



PISTEPILVEN HYÖTYKÄYTTÖ TIETOMALLINNUKSESSA

Roope Huhtala

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015
Rakennustekniikka
Tuotantotekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tuotantotekniikka

HUHTALA, ROOPE:
Pistepilven hyötykäyttö tietomallinnuksessa

Opinnäytetyö 49 sivua
Huhtikuu 2015

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin laserkeilauksella tuotettavaa pistepilveä ja sen käyttömahdollisuuksia osana tietomallinnusta. Pistepilvestä pyrittiin tuottamaan tietomalli mahdollisimman selkeillä menetelmillä. Tietomallinnuksen helpottamiseksi tutkittiin eri ohjelmien soveltuvuutta prosessiin, ja lopullinen tietomalli pyrittiin toteuttamaan Graphisoft ArchiCAD 17 -ohjelmalla. Tietomallinnuksen testikohteena toimi Tampereen ammattikorkeakoulun L-rakennus.

Laserkeilausmittaus on suhteellisen uusi menetelmä rakennusteollisuudessa. Laserkeilaimen toiminta perustuu mittalaitteesta lähtevään lasersäteeseen, joka palatessaan mittalaitteelle antaa mitatulle pisteelle koordinaattitiedot. Laserkeilain mittaa näin ympäristöään, ja kyseinen mittatieto on miljoonista koordinaattipisteistä koostuva kokonaisuus, joilla on kaikilla omat koordinaatit. Tätä pistejoukkoa kutsutaan yleisemmin pistepilveksi.

Projektissa tutkitaan pistepilven ominaisuuksia ja sen hyödyntämismahdollisuuksia tietomallinnuksen lähtötiedoiksi. Pistepilvi on erittäin tarkkaa mittatietoa, jonka hyödyntäminen on nykytekniikalla vielä hieman ongelmallista. Ongelmia tuottavat nykyään pistepilven suuri tiedostokoko, useat eri formaatit ja eri ohjelmat, joilla pistepilveä voidaan käsitellä. Työssä pyritäänkin löytämäänärkevimmät ohjelmat hyödyntää pistepilven sisältämää informaatiota ja jalostaa se mahdollisimman tarkasti tietomalliksi.

Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin hyvin varhaisessa vaiheessa, mitkä ovat tällä hetkellä suurimmat ongelmat tehokkaassa pistepilven hyödyntämisessä. Näitä olivat juuri suuret tiedostokoot, eri formaatit sekä useat pistepilven käsittelemiseen tarkoitetut ohjelmat. Kyseisiin ongelmiin pyritään opinnäytetyössä löytämään mahdollisimmanärkevät ja helppokäyttöiset ratkaisut. Tietomallinnuksen todettiin onnistuvan suhteellisen hyvin löydetyillä menetelmillä.

Pistepilven käyttämiseen tarkoitetut ohjelmat kehittyvät vauhdilla myös tulevaisuudessa, jolloin pistepilven hyödyntämiseen voidaan löytää uusia menetelmiä. Mikäli tulevaisuudessa pistepilvi voitaisiin viedä suoraan tietomallinnusohjelmaan, jäisi työvaiheita pois ja prosessi nopeutuisi. Kyseisiä menetelmiä kannattaa tutkia, kun ohjelmat tulevaisuudessa kehittyvät.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Production

HUHTALA, ROOPE:
Practical Use of Point Cloud at Information Modeling

Bachelor's thesis 49 pages
April 2015

This bachelor's thesis focused on studying studies point cloud generated with laser scanner and its possibilities at information modeling. The aim was to generate an information model of the point cloud by using the simplest possible methods. Several different software were assessed in order to make the modeling process easier, and finally Graphisoft ArchiCAD 17 software was chosen for building the information model. The information modeling was tested on the building L of Tampere University of Applied Sciences.

Laser scanning is a relatively new method in building industry. Laser scanners function by transmitting laser beams which give coordinate information for the measured points when returning back to the scanner. In this way, laser scanners measure the surroundings and form measurement data that consists of millions of individual measurement points that all have their own coordinates. This data is called point cloud.

This thesis studied the features of the point cloud and its possibilities to be used as a basis for information modeling. Point cloud provides very accurate measurement information. However, using this information with the current technology is still somewhat problematic. Some of the most common problems include large file sizes, several different formats and software for managing the point cloud. This thesis aimed at finding the most useful software for leveraging the point cloud information and for refining it into an information model.

The main problems preventing the efficient usage of the point cloud were discovered in the early stages of writing this thesis. This thesis focused on finding the most reasonable and usable solutions for the problems in question. Information modeling was considered relatively successful when using the methods discovered in this study.

Software designed for using point cloud will continue its fast development also in the future, which will enable new methods to be found for using point cloud. If in the future it was possible to import point cloud directly into the information modeling software, it would make the process faster. The methods discussed in this thesis are worth studying, as the software continues to develop in the future.

Key words: laser scanning, point cloud, information modeling

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	LASERKEILAUS	6
2.1	Laserkeilaimen toimintaperiaate.....	6
2.2	Laserkeilaimien luokittelu	7
2.3	Laserkeilauksen edut.....	10
2.4	Demokohteen laserkeilain.....	11
3	TIETOMALLINNUS	13
3.1	Tietomallinnuksen tavoitteet korjausrakentamisessa.....	13
3.2	Tietomallinnuksen ongelmat korjausrakentamisessa.....	14
4	PISTEPILVI JA SEN KÄSITTELY	16
4.1	Yleistä	16
4.2	Pistepilvien yhdistäminen	16
4.3	Pistepilven tiedostokoko	19
4.4	Ohjelmistot.....	20
4.4.1	Scene	20
4.4.2	3D-Win6.....	22
4.4.3	CloudCompare	22
4.4.4	VRMesh Reverse	23
4.4.5	Graphisoft ArchiCAD 17	25
4.4.6	Autodesk AutoCAD 2014.....	26
4.5	Pistepilven hyödyntämistapoja	27
4.5.1	Pistepilven käyttö sellaisenaan.....	27
4.5.2	Pistepilven luonti kolmioverkko- sekä pintamalliksi.....	27
4.5.3	Pistepilven litistäminen	28
5	TESTIKOHDE	30
5.1	Kohteen tiedot.....	30
5.2	Lähtötiedot	30
5.3	Pohjakuvan luominen	31
5.4	Julkisivukuvien luominen	36
5.5	Varsinainen tietomallinnus	41
6	POHDINTA.....	46
6.1	Ohjelmistot ja niiden kehittäminen.....	46
6.2	Tietomallinnus pistepilven perustuen	47
6.3	Loppupäätelmä.....	47
	LÄHTEET.....	48

1 JOHDANTO

Laserkeilaus on melko uusi menetelmä rakennusalalla mittausten tekemiseen. Se perustuu lasersäteiden havainnoimaan ympäristöön, jonka mittatieto tulee näkyviin pistepilvenä. Pistepilvi on miljoonista pisteistä koostuva tiedosto, joka kattaa ympäristön pinnat kaikelle näkyvälle pinnalle mittausalueella. Kyseisellä menetelmällä saadaan kattavat mittatiedot kohteesta, joiden perusteella voidaan suunnitella lisä- ja muutostöitä. Tietoja voidaan hyödyntää myös yleisinä piirustuksina, mikäli kohteessa ei ole ajankohtaisia piirustuksia.

Opinnäytetyössä pyritään etsimään ratkaisua pistepilven tehokkaampaan hyötykäyttöön. Nykyisin ongelmana ovat laserkeilauksen tuottamat eri formaatit, joista on hankala tuottaa suoraan järkevää tietomallia. Lisäksi ongelmina ovat suuret tiedostokoot, joiden käsittely on hankalaa sekä useat eri ohjelmat, joilla laserkeilausaineistoa voidaan käsitellä.

Opinnäytetyössä tutkitaan pistepilven hyötykäyttöä tietomallintamisessa. Työssä pyritään siis selvittämään järkevimät ohjelmat sekä menetelmät toteuttaa tietomalli nykyisellä tekniikalla. Tutkitaan eri ohjelmia ja näiden ominaisuuksia pistepilven jatkokäsittelyyn. Tavoitteena on tuottaa mahdollisimman yksinkertaisilla menetelmillä tietomalli, jonka lähtötietona toimii pistepilvi.

Työssä tutkitaan myös pistepilven käsittelyä sekä siihen liittyviä asioita, joita tulee huomioida tietomallinnuksessa. Pohjatietoina mallinnukselle käytetään laserkeilausaineistoa, joka on tuotettu Tampereen Ammattikorkeakoulun L-rakennuksesta ja tämä toimii myös testikohteena tietomallinnukselle.

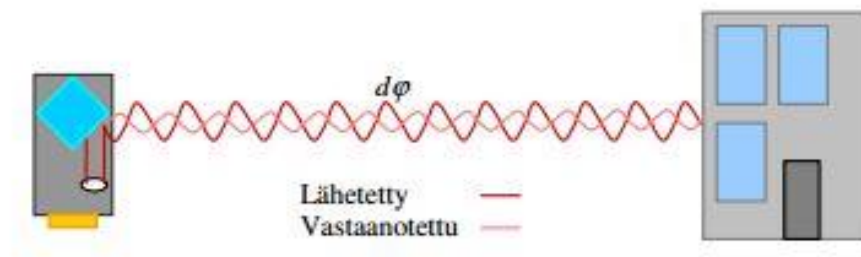
2 LASERKEILAUS

2.1 Laserkeilaimen toimintaperiaate

Laserkeilain on mittalaite, jolla voidaan mitata ympäröivää tilaa. Laserkeilaimen toiminta perustuu mittalaitteesta lähtevään laserpulssiin, joka heijastuu takaisin laitteeseen antaen havaituille pisteille koordinaatit (x, y, z). Mittalaite itsessään toimii nollapisteenä ja laserkeilain lähettää laserpulseja valitulla tiheydellä ympäristöön. Laserkeilaamalla saadaan nopeasti koottua tietoa ympäristöstä, tieto koostuu pisteistä (Rajala, M. Rakennustieto). Laserkeilaimen tuottamaa mittausdataa kutsutaan pistepilveksi. Pistepilvi ja sen ominaisuudet käsitellään tarkemmin luvussa 4.

Havaittujen pisteiden koordinaattien mittaaminen perustuu laitteen mittaamiin pysty- ja vaakakoordinaatteihin. Yleisimmät mittaustavat laserkeilaimilla ovat laserpulssin kulkuajan tai lasersäteen signaalin vaihe-eron mittaaminen. Tutkimuskohteessa käytössä ollut laserkeilain käyttää vaihe-eron mittaamista koordinaattien laskemiseen. Tutkimuskohteessa käytössä olleeseen laserkeilaimen perehdytään tarkemmin luvussa 2.4.

Vaihe-eroon perustuva laserkeilain lähettää jatkuva-aaltoista sädettä, josta mitataan lähetetyn ja vastaanotetun säteilyn vaihe-eroa (Kuva 1). Nykyisin laitteet mittaavat jopa yli miljoona pistettä sekunnissa ja näin saadaan tuotettua erittäin tiheitä pistepilviä. Haittapuolena tällaisilla laitteilla on kuitenkin yksittäisten pisteiden heikompi laatu verrattuna laserpulssin kulkuajaan perustuvaan laserkeilaimen (varsinkin reunoissa) sekä kuvausetäisyys voi olla maksimissaan noin 300 metriä. Paras tarkkuus tällaisella laserkeilaimella on noin ± 2 mm (Joala, 2006, 2.)



KUVA 1. Vaihe-eroon perustuvan laserkeilaimen toimintaperiaate (Kukko, A. 2005, 7)

Laserpulssin kulku aikaan perustuva laserkeilain tuottaa mittaukset hitaammin, mutta pidemmätkin matkat saadaan keilattua tarkkana sekä tiheänä pistepilvenä. Laserkeilain lähettää pulssin ja sen palatessa laserkeilaimen, pystytään valonnopeutta hyödyntäen laskemaan pisteen sijainti (Kuva 2). Lisäksi keilain seuraa laserin lähettämän pulssin vahvuutta ja toistotaajuutta. (Holopainen, M., Hyyppä, J., Vastaranta, M. & Hyyppä, H. 2011)



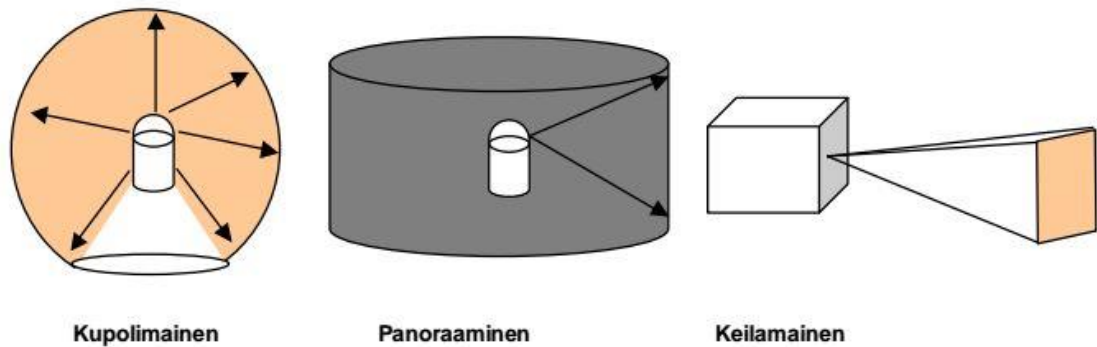
KUVA 2. Laserpulssin kulku aikaan perustuvan laserkeilaimen toimintaperiaate (Kukko, A. 2005, 7)

2.2 Laserkeilaimien luokittelu

Laserkeilauksia voidaan toteuttaa eri tarkkuuksilla lähes rajattomasti. Aiemmin laserkeilausta on hyödynnetty ilmailu-, auto- ja prosessiteollisuudessa mutta viime vuosina laserkeilaaminen on yleistynyt myös rakennusteollisuudessa. Tässä työssä keskitytään rakennusteollisuudessa hyödynnettävään laserkeilaukseen ja sen menetelmiin sekä mahdollisuuksiin. Laserkeilaintyyppit voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri tyyppiin: kaukokartoitus-, teollisuus- ja maalaserkeilain.

Kaukokartoituskeilaimessa mittausetäisyydet ovat pitkiä n. 0,1-100 km ja siten myös mittatarkkuus huomattavasti heikompi (<10 cm). Keilaimia käytetään esimerkiksi lentokoneesta käsin kuvatessa ja tällä menetelmällä saadaan tuotettua suhteellisen tarkkaa maastomallia. Maastomalli tarkoittaa maanpinnan sekä maanpinnalla olevien kohteiden mallinnusta laserkeilaamalla. (Laserkeilausaineisto, Maanmittauslaitos) Teollisuuslaserkeilaimilla mitataan pieniä kohteita alle 30 metrin etäisyydeltä, jolloin tarkkuus on jopa alle 1 millimetrin luokkaa. Tällaista menetelmää kutsutaan myös lähilaserkeilaukseksi. (Hyyppä, 2009.)

Maalaserkeilaimessa mittausetäisyydet ovat noin 1-300 metriä ja mittaustarkkuus alle kaksi senttimetriä, riippuen laitevalmistajasta mittaolosuhteista sekä mittaustulosten jatkokäsittelyn onnistumisesta. Rakennusteollisuudessa juuri maalaserkeilain on yleisimmin käytössä. Maalaserkeilaimet voidaan lisäksi jakaa eri tyypeittäin, joita ovat kupolimainen, panoraaminen sekä keilamainen (Kuva 3). Paikalla toteuttavissa mittauksissa maalaserkeilain pystytetään useimmiten kolmijalalle.



KUVA 3. Laserkeilaintyyppejä (Joala, 2006, 2)

Maalaserkeilaimena käytetään useimmiten kupolimaista laserkeilainta, jota kutsutaan myös laserskanneriksi. Tällä mittaamenetelmällä mitattava jää vain pieni osa laitteen alapuolelta, jota kutsutaan tekniseksi rajoitteeksi. Keilaimiin pystytään myös liittämään kamera ja useimmissa se on nykyään sisäänrakennettuna. (Joala, 2006, 3) Kameran avulla laite määrittää jokaiselle pisteelle värin, jolloin pistepilven tutkiminen on helpompaa (Kuva 4). Tutkimuskohteessa käytössä oli kupolimainen laserskanneri, joten jatkossa käsitellään lähinnä sen ominaisuuksia.



KUVA 4. Värjätty pistepilvi

Laserkeilauksen laatuun vaikuttavat kolme tekijää: yksittäisen mitatun pisteen laatu, pistepilven tiheys ja mitattujen pistepilvien yhdistämisen laatu. (Joala, 2006, 3) Mitattujen pisteiden laatuun vaikuttaa mittausetäisyys sekä esimerkiksi peilipinnat, jotka sekoittavat mittaustuloksia. Pistepilven tiheys on määriteltävissä eri laitteilla manuaalisesti. Mitä tiheämpi pistepilvi on, sitä kauemman mittaus kestää sekä tiedostokoot suurenevat. Lisäksi eri mittausten yhdistämien yhdeksi isoksi pistepilveksi vaikuttaa laatuun. Pistepilvien yhdistäminen esitellään tarkemmin luvussa 4.2. Laatuun vaikuttaa myös koko projektin onnistuminen (Taulukko 1). Pistepilven käsittelyyn keskitytään tarkemmin luvussa 4.

Kohteen ja työn arviointi	Työn tilaajan tarpeiden määrittely Halutut lopputuotteet →määrittävät laitteiston, ohjelmiston ja mittaustekniikan
Kenttätyö	Laserkeilaus (+valokuvaus) Mahdolliset takymetrimittaukset pistepilvien yhdistämistä ja georeferointia varten
Pistepilven käsittely	Yhdistäminen, suodattaminen, kuvankäsittely yms.
Mallintaminen ja analyysi	Lopputuotteet: pistepilvi, pintamalli, teksturoitu pintamalli, 2D/3D-piirustukset, vertailut jne.
Arkistointi	Lopputuotteiden ohella pistepilvi, metadata (kuka, mitä, missä, milloin, laitteisto, pistetiheys yms.)

TAULUKKO 1. Esimerkki laserkeilausprojektin eri vaiheista (Heiska, 2009)

2.3 Laserkeilauksen edut

Laserkeilauksen merkittävimmät edut ovat sen tarkkuus, nopeus sekä mahdollisuus hyödyntää mitattua aineistoa suoraan lähtötietona. Hyödyksi on myös se, että tarkkaa kolmiulotteista tietoa saadaan koskematta kohteeseen. Tämä on etu varsinkin epäsäännöllisissä rakenteissa, joita on vaikea mitata muilla mittausten menetelmillä. Laserkeilaus on myös turvallinen mittausten menetelmä. (Koski, 2001.)

Laserkeilaamalla pystytään tuottamaan rakennetusta ympäristöstä kolmiulotteinen, pistepilvestä koostuva tarkka mallinnus. Tämä mallinnus pyritään siirtämään CAD-järjestelmään lisäohjelmien avulla tietomallinnuksen lähtötiedoiksi. CAD-järjestelmällä tarkoitetaan tietokoneavusteista suunnittelua ja tähän tarkoitukseen on käytössä useita eri ohjelmia. Nykyään ongelmana on lisäohjelmien runsas tarjonta, eri formaattien yhteensopivuusongelmat, isot tiedostokoot sekä pistepilvidatan muokkaaminen laadun kärsimättä. Näihin ongelma-kohtiin perehdytään tarkemmin luvussa 4.

Laserkeilausmittaus voidaan suorittaa normaalioloissa lähes olosuhteista riippumatta. Olennaista kuitenkin on, ettei ole huomattavaa värinävaikutusta, vesihöyryä tai sadetta.

Ylimääräinen liike alueella sekoittaa mittaustuloksia ja liikkeestä johtuvaa virhettä kutsutaan laserkeilauksessa kohinaksi. Kohina voidaan suodattaa pistepilven käsittelyohjelmassa esimerkiksi intensiteetin perusteella. (Cronvall, T., Kråknäs, P. & Turkka, T. 2012) Toinen vaihtoehto on poistaa ylimääräiset pisteet manuaalisesti ennen pistepilven rekisteröimistä. Eri ohjelmat ja niiden ominaisuudet esitellään luvussa 4.4.

2.4 Demokohteen laserkeilain

Laserkeilain, jolla tuotetaan kohteen lähtötiedot, on Faro Focus^{3D} X 330 –laserkeilain (Kuva 5). Se on suunniteltu erityisesti ulkokäyttöön maalaserkeilaimeksi, koska se on pieni, kevyt ja mittausetäisyydet ovat suhteellisen pitkiä. Taulukossa 2 on esiteltyä laitteen tekniset tiedot.



KUVA 5. Faro Focus^{3D} X 330 –laserkeilain

Faro Focus ^{3D} X 330	
Mittausetäisyys	0.6-330 m
Mittaussnopeus	976 000 pistettä/sekunti
Virhe	±2 mm
Paino	5,2 kg
Koko	240 x 200 x 100 mm

TAULUKKO 2. Faro Focus^{3D} X 330 –laserkeilaimen tekniset tiedot

Laserkeilaimen valmistajan antamat tiedot ovat kaikki optimitilanteessa tuotettuja arvoja. Todellisuudessa mittausnopeus ei ole noin suuri sekä virhettä tulee aidossa mittaustilanteessa hieman enemmän. Skannerissa on lisäksi integroituna GPS, kompassi, korkeusanturi, kosketusnäyttö, WLAN sekä kamera. Laitteeseen ei tarvitse liittää erikseen tietokonetta, sillä laitteen muistiin voidaan tallentaa dataa, jota voidaan myöhemmin siirtää jatkokäsittelyä varten tietokoneelle.

Eri valmistajilla on useita erilaisia keilaimia eri tarkoituksiin. Myös mittausdatan jatkokäsittelyohjelmat ovat erilaisia, mistä syntyvät ongelmat tiedostonsiirtoon sekä käsitteilyyn. Kyseisen laserkeilaimen mittausdatan käsittelyohjelma on Faron tukema Scene ohjelma. Käytännössä ohjelmalla voidaan suorittaa pistepilven rekisteröinti ja pistepilven luominen kohteesta. Käytettävä ohjelma määräytyy pitkälti valmistajan mukaan, sillä laserkeilaimille ei ole sovittuna yhteisiä tiedostomuotoja, jolloin laserkeilaimen tuottama data on aina omassa formaatissaan. Faro Focus^{3D} X 330 -laserkeilain tuottaa fls-formaattia ja sitä on mahdollista käsitellä Scene ohjelmassa. Ohjelma käsitellään tarkemmin luvussa 4.4.1.

3 TIETOMALLINNUS

Tietomallinnus (Building Information Modeling, BIM) on rakennuksen tai rakennuksen osan digitaalista luomista. Tietomallilla pyritään luomaan mahdollisimman todellisuutta vastaava virtuaalimalli kohteesta. Tämä malli sisältää täsmälliset tiedot ja geometriset ominaisuudet, joita rakentamisprosessissa tarvitaan (Mitä on BIM, Tekla). Tietomalli koostaa yhteen kaiken tarvittavan tiedon, jotta tiedon hyödyntäminen on helppoa. Koska tietoa on helppo käyttää suunnittelu- ja toteutusketjun aikana, se mahdollistaa simuloinnin ja erilaisten analyysien tekemisen jo hyvin varhaisessa vaiheessa. (Tietomallinnus, RIL.)

Tietomallinnus on vielä keskittynyt uudisrakentamiseen, joten korjausrakentamisessa tietomallinnus on haasteellisempaa. Korjausrakentamisen tietomallintamiseen ongelmia tuottaa useat eri ohjelmat, näiden ohjelmien eri formaattimuodot ja yhteensopivuusongelmat sekä epäselvät menetelmät toteuttaa tietomalli. Olemassa olevan rakennuksen tietojen kartoitusta digitaalseksi kokonaisuudeksi kutsutaan inventointimalliksi. Tässä työssä tutkitaan mahdollisuuksia luoda inventointimalli kohteesta hyödyntäen pistepilveä lähtötietona.

3.1 Tietomallinnuksen tavoitteet korjausrakentamisessa

Tietomallinnuksen päätavoitteet ovat suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestävä kehityksen tukeminen (YTV 2012, 1). Tietomallin tulisi olla mahdollisimman helppokäyttöinen ja tiedonsiirto sujuvaa eri osapuolten kanssa. Nykyään laserkeilaamalla saadaan toteutettua erittäin tarkat lähtötiedot mittausten osalta, mutta lähtötietoja on vielä hankala hyödyntää varsinaisessa tietomallinnuksessa.

Lähtötilanteen mallinnus tulee kysymykseen, mikäli lähtömallia ei ole tai rakenteiden tarkkuus ei ole riittävä. Lisäksi hyvällä mallinnuksella saadaan rakennukselle tietomalli, jota voidaan hyödyntää myös käyttö- ja ylläpitovaiheessa. Tontti ja olemassa oleva rakennus mallinnus tuotetaan paikalla tehtävien mittaustapojen, inventointien ja muiden dokumenttien pohjalta. (YTV 2012, 2) Mittaustapoja on esimerkiksi laseretäisyys-, takymetri- tai laserkeilausmittaus. Tässä tapauksessa keskitytään ainoastaan laserkeilausella tehtäviin mittauksiin.

Koska laserkeilausmittaus on menetelmänä melko tarkka, tulee projektikohtaisesti miettiä miten tarkka inventointimalli kohteesta pyritään tekemään. Sallitut poikkeamat yleisten tietomallivaatimusten mukaan ovat:

- rakennusosien nurkkapisteissä 10 mm
- pinnoilla, esimerkiksi seinissä ja lattioissa 25 mm
- vanhojen epäsäännöllisten rakenteiden esimerkiksi vesikattorakenteiden osalta 50 mm. (YTV 2012, 2)

Vanhat rakennukset ovat yleisesti ottaen aina hieman kaltevia, kaarevia tai vinoja, joten inventointimallin toteuttaminen liian suurella tarkkuudella ei ole järkevää. Myös pistepilven laatu, pistepilvien yhdistämisen onnistuminen sekä pistepilven tiheys vaikuttavat lähtötilanteen mallinnukseen. On kuitenkin erittäin aikaa vievää yrittää saada ehdottoman laadukasta pistepilveä lähtötiedoiksi, joten projektikohtaisesti tulee sopia virhemarginaalit lähtötiedoiksi tulevalle pistepilvelle. (YTV 2012, 2)

3.2 Tietomallinnuksen ongelmat korjausrakentamisessa

Uudisrakentamisen tietomallinnuksessa on selkeät menetelmät, millä formaateilla kohde mallinnetaan. Puhutaan IFC-tiedonsiirrosta (Industry Foundation Classes), joka tarkoittaa tiedostomuotoa, jossa tietosisältö ja geometria siirtyvät eri ohjelmien välillä hyvin (YTV 2012, 6). IFC-standardin perusajatuksena on, että tietomallia voidaan siirtää riippumattomasti ohjelmien välillä, jotka tukevat kyseistä standardia. Tällöin tiedonsiirto on sujuvampaa eri osapuolten välillä. (Standardit, BuildinSMART)

Kun pistepilveä hyödynnetään lähtötietona, ei nykyisillä ohjelmilla välttämättä pystytä tuottamaan IFC-standardin mukaista tietomallia suoraan lähtötiedoista. Ongelmana ovat jo aiemmin mainitut eri formaattien yhteensopivuusongelmat sekä useat eri käsittelyohjelmat. Mikäli pystytään luomaan inventointimalli pistepilvestä, joka toimii jossain ohjelmassa, ei sitä välttämättä voida hyödyntää jossain toisessa ohjelmassa. Mikäli inventointimallia viedään ohjelmasta toiseen, vaatii se yleensä tiedostojen konvertointia ja vähintään osittaista uudelleenmallintamista. Tämä on yleensä melko työlästä sekä vir-

heiden mahdollisuus kasvaa (YTV 2012, 6). Tässä työssä pyritäänkin tuottamaan yksinkertaistettu tietomalli pistepilveen pohjautuen, joka on IFC-standardin mukainen.

4 PISTEPILVI JA SEN KÄSITTELY

Pistepilvi on laserkeilauksen tuottama kolmiulotteinen pistejoukko, jossa voi olla miljoonia pisteitä. Näillä pisteillä on oma intensiteettiä arvonsa, eli tieto palautuneen pulssin voimakkuudesta. Lisäksi jokaisella pisteellä on oma koordinaattinsa ja myös oma värinsä, mikäli laserkeilameen on liitetty kamera.

4.1 Yleistä

Maalaserkeilaimella mitattu pistepilviaineisto on keilaimen omassa koordinaattijärjestelmässä ja sen liittäminen suoraan esimerkiksi kaupungin käyttämään koordinaattijärjestelmään ei aina ole järkevää, sillä origo sijaitsee monesti liian kaukana. Lisäksi koko keilausaineisto tulisi sovittaa origon yläpuolelle, ettei synny ongelmia eri ohjelmien välillä jatkokäsittelyä ajatellen.

Aineistojen rekisteröimistä samaan koordinaatistoon kutsutaan georeferoinniksi, tämä tarkoittaa myös useiden mittauksien yhdistämistä yhdeksi pistepilveksi. Ennen kuin eri koeasemilta mitattuja aineistoja rekisteröidään samaan koordinaatistoon, on tärkeää huomioida aineiston käsittely. Ennen yhdistämistä ylimääräiset pisteet tulee suodattaa sekä mahdolliset virheelliset pisteet poistaa (Cronvall, T., Kråknäs P. & Turkka, T. 2012). Virhettä syntyy esimerkiksi aiemmin mainituista peileistä, eli peilien ”taakse” syntyy pisteitä, joita ei oikeassa kohteessa ole. Mikäli kuvataan rakennusta ulkoa käsin, keilauksen ympäriltä on syytä poistaa ylimääräiset pisteet, jotka eivät liity rakennukseen. Tämä selkeyttää mittauksen lopputulosta sekä pienentää tiedostokokoa.

4.2 Pistepilvien yhdistäminen

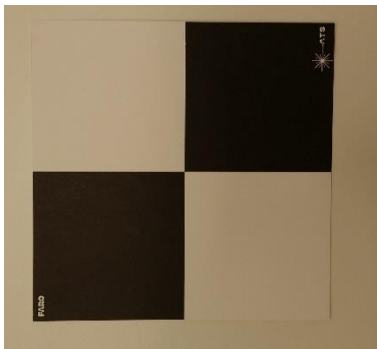
Pistepilvi mitataan lähes poikkeuksetta useammalta koeasemalta, jotta saadaan tuotettua laajempi pistepilvi esimerkiksi rakennuksen sisäpuolelta mahdollisimman vähäisillä katvealueilla. Pistepilvien yhdistämistä yhdeksi laajemmaksi kokonaisuudeksi kutsutaan pistepilven rekisteröimiseksi. Nämä pistepilvet voidaan rekisteröidä ja sitoa samaan koordinaatistoon eri menetelmillä. Näitä menetelmiä ovat tähyksien käyttö, yhteisesti mallinnetut kohteet tai yhdistettävien pistepilvien peittämä yhteinen alue. Tähyks on

laserskannerista riippuen tasomainen, puolipallo tai pallomainen esine. Laserskanneri tunnistaa tällaisen tähyksen automaattisesti pistepilvestä, jolloin rekisteröinti helpottuu.

Näistä menetelmistä yleisin on tähyksien käyttö. Testikohteessa käytössä ollut laserkeilain käytti tähyksinä pallomaisia sekä tasomaisia tähyksiä. Tähyksien käyttö helpottaa eri kojeasemilta mitattujen pistepilvien rekisteröimistä yhdeksi laajemmaksi pistepilveksi. Tähyksien keskipisteet voidaan mitata takymetria apuna käyttäen tai vaihtoehtoisesti laserkeilain tunnistaa tähykset automaattisesti pistepilvestä. Kuvassa 6 on esitetty pallomainen tähyk ja kuvassa 7 tasomainen tähyk.

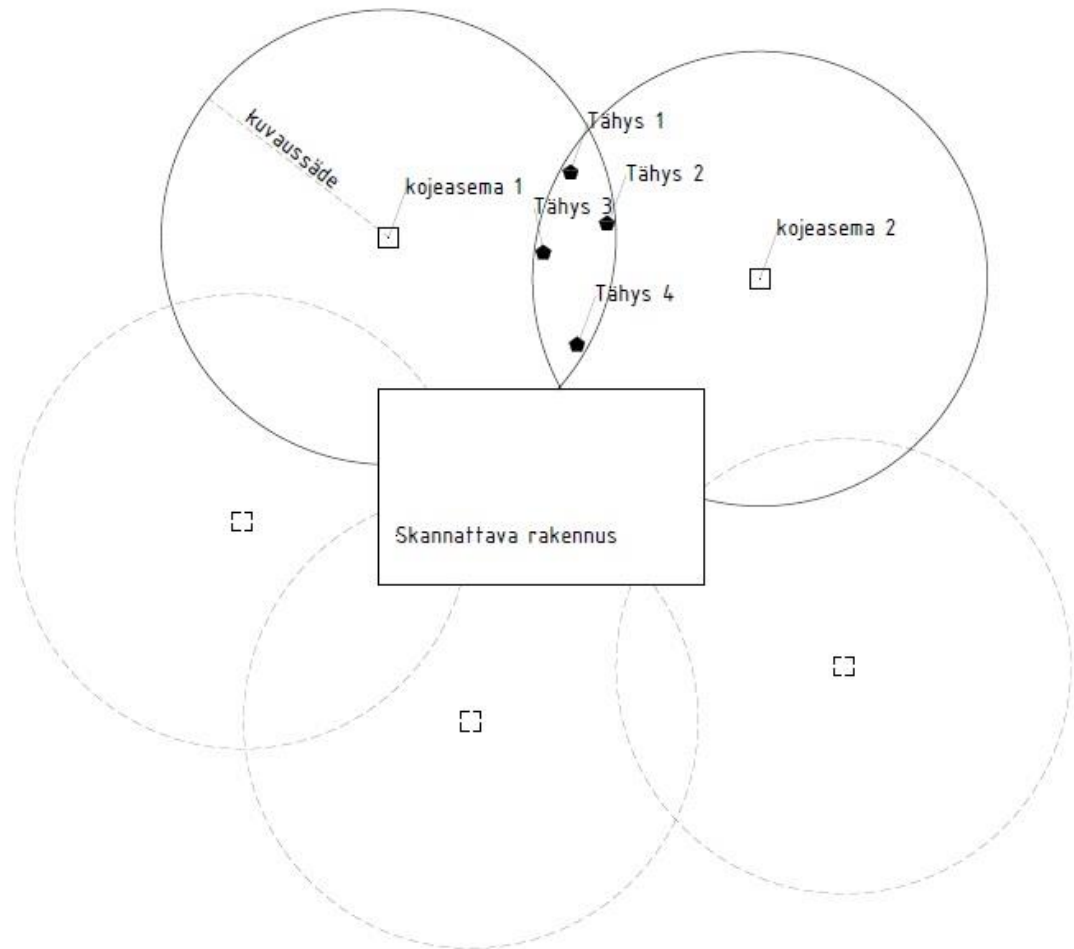


KUVA 6. Pallomainen tähyk



KUVA 7. Tasomainen tähyk

Tähyksien sijoittaminen vaikuttaa merkittävästi pistepilven rekisteröimisen onnistumiseen. Kun suoritetaan laserskannaus, tulee varmistua siitä, että tähykset (3-5 kpl) näkyvät myös toiselta kojeasemalta. Tähykset tulisi sijoittaa eri korkoihin, mahdollisimman kauas toisistaan sekä eri linjaan suhteessa toisiinsa. Näin laserskanneri tunnistaa tähykset ja rekisteröinti onnistuu varmemmin. Kuvassa 8 on esitetty yksinkertaistettu malli tähyksien sijoittelemisesta.



KUVA 8. Tähyksen sijoittaminen maastoon

Kun mittaus suoritetaan sisällä, välimatkat ovat lyhempiä verrattuna ulkona tapahtuvaan mittaukseen. Lyhyillä mittausetäisyyksillä riittää pienemmät tähykset, mutta mittausetäisyyden kasvaessa on syytä käyttää suurempia tähyksiä. Tällä tavoin varmistetaan, että mittalaite tunnistaa tähykset myös pitkiltä matkoilta. Tutkimuskohteessa käytetty laserskanneri värjää tähyksen rekisteröimisvaiheessa vihreäksi (Kuva 9), kun laite on tunnistanut tähyksen pistepistepilvestä.



KUVA 9. Tähyksien sijoittelu maastossa

Kuten kuvasta 9 huomataan, pistepilvi on valokuvamainen mittaus kohteesta. Tähyksiä näkyy mittauksessa neljä kappaletta ja laserskanneri on tunnistanut kaikki, joten ne ovat mittauksessa vihreänä.

Muut yhdistämistavat, kuten yhteisesti mallinnetut kohteet ja pistepilven yhteinen peittoalue eivät yleensä ole yhtä tarkkoja menetelmiä, kuin tähyksien käyttäminen. Yhteisesti mallinnetuissa kohteissa pistepilvestä otetaan yhteisiä tasoja, lieriöitä tms. ja yhdistetään pistepilvet näiden avulla. Pistepilven yhdistäminen peittoalueen mukaan vaatii, että ainakin kolmasosa pisteistä on molemmissa mittauksissa. Molemmat menetelmät ovat yleensä epätarkempia, kuin tähyksien käyttäminen. Muiden menetelmien käyttäminen voi tulla kuitenkin kysymykseen isoissa projekteissa, jolloin mitatut pistepilvet yhdistetään em. menetelmien kombinaationa. (Joala, V. 2006, 3)

4.3 Pistepilven tiedostokoko

Pistepilven suuri tiedostokoko on yksi rajoittavimpia tekijöitä pistepilvien hyödyntämisessä. Jo pienissäkin kohteissa pistepilvet kasvavat suuriksi tiedostoiksi, jolloin jatkokaistittelu hankaloituu. Testikohteessa tiedostokoko oli sisä- sekä ulkoskanauksen rekisteröimisen jälkeen noin 20 gigatavua. Demokohde on suhteessa melko pieni skannattava kohde, johon skannauksia tuli yhteensä kaksikymmentä. Kun laserkeilataan jokin suu-

remppi rakennus, tiedostokoot kasvavat nopeasti liian suuriksi käsitellä tavanomaisilla tietokoneilla.

Tiedostokokoon vaikuttaa pistepilven tiheys, ylimääräiset pisteet, pisteiden määrä, koha sekä skannausten määrä. Pistepilven tiheyttä voidaan itse säätää mittalaitteesta, lisäksi on erilaisia apuohjelmia. Apuohjelmilla voidaan poistaa helposti ylimääräisiä pisteitä, jolloin tiedostokoot saadaan pienemmäksi laadun kärsimättä. Ohjelmissa on myös ominaisuuksia, joilla voidaan koko harventaa pistepilveä, jolloin tiedostokoko pienenee huomattavasti. Käytännössä ohjelmassa valitaan pienin sallittu pisteiden välinen etäisyys, jolloin koko pistepilvi harvenee sen mukaisesti. Erään käytössä olleen apuohjelman ominaisuuksia käsitellään luvussa 4.4.3 ja ohjelman tuottamaa dataa, kuten pisteiden harvennusta käsitellään testikohteen yhteydessä luvussa 5.

4.4 Ohjelmistot

Tässä luvussa käsitellään pistepilven jatkojalostamisessa käytettäviä ohjelmia sekä niiden tärkeimpiä ominaisuuksia liittyen pistepilven muokkaamiseen. Ohjelmia pistepilven käsittelyyn on lukuisia aina ilmaissovelluksista erilaisiin maksullisiin versioihin. Tässä luvussa käsitellään niitä sovelluksia, joita hyödynnettiin testikohteen mallintamisessa.

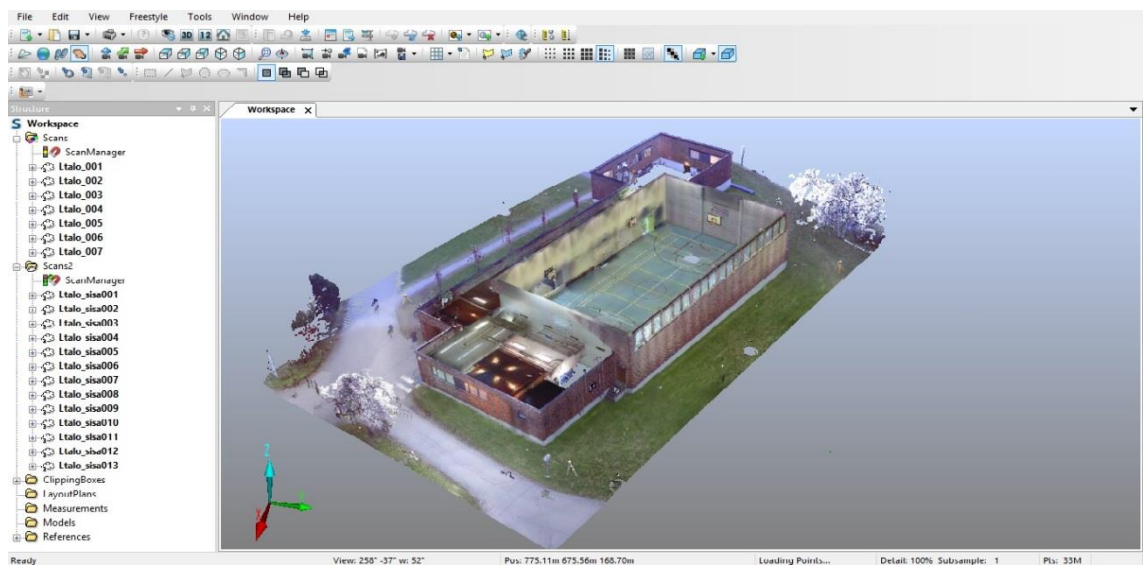
4.4.1 Scene

Scene ohjelmaa käytetään pistepilvien luomiseen laserkeilausaineistosta eli laserskanneerin tuottamasta raakadatasta. Se on Faron ylläpitämä sovellus, jota on miltei pakko käyttää laserkeilaimen tuottaman formaatin vuoksi. Laserkeilain tuottaa mitattua raakadataa fls-formaatissa, jota Scene pystyy käsittelemään. Scene ohjelmassa pystytään export-komennolla konvertoimaan pistepilvi eri formaatteihin, jotka on esitelty taulukossa 3.

Formaatin nimi	Formaatin lyhenne
E57 File	.e57
VRML File	.wrl
DXF File	.dxf
XYZ Ascii File	.xyz
XYZ Binary File	.xyb
IGES File	.igs
PTS File	.pts
PTX File	.ptx
Pointools POD	.pod

TAULUKKO 3. Scene ohjelman tuottamat formaatit

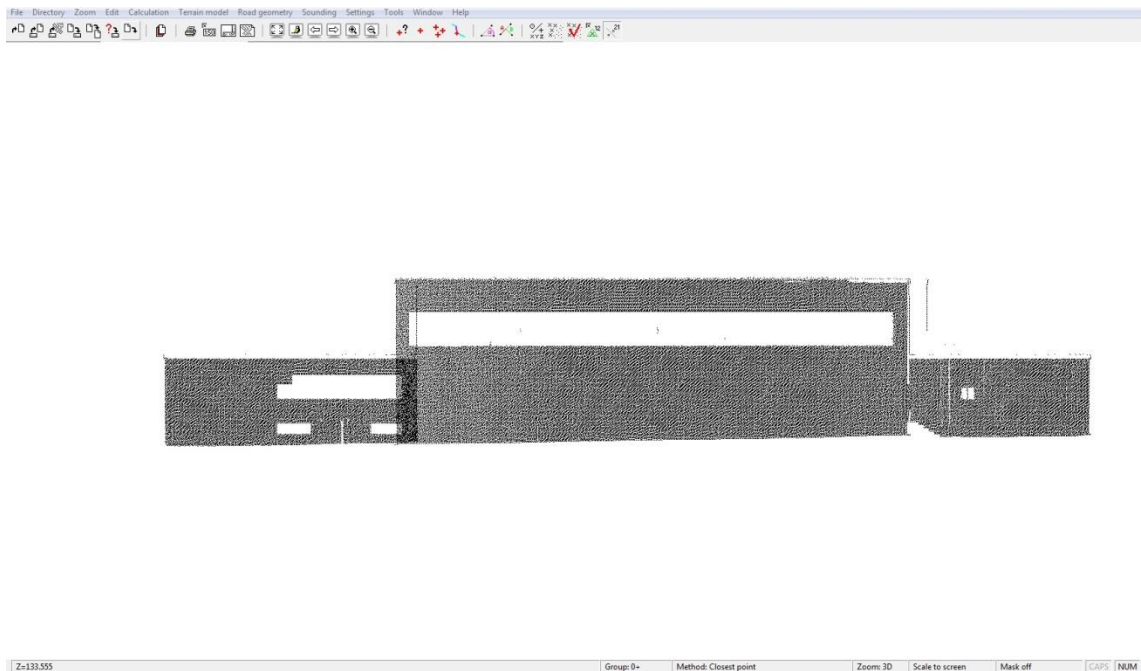
Scene on suhteellisen helppokäyttöinen, jota hyödynnetään pistepilven rekisteröimisessä, raakadatan muokkaamisessa sekä pistepilven jatkokäsittelyssä. Scene:ssä voidaan myös toteuttaa pistepilvestä pohja-, leikkaus- ja julkisivukuvia. Kyseiset toiminnot ohjelmassa käsitellään tarkemmin luvussa 5. Yleisnäkymä ohjelmasta on esitelty kuvassa 10.



KUVA 10. Yleiskuva Scene ohjelmasta

4.4.2 3D-Win

3D-Win ohjelma on tarkoitettu erityisesti pisteiden käsittelyyn. Ohjelmistoa käytetään yleensä hyödyksi maastonmittaustiedon tuottamiseen sekä käsittelyyn. Koska ohjelma on optimoitu käsittelemään nimenomaan pistedataa, ohjelmalla on helppoa muokata pistepilven osia, kuten pohjakuvaa. Toiminnot, joita käytettiin pistepilven muokkaukseen, käydään tarkemmin läpi luvussa 5. Yleisnäky ohjelmasta on esitelty kuvassa 11.



KUVA 11. Yleiskuva 3D-win ohjelmasta

Tässä työssä ohjelmaa hyödynnettiin enimmäkseen formaattien konvertointiin. Käytännössä Scene:llä tuotettiin xyz-formaattia, eli koordinaattitietoja eri pisteiden sijainnista. Tämä tiedosto saatiin tuotettua dwg-formaattiin, jota voidaan hyödyntää varsinaisessa tietomallinnuksessa. 3D-Win ohjelma kysyy tiedostoa ohjelmaan vietäessä tiedoston muotoa. Tässä tapauksessa tiedosto viedään text-muodossa, jolloin ohjelma ymmärtää kyseisen tiedoston tiedot koordinaateiksi.

4.4.3 CloudCompare

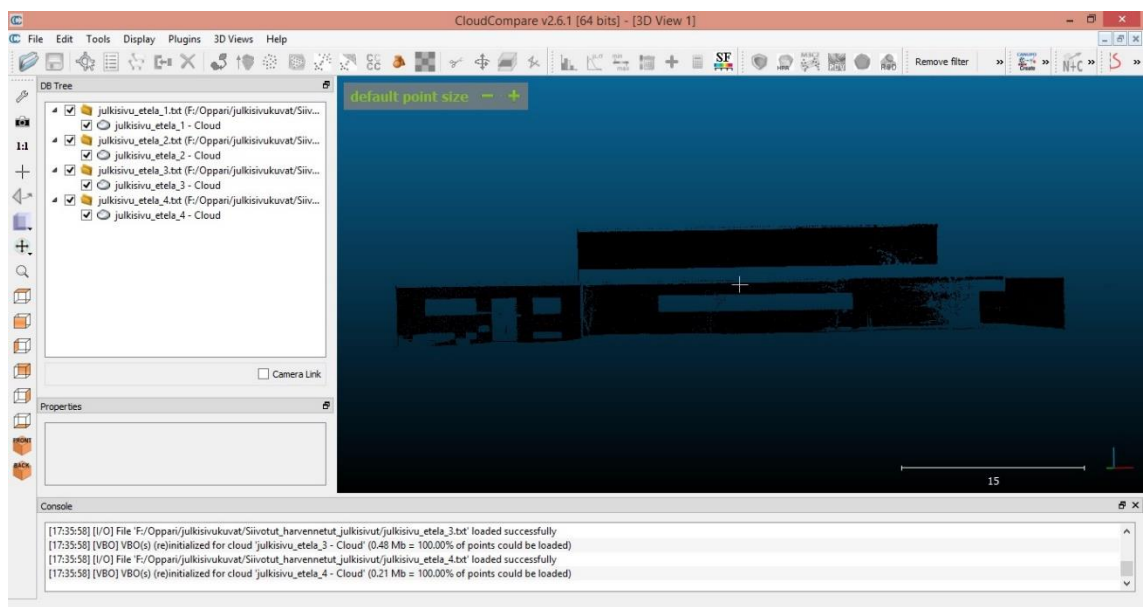
CloudCompare on ohjelma, jolla voidaan käsitellä pistepilveä tai sen osia. Ohjelmalla voidaan muun muassa poistaa ylimääräisiä pisteitä pistepilvestä, harventaa pisteitä pis-

tepilvestä, mitata pisteiden välisiä etäisyyksiä sekä luoda kolmioverkko pistepilvestä. Ohjelmalla on lisäksi lukuisia muitakin ominaisuuksia, mutta testikohteen tietomallinnuksessa tutkittiin vain kyseisiä ominaisuuksia ohjelmasta.

CloudCompare pystyy lukemaan yli kolmeakymmentä formaattia, joista tärkeimmät tähän työhön liittyen on esitetty taulukossa 4. Koska ohjelma on erityisesti tarkoitettu erilaisten pistepilven osien ja kolmioverkkojen muokkaamiseen, tukee ohjelma useita eri formaatteja. Yleisnäkyä CloudCompare:sta on esitetty kuvassa 12.

Formaatin nimi	Formaatin lyhenne
XYZ Ascii File	.xyz
E57 File	.e57
DXF File	.dxf

TAULUKKO 4. Osa CloudCompare –ohjelman tukemista formateista

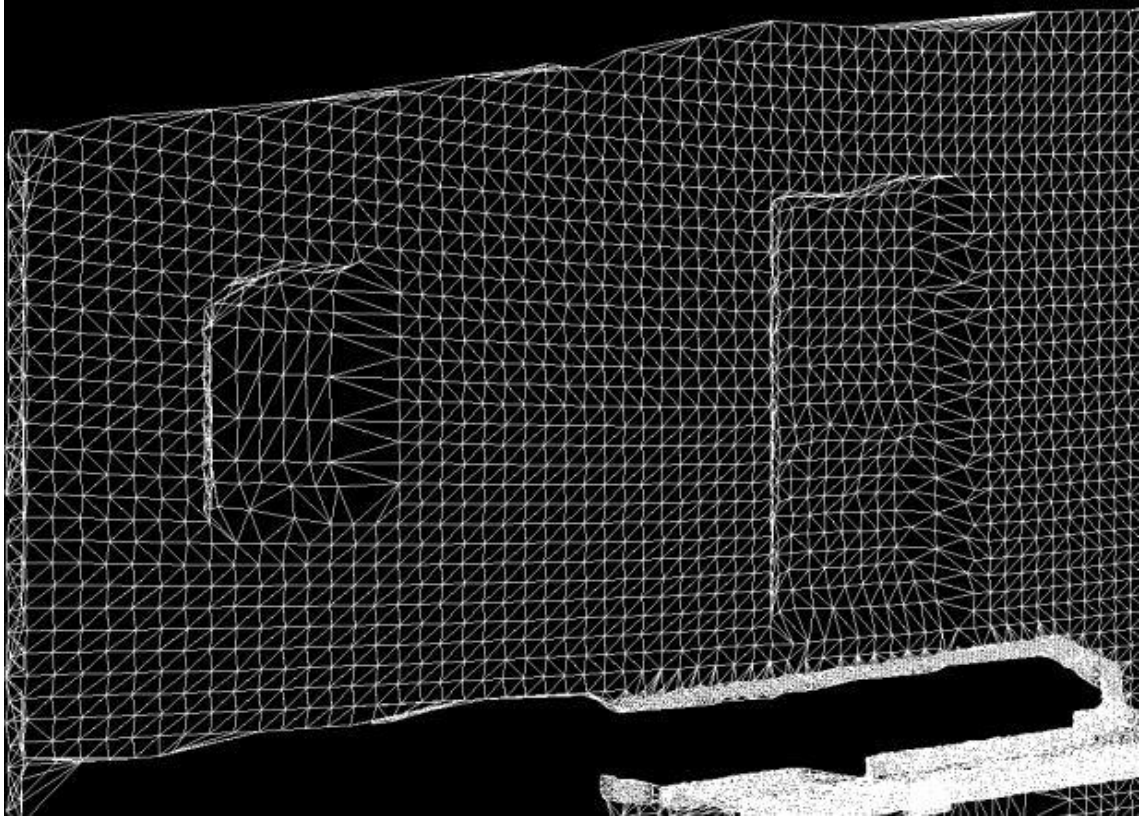


KUVA 12. Yleiskuva CloudCompare ohjelmasta

4.4.4 VRMesh Reverse

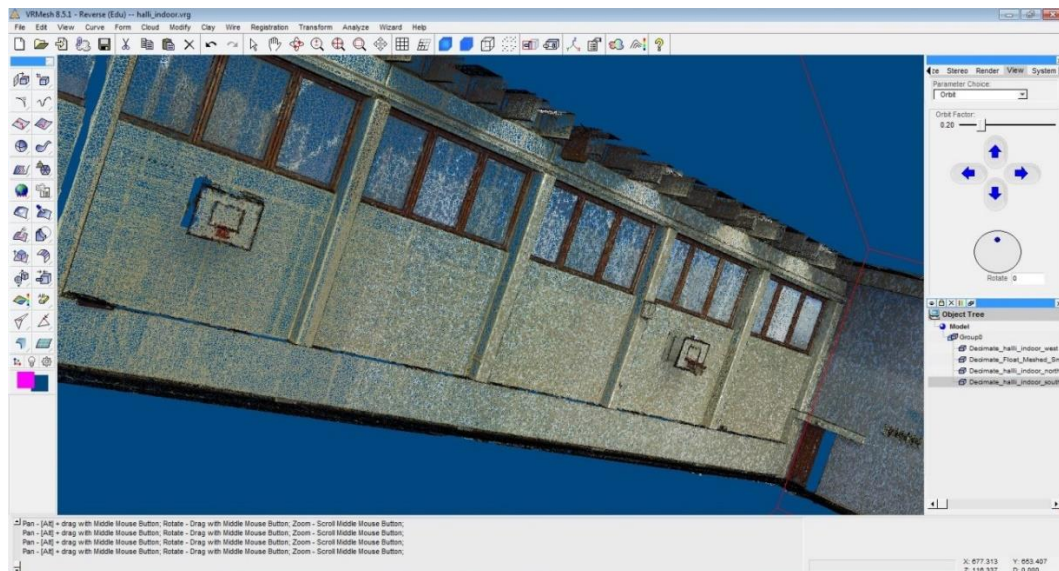
VRMesh Reverse ohjelma tarjoaa pistepilven käsittelyyn osittain samoja toimintoja, kuin aiemmin käsitellyt ohjelmat. Ohjelman toimintoja ovat muun muassa pistepilven

rekisteröinti, ylimääräisten pisteiden poistaminen, tarkan kolmioverkon luominen pisteistä ilman kulmien suoristamista ja kolmioverkkopintojen saumaton yhdistäminen. Näistä toiminnoista tutkittiin lähinnä kolmioverkon luomista sekä näiden pintojen mahdollista yhdistämistä. Kolmioverkolla tarkoitetaan pisteiden yhdistämistä kolmioimalla. Kuvassa 13 on esitetty yksinkertainen seinästä tehty kolmioverkko.



KUVA 13. Kolmioverkko seinästä (Kari, V. 2011)

Kolmioinnin ongelmana on tässä tapauksessa lopputuloksena saatava epätarkka malli. Vaikka ohjelma mainitsee, ettei kolmiointi suoristaisi kulmia, se kuitenkin näillä pistetarkkuuksilla oikaisee kulmissa. VRMesh Reverse ohjelmassa kolmiointi toimii hyvin, kun mallinnetaan yksinkertaista pistepilveä, joka on erittäin tarkka esimerkiksi teollisuuslaserkeilamalla tuotettu ja tällöin yleensä hyvin läheltä mitattu. Kuvassa 14 on esitetty ohjelman yleiskuva. Tätä ohjelmaa ei jatkossa hyödynnetä testikohteen mallinnuksessa.

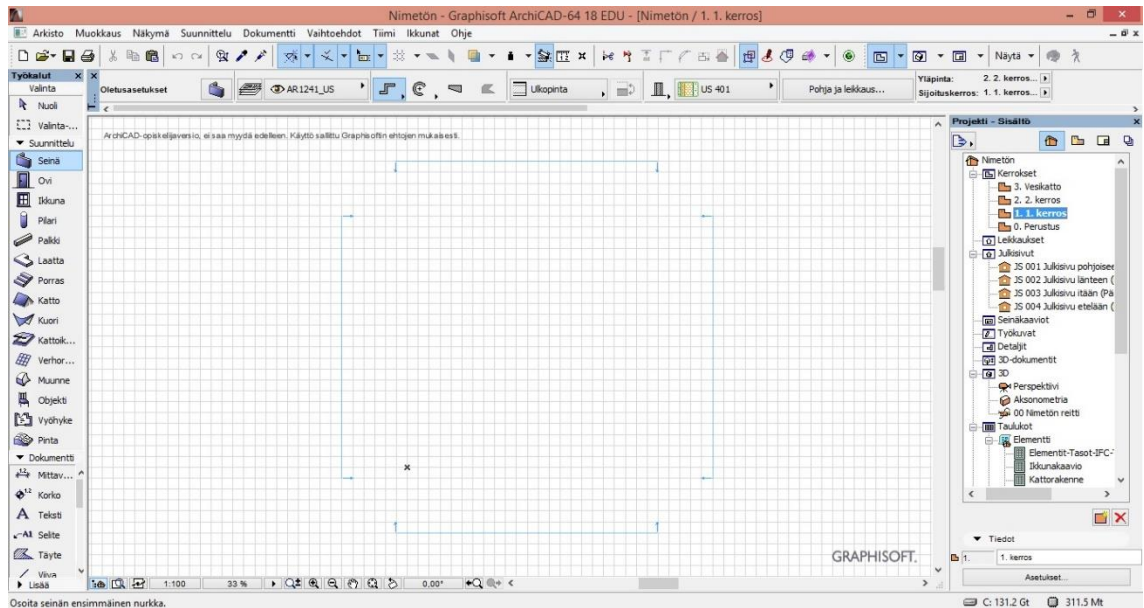


KUVA 14. Yleiskuva VRMesh Reverse ohjelmasta

4.4.5 Graphisoft ArchiCAD 17

Graphisoftin ArchiCAD 17 ohjelmalla voidaan tuottaa rakennuksesta tietomalli. Ohjelmalla voidaan tuottaa rakennukseen kaikki tarvittavat rakennuksen osat erittäin kattavasti. Ohjelmalla pystytään mallintamaan rakennuksesta mm. pohja-, julkisivu- ja leikkauskuvat sekä 3D-malli. Tässä työssä pyritään tutkimaan juuri ArchiCAD ohjelman ominaisuuksia pistepilven jalostamisessa tietomalliksi.

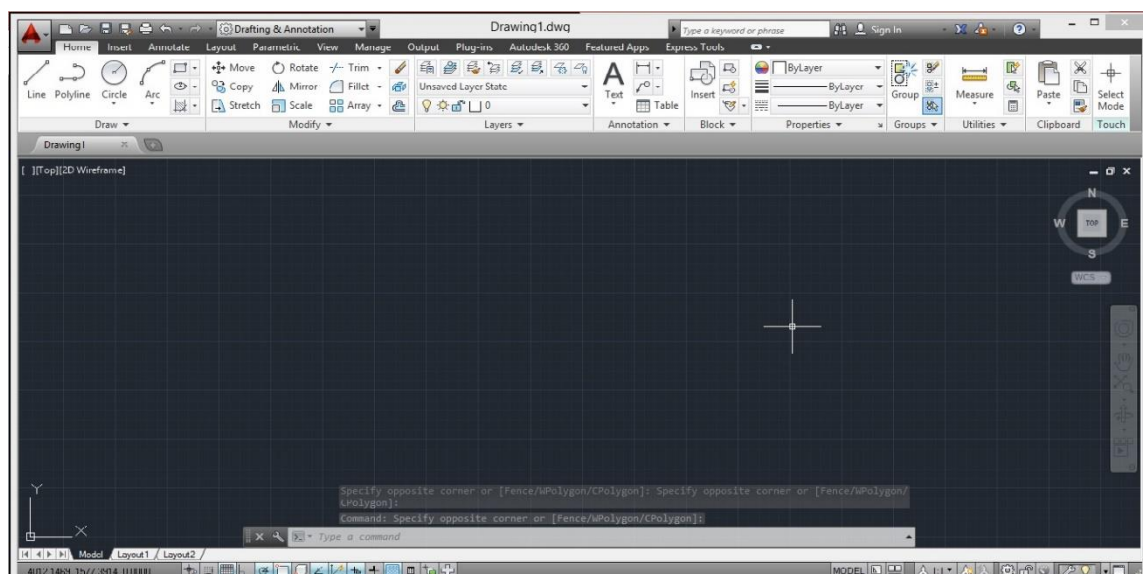
Varsinaisesta kohteen pistepilvestä pyritään luomaan pohja-, leikkaus- ja julkisivukuvat ja näitä pyritään hyödyntämään ArchiCAD:ssä varsinaisen tietomallinnuksen lähtötietoina. Lopullinen tietomalli pyritään toteuttamaan siis mahdollisimman tarkasti pistepilven tietojen mukaisesti. Tämä edesauttaa tietomallin hyödyntämistä jatkossa pienemmän tiedostokoon sekä helppokäyttöisyyden vuoksi. Kuvassa 15 on esitetty yleiskuva ArchiCAD ohjelmasta. Mallinnusprosessi käydään tarkemmin läpi luvussa 5.



KUVA 15. Yleiskuva ArchiCAD ohjelmasta

4.4.6 Autodesk AutoCAD 2014

Autodeskin AutoCAD on suunnitteluohjelma, jolla tuotetaan rakenteiden piirustuksia. Ohjelma on samantapainen, kuin ArchiCAD mutta AutoCAD toimii nykyään paremmin lähinnä 2D-tasolla. Ohjelmassa on myös 3D-ominaisuuksia, mutta varsinainen 3D-suunnittelu toteutettiin ArchiCAD:llä. Kuvassa 15 on esitetty yleiskuva AutoCAD:stä.



KUVA 15. Yleiskuva AutoCAD 2014 ohjelmasta

AutoCAD lukee ja tuottaa dwg-formaattia, jota hyödynnettiin tässä työssä. Kun julkisivu- ja leikkauskuvat saatiin pistepilvestä tuotettua dwg-formaattiin, tämä täytyi AutoCAD:ssa kääntää ns. oikein päin. Ongelmana oli se, että tuotetuilla julkisivu- ja leikkauskuvilla oli xyz-koordinaatit, jolloin dwg-formaatti näytti kuvat ylhäältä käsin, jolloin mittatietoja ei saatu tiedostosta ulos. Prosessi, miten AutoCAD ohjelmaa hyödynnetään dwg-tiedostojen muokkaamiseen, esitellään luvussa 5.

4.5 Pistepilven hyödyntämistapoja

Tässä kappaleessa esitellään eri mahdollisuuksia hyödyntää pistepilvidataa. Läpi käydään eri 3D-mallinusvaihtoehtoja sekä niiden osia edellä mainituilla ohjelmilla sekä ohjelmien erityistoimintoja, joita voidaan hyödyntää mallinnuksessa.

4.5.1 Pistepilven käyttö sellaisenaan

Pistepilvi sinällään oikein rekisteröitynä sekä koordinaatistoon kytkettynä toimii hyvänä pohjatietona mallinnukseen. Esimerkiksi Faron Scene ohjelmassa on suhteellisen helppo käyttää mittatyökaluja, jolloin saadaan tarkkaa tietoa rakenteista ja näiden etäisyyksistä. Ongelmana ovat laajat pistepilvet, sillä tiedostokoot kasvavat niin suuriksi jolloin ei ole järkevää käyttää ohjelmaa. Pistepilven käyttö sinällään toimiikin parhaiten lähinnä mallintamisen aputyökaluna tai pienien kohteiden kanssa työskentelyssä.

Koska pistepilvestä on mahdollista ottaa tarkkoja mittoja eri rakenteista jo ennen mallintamista, tulee kohteen laajuuden mukaan miettiä mallinnuksen kannattavuutta. Joissain pienissä kohteissa voidaan jättää kohde kokonaan mallintamatta suuren työmäärän vuoksi, koska samat tiedot saadaan melko vaivattomasti myös pistepilvestä. Lisäksi mallintamisen mahdolliset virheet jäävät pois, kun mitat otetaan suoraan pistepilvestä.

4.5.2 Pistepilven luonti kolmioverkko- sekä pintamalliksi

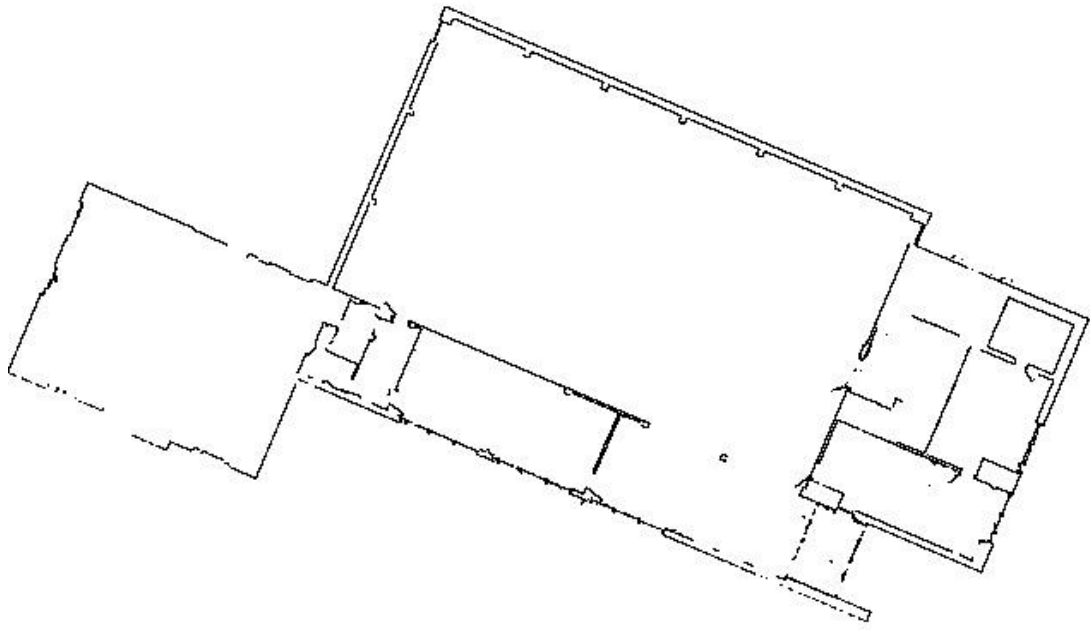
Kolmioverkko voidaan toteuttaa esimerkiksi aiemmin mainitulla VRMesh Reverse ohjelmalla. Käytännössä ohjelmaan viedään pistepilven osa esimerkiksi seinän pala, jol-

loin ohjelma laskee pisteiden etäisyyksien myötä seinän osalle kolmioinnin ja tämä on ikään kuin pistepilven pinta. Kuten aiemmin mainittiin, tällä menetelmällä ei vielä nykyään saada kovin tarkkaa kolmioverkkoa luotua ja ongelmia tulee etenkin kulmissa. Ohjelma pyöristää kulmat kolmioinnin yhteydessä, joka tuottaa ongelmia mallinnuksessa. Lisäksi kolmioverkon pinta on usein epätasainen.

Pintamalli luodaan kolmioverkon pohjalta. Pintamalli luo aiemmin tehtyyn kolmioverkkoon yhtenäisen pinnan, joka voidaan viedä tietomallinnuksen lähtötiedoiksi. Kuten kolmioverkolla, myös pintamallilla on ongelmana pinnan epätasaisuus sekä kulmien pyöristyminen. Pintamallinnus toimii paremmin maaston kuvauksissa, jolloin tarkkuutta ei vaadita niin paljon, kuin rakenteita kuvattaessa. Pintamallin hyödyntämistä tietomallinnuksessa on tutkittu jonkin verran ja tällä menetelmällä ei ole päästy etenemään järkevästi tietomallinnuksessa. Tässä opinnäytetyössä tutkitaankin lähinnä vaihtoehtoisia menetelmiä.

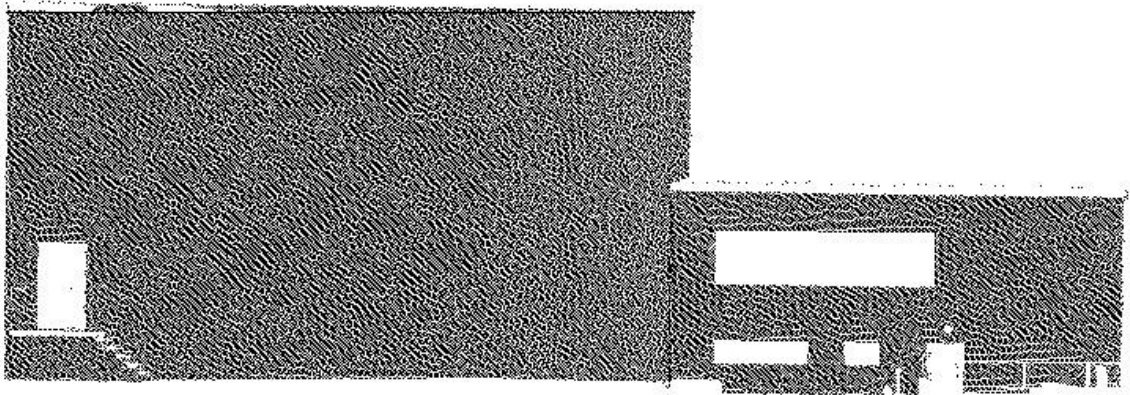
4.5.3 Pistepilven litistäminen

Uusimmassa Scene:n versiossa 5.4 toimii ominaisuus tomograph, joka tarkoittaa pistejoukon litistämistä valitulla paksuudella ja etäisyydellä. Ominaisuus toimii siten, että skannaukseen luodaan valittuun pintaan (esim. lattiataso) ns. plane eli referenssitaso. Tämän referenssitason mukaan luodaan esimerkiksi 1.5 metrin korkeudelle 0.05 metrin leikkaus. Kuvassa 16 on esitetty pohjakuva, jossa käytettiin litistysominaisuutta 1.5 metrin korkeudelta lattiapinnasta. 1.5 metrin korkeus lattiatasosta on tässä tapauksessa optimaalinen, jotta pohjakuvaan saadaan näkyviin oviaukot, seinäpinnat sekä ikkunat. Koska pisteet ovat tässä tapauksessa 0.05 metrin matkalta litistyneet, on kyseinen pohjakuva 2D-tasossa, jolloin sitä voidaan käsitellä helposti Auto- ja ArchiCAD ohjelmissa pohjatietona mallintamiseen. Joskin kyseinen xyz-formaatti täytyy konvertoida dwg-formaattiin. Referenssitaso voidaan määrittää haluttuun kohtaan ja myös etäisyydet sekä leikkauksen paksuuden voi määrittää halutuksi. Tämä mahdollistaa leikkauksuvien ottamisen myös esimerkiksi kattorakenteista.



KUVA 16. Pohjakuva pistepilvestä tuotettuna

Samanlainen taso pystytään tekemään mistä tahansa kohdasta, litistämään valitulla etäisyydellä pisteet 2D-pintaan, jolloin saadaan tehtyä myös pistepilven eli tässä tapauksessa rakennuksen julkisivu- ja leikkauskuvat. Julkisivu- ja leikkauskuvat toteutetaan litistyskomennolla samaan tyyliin kuin pohjakuva, mutta referenssitasoksi tässä tapauksessa asetetaan jokin seinäpinta. Menetelmät käydään tarkemmin läpi luvussa 5. Kuvassa 17 on esitetty julkisivukuva, joka on toteutettu samaan tapaan litistyksellä.



KUVA 17. Julkisivukuva pistepilvestä

5 TESTIKOHDE

Tässä luvussa käydään läpi menetelmät, joilla tietomallinnus suoritettiin. Pyrkimyksenä oli tutkia mahdollisimman yksinkertaista menetelmää toteuttaa tietomalli nykyisillä ohjelmilla ja näiden ominaisuuksilla.

5.1 Kohteen tiedot

Testikohteena oli Tampereen ammattikorkeakoulun (TAMK) L-rakennus. Kyseessä on erillinen rakennus osana TAMK:n kampusta ja siellä sijaitsee liikuntatilat sekä järjestötoiminnan tiloja. Kohteeseen tehdään laajennusremontti, joka on tarkoitus aloittaa kesällä 2015. Laajennuksen suunnittelusta vastaa arkkitehtitoimisto Helamaa\Heiskanen. Laajennus keskittyy liikuntatilojen monipuolistamiseen sekä tilojen ja järjestelmien parantamiseen. Nykyiseen kuntosaliosioon tehdään laajennus sekä toinen kerros.

Alun perin tarkoituksena oli tehdä inventointimalli arkkitehtisuunnittelun lähtötiedoiksi, mutta järkevää menetelmää toteuttaa inventointimalli pistepilvestä ei löydetty riittävän aikaisin. Tuotettu testikohteen tietomalli onkin lähinnä esimerkkinä vastaavien projektien varalle, joissa hyödynnetään laserkeilausmittausta pohjatietoina.

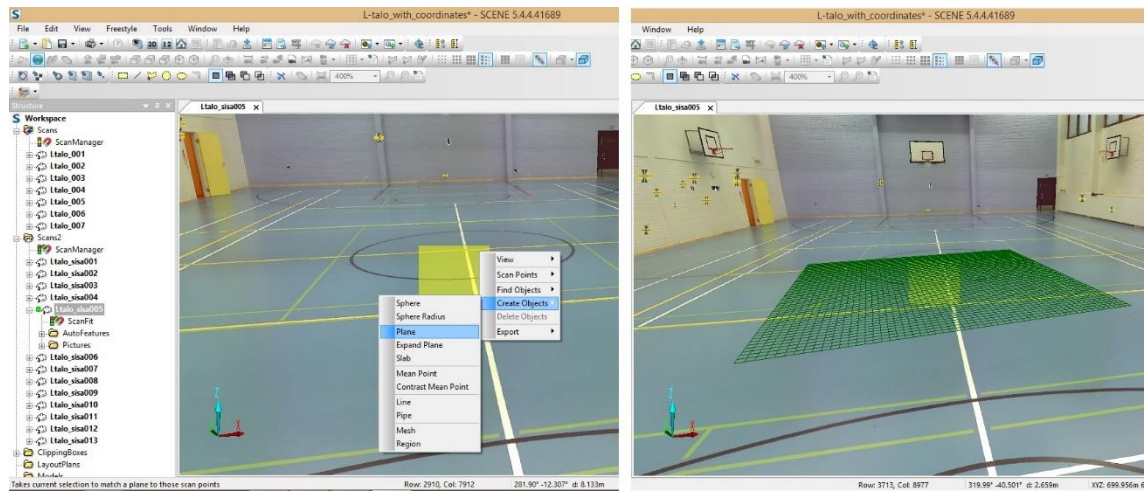
5.2 Lähtötiedot

Lähtötietoina tietomallinnukselle käytettiin rakennusmestariopiskelija Kalle Tammen tuottamaa laserkeilausdataa. Rakennus mitattiin laserskannerilla ulkoa käsin yhteensä seitsemällä skannauksella sekä sisäpuolelta kolmellatoista skannauksella. Skannaukset on tuotettu ainoastaan liikuntatiloista, joten järjestötoiminnan tilat jätetään tässä tapauksessa mallintamatta. Kohteesta oli käytössä myös vanha pohjakuva, mutta sitä ei tarvinnut hyödyntää käytetyillä menetelmillä.

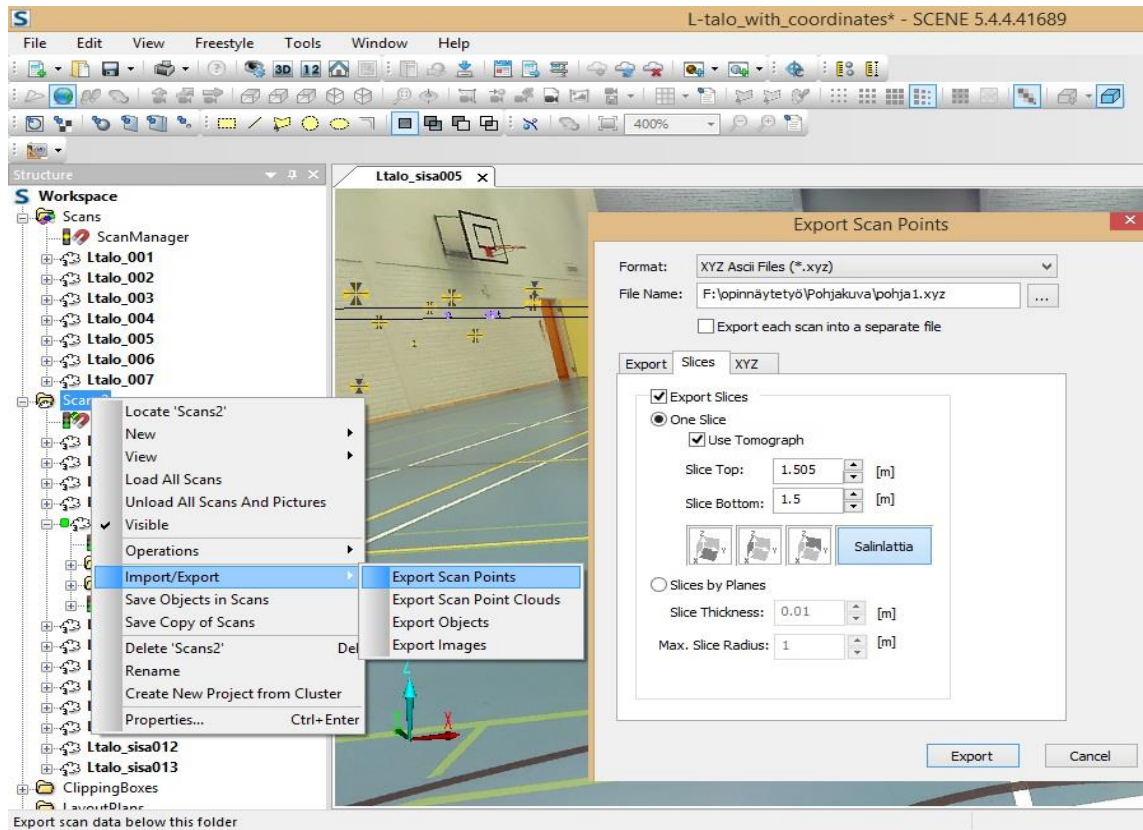
5.3 Pohjakuvan luominen

Pohjakuva luotiin pistepilvestä käyttäen aiemmin mainittua Scene:n litistysominaisuutta (tomograph). Pohjakuva tehtiin 1.5 metrin korkeudelta, 0.05 metrin siivuna, jolloin saatiin kaksiulotteinen kuva. Pohjakuvan luominen 1.5 metrin korkeudelta oli järkevä korkeus, koska tällöin kuvaan tuli ikkunat, ovet ja erinäiset aukot hyvin näkyviin. Pohjakuvia voi toki tuottaa useammaltakin eri korkeudelta.

Pohjakuvaa varten tehtiin referenssitaso liikuntasalin lattiaan (Kuva 18) ja tämän avulla tuotettiin pohjakuva litistystoiminnolla (Kuva 19). Kuvissa käydään läpi Scene:n tarkat komennot, joilla kuvan saa luotua. Kyseinen laserskannaus on toteutettu ulko- sekä sisäskannauksina ja ne ovat selkeyden vuoksi jaoteltu kahdeksi kokonaisuudeksi ”Scans” ja ”Scans2”. Tässä tapauksessa ”Scans” tarkoittaa ulkopuolisia skannauksia ja ”Scans2” sisäpuolisia skannauksia. Tästä syystä pohjakuva täytyy myös tuottaa molemmista, jolloin saadaan rakennuksen sisä- sekä ulkorajat näkyviin. Nämä osat voidaan yhdistää 3D-Win ohjelmalla. Pohjakuva luodaan xyz-formaattiin, jota voidaan jatkokäsitellä 3D-Win:llä



KUVA 18. Referenssitason luominen Scene ohjelmalla



KUVA 19. Pohjakuvan luominen pistepilvestä

Saadut tiedostot viedään tämän jälkeen CloudCompare ohjelmaan, jossa kuvista voidaan helposti poistaa ylimääräisiä pisteitä. Näitä pisteitä ovat ulkona esimerkiksi puusto, autot tai liikennemerkkit ja sisällä vastaavasti liikuntavälineet, pöydät ym. irtoneiset tavarat, joita ei kuvissa tarvita. Kuvassa 20 on aiemmin tuotettu pohjakuva sekä kuvassa 21 kyseinen pohjakuva ilman ylimääräisiä pisteitä.



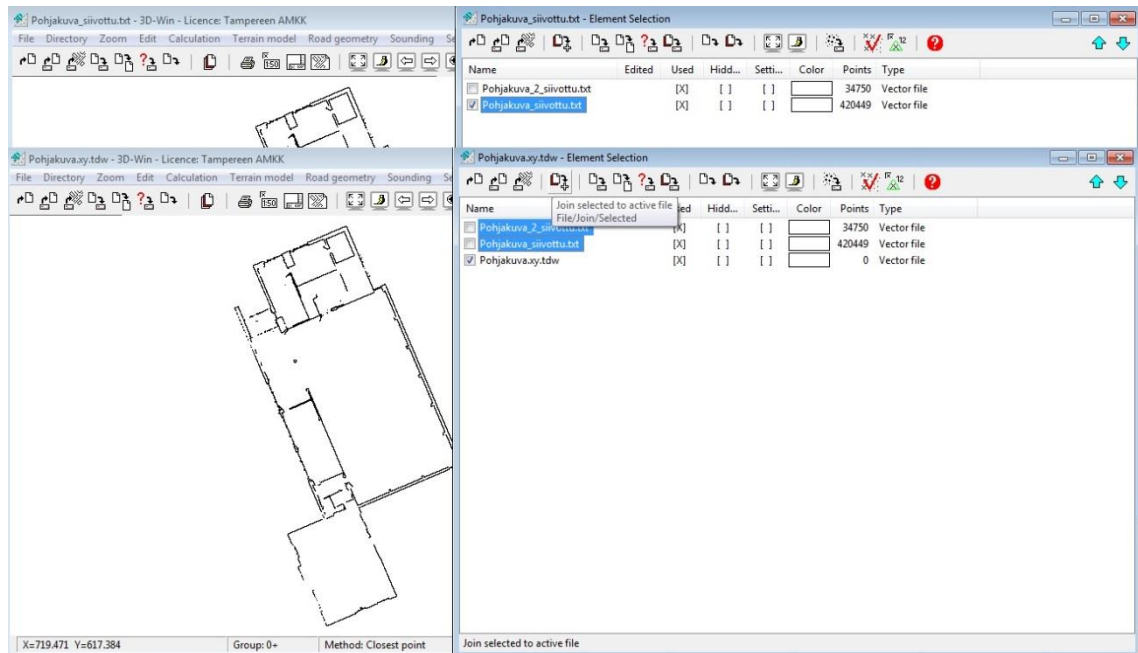
KUVA 20. Pohjakuva ennen ylimääräisten pisteiden poistoa



KUVA 21. Pohjakuva ylimääräisten pisteiden poistamisen jälkeen

CloudCompare toimii hyvin pisteiden poistossa sekä pisteiden harventamisessa tiedostokoon pienentämistä varten. Pisteiden harventaminen käsitellään julkisivujen luonnin yhteydessä. Julkisivuissa pistemäärät kasvavat huomattavasti, jolloin tiedostokoot kasvavat ja tiedostojen käsittely hankaloituu.

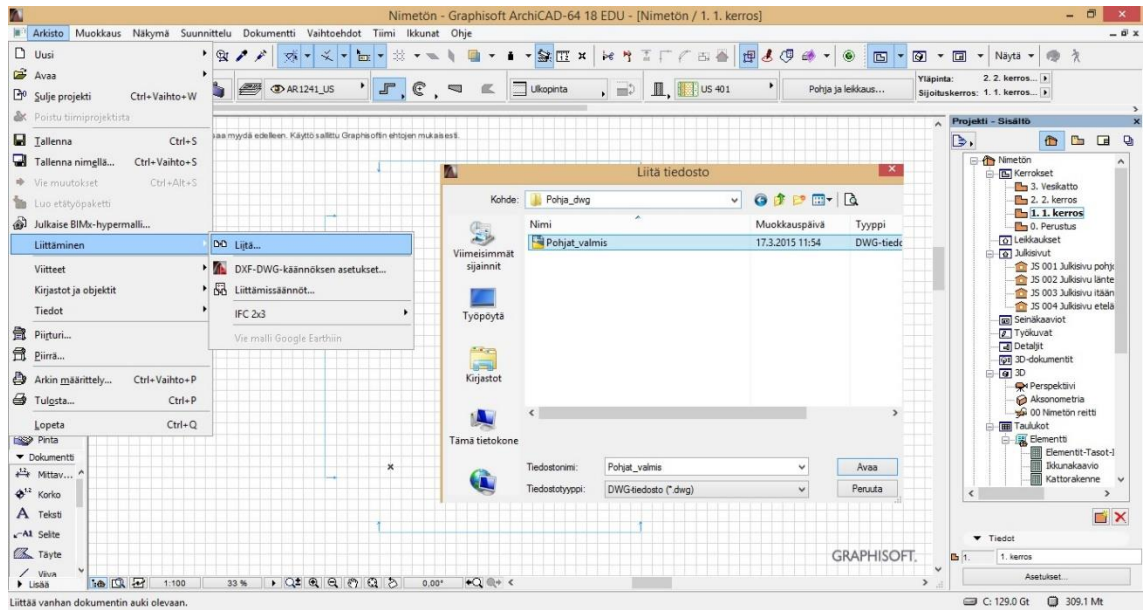
Kun pohjakuvasta on saatu ylimääräiset pisteet poistettua, tiedostot vietään 3D-winiin. 3D-winissä tiedostot (ulko- ja sisäskannaukset) yhdistetään yhdeksi tiedostoksi (Kuva 22) ja tämä konvertoidaan xyz-formaatista dwg-formaattiin. Formaatin konvertointi 3D-win ohjelmassa onnistuu komennolla ”Join selected to active file”, tällä toiminnolla ohjelma antaa valita formaatin johon xyz-tiedosto kirjoitetaan. Kun xyz-formaatti konvertoidaan dwg-formaattiin, tätä voidaan jatkossa työstää Archi- ja AutoCAD ohjelmissa.



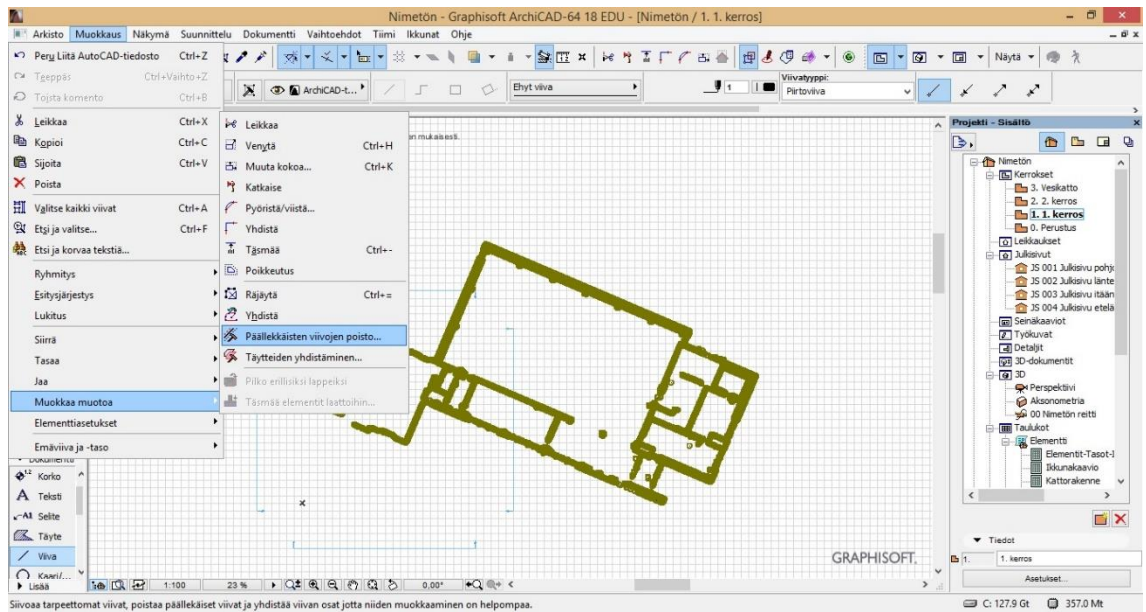
KUVA 22. 3D-win:ssä tiedostojen yhdistäminen

Kun dwg-tiedosto on saatu tuotettua, voidaan tämä liittää ArchiCAD:iin. Ohjelmaan viedään kyseinen tiedosto liittämällä (kuva 23) ja siitä voidaan poistaa päällekkäiset pisteet ennen mallintamista (kuva 24). Päällekkäisten pisteiden poisto on valinnainen toimenpide lähinnä poistamaan ylimääräistä dataa. Ohjelma tulkitsee liitetyt pisteet viivoina ja päällekkäiset viivat voidaan toiminnolla poistaa, jolloin malli on siistimpi ja helpompi työstää. Kyseisessä pohjakuvassa ylimääräisiä pisteitä toimenpiteellä poistui yli 100 000.

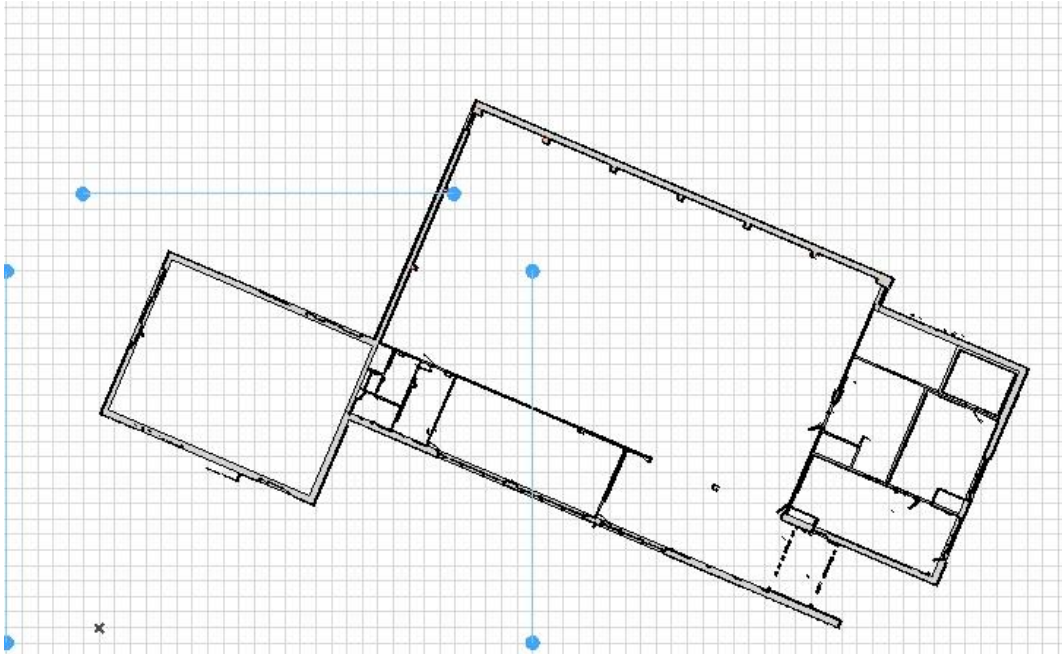
Mallinnus voidaan aloittaa pohjakuvasta melko helposti, kun saadaan seinäpaksuudet ja sijainnit pohjakuvasta mitattua. Prosessi aloitettiin mallintamalla seinälinjat pohjakuvaan ja tämän jälkeen hyödynnettiin julkisivu- ja leikkauskuvia, joista pystytään mittaamaan seinälinjojen korkeudet, ikkunoiden sijainti yms. Julkisivujen luonti käydään läpi luvussa 6.4. Kuvassa 25 on alustavien seinälinjojen sijainti ArchiCAD ohjelmalla luotuna.



KUVA 23. DWG:n liittäminen ArchiCAD ohjelmaan



KUVA 24. Ylimääräisten pisteiden poisto

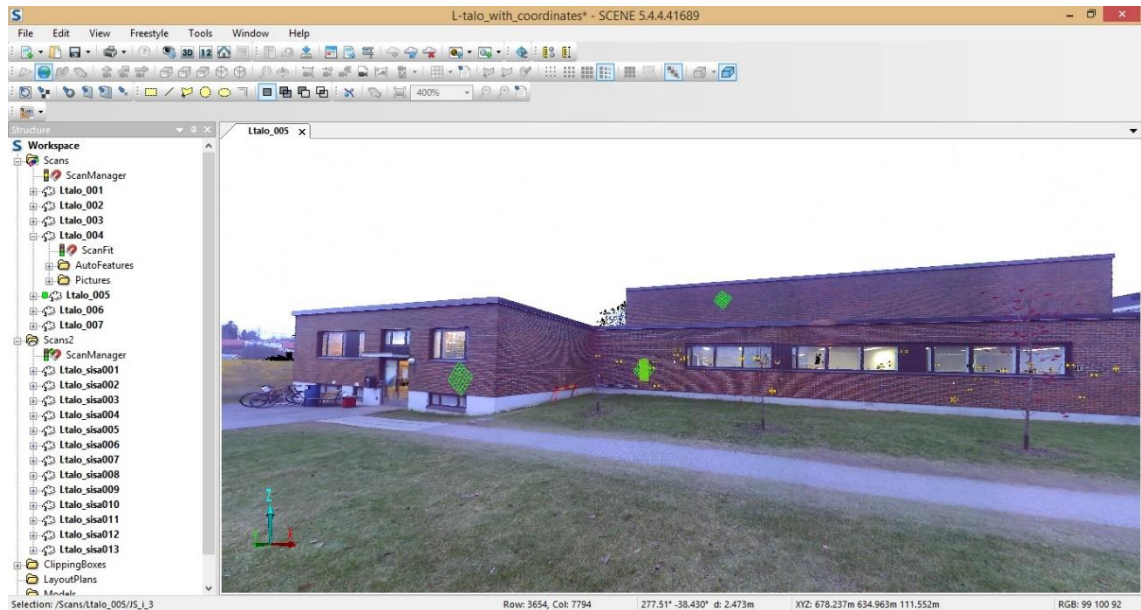


KUVA 25. Alustavat seinälinjat

5.4 Julkisivukuvien luominen

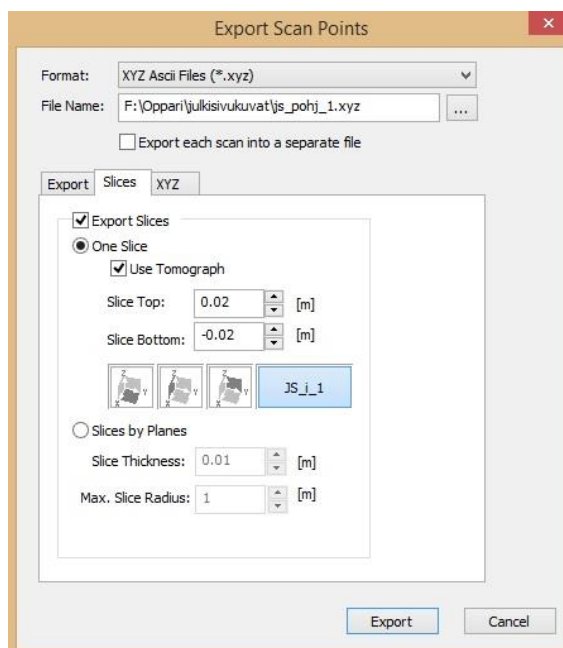
Julkisivukuvat luodaan pistepilvestä samaan tapaan kuin pohjakuvakin. Ongelmia tuottaa kyseisten kuvien saaminen kaksiulotteiseksi, jolloin mittoja saadaan otettua helpommin. Koska jokaisella pisteellä on omat koordinaatit, Auto- ja ArchiCAD ohjelmat tunnistavat pisteiden koordinaatit, jolloin kuvat tulevat ylhäältäpäin kuvattuna. Kuvat pystyttiin kuitenkin kääntämään AutoCAD ohjelmalla edestäpäin kuvatuksi eli normaalisti julkisivukuvaksi.

Julkisivukuvien luominen tapahtuu samalla tavalla kuin pohjakuvan luominen. Julkisivukuvissa referenssitaset luodaan seinän ulkopintaan ja nämä tasot tuotettiin ohjelmasta litistysominaisuudella. Referenssitasosta otettiin ± 0.02 m, jolloin saatiin litistettyä ainoastaan seinän pinta riittävällä paksuudella. Referenssitaset tulee merkitä jokaiselle seinän osalle erikseen (Kuva 26) ja nämä osat yhdistetään myöhemmin yhdeksi tiedostoksi 3D Win:llä.



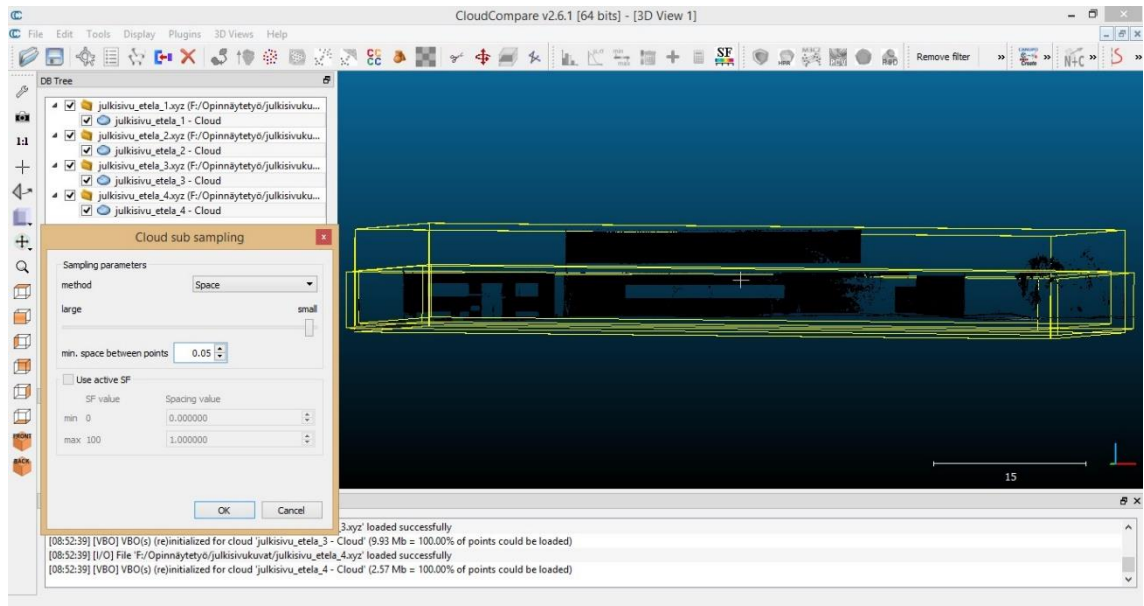
KUVA 26. Referenssitaset julkisivussa

Tällä julkisivulla näkyy kolme yhteistä seinäpintaa, joten julkisivut tuotetaan näistä. Samaan tapaan tehdään talon kaikki sivut. Kaikki kolme pintaa tuotetaan samaan tapaan, kuin pohjakuva, mutta etäisyyksiksi valitaan aiemmin mainittu ± 0.02 m (Kuva 27). Tästä julkisivusta tulee kolme erillistä tiedostoa, jotka yhdistetään edelleen yhdeksi kokonaisuudeksi 3D-Win ohjelmassa. Lisäksi 3D-Win:ssä voidaan jälleen tallentaa tiedosto dwg-formaattiin, jota voidaan työstää AutoCAD:ssä.

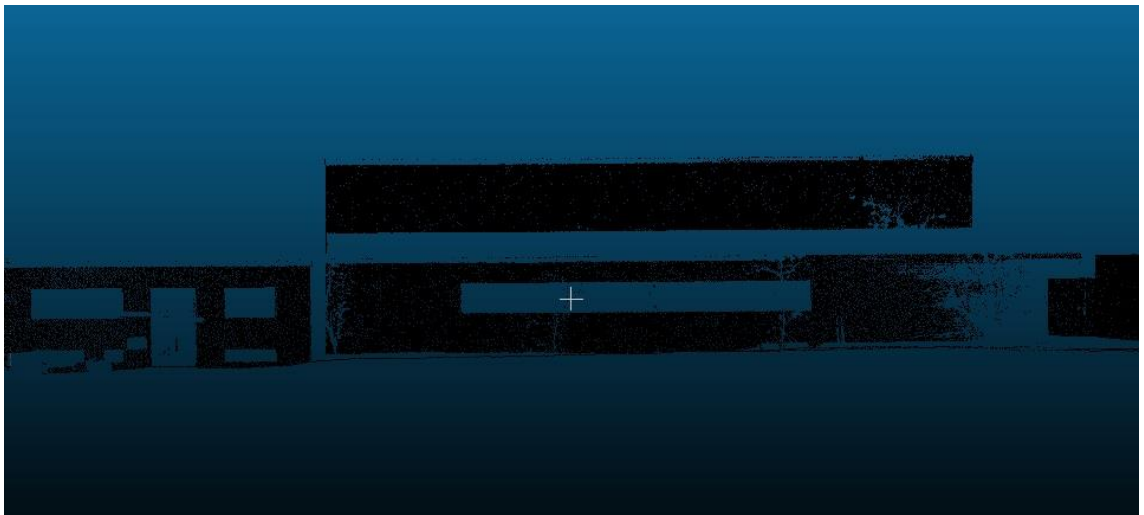


KUVA 27. Asetukset julkisivukuvan luontiin

Ennen tiedostojen konvertointia dwg-formaattiin, on yleensä syytä harventaa pisteiden määrää julkisivusta. Julkisivu on yleensä niin tiheää pistepilveä, ettei se toimi AutoCAD:ssä järkevästi, joten esimerkiksi CloudCompare on helppokäyttöinen ohjelma harventaa pistepilveä. Tässä tapauksessa pisteitä harvennettiin siten, että pienin sallittu pisteiden välinen etäisyys oli 0.05 m (kuva 28). Näin tiedostokoko saatiin pienennettyä sadasta megatavusta hieman yli viiteen megatavuun. Harvennettu pistepilvi ei eroa paljoa alkuperäisestä (Kuva 29).



KUVA 28. Pisteiden harvennus CloudCompare ohjelmalla

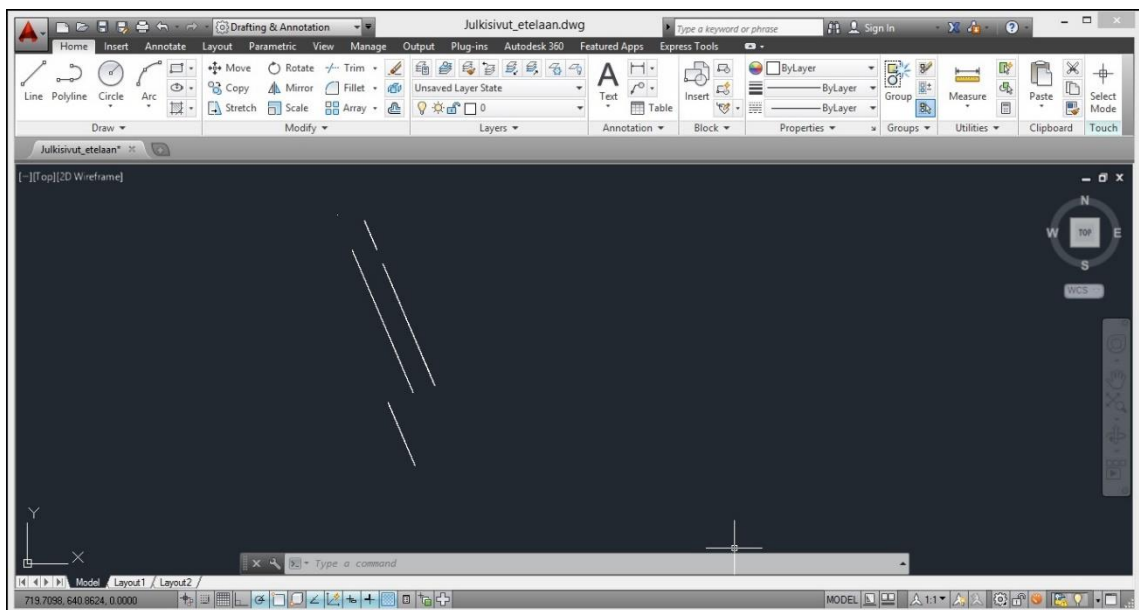


KUVA 29. Pistepilvestä tuotettu julkisivu harventamisen jälkeen

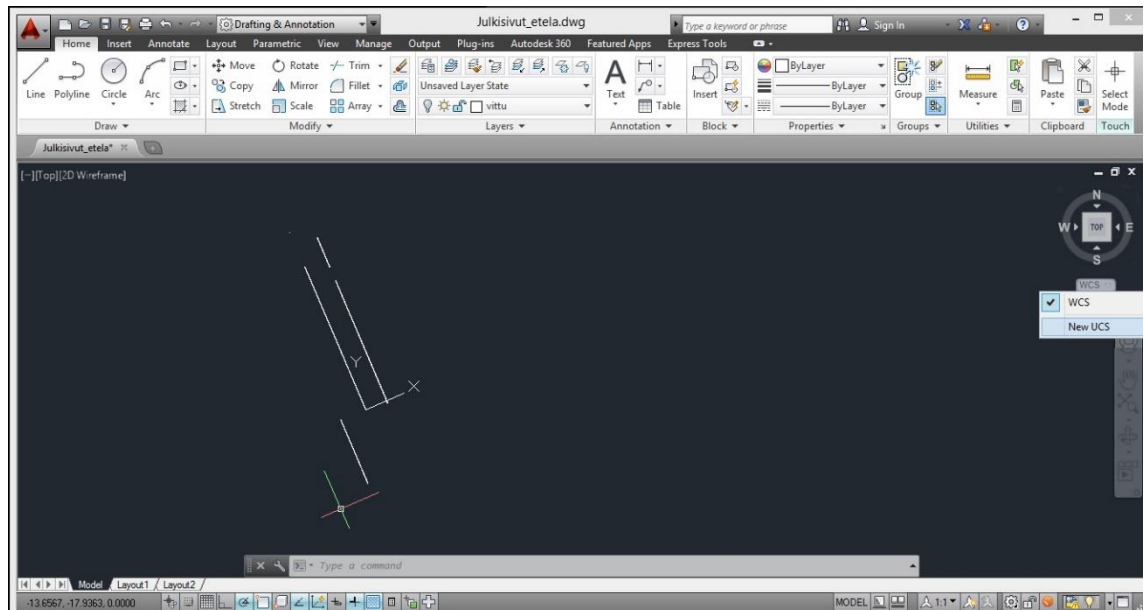
Huomattavaa on, että pistepilveä pystyttiin harventamaan melko huomaamattomasti noin kaksikymmentä kertaa pienempään tiedostokokoon. Kyseisestä harvennetusta jul-

kisivusta saadaan yhtä hyvin otettua mitat, kuten ikkunan ja ovien sijainnit julkisivulla. Kyseinen toimenpide toteutettiin jokaiselle julkisivulle samalla pistevälillä. Lisäksi kuvista poistettiin harventamisen yhteydessä ylimääräisiä pisteitä, kuten puustoa.

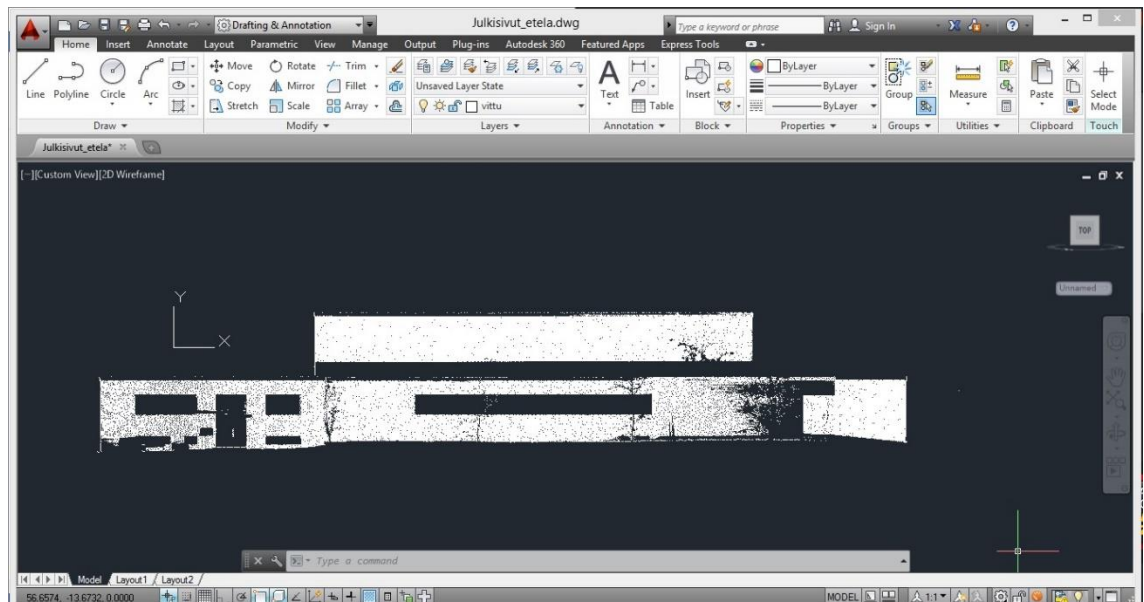
Seuraavaksi harvennettu pistepilvi julkisivusta yhdistettiin ja konvertoitiin dwg-formaattiin 3D-Win ohjelmassa samalla tavalla kuin pohjakuvakin (Kuva 22). Tämän jälkeen tiedosto saatiin avattua AutoCAD ohjelmassa. Ongelmana oli nyt aiemmin mainittu pisteiden sijoittuminen kuvaan ylhäältäpäin kuvattuna (Kuva 30). Jotta julkisivukuvat saatiin xy-koordinaatistoon edestäpäin kuvatuksi, tuli koordinaatisto aluksi kääntää seinälinjan suuntaiseksi ”new ucs” –komennolla. (Kuva 31). Sen jälkeen hyödynnettiin AutoCAD ohjelman 3D-ominaisuuksia ja käännettiin kuva manuaalisesti edestäpäin kuvatuksi. Kun kuva on saatu oikeaan näkymään, muokataan koordinaatisto uudestaan samalla komennolla, jolloin lopputulos on xy-koordinaatistossa (Kuva 32).



KUVA 30. Julkisivut ennen muokkaamista

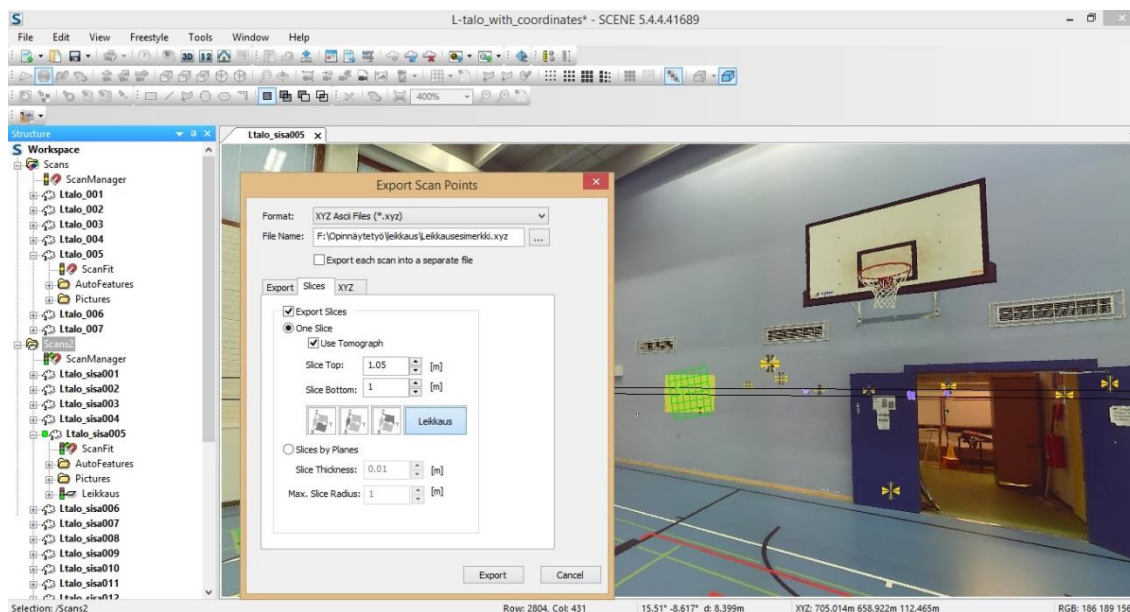


KUVA 31. Koordinaattilinjojen kääntäminen



KUVA 32. Julkisivu käännettynä xy-koordinaatistoon

Jokainen julkisivu käännettiin kyseisellä menetelmällä, joita hyödynnettiin tietomallintamisessa. Leikkauskuvat tehtiin käytännössä samalla tavalla, mutta niissä otettiin reffensipinnaksi jokin sisäseinä. Tämän jälkeen seinästä otettiin litistysominaisuudella esimerkiksi 1 metrin päästä 0.05 m paksuinen siivu (Kuva 33). Tästä tehtiin leikkauskuva samoilla menetelmillä, kuin julkisivukuvat. Myös leikkauskuva täytyi kääntää, ylimääräisiä pisteitä poistaa sekä hieman harventaa pisteitä tiedostokoon pienentämiseksi.



KUVA 33. Leikkauskuvan luominen pistepilvestä

5.5 Varsinainen tietomallinnus

Varsinainen tietomallinnus tehtiin Graphisoft ArchiCAD 17 ohjelmalla. Ohjelma todettiin alussa sopivan tällaiseen inventointimalliin hyvin sekä aiempaa kokemusta ohjelman käyttämisestä on jonkin verran. Mallintamisen aputyökaluna käytettiin AutoCAD 2014 ohjelmaa julkisivujen mittatietojen tarkastamiseen. AutoCAD ohjelmalla mitattiin lähinnä ikkunoiden ja ovien sijainti ulkoseinällä sekä ulkoseinien korkeudet sokkelilinjasta. Mallintamisen apuna käytettiin myös pistepilveä, tällä tarkastettiin ikkunoiden ja ovien tarkat leveydet, sillä julkisivukuvista näitä tietoja ei saatu järkevästi mitattua.

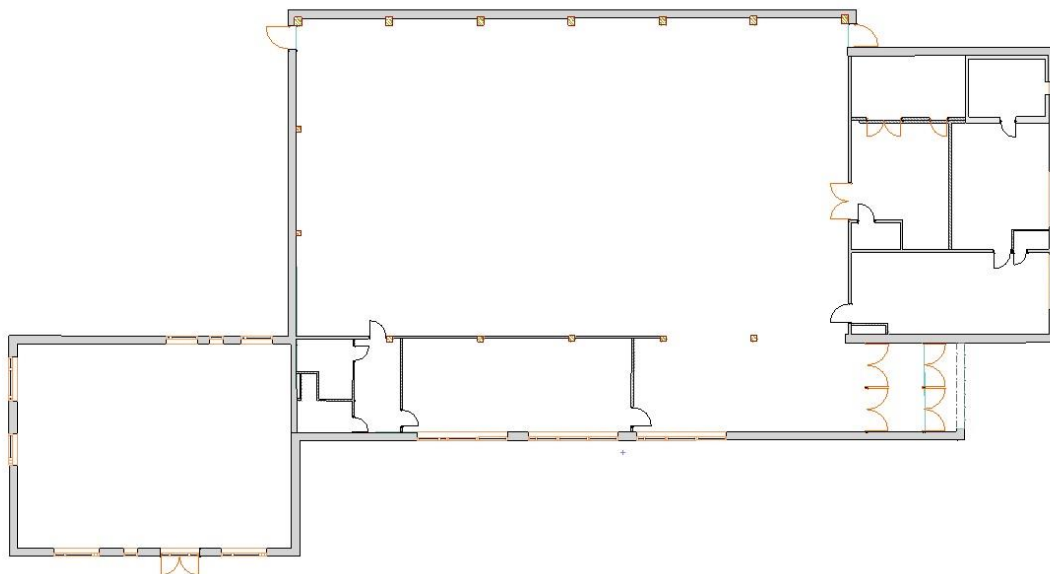
Kuviin mallinnettiin vain rakennuksen oleelliset osat, joita olivat seinälinjat, ikkunat, ovet, pilarit sekä palkit. Kattopinnat jätettiin mallintamatta, koska lähtötietoja katolta ei ollut saatavilla. Lisäksi mallintamatta jätettiin L-rakennuksen järjestötoiminnan tilat, jotka ovat varsinaisen remontin ulkopuolella. Tässä kappaleessa on tarkoituksena soveltaa aiemmin esiteltyjä menetelmiä toteuttaa pistepilvi tietomalliksi.

Mallintaminen aloitettiin liittämällä dwg-tiedosto ArchiCAD ohjelmaan edellä mainitun ohjein. Tähän pohjakuvaan piirrettiin ulkoseinälinjat ja näiden vahvuudet mitattiin pisteiden etäisyyksistä. Kun ulkoseinälinjat olivat mallinnettu, tehtiin samat toimenpiteet väliseinille. Julkisivukuvista mitattiin seinien korkeudet ja lisäksi piirrettiin perus-

tustasoon sokkelilinja ulkoseinien mukaan. Tämän jälkeen piirrettiin pohjakuvan mukaisesti pilarit, joiden oikea korkeus tarkistettiin pistepilvestä.

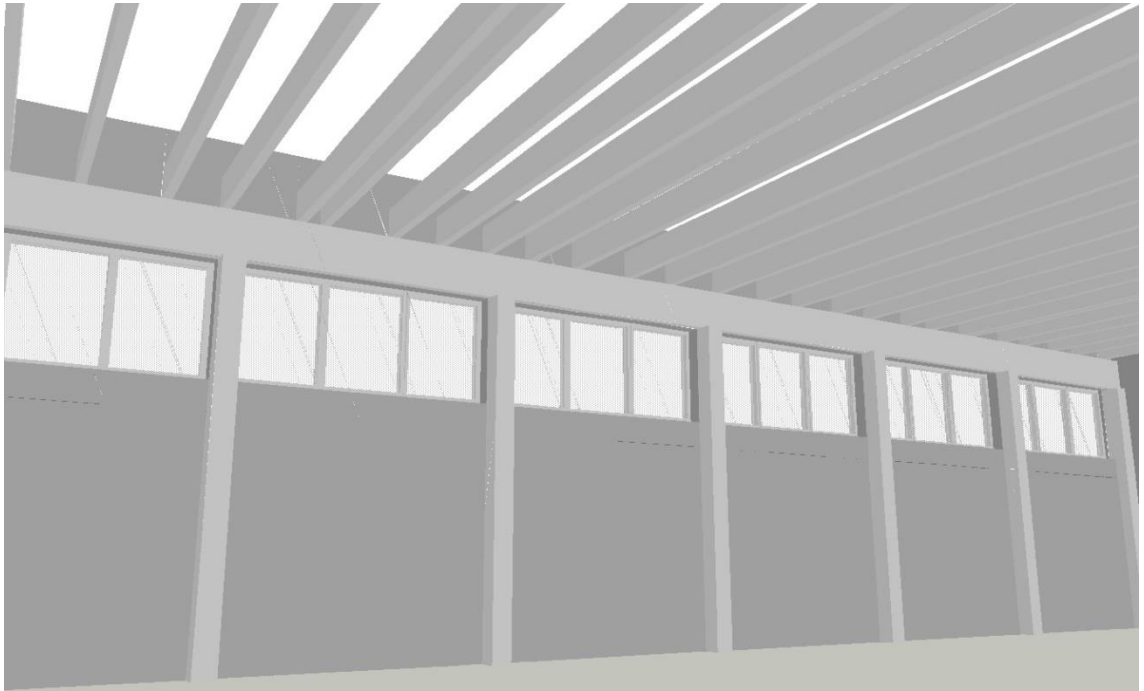
Ikkunoiden ja ovien mallinnus saatiin toteutettua tarkoilla mitoilla julkisivukuvista hyödyntäen AutoCAD ohjelmaa mitoittamisessa. Julkisivukuvat olisi voinut viedä myös ArchiCAD:iin pohjatiedoksi, jolloin mitat olisi voinut hyödyntää siellä. AutoCAD ohjelma tuntui tässä tapauksessa helppokäyttöisemmältä ohjelmalta kyseiseen työvaiheeseen.

Ikkunoiden mallintamisen jälkeen piirrettiin ovien paikat ulko- ja väliseiniin. Näiden korkeudet täytyi tarkistaa varsinaisesta pistepilvestä. Seinistä olisi voinut tehdä julkisivujen tapaan kuvan, josta mitat oli voinut ottaa. Tämän on kuitenkin melko työläs toimenpide, koska ovien mitat pystyttiin riittävän tarkasti mittamaan myös pistepilvestä. Varsinaisesta pohjakuvasta (Kuva 34) saatiin luotua selkeä kokonaisuus ja näillä menetelmillä mallintaminen oli suhteellisen helppoa.



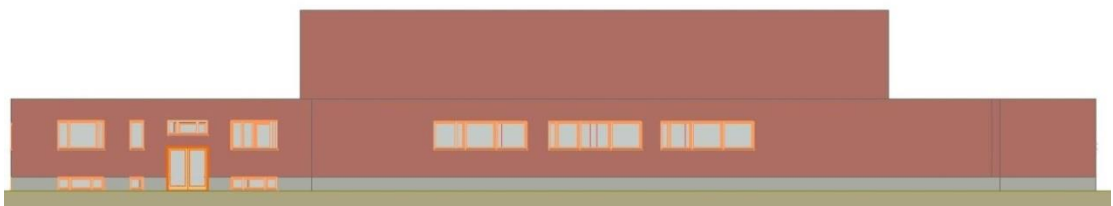
KUVA 34. Pistepilvestä luotu pohjakuva ArchiCAD ohjelmalla

Liikuntahallin puolella rakenteet on tehty pilari-palkki menetelmällä. Palkkien mallintaminen oli hieman haasteellisempaa, sillä osa kattorakenteista hieman peittää palkkeja. Tässä tapauksessa oli hyödyllistä tehdä leikkauskuva pistepilvestä, jolloin saatiin mitattua helposti palkkijako. Tämän jälkeen palkit pystyttiin mallintamaan oikeaan sijaantiinsa (Kuva 35).



KUVA 35. Palkkien ja pilarien sijoittaminen

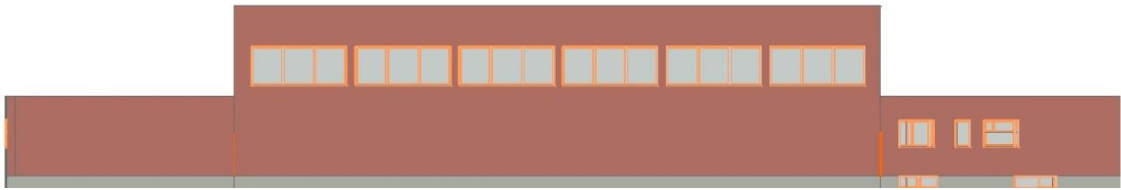
Vaikka kohde joudutaankin mallintamaan uudestaan pistepilven tietojen mukaan, on inventointimalli huomattavasti helppokäyttöisempi. Pohjakuvasta saa kattavaa mittatietoa kohteesta. Myös julkisivukuvista (Kuvat 36-39) saa tarvittavaa mittatietoa helpommin kuin pistepilvestä.



KUVA 36. Julkisivu etelään



KUVA 37. Julkisivu länteen

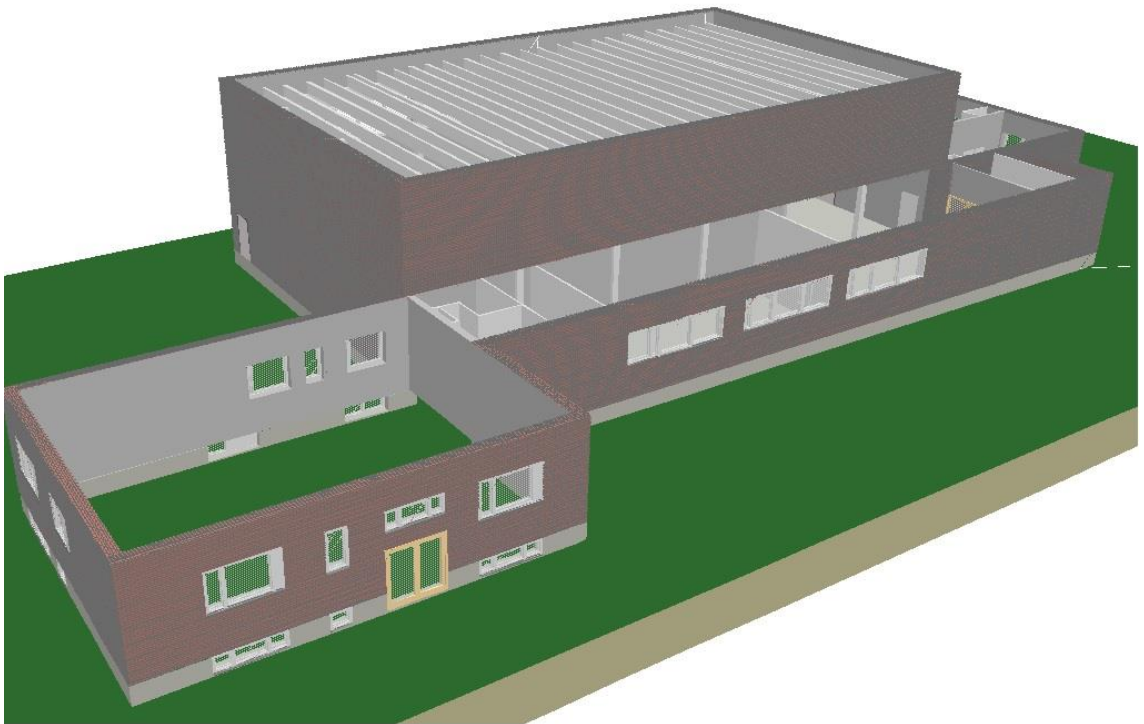
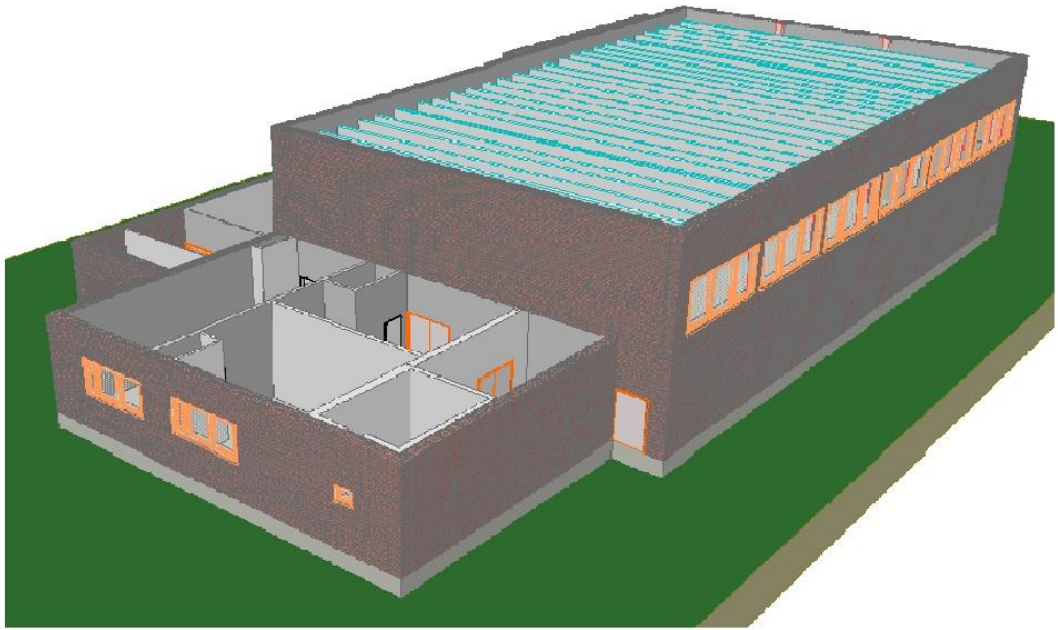


KUVA 38. Julkisivu pohjoiseen



KUVA 39. Julkisivu itään

Kuten mainittu, kuvista saa helposti tarvittavaa perusmittatietoa kohteesta suhteellisen pienellä vaivalla. Luonnollisesti mallintamatta jää paljon osuuksia, verrattuna pistepilven sisältämään tietomäärään ja toisaalta mallinnustakin voidaan tehdä paljon eri tarkkuuksilla ja aikaa voidaan kuluttaa prosessiin huomattavasti enemmän. Huomattavaa on kuitenkin, että inventointimallin saa tällä menetelmällä toteutettua melko nopeasti sekä tarkkuus on kohtuullinen. Tarkkuuteen vaikuttaa toki mallintajan tietotaito, kokemus sekä mallintamiseen käytettävä aika. Virhettä syntyy uudelleenmallintamisessa lisää, mutta toisaalta suoraan pistepilvestä otetut mittatiedot voivat myös vaihdella, riippuen mittaajasta. 3D-visualisointi kohteesta on esitetty kuvassa 40.



KUVA 40. 3D-visualisointi testikohteesta

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia pistepilven hyödyntämismahdollisuuksia tietomallinnuksessa. Tarkoituksena oli löytää järkevä menetelmä nykyisillä ohjelmilla toteuttaa inventointimalli testikohteesta. Pistepilven eri käsittelyohjelmia sekä ongelmia pyrittiin käymään läpi mahdollisimman tarkasti, jotta vastaavat projektit onnistuisivat jatkossa helpommin.

Laserkeilaus on menetelmänä lopulta melko yksinkertainen, mutta siihen suunnitellut ohjelmat ovat vielä hieman epäkäytännöllisiä. Eri formaattimuodot, suuret tiedostokoot sekä useat eri ohjelmien tarjoajat eivät toimi välttämättä yhteen toivottavalla tavalla. Todennäköisesti tulevaisuudessa ohjelmien kehittyessä pistepilven hyötykäyttö tietomallinnuksessa helpottuu. Kun ongelmat tiedostojen formaattien suhteen ratkaistaan ja sovitaan esimerkiksi standardiformaatteja laserkeilaukseen, laserkeilauksella tuotetut inventointimallit tulevat todennäköisesti yleistymään merkittävästi.

6.1 Ohjelmistot ja niiden kehittäminen

Tietomallinnuksen onnistumiseen vaikuttavat tekijät todettiin opinnäytetyötä tehdessä jo hyvin varhaisessa vaiheessa. Ongelmana ovat nykyään suuret tiedostokoot, joiden käsittely on hankalaa ja hidasta. Kun menetelmiä eri ohjelmilla testattiin, aikaa kului paljon erinäisiin konvertointeihin yms. tiedostokokojen ollessa isoja. Siksi pyrittiinkin tutki-
maan järkevin reitti toteuttaa tietomalli nykyisillä ohjelmilla, jotta aikaa säästyisi turhan työn tekemiseltä.

Nykyään ohjelmia laserkeilausaineiston käsittelyyn on tarjolla useita ja eri ohjelmien opetteleminen vie aikaa. Tässä työssä pyrittiin löytämään helppokäyttöisimmät ohjelmat sekä näille mahdollisimman selkeät ohjeistukset tietomallin luomiseen ja siinä onnistuttiinkin hyvin. Toki ohjelmia tarvitaan vielä suhteellisen monia koko projektin varrella, mutta tulevaisuudessa todennäköisesti ohjelmat kehittyvät, jolloin niillä on funktioita toteuttaa enemmän työvaiheita.

Yksi isoimmista ongelmista on laserkeilausaineiston epämääräisyys, koska eri valmistajat tuottavat nykyään eri formaatteja, joita taas käsitellään eri ohjelmissa. Tämä aiheut-

taa sen, että pelkästään valmistajan formaatti määrää alkuvaiheen ohjelmat. Tulevaisuudessa onkin tarkoituksena saada yhteiset formaatit laserkeilaukseen, jolloin projektien tekeminen helpottuu. Esimerkiksi laserkeilausaineiston vieminen suoraan CAD-ohjelmistoon helpottaisi inventointimallinnusta huomattavasti.

6.2 Tietomallinnus pistepilveen perustuen

Kohteen tietomallinnus onnistui lopulta hyvin ja menetelmien löydyttyä suhteellisen nopeasti. Menetelmien ja eri ohjelmien opetteleminen vei suurimman osan työhön käytetystä ajasta, mutta kun löydettiin selkeät tavat toteuttaa tietomalli, se onnistui lopulta melko pienellä vaivalla. Laadittu ohjeistus on suhteellisen kattava ja yksi mahdollinen menetelmä toteuttaa tietomalli pistepilven pohjalta.

Vaikka kohde joudutaan pistepilven pohjalta uudelleen mallintamaan ja tietoa jää melko paljon pois verrattuna pistepilveen, on tämä silti helppokäyttöinen menetelmä toteuttaa tietomalli. Hyödyllistä olisi päästä testaamaan kyseisiä menetelmiä myös monimuotoisemmissa ja hieman haasteellisemmissä rakennuksissa.

6.3 Loppupäätelmä

Lopputuloksena voidaan todeta tietomallinnuksen toimivan kyseisillä menetelmillä hyvin. Mallinnusta tulisi testata toki useammalla eri kohteella, mutta ainakin perusperiaatteenä kyseiset menetelmät toimivat nykyisillä ohjelmilla tyydyttävästi. Mallintaminen voidaan näillä tiedoilla suorittaa suhteellisen tarkasti sekä nopeasti.

Tulevaisuudessa kyseinen menetelmä jäänee kuitenkin vanhaksi melko nopeasti, sillä ohjelmat kehittyvät nyt nopeaa vauhtia. Ohjelmiin pyritään löytämään yhteiset tiedostomuodot ja mallintamiseen selkeämmät säännöt. Kun tietomallinnus pistepilven pohjalta saadaan helppokäyttöisempään muotoon, tulee laserkeilauksella tuotetut tietomallit varmasti yleistymään entistä enemmän.

LÄHTEET

Cronvall, T., Kråknäs, P. & Turkka, T. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2012. Luettu 12.2.2015.

Heiska, N. 2009. Universaaliskanneria etsimässä, eli miten valita maalaserkeilain. Maankäyttö 1/2009, 30-35.

Holopainen, M., Hyypä, J., Vastaranta, M. ja Hyypä, H. 2011. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. Luettu 3.2.2015, Verkkojulkaisu: http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Holopainen_et_al.pdf

Hyypä, H., Ahlavuo, M. & Kukko, A. 2009. Lähilaserkeilauksella kohde kolmiulotteiseksi. Maanmittauslaitos. Positio 1/2009, 18-21.

Kari, V. 2011. Laserkeilaus ja pistepilven käsittely ydinvoimarakentamisessa. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

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

Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Forogrammetrian erikoistyö. Luettu 3.2.2015. Verkkojulkaisu: http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/Antero_Kukko/Laserkeilaimen_valinta_lahifotogrammetrisiin_mittauksiin.pdf

Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Nilomark Oy. Luettu 26.01.2015. <https://docs.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowlN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUtNTQzMDIwZTI3NDVm/edit?hl=en&pli=1>

Laserkeilausaineisto, Maanmittauslaitos.

<http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laserkeilausaineisto>

Mitä on BIM. Tekla. <http://www.tekla.com/fi/tietoa-teklasta/building-construction/mita-bim>

Rajala, M. Laserkeilauksen ja rakennuksen inventointimalli. Rakennustieto. Luettu 26.01.2015. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090701.pdf>

Standardit. BuildingSMART. <http://www.buildingsmart.fi/5>

Tietomallinnus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Luettu 23.2.2015. <http://www.ril.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html>

YTV 2012. Osa 1 Yleinen osuus. COBIM 2012. Luettu 24.2.2015 http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf

YTV 2012. Osa 2 Lähtötilanteen mallinnus. COBIM 2012. Luettu 24.2.2015. http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_2_lahtotilanne.pdf