

# **Pistepilven tehokas käsittely inventointimallinnusta varten**

Katri Miinalainen

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2019

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Miinalainen, Katri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2019
	Sivumäärä 52	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Pistepilven tehokas käsittely inventointimallinnusta varten</b>		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Työn ohjaaja(t) Jauhainen, Jyrki; Lähdesmäki, Pekka		
Toimeksiantaja(t) Sweco Rakennetekniikka		
Tiivistelmä <p>Työn taustalla oli pääasiallisesti korjaussuunnittelussa käytetyn laserkeilausdatan, pistepilven, hyödyntäminen tulevaisuudessa tehokkaammin ja monipuolisemmin. Laserkeilausdataa halutaan hyödyntää jatkojalostamalla pistepilvestä mallinnettua 3D-lähtötietomallia eli inventointimallia tilaajan toiveiden mukaisesti palvelualustaksi.</p> <p>Pistepilven mallinnus inventointimalliksi on itsessään kallis ja toteutuksen kannalta aikaa vievä työvaihe. Lisäksi pistepilven käsittelijöitä ja mallintajia on toimeksiantajaorganisaatioissa vähän ja he ovat hajaantuneet eri yksiköihin. Pistepilven aiheuttamien haasteiden vuoksi mallinnusprosessia kehitetään tulevaisuudessa useamman yrityksen yhteistyönä.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli löytää tehokkain käsittelymenetelmä ohjelmiseen pistepilven inventointimallintamiseen palvelualustalle sekä tehdä toimenpide-ehdotukset kehitystyötä varten. Tutkimus toimii lähtötietona yhteistyön toiminnanohjaukselle.</p> <p>Tutkimuksen tietoperustassa tutustuttiin eri pistepilven prosessointimenetelmiin aiheeseen liittyvän kirjallisuuden sekä videomateriaalin avulla. Menetelmien perusteella luotiin prosessipolut kokonaisuuden hahmottamista ja haastattelukysymyksiä varten. Tutkimus toteutettiin teemahaastatteluina, joissa haastatteluihin valittiin pistepilven käsittelyn, mallintamisen ja ohjelmistokehityksen ammattilaisia toimeksiantajaorganisaatiosta.</p> <p>Keskeisimmät ongelmat olivat suuret tiedostokoot, projektikohtaisesti räätälöitävät prosessit sekä kommunikaation puute eri prosessin vaiheissa. Tuloksien perusteella kirjattiin toimenpide-ehdotukset kehitystyötä varten menetelmäpolkuna ja taulukoituina ohjelmina. Prosessia voidaan tehostaa käsittelemällä pistepilveä solidimallintamalla ja yhdenmukais-tamalla työskentelytapoja laatujärjestelmän mukaisella prosessilla palvelualustaa varten.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Laserkeilaus, pistepilvi, inventointimalli, pistepilven käsittely		
Muut tiedot ( <a href="#">salassa pidettävät liitteet</a> )		

Author(s) Miinalainen, Katri	Type of publication Bachelor's thesis  Number of pages 52	Date April 2019  Language of publication: Finnish  Permission for web publication: x
Title of publication <b>Efficient processing of point clouds for a 3D inventory model</b>		
Degree programme Civil Engineering		
Supervisor(s) Jauhiainen, Jyrki; Lähdesmäki, Pekka		
Assigned by Sweco Rakennetekniikka		
Abstract  <p>Laser scanning data, a point cloud, is often used for designing a repair construction in civil engineering. The purpose of this research is to explore more efficient and broader use of point clouds in the future. The aim idea is to rework the initial data, a 3D inventory model, to a platform of service based on assignor's requirement specification.</p> <p>Currently a 3D inventory model is expensive and slow to produce. Moreover, small number of specialists of point clouds processing are scattered in a commissioning organization. Given these challenges, a company consortium is going to join forces to develop the point cloud to inventory model -process together.</p> <p>The goal of the research was to find the most potential process with programs and tools to work the point cloud to a 3D inventory model. The problems found in the process were also gathered in this research. The study provides initial data to serve as an operating plan for co-operations.</p> <p>The knowledge base consists of theme literature and videos on various processing methods. With the help of data, the methods of point clouds inventory modeling production were studied, paths of the process were produced, and questions made for an interview. The research was executed with theme interviews, where participants were professionals from applicant organization specialized in processing point clouds.</p> <p>The main challenges of the process were the size of point cloud file, custom-made process in every project and the lack of communication during the process. The actions were documented with process path as well as tabulated programs. The relevant actions to create more efficient process are using solid modeling to point cloud and standardize the working with the quality system to produce the platform of service.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Laser scanning, point cloud, inventory model, point cloud processing		
Miscellaneous ( <a href="#">Confidential information</a> )		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>4</b>
1.1	Tutkimuksen tausta .....	4
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset .....	4
1.3	Toimeksiantaja .....	5
<b>2</b>	<b>Tutkimuksen toteutus.....</b>	<b>6</b>
2.1	Tietoperusta ja viitekehys .....	6
2.2	Aineisto.....	6
<b>3</b>	<b>Prosessi laserkeilauksesta inventointimallin jatkokäyttöön .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Lähtötiedon kerääminen.....</b>	<b>9</b>
4.1	Laserkeilaukuskalusto .....	9
4.2	Laserkeilausmittaus.....	10
4.3	Pistepilven rekisteröinti ja värjäys.....	11
<b>5</b>	<b>Pistepilven käsittely.....</b>	<b>12</b>
5.1	Käsittelyohjelmat.....	13
5.2	Pisteiden muokkaaminen .....	15
5.3	Geometrian luominen .....	17
<b>6</b>	<b>Inventointimalli ja mallin vaatimukset .....</b>	<b>20</b>
6.1	Inventointimalli .....	20
6.1	Inventointimallintaminen laserkeilatusta datasta .....	21
6.1.1	Mallinnusohjelmat.....	21
6.2	Inventointimallin vaatimukset .....	22
6.2.1	Sisältövaatimukset.....	23
6.2.2	Laatuvaatimukset .....	25
6.2.3	Tarkkuusvaatimukset.....	26

	2
6.2.4 Tehokkuusvaatimukset.....	27
<b>7 Haastattelutulokset .....</b>	<b>27</b>
7.1 Pistepilven mallinnusprosessit .....	28
7.2 Käytetyt ohjelmat ja apuvälineet .....	29
7.3 Prosessissa koetut haasteet .....	31
7.4 Yhteenveto haastattelutuloksista .....	34
<b>8 Toimenpidesuosituksset.....</b>	<b>36</b>
8.1 Laatu järjestelmän mukaisen prosessin kehittäminen palvelualustalle ....	37
8.2 Laserkeilaussuunnitelma .....	38
8.3 Pistepilven käsittely ja mallintamis -prosessin yhdenmukaistaminen.....	38
8.3.1 Pistepilven käsittelyssä ja mallinnuksessa käytettävät ohjelmat.....	40
8.4 Laadunvarmistaminen.....	41
<b>9 Pohdinta.....</b>	<b>42</b>
9.1 Tutkimuksen luotettavuus.....	43
9.2 Jatkotutkimukset .....	45
<b>Lähteet .....</b>	<b>46</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>49</b>
Liite 1. Kehitysehdotuksena toteutetun prototyypin toimintaperiaate .....	49
Liite 2. Kehitysehdotuksena esitetyn kolmionnin toimintaperiaate.....	50
Liite 3. Haastattelukysymysrunko apukysymyksineen.....	51

## Kuviot

Kuvio 1. Prosessipolku laserkeilauksesta inventointimallin jatkokäyttöön .....	8
Kuvio 2. Laserkeilain ja seinälle kiinnitetty tähys ympyröitynä punaisella .....	10
Kuvio 3. Renderöinnin periaate.....	16
Kuvio 4. Värjätty ja osiin jaettu pistepilvi.....	17
Kuvio 5. Pintamallin muodostaminen seinästä.....	18
Kuvio 6. Siivutetusta pistepilvestä tunnistetut seinälinjat.....	19
Kuvio 7. Inventointimallinnusvaatimus taso 1. ....	23
Kuvio 8. Inventointimallinnusvaatimus taso 2. ....	24
Kuvio 9. Inventointimallinnusvaatimus taso 3. ....	24
Kuvio 10. Pistepilven inventointimallinnuksen haasteet .....	36
Kuvio 11. Toimenpide-ehdotus prosessin kehittämiseen.....	37

## Taulukot

Taulukko 1. Esimerkkejä pistepilven käsittelyohjelmista, sopivista tiedostomuodoista ja soveltuvuuksista .....	14
Taulukko 2. Pistepilven prosessoinnin käsittelyyn ja mallinnukseen käytetyt ohjelmat .....	35
Taulukko 3. Suositellut ohjelmistot prosessivaiheittain .....	41

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Laserkeilauksesta saatavan mittadatan, pistepilven, potentiaali rakennusteollisuudessa kiinnostaa toimialalla työskenteleviä. Pääasiallisesti rakennuksissa korjaussuunnittelua varten tehtyä laserkeilausta halutaan hyödyntää tulevaisuudessa tehokkaammin ja monipuolisemmin. Keilauksesta saatavan mittadatan jalostuksessa on kuitenkin haasteensa monimutkaisen ja hitaan jatkoprosessointinsa vuoksi.

Selvitystyö perustuu tavoitteeseen hyödyntää laserkeilausta uudenlaisen palvelualueen kehittämisessä. Ideana on mallintaa rakennuksen pistepilvestä 3D-lähtötietomalli eli inventointimalli. Inventointimalliin liitetään uusia tietoja tilaajan toiveiden mukaisesti ja kokonaisuus jalostetaan palvelualueksi. Tietojen perusteella tilaaja voi analysoida kiinteistöään mm. huoltotoimenpiteiden, ylläpidon, energiatehokkuuden, turvallisuuden ja purkusuunnittelun näkökulmista.

Pistepilven mallinnus inventointimalliksi on itsessään kallis ja toteutuksen kannalta aikaa vievä työvaihe. Lisäksi pistepilven käsittelijöitä ja mallintajia on toimeksiantajaorganisaatiossa vähän ja he ovat hajaantuneet eri yksiköihin Suomessa ja maailmalla. Pistepilven aiheuttamien haasteiden vuoksi mallinnusprosessia pyritään tehostamaan ja kehittämään tulevaisuudessa useamman yrityksen yhteistyönä. Tutkimus toimii lähtötietona yhteistyön toiminnanohjaukselle.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää tehokkain käsittelymenetelmä ohjelmiseen pistepilven inventointimallintamiseen palvelualueille sekä tehdä toimenpide-ehdotukset kehitystyötä varten. Ehdotukset esitettiin menetelmäpolkuna ja tehtäväkohtaiset ohjelmat taulukoitiin jäljempänä. Työn avulla jatkokehityksen suunnittelussa resurssit pystytään kohdentamaan oikein, poissulkemaan ongelmia aiheuttavat osat sekä toimimattomat työtavat.

Tutkimuksen henkilökohtaisena tavoitteena oli perehtyä pistepilven ja inventointimallin käyttömahdollisuuksiin ja toteutusprosessiin, sillä siihen liittyvä osaamisen

tarve kasvaa tulevaisuudessa. Tavoitteena oli myös lisätä valmiuksia pistepilven avulla tehtävään korjaussuunnitteluun Jyväskylän toimipisteelle.

Lähtötiedon eli pistepilven tuotanto toteutetaan alihankintana. Siksi pistepilven keruu esitellään vain lyhyesti työssä. Haastattelukysymykset rajattiin pistepilven käsittelystä inventointimallintamiseen. Inventointimallin jatkokäsittely palvelualustaksi on rajattu pois tutkimuksesta. Tutkimuksen perusteella ei luoda organisaation laatujärjestelmän mukaista prosessia.

### 1.3 Toimeksiantaja

Opinnäytetyö tehdään toimeksiantona Sweco Rakennetekniikalle, joka on osa laajempaa kansainvälistä Sweco Group -konsernia. Yli 70 maassa toimiva Sweco Group on Euroopan johtava suunnittelun ja konsultoinnin yritys. Yrityksestä löytyy lähes kaikki rakennustekninen osaaminen teollisuusrakentamisesta rakennuttamispalveluihin. Sweco Group toimiikin kaikenkokoisissa hankkeissa suunnittelu- ja konsultointitehtävissä. Yli 15 000 työntekijän yrityksellä liikevaihto on noin 1.8 miljardia euroa. Swecon osakkeet noteerataan Tukholmassa pohjoismaisessa OMX-pörssissä. (Tietoa Swecosta n.d.)

Sweco Finland on Suomessa toimiva konsernin osa, jonka palveluihin kuuluvat arkkitehtuurin, rakenne- ja talotekniikan, teollisuuden ja ympäristön- sekä yhdyskuntatekniikan suunnittelu ja konsultointi. Sweco Finland:ssa työskentelee noin 2 000 työntekijää. (Tietoa Swecosta n.d.)

Toimeksiantajan, Sweco Rakennetekniikan toimialaan kuuluvat kaikki rakennesuunnittelun osa-alueet: Tietomallintaminen, teollisuus- ja talonrakentaminen, sillat ja infrarakentaminen, betoni-, teräs-, puu- ja julkisivurakenteet, laskenta, sisäilman laadunhallinta, korjausrakentaminen, asiantuntijapalvelut sekä hankekehitys ja kilpailutyöt. Opinnäytetyö tehdään teollisuuden osa-alueeseen. (Tietoa Swecosta n.d.) Sweco Rakennetekniikalla on noin 700 työntekijää 19 eri toimipisteessä Suomessa ja se on Suomen rakennetekniikan markkinajohtaja. (Skol Ry 2013, 7)



## 2 Tutkimuksen toteutus

Tehty tutkimus on laadullinen perustutkimus, koska se pyrkii selittämään ilmiötä. Tutkimuksessa pistepilven inventointimallinnusprosessi selitetään ammattilaisten kokemuksia ja mielipiteitä analysoimalla.

### 2.1 Tietoperusta ja viitekehys

Tutkimustyön tietoperusta koostuu kirjallisuudesta ja videomateriaalista. Kirjallisuus koottiin olemassa olevista tutkimuksista, artikkeleista, mallinnukseen liittyvistä vaatimuksista ja asetuksista, ohjelmistokuvauksista ja selvityksistä sekä harrastajien blogikirjoituksista. Videomateriaalit koostuvat eri ohjelmistokehittäjien sekä harrastajien tekemistä know how -videoista pistepilven käsittelyyn ja mallintamiseen liittyen.

Raportin alussa esitellään prosessipolku lähtötiedon keruusta inventointimallin jatkokäyttöön. Seuraavissa kappaleissa prosessin kohtia avataan tarkemmin. Lähtötiedon keruusta eli pistepilven tuotannosta kerrotaan lyhyesti kokonaisuuden hahmottamiseksi. Työn viitekehyksestä, *pistepilven käsittelystä ja inventointimallinnuksen vaatimuksista*, kerrotaan enemmän.

### 2.2 Aineisto

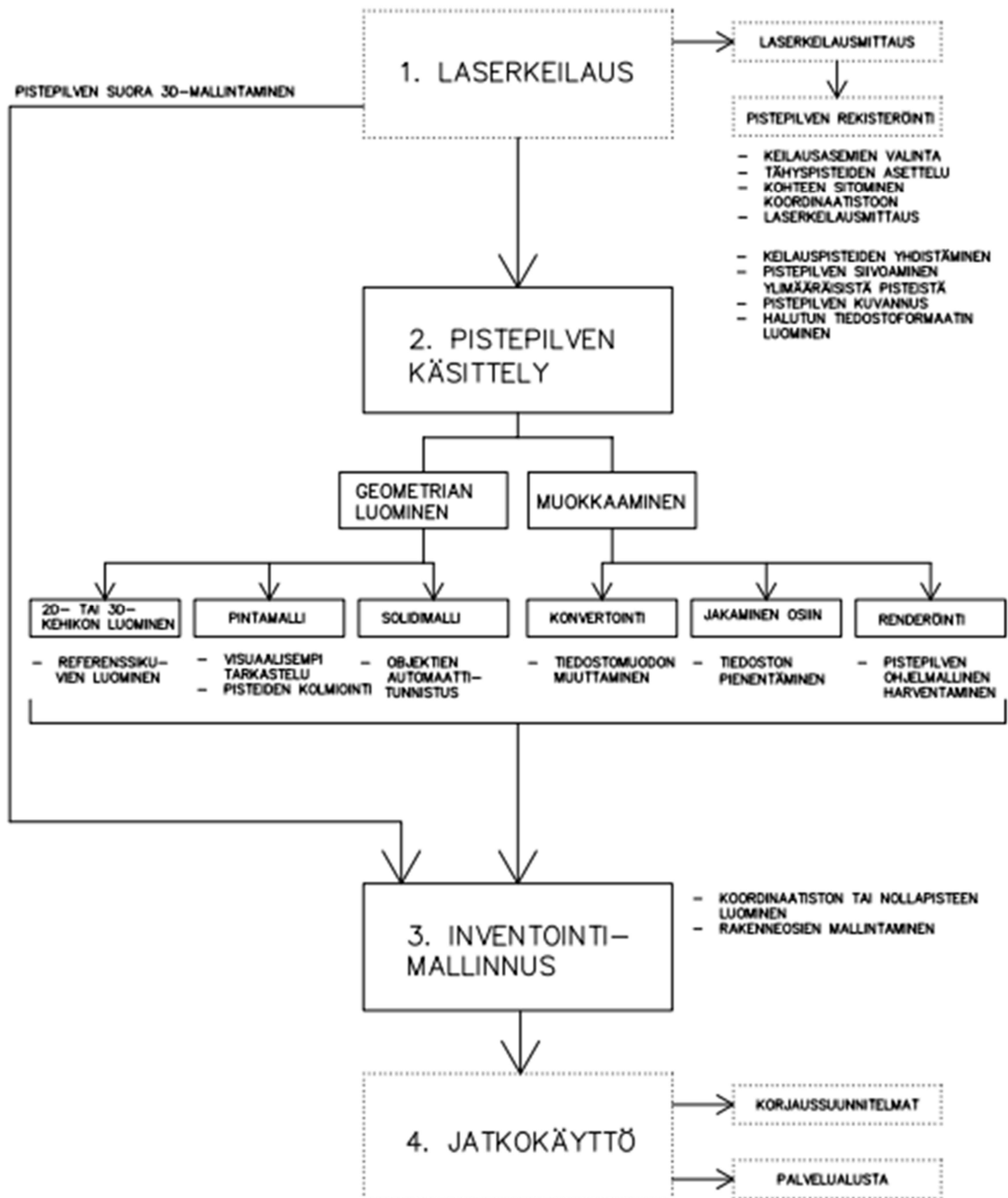
Aihealue oli tutkijalle varsin uusi, minkä vuoksi vastauksien tarkkaa suuntaa oli vaikeaa ennustaa. Aihealueen vierauden sekä selvityksen tavoitteiden perusteella haastattelutyyppiä valikoitui teemahaastattelu. Teemahaastattelun avulla haastateltu pystyy tuomaan omakohtaiset kokemukset mahdollisimman hyvin esiin. Teemahaastattelun avulla pyritään lisäksi selventämään vastauksia jatkokysymyksillä ja antamaan vastaajalle mahdollisuus monitahoisempiin vastauksiin. (Hirsijärvi 2007, 200.) Haastattelukysymykset luotiin prosessipolun avulla aineistonkeruuta varten.

Aineisto koottiin toimeksiantajaorganisaatiosta. Haastatteluun valittiin viisi henkilöä Sweco Rakennetekniikan ja Sweco Industryn sisältä eri puolelta Suomea. 1-10 vuotta aihealueen parissa työskenteleviin ammattilaisiin kuului pistepilven käsittelijöitä, mallintajia sekä ohjelmistokehittäjiä. Haastateltavina oli kolme rakennesuunnittelijaa, arkkitehtitaustainen asiantuntija sekä ohjelmistokehittäjä. Suurten välimatkojen vuoksi

haastattelut suoritettiin Skype:n välityksellä. Aineisto litteroitiin jälkikäteen nauhoitteiden perusteella.

Tuloksissa koottiin haastateltujen käyttämät prosessit, työkalut sekä työhön liittyvät ongelmat ja kehitysideat. Tuloksia analysoitiin vertaamalla asiantuntijoiden käyttämiä prosesseja tutkimuksen palvelualustan vaatimiin resursseihin. Ongelmia analysoitiin syyperusteisella lähestymistavalla alkuperän selvittämiseksi. Johtopäätösten perusteella kirjattiin suositus jatkotoimenpiteistä palvelualustan kehitystyötä varten.

### 3 Prosessi laserkeilauksesta inventointimallin jatkokäyttöön



Kuvio 1. Prosessipolku laserkeilauksesta inventointimallin jatkokäyttöön

Prosessi alkaa lähtötiedon eli pistepilven tuotannosta, joka tehdään laserkeilausmittauksella (1). Laserkeilausmittauksen jälkeen pistepilvi kootaan ja lähetetään eteenpäin inventointimallintajalle. Tutkimuksessa inventointimallintajaa edustaa toimeksi-

antajana toimiva suunnittelutoimisto. Mallintaja käsittelee saatua dataa inventointimallinnusta varten tarkoituksenmukaiseksi (2). Pistepilven käsittelyllä pyritään muokkaamaan saatu pistepilvi niin, että sen perusteella olisi mahdollisimman helppoa mallintaa rakennus.

Sopivaan muotoon käsitelty pistepilvidata siirretään tietomallinnusohjelmaan inventointimallinnusta varten (3). Valmiiseen inventointimalliin kerätään tilaajan toivoma kokonaisuus, josta muodostetaan palvelualusta tai korjaussuunnitelma (4). Tutkimuksessa keskitytään inventointimallin jatkokäyttöön palvelualustana.

## 4 Lähtötiedon kerääminen

Työssä tutkittu lähtötieto, *pistepilvi*, kerätään keilaamalla kohde laserin avulla. Laser heittää säteitä joka suuntaan muodostaen pisteen paikkaan, jossa säde kohtaa pinnan. Lasersäteen muodostamista pisteistä kootaan pistepilvi eli pisteistä koostuva kolmiulotteinen kokonaisuus rakennuksesta. Kaikilla pisteillä on koordinaattitieto ja etäisyys mihin tahansa toiseen pisteeseen on mitattavissa. (Seppänen 2019)

Laserkeilaus on tarkka, nopea ja turvallinen tapa mitata. Mittaustavan hyvät ominaisuudet korostuvat rakenteellisesti haastavien ja monimutkaisten rakennusten mittauksessa (esim. kirkot) sekä silloin, kun alkuperäisiä suunnitelmia ei ole. (Koski 2001, 24)

Laserkeilauksen ja saatavan pistepilviaineiston kokoaminen eivät ole tutkimustyön kannalta merkittäviä osia, koska työ tilataan ainakin alustavasti alihankintana. Tämän vuoksi mittausaineiston kerääminen ja kokoaminen kuvaillaan alla pintapuoleisesti kokonaisuuden hahmottamiseksi. Laserkeilaustoimenpidettä ei käsitellä haastattelukysymyksissä.

### 4.1 Laserkeilauskalusto

Laserkeilauskalusto muodostuu keilaimesta, PC:stä ja tähyksistä. Keilaimella suoritetaan kohteen mittaukset ja digitaalikuvien tallennus kohteesta. PC:llä määritetään mitta-alueet, mittaparametrit ja laskennalliset työvaiheet. (Koski 2001, 24)



Kuvio 2. Laserkeilain ja seinälle kiinnitetty tähys ympyröitynä punaisella (Ahonen 2015, 24.)

Laserkeilaimet jaotellaan kolmeen erilaiseen mittaustyyppiin: kaukokartoitukseen, maalasermittaukseen sekä teollisuuslasermittaukseen. Laserkeilainten erot perustuvat mittatarkkuuteen. Rakennuksien mittauksessa käytetään teollisuuslaserkeilainta, jonka mittatarkkuus on noin 5mm. Mittausmenetelmiä on kolmea: panoraamainen, kupolimainen sekä keilamainen, joista kupolimainen mittaustapa on selkeästi käytettyin, koska skannaamattomaksi alueeksi jää vain pieni alue keilaimen alla. (Joala 2006, 1)

#### 4.2 Laserkeilausmittaus

Mittaus aloitetaan keilausasemien suunnittelulla. Keilausasemien valinnalla varmistetaan kiinteistön skannaus jokaiselta suunnalta. Tällöin mittatieto kattaa koko rakennuksen ja on mahdollisimman tarkka. Mittaustoimenpiteessä nollapisteeseen sidottu keilain lähettää mitattavaan kohteeseen lasersäteitä. Osuessaan mitattavaan kohteeseen säteet heijastuvat takaisin keilaimeen. Tällöin keilain saa täsmällisen tiedon kohteen sijainnista ja koosta muodostaen kokonaisuuden yksittäisistä pisteistä. (Mts. 1)

Pistepilvi on laserkeilauksesta kerätty mittatieto. Pistepilven jokaisella pisteellä on kolmiulotteinen koordinaatti sekä lasersäteen voimakkuuteen perustuva intensiteettiarvo. (Mts. 1)

Keilaimien tarkkuuteen ja saadun pistepilven laatuun vaikuttavat keilaimen etäisyys mitattavasta kohteesta, skannattujen pisteiden välinen etäisyys toisistaan, yksittäisen pisteen laatu, yhdeksi pistepilvimalliksi kootun tiedoston laatu sekä intensiteetti. Intensiteetillä tarkoitetaan kohteesta heijastuneen säteen voimakkuutta. Esimerkiksi ikkunaan osuessaan laser ei juurikaan heijastu takaisin, minkä vuoksi pistepilvessä olevat ikkunat erottuvat tummina alueina muurattuun seinään verrattuna. Intensiteettiarvo muodostuu laserin heijastuessa eri materiaaleista eri voimakkuudella takaisin. (Mts. 3)

Mittauksen tarkkuuteen vaikuttaa vallitseva sää: vesi- tai lumisade, aurinko ja sumu heikentävät lasersäteen kulkua ja aiheuttavat siten mittaepätarkkuuksia ja pisteiden virheellisiä koordinaatteja. (Koski 2001, 24)

### 4.3 Pistepilven rekisteröinti ja värjäys

Keilain tallentaa keilausasemien skannaukset raakadatanä laitteiden sisällä olevalle USB-muistitikulle, esim. Trimblen TX8 -keilaimesta muodostuu TZF-tiedosto. Yhden aseman tiedostokokoo on normaalikeilausasetuksilla (taso 2) noin 500 Mt. (Mahlamäki 2018)

Raakadatan rekisteröintiin ja värjäykseen käytetään siihen tarkoitettuja ohjelmistoja, kuten Trimblen RealWorks. Rekisteröinnillä tarkoitetaan keilausasemien yhdistämistä toisiinsa yhdeksi pistepilvitiedostoksi. (Mahlamäki 2018) Yhdistäminen tapahtuu koordinaatistoon sidottujen tähyksien avulla. Jokaisesta keilausasemasta tulee näkyä kolme yhteisesti skannattua tähyistä, jotta yhdistäminen automaattisesti onnistuu. (Joala 2006, 4)

Pistepilvitiedostojen yhdistäminen 3D-malliksi onnistuu myös keilaamalla yhteisiä alueita. Menetelmä on kuitenkin huomattavasti epätarkempi kuin tähyksillä yhdistäminen ja siksi harvemmin käytetty. (Mts. 4) Joissain tapauksissa inventointimallin tekijälle lähetetään pistepilvet yhdistämättöminä yksittäisistä keilausasemista. (Buddas 2019)

Kuvannukseen eli pistepilven värjäykseen käytetään erillistä järjestelmäkameraa. (Mahlamäki 2018) Moderneimmissa keilainmalleissa on sisäinen kamera kuvannusta varten. (Seppänen 2019) Kameralla otetaan kustakin keilausasemasta kuvamosaiikki, josta luodaan 360 asteen panoraamakuva. Panoraamakuva sovitetaan ohjelmallisesti pistepilveen ja näin pisteet saavat RGB-arvon eli väriarvon. (Mahlamäki 2018).

Ennen pistepilven toimittamista eteenpäin pistepilveä siivotaan ylimääräisistä pisteistä poistamalla pisteitä esimerkiksi rakennuksen ympärillä olevasta kasvillisuudesta ja sisällä olevista huonekaluista. Pistepilven rekisteröinnin ja värjäyksen jälkeen data voidaan tallentaa useisiin eri tiedostomuotoihin jatkokäsittelyä varten. (Ahonen 2015, 37)

## 5 Pistepilven käsittely

Tutkimuksessa pistepilven käsittelyllä tarkoitetaan pistepilven prosessointiin liittyviä jatkotoimenpiteitä. Toimenpiteiden tarkoituksena on edesauttaa inventointimallin tehokasta mallintamista. Käsittelyllä pyritään muokkaamaan pistepilveä niin, että käsitelty muoto olisi visuaalisempi kokonaisuus pienemmässä tiedostokoossa. Usein saman pistepilven prosessoinnissa inventointimalliksi käytetään useita eri käsittelymuotoja.

Karkeasti pistepilven käsittely voidaan jakaa kahteen menetelmään: *pisteiden muokkaamiseen* ja *geometrian luomiseen*. Pisteitä muokkaavat käsittelymuodot ovat tiedostomuodon muuttaminen haluttuun formaattiin, renderöinti ja tiedoston jakaminen pienempiin osiin. Geometrian luomisessa pistejoukosta luodaan kokonaisuuksia, kuten pintoja, ääriviivoja tai valmiita objekteja. Yhdistelevät käsittelymuodot ovat 2D-/3D-kehikon luominen, pinta- ja solidimalli.

Käsittelyn lisäksi työskentelyominaisuuksia voidaan parantaa pistepilven värin muutoksilla rgb-arvoja muokkaamalla (ks. kuvio 4). Tämä ominaisuus ei muuta pistepilveä, vain työskentelyominaisuuksia. (Seppänen 2019) Värimuutoksilla pistepilvimallin halutut kohdat, kuten kulmapisteet ja eri korkeudella sijaitsevat tasot korostuvat. (Rasmussen 2015)

Pistepilven käsittelyyn käytettävien ohjelmien valintoihin vaikuttavat mm. pistepilven laatu, käytetty laserkeilauslaitteisto, käsittelijän osaaminen ja tottumukset, pistepilven jatkokäytön tarve ja jatkokäyttöön liittyvät ohjelmat.

## 5.1 Käsittelyohjelmat

Pistepilven hyödyntäminen vaatii lähes aina pistepilven käsittelyyn tarkoitettun ohjelman. Pääasiallisesti käsittelyohjelmissa pistepilvet muokataan tiettyyn suunnitteluohjelmaan sopivaksi. Käsittelyohjelmilla voidaan perus mittaus- ja tarkastelutoimintojen lisäksi tehdä esimerkiksi pistepilven pintakolmiointeja, solidimalleja sekä suodatusta. (Heiska 2009, 33-34)

Käsittelyohjelmat voidaan jakaa tiettyjen keilainvalmistajien tekemiin ohjelmiin (Cyclone, Leica) sekä laitevalmistajista riippumattomiin ohjelmiin (CloudCompare). Tiedetyt keilainvalmistajat ovat luoneet oman pistepilviformaatin, joka on tarkoitettu käytettäväksi keilaimen suunnitellussa ohjelmassa. Ohjelmistoriippumattomat ohjelmat avaavat hyvin myös keilainvalmistajien luomia pistepilviformaatteja. (Heiska 2009, 33-34)

Ohjelmissa saattaa olla eri tasoja, joiden mukaan ohjelmassa olevien ominaisuuksien ja työkalujen määrä kasvaa. (Heiska 2009, 33-34) Esimerkiksi ReCap on AutoDeskin luoma ilmainen perusversio pistepilven visuaalista tarkastelua, mittausta, värin muuttamista ja konvertointia varten. Maksullisessa, ammattilaiskäyttöön tarkoitettussa ReCap Pro -versiossa voidaan esimerkiksi suodattaa ja siivota pisteitä. (Picaro 2017)



Taulukko 1. Esimerkkejä pistepilven käsittelyohjelmista, sopivista tiedostomuodoista ja soveltuvuuksista

KÄSITTELYOHJELMA	TIEDOSTOMUOTO / IMPORT	TIEDOSTOMUOTO / EXPORT	SOVELTUVUUS
RECAP (Recap - Supported file formats n.d.)	pistepilvet: CL3, CLR, E57, FLS, FWS, LSPROJ, LAS, PCG, PRJ, PTG, PTS, PTX, RCS, RDS, TXT, XYB, XYZ, ZFS, ZFPRJ; muut: JPEG	pistepilvet: E57, PTS, PCG, RCP, RCS; muut: -	Konvertointi, Jakaminen osiin, Renderöinti, Väritys
VR-MESH (FAQs. N.d.)	pistepilvet: E57, LAS, LAZ, ZLAS, PTX, PTS, TXT, ASC, XYZ, RCP, RSP, FLS, ZFS, CSV, RDBX; muut: STL, OBJ, DXF, SHP, PLY, 3DS, WRL, VTK,	pistepilvet: LAS, LAZ, ZLAS, PTS, TXT, ASC, RCP, CSV; muut: IGS, STL, OBJ, DXF, FBX, SHP, GRID, WRL, PLY, VTK, X3D, PDF,	Pintamalli
AUTOCAD (Autocad LT export n.d.)	pistepilvet: RCS, RCP	pistepilvet: - ; muut: DWF, DWG, DXX	2D-/3D-kehikko
CLOUDCOMPARE (File I/O 2019)	pistepilvet: BIN, ASCII, LAS, E57, PTX, FARO, DP, PCD, PV, PN, SOI, POV, ICM, CSV-Matrix; muut: PLY, OBJ, STL, VTK, OFF, FBX, DXF, SHP, PDMS, RASTER, OUT, GeoMasca-ret, Sinusx	pistepilvet: BIN, ASCII, LAS, E57, FLS, OBJ, VTK, STL, OFF, FBX, SHP, RASTER, PV, PN; muut: Sinusx, DXF, PLY,	Pintamalli, konvertointi, jakaminen osiin, renderöinti, väritys
EDGEWISE (EdgeWise file type work flow guide 2015)	pistepilvet: FLS, PTG, TZF, ZFPRJ, ZFS, DP, FWS, PTX, E57, RSP; muut: -	pistepilvet: -; muut: C3DUCT, C3DB, DB, C3GRND, C3BLDG, C3STRUCT, C3M --> C3RVT	Solidimalli
POINTFUSE (Features and functions 2018)	pistepilvet: E57, FLS, FWS, LAS, LAZ, PTS, PTX, RCP, RCS, XYZ, ZFS; muut: CL3, CLR, DP, VPC	pistepilvet: - ; muut: DAE, DXF, FBX, IFC, NWC, STL, SKP, OBJ, X3D	Pintamalli
POINT CLOUD MANAGER (Point clouds 2018)	pistepilvet: ASCII, E57, LAS, LAZ, PTS, PTX, Potree, Trimble scan format; muut: -	pistepilvet: Potree; muut: -	Konvertointi, jakaminen osiin, renderöinti, väritys

Huom! Taulukon muut tiedostomuodot ovat esimerkiksi kuvatiedostoja, pintamalliksi tai objekteiksi muutettuja tiedostoja.

## 5.2 Pisteiden muokkaaminen

### **Konvertoiminen**

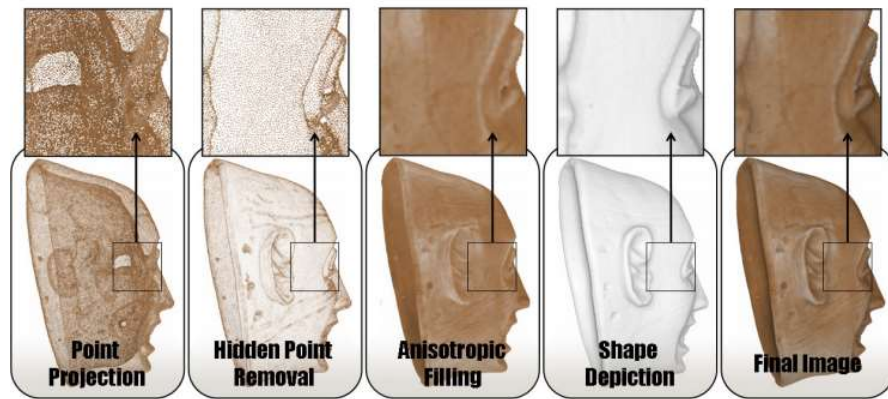
Eri pistepilven prosessointiohjelmilla on omat formaatit, joissa ohjelma toimii. Vaadittuun formaattiin konvertoiminen eli tiedostomuodon muuttaminen aiheuttaa pistepilven kierrättämistä useiden eri ohjelmien kautta.

Pistepilvien tiedostomuodot voidaan jakaa avoimiin ja suojattuihin tiedostomuotoihin. Avoimet tiedostomuodot ovat laitevalmistajista riippumattomia tiedostomuotoja, kuten ASCII, LAS ja E57. E57-pistepilvimuoto on myös ASTM Internationalin standardi tiedostomuoto pistepilville. Laitevalmistajista riippumattomia ohjelmia ovat ReCap sekä CloudCompare. (Tammi 2015, 14-15)

Suojatut tiedostomuodot ovat laitevalmistajista riippuvaisia tiedostoja. Suojattuja tiedostomuotoja käytetään laitevalmistajien omilla käsittelyohjelmilla. Tällöin käsittely on optimoitu juuri laitteelle sopivan pistepilvitiedoston käsittelyyn. (Tammi 2015, 14-15) Esimerkkejä suojatuista tiedostomuodoista ovat RCP ja FLS-muodot. Laitevalmistajista riippuvaisia ohjelmia ovat Autodesk- ja Faron SCENE -ohjelmat. Uusiin Autodesk:n ohjelmiin, kuten Revit ja AutoCad, soveltuvat vain RCP-formaatissa olevat pistepilvitiedostot. (Lepistö 2019) SCENE-ohjelma on optimoitu mm. FLS-muotoisiin pistepilviin, mutta ohjelma lukee myös muita formaatteja. (Tammi 2015, 14-15)

### **Renderöinti**

Renderöinti on pistepilveä laajempi käsite, joka tarkoittaa näkymän generointia pikselimuotoon. Pistepilven käsittelyssä se tarkoittaa pistepilven pisteiden ohjelmallista suodatusta, niin että lopputuloksesta tulee valokuvamainen. Renderöinnin tavoitteena on tehdä pistepilvestä mahdollisimman havainnollinen. (Seppänen 2019)



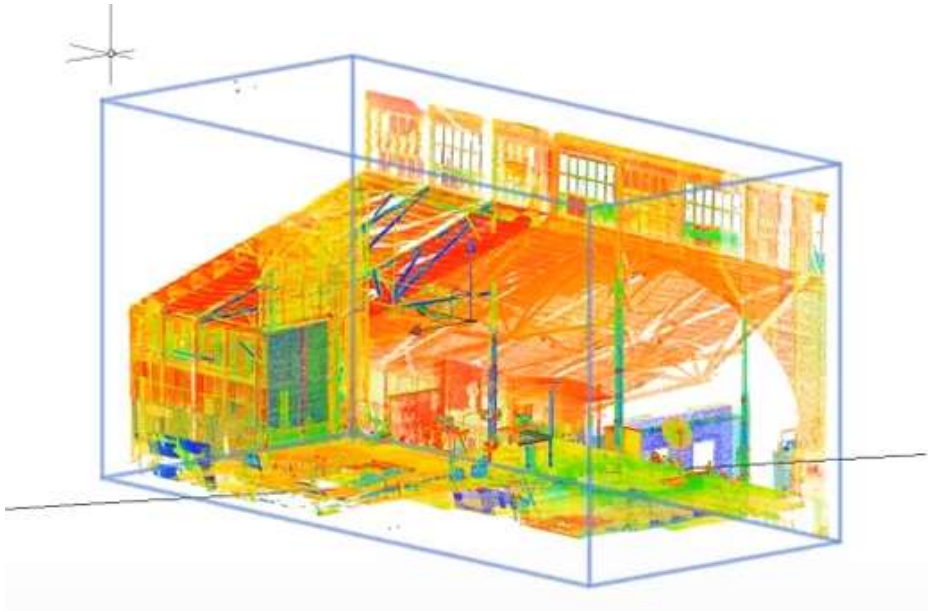
Kuvio 3. Renderöinnin periaate (Pintus, Gobbetti & Agus 2011, 3)

Pistepilven pistekerrokseen lisätään tekstuuri eli luodaan kappaleen pintaan bittikartakuva. Tekstuuri suodatetaan laskemalla viereisten pisteiden väriarvot ja perspektiivi, jolloin osalle muodostuu yhtenäinen pinta heijastuksineen. (Pintus, Gobbetti & Agus 2011, 3) Havainnollisuuden lisäämisen eli renderöinnin onnistuminen on ohjelmakohtaista. (Seppänen 2019)

### **Pistepilvitiedoston harventaminen ja jakaminen osiin**

Pistepilvitiedoston harventaminen tai jakaminen pienempiin osiin helpottaa datan käytettävyyttä, koska tiedostokoko pienenee merkittävästi. Pistepilveä voidaan rajata tiettyyn tarkasteltavaan alueeseen piilottamalla tarpeettomia alueita tai leikkaamalla pistepilvi siivuihin, jotka toimivat esim. leikkaus- ja pohjapiirustuksen referenssikuvina. Osakokonaisuuksiin jaettu pistepilvi pysyy hallittavan kokoisena ja jakaa kohteen valmiisiin lohkoihin suunnittelua varten. (Buddas 2019)

Pistepilveä voidaan myös harventaa pisteiden lukumääriin tai prosenttikokoon perustuen. Pistepilven harventaminen tehdään ohjelmallisesti valituilla toleransseilla. (Seppänen 2019)



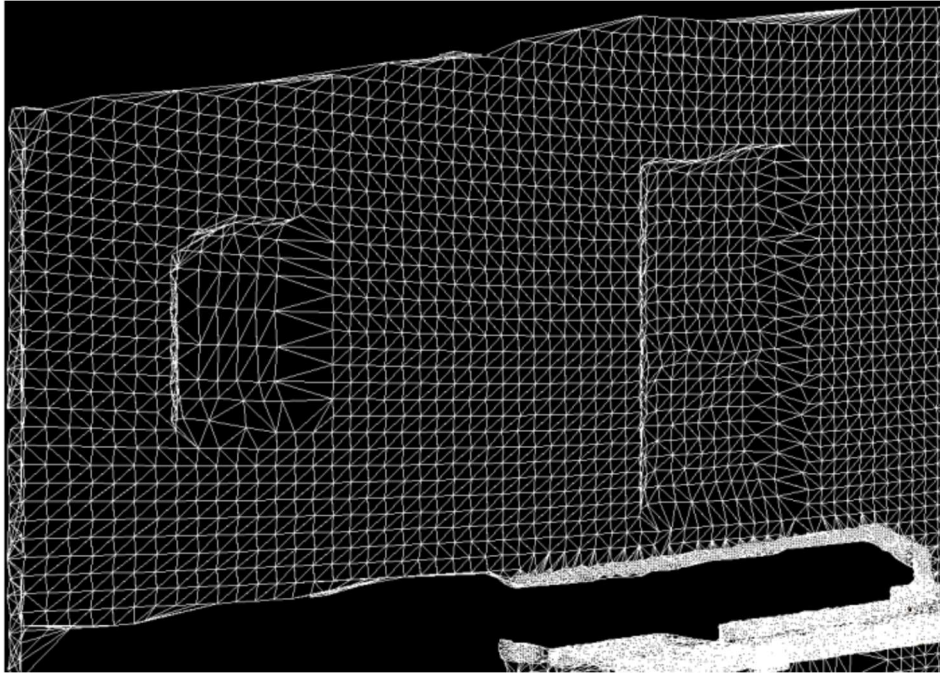
Kuvio 4. Värjätty ja osiin jaettu pistepilvi (Rasmussen 2015)

### 5.3 Geometrian luominen

#### **Pintamalli**

Pintamalli tunnetaan myös toiselta nimeltään mesh-mallina. Pintamalli muodostuu yhdistämällä pistepilven pisteitä kolmioverkoksi. Pintamalli luodaan joko manuaalisesti käsittelyohjelmissa tai automaattisesti verkkoja muodostavalla ohjelmalla. Kolmiointi automatiikassa perustuu ohjelmaan asetetulle tarkkuudelle. Yhtenäiset, samassa tasossa olevat kolmioverkot muodostavat pinnan, esimerkiksi seinän. (Anttila 2018, 32)

Pintamallia käytetään pistepilven visuaalisempaan tarkasteluun esimerkiksi rakenteiden etsimisessä. Pintamalli on nopea valmistaa pistepilvestä ohjelman automatiikan avulla. (Kiviranta 2014, 32-33; Pointfuse Tutorial 1 Importing and converting a point cloud 2017)

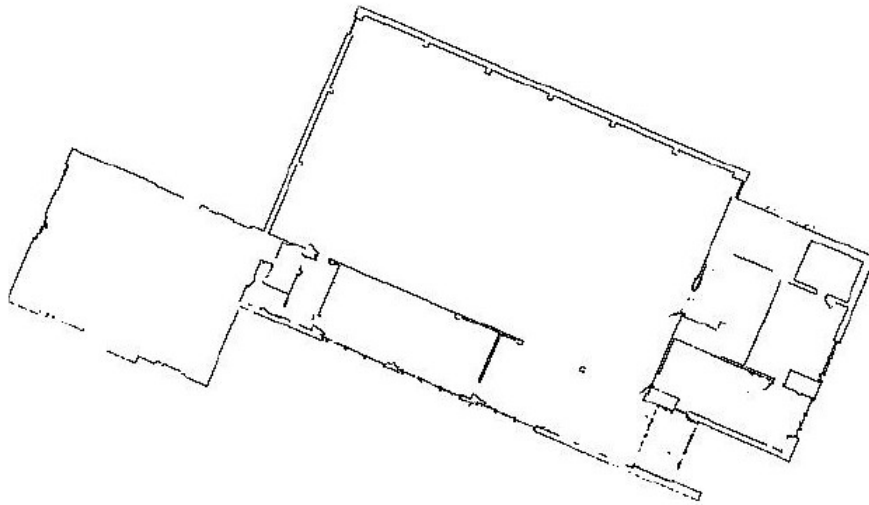


Kuvio 5. Pintamallin muodostaminen seinästä (Kari 2011, 32)

Pistepilven pintamalliksi muuttaminen aiheuttaa kulmakohtien pyöristymistä ja mallin epätarkkuutta kolmioinnin vuoksi. Pintamallin huonoja puolia ovat epätarkkuuden tai hitauden vuoksi myös pisteiden siivoaminen esimerkiksi rakennuksen sisälle jääneistä kalusteista. Tämä aiheuttaa aikaa vievän työvaiheen, jonka vuoksi ainakin tähän mennessä pintamallin käyttöön rakennusten suunnittelussa on suhtauduttu varsin negatiivisesti. (Kiviranta 2014, 32-33, 48-50)

### **2D-/3D-kehikko**

Pistepilvestä voidaan tehdä ”rautalankamalli”, eli 2D-/3D-kehikko. Kehikon muodostamisessa pistepilvi siivutetaan määrävällein noin 0,05 metrin levyisiksi tasoiksi. (Huh-tala 2015, 28) Ohjelmasta riippuen siivutus tehdään joko automaattisesti tai käsin. Ohjelman työkalu tunnistaa tasojen pistejoukoista yhtenäisiä pintoja, joiden perusteella pisteet yhdistetään pistejanoiksi eli polygoneiksi. Samalla suoralla kulkevat polygonit yhdistetään ohjelmassa valitun toleranssin mukaan. (Wirkkala 2019; Seppänen 2019.)



Kuvio 6. Siivutetusta pistepilvestä tunnistetut seinälinjat (Huhtala 2015, 29)

Kehikon hyviä puolia ovat tiedostokoon pienentyminen murto-osaan alkuperäisestä sekä tiedon selkeytyminen. Pistepilven tiheyttä joudutaan usein muuttamaan useita kertoja, jotta saatu kehikko on tarpeeksi tarkka ja kattava. (Wirkkala 2019) Mikäli kehikon muodostamisessa tarvittava siivutus ei ole automatisoitu, pistepilvi joudutaan tunnistamaan jokaisesta luodusta siivusta erikseen.

### **Solidimalli**

Solidimalli on puoliautomaattisesti tuotettu 3D-malli. Solidimallin toiminta perustuu laskentamenetelmään, jossa algoritmien määrityksellä yhdistetään valitun alueen lähekkäin olevia pisteitä kappaleeksi.

Solidimallinnuksessa mallintaja valitsee pistepilvestä alueen, jossa on esimerkiksi teräspalkki. Ohjelma laskee valitulla alueella olevien pisteiden etäisyydet muodostaen profiilin pinnan. Laskennan tuloksena ohjelma syöttää automaattisesti katalogikirjastosta profiilin dimensioihin sopivan mallinnusobjektin. (EdgeWise overview video 2015)

Joissain soliditunnistustyökaluissa ohjelma alkaa ensimmäisen tunnistuksen jälkeen löytämään loput samanlaiset profiilit pistepilvestä. Paikoittain tunnistustyökalua on

myös autettava erottamaan esimerkiksi putkilinjat ilmoittamalla tunnistetun kappaleen olevan putkea. Eri rakenteita, kuten putkilinjoja pystytään yhdistämään tunnistuksen jälkeen manuaalisesti. (EdgeWise overview video 2015)

Solidimallissa ohjelman automatiikka käy pistepilvidatan läpi, jolloin mallintajan työtehtäviin jää mallin laadunvarmistus. Laadunvarmistamisella tarkoitetaan automatiikan valitsemien objektien ja mittojen tarkistamista sekä turhien kappaleiden poiston hyväksymistä. Mallintaja mallintaa myös puuttuvat ja tunnistamattomat rakennusosat sekä tarvittavat lisätiedot, kuten betonirakenteiden raudoitteet, objekteihin käsin.

Solidimallin etuja ovat nopeus, sijainnin tarkkuus ja valmiiden mallinnusobjektien linkittyminen 3D-mallinnusohjelmaan. Solidimallinnus soveltuu erityisen hyvin esimerkiksi teollisuuslaitosten prosessijärjestelmien inventointiin. Huonoja puolia ovat objektien jälkityöstäminen oikean geometrian varmistamiseksi, puuttuvien rakennusosien mallintaminen sekä turhien objektien poistaminen. (Seppänen 2019)

Solidimallin käyttöön suhtaudutaan myös skeptisesti esimerkiksi arkkitehtuurisesti haastavissa paikoissa, kuten kirkoissa ja stadioneilla. Monimutkaisten rakenteiden uskotaan vain heikentävän mallinnusprosessia tunnistamattomien tai virheellisesti tunnistettujen rakennusosien myötä. (Anttila 2018, 32)

## **6 Inventointimalli ja mallin vaatimukset**

### **6.1 Inventointimalli**

Inventointimalli on kohteen lähtötiedoista, kuten vanhoista suunnitelmista koottu tarkoituksenmukainen dokumentaatio, lähtötietomalli. Inventointimallia käytetään yleensä korjaussuunnitteluun. Inventointimalli ei tarkoita pelkästään mallintamalla tehtyä 3D-mallia, vaan mitä tahansa tapaa inventoida eli järjestää olemassa olevat tiedot kohteesta. Inventointimallissa dokumentoidaan yleensä kohteen mittatiedot, geometria, materiaalitiedot, tila- ja laajuustiedot. (Anttila 2018, 32)

Suuremmissa hankkeissa, kuten laajoissa peruskorjauskohteissa, inventointimallin kokoaminen kuuluu usein arkkitehtien työnkuvaan. Erikseen ohjeistamattomissa mallintamisperiaatteissa noudatetaan YTV 2012 osan 3. Arkkitehtisuunnittelu ohjeita. (Osa 2 lähtötilanteen mallinnus 2012, 6.) Opinnäytetyössä inventointimallilla tarkoitetaan laserkeilauksesta saatavan mittatiedon perusteella koottua 3D-mallia.

Tietomalli eli BIM (Building Information Model) sen sijaan on 3D-malli rakentamista ja hankintaa varten. Tietomalli sisältää kaikki täsmälliset tiedot rakennuksen geometriasta, sijainnista ja ns. metatiedoista valmistusta ja rakentamista varten. Metatieto on tietoa määrittelevää ja kuvaavaa liitännäistietoa tarkasteltavasta sisällöstä, kuten materiaalit, nimet, mitat ja status. (Mitä on metatieto? N.d.) Mallin avulla rakennus voidaan toteuttaa sellaisena kuin se on tilattu ja suunniteltu. (Mitä on BIM? N.d.)

3D-inventointimallista muodostetaan tilaajalle IFC-malli. IFC (the Industry Foundation Classes) tarkoittaa objektipohjaista tiedostomuotoa, joka toimii kaikilla tietomalliohjelmistoilla. Muoto on buildingSMART:n standardoima kuvaustapa, jolla välitetään tietomallisisältöä eteenpäin. (Standardit, BuildingSmart n.d.)

## 6.1 Inventointimallintaminen laserkeilatusta datasta

Pistepilven inventointimallinnusta tehdään pistepilvimuodossa tai pistepilvestä jalostettuina malleina: pinta- tai solidimallina tai kehikkona. Periaate on kuitenkin kaikissa solidimallinnusta lukuunottamatta sama: Mallinnusohjelmaan tuodut tiedostot toimivat aina referenssikuvana inventointimallinnukselle. Jokainen rakennusosa on siis tehtävä malliin itse. Solidimallinnuksessa erillinen työkalu tekee pistepilvestä valmiita mallinnusobjekteja, jotka linkittyvät suoraan tietomalliohjelmaan. Solidimallia hyödyntäessä mallintaja muokkaa, poistaa ja lisää valmiita objekteja mallinnusohjelmassa.

### 6.1.1 Mallinnusohjelmat

Tutkimuksessa huomioitiin kaksi Swecolla yleisesti käytettyä tietomallinnusohjelmaa, Tekla Structures ja Revit. Tekla Structures -ohjelmasta valittiin 2018-versio, koska siinä on pistepilven ohjelmaan lisäämisen mahdollistava työkalu. (Point clouds from 3D



scanning 2018) Aikaisemmissa Teklan versioissa pistepilven siirtäminen ohjelmaan ei ole onnistunut.

Tekla Structures on rakennesuunnittelussa yleisimmin käytetty 3D-tietomallinnus-ohjelma. Teklalla voidaan mallintaa rakenteita mistä tahansa materiaalista tai sisällyttää malliin useamman materiaalin mallit. Revit on AutoDesk ohjelmistotuottajan 3D-tietomallinnusohjelma rakennus-, rakenne- ja talotekniikkasuunnitteluun. Revit:n ohjelmat ovat lukeneet pistepilveä jo pitkään, jonka vuoksi tarkempi versiointi ei ollut tutkimuksen kannalta oleellista.

## 6.2 Inventointimallin vaatimukset

Mallinnuksen vaatimukset muodostavat reunaehdot inventointimallille. Inventointimallivaatimukset muodostavat tilaaja, suunnittelijat sekä merkittävien tilaajatahojen organisoimat vaatimukset ja ohjeet. Eri tahojen vaatimusten pohjalta luodaan suunnittelusopimus, jonka perusteella inventointimalli toteutetaan. Ensisijaisesti vaatimukset inventointimallille luo tilaaja käyttökohteesta, jolle malli tehdään. Käyttökohteeseen liittyvien ominaispiirteiden perusteella määritellään inventointimallin sisällölliset vaatimukset, tarkkuus, laatu sekä mallinnuksen tehokkuus ja kustannukset.

Suunnittelijat kartoittavat tilaajan toiveiden mukaisen tarpeen. Tarvekartoituksen perusteella suunnittelijat laativat mallille yksityiskohtaisemmat ohjeet tarkoituksenmukaisesta mitta- ja mallinnustarkkuudesta. Suunnittelijat ottavat myös kantaa mallin sisältöön, kuten mallinnettavan alueen laajuuteen. (Rajala n.d., 447.)

Merkittävien tilaajatahojen muodostamia vaatimuksia ovat esimerkiksi Senaattikiinteistöjen *Yleiset tietomallivaatimukset* sekä U.S General Services Administration:n *GSA BIM Guide*. Organisaatioiden määrittelemillä vaatimuksilla otetaan kantaa inventointimallin sisältöön, tarkkuuteen ja laatuun. (Rajala n.d., 448)

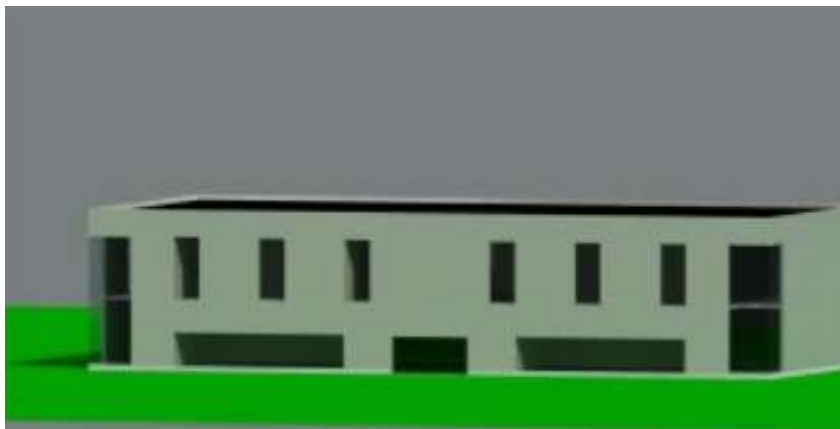
Erilaisten tarpeiden, toiveiden, ohjeiden ja vaatimusten tavoitteena on parantaa suunnitelmien laatua ja tiedonsiirtoa, tehostaa suunnitteluprosessia ja vähentää virheitä. 3D-inventointimallintamalla pystytään suunnittelemaan paremmin työturvallisuutta ja varmistamaan tavoitteiden mukainen lopputulos, koska mallia voidaan käyttää suunnitteluratkaisujen toimivuuden ja laajuuden tarkastelussa. 3D-inventointimalli tukee suunnittelutyössä, investointipäätöksissä, rakentamisessa, kustannusten

arvioinnissa sekä hallinnassa ja mallilla voidaan tehdä elinkaarianalyyssejä. (Osa 1 yleinen osuus 2012, 5.)

### 6.2.1 Sisältövaatimukset

Yleisten tietomallivaatimusten Osa 2. Lähtötilanteen mallinnus ottaa kantaa inventointimallin sisältöön. YTV:n mukaiset inventointimallin sisältövaatimukset jaotellaan kolmeen eri tasoon: Tilatunnisteet ja rakennusosien tyypitys (taso 1: tilamalli), huoneilainventointi ja rakennusosien tyypitys (taso 2: rakennusosamalli), rakennuksen historia ja tutkimustiedot (taso 3: rakennusosamalli). Tarkasteltavien tasojen sisältövaatimus riippuu tilaajan toiveesta ja jatkokäytöstä. (Osa 2 lähtötilanteen mallinnus 2012, 11-12, 14.)

Ensimmäinen taso on kaikista yksinkertaisin. Tason 1 tilamalli toimii hankesuunnittelun ja tutkimuksien lähtötietona. 1. tason mallinnusvaatimuksena ovat ulkoseinät ilman yksityiskohtia, ikkuna- ja oviaukot ilman karmeja, tilavaraukset sisätiloihin sekä vesikatteet. (Osa 2 lähtötilanteen mallinnus 2012, 14.)



Kuvio 7. Inventointimallinnusvaatimus taso 1. (Tarkkuustasot n.d.)

Toiseen tasoon mallinnetaan ensimmäisen tason lisäksi 3D-pintamalli, säilytettävä kasvillisuus ja aluerakenteet, alapohja, runko ja hormit näkyviltä osin, Ikkunat ja ovet karmeineen ja puitteineen, yksinkertaistetut vesikattorakenteet kattoikkunoineen ja -luukkuineen, tilanjako-osat ja sisäkattorakenteet ilman yksityiskohtia sekä vakiokalusteet tilanvarauksina. (Osa 2 lähtötilanteen mallinnus 2012, 15.)



Kuvio 8. Inventointimallinnusvaatimus taso 2. (Tarkkuustasot n.d.)

Tasossa kolme on kahden aikaisemman tason lisäksi mallinnettu pintojen päällysrakenteet, aluerakenteet, runko ja julkisivut yksityiskohtineen, julkisivut varusteineen, ulkotasot, vesikattorakenteet sovitun toleranssin mukaan, tilanjako-osat yksityiskohtineen, hoitotasot ja kulkurakenteet sekä hissit. Tasoon kaksi verrattuna mallin tarkkuustasoa lisätään siis pintarakenteilla ja koristeilla. (Osa 2 lähtötilanteen mallinnus 2012, 16.)



Kuvio 9. Inventointimallinnusvaatimus taso 3. (Tarkkuustasot n.d.)

Inventointimallin tietomalliselosteeseen tulee merkitä:

- lähtötietojen alkuperä
- mittausmenetelmä, tarkkuus ja ajankohta
- poikkeamat mittausmäärittelyssä
- käytetyt ohjelmistot
- koordinaatisto ja vastinpisteet
- tiedostojen ja rakennusosien nimeämiskäytännöt
- mallissa käytetyt kuvatason ja mallinnustyökalut
- poikkeamat määrittelystä mallinnuskäytännöstä
- lähtötietomallin tarkastuslomake
- muu mittauksessa saatu materiaali
- mallinnustyökalut
- kuvatason (Osa 2 lähtötilanteen mallinnus 2012, 8-9)

Inventointimallissa tulee huomioida looginen luokittelu ja jaottelu ja eri statuksia (säilytettävät, purettavat, uudet) sisältävät osat tulee näkyä selkeästi mallista. Inventointimallissa tulee näkyä kaikki kantavat osat ja ei kantavat betonirakenteet, sekä tilaa vievät rakennusosat. Kevyet väliseinät mallinnetaan, jos ne ovat esimerkiksi purkutyön kannalta oleellista tietoa työmaalle. Runko mallinnetaan näkyviltä osin ja piilossa olevat rakenteet vanhojen suunnitelmien perusteella tai jättää kokonaan mallintamatta. Perustuksia ei mallinneta, ellei sitä erikseen vaadita. (Rajala n.d., 450-451.)

Tontti ja rakennus mallinnetaan kokonaisuuksina, tilat tilaobjekteina. Alueosat ovat suositeltavaa mallintaa ainakin geometrialtaan. Tilaobjekteista on luettavissa tarvittavat tilatiedot. Tietosisällöstä on selvittävä rakennusosan sijainti kiinteistössä (kerros, rakennus). (Rajala n.d., 450-451.)

Ikkunat ja ovet mallinnetaan sopivalla tarkkuudella, yksityiskohdista päätetään tilaajan kanssa. Vesikattoa ei ole yleensä tarpeen mallintaa, ja se onkin usein vain visualisoitu malliin. (Seppänen 2019)

### 6.2.2 Laatuvaatimukset

Inventointimallin laatuvaatimuksilla ja -varmistuksella pyritään havaitsemaan ongelmakohdat mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja varmistetaan inventointimallin ta-

voitteiden toteutuminen. Aikaisessa vaiheessa havaittujen puutteiden, päällekkäisyyksien ja ristiriitaisuuksien korjaaminen on helpompaa ja edullisempaa kuin pitkälle viedyissä suunnitelmissa. (Rajala n.d, 452-453)

YTV2012 mukaisessa laadun tarkastuslistassa tarkastettavia asioita ovat:

- mittausaineiston oikea koordinaatisto
- kaikki määritellyt osat on mitattu ja mitat on tarkastettu vastaavan mitattua rakennusta
- mittausaineistossa ei ole sisäisiä virheitä
- mittatarkkuus on vaatimusten mukainen
- mittausmenetelmä, -tarkkuus ja -ajankohta on merkitty
- mahdolliset poikkeamat on ilmoitettu tietomalliselosteessa (esim. lukitut tilat, joita ei ole voitu mitata)
- malli ja dokumentit eivät sisällä törmäyksiä
- (Osa 2 lähtötilanteen mallinnus 2012, 24-25; Osa 6 laadunvarmistus 2012, 11-13)

Laadunvarmistusta tehdään kahdessa vaiheessa - Mallintajan YTV2012 mukainen tarkastus mallinnuksen aikana ja ennen tilaajalle lähettämistä sekä tilaajan mallin sisältöön liittyvä tarkastus. Mallintaja tarkastaa alkuperäisen natiivimallin ja korjaa mahdolliset virheet siihen. Korjausten jälkeen mallintaja luo natiivimallista IFC-version, johon voidaan liittää eri suunnittelijoiden tekemät mallit. Mallintaja tarkastaa myös yhdistetyn IFC-mallin ja mahdolliset korjaukset tehdään natiivimalliin. Tämän jälkeen mallintaja lähettää korjatun IFC-tiedoston tilaajalle, joka vielä tarkastaa mallin. Kaikki korjaukset tehdään alkuperäiseen natiivimalliin, josta luodaan korjauksien jälkeen aina uusi IFC-malli. (Rajala n.d., 452-453)

### 6.2.3 Tarkkuusvaatimukset

Laserkeilausmittauksesta saatava pistepilvi on ainoa inventointimallin tason 3 tarkkuusvaatimukset täyttävä mittatieto. Laserkeilauksessa mittaus suoritetaan rakennuksen kaikilta näkyviltä pinnoilta. (Osa 2 lähtötilanteen mallinnus 2012, 10) Inventointimallin tarkkuuteen vaikuttaa ensisijaisesti pistepilven laatu ja mallintajan huolellisuus. (Seppänen 2019; Mahlamäki 2018)

Inventointimallinnuksessa pistepilven pistetiheys saa olla enintään 5 mm ja pisteiden virhe (=kohina) 10 mm. Tarkkuusvaatimukset vaihtelevat myös rakennusosakohtaisesti:

- rakennuksien nurkkapisteet +/-10mm
- tasaiset pinnat (esim. lattia, seinät) +/-25mm
- epäsäännölliset rakenteet (esim. vesikattorakenteet, räystäät) +/-50mm

Rakennushistoriallisesti merkittävässä kiinteistössä mittaus ja mallinnus ovat tarkempaa, mutta niissä tarkkuudet määritellään hankekohtaisesti. (Osa 2 lähtötilanteen mallinnus 2012, 10)

#### 6.2.4 Tehokkuusvaatimukset

Tutkimuksessa inventointimallin keskeisin vaatimus on tehokkuus. Mallin tehokkuudella tarkoitetaan nimenomaan inventointimallin mallintamiseen liittyvää helppoutta ja nopeutta. Tehokkuudella pyritään minimoimaan inventointimallinnuksen kustannukset. Pistepilven inventointimallinnuksen kustannukset koostuvat pistepilven käsittelyyn, inventointimallintamiseen sekä mahdollisiin tarkemmittauksiin ja muutoksiin kuluva ajasta.

## 7 Haastattelutulokset

Haastattelukysymysten tavoitteena oli kartoittaa ammattilaisten käyttämä työstöprosessi sekä selvittää, mitä prosessia helpottavia ohjelmia haastateltavat käyttävät. Jatkokohitystoimenpiteiden vuoksi oli tärkeää kartoittaa pistepilven inventointimallinnukseen liittyvät haasteet ja kehitysideat.

Haastateltaviksi valittiin kolme rakennesuunnittelijaa, arkkitehtitaustainen asiantuntija sekä ohjelmistokehittäjänä työskentelevä rakennesuunnittelija. Teemahaastattelussa käytetty kysymysrunko apukysymyksineen on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 3.

## 7.1 Pistepilven mallinnusprosessit

### **Mihin pistepilven inventointimallinnusta haastattelujen mukaan käytettiin?**

Tutkimuksen perusteella ilmeni, että jokainen haastateltu käytti pistepilveä jollain tasolla korjaussuunnittelun lähtötietona. Pistepilveä käytettiin myös olemassa olevien suunnitelmien paikkansapitävyyden varmistamiseen sekä yleisesti rakenteiden mittaamiseen.

### **Mistä pistepilven inventointimallinnusprosessi riippuu?**

Erot pistepilven inventointimallinnusprosessissa johtuvat mallintajan erityisosaamisalueista, projektin luonteesta ja laajuudesta, lähtötiedon ja lopputuotteen asettamista raameista sekä pistepilven käsittelytyökalujen kehityksestä. Pistepilven inventointimallinnusprosessi räätälöidään projektikohtaisesti. Haastattelussa arkkitehtitaustainen asiantuntija totesi:

*“Aika paljon menee sellaisena Ad hoc -menetelmänä.”*

### **Minkälaisia menetelmiä mallinnusprosessissa oli käytössä?**

Tilanteesta riippuen kaikki raportin alussa kuvatut prosessointimenetelmät olivat olleet haastateltavilla käytössä. Haastattelujen perusteella korjauskohteen laajuus vaikutti eniten inventointimallinnusprosessiin. Yksittäiset kerrokset ja tilat koettiin liian pieniksi projekteiksi uuden työkalun opetteluun ja käyttöönottoon. Tämän vuoksi prosessina käytettiin suoraan pistepilven päälle mallintamista joko Teklassa tai Revitissä. Suurempia peruskorjauskohteita mallinnettaessa apuna käytettiin pintakolmiotia ja solidimallinnusta.

### **Minkälainen kehityssuunta pistepilven inventointimallinnuksella nähdään?**

Vaikka mallinnusprosessi vaihteli projektista riippuen merkittävästi, automatisoinnin lisäämisestä inventointimallinnukseen oltiin haastateltujen kesken yhtä mieltä. Uuden pistepilvien työskentelyyn soveltuvan Tekla Structures version myötä solidimallinnustyökalujen uskotaan kehittyvän myös Teklan ohjelmiin.

## 7.2 Käytetyt ohjelmat ja apuvälineet

### **Mitä ohjelmia käytettiin pistepilven pisteiden muokkaamiseen ja miksi?**

Haastattelujen perusteella käsittelyyn käytetyt "perusohjelmat" toistuivat jokaisessa haastattelussa toimenkuvasta riippumatta. Näitä ohjelmia käytettiin pääasiallisesti pistepilven konvertointiin, renderointiin, osiin jakamiseen sekä pintamallin muodostamiseen. Pistepilven käsittelyyn käytetyt perusohjelmat olivat ReCap Pro sekä CloudCompare, koska ne ovat helposti saatavilla ja yksinkertaisia käyttää. Lisäksi ne sisältävät tarkoituksenmukaiset työkalut perustoimintoihin. Rakennesuunnittelijoiden käytössä ei ole ollut perusohjelmien lisäksi muita ohjelmia tai työkaluja. Haastatteluissa selvisi myös, että työskentelyä nopeuttavien ohjelmien ja työkalujen etsiminen ei ole ollut aktiivista. Eräs rakennesuunnittelijoista kertoi:

*"On meillä ollut esimerkiksi putkien tunnistamiseen työkalut, mutta minä en ole niihin perehtynyt."*

Tämänhetkisiin solidimallinnusohjelmiin suhtaudutaan rakennesuunnittelijoiden keskuudessa pääsääntöisesti varauksellisesti. Rakennesuunnittelijoilla ei kuitenkaan ole omakohtaista kokemusta solidimallien käyttämisestä, minkä vuoksi suhtautuminen perustuu kuulopuheisiin ja ennakkoasenteisiin. Rakennesuunnittelija kertoi kokemuksistaan:

*"Meillä testattavana olleet softat eivät oikein ole olleet mitään ykköstykkiä."*

### **Mitä ohjelmia käytettiin geometrian muuttamiseen ja miksi?**

#### **-Solidimallinnus**

Perusohjelmien lisäksi arkkitehtitaustaisen asiantuntijan haastattelussa löytyivät mallinnuksen apuna käytetyt EdgeWise -ohjelman Building Bundle -paketti sekä Plant-versio. EdgeWisen versiot tekevät solidimallinnusta, eli luovat valmiita mallin-  
nusobjekteja pistepilvestä. EdgeWisen-versiot todettiin kokemusten perusteella solidimallintajista parhaimmaksi ja ohjelman käyttö helpotti inventointimallinnusta selkeästi. Tällä hetkellä versioita ei kuitenkaan ole organisaatiolla käytössä.

Asiantuntija kertoi:



*“Vastaavanlaisia tunnistustyökaluja on muillakin toimijoilla, mutta tämä ClearEdge-3D:n EdgeWise on minun kokemukseni mukaan parhaimmasta päästä.” “...mikään tunnistustyökalu ei toimi kovin 100%:sti.”*

### **-Pintamallinnus**

Visuaalista tarkastelua parantava pistepilven pintamallinnus koettiin helpottavan huomattavasti inventointimallintamista, koska pintamallintamalla rakenteet näkyvät selkeämmin mallinnusta varten. Pintamallia käytettiin erityisesti maanpinnan muotojen sekä lattian kallistusten havainnollistamisessa, koska pinnat olivat käytettävissä sellaisina inventointimallissa. Automaattiseen pintamallintamiseen käytettiin pääasiassa uusinta CloudCompare-ohjelmaa ja AutoCadin VR-Mesh Reverse-työkalua. Manuaaliseen kolmiointiin käytettiin AutoCadiä. Ohjelmat ja työkalut valikoituivat työhön, koska ne olivat käyttökelpoisia kyseisiin tehtäviin ja ohjelmat olivat organisaatiolla käytössä. Tämän vuoksi myös osaaminen ohjelman käyttöön oli valmiina ja ohjelmat helposti saatavilla.

### **Mitä tietomalliohjelmiä käytettiin inventointimallintamiseen ja miksi?**

Haastattelujen perusteella inventointimallinnusta tehtiin sekä Revit- että Tekla Structures 2018 -tietomallinnusohjelmilla. Molemmat ohjelmat ovat käytössä organisaatiossa ja ne soveltuivat hyvin pistepilvien mallintamiseen.

### **-Revit**

Revitiä työssään käyttäneet rakennesuunnittelija sekä asiantuntija luettelivat Revit:n vahvuuksiksi mallinnusohjelman yhteensopivuuden toisten ohjelmien kanssa. AutoDesk:n tuotteena ohjelmat “keskustelevat” hyvin keskenään, minkä vuoksi ohjelmien välissä ei tarvitse konvertoida tiedostoja eri muotoihin. Lisäksi Revit:iin sopii valmis solidimallinnusohjelma EdgeWiselta. Revit:llä voidaan valmistaa hyvin visuaalisia kuvia sekä pintamalleja ja ohjelma tunnistaa älykkäästi pistepilven pisteitä. Pisteiden älykkäällä tunnistuksella tarkoitetaan ohjelman kykyä tarttua pisteisiin ja tarkastella koordinaattitietoja havainnollisesti. Tällöin pistepilveä voidaan käyttää suoraan piirtoalustana.

## **-Tekla Structures 2018**

Teklan vahvuuksia sen sijaan ovat rakennesuunnitteluun tarkoitetut työkalut. Vain rakennuksen runkoon liittyvän korjaussuunnittelun näkökulmasta Tekla koetaankin parempana mallintajana. Sekä Revitiä että Teklaa työssään käyttänyt rakennesuunnittelija arvioi:

*“Korjaussuunnittelun kannalta uusi Teklan versio on hyvä, koska rakennetta voidaan mallintaa vain korjattavilta osin ja pistepilvi näkyy taustalla.”*

### **7.3 Prosessissa koetut haasteet**

Haastattelut rajattiin lähtökohtaisesti pistepilven käsittelystä inventointimallintamiseen. Haastattelujen aikana selvisi kuitenkin, että alihankintana toimitetussa pistepilvessä koettiin olevan prosessia hidastavia ongelmia.

#### **Minkälaisia ongelmia havaittiin käsittelyyn ja inventointimallinnusta varten saadussa pistepilvessä?**

Haastattelussa suunnittelijoiden näkökulman perusteella suunnitteluun saadut pistepilvet eivät olleet osassa projekteista tarpeeksi tarkkoja. Heijastavat pinnat sekä rakennukseen jääneet kalusteet ja ihmiset on pitänyt poistaa saadusta datasta jälkikäteen. Kappaleiden poistaminen valmiista mittadatasta on aiheuttanut aukkoja pistepilveen, minkä vuoksi esimerkiksi tärkeät nurkkapisteet ovat voineet poistua samalla. Eräs rakennesuunnittelijoista totesi:

*“Puolet pisteistä on käytännössä roskaa, koska laserkeilattuja kohteita ei ole siivottu.”*

Ongelmia on aiheuttanut myös pistepilviaineiston kohina. Kohinalla tarkoitetaan harvoja vierekkäisiä pisteitä, jotka aiheutuvat pitkästä välimatkasta keilaimen ja kohteen välillä. Harvat, epäsääntöisesti kerätyt pisteet hankaloittavat esimerkiksi rakenteiden rajapintojen hahmottamista. Rakennesuunnittelija kertoi:

*“Pistejoukkoon pitää kuitenkin aina suhtautua kriittisesti. Jos saamme nopeasti tehdyn pistepilvitiedoston, tiedostossa oleva kohina saattaa aiheuttaa kymmenien millimetrien heittoa.”*

Kohinaa vähennetään keilausasemia lisäämällä, jolloin mittapisteitä saadaan enemmän. Keilauksen jälkeen pistepilven toimittaja pystyy säätämään pilven pistemäärää pienemmäksi. Tällöin jäljelle jäävät pisteet osuvat tarkemmin oikeisiin kohtiin.

### **Minkälaisia ongelmia havaittiin pistepilven käsittelyssä inventointimallinnusta varten?**

Pistepilven käsittelyssä ongelmia aiheutti erityisesti suuret tiedostokoot ja hitaat latautumisajat. Koko rakennuksen kattavat pistepilvet vaativat runsasta työstämistä ylimääräisistä pisteistä, siten että pistepilvi olisi mahdollisimman havainnollinen jatkoa varten. Ongelmia aiheuttavat myös pistepilven käsittelyohjelmien jäykkyys ja soveltumattomuus, sillä osassa kokeilluissa ohjelmissa tarkkuus ja toiminnot eivät ole riittäneet rakennusten inventointimallinnusta varten.

Erilaisia käsittelyohjelmia testannut arkkitehtitaustainen asiantuntija kertoi kokemuksensa pohjalta esimerkiksi solidimallinnusohjelmista Leican Cyclone:n versiot toimimattomiksi, koska ohjelma tunnisti rakennusosia pistepilvestä vain heikosti. Rende-röinnissä eli pisteiden havainnollisuudessa optimipistemäärän haravoiminen jatko-työskentelyä varten on ollut ohjelmasta riippuen hankalaa eikä lopputuloksesta ole välttämättä saatu toivotunlaista. Myös käsittelyohjelmassa orientoituminen (=oman sijainnin tiedostaminen pistepilvessä) on asiantuntijan haastattelun mukaan koettu vaivalloiseksi ja työlääksi osassa ohjelmista.

### **Minkälaisia ongelmia havaittiin inventointimallintamisessa?**

Inventointimalleja jatkokäyttänyt rakennesuunnittelija oli törmännyt työssään epä-tarkasti toteutettuihin inventointimalleihin. Osassa vastaanotetuista inventointimalleista tarkkuus muuttui merkittävästi eri mallin osissa, mutta toleranssimuutoksista ei ollut merkintää itse mallissa tai tietomalliselosteessa - Koko mallin luotettavuus suunnittelun ja työmaan näkökulmasta heikentyi merkittävästi ensimmäisen suuren mittavirheen löytyessä. Inventointimallista on myös saattanut puuttua kokonaisuuden kannalta oleellisia rakenteita, kuten pilareita tai palkkeja. Havaittujen puutteiden vuoksi mallia ei voida pitää luotettavana. Inventointimalleja jatkotyöstänyt rakennesuunnittelija arvioi:

*”Yleensä huonosta mallista puuttuu myös olennaista tietoa esimerkiksi rakenteista. Usein epäilenkin, ettei huonon mallin tekijällä ainakaan rakennesuunnittelijan pätevyksiä ole.”*

Inventointimallien mallinnusohjelmassa on arkkitehtitaustaisen asiantuntijan mukaan myös yksittäisiä työskentelyä hankaloittavia kohtia. Mallinnusohjelman vaalea taustaväri hankaloittaa pisteiden erottamista pistepilvestä. Myös origon ja koordinaatiston paikkojen jatkuva varmisteleminen 3D-mallinnusohjelmassa hidastaa työskentelyä.

### **Haastatteluissa esiin nousseita ohjelmien kehitysideoita**

Ohjelmistokehittäjän haastattelussa pistepilven sisältämän turhan datan siivoamiseksi ehdotettiin Tekla Structures 2018 -versioon luotua prototyypityökalua. Prototyyppi toimii solidimallin tapaan, eli työkalu tekee automaattisia mallinnusobjekteja pistepilvestä. Työkalu toimii CloudCompare-käsittelyohjelman avustamana. Ohjelmistokehittäjä totesi:

*”Kun ihminen näkee jotain selkeästi toistuvia asioita, niin ne voi yleensä ratkaista matemaattisella kaavalla... Tavoitteena on esikäsitellä tieto mahdollisimman pitkälle, jotta ihmisen tekemä työ olisi mahdollisimman vähäinen.”*

Ohjelmistokehittäjän luoma prototyyppi siivuttaa pistepilven ja luo siivujen ympärille ”laskentalaatikoita”. Laatikoiden avulla ohjelma laskee pisteiden etäisyyksistä keskiarvon, jonka perusteella siivuille muodostuvat rakenteiden pinnat polygon-viivoina. Polygon-viivoja napsauttamalla ja rakenteen muodon valitsemalla työkalu linkittää valmiin mallinnusobjektin Teklaan työstettäväksi. Työkalu siis tekee mallinnusobjekteja laskemalla havaitun kappaleen sijainnin ja koon pistepilvestä.

Prototyypin tavoitteena on säästää pistepilvestä vain yhtenäistä pintaa muodostavat pisteet, jotka ohjelma laskee automaattisesti polygon-viivoiksi. Tämä on hyvin työläs putsausvaihe käsin tehtäväksi. Säästetyt viivat ovat tunnistettavissa rakennusosiksi ja linkitettävissä valmiina objekteina mallinnusohjelmaan. Olemassa olevaa prototyyppiä olisi mahdollista kehittää vielä automaattisemmaksi siten, että ohjelma tunnistaisi itse perusmallinnusobjektit linkittäen ne suoraan Teklaan. Ohjelmistokehittäjä luetteli:

*”Niin sanotut varmat keissit, joissa ohjelma vain kysyisi tekijältä, että onko tämä pila. Lisäksi ohjelma voisi kysyä esimerkiksi turhien viivojen poistamiseen lupaa.”*

Prototyypin periaatteella kohde käydään systemaattisesti läpi. Lisäksi ohjelmaan on mahdollista lisätä intensiteetin ja väriarvojen säädöt, jolloin kappaleiden tunnistaminen helpottuu. Toimintaperiaatekuva prototyypistä, ks. liite 1.

Toinen esiin noussut kehitysidea löytyi rakennesuunnittelijan haastattelussa: pinta-kolmioinnin tehostaminen pintamallissa. Siinä pintamallin kolmioiden sisälle luodaan pinnan normaalin (=pintaa kohtisuoraan kulkeva akseli) mukainen piste. Näiden pisteiden perusteella ohjelma luo algoritmit, joiden perusteella lasketaan keskiarvo ja muodostetaan aina uusi pintakolmiointi. Tavoitteena on vähentää pisteiden määrää kolmioinnin avulla ja saada kappaleissa olevat kolmioinnit mahdollisimman vähäiseksi. Rakennesuunnittelija kertoi:

*”Pintanormaalien välit voidaan asettaa tiettyyn toleranssiin, jolloin ne osuvat samaan pintaan. Näin pisteiden määrää voidaan vähentää merkittävästi. Eihän seinän määrittämiseenkään tarvita kuin käytännössä neljä pistettä.”*

Pistepilven käsittelijä säätäisi pintakolmiointia tarkkuuden vaatimien toleranssien perusteella. Toimintaperiaatekuva kolmionnista, ks. liite 2.

#### 7.4 Yhteenveto haastattelutuloksista

Haastattelujen perusteella jokaisen projektin inventointimallinnusprosessi on suunniteltava erikseen projektin asettamien reunaehtojen mukaisesti. Projekteissa käsitteilyohjelmiksi valittiin haastattelujen mukaan useimmiten ReCap Pro- ja CloudCompare-ohjelmat sekä inventointimallintamiseen Teklan 2018-versio sekä Revit.

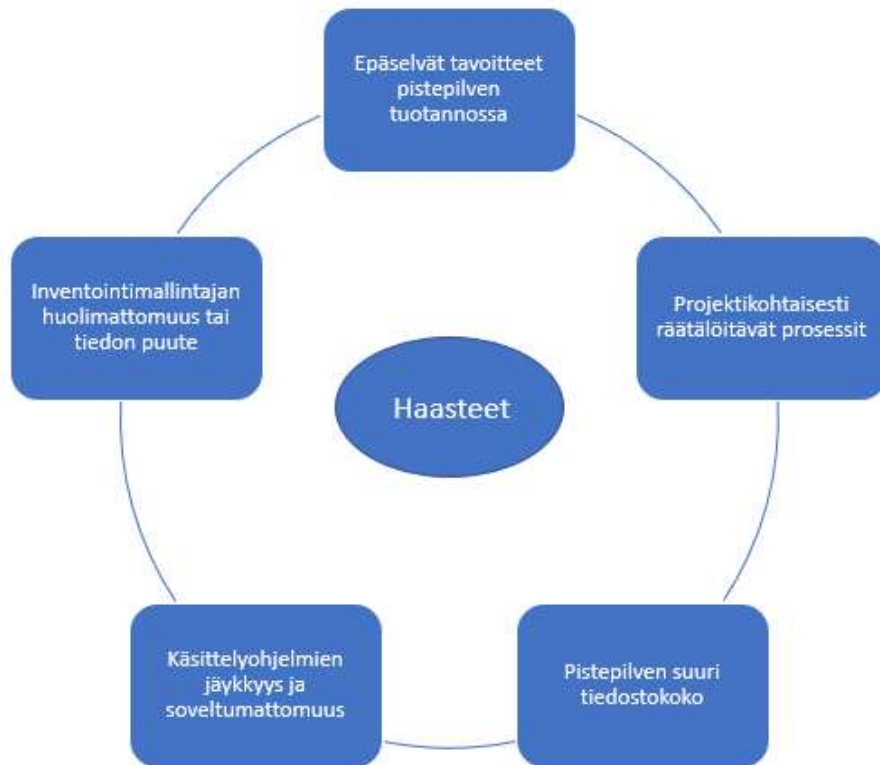
Taulukko 2. Pistepilven prosessoinnin käsittelyyn ja mallinnukseen käytetyt ohjelmat

<b>PISTEPILVEN KÄSITTELYYN KÄYTETYT OHJELMAT</b>	<b>INVENTOINTIMALLINNUKSEEN KÄYTETYT OHJELMAT</b>
RECAP PRO	REVIT (eri versiot)
VR-MESH REVERSE	TEKLA STRUCTURES (2018->)
CLOUDCOMPARE	
EDGEWISE BUILDING BUNDLE JA PLANT	
AUTOCAD (eri versiot)	

Suurin osa korjausrakentamisesta kohdistuu vain tiettyyn osaan rakennusta, jonka vuoksi inventointimallinnuksen osuus on pieni. Tällaisissa osittaisissa korjauskoh-teissa inventointimalli tuotetaan yleensä suoraan pistepilven päälle mallintamalla. Laajemmissa peruskorjauskohteissa, joissa mallinnettavan alan määrä kasvaa mer-kittävästi, inventointimallinnus on tehty solidi- tai pintamallia hyödyntämällä.

Tutkimuksen perusteella pistepilven tehokas käsittely inventointimallinnusta varten alkaa jo pistepilven tuottamisesta, koska epätarkka lähtötieto hidastaa inventointi-mallinnusprosessia. Pistepilven tuotantoon liittyvät tarkkuusongelmat johtuvat kom-munikaation puutteesta eri osakokonaisuuksissa työskentelevien toimijoiden välillä: Laserkeilaaja ei ole saanut tarpeeksi kattavia lähtötietoja pistepilven tuotantoon.

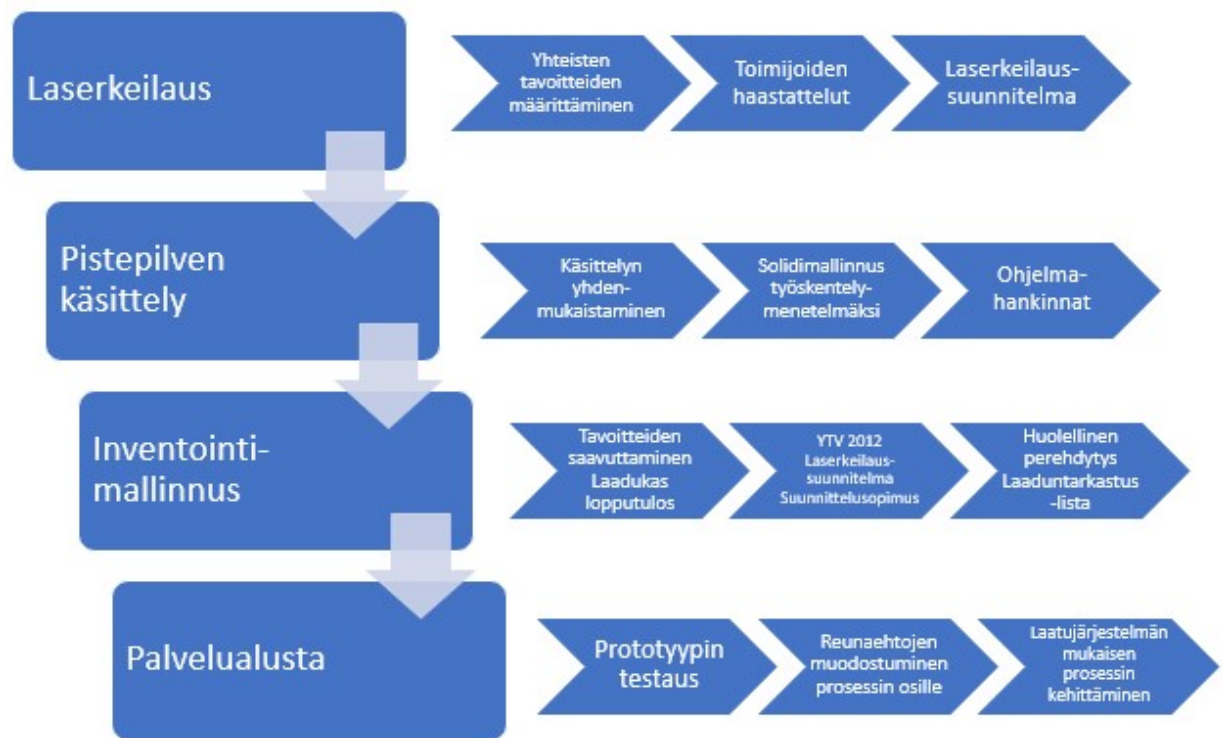
Pistepilven käsittelyn keskeisin ongelma oli pistepilven sisältämä turhan datan määrä. Datan määrä aiheuttaa pistepilvien suuret tiedostokoot, tiedonsiirron hitau-den sekä pistepilven runsaan työstämisen. Ongelmia on havaittu myös inventointi-mallintamisessa. Mallintajan huolimattomuus tai tiedon puute on näkynyt puutteelli-sesti tuotettuina inventointimalleina.



Kuvio 10. Pistepilven inventointimallinnuksen haasteet

## 8 Toimenpidesuosituksset

Haastattelutulosten perusteella koottuihin toimenpidesuosituksiin vaikutti erityisesti useissa eri prosessin kohdissa havaitut haasteet. Lisäksi suosituksiin vaikutti palvelualan luomien reunaehtojen puute. Palvelualusta teetetään kokonaisista kiinteistöistä kaikilta rakennusosiltaan rakenteineen ja taloteknisine järjestelmineen. Kyseessä on siis laaja kokonaisuus inventointimallintamista varten.



Kuvio 11. Toimenpide-ehdotus prosessin kehittämiseen

## 8.1 Laatujärjestelmän mukaisen prosessin kehittäminen palvelualustalle

Palvelualustaa varten toteutettavaa pistepilven käsittelyä ja inventointimallinnus - prosessia tulisi suunnitella ja kehittää kokonaisuutena pistepilven tuotannosta valmiiseen palvelualustaan laatujärjestelmän mukaisella prosessilla. Prosessin kehittämisessä tulisi silmällä pitää erityisesti tutkimuksessa esiin nousseita haasteita. Vaihe vaiheelta luotu laatujärjestelmän mukainen prosessi luo tarkoituksenmukaiset ja yhtenevät pelisäännöt jokaiselle projektin parissa työskentelevälle henkilölle.

Prosessin kehittäminen vaatii konkreettisia testauksia. Ilman käytännön kokeilua laatujärjestelmän mukaista prosessia ei voida luoda. Lopputuotteesta, eli palvelualustasta tulisi kehittää prototyyppi, jotta palvelualustan muodostamat reunaehdot inventointimallille selviäisivät. Testauksilla saadaan tietää, toimiiko ehdotetut toimintamenetelmät käytännössä. Jokainen prosessin osakokonaisuus määrittelee lopulta keilaussuunnitelman sisällön – Mitä pistepilveltä vaaditaan.



## 8.2 Laserkeilaussuunnitelma

Mahdollisimman tarkan ja tehokkaasti palvelualustaa varten tuotettavan inventointimallin perustana ovat kunnossa olevat lähtötiedot. Laatujärjestelmän mukainen prosessi aloitetaan laatimalla laserkeilaussuunnitelma, jonka tarkoitus on lisätä kommunikaatiota eri toimijoiden välillä. Keilaussuunnitelman perusteella jokaiselle toimijalle olisi selvää:

- hankkeen tavoitteet
- aikataulu
- riskit
- laadunvarmistus (+tarkemittaukset)

Tarkkuus muodostuu tilaajan, keilausurakoitsijan, inventointimallintajan ja palvelualustan suunnittelijoiden toiveista kukin omia tarpeitaan varten. Erityistä tarkkuutta vaativat osat tulee tietää ennen laserkeilauksen suorittamista, jotta keilausdata olisi mahdollisimman tarkkaa ja kattavaa. Suunnitelmalla varmistetaan asianomaisten tietoisuus vaadittavista lähtötiedoista tavoitteiden saavuttamiseksi. Näin eri osapuolet tutustuvat huolellisesti hankkeeseen etukäteen, mikä helpottaa myös mahdollisten kompastuskivien poissulkemista. Laatujärjestelmän mukaisen pistepilven tuottaminen helpottuu valitsemalla alihankinnalla suoritettaviin töihin tietyt sitoutuneet toimijat esimerkiksi puitesopimuksilla.

Ennen keilausta tehtävään keilaussuunnitelmaan viitattiin myös useasti tutkimukseen kerätyissä materiaaleissa (esim. Ahonen 2015.; Koski 2001.; jne..). Useiden kannanottojen myötä voidaan kuitenkin todeta, ettei tämänhetkinen keilaussuunnitelma ole tarpeeksi kattava. Ongelmaan myös pyritään löytämään ratkaisua parhaillaan työn alla olevassa KiraDigi-hankkeessa. Hankkeen lopputuloksena on jo määritelty alustava lähtötietoprosessin kehitysluonnos. (Anttila, Hatakka jne 2018, 26-28)

## 8.3 Pistepilven käsittely ja mallintamis -prosessin yhdenmukaistaminen

Haastatteluissa toistuva ongelma oli pistepilven inventointimallinnusprosessien räätälöiminen jokaiselle projektille erikseen. Palvelualustaksi muutettavaa pistepilven inventointimallinnusprosessia on kuitenkin mahdollista yhdenmukaistaa, koska

lopputuote on käytännössä aina sama ennen palvelualustaksi muodostamista ja asiakkaiden yksilöllisten toiveiden lisäämistä.

Prosessi lähtee pistepilven tiedostomuodon ja tarkkuuden määrittelemisestä ennen pistepilven tuotantoa keilaussuunnitelman avulla. Pistepilvitiedoston määrittelemisellä pyritään estämään tiedoston kierrättäminen useiden ohjelmien kautta esi-merkiksi konvertoimisen vuoksi ja siten säästämään eri välivaiheisiin kuluva aikaa. Ajan säästön lisäksi alkupään suunnittelulla ohjelmien hankinta ja käyttö voidaan optimoida vain tarvittaviin ohjelmiin. Pistepilven tiedostomuodon määrittelyyn vaikuttaa eniten pistepilven käsittelyyn valittu ohjelma.

Pistepilven käsittelyä voidaan yhdenmukaistaa valitsemalla prosessiin soveltuvien käsittelymenetelmä. Tutkimuksen perusteella työskentelyn yhdenmukaistaminen ja tehostaminen palvelualustaa varten on järkevintä toteuttaa käyttämällä solidimallinnusta pistepilven geometriseen käsittelyyn. Käsittelyä varten tulee valita ja investoida solidimallinnusohjelmaan, joka on prosessin kannalta toimiva ja tehokas.

Inventointimallintamisen tehokkuuteen vaikuttaa myös mallinnusohjelman määrittelemisen, koska inventointimallintajan työskentely muuttuu rutiinin myötä tehokkaammaksi. Mallinnusohjelman määrittelemiseen vaikuttaa eniten valittu käsittelyohjelma, koska valittu käsittelyohjelma toimii tällä hetkellä tietyissä tietomallinnusohjelmissa. Käsittelymenetelmän ja inventointimallin testaukseen tulisi valita paljon erilaisia käsittelyohjelmia käyttänyt tekijä. Tässä tapauksessa soveltuvien henkilö olisi Sweco Industry:llä työskentelevä asiantuntija Markku Seppänen.

Inventointimallintamisen yhdenmukaistaminen palvelualustan lähtötiedoksi onnistuu määrittelemällä samanlaiset sisältö- ja tarkkuusvaatimukset palvelualustaksi jalostettaville inventointimalleille. Sisältö- ja tarkkuusvaatimukset tulee määritellä Yleisten tietomallivaatimusten, suunnittelijoiden, tilaajan sekä palvelualustasta tehdyn prototyypin reunaehtojen mukaan. Prototyypin testauksessa tulisi mallintaa pilottikohde tasoon 3 (YTV 2012, osa 2) sekä kaikilta taloteknisiltä osiltaan solidimallinnusta hyödyntäen.

### 8.3.1 Pistepilven käsittelyssä ja mallinnuksessa käytettävät ohjelmat

*“Tuotannon tehokkuus on pitkälti kiinni siitä, mikä työkalu meillä on käytössä.”*

Laserkeilauksen käyttö inventointimallin lähtötietona aiheuttaa suuret tiedostokoot sekä paljon turhaa tietoa. Tämän vuoksi pistepilven karsiminen mahdollisimman selkeäksi lähtötiedoksi on tehokkaan käsittelyn perusta. Tutkimuksen taustan vuoksi tehokkuutta haetaan nimenomaan kokonaisten rakennusten inventointimallintamiseen, ei yksittäisten korjausalueiden. Nopean automatiikan takia solidimallinnus on siis perusteltu jatkokehityssuunta inventointimallinnuksessa.

Tuloksissa esitetyt solidimallin prototyypin ja kolmioinnin kehitysideat ovat olemassa jo pistepilven käsittelyyn tarkoitetuissa ohjelmissa: kolmiointi CloudCompare-ohjelmassa ja solidimallinnus EdgeWisen-versioissa. Molemmat kehitysideat ovat myös pidemmälle vietyjä näissä ohjelmissa. Uuden ohjelman ohjelmistokehitys vaatii vuosien kehitystyön toimiakseen hyvin inventointimallinnuksessa. Valmistumisen jälkeenkin ohjelmaa kehitetään käyttäjiltä tulevan palautteen perusteella.

Pitkälle kehittyneen olemassa olevan solidimallinnustyökalun vuoksi uuden työkalun kehittäminen toimeksiantajaorganisaatioon ei ole perusteltua. Työskentelyn ja jatkokehityksen kannalta on järkevintä ottaa olemassa oleva ohjelma (EdgeWise) kokeiluun ja pyrkiä kehittämään sitä ohjelman tekijän kanssa (ClearEdge3D).

Haastattelujen perusteella järkevin 3D-mallinnusohjelma inventointimallin prosessin tehostamiseen on Revit:n uusien versio. Ohjelma kuuluu Sweco Oy:n tietomallinnusohjelmiin, joten sen käyttö on tuttua arkkitehti- ja asiantuntijapalveluiden käytössä.

Taulukko 3. Suositellut ohjelmistot prosessivaiheittain

VAIHE	Pistepilven konvertointi/renderöinti	Solidimallinta- minen	Solidimallin täyden- tämisen ja siivous
OHJELMA	ReCap, CloudCompare	EdgeWise: Building bundle	Revit
TAVOITE	Konvertointi, renderöinti, intensiteettimuutokset	Pisteiden yhdistäminen, automaattitunnistus	Tunnistettujen objektien laadunvarmistus, puuttuvien rakenteiden mallintaminen
FORMAATTI / IMPORT	<b>ReCap:</b> CL3, CLR, E57, FLS, FWS, LSPROJ, LAS, PCG, PRJ, PTG, PTS, PTX, RCS, RDS, TXT, XYB, XYZ, ZFS, ZFPRJ; <b>CloudCompare:</b> BIN, ASCII, LAS, E57, PTX, FARO, DP, PCD, PLY, OBI, VTK, STL, OFF, FBX, DXF, SHP, PDMS, RASTER, OUT, PV, PN, SOI, POV, ICM, GeoMascaret, Sinusx, CSV-Matrix	FLS, PTG, TZF, ZFPRJ, ZFS, DP, FARO, PTX, E57, RSP	RVT, RFA, RTE, RFT, DGN, DWG, DXF, IFC, SAT, SKP, BMP, PNG, JPG, JPEG, TIF, ODBC, HTML, TXT, gbXML, C3RVT (EdgeWise:n ohjelmalla)
FORMAATTI / EXPORT	<b>ReCap:</b> E57, PTS, PCG, RCP, RCS; <b>CloudCompare:</b> BIN, ASCII, LAS, E57, PCD, PLY, OBI, VTK, STL, OFF, FBX, DXF, SHP, RASTER, PV, PN, Sinusx	C3DUCT, C3DB, DB, C3GRND, C3BLDG, C3STRUCT, C3M --> C3RVT	RVT, RFA, RTE, RFT, DGN, DWG, DXF, IFC, SAT, SKP, BMP, PNG, JPG, JPEG, TIF, ODBC, HTML, TXT, gbXML (Revit products – standard and file formats supported by Revit n.d.)

## 8.4 Laadunvarmistaminen

Laadunvarmistuksen tavoitteena on tuottaa laadukas lopputuote, inventointimalli, palvelualueen rakentamisen lähtötiedoksi. Laadun ylläpitämiseksi ja varmistamiseksi tulee varmistaa tavoitteiden mukainen toteutus, mikä perustuu mallintajan ammattitaitoon sekä laadunvarmistukseen.

Ammattitaitoinen toteutus perustuu huolelliseen perehdytykseen. Perehdytyksen onnistumisen varmistamiseksi toteutettaisiin listaus pistepilven inventointimallinnuksen toteuttamiseen liittyvistä osa-alueista ja laadunvarmistamisesta. Perehdytyksen osa-alueet koostuvat:

- pistepilven vastaanottamisesta
- pistepilven käsittelystä solidimallinnusta varten
- pistepilven solidimallinnuksesta
- osittaisen pistepilven ja solidimallin inventointimallinnuksesta
- jokaiseen osa-alueeseen liittyvästä laadunvarmistuksesta.

Tärkeintä perehdytyksessä on ymmärtää lopputuotteen tarkoitus ja tavoitteet. Projektin mukaisten tavoitteiden ja laadun täyttymistä tulee tarkastella saadusta lähtötiedosta eli pistepilvestä alkaen valmiin inventointimallin toimittamiseen eteenpäin palvelualustaa varten. Tarkastukset tulee suorittaa aina lähtökohtaisesti työn tekijän toimesta ennen eteenpäin toimittamista. Mikäli seuraava toimija havaitsee työssä puutteita, tulee hänen ilmoittaa niistä välittömästi työn tekijälle korjaustoimenpiteitä varten. Laatujärjestelmän mukaisen laadunvarmistuksen muodostavat Yleiset tietomallivaatimukset, laserkeilaussuunnitelma sekä suunnittelusopimus. Laadunvalvonta suoritetaan läpikäytävänä tarkastuslistana.

## 9 Pohdinta

Vaatimusten kiristytessä ja toimialan kehittyessä tarkka mittaustekniikka tulee vain lisääntymään. Pistepilven nopea jatkokäsittely hyödynnettävissä olevaan muotoon, kuten inventointimalliksi, avaa runsaasti ovia uusien potentiaalisten hankkeiden toteutukseen. Tekniikan alalle tehty tutkimus syventyi käytännössä enemmän ohjelmistokehitykseen ja data-analytiikkaan kuin rakennustekniikkaan. Tämä ei kuitenkaan ole huono asia, sillä digitalisaatio rakennusteknisestä näkökulmasta tulee tulevaisuudessa vain lisääntymään.

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää tehokkain käsittelymenetelmä ohjelmiseen pistepilven inventointimallintamiseen palvelualustalle sekä tuottaa toimenpide-ehdotuksia jatkokehitystä varten. Tutkimus vastasi hyvin tavoitteisiin ja tulosten perusteella kirjattiin toimenpide-ehdotukset ohjelmiseen kehitystyölle. Kirjallisen ja haastattelusta kerätyn tiedon perusteella tehdyt jatkosuositukset vaativat kuitenkin käytännön testaamista prototyyppin avulla. Tutkimuksen perusteella testaukselle on hyvät lähtökohdat. Haastattelujen perusteella pystyttiin poissulkemaan toimimattomat työtavat analysoimalla tuloksia palvelualustan näkökulmasta.

Myös tutkijan henkilökohtaiset tavoitteet täyttyivät tutkimuksen myötä kiitettävästi: Prosessimenetelmien ja kokonaisuuden hahmottamisen sekä haasteiden tiedostamisen lisäksi valmiuksia pistepilven avulla tehtävään korjaussuunnitteluun antaa kourallinen kontakteja alan asiantuntijoihin.

## 9.1 Tutkimuksen luotettavuus

### **Tietoperusta**

Tietoperustan ja aineiston vertailussa havaittiin teknologian nopea kehittyminen ja kirjallisen tietoperustan vanhanaikaisuus. Pistepilven käsittely on kehittynyt paljon viimeisen kymmenen vuoden aikana, johon myös tutkimuksen tietoperustan ikä viitteellisesti rajattiin. Tietopohjassa tutkittiin eri työskentelyvaihtoehtoja tavoitteiden, toimenpiteiden, ohjelmien ja formaattien sekä etujen ja haittojen kautta, mitkä ovat kokonaisuuden kannalta olennaisia asioita. Tärkeimmäksi tietoperustaksi haastattelukysymysten luomisessa osoittautuivat aikaisempien tutkimusten perusteella tehdyt havainnot eri vaihtoehtojen toimivuudesta.

Aiheen uutuuden ja jatkuvan kehityksen vuoksi ns. tietokirjallisuusmateriaalia tai aseuksia löytyi tutkimukseen rajallisesti. Vain *Yleiset tietomallivaatimukset* kirjallisuudesta ovat virallisia vaatimuksia aiheeseen liittyen. YTV:hen viitattiin runsaasti myös muissa lähdemateriaaleissa. Kirjallinen tietoperusta on siksi vahvasti aikaisempiin tutkimuksiin ja kokemuksiin perustuvaa, eikä siten anna standardimaista perustietoa tutkimukselle. Työllä pyritään selittämään ilmiötä ihmisten tekemien havaintojen ja kokemusten kautta. Tuorein tieto perustuu harrastuneisuuteen ja jatkuvaan tuotekehitykseen. Tämän vuoksi tietoperustaksi valitut lähteet ovat työn kannalta kuitenkin asianmukaisia.

### **Aineisto**

Haastatteluissa käytettiin pientä otantaa opinnäytetyön laajuuden rajaamiseksi, minkä vuoksi saatujen tuloksien yleistämiseen liittyy riskejä. Haastattelujen perusteella tuloksia voidaan kuitenkin pitää melko yleistettävänä: Kokemusten perusteella inventointimallin teetättämistä pistepilvestä muualla kuin alhaisilla työvoimakustan-

nuksilla Aasiassa ei pidetä kannattavana. Oletettavasti tämän perusteella ”pankin räjäyttävää teknologiaa” ja sen luomaa kilpailuetua ei toimialan muillakaan yrityksillä ole.

Haastateltavien valinta kohdistui toimeksiantajakonsernin sisäiseen osaamiseen, koska he ovat mukana jatkokehityksessä. Haastateltavilla on ammattitaitoa, näkemyksiä ja usean vuoden kokemusta pistepilven mallintamisesta tai käsittelystä. Runsaan kokemuksen vuoksi tutkimuksen tuloksia voidaan pitää luotettavina.

Tutkimustulokset olivat paikoin ristiriitaisia, mikä johtui haastateltavien erilaisesta toimenkuvasta organisaatiossa. Ristiriitaisuuksia tavattiin erityisesti solidimallinnukseen liittyen. Myös mielipiteet inventointimallintamisen kannattavuudesta organisaatiossa vaihtelivat. Tulokset olisivat olleet inventointimallintamiseen käytettyjen työkalujen kannalta luotettavampia, mikäli kaikilla haastateltavilla olisi ollut arkkitehtitausta. Lähtökohtaisesti rakennesuunnittelijoiden tekemää työtä inventointimallinnuksen parissa ei kuitenkaan voida verrata arkkitehtien työmäärään. Toisaalta pienestä otannasta huolimatta saadut tulokset olivat kattavia sekä eri näkökulmat huomioon ottavia. Koko prosessin tehostamisen kannalta haastateltavien eri toimenkuvat olivat etu tutkimukselle.

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään pistepilven käsittelijöiden ja mallintajien käyttämä prosessi apuvälineineen ja kehityskohteineen. Teemahaastattelun perusteella saadut tulokset vastasivat hyvin tutkimusongelmaan. Tutkimuksen suhde teoreettiseen viitekehykseen lipsui tutkimuksen edetessä hieman: Useampi haastateltu halusi jo lähtötiedon keruuseen parannuksia prosessin kehittämiseksi. Tästä syystä tutkimuksen tulokset ulottuivat teoreettisen viitekehyksen ulkopuolelle.

### **Tutkija ja tutkimuksen sidonnaisuus aikaan**

Tutkijan vähäisen kokemuksen vuoksi tuloksissa on epävarmuutta. Tutkijan oman harkinnan ja päätöksenteon varassa tehdyt rajaukset saattavat näkyä tiettyjen teemojen korostumisena ja poisrajausena. Prosessipolun ja raportin asiasisältö varmistettiin alan asiantuntijalta haastattelutilanteessa sekä raportin valmistuessa. Aineistossa havaitut puutteet ja asiavirheet on tarkistettu ja muutettu raporttiin.

Tutkimus on vahvasti aikaan sidonnainen. Työ saattaa olla epäluotettava ja vanhentunut jo hyvinkin lyhyen ajan kuluessa.

## 9.2 Jatkotutkimukset

Pistepilven keräämiseen liittyviä toimenpiteitä tulisi tutkia tarkemmin keilaussuunnitelman toteutusta varten. Keilaussuunnitelmassa tulisi haastatella hankkeen jokaista osapuolta kattavasti, jolloin se palvelisi jokaista näkökulmaa mahdollisimman hyvin. Hyvin tehty keilaussuunnitelma toimisi muistilistana ja valmiina tilausvahvistuksena.

Pistepilven inventointimallinnusta olisi hyvä tarkastella kustannusnäkökulmasta. Tutkimuksessa arvioitaisiin inventointimallin tuottamisen kustannuksia nimenomaan palvelualustaksi tehtävänä. Täten voitaisiin laskea keskimääräinen neliöhinta inventointimallinnukselle, jolloin se toimisi palvelualustan tarjouslaskennan työkaluna. Kustannuksissa voitaisiin huomioida esimerkiksi inventointimallintamiseen hankitut ohjelmistot, tehdyt työtunnit sekä mahdollinen koulutus ohjelmistojen käyttöön. Inventointimallin jatkokäytön mahdollisuuksia ja niiden toteuttaminen käytännössä olisi mielenkiintoinen lisätieto inventointimallinnukselle.

Perusasioista puhuttaessa laserkeilauksen ja pistepilven käsittelyyn liittyvä sanakirja ja käsitteiden yhtenäistäminen auttaisi sekä keilaajia, käsittelijöitä että inventointimallintajia puhumaan samaa kieltä.

Laserkeilauksessa muodostuvassa pistepilvessä on runsaasti ylimääräisiä pisteitä, jotka tekevät datasta raskaan ja epäselvän. Entä jos pistepilven tehostetun käsittelyn sijasta muokkaisimme laserkeilauskalustoa? Entä jos pistepilvi prosessoituisi jo keilaustilanteessa tai keilausasemien rekisteröinnissä?



## Lähteet

- Ahonen, P. 2015. Laserkeilaus, laserkeilausmittauksen suorittaminen ja pistepilven käsittelyohjelmien vertailu. Opinnäytetyö, AMK. Saimaan ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma, infratekniikka, maa- ja kalliotekniikka. Viitattu 11.12.2018. <http://www.theseus.fi/handle/10024/88264>
- Anttila, S., Jääskeläinen, E., jne.. 2018. Tarkentuva todellisuus – Joustava tiedon lisääminen suunnittelutietomalliin. Arkkitehdit NRT. KIRAdigi-hanke. Viitattu 11.12.2018 <https://www.kokeilunpaikka.fi/en/experiment/727/>
- Autocad LT - Export (Command).nd. Autodesk Knowledge Network. Ohjelmakuvaus. Viitattu 5.2.2019, <https://knowledge.autodesk.com/support/autocad-lt/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/AutoCAD-LT/files/GUID-A72DB257-3410-4792-B548-6B9FC1DED72B-htm.html>
- Buddas, U. 2019. Rakennesuunnittelija. Sweco Asiantuntijapalvelut Oy, Porvoo. Skype-haastattelu. 28.1.2019
- EdgeWise File Type Work Flow Guide. 2015. Clearedge3D. Viitattu 5.2.2019. <http://www.logiciel3d-bim.com/>
- EdgeWise overview video. 2015. Clearedge3D. Video. Viitattu 1.2.2019. <https://www.youtube.com/watch?v=ma4IyaWR4ko>
- FAQs. N.d. Support. VR-mesh. Viitattu 5.2.2019. <https://www.vrmesh.com/support/faq.asp>
- Features and functions. 2018. Pointfuse. Viitattu 5.2.2019. <https://pointfuse.com/faq/>
- File I/O. 2019. CloudCompareWiki. Ohjelmakuvaus. Viitattu 5.2.2019, [https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=FILE\\_I/O](https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=FILE_I/O)
- Heiska, N. 2009. Universaaliskanneria etsimässä eli miten valita maalaserkeilain? Maankäyttö 1/2009. [http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk109/mk109\\_1232\\_heiska.pdf](http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk109/mk109_1232_heiska.pdf)
- Hiltunen, L. Graduaineiston analysointi. Jyväskylän yliopisto. Luettu 11.12.2018. <http://www.mit.jyu.fi/OPE/kurssit/Graduryhma>
- Hirsjärvi, S. 2009. Tutki ja kirjoita. Tammi.
- Huhtala, R. 2015. Pistepilven hyötykäyttö tietomallinnuksessa. Opinnäytetyö, AMK. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka ja tuotantotekniikka. Viitattu 11.12.2018. <https://www.theseus.fi/handle/10024/89812>
- Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Oy. Viitattu 12.12.2018. [http://www.leica.fi/Geo/lisatietoa/HDS\\_Laserkeilaus/pdf/Laserkeilauksenperusteita.pdf](http://www.leica.fi/Geo/lisatietoa/HDS_Laserkeilaus/pdf/Laserkeilauksenperusteita.pdf)
- Kari, V. 2011. Laserkeilaus ja pistepilven käsittely ydinvoimarakentamisessa. Opinnäytetyö, AMK. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan

koulutusohjelma. Talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto. Viitattu 18.12.2018. <http://www.theseus.fi/handle/10024/26876>

Kivimäki, P. 2019. Rakennesuunnittelija. Sweco Rakennetekniikka Oy, Helsinki. Skype-haastattelu 23.1.2019.

Kiviranta, H. 2014. Pistepilvidatan tehokas hyödyntäminen rakennesuunnittelussa ja prosessi. Opinnäytetyö, AMK. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto. Viitattu 21.12.2018. <http://www.theseus.fi/handle/10024/80043>

Koski, J. 2001. Laserkeilaus – uusi ulottuvuus paikkatiedon keräämiseen. Maankäyttö 4/2001, 24-26.

Lepistö, V. 2019. Projekti-insinööri. Sweco Rakennetekniikka Oy, Rovaniemi. Skype-haastattelu 6.2.2019.

Mahlamäki, S. 2018. Toimitusjohtaja. Geo-Control Oy, Jyväskylä. Sähköpostikeskustelu 21.11.2018.

Mikä on metatieto? 2012. Web-opas. Viitattu 11.2.2019. <http://www.webopas.net/metatieto.html>

Mitä on BIM? n.d. Tekla. Viitattu 12.11.2018. <https://www.tekla.com/fi/tietoa-meist%C3%A4/mit%C3%A4-bim>

Osa 1 Yleinen osuus. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset. COBIM-hanke. Viitattu 11.12.2018. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_1\\_yleinen\\_osuus.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf)

Osa 2 Lähtötilanteen mallinnus. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset. COBIM-hanke. Viitattu 11.12.2018. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_2\\_lahtotilanne.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_2_lahtotilanne.pdf)

Osa 6 Laadunvarmistus. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset. COBIM-hanke. Viitattu 11.12.2018. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_6\\_laadunvarmistus.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_6_laadunvarmistus.pdf)

Picaro, T. 2017. Recap vs. ReCap Pro. Autodesk Knowledge Network. Viitattu 5.3.2019. <https://knowledge.autodesk.com/support/recap/learn-explore/caas/simplecontent/content/recap-vs-recap-pro.html>

Pintus, R., Gobbetti, E., Agus, M. 2011. Real-time Rendering of Massive Unstructured Raw Point Clouds using Screen-space Operators. Tutkimusraportti. Center for advanced studies, research and development in Sardinia. Viitattu 15.2.2019. <http://www.crs4.it/vic/data/papers/vast2011-pbr.pdf>

Point clouds. 2018. Tekla Structures support. Ohjelmistokuvaus. Viitattu 20.11.2018. [https://teklastructures.support.tekla.com/2018i/en/int\\_point\\_clouds](https://teklastructures.support.tekla.com/2018i/en/int_point_clouds)

Point clouds from 3D scanning. 2018. Tekla user assistance. Video. Viitattu 20.11.2018, [https://teklastructures.support.tekla.com/video-tutorials/en/point\\_cloud\\_improvements](https://teklastructures.support.tekla.com/video-tutorials/en/point_cloud_improvements)

Pointfuse Generated 3D Models in Tekla Structures (BIM Sight). 2016. Pointfuse. Video. Katsottu 20.11.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=cjHcuc2fUll>

Pointfuse Tutorial 1 Importing and converting a point cloud. 2017. Pointfuse. Video. Julkaistu 10.10.2017. Viitattu 20.11.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=9-TLvKayhKQ>

Rajala, M. Laserkeilauksen ja rakennuksen inventointimalli. Tutkimusjulkaisu. Tietoa Finland Oy. Viitattu 17.12.2018. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090701.pdf>

Rasmussen, M. 2015. Working with Point Clouds in AutoCAD 2016. Ascent Webcast. Videoblogi. Julkaistu 16.4.2015. Viitattu 20.11.2018. <https://blogs.rand.com/ascent/2015/04/working-with-point-clouds-in-autocad-2016.html>

Recap - Supported file formats. Autodesk Knowledge Network. Ohjelmakuvaus. Viitattu 5.2.2019, <https://knowledge.autodesk.com/support/recap/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Reality-Capture/files/GUID-BE7784C3-9B58-426E-9303-81292C8CF4E7-htm.html>

Revit products – Standards and file formats supported by Revit. Autodesk Knowledge Network. Ohjelmakuvaus. Viitattu 5.2.2019, <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Standards-and-file-formats-supported-by-Revit.html>

Seppänen, M. 2019. Asiantuntija. Sweco Industry Oy, Oulu. Skype-haastattelu 22.1.2019

Skol Ry. Sweco Rakennetekniikka – Rakennetekniikan johtava asiantuntija. 2013. Teknologiateollisuus. Viitattu 11.12.2018. <https://skol.teknologiateollisuus.fi/sites/skol/files/CASE%20Ruusupuisto.pdf>

Standardit. n.d. BuildingSMART Finland. Viitattu 2.12.2018. <https://buildingsmart.fi/standardit/>

Tarkkuustasot. n.d. ProSolve Oy. Viitattu 18.12.2018. <http://www.prosolve.fi/kipa/inventointimallinnus/tarkkuustasot/>

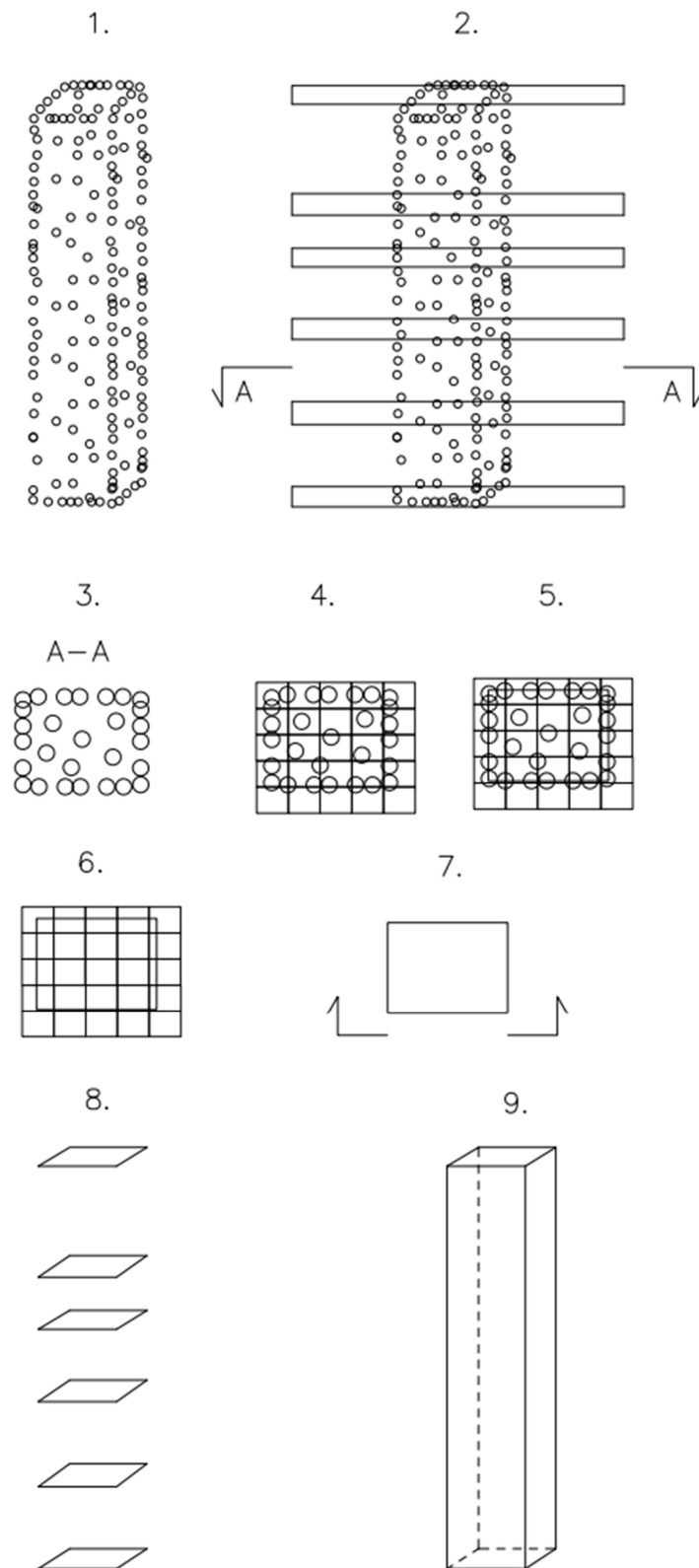
Tammi, K. 2015. 3D-laserskannaus korjaushankkeen lähtötietojen hankintakeinona. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennusalan työnjohto. <https://www.theseus.fi/handle/10024/103436>

Tietoa Swecosta. n.d. Sweco. Viitattu 11.12.2018. <http://www.sweco.fi>

Wirkkala, I. Erikoisasiantuntija. Sweco Rakennetekniikka Oy, Helsinki. Skype-haastattelu 31.1.2019.

## Liitteet

Liite 1. Kehitysehdotuksena toteutetun prototyypin toimintaperiaate

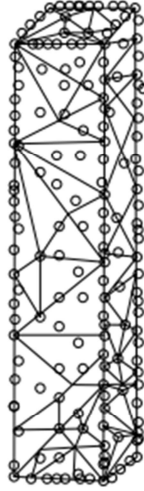


## Liite 2. Kehitysehdotuksena esitetyn kolmionnin toimintaperiaate

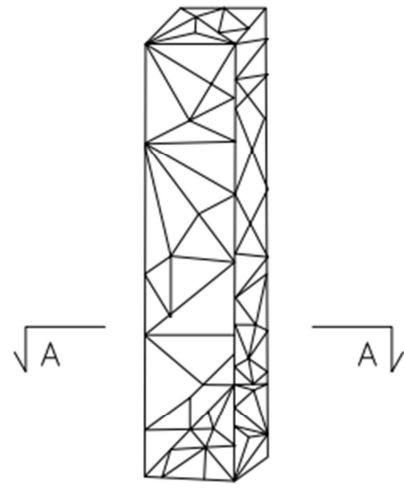
1.



2.

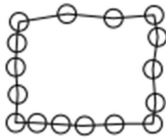


3.



4.

A-A



5.

OHJELMA LASKEE PINNAN  
NORMAALIEN VÄLISET  
KESKIARVOT -->  
PINNAT SUORISTUVAT JA  
KOLMIOIDEN MÄÄRÄ  
VÄHENEÄ



6.



MALLINNUKSEN REFERENSSIKUVAKSI -->

### Liite 3. Haastattelukysymysrunko apukysymyksineen

#### Kokemus

1. Kuinka monta pistepilveä olet keskimäärin mallintanut?
2. Käytätkö mallintamiseen Tekla Structures -ohjelmistoa?
3. Minkälaisia lopputuotteita (inventointimalli, älykäs tietomalli..) olet mallintamalla luonut ja minkälaisiin tarkoituksiin (korjausrakentaminen, turvallisuussuunnitelmat...) malleja on käytetty?

#### Prosessi

- Käsittelen pistepilveä
    - konvertoimalla
    - jakamalla pistepilven osiin ("siivuihin") tai värittämällä
    - luomalla 2D-kuvat
    - luomalla pintamallin
    - En käsittele pistepilveä, vaan siirrän saadun pistepilven suoraan Teklaan
4. Millä tiedostoformaattilla pistepilvi tulee prosessoitavaksi?
    - Onko pistepilvi valmiiksi siivottu ylimääräisistä pisteistä ja sidottu oikeaan koordinaatistoon?
  5. Jos käsittelet pistepilveä, millä ohjelmalla aloitat pistepilven käsittelyn? Miksi?
    - Mitä käsittelyllä saavutettiin? Edut + haitat?
    - Mihin tiedostoformaattiin käsitelty tiedosto tallentuu?
  6. Mitä haasteita 3D-mallinnusprosessissa on? Miksi?

#### Apuvälineet

7. Oletko löytänyt työskentelyä (merkittävästi) helpottavia työkaluja 3D-mallinnusohjelmasta? Mitä?
  - Miksi työkalu helpottaa työskentelyä?
8. Oletko löytänyt / keksinyt työskentelyä merkittävästi helpottavaa automaatiota tai sovelluksia muualta? Mitä?
  - Miten automaatio / sovellukset helpottavat työskentelyä?

#### Ongelmat ja kehitysehdotukset

9. Mitkä ovat keskeisimmät ongelmat pistepilven käsittelyssä ja mallintamisessa? Miksi?
10. Kuinka parantaisit työstöprosessia pistepilvestä 3D-malliksi (inventointimalli)

Questions for the interview:

### Experience

1. How many point clouds have you 3D-modeled?
2. Do you use Tekla Structures -software to 3D-modeling?
3. What kind of products have you 3D-modeled and what kind of purpose they are used for?

### Process

4. In which format point cloud comes to you before you start to work on it?
5. If you work with point cloud before you start 3D-modeling, which software do you use? Why
  - What advantages and disadvantages do you achieve by working the point cloud (with this software)?
  - Which format do you save the worked file?
6. What kind of problems you have in 3D-modeling process? Why?

### Functionalities

7. Have you found tools or functionalities from the software that make your work (much) easier? What?
  - Why it helps your work?
8. Have you found automatism or applications that make your work easier? What?
  - Why it helps your work?

### Problems and improvement suggestions

9. What are the (main) problems working and 3D-modeling the point cloud?
10. How would you develop the process point cloud to 3D-model?