yhdistettiin skannattuja 3D – malleja fotogrammetrian avulla luotuun laajempaan 3D – malliin, ongelmana olivat että ei tiedetty kuinka mallit

saadaan yhdistettyä toisiinsa ja saadaanko fotogrammetrian avulla luotua tarpeeksi laaja malli skannattujen mallien paikoitukseen. Projektissa yhdistyi opinnäytetyön aiemmassa vaiheessa opitut asiat 3D – skannaamisesta ja fotogrammetriasta. Mallinsin Photomodelerilla 3D – mallin, johon sain paikoitettua viisi skannattua 3D – mallia neljästätoista. Syy miksi osa skanneista jäi paikoittamatta oli, että ne olivat skannattu paikoista joista ei ollut mahdollista saada fotogrammetrian avulla luotua tarvittavia muotoja paikoitusta varten. Koen kuitenkin onnistuneeni projektissa, sain luotua laajan 3D – mallin fotogrammetrian avulla ja paikoitettua skannattuja malleja siihen, sekä onnistuin keventämään tiedostokokoja tarpeeksi. Pilot – projektin edetessä saimme tärkeää tietoa kuinka vastaavia projekteja tulevaisuudessa tulisi tehdä ja mitä asioita tulee ottaa huomioon. Nyt vastaavassa projektissa tekisin joitain asioita toisin, Photomodelerilla mallinnettavan alueen jakaisin kahteen tai kolmeen osaan ja mallintaisin jokaisen alueen erikseen, käyttäen hyväksi automaattisesti tunnistettavia koodattuja kohteita. Tällä saavutettaisiin tarkempi 3D – malli ja ympäristöstä pystyisi tunnistamaan enemmän haluttuja muotoja.

Henkilökohtaisesti koen kehittyneeni opinnäytetyöprosessin aikana. Pystyn nyt paremmin ratkaisemaan ongelmia itsenäisesti ja ymmärrys koko suunnitteluprosessia kohtaan on kasvanut. Hallitsen nyt myös useita uusia ohjelmia, sekä teoriaa sovellusten takaa.



## Lähteet

3D Scan Company. 2007. Viitattu 20.3.2011. <http://www.3dscanco.com/about/3d-scanning/index.cfm>

Artec Group Inc. 2010. Viitattu 1.4.2011.  
[http://www.artec3d.com/3d\\_scanners/artec-l](http://www.artec3d.com/3d_scanners/artec-l)

Artec Group Inc. 2010. Artec 3D Scanner v0.6 Users guide. Viitattu 1.4.2011.

Dassault systemes. 2010. Viitattu 10.5.2011.  
<http://www.3ds.com/products/catia/portfolio/catia-v5/catia-v5r20/>

Geodetic Systems, Inc. 2006. The Basics of Photogrammetry. Viitattu 5.5.2011.  
<http://www.geodetic.com/whatis.htm>

Geomagic Inc. 2010. Viitattu 27.4.2011. <http://www.geomagic.com/en/products/>

Górski F, Kuczko W, Wichniarek R, Zawadzki P. 2010. APPLICATION OF CLOSE-RANGE PHOTOGRAMMETRY IN REVERSE ENGINEERING. Viitattu 20.4.2011.

Insinööritoimisto Proline Oy. 2010. Viitattu 12.4.2011. <http://www.pro-line.fi/index.html>

Mikhail, E. M. ja Bethel, J.S. 2001. Introduction to Modern Fotogrammetry. Viitattu 22.4.2011

Photomodeler. n.d. Viitattu 26.4.2011. <http://www.photomodeler.com/kb/>

Ruohonen S. 2007. FARO LS 880–laserkeilain vapaan keilainaseman menetelmässä. Opinnäytetyö. Tampereen amk, rakennustekniikan koulutusohjelma. Viitattu 20.3.2011.

Rämö T. 2010. Pikamallinnuksen sovellukset ja toiminnan kehittäminen. Opinnäytetyö. Kymenlaakson amk, kone – ja tuotantotekniikka. Viitattu 5.4.2011.

Vinni P. 2003. Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa – Mitä on fotogrammetria? Viitattu 22.4.2011. <http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm>

Walford A. 2007. Photogrammetry. Viitattu 24.4.2011.  
<http://www.photogrammetry.com/>