

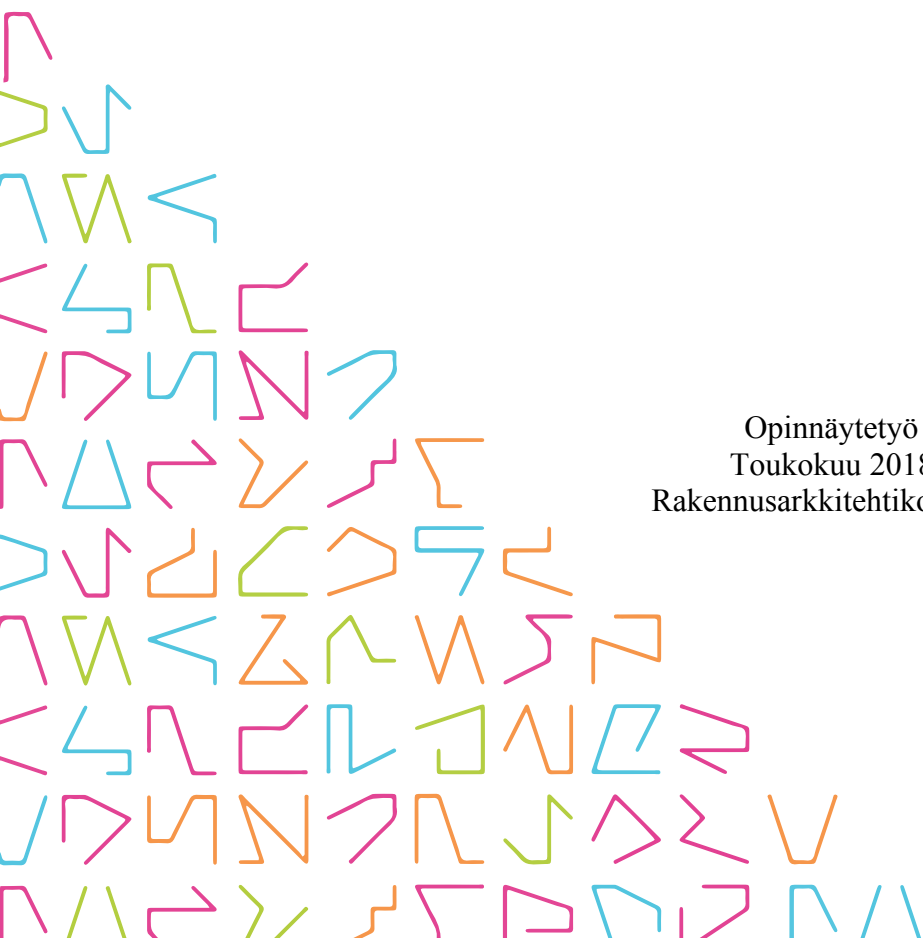


TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# ARKKITEHDIN MANUAALI LASERSKANNAUKSEEN

Maiju Lahikainen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2018  
Rakennusarkkitehtikoulutus



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennusarkkikoulutus

LAHIKAINEN, MAIJU:  
Arkkitehdin manuaali laserskannaukseen

Opinnäytetyö 54 sivua  
Toukokuu 2018

---

Tämä opinnäytetyö käsittelee 3D-laserskannausta ja sen hyödyntämistä erilaisissa rakennusprojekteissa. Korjausrakentamisen osuus arkkitehtisuunnittelussa kasvaa koko ajan. Korjaussuunnittelu on arkkitehdille vaativaa, sillä suunnittelussa täytyy ottaa olemassa olevat rakenteet huomioon. Näiden dokumentointi on yleisesti ollut hyvin vajavaista nykyvaateisiin nähden. Laserskannaus on apuväline aikataulussa pysymiseen, suunnittelun tarkkuuteen ja eri vaiheiden dokumentointiin.

Uudisrakentamisen haasteita ovat rakenteiden monimutkaiset muotokielet ja vaativat kohteet. Kiristyneet aikataulut aiheuttavat minimaalisen marginaalin virheille myös uudisrakentamisen puolella. Laserskannausta voidaan hyödyntää monipuolisesti hankkeiden eri vaiheissa tavoin, joita harvat alan ammattilaiset ymmärtävät.

Työssä käydään yleisesti läpi laserskannausta: mitä se on ja millä laitteilla ja ohjelmilla tarvittavaa dataa tuotetaan. Työssä esitellään myös eri vaihtoehtoja, miten arkkitehdit voivat hyödyntää pistepilvimallia. Laserskannausta hyödynnettiin opinnäytetyön yhteydessä kolmeen eri projektiin yhteistyössä BST-Arkkitehdit Oy:n kanssa. Näitä projekteja käytiin läpi eri suunnittelutahojen näkökulmista. Tämän lisäksi työ sisältää maailmalla toteutettujen projektien esittelyitä, joissa laserskannausta on pidetty erittäin positiivisena.

Työn tekijän oma käsitys siitä, että laserskannausta hyödynnetään rakennusalalla edelleen aivan liian vähän sen hyötyihin nähden, vahvistui työn tekemisen myötä. Suunnittelijoiden tietämättömyys sekä huonot kokemukset aikaisemmin jarruttavat laserskannauksen käytön yleistymistä rakennusalalla. Jotta laserskannauksen käyttö alalla saadaan osaksi suunnittelurutiinia, pitää tietoutta asiasta lisätä.

---

Asiasanat: 3D-laserskannaus, pistepilvi, korjausrakentaminen, uudisrakentaminen

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Construction architecture

LAHIKAINEN, MAIJU:  
Architect's Manual to Laser Scanning

Bachelor's thesis 54 pages  
May 2018

---

This thesis is designed to cover laser scanning and point clouds from an architect's point of view. Laser scanning is still severely underused in construction projects in Finland. Reasons for that are unawareness of the subject and past bad experiences. Laser scanning has come a long way in the past years and is now a tool that architects should include in their everyday design.

In renovation projects the original data is often insufficient. Traditional methods for documenting the premises leave a big margin for error. With laser scanning this error can be minimized and it speeds up the design process. In newbuild challenges come from the complicated structures and forms. Even with newbuild projects there are multiple ways to utilize laser scanning not just in design but through the whole construction process.

Laser scanning is covered in this thesis in general, what it is and what devices and programs are used with it. In addition, there are three different projects that have benefitted from the use of laser scanning, carried out in collaboration with BST-Architects. Different projects around the world are also introduced to show the various ways on how to benefit from laser scanning.

---

Key words: 3D laser scanning, point cloud, renovation projects, newbuild

## SISÄLLYS

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO .....  | 7  |
| 2 | 3D- LASERSKANNAUKSEN PERIAATTEET .....                    | 8  |
|   | 2.1 Laserskannerit.....                                   | 8  |
|   | 2.2 Skannausten asetukset.....                            | 9  |
|   | 2.3 Maalaserskannerin käyttörajoitukset .....             | 13 |
|   | 2.4 Skannausten yhdistys eri tähysmuodoilla .....         | 14 |
|   | 2.4.1 Keinotekoiset tähykset.....                         | 15 |
|   | 2.4.2 Satelliittipaikannus .....                          | 19 |
|   | 2.4.3 Pintojen tunnistaminen .....                        | 19 |
|   | 2.4.4 Cloud to Cloud-toiminto.....                        | 19 |
|   | 2.5 Raakadatan työstö .....                               | 20 |
|   | 2.6 Pistepilven käyttö 3D-mallinnusohjelmissa .....       | 20 |
|   | 2.7 Pistepilven käyttöä edistävät liitännäisohjelmat..... | 21 |
|   | 2.7.1 Faro PointSense.....                                | 22 |
|   | 2.7.2 Faro VirtuSurv.....                                 | 23 |
|   | 2.7.3 SendtoRevit.....                                    | 24 |
| 3 | KORJAUSRAKENTAMINEN .....                                 | 25 |
| 4 | UUDISRAKENTAMINEN.....                                    | 27 |
| 5 | PISTEPILVEN KÄYTTÖ SUUNNITTELUSSA .....                   | 28 |
|   | 5.1 Työalueiden rajausta.....                             | 28 |
|   | 5.2 Selvitys pistepilven käytöstä .....                   | 29 |
|   | 5.3 Laserskannaus ja siinä huomioitavat seikat.....       | 29 |
| 6 | OMAT KOHTEET.....   | 31 |
|   | 6.1 Koskikeskuksen julkisivusaneeraus.....                | 31 |
|   | 6.1.1 Kohteen laserskannaus.....                          | 31 |
|   | 6.1.2 Suunnittelijoiden palaute .....                     | 34 |
|   | 6.2 K-Supermarketin tilojen saneeraus.....                | 36 |
|   | 6.2.1 Kohteen laserskannaus.....                          | 36 |
|   | 6.2.2 Suunnittelijoiden palaute .....                     | 37 |
|   | 6.3 Ullakon muuttaminen asunnoksi .....                   | 39 |
|   | 6.3.1 Kohteen laserskannaus.....                          | 40 |
|   | 6.3.2 Suunnittelijoiden palaute .....                     | 41 |
| 7 | KOHTEET ULKOMAILLA .....                                  | 43 |
|   | 7.1 Tilden Coil Constructors – yrityksen kohteet.....     | 43 |
|   | 7.1.1 Yrityksen tausta laserskannauksessa .....           | 43 |
|   | 7.1.2 LVIS- järjestelmien sovitukset seinäin .....        | 43 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 7.1.3 | Esiintymistilan ilmastoinnin mitoitus.....    | 44 |
| 7.1.4 | Yksityiskoulun pohjapiirrokset.....           | 45 |
| 7.2   | Milwaukeen historiallinen saneerauskohde..... | 45 |
| 7.3   | Kalifornian terveysaseman lattiavalu.....     | 47 |
| 7.4   | Aiguillesin sairaalan dokumentointi.....      | 48 |
| 7.5   | Iowan lastensairaalan installaatio.....       | 50 |
| 8     | POHDINTA.....                                 | 53 |
|       | LÄHTEET.....                                  | 54 |

**ERITYISSANASTO**

|                  |   |
|------------------|---|
| 3D               | three dimensional, kolmiulotteinen  |
| 3D-laserskannaus | kolmiulotteinen etäisyydenmittaus laserin avulla  |
| Georeferointi    | pistepilvitiedon sijoittaminen haluttuun koordinaatistoon   |
| GNSS             | global navigation satellite system, maailmanlaajuinen satelliittipaikannus                            |
| GPS              | global positioning system, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä                                |
| Inventointimalli | lähtötilanteen dokumentoiva alkumalli   |
| Kohina           | pistepilveen kuulumaton satunnaissignaali   |
| Lasermitta       | lasersäteen avulla etäisyyksiä mittaava mittalaite  |
| Pistepilvi       | laserskannausten tuottama kolmiulotteinen pistejoukko   |
| Skannausasema    | laserskannerin sijainti skannauksen aikana  |
| Takymetri        | maanmittauksessa käytettävä mittalaite, jolla saadaan lasketua pisteille sijainnit koordinaatistoissa |
| Vektorointi      | objektien muuttamista muotoon, jossa sen laatu ei muutu skaalattaessa                                 |

## 1 JOHDANTO

Korjaussuunnittelukohteet ovat haastavia vajavaisten tai jopa puuttuvien lähtötietojen vuoksi. Paperisten lähtötietojen käyttö esimerkiksi PDF-dokumentteina tai vektoroituina formaatteina antavat pohjan suunnittelulle, mutta sisältävät kuitenkin virhemarginaalia. Kohteesta riippuen suunnittelu voi vaatia jopa millimetrin tarkkuutta. Pohjaamalla suunnittelu paperisiin piirroksiin ja käsin tehtyihin mittauksiin on tällainen tarkkuus lähes mahdotonta. Jotta toimintaa voidaan tehostaa ja työmaa-aikaiset virheet saadaan minimoitua, tarvitaan keinoja, joilla korjausrakentamisessa päästään tällaiseen suunnittelu-tarkkuuteen.

Uudisrakentamista haastaa muun muassa materiaalien monipuolistuminen, jonka kautta entistä haastavampia rakenteita on mahdollista suunnitella ja toteuttaa. Teknologian hyödyntäminen suunnittelupuolella lisääntyy koko ajan, mutta etenkin toteutuksessa teknologiaa hyödynnetään liian vähän. Teknologian lisäys toteutuksen eri ratkaisuihin auttaa aikataulussa pysymisessä ja suunnitteluvirheiden minimoimisessa. Laserskannausta voidaan hyödyntää myös uudisrakentamisen puolella monin eri tavoin.

Tässä työssä käydään läpi, kuinka laserskannauksella saadaan aikaan erittäin tarkkaa tietoa rakennuskohteista. Laserskannaukseen liittyviä laitteita ja ohjelmistoja kehitetään koko ajan. Tämän manuaalin tavoitteena on tiedottaa lukijalle, miten laserskannaus ja pistepilven käyttö hyödyttää arkkitehtisuunnittelua.

## 2 3D- LASERSKANNAUKSEN PERIAATTEET

Laserskannaus on ympäristön etämittausten menetelmä, jossa hyödynnetään lasersädettä ja kolmiulotteista X-, Y-, Z-koordinaatistoa. Laserskannaus tunnetaan myös nimellä laserkeilaus. Skannauksen nollapisteenä toimii lasersäteen lähtöpiste eli itse laserskanneri. Laserskannauksista saadaan aikaan 3D-pistepilvi. (Tammi 2016)

Laserskannerilla tehtyjen skannausten lopputulos tiedon käsittelyn jälkeen on niin kutsuttu pistepilvi. Pistepilvi on numeerista tietoa, joka muodostuu miljoonista yksittäisistä pisteistä. Laserskanneri laskee jokaiselle pisteelle tarkan sijainnin koordinaatistossa sekä heijastusvoimakkuuden eli heijastaneen pinnan suhteellisen intensiteetin. Tämä tiheä pistepilvijoukko havaitaan tietokonegrafiikan avulla visuaalisena toisintona kuvaamastaan ympäristöstä. (ProDigiOUs 2018)

Useat skannerit sisältävät kameran, jolloin pistepilven skannauksen yhteydessä laite ottaa ympäristöstään panoraamavalokuvia. Valokuvien avulla pisteet voidaan värjätä RGB-koodien mukaan, jolloin myös pistepilvestä saadaan tuotettua värillinen versio. (Tammi 2016)

### 2.1 Laserskannerit

Laserskannerin, toiselta nimeltään laserkeilain, toiminta perustuu laitteen lähettämään laseriin. Skanneri lähettää lasersäteen, joka kohteeseen osuessaan heijastuu takaisin laitteeseen. Skanneri laskee heijastuneen pisteen sijainnin koordinaatistossa. (Tammi 2016)

Sijainnin määrittämisessä yleisimmät tekniikat ovat pulssilaser ja vaihe-erolaser. Vaihe-erolaserit ovat tarkempia, jonka vuoksi rakennusalalla hyödynnetään kyseisiä skannereita. Vaihe-erolasereiden kantama on pulssilasereita pienempi, joskin alan kehityksen myötä vaihe-erolasereiden kantama kasvaa koko ajan. (Tammi 2016)

Laserskannereita löytyy mm. ilma-alusversioina (”drone”), käsikäyttöisinä skannereina ja ajoneuvoskannereina. Rakennusalalla tällä hetkellä käytetyin skanneri on maalaserskanneri ja siksi tässä työssä keskitytään maalaserskannerin käyttöön.



Tässä työssä tehtyjen laserskannausten teossa on käytetty Faron Focus<sup>3D</sup> X330 -maalaserskanneria (kuva 1). Kyseinen malli soveltuu vaativien kohteiden mittaukseen sekä sisällä että ulkona.



KUVA 1. Faron Focus<sup>3D</sup> X330-maalaserskanneri (Maiju Lahikainen 2018)

## 2.2 Skannausten asetukset

Skannausasetuksista löytyy kuusi pääkohtaa (kuva 2). Skannauksille tulee määritellä

- olosuhdeprofiili
- resoluutio ja tarkkuus
- horisontaalinen ja vertikaalinen asteikko
- sensorien valinta
- värillisen/värittömän skannauksen valinta
- värimäärittely.

Olosuhdeprofiili ja resoluution ja tarkkuuden määrittely vaihtelevat kohteen mukaan, muut arvot ovat monesti vakioita. Näistä alla tarkemmin.



KUVA 2. Laserskannerin asetusten yleisnäkymä (Maiju Lahikainen 2018)

Skannausympäristö tulee määrittää neljästä eri vaihtoehdosta (kuva 3)

- sisätila alle 10 metriä
- sisätila yli 10 metriä
- ulkotila alle 20 metriä
- ulkotila yli 20 metriä.



KUVA 3. Skannausolosuhteiden määrittäminen (Maiju Lahikainen 2018)

Asetus pitää määritellä mahdollisimman tarkkaan ottaen huomioon koko skannaussarja kokonaisuutena. Olosuhteen voi valita myös valmiiksi luoduista tai itse kustomoiduista profiileista (Focus<sup>3D</sup> X330 2015, 44). Suositeltavaa on kuitenkin määrittää asetukset itse.

Resoluutiolla ja laadulla määritellään skannausten laatua ja nopeutta (kuva 4). Resoluutiolla määritetään kuinka monta miljoonaa pistettä yksittäinen skannaus sisältää. Molemmat vaikuttavat skannauksen keston (taulukko 1 ja 2, Focus<sup>3D</sup> X330 2015). Nämä asetukset pitää optimoida kohteen ja käyttötarkoituksen mukaisesti. (Focus<sup>3D</sup> X330 2015, 44)



KUVA 4. Skannauksen resoluution ja tarkkuuden määrittely (Maiju Lahikainen 2018)

TAULUKKO 1. Resoluution ja laadun vaikutukset skannaukseen 1/2 (Focus<sup>3D</sup> X330 2015)

| <i>Resolution</i>               |     | <i>Quality</i> | <i>Speed<br/>(kpt/sec)</i> | <i>Noise<br/>Compression</i> | <i>Net Scan<br/>Time<br/>(full scan)</i> | <i>pt/360°</i> |
|---------------------------------|-----|----------------|----------------------------|------------------------------|--|----------------|
| <i>Mio. Pts<br/>(full scan)</i> |     |                |                            |                              |  |                |
| 710.7                           | 1/1 | 1x             | 976                        | -                            | 0:14:19                                  | 40,960         |
| 710.7                           | 1/1 | 2x             | 488                        | -                            | 0:28:38                                  | 40,960         |
| 710.7                           | 1/1 | 3x             | 244                        | -                            | 0:57:16                                  | 40,960         |
| 710.7                           | 1/1 | 4x             | 122                        | -                            | 1:54:32                                  | 40,960         |
| 177.7                           | 1/2 | 1x             | 976                        | -                            | 0:03:35                                  | 20,480         |
| 177.7                           | 1/2 | 2x             | 488                        | -                            | 0:07:09                                  | 20,480         |
| 177.7                           | 1/2 | 3x             | 244                        | -                            | 0:14:19                                  | 20,480         |
| 177.7                           | 1/2 | 4x             | 122                        | -                            | 0:28:38                                  | 20,480         |
| 177.7                           | 1/2 | 6x             | 122                        | 2x                           | 1:54:32                                  | 20,480         |
| 44.4                            | 1/4 | 1x             | 976                        | -                            | 0:00:54                                  | 10,240         |
| 44.4                            | 1/4 | 2x             | 488                        | -                            | 0:01:47                                  | 10,240         |
| 44.4                            | 1/4 | 3x             | 244                        | -                            | 0:03:35                                  | 10,240         |
| 44.4                            | 1/4 | 4x             | 122                        | -                            | 0:07:09                                  | 10,240         |
| 44.4                            | 1/4 | 6x             | 122                        | 2x                           | 0:28:38                                  | 10,240         |
| 44.4                            | 1/4 | 8x             | 122                        | 4x                           | 1:54:32                                  | 10,240         |
| 28.4                            | 1/5 | 2x             | 488                        | -                            | 0:01:09                                  | 8,192          |

TAULUKKO 2. Resoluution ja laadun vaikutukset skannaukseen 2/2 (Focus<sup>3D</sup> X330 2015)

| Resolution              |      | Quality | Speed<br>(kpt/sec) | Noise<br>Compression | Net Scan<br>Time<br>(full scan) | pt/360° |
|-------------------------|------|---------|--------------------|----------------------|---------------------------------|---------|
| Mio. Pts<br>(full scan) |      |         |                    |                      |                                 |         |
| 28.4                    | 1/5  | 3x      | 244                | -                    | 0:02:17                         | 8,192   |
| 28.4                    | 1/5  | 4x      | 122                | -                    | 0:04:35                         | 8,192   |
| 28.4                    | 1/5  | 6x      | 122                | 2x                   | 0:18:20                         | 8,192   |
| 11.1                    | 1/8  | 2x      | 488                | -                    | 0:00:27                         | 5,120   |
| 11.1                    | 1/8  | 3x      | 244                | -                    | 0:00:54                         | 5,120   |
| 11.1                    | 1/8  | 4x      | 122                | -                    | 0:01:47                         | 5,120   |
| 11.1                    | 1/8  | 6x      | 122                | 2x                   | 0:07:09                         | 5,120   |
| 11.1                    | 1/8  | 8x      | 122                | 4x                   | 0:28:38                         | 5,120   |
| 7.1                     | 1/10 | 3x      | 244                | -                    | 0:00:34                         | 4,096   |
| 7.1                     | 1/10 | 4x      | 122                | -                    | 0:01:09                         | 4,096   |
| 7.1                     | 1/10 | 6x      | 122                | 2x                   | 0:04:35                         | 4,096   |
| 7.1                     | 1/10 | 8x      | 122                | 2x                   | 0:18:20                         | 4,096   |
| 2.8                     | 1/16 | 3x      | 244                | -                    | 0:00:13                         | 2,560   |
| 2.8                     | 1/16 | 4x      | 122                | -                    | 0:00:27                         | 2,560   |
| 2.8                     | 1/16 | 6x      | 122                | 2x                   | 0:01:47                         | 2,560   |
| 2.8                     | 1/16 | 8x      | 122                | 4x                   | 0:07:09                         | 2,560   |
| 1.8                     | 1/20 | 4x      | 122                | -                    | 0:00:17                         | 2,048   |
| 1.8                     | 1/20 | 6x      | 122                | 2x                   | 0:01:09                         | 2,048   |
| 1.8                     | 1/20 | 8x      | 122                | 4x                   | 0:04:35                         | 2,048   |
| 0.7                     | 1/32 | 4x      | 122                | -                    | 0:00:07                         | 1,280   |
| 0.7                     | 1/32 | 6x      | 122                | 2x                   | 0:00:27                         | 1,280   |
| 0.7                     | 1/32 | 8x      | 122                | 4x                   | 0:01:47                         | 1,280   |

Skannattaessa resoluutiolla 1/5 ja laadulla 3x, yksittäisen skannaustiedoston koko vaihtelee arviolta välillä 112-147 Mt. Tällaisen skannauksen kokonaiskesto on noin 6,5 minuuttia. Skannattaessa resoluutiolla 1/4 ja laadulla 3x, yksittäinen skannaustiedosto on noin 189-225 Mt. Tällainen skannaus kestää yhteensä noin 12 minuuttia.

### 2.3 Maalaserskannerin käyttörajoitukset

Ympäristön sääolosuhteet vaikuttavat laserskannerin käyttöön. Ilman lämpötilalle on ohjeissa asetettu suositus- ja maksimiarvolle sekä ylä- että alaraja. Suositeltu lämpötila-alue on 5-40°C (Focus<sup>3D</sup> X330 2015, 106). Jos suositus alittuu tai ylittyy, skanneri varoittaa tästä, sillä lämpötila voi vaikuttaa skannauksen tarkkuuteen. Jos maksimiarvo alitetaan

tai ylitetään, sulkeutuu skanneri itsestään välttääkseen mahdolliset lämpötilasta koituvat vauriot. (Focus<sup>3D</sup> X330 2015, 56)

Jos epäillään, että laitteen sisälle voi kondensoitua kosteutta esimerkiksi suurien lämpötilaerojen vuoksi, ei laitetta saa käynnistää. Mahdollisuudet kosteuden kondensoitumiseen tulee ennakoida etukäteen. Jos näin kuitenkin käy, tulee kondensoituneen veden kuivuminen varmistaa ennen laitteen käyttöönottoa. (Focus<sup>3D</sup> X330 2015, 56)

Skannausta pölyisissä, usvaisissa, sateisissa tai lumisateisissa olosuhteissa tulee välttää, sillä skannaustulosten tarkkuutta ei voida taata. Laite itsessään kestää kosteutta, mutta laseria heijastavan peilipinnan kostuessa tarkkuus huononee merkittävästi ja kohina lisääntyy. (Focus<sup>3D</sup> X330 2015, 56)

Suuresti absorboivat/heijastavat pinnat lisäävät skannausten kohinaa. Jos tällaisia pintoja on skannattavalla alueella paljon, tulee niiden suojausta harkita. (Focus<sup>3D</sup> X330 2015, 56)

Kohteen koolle ei ole ylärajaa skannerin toimivuudessa. Skannauksia voi tehdä ympäristöstä niin monta kuin projekti vaatii. Rajoitukset tulevat datan käsittelyvaiheessa. Mitä enemmän skannauksia työ sisältää, sitä isompi tiedostosta tulee. Useita kymmeniä skannauksia sisältävä työ vaatii työstössä käytettävältä tietokoneelta suurta suorituskykyä. Jos prosessissa käytetyt tietokoneet ovat huippuluokkaa ja työstö pystytään optimoimaan ammattimaisesti, voi yksi projekti sisältää jopa tuhansia skannauksia. (Fauconnet, Truwant 2016)

## **2.4 Skannausten yhdistys eri tähysmuodoilla**

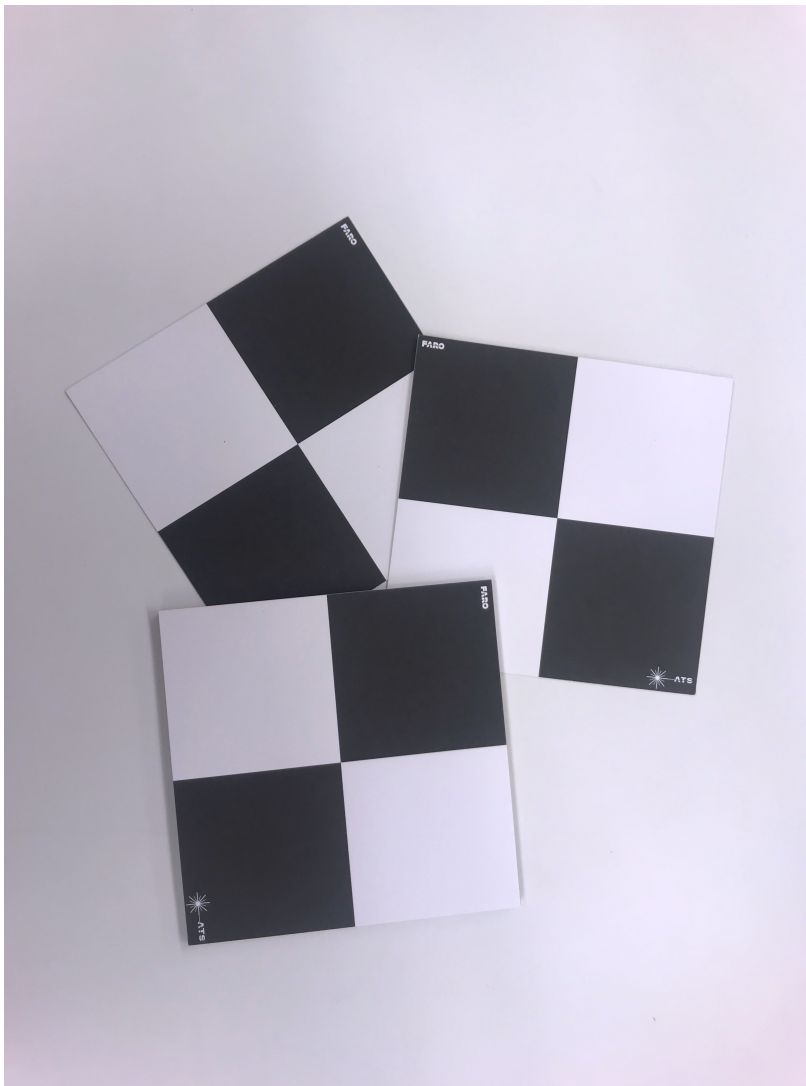
Kun työ käsittää monta skannausta, tulee skannaukset liittää toisiinsa ennalta määrätyllä tavalla. Jo skannausta suunniteltaessa on otettava huomioon kohteen optimaalisin tapa yhdistää skannaukset. Kahdella toisiinsa yhdistettävällä skannauksella tulee olla vähintään kolme yhteistä tähystä. Mitä enemmän skannausten välillä on yhdistäviä tekijöitä, joita voidaan käyttää yhdistämisessä hyödyksi, sitä tarkempi skannausten sijainnista toisiinsa nähden tulee. Skannausten yhdistämiseen on useita eri tapoja.

### 2.4.1 Keinotekoiset tähykset

Skanneri ymmärtää keinotekoisina tähyksinä sekä täyspyöreät objektit (kuva 5) että shakkilautakuvioinnin (kuva 6). Pallomaisia tähyksiä on erikokoisia. Mitä isompi pallotähyks on, sitä kauempaa skanneri pystyy tunnistamaan sen. Käyttämällä keinotekoisia tähyksiä oikein saadaan skannaukset yhdistettyä toisiinsa erityisen tarkkaan.



KUVA 5. Skannausteen yhdistämiseen käytettäviä pallotähyksiä (Maiju Lahikainen 2018)



KUVA 6. Skannausten yhdistämiseen käytettäviä shakkilautakuvioituja tähyksiä (Maiju Lahikainen 2018)

Tähysten ja skannerin välissä ei saa olla laserskannauksen aikana esteitä. Tähykset tulee sijoittaa mahdollisimman hajanaisesti skannausasemien näkyvyysalueen sisällä. Mitä suurempi hajonta näiden keinotekoisien tähysten välillä on sekä vertikaali- että horisontaalisuunnassa, sitä tarkemmin skannaukset saadaan yhdistettyä (kuva 7).

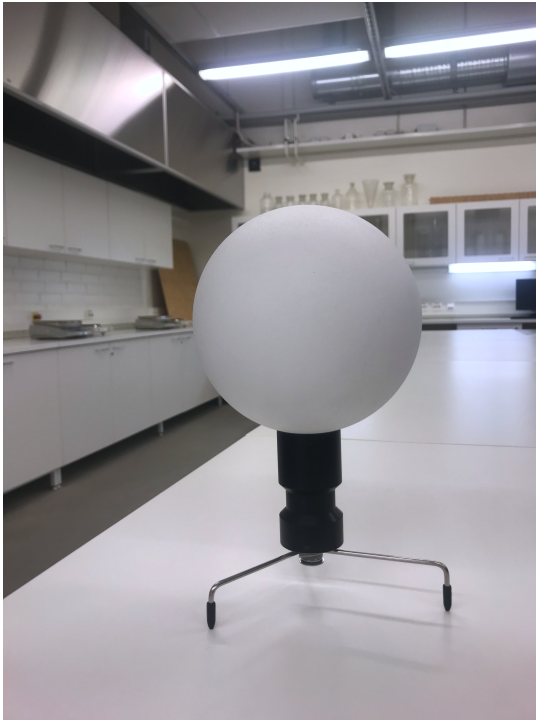




KUVA 7. Tähyksen käytön havainnointia pistepilvestä (Maiju Lahikainen 2018)

Shakkiruutukuvioinnit voidaan sijoittaa mihin tahansa suoraan pintaan. Mitä pidemmälle shakkitähyks tulee skannausasemista, sitä suurempi sen kannattaa olla.

Pallotähyksen sijoittamiseen on kolme vaihtoehtoa, maastokolmijalka, pöytäkolmijalka ja magneetti. Kolmijalalla pallotähykset saadaan sijoitettua esteettömästi horisontaalipinnoille (kuva 8). Magneetin avulla tähyksen sijoitus metallisiin vertikaalipintoihin on myös mahdollista (kuva 9). Maastokolmijalalla tähyksiä saadaan sijoitettua vaihtelevaan maastoon ulkona. Myös laserskanneria voi käyttää haastavissa kohteissa maastokolmijalalla.



KUVA 8. Pallotähys kolmijalalla (Maiju Lahikainen 2018)



KUVA 9. Pallotähys magneetilla metallipinnassa (Maiju Lahikainen 2018)

Tärkeintä tarkan rekisteröinnin saavuttamiseksi on, etteivät tähykset pääse liikkumaan niitä hyödynnettäessä eri skannausten välillä. Tästä syystä suositellaan käyttämään kahden skannauksen välillä vähintään neljää tähystä, jotta rekisteröinnin kannalta on liikkumavaraa, jos yksittäinen tähykset liikkuu skannausten aikana.

### 2.4.2 Satelliittipaikannus

Monet maalaserskannerit sisältävät jonkinlaisen satelliittipaikantimen. Faron skanneissa on GPS-paikannus. Skanneri hakee skannattaessa automaattisesti raakasijainnit skannausasemille, jolloin tarkkuus määräytyy noin kahden metrin tarkkuudella. Satelliittipaikannusta voi hyödyntää vain ulkoilmaskannauksissa. Raakasijainnin luonti satelliittipaikantimella auttaa skannausten yhdistämisessä, mutta skannausten yhdistämistä ei kuitenkaan kannata pohjata pelkästään satelliittipaikannukseen.

Jos skannausdatan koordinaatisto halutaan asettaa vastaamaan valtakunnallista koordinaatistoa, pitää työlle antaa riittävä määrä referenssipisteitä jotka ovat kyseenomaisessa koordinaatistossa. Tämä niin kutsuttu georeferointi tapahtuu esimerkiksi mittaamalla tähyisten sijainteja takymetrillä. (Tammi 2016, 13-14)

### 2.4.3 Pintojen tunnistaminen

Skannaukset tunnistavat selkeitä pintoja. Skannausten yhdistämisessä voi käyttää hyödyksi suuria seinä-, lattia- ja kattopintoja, jos eri skannausasemilta saadaan samoja pintoja rekisteröityä. Pintojen tunnistamista ei kannata käyttää ainoana rekisteröintikeinona, vaan muiden yhdistämiskeinojen apuvälineenä.

### 2.4.4 Cloud to Cloud-toiminto

Yksittäinen skannaus skannaa asetusten mukaan tietyn alueen skannausaseman ympäriltä. Jos yhdistettävillä skannauksilla on tarpeeksi päällekkäisyyttä, voidaan skannaukset yhdistää toisiinsa cloud to cloud-toiminnolla. Cloud to cloud-toiminto yhdistää skannauksia toisiinsa sillä periaatteella, että eri skannaukset skannaavat samaa aluetta ”kahdesti”, jolloin tarvittavan päällekkäisyyden avulla skannaukset saadaan lukittua toisiinsa nähden oikein. Cloud to cloud-toiminto vaatii siis toimiakseen hyvää päällekkäisyyttä skannausten välillä.

## 2.5 Raakadatan työstö

Faron skannereiden raakadataa työstetään Faron omalla Scene-ohjelmistolla. Scene-ohjelmistolla tulee vähintään rekisteröidä ja yhdistää skannaukset, lisätä värit skannauksiin ja luoda pistepilvi.

Pistepilveä hienosäädetään tapauskohtaisesti. Karkein tapa on putsata pilvestä ylimääräiset/turhat pisteet ja pienentää näin tiedostokokoa. Tämän vaiheen voi toteuttaa jo muissa ohjelmissa, myös ilmaisohjelmia löytyy (esimerkiksi CloudCompare).

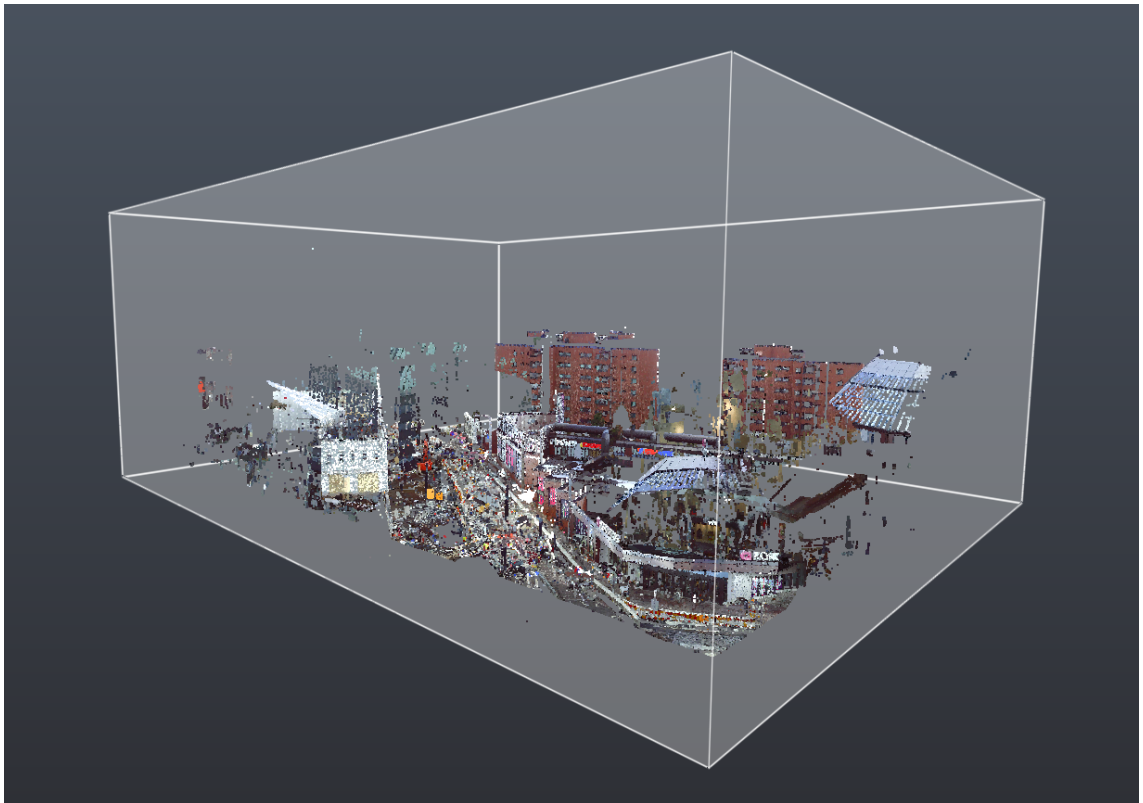
Tarvittaessa pistepilvistä pystyy putsamaan pois mm. kaikki keinotekoiset tähykset ja skannauksiin mukaan tulleet ihmiset. Pistepilviympäristöstä voi Scenessä luoda myös videoita. Henkilön, joka suorittaa laserskannaukset, kannattaa suorittaa myös raakadatan työstö, sillä laserskannerit ja rekisteröintiohjelmat ovat kytköksissä toisiinsa.

## 2.6 Pistepilven käyttö 3D-mallinnusohjelmissa

Pistepilveä voi hyödyntää Graphisoftin Archicadissa ja Autodeskin Revitissä. Archicadiin lisättyinä pistepilvi käyttäytyy objektin lailla. Pistepilvi ei ole Archicadissa muokattavissa, mutta pistepilven sijaintia saa muutettua ja objektia käännettyä. Pistepilvestä saa leikkauksia, pohjia ja julkisivuja, joita hyödyntäen kohteen voi mallintaa.

Revitissä pistepilviominaisuudet on viety huomattavasti pidemmälle kuin Archicadissa. Pistepilveä voi muokata kaikilla ”modify”-komennoilla. Pistepilven siistiminen ja pilven sisällä olevien objektien poisto ei ole Revitissä mahdollista. Tällaiset muokkaukset tulee tehdä ennen pistepilven tuontia mallinnusohjelmaan.

Pistepilven tuontia Revit-ympäristöön suositellaan ReCap Pro-ohjelmistolla, joka kuuluu nykyään AEC-ohjelmistokokonaisuuteen. ReCap Pro:lla suunnittelija voi itse muokata pistepilvimallia (kuva 10). ReCapilla pistepilvimalli voidaan linkittää Revittiin. Näin tiedosto päivittyy automaattisesti muokkauksen yhteydessä kuin mikä tahansa linkitetty tiedosto Revitissä. (Von Bagh 2018)



KUVA 10. Pistepilven rajausta ReCap Pro-ohjelmistossa (Maiju Lahikainen 2018)

Pistepilven vakiintunein tiedostomuoto alalla on e57, sillä se käy useimpiin ohjelmiin (Savisaari 2017). E57-tiedostomuodon voi liittää suoraan Archicadiin, Revitissä e57 tarvitsee tuoda ReCap-ohjelmiston kautta, sillä Revit lukee ainoastaan ReCapin pistepilvi-muotoja rcp ja rcs. ReCap lukee useita pistepilvitiedostomuotoja, jolloin eri valmistajien tiedostomuodot voi tuoda ReCapin avulla Revit-ympäristöön. (Von Bagh 2018)

## 2.7 Pistepilven käyttöä edistävät liitännäisohjelmat

Pistepilven hyödyntämiseen mallinnuksessa on kehitetty useita eri liitännäisohjelmia. Seuraavissa kappaleissa esitellään kolme itsenäistä/liitännäisohjelmaa, jotka helpottavat arkkitehdin suunnitteluprosessia.

### 2.7.1 Faro PointSense

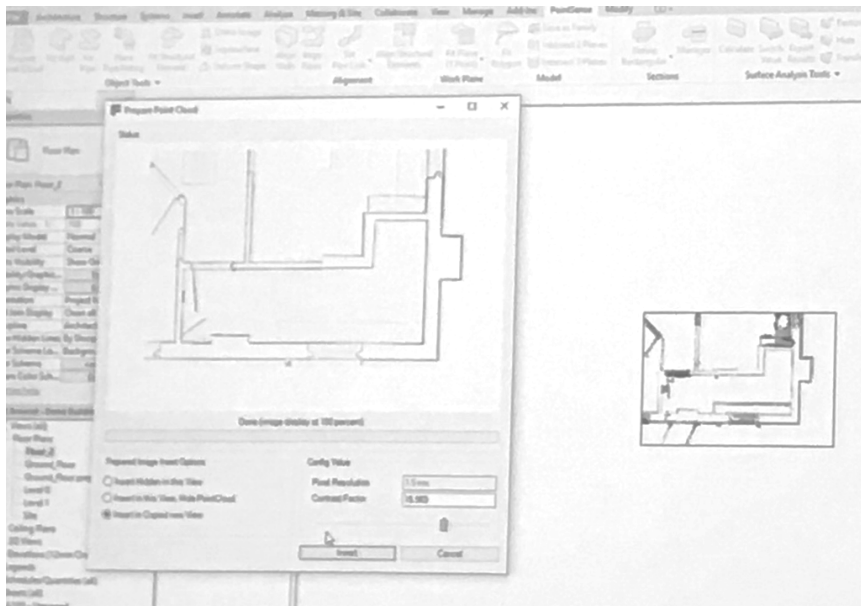
Faro PointSense toimii Revit-ympäristössä. PointSense tukee Autodesk Recap-pistepilvimuotoja (RCS, RCP). Liitännäinen sisältää kustomoituja komentoja mm. seuraavien elementtien mallintamiseen

- Maantasot
- Seinät, ovet ja ikkunat
- Putkistot
- Pilarit, pylväät ja palkit
- Katot, portaat

(Kostamo, Palmer, Svensén 2018)

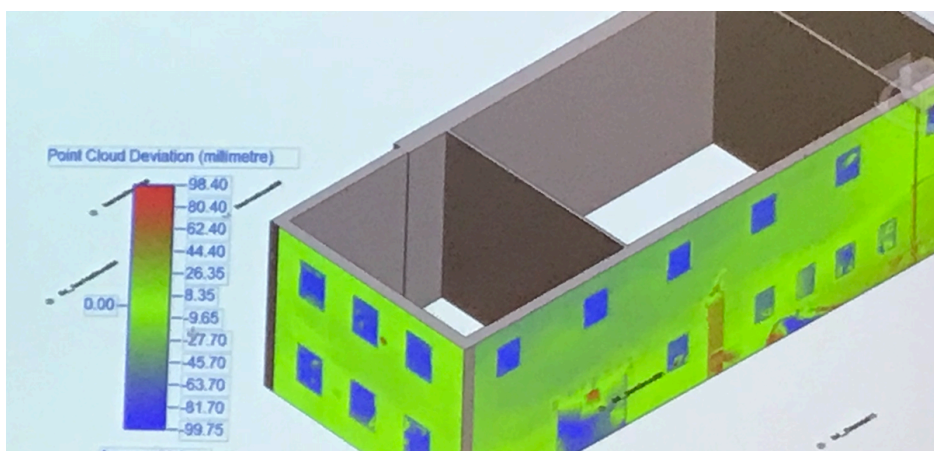
PointSensen avulla on mahdollista mallintaa suoraan pistepilvestä 3D-rakentamisen ja 3D-kohdetartunnan avulla. PointSensen avulla skannausdataa voi myös prosessoida perhe-editorissa. Liitännäisen avulla pistepilveen tulevaa kohinaa saa vähennettyä ja jo pelkällä pistepilvellä saadaan lähes realistisen näköisiä pohjapiirroksia. (PointSense 2017)

Esimerkkitalanteessa pistepilvessä näkyvä rakennus halutaan mallintaa. Pistepilvi tuodaan Revit-ohjelmaan ja siitä otetaan näkyviin pohjapiirros. Pistepilvi käytetään PointSense-liitännäisen kohinan poiston kautta, jolloin pohjakuvan seinälinjat tarkentuvat (kuva 11). Tämän jälkeen klikataan seinälinjan sisällä alkupisteessä ja loppupisteessä. PointSense hakee seinälinjan, mittaa rakenteen paksuuden ja ehdottaa ohjelmaan valmiiksi ladatuista seinärakenteista paksuudeltaan lähimpää. Ehdotettua rakennetta voi muuttaa. Kun parametrit hyväksyy, mallintaa PointSense vastaavan rakenteen malliin. (Kostamo ym. 2018)



KUVA 11. Pistepilven pohjapiirroksen kohinan poistoa (Maiju Lahikainen 2018)

Mallinnettua ympäristöä ja pistepilveä voi verrata liitännäisessä toisiinsa ja luoda analyysia esimerkiksi seinän kaltevuudesta mallin ja todellisuuden välillä (kuva 12). (Kostamo ym. 2018)



KUVA 12. Mallinnettujen seinien kaltevuuden vertausta todellisuuteen lämpökartalla (Maiju Lahikainen 2018)

## 2.7.2 Faro VirtuSurv

VirtuSurv on Faron kehittämä itsenäinen ohjelma, joka helpottaa pistepilven käyttöä ja nopeuttaa mallintamista. Pistepilveä voi havainnoida VirtuSurv:n kautta, jolloin kaikkea

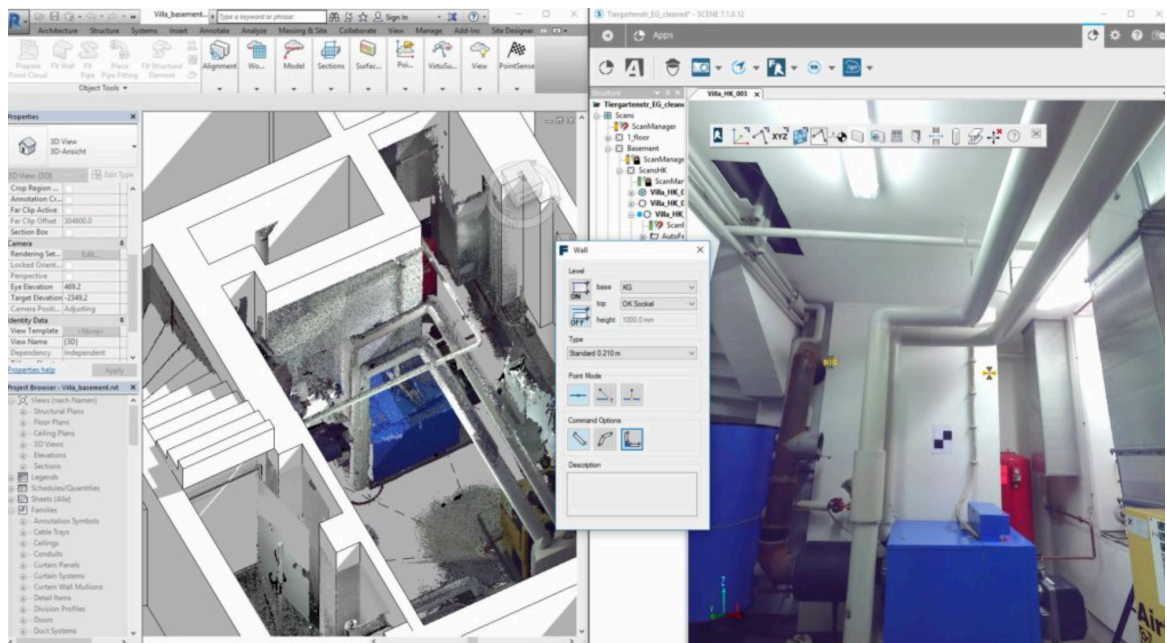
dataa ei tarvitse ladata suoraan mallinnusohjelmaan. VirtuSurv toimii automaattisesti Revitin kanssa yhdessä 3D-mallintamisessa. (VirtuSurv 2017)

Esimerkkitalanteessa on rakennus, jonka ikkuna halutaan mallintaa. VirtuSurvissa aktivoidaan sellainen skannausasema, josta ikkuna näkyy kokonaan. Ikkunasta klikataan toista alakulmaa ja vastakkaista yläkulmaa. Automaattinen tunnistus Revitin kanssa luo yhtäaikaaisesti vastaavan kokoisen ikkunan Revitissä olevaan malliin oikeaan kohtaan. (Kostamo ym. 2018)

VirtuSurvilla pystyy yhdistämään eri skannereilla otetut eri formaateissa olevat skannaukset. Pistepilven ulkonäkö vastaa VirtuSurvissa valokuvaa, jolloin ympäristön havainnointi helpottuu. (VirtuSurv 2018)

### 2.7.3 SendtoRevit

SendToRevit on ilmainen liitännäinen, joka muuntaa Scene-ympäristön toimimaan VirtuSurvin lailla (kuva 13, Faro 2017). Ohjelma vaatii toimiakseen PointSense-liitännäisen Revit-ympäristöön. SendToRevitin avulla minimoidaan ylimääräisten ohjelmien tarve, jos Revit-ympäristöön mallintavalla on hallussaan Scene-lisenssi.



KUVA 13. Sama ympäristö Revitissä (vasemmalla) ja Scenessä (oikealla) (Faro 2017)



### 3 KORJAUSRAKENTAMINEN

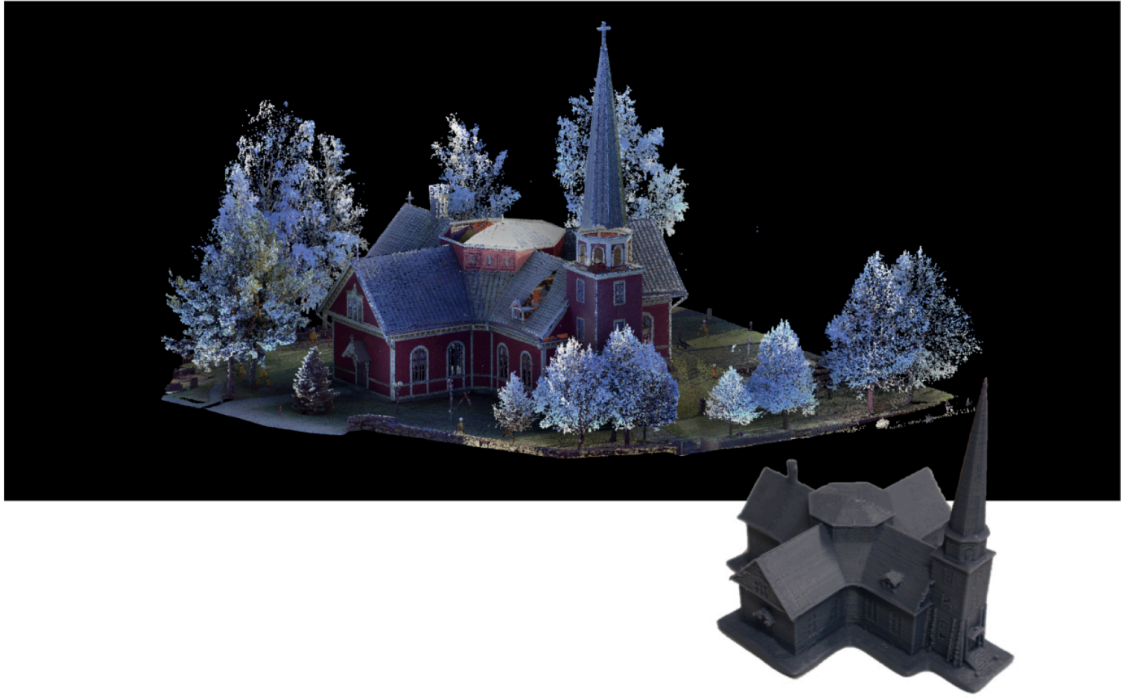
Lähtötiedot ovat korjausrakentamiskohteissa lähes aina puutteellisia. Perustiedot, joita kohteista on olemassa, ovat rakennuspiirustukset ja valokuvat. Joskus lähtötietoja ei ole olemassa lainkaan (esimerkkikohde luvussa 7.1.4). Vaikka rakennuspiirustukset löytyisivät, voivat piirustukset erota suurestikin rakennetusta (esimerkkikohde luvussa 7.2) (Tammi&Tasanen 2017). Piirustukset voivat olla myös alkuperäisten kopioita. Tällöin on mahdollista, että kopiointi on vaikuttanut piirustusten mittatarkkuuteen (Savisaari 2017). Paperipiirustusten osalta myös materiaalin venyminen saattaa aiheuttaa mittaheittoa piirroksiin.

Edelleen paljon käytetty menetelmä kentällä on tehdä tarkistusmittaus paikan päällä. Tätä tietoa verrataan joko olemassa oleviin rakennuspiirustuksiin tai pohjataan mallinnus puhtaasti tähän informaatioon. Sekä perinteisellä rullamitalla että lasermitalla mittaus sisältää paljon epätarkkuutta. Vaikka yksittäinen mittausvirhe olisi millimetrin luokkaa, on kokonaisuuden virhemarginaali sitä suurempi, mitä useampi mittaus tilasta tehdään.

Tarkistusmittauksessa mittausten unohtamisen riski on suuri. Jos kohteeseen tarvitsee palata tekemään tarkastusmittauksia, on se menetettyä työaika mallintamisen parissa. Etenkin, jos mittaukset vaativat erityisiä tekijöitä kuten nostureita tai rakennustelineitä, tulevat toisinnot tarkastusmittauksista kalliiksi.

Korjausrakentamisen kohde on saattanut ajan myötä painua ja muuttaa muotoaan. Tällaisia muutoksia on mahdoton havaita silmin tai käsin tehtyjen mittausten kautta tarkasti.

Kaikkiin näihin ongelmiin pystytään vastaamaan laserskannauksella nykypäivänä. Pistepilvestä saadaan luotua tarkat mallit, joiden mittavirhe pienenee minimiin. Paluuta rakennuspaikalle ei tarvita, sillä kaikki vaadittavat mittaukset ja tarkastukset voi tehdä suoraan pistepilvestä. Rakenteiden elämistä pystytään liitännäisohjelmilla analysoimaan ja huomioimaan näin suunnittelussa (havainnoidaan kohdassa 2.7.1). Tarpeeksi tarkasta pistepilvestä voidaan suoraan tuottaa jopa 3D-tulostettu pienoismalli (kuva 14) (Tammi&Tasanen 2017).



KUVA 14. Pistepilvi ja siitä luotu 3D-malli (Kalle Tammi & Ilkka Tasanen 2017)

## 4 UUDISRAKENTAMINEN

Uudisrakentamisessa laserskannausta voidaan hyödyntää tehostamaan rakennusprosessia ja eliminoimaan suunnitteluvirheiden määrää. Laserskannauksella voidaan nopeuttaa vaadittuihin toleransseihin pääsemistä (esimerkkikohde luvussa 7.3). Suunnitteluvirheiden ennakointi ja ennalta eliminointi voidaan toteuttaa laserskannauksen avulla sekä pienissä että suurissa kohteissa (esimerkkikohde luvussa 7.5).

Kohteen rakentamisen aikana voidaan tehdä törmäystarkastelua pistepilven ja suunnittelun mallin välillä (esimerkkikohteet 7.1.2 ja 7.1.3). Näin voidaan ennalta ehkäistä mittavirheet esimerkiksi paikoissa, joissa LVI-putkistoille suunniteltu tila on tiukka.

Laserskannausta voi käyttää kohteen yleiseen dokumentointiin. Jos kohde laserskannataan valmistumisen jälkeen, voidaan pistepilveä verrata suunnittelussa käytettyyn malliin ja korjata mahdolliset mittapoikkeamat. Näin kohteen tiedot ovat varmasti ajan tasalla tulevissa saneerauksissa.

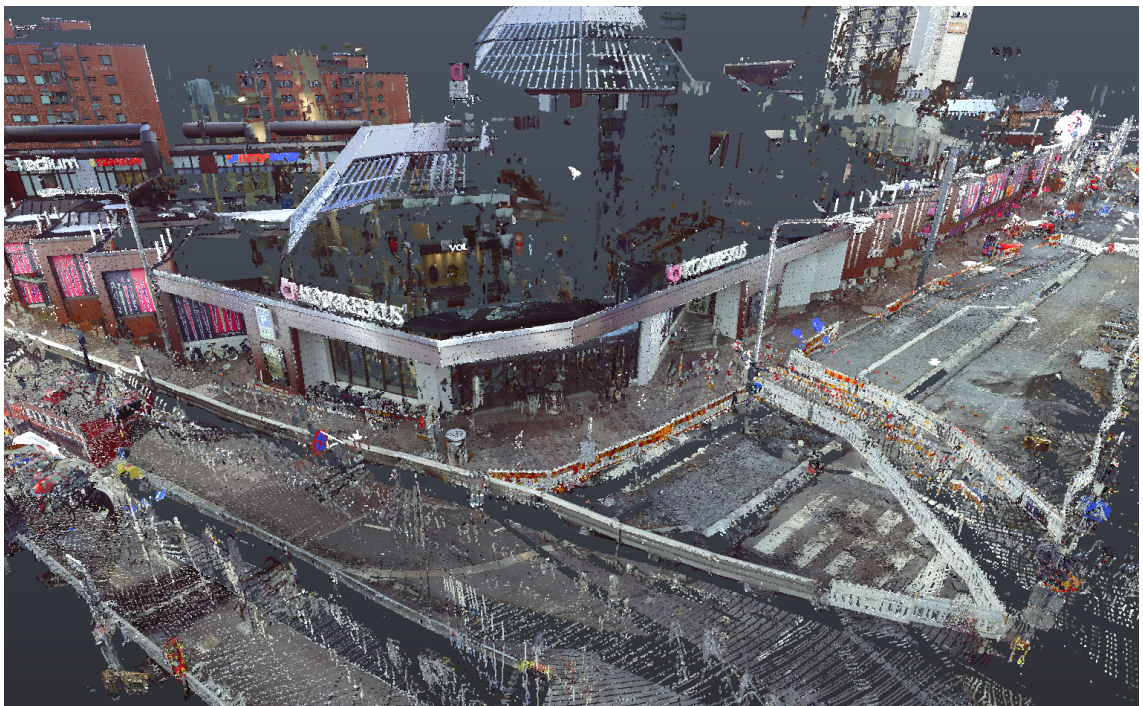
## 5 PISTEPILVEN KÄYTTÖ SUUNNITTELUSSA

Laserskannauksen käyttö ja siihen liittyvät rajapinnat vaihtelevat tapauskohtaisesti. Seuraavissa kappaleissa käsitellään, mitä pitää ottaa huomioon, kun laserskannausta harkitaan osaksi suunnitteluprosessia.

### 5.1 Työalueiden rajaus

Kun pistepilven käyttöä suunnitellaan, tarvitsee määrittellä tekijöiden roolit. Jos arkkitehtitoimisto on valveutunut laserskannauksesta, saattaa toimisto omistaa oman skannerin ja voi näin tehdä työn kokonaisuudessaan itse. Jos laserskannaus tuotetaan ulkopuolisella tekijällä, pitää määrittellä mihin pisteeseen asti laserskannaaja työn tuottaa.

Työalueiden rajaukseen vaikuttaa pistepilven käyttötarkoitus, suunnittelijan valveutuneisuus pistepilven hyödyntämisestä ja suunnitteluun käytettävien tietokoneiden tehokkuus. Jos suunnittelija hallitsee pistepilviprosessin hyvin ja käytössä on tehokkaat koneet, voidaan tuottaa pelkkä rekisteröity ja väritetty putsaamaton pistepilvi (kuva 15). Suunnittelija voi tehdä puhdistuksen itse esimerkiksi ilmaisohjelmilla ja siirtää pistepilven mallin-  
nusohjelmaan.



KUVA 15. Pistepilvi, josta ylimääräisiä pisteitä ei ole poistettu (Maiju Lahikainen 2017)

Tilanteessa, jossa suunnittelija osaa ainoastaan hyödyntää pistepilveä mallinnusohjelmassa, tulee pistepilven puhdistus ja muokkaus teettää laserskannaajalla. Tällöin selvitys pistepilven käytöstä tulee ohjeistaa tarkkaan, sillä käyttö määrittelee muokkauksen määrän. Pistepilven pilkkominen osiin on osa muokkausta. Pilkkominen auttaa tilanteissa joissa pistepilven kokonaiskoko on suuri tai suunnittelijan käyttämät tietokoneet huonompia suorituskyyvyltään. Vastaavissa tilanteissa puhdistus ja muokkaus kannattaa teettää laserskannaajalla, vaikka tietotaitoa suunnittelijaltakin löytyisi.

Jos pistepilveä halutaan käyttää vaikei omassa henkilöstössä löydy suunnittelijaa, joka osaisi pistepilveä hyödyntää, kannattaa tapauskohtaisesti harkita koko inventointimallin teettämistä laserskannaajalla. Mallintaminen liitännäisohjelmien avulla on moninkertaisesti nopeampaa kuin perinteinen mallintaminen.

## **5.2 Selvitys pistepilven käytöstä**

Jotta pistepilvestä saadaan tarvittava hyöty, tulee laserskannaajan ymmärtää sen tuleva käyttötarkoitus. Laserskannaajan tulee ymmärtää, mihin skannaus tulee painottaa (esimerkiksi tekniikkaan). Käyttötarkoitus määrittelee laserskannauksen lähtökohdat. Näiden tietojen avulla määritellään skannausten laatu ja resoluutio, kuinka tarkkaa jäljen tulee olla ja mitä kaikkea skannauksiin on saatava mukaan.

Mahdollinen jatkokäyttö tulee myös tuoda huomioida. Jos pääasiallinen käyttötarkoitus on tilan tekniikan paikallistaminen, mutta pistepilveä saatetaan myöhemmin hyödyntää myös rakenteiden mallintamisessa, pitää laserskannaajan varmistaa, että molemmat seikat tulevat pistepilvestä ilmi.

## **5.3 Laserskannaus ja siinä huomioitavat seikat**

Laserskannaus tulee suunnitella etukäteen. Lähtötietojen avulla voidaan määrittää skannausten laatusiikat. Lähtötietojen mukaan suunnitellaan, kuinka tiheään skannauksia tulee kohteessa ottaa. Jos kohteesta on olemassa pohjapiirros, suunnitellaan sen avulla ns.

skannaussuunnitelma. Skannaussuunnitelmalla määritellään ennalta, mistä pisteistä skannaukset tehdään ja näin varmistetaan etukäteen, että kaikki tarvittava saadaan skannausiiin näkymään.

Skannaussuunnitelman ja ennalta määriteltyjen laatuseikkojen avulla voidaan laskea, kuinka kauan koko kohteen laserskannaus tulee kestämään. Itse skannauksen kestoon tulee lisätä arvioitu aika siirtymisestä skannausasemasta toiseen. Tähän vaikuttaa tähysten käyttö, sillä keinotekoisia tähyksiä käyttämällä siirtymisaika pitenee.

Ulkokohteissa skannausajankohta tulee suunnitella sääolosuhteet huomioiden. Jos keinotekoisia tähyksiä ei käytetä, voi muuttuneiden sääolosuhteiden takia keskeytynyttä kokonaisskannausta jatkaa paremmalla säällä siitä pisteestä mihin jäätiin. Jos keinotekoisia tähyksiä käytetään skannausprojektissa, joka jaetaan usealle päivälle, tulee varmistua siitä, etteivät tähykset pääse liikkumaan skannausten välillä.

## 6 OMAT KOHTEET

Tämän kappaleen kohteet on tehty yhteistyössä BST-Arkkitehdit Oy:n kanssa.

### 6.1 Koskikeskuksen julkisivusaneeraus

Koskikeskus on Tampereen keskustassa sijaitseva ostoskeskus. Koskikeskus on avattu vuonna 1988 ja se saneerattiin sisätiloiltaan perusteellisesti vuosina 2011-2012. Ostoskeskuksessa käy päivittäin noin 10 000- 17 000 asiakasta. Vuokrattavaa kokonaispinta-alaa ostoskeskuksella on 33 100 m<sup>2</sup>, liikkeitä tiloissa on 93 ja rakennus sisältää 430 parkkipaikkaa. (Citycon 2017)

Kohteeseen suunniteltiin julkisivusaneerausta suvantokadun ja Hatanpään valtatie puoleisille sivuille. BST-Arkkitehdit Oy vastasi julkisivusaneerauksen suunnittelusta. Kyseinen arkkitehtitoimisto on vastannut myös vuoden 2011-2012 saneerauksesta, joten yrityksellä oli ennalta olemassa kohteesta suunnittelumalli. Malli oli tehty alkuperäisten piirrosten pohjalta, jotka olivat vektoroitu. Yritys koki, että laserskannauksen avulla suunnittelusta saataisiin entistä tarkempaa.

#### 6.1.1 Kohteen laserskannaus

Kohde oli laserskannaukseen haastava. Keskeisen sijaintinsa vuoksi skannattavaa aluetta ei voinut eristää liikenteeltä. Suvantokadulla vastapäistä rakennusta remontoitiin, mikä pienensi kulkuväyliä (kuva 16). Myös Hatanpään valtatie puoli oli remontissa (kuva 17). Koska suvantokadun puoleisen julkisivun pituus on noin 80 metriä ja Hatanpään valtatie 150 metriä, oli kokonaisskannauksen arvioitu kesto noin kahdeksan tuntia.



KUVA 16. Näkymä suvantokadun puolelta skannaushetkeltä (Maiju Lahikainen 2017)



KUVA 17. Hatanpään valtatie puoleinen tilanne skannaushetkellä (Maiju Lahikainen 2017)

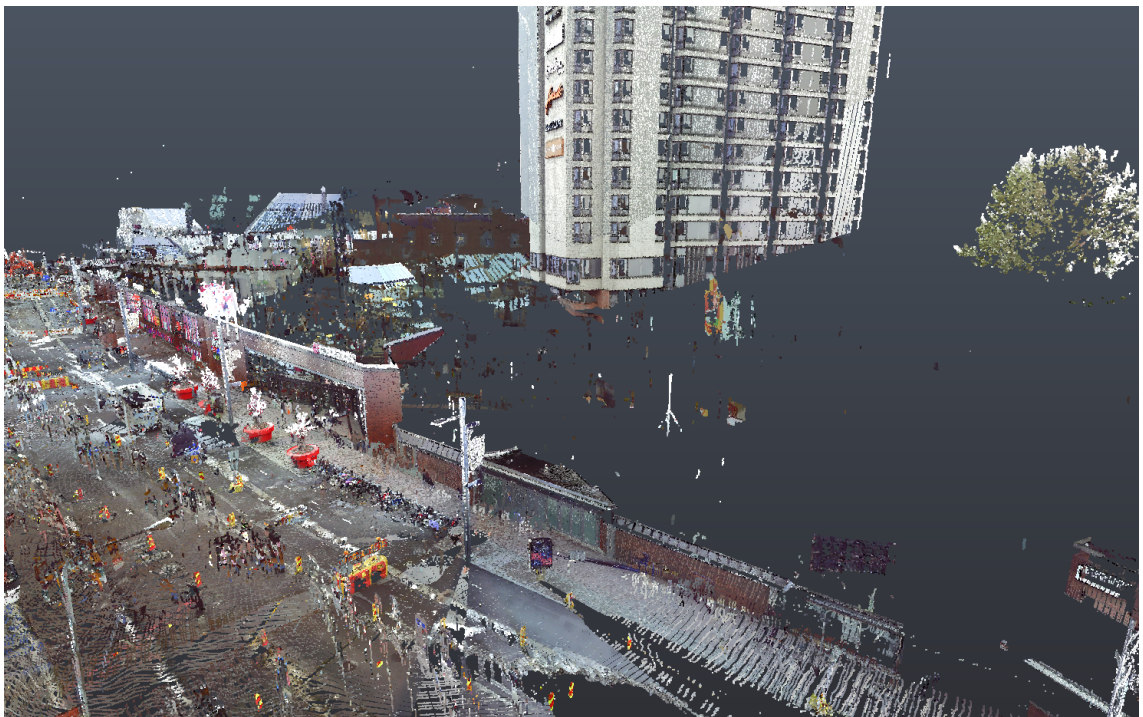
Koska skannaus tapahtui kokonaisuudessaan ulkona, piti säätekijät ottaa huomioon. Skannausajankohta oli lokakuu 2017, joten epävakaa sää häiritsi työn onnistumista. Skan-



naus jouduttiin perumaan neljä kertaa sateen ja sumun vuoksi ennen onnistunutta prosessia. Onnistunutkin skannaus jouduttiin tekemään kahdessa osassa. Erittäin hankalat olosuhteet aiheuttivat aikataulupaineen skannaukselle, joka näkyi pistepilven laadussa.

Skannauksesta haluttiin mahdollisimman tarkka. Keinotekoisia tähyksiä ei voinut kohteessa käyttää sen suuren liikenteen vuoksi. Skannauksessa käytettiin satelliittipaikantimen, pintojen tunnistuksen ja Cloud to Cloud-rekisteröinnin yhdistelmää. Paikan päällä oli huomioitava vain skannausasemien tarpeeksi läheinen sijainti toisiinsa nähden.

Skannaukset tehtiin suhteellisen läheltä julkisivua, joten maantasolta otettuihin skannauksiin ei saanut kattopintoja näkyviin (kuva 18). Suvantokadun puolella oli julkisivun ja kattorakenteen liitoskohta, josta arkkitehtitoimisto oli etukäteen maininnut, että kohta tulisi näkyä pistepilvessä. Tämä kohta skannattiin suoraan katolta (kuva 19).



KUVA 18. Katon katvealue näkyy pistepilvessä yläsuunnasta selvästi (Maiju Lahikainen 2018)



KUVA 19. Näkymä katolla olleelta skannausasemalta (Maiju Lahikainen 2018)

### 6.1.2 Suunnittelijoiden palaute

Yleisesti pistepilven olemassaolo koettiin suureksi avuksi suunnittelussa. Suunnitteluryhmässä mukana ollut Pfeifer (2018) toivookin, että jokaisessa projektissa käytettäisiin pistepilveä hyväksi. Pistepilvi on kuin 3D-kuva-aineisto kohteesta, jolla voi suoraan verrata 3D-mallia olemassa oleviin rakenteisiin. (Pfeifer 2018)

Esimerkkinä hyödyistä Pfeifer (2018) listaa kevyen liikenteen väylän katuvalaisimet, jotka olivat erittäin lähellä julkisivurakennetta (kuva 20). Näitä ei ennen pistepilven tutkimista oltu otettu huomioon suunnittelussa.

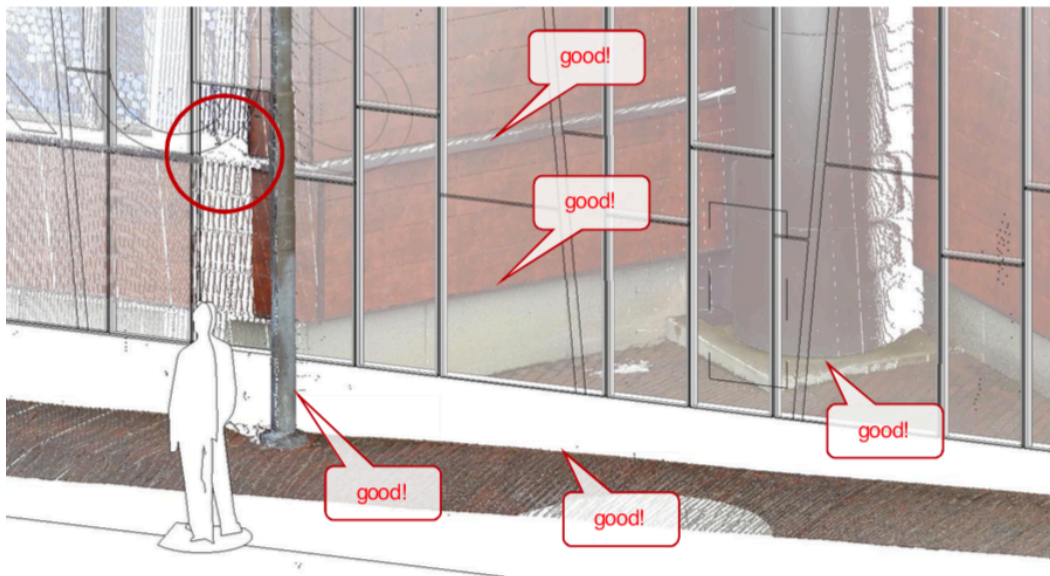


KUVA 20. Katuvalaisimien sijainti julkisivun vieressä (Maiju Lahikainen 2017)

Aikaisemmin mainittua katon liitoskohtaa tutkittiin pistepilven avulla, kun tarkastettiin, missä uusi katto kohtaa olemassa olevan. Pistepilven avulla ikkunoiden profiilien ja vesipeltien tarkat mitat saatiin selville käymättä kohteessa. Uuden julkisivun sovittamista olemassa olevaan piti tarkistaa läpi suunnittelun. Tämä onnistui suoraan pistepilvestä. (Pfeifer 2018)

Pistepilveä käytettiin projektissa paikkaamaan niitä tietoja, joita kohteesta ei ennestään ollut. Esimerkkinä Pfeifer (2018) kertoo, kuinka entisen julkisivun näyttö käytettiin uudessa julkisivussa hyväksi. Koska pistepilvessä oli kohtia, joissa pisteet olivat harvassa, pystyi näytön koon tarkastamaan olemassa olevasta mallista paremmin. Näytön sijainti otettiin kuitenkin pistepilvestä, sillä sijainti mallissa ei vastannut sijaintia pistepilvessä.

Pistepilvestä saatiin kaikki vertikaalimitat, mutta pistepilven rajallisuus tuli ilmi syvyysmittojen saamisessa. Ikkunoiden syvyysmitta julkisivun pinnasta tuli saada millimetrin tarkkuudella. Pisteiden hajonta pistepilvessä oli tältä kohtaa sen verran harva, että kyseiset mitat jouduttiin käymään varmistamassa paikan päällä (kuva 21, Pfeifer 2018). (Pfeifer 2018)



KUVA 21. Suunnittelijan omaa havainnointia pistepilvestä. Ympyröity kohta julkisivusta jouduttu tarkastusmittaamaan paikan päällä (Ingo Pfeifer 2018)

## 6.2 K-Supermarketin tilojen saneeraus

Kohde sijaitsee Tampereen Tesomalla, tulevan liikekeskus Westerin vieressä. Kohteesta tuli muun muassa selvittää sähkövetojen ja savunpoistoluukkujen sijainnit. Käsin mittamalla työ olisi vienyt lukemattomia tunteja ja silti mittatietojen mahdollinen heitto olisi ollut erittäin suuri. Jotta rakennuksen tekniikan sijainti saataisiin mahdollisimman tarkkaan dokumentoitua, päätyi asiakas hyödyntämään laserskannausta kohteen mitoittamisessa.

### 6.2.1 Kohteen laserskannaus

Kohteessa käytettiin keinotekoisia tähyksiä skannausten yhdistämiseen. Vaikka kaupan puoli oli käytännössä yhtä isoa tilaa, häiritsivät tilaa jakavat hyllystöt skannaamista. Aikataulu kaupan puolen skannaukselle oli tiukka. Aikaa kaupan skannaamiseen oli 2 tuntia, sillä kaupan auettua ei haluttu häiritä asiakkaita. Hetkittäin skannausresoluutiota oli pienennettävä, jotta työ kerettiin saamaan ajoissa valmiiksi.

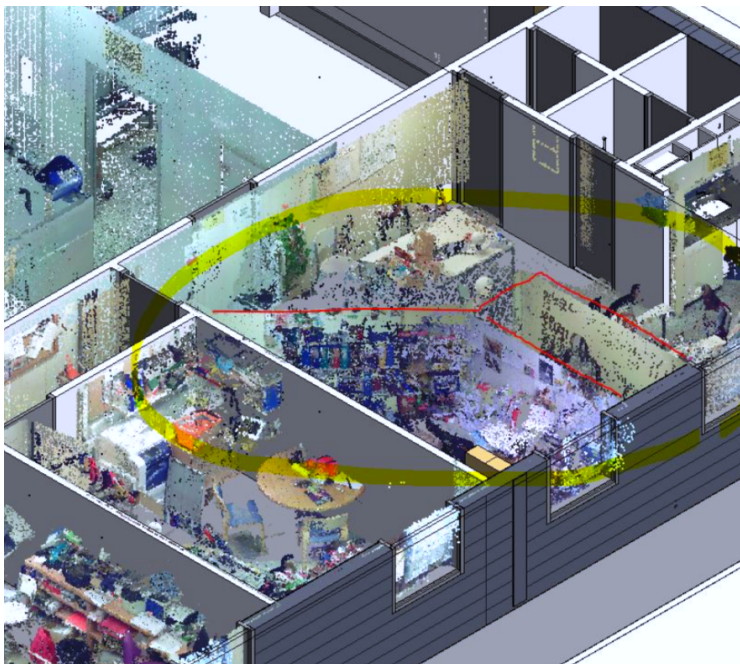
Takatilat koostuivat monesta eri pienestä tilasta, mikä tarkoitti useiden skannausten tekemistä ja tähytsten tarkkaa sijoittelua, jotta skannausten yhdistäminen onnistuisi jälkepäin.

Koska skannaus kohdistui talotekniikkaan eikä rakenteiden tarkkaa skannausta vaadittu, voitiin käyttää matalampia laatuasetuksia. Kohteesta otettiin 58 skannausta, jotta kaikki tarvittavat tilat saatiin dokumentoitua.

### 6.2.2 Suunnittelijoiden palaute

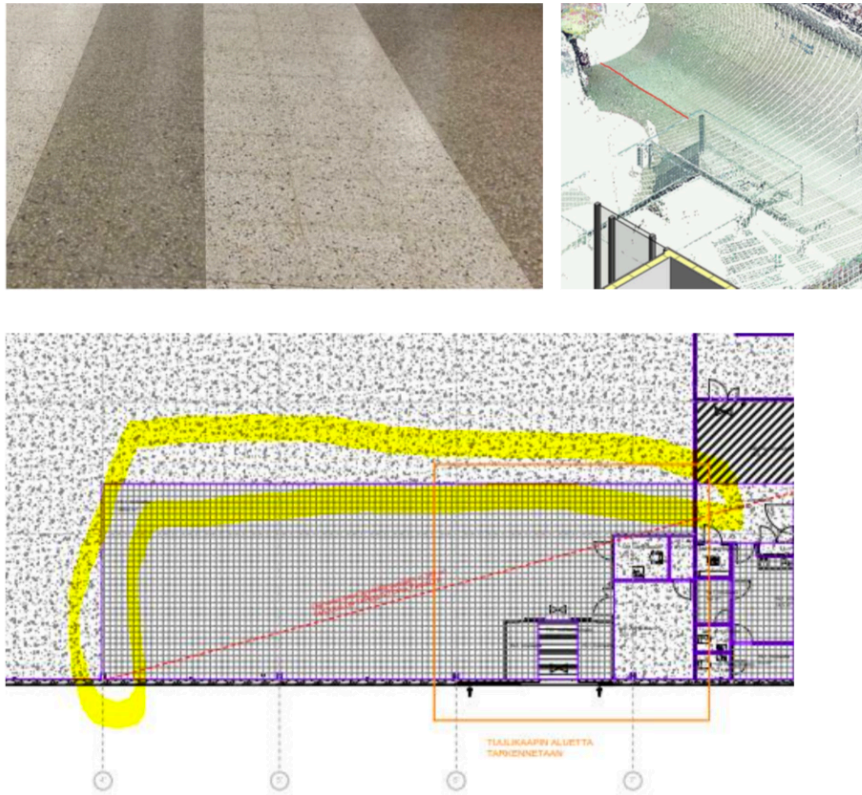
Kohteen suunnittelussa mukana ollut Jäntti (2018) kokee, että pistepilven tekniikka on kehittynyt muutamassa vuodessa selvästi. Nyt pistepilvestä saa esimerkiksi värit tarkasti selville ja se toimii Revit-ympäristössä hyvin. Jäntti (2018) kertoo käyttäneensä kahdessa eri projektissa pistepilveä hyödyksi samanaikaisesti. Etenkin sitä kautta pistepilvi on muuttunut osaksi suunnittelurutiinia.

Kyseisessä projektissa pistepilven avulla on selvitetty lattiamateriaalien laajuuksia, talotekniikan sijainteja ja rakenteiden sijaintien paikkansapitävyyttä. Taukotilojen seinärakenteet selvisivät vasta pistepilvestä, sillä niitä ei pohjissa näkynyt (kuva 22, Jäntti 2018). (Jäntti 2018)



KUVA 22. Taukotilan seinärakenteiden määrittystä pistepilven ja mallin yhdistelmästä (Aku-Ville Jäntti 2018)

Lattiamateriaalien rajapintoja tarkistettiin hyödyntämällä sekä pistepilveä että skannerin ottamia valokuvia (kuva 23, Jäntti 2018). Lattiamateriaalit saatiin määriteltyä pistepilven avulla, dokumentointia paikan päällä ei tarvittu. (Jäntti 2018)



KUVA 23. Lattiamateriaalin määrittelyä pistepilven ja kuvien perusteella ja tiedon viemistä malliin (Aku-Ville Jäntti 2018)

Savunpoistoluukkujen sijainnista käytiin keskustelua jo suunnitteluvaiheessa, että skannauksista tuli saada selville luukkujen sijainnit. Kun pistepilveä verrattiin piirrosten pohjalta tehtyyn malliin, huomattiin luukkujen todellisen sijainnin poikkeavan huomattavasti suunnitellusta (kuva 24, Jäntti 2018). (Jäntti 2018)



KUVA 24. Savunpoistoluukkujen sijainnin poikkeama, ympyröidyssä kohdassa vasemalla harmaalla mallin luukkujen sijainti, tummansinisellä pistepilven luukkujen todellinen sijainti (Aku-Ville Jäntti 2018)

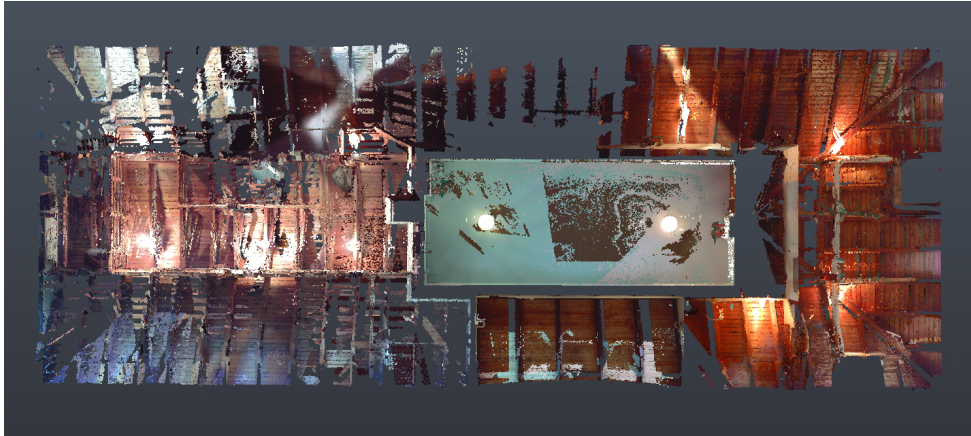
Jäntti (2018) kokee, että haasteet pistepilven käytölle tulivat muilta suunnittelualoilta. Muiden tahojen rajallinen ohjelmistokapasiteetti pistepilven hyödyntämiseen rajoitti suunnittelun sulavuutta. Arkkitehtien piti auttaa muita suunnittelutahoja pistepilven käytössä. Osaa kansasuunnittelijoista Jäntti (2018) kuvailee varautuneiksi ja vähätteleviksi pistepilven suhteen. Tämän hän uskoo johtuvan mahdollisista negatiivisista kokemuksista pistepilven käytöstä menneisyydessä tai puhtaasti tottumattomuudesta uuteen menetelmään.

### 6.3 Ullakon muuttaminen asunnoksi

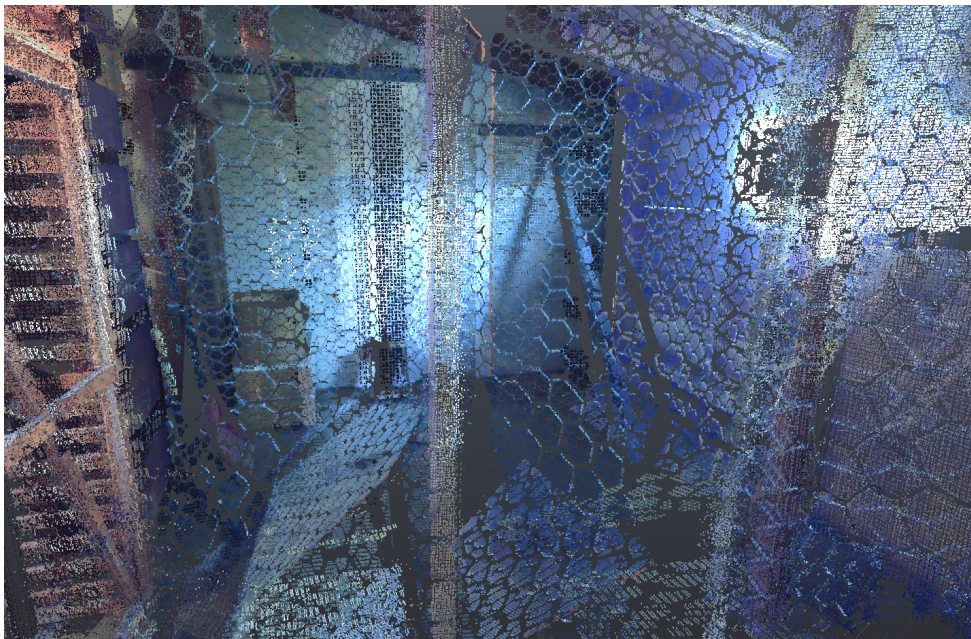
Kohde As Oy Pertinkulma sijaitsee Tampereen Pyynikin arvoalueella. Ullakkokerroksen tilat haluttiin muuttaa asuinhuoneistoksi. Projekti oli aloitettu jo vuonna 2012, jolloin kohteeseen oli haettu rakennuslupaa mallilla, joka oli tehty vanhojen piirrosten ja paikallamittausten avulla. Ullakon monimuotoisuuden vuoksi (mm. lattiakorkeuden vaihtelu) koettiin, ettei kohteesta saatu tarkkoja mittoja näillä menetelmillä. Kun hanketta jatkettiin vuonna 2017, päätettiin projektiin ottaa mukaan laserskannaus. (Nykänen 2018)

Kohteessa paikan päällä informoitiin, että tärkeintä skannauksessa olisi saada kattorakenne sekä toisen päätyseinän metallituet näkyviin (kuva 25 ja 26). Kohteen toisessa

päädyssä oli myös ryömintätilan korkuinen tila, josta toivottiin saatavan jonkinlaista dataa.



KUVA 25. Ullakkokohteen kattorakenne alhaalta päin (Maiju Lahikainen 2018)



KUVA 26. Päätyseinän metallituki pistepilvessä (Maiju Lahikainen 2018)

### 6.3.1 Kohteen laserskannaus

Kohteen skannaus oli suhteellisen yksinkertainen. Tilassa olleiden vinttikomeroiden takia skannauksia otettiin normaalia tiheämmin välein, jotta kanaverkosta ja vinttikomeroiden tavaroista huolimatta data olisi riittävää. Lattiapinnassa oli suuria korkeusvaihteluita, jotka osaltaan rajasivat skannausasemien sijoittamista. Toisessa päädyssä ollut matala tila

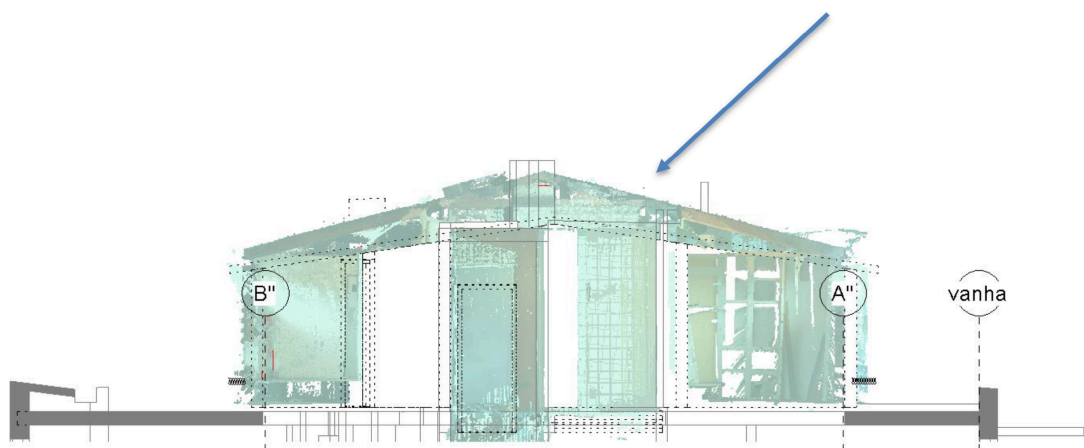


pyrittiin saamaan lattiapinnaltaan näkyviin skannauksiin asettamalla skanneri kolmijalalla niin alas kuin mahdollista.

Kohteessa käytettiin keinotekoisia tähyksiä skannausten yhdistämisessä. Käytävämäisissä tiloissa oli tärkeää, että tähysten sijoittelussa saatiin hyödynnettyä tarpeeksi suurta hajontaa.

### 6.3.2 Suunnittelijoiden palaute

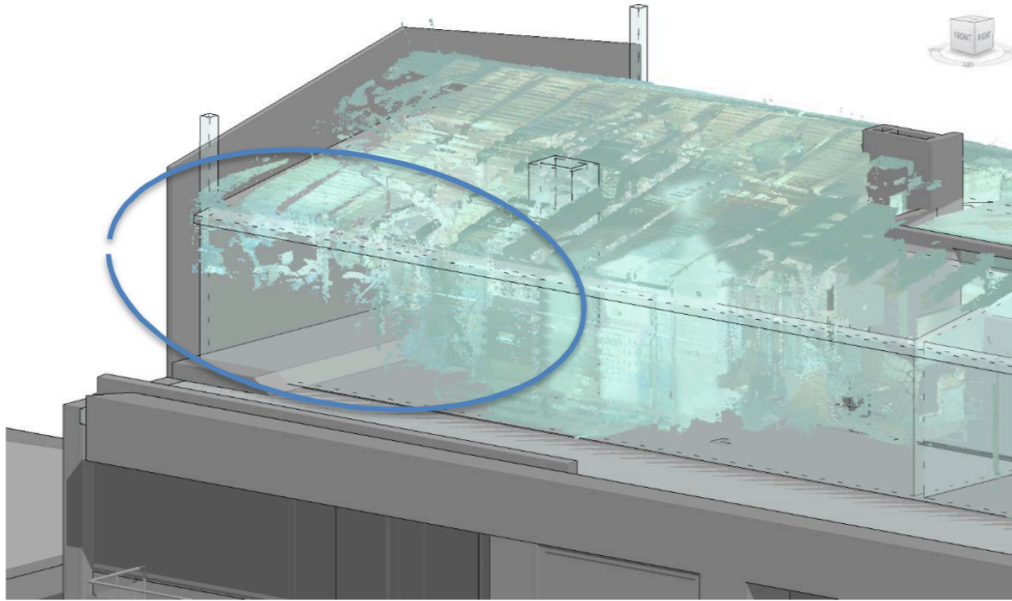
Kohteen laserskannaus paljasti, että alkuperäisten piirrosten ja paikallamittausten pohjalta tehty malli erosi suuresti todellisuudesta etenkin korkeussuunnassa (kuva 27, Nykänen 2018). (Nykänen 2018)



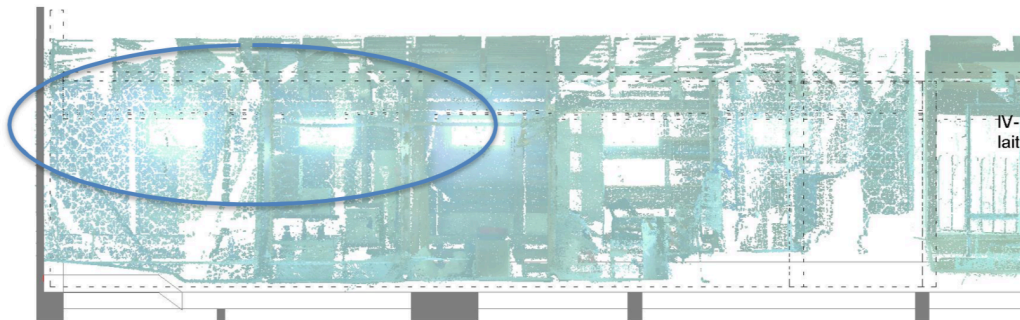
KUVA 27. Mallin ja pistepilven ero, malli kuvassa pisteviivalla (Jussi Nykänen 2018)

Pistepilvestä saatiin tarpeeksi tarkkaa tietoa toteutuskuvia varten. Kohteen monimuotoisuus aiheutti kuitenkin katvealueita pistepilveen. Kyseiset mittaukset olivat sen verran vähäisiä, että ne oli helppo toteuttaa kohteessa. (Nykänen 2018)

Verkkoaidan läpi skannattaessa pistepilveen aiheutui lukutarkkuutta ja katvealueita (kuva 28, Nykänen 2018). Myös ikkunoiden ylivalotus koettiin pistepilveä heikentäväksi tekijäksi (kuva 29, Nykänen 2018). (Nykänen 2018)



KUVA 28. Varastojen verkkoaidan aiheuttama katvealue (Jussi Nykänen 2018)



KUVA 29. Ikkunoiden ylivalotusta pistepilvessä (Jussi Nykänen 2018)

Kaiken kaikkiaan Nykänen (2018) kokee, että pistepilven käyttö inventoimisessa on hyvä apuväline. Kyseisessä kohteessa pistepilvestä saatiin kaikki vaadittavat mitat paikoista, joihin ei muuten olisi päässyt.

Nykänen (2018) muistuttaa, että jos tilassa on useita pilareita, putkia, kanavia yms., muodostuu näistä katvealueita, jotka on inventoinnissa otettava huomioon.

## **7 KOHTEET ULKOMAILLA**

Seuraavissa kappaleissa esitellään kohteita, joita on toteutettu ulkomailla. Kohteita ainoastaan referoidaan, opinnäytetyön tekijä ei ole ollut osallisena seuraavissa projekteissa.

### **7.1 Tilden Coil Constructors – yrityksen kohteet**

Seuraavissa esimerkeissä esitellään yksittäisen yrityksen projekteja, joissa on hyödynnetty laserskannausta.

#### **7.1.1 Yrityksen tausta laserskannauksessa**

Tilden Coil Constructors on eteläkalifornialainen rakennuttaja, joka on käyttänyt laserskannausta vuodesta 2011. Yritys omistaa oman skannerin ja sitä pyritään käyttämään kaikissa projekteissa hyödyksi. ”Laserskannaus auttaa meitä ratkomaan ongelmia ja säästämään rahaa” (Roe, G 2016). Yritys hyödyntää laserskannausta projektien eri vaiheissa, ei pelkästään lähtötietojen hankinnassa. Alla on esitelty yrityksen omia kohteita, joissa laserskannaus on edesauttanut ongelmien ratkomista ja suunnitteluprosessia.

#### **7.1.2 LVIS- järjestelmien sovitus seiniin**

Kyseisessä kohteessa oli lukuisia teräsbetoniseiniä, jotka vaativat laajaa teräsvahvistusta. Jokainen seinä sisälsi myös LVIS-järjestelmiä, mitkä eivät saaneet mennä ristiin seinän teräsvahvistuksen kanssa. Vaikka tämän mahdollisuutta tarkastellaan törmäystarkastelulla tietomallissa, voi silti suunniteltu ja toteutettu erota toisistaan. (Roe, G 2016)

Seinät laserskannattiin teräsvahvistuksen pystyttämisen jälkeen ennen betonivalua (kuva 30, Roe 2016). Laserskannauksesta saatua pistepilveä verrattiin LVIS-malliin. Mallia muokattiin pistepilven avulla vastaamaan todellista rakennustilannetta ja näin estettiin mitoitusvirheet työmaalla. Tällä tavalla vältetään kalliimmilta röntgenkuvauksilta, joita ristiin tarkastelu vaatisi jälkeenpäin. Tätä metodologia käyttämällä firma sanoo korjanneensa ennakoivasti lähes kolmekymmentä vastaavaa tapausta. (Roe, G 2016)

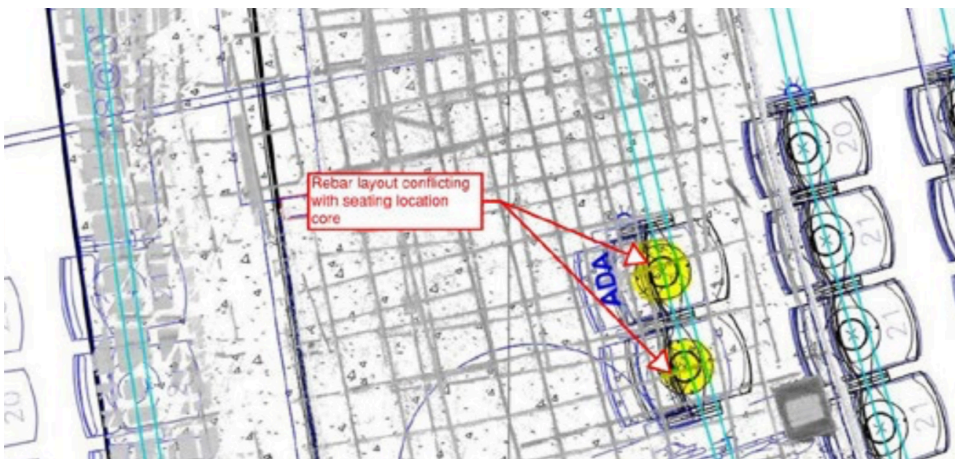


KUVA 30. Esimerkkiseinä ennen betonivalua (Gene Roe 2016)

### 7.1.3 Esiintymistilan ilmastoinnin mitoitus

Samantyylistä lähestymistapaa käytettiin myös 700-paikkaisen esiintymistilan lattialle. Teräsvahvistuksen risteäminen lattiassa kulkevien ilmastointikanavien kanssa tuli estää. Lattian ilmastointiaukotukset keskitettiin tuolien alle.

Tila laserskannattiin terästen ollessa lattiassa ja saatua pistepilveä verrattiin tilasta tehtyyn 3D-malliin, jossa näkyivät tuolien sijainnit (kuva 31, Roe 2016). Törmäyskohdat huomioidtiin muokkaamalla teräsvahvistusta ennen betonivalun tekoa. (Roe, G 2016)



KUVA 31. Terästen ja ilmastointikanavien törmäystarkastelua (Gene Roe 2016)

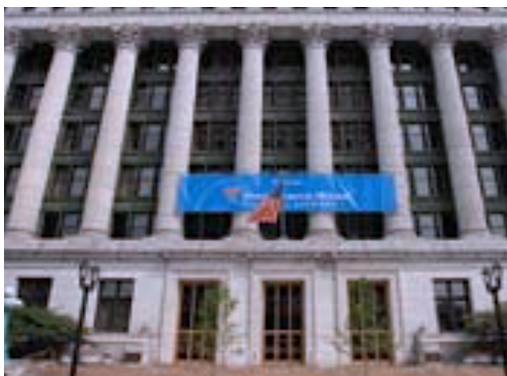
#### 7.1.4 Yksityiskoulun pohjapiirrokset

Yksityiskoulu sijaitsi viidessä historiallisessa rakennuksessa, joista ei ollut olemassa pohja- eikä julkisivupiirroksia. Koulu tarvitsi piirustuksia, joissa näkyisi ikkunoiden ja ovien sijainnit sekä niiden koot. (Roe, G 2016)

Työn oli arvioitu kestävän perinteisillä menetelmillä (mittaus rullamitalla ja lasermitalla+valokuvaus) kolme viikkoa. Laserskannausta hyväksi käyttämällä prosessiin kului 2,5 päivää. Tästä laserskannauksen osuus oli 1 päivä ja mallinnus 1,5 päivää. (Roe, G 2016)

#### 7.2 Milwaukeen historiallinen saneerauskohde

Vuonna 1914 valmistunut neoklassismia edustava rakennus Milwaukeessa, Wisconsinissa, saneerattiin 30 miljoonan dollarin budjetilla. Kohteen arkkitehtisuunnittelu oli vaativaa rakennuksen yksityiskohtien vuoksi. Rakennus sisälsi muun muassa 10 23 metrin korkuista korinttilaista pilaria (kuva 32, SightLine 2008). Kohteen iän vuoksi olemassa olevia digitaalisia dokumentteja rakennuksesta ei ollut. (Documenting architectural facades... 2008, 1)



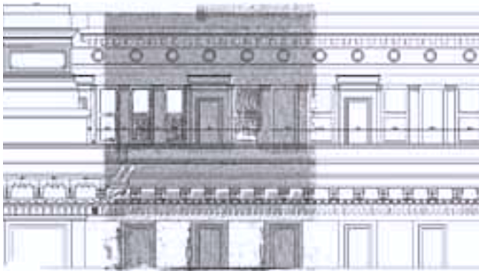
KUVA 32. Rakennuksen korinttilaiset pilarit (SightLine 2008)

Kohdetta kuvattaessa käytettiin tähyksiä, jotta varmistettiin maan tasolta ja kattotasoilta tehtyjen skannausten yhdistyminen (kuva 33, SightLine 2018). Joitain kuvauksia toteutettiin jopa 50 metrin päästä kohteesta. Skannausten tekeminen kesti 4 päivää, joista toteutettiin yhteensä 16 2D-piirrosta. (Documenting architectural facades... 2008, 1)

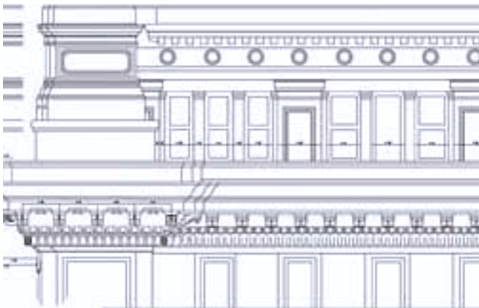


KUVA 33. Laserskannausta viereisen rakennuksen katolta (SightLine 2008)

Verrattaessa skannattua tietoa alkuperäisiin rakennuspiirustuksiin kävi ilmi, etteivät alkuperäiset piirrokset pitäneet lainkaan paikkansa. Kokonainen siipi oli tehty pidemmäksi kuin oli suunniteltu. Kokoeroa siipien välillä ei kuitenkaan silmällä havainnut. Pistepilvestä tuotettiin tämän jälkeen julkisivupiirroksia ja leikkauksia, joiden avulla havaittiin lisää poikkeavuuksia (kuvat 34 ja 35, SightLine 2008). Esimerkiksi päätykoristeiden tyyliä oli muutettu alkuperäisistä piirustuksista täysin. (Documenting architectural facades... 2008, 2)



KUVA 34. Ote alkuperäisestä piirroksista (SightLine 2008)



KUVA 35. Ote samasta kohdasta mallinnuksesta (SightLine 2008)

Työn mittaukseen alkuperäisillä menetelmillä olisi kulunut kuukausia, sillä tällä tavalla mittaus olisi vaatinut suurien rakennustelineiden pystyttämistä. Inhimillisten virheiden

mahdollisuus olisi myös kasvanut, jolloin rakennuspaikalle palaamisen tarve olisi ollut todennäköistä. (Documenting architectural facades... 2008, 2)

### 7.3 Kalifornian terveystaseman lattiavalu

Sairaalaolosuhteissa lattian tasaisuudelle on erittäin tarkat virhemarginaalit. Perinteinen menetelmä mitata valun suoruutta tapahtuu käymällä kohde läpi mittatikulla. Tällainen menetelmä mittauksineen ja analysoineineen kestää noin päivän ja se tehdään kolmannen osapuolen kautta. (Is it level?... 2017)

DPR Construction käyttää lattiavalun tarkistuksissa laserskannausta (kuva 36, DPR Constructions 2017). Yritys tekee tilan laserskannauksen itse. Skannaukset käytetään rekisteröinnin jälkeen Scenen liitännäisohjelmiston, Rithm Inspectorin, kautta, josta saadaan kattava lainmukainen raportti. Näin raportti tuotetaan erittäin nopeasti ja suoraan työmaalla, jolloin mahdollisiin muutoksiin voidaan ryhtyä välittömästi. (Is it level?... 2017)



KUVA 36. Lattiavalun laserskannausta (DPR Constructions 2017)

Pelkällä Scene-ohjelmistolla kyseisiä dokumentteja ei voi luoda, tällaisten kattavien raporttien saaminen edellyttää Rithm-lisäohjelmistojen käyttöä. Pelkällä Scene-ohjelmistolla saadaan tarkasteltua tarkkuutta tiettyyn pisteeseen asti, mutta standardisoitujen tulosten tuottaminen vaatii lisäohjelmistoja. (Is it level?... 2017)

#### 7.4 Aiguillesin sairaalan dokumentointi

Aiguillesin sairaala sisältää monia erinäisiä tiloja, muun muassa toimistoja, ruokailutiloja ja sairashuoneita. Tiloja uudelleen järjestellään jatkuvasti muuttuvien tilantarpeiden mukaan. Tästä syystä sairaalasta tarvittiin päivitettyjä pohjapiirroksia. Päivitetyillä pohjapiirroksilla oli myös tarkoitus ennakoida tulevia saneerauksia ja tuoda hätäpoistumissuunnitelmat ajan tasalle. (Fauconnet, Truwant 2016)

Skannattavaa pinta-alaa sairaalassa oli 20 000 neliometriä neljässä eri kerroksessa. Koko alan skannaamiseen vaadittiin yli 1200 skannausta. Työ oli Ranskassa mittakaavaltaan ensimmäinen. (Fauconnet, Truwant 2016)

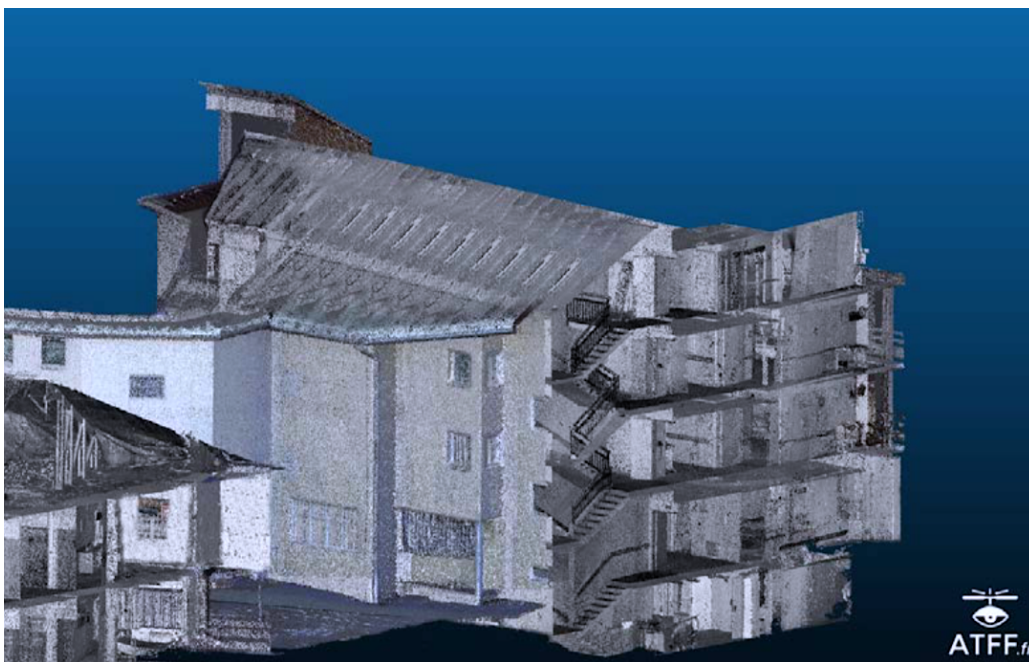
Haasteensa skannaamiseen toi sairaalaan jatkuva aukioloaika. Monesti skannaukset tehdään tilojen ollessa suljettuina yleisöltä, mutta tässä kohteessa tilojen skannaus tarvitsi suunnitella sairaalan päivittäisen aikataulutuksen puitteissa. Työn haastavuuden takia tiloista tehtiin esitutkimus, jossa olemassa oleviin pohjiin sijoitettiin skannausasemat. Näin varmistettiin etukäteen, että kaikki alueet tulisi skannattua. Esisuunnittelun ja huolellisen organisoinnin ansiosta sairaalan laserskannaus kesti 15 päivää. (Fauconnet, Truwant 2016)

Sisä- ja ulkotilat maantasosta skannattiin maalaserskannerilla (kuva 37) ja ulkopuolelta ilmasta kauko-ohjauksisella ilma-aluksella. Näillä tuotetut pistepilvet ja valokuvat yhdistettiin yhdeksi tiedostoksi. Valtava skannausten määrä tuotti optimoinnin jälkeen 120 GB tiedoston, joka pienennettiin 6 GB kokoiseksi, jotta tiedoston hyödyntäminen olisi mahdollista (kuva 38, ATFF 2016). (Fauconnet, Truwant 2016)





KUVA 37. Aiguillesin sairaalan tilojen laserskannausta (ATFF 2016)



KUVA 38. Sairaalaista tuotettu pistepilvi (ATFF 2016)

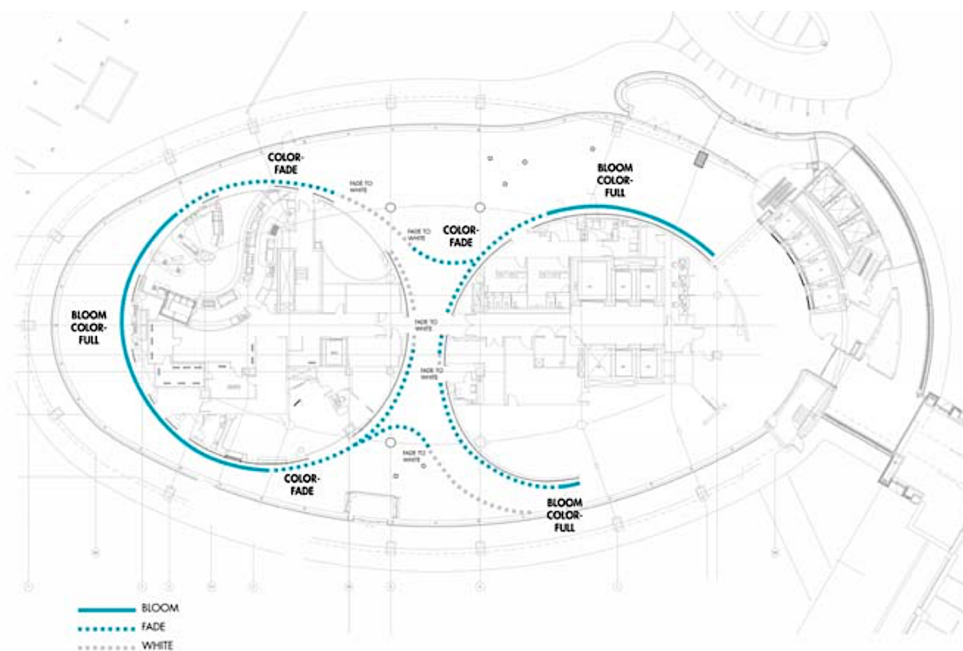
Haasteellisen sairaalaprojektin onnistuttua ATFF:n projektit ovat kasvaneet entisestään ja valtaosa nykyisistä projekteista on Aiguillesin sairaalaa isompia, yksi jopa kaksi kertaa sairaalan projektin kokoinen. (Fauconnet, Truwant 2016)

Yrityksen mukaan kohteen laserskannauksen parhaita puolia olivat tehokkuus, joustavuus ja tulosten käytettävyys. Tehokkuus ilmeni työn toteutuksen nopeudessa. Joustavuus konkretisoitui tilanteissa, joissa huoneiden skannausta piti hoitaa vaihtuvalla aikataululla

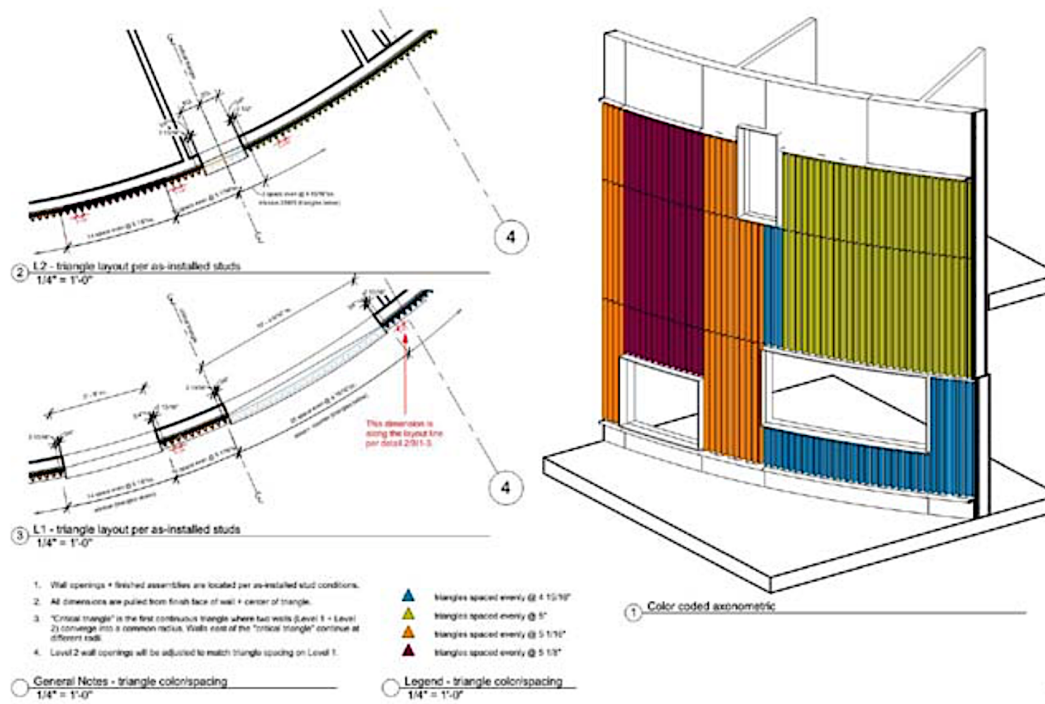
huoneiden tyhjentyessä hetkittäisesti. Maalaserskanneri oli käyttövalmis välittömästi, mikä helpotti vaikean toteutuksen aikataulutusta. Kyseenomaiseen tarkoitukseen suunnitellut sovellukset ja tietokoneet mahdollistavat suurien tiedostokokojen prosessoimisen, mikä kasvattaa projektikokojen mahdollisuuksia. (Fauconnet, Truwant 2016)

## 7.5 Iowan lastensairaalan installaatio

Iowan lastensairaalan suurin haaste koostui koko aulan kattavasta taideinstallaatiosta. ”The Blooming Wall” koostui yli 2800 kolmionmuotoisesta alumiiniulokkeesta, jotka kiinnitettiin yli 300 juoksumetrille kaarevaa seinäpinta-alaa (kuvat 39 ja 40, Gilbane Building Company 2016). Seinäpinta-ala sisälsi myös ovia, ikkunoita ja opasteita. (Robyn Feller 2016)



KUVA 39. Pohjakuva taideinstallaation suunnittelusta (Gilbane Building Company 2016)



KUVA 40. Esimerkki ulokkeiden sijoittelusta (Gilbane Building Company 2016)

Tarkoituksena oli, että taideinstallaatio ajaa rakennusprosessia ja rakenteen suunnittelua. Installaation toteutus jätettiin urakan loppuun sen haastavuuden vuoksi, jolloin pystyttiin installaation suunnittelussa ottamaan laserskannaus käyttöön. Alumiiniulokkeiden ulommaisimman pisteen toleranssi seinästä sai olla +/- ¼ tuumaa (6,3 millimetriä). Installaation koon huomioon ottaen toleranssi oli erittäin tiukka. (Robyn Feller 2016)

Laserskannausta käytettiin rakentamisen eri vaiheissa. Sekä rungon pystytyksen, pohjakipsilevyjen asentamisen, että lopullisen pinnan asentamisen jälkeen tilasta tehtiin tarkka laserskannaussarja. Näiden pistepilvimallien avulla installaation suunnittelua muokattiin prosessin aikana, jotta itse asennus onnistuisi ongelmitta. (Robyn Feller 2016)

Ensimmäinen skannaussarja rungon pystyttämisen jälkeen sisälsi yli 100 skannausta. Toinen sarja sisälsi 60 skannausta. Viimeistellyn seinän skannaussarja koostui myös noin sadasta skannauksesta. Mitattavan alueen ollessa hieman yli 300 metriä skannauksia otettiin noin 3 metrin välein. Työtä nopeutettiin käyttämällä kahta skanneria. (Robyn Feller 2016)

Alkuperäinen aikatauluarvio taideinstallaatiolle oli 80 työpäivää. Laserskannauksen tultua mukaan arvio puolittui. Koko prosessi skannauksista analysointiin hoitui rakennusfirmalta itseltään. (Robyn Feller 2016)

Yritys listaa seuraavat asiat laserskannauksen positiivisiksi puoliksi projektissaan:

- aikataulun optimoinnin maksimointi
- kustannusten vähennys
- tiimin yhteistyön ja viestinnän lisääminen
- laadunvarmistus
- turvallisemman työympäristön luonti.

(Robyn Feller 2016)

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli käydä läpi laserskannausta ja pistepilven käyttöä suunnittelussa. Tarkoituksena oli käydä koko suunnitteluprosessi läpi niin, että lukijalla olisi opinnäytetyön luettuaan ymmärrys siitä, mitä laserskannaus on ja kuinka sitä voi rakennusalalla eri tavoin hyödyntää.

Laserskannaus on nykyhetkellä tapa tuottaa tarkkaa informaatiota ja nopeuttaa suunnittelua. Laserskannauksen kehityskaari on ollut valtava. Useamman vuoden takaisen pistepilven ja nykykalustolla tuotetun ero on suuri. Joidenkin suunnittelijoiden tietotaito pistepilven käytöstä pohjautuu monen vuoden takaisiin kokemuksiin, joista on voinut jäädä negatiivisia olettamuksia. Joillain suunnittelijoilla kokemusta aiheesta ei ole lainkaan.

Laserskannaus on menetelmänä suhteellisen yksinkertainen. Pistepilven työstämiseen käytettäviä ohjelmistoja kehitetään koko ajan. Nykyhetkellä pistepilven hyödyntämisen edut rakennusalalla ovat ehdottomasti jo haittoja suuremmat. Näin ei välttämättä ollut vielä viisi vuotta takaperin.

Skannausten työstämiseen käytettävät ohjelmat sekä skannerit, joilla skannaukset tuotetaan, ovat hintavia. Jos yrityksellä ei ole ymmärrystä pistepilven hyödyntämisestä, ei tällaiseen inventointiin olla valmiita. Koen, että laserskannauksen yleistymiseen rakennusalalla tulee suhtautua niin, että ensin lähdetään lisäämään tietoutta asiasta. Kun laserskannauksesta saadaan luotua positiivinen mielikuva, saadaan kynnystä madallettua pistepilven hyödyntämiseen suunnittelussa.

Suurimpana haittana laserskannauksessa on sen suuret tiedostokoot. Työstetty ja putsattu pistepilvi saattaa olla usean gigatavun kokoinen. Skannausten raakadatan työstäminen vaatii tietokoneilta erittäin kovaa suorituskykyä. Mallinnuksessa ongelmaa voi helpottaa pilkkomalla tiedostoa ja pitämällä vain tarvittavia elementtejä aktiivisena, mutta raakadatan työstäjän tietokoneen on oltava huippuluokkaa.

Oma käsitys laserskannauksesta on tullut opettelemalla Faro-laserskannerin ja siihen kuuluvien ohjelmistojen käyttöä. Tämä työ ei siis ole täysin verrattavissa muiden valmistajien laserskannereihin ja niiden ohjelmistoihin.

## LÄHTEET

Citycon. 2017. Koskikeskus. Luettu 27.2.2018. <https://www.citycon.com/fi/print-pdf/kauppakeskukset/koskikeskus>

Faro Technologies. 2008. Documenting architectural facades with the laser scanner LS. Faro Technologies raportti.

Faro Technologies. 2017. PointSense for Revit. 4.12.2017. Vaatii kirjautumista. Luettu 20.4.2018. [https://www.faro.com/resources-files/technical-sheets/04REF101-061%20-%20PointSense%20Revit\\_EN.pdf](https://www.faro.com/resources-files/technical-sheets/04REF101-061%20-%20PointSense%20Revit_EN.pdf)

Faro Technologies. 2017. SendToRevit. Luettu 21.4.2018. <https://3d-apps.faro-europe.com/product/sendtorevit/>

Faro Technologies. 2017. VirtuSurv. 21.4.2017. Vaati kirjautumista. Luettu 20.4.2018. [https://www.faro.com/resources-files/technical-sheets/04REF101-066%20-%20VirtuSurv\\_EN.pdf](https://www.faro.com/resources-files/technical-sheets/04REF101-066%20-%20VirtuSurv_EN.pdf)

Fauconnet, F., Truwant, A. 2016. Application case. ATFF raportti.

Feller, R. 2016. 3D scanning technology solves University of Iowa Children’s Hospital’s curved wall curveball. Gilbane tutkimus.

Focus 3D X330. Faro Laser Scanner Focus<sup>3D</sup> X330 Manual. 02/2015.

Hanley wood. 2017. Is it level? Is it flat? FARO tutkimus.

Huhtala, R. 2015. Pistepilven hyötykäyttö tietomallinnuksessa, Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Opinnäytetyö.

Jäntti, A-V. 2018. Pistepilven käyttökokemukset. 23.3.2018. Muistio. Tampere, BST-Arkkitehdit Oy.

Kostamo, M., Palmer, C., Svensén, M. 2018. Rakennusprosessin optimointi 3D-laserkeilausten avulla. Seminaari. 4.4.2018. Symetri Oy. Vantaa.

Nykänen, J. 2018. Pistepilven käyttökokemuksia. 30.4.2018. Raportti. Tampere, BST-Arkkitehdit Oy.

Pfeifer, I. 2018. Use of the point cloud. An experience report from the current project of “Koskikeskus – julkisivun uudistus”. Raportti. Tampere, BST-Arkkitehdit Oy.

ProDigiOUs. 2018. Laserkeilausten ja pistepilvien hyödyt. Luettu 2.5.2018. <http://prodigious.tamk.fi/laserkeilaus-ja-tietomallinnus-korjaushankkeissa/laserkeilausten-ja-pistepilvien-hyodyt/>

Roe, G. 2016. Delivering returns on 3D investment series. Tilden Coil Constructorsin tutkimus.

Savisaari, A. 2017. Pistepilvitiedon hyödyntäminen korjausrakennushankkeen arkkitehtisuunnittelussa. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laboratorio. Diplomityö.

Tammi, K. 2015. 3D-laserskannaus korjaushankkeen lähtötietojen hankintakeinona, Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennusalan työjohto. Opinnäytetyö.

Tammi, K., Tasanen, I. 2017. Pistepilvessä on pointtia! RIA 4/2017, 47-50.

Von Bagh, S. Toimitusjohtaja. 2018. Lopputyö. Sähköpostiviesti. [sergej.vonbagh@bst-ark.fi](mailto:sergej.vonbagh@bst-ark.fi). Luettu 30.4.2018.