
RAKENNUSTEN 3D-MITTAUS JA PISTEPILVEN PROSESSOINTI JATKOSUUNNITTELUA VARTEN

Aki Liimatainen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Aki Liimatainen			
Työn nimi Rakennusten 3D-mittaus ja pistepilven prosessointi jatkosuunnittelua varten			
Päiväys	10.12.2010	Sivumäärä	55
Ohjaaja Lehtori Ville Kuusela			
Yhteistyökumppanit Savonia-ammattikorkeakoulu (TIRTA-hanke), Sillman Digital Oy			
Tiivistelmä			
<p>Korjausrakennushankkeiden lähtökohtana käytetään yhä enemmän tietomallipohjaista suunnittelua. Olemassa olevan rakennuksen tietomallin laatimiseksi riittäväällä tarkkuudella on kohteesta oltava saatavissa ajantasaista mittatietoa. Nykyaikaiset 3D-mittausmenetelmät mahdollistavat rakennuksen tarkan inventointimittauksen nopeasti ja kattavasti. Mittauksen tuloksena saadaan tietokoneelle mittapisteiden joukko, jota kutsutaan pistepilveksi. Pistepilviaineiston perusteella rakennuksesta on mahdollista laatia 2D-piirustuksia tai kolmiulotteisia malleja. Ongelmallista on kuitenkin se, kuinka pistepilven käsittelyyn erityisesti kehitetyillä ohjelmilla tuotetut mallit tai pistepilven mittatiedot ylipäätään saadaan arkkitehtisuunnittelijan käyttöön korjausrakennushankkeen lähtötietoina.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli käsitellä kahden eri 3D-mittalaitteen (Trimble VX Spatial Station skannaava robottitakymetri ja Riegl VZ-400 laserkeilain) tuottamia pistepilviä. Tavoitteena oli mittatietojen siirtäminen pistepilvestä jatkosuunnittelun käyttöön. Pistepilviä käsiteltiin mittalaitteiden valmistajien omilla pistepilvenkäsittelyohjelmilla Trimblen RealWorksilla ja Rieglin RiSCAN PRO:lla sekä AutoCADin päällä toimivalla Kubit PointCloudilla. Pistepilvistä jatkojalostettiin materiaalia DWG- ja IFC-formaatteihin jatkosuunnittelun käytettäväksi CAD-ohjelmissa, Autodeskin Revit Architecturessa ja Graphisoftin ArchiCADissa.</p> <p>Opinnäytetyön kokeilujen perusteella voidaan sanoa, että käytettyjen mittalaitteiden tuottamien pistepilvien sisältämät mittatiedot saadaan jatkosuunnittelijan hyödynnettäväksi ja käytettäväksi testatuilla pistepilvenkäsittelyohjelmilla kolmella tavalla: Pistepilvenä, 2D-geometriana tai 3D-geometriana.</p>			
Avainsanat Korjausrakentaminen, laserkeilaus, pistepilvenkäsittely			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author Aki Liimatainen			
Title of Thesis 3D Measurements of Buildings and Postprocessing of Point Cloud for Use in Further Planning			
Date	10 December 2010	Pages	55
Supervisor Mr Ville Kuusela Lecturer			
Partners Savonia University of Applied Sciences (TIRTA-project), Sillman Digital Oy			
<p>Abstract</p> <p>BIM-based (Building Information Modeling) design is increasingly used as a basis of renovation projects. To create a BIM of an existing building with sufficient accuracy there has to be updated dimensional data available. Modern applications of the 3D measuring technology allow accurate measuring of the existing buildings comprehensively and fast. As a result of the measurement is a set of measured 3D coordinates, which is called point cloud. On the basis of point cloud it is possible to create 2D drawings and 3D models. The problem is how these models which are created using software that is specially developed for postprocessing of point clouds or the dimensional data of point cloud in general can be used by architectural designer as a output data in the renovation project.</p> <p>The purpose of this thesis was to postprocess point clouds produced by two different measuring devices (Trimble VX Spatial Station and Riegl VZ-400 laser scanner). The aim was to transfer the dimensional data of the point clouds for the use of further planning. The Point clouds were postprocessed using the measuring device manufacturers own point cloud software (Trimble RealWorks and RiSCAN PRO) and Kubit PointCloud which is software for working with a laser scan data within the AutoCAD environment. The Point clouds were postprocessed to DWG and IFC material for the usage of the further planning in CAD software, Autodesk Revit Architecture and Graphisoft ArchiCAD.</p> <p>The experiments of the thesis showed that the dimensional data of the point clouds produced by the used measuring devices can be transferred for the use of further planning by postprocessing the point clouds with tested software as three ways: point cloud, 2D geometry or 3D geometry.</p>			
Keywords Renovation, laser scanning, point cloud processing			
Public			

SISÄLTÖ

1. JOHDANTO.....	7
2. TIETOMALLIT JA KORJAUSRAKENTAMINEN	9
2.1 Rakennuksen tietomallintaminen	9
2.2 Inventointimalli	10
2.3 Tietomallien tiedonsiirto.....	12
3. RAKENNETUN YMPÄRISTÖN NYKYAIKAISET MITTAUSMENETELMÄT	13
3.1 Käsilaseretäisyysmittarit	13
3.2 Takymetrit.....	14
3.3 Fotogrammetria	15
3.4 3D-kuvantaminen	17
3.4.1 Mitä 3D-kuvantaminen on?	17
3.4.2 3D-kuvantaminen vs. vaihtoehtoiset mittausmenetelmät	21
3.4.3 3D-kuvantamisen hyödyt.....	22
4. PISTEPILVEN JÄLKIKÄSITTELY JATKOSUUNNITTELUA VARTEN	23
4.1 Pistepilvenkäsittelyohjelmat	23
4.2 Pistepilven sisältämän mittatiedon toimittaminen jatkosuunnittelijalle	24
5. ESIMERKKIKOHTTEEN 3D-MITTAUS JA PISTEPILVIEN KÄSITTELY	26
5.1 Käytetyt mittajärjestelmät.....	26
5.2 Käytetyt ohjelmistot	26
5.3 Tuotetut pistepilvet.....	27
5.4 Pistepilven jatkojalostaminen.....	29
5.4.1 Trimble VX Spatial Station robottitakymetriajärjestelmällä tuotetun pistepilven jatkojalostaminen.	29
5.4.1.1 Trimblen pistepilvestä pintamalliksi.....	29
5.4.1.2 Trimblen pistepilvestä tilamalliksi	33
5.4.1.3 Trimblen pistepilvestä tietomalliksi	36
5.4.1.4 Trimblen pistepilvestä 2D-piirustuksiksi	38

5.4.1.5 Esikäsitelty pistepilvi ja valokuvat + RealWorks Viewer	<u>41</u>
5.4.2 Riegl VZ-400 maalaserkeilaimella tuotetun pistepilven jatkojalostaminen ..	<u>41</u>
5.4.2.1 Rieglin pistepilvestä tilamalliksi	<u>42</u>
5.4.2.2 Rieglin pistepilvestä tietomalliksi	<u>43</u>
5.4.2.3 Rieglin pistepilvestä 2D-piirustuksiksi.	<u>47</u>
5.4.2.4 Rekisteröity ja esikäsitelty pistepilvi + RiSCAN PRO Viewer	<u>49</u>
6. TULOSTEN ANALYSOINTI	<u>50</u>
7. YHTEENVETO JA POHDINTA.....	<u>54</u>
LÄHTEET.....	<u>55</u>

1. JOHDANTO

Rakennusala on siirtymässä suunnittelussa ja rakentamisessa tietomallien käyttöön. Pilottihankkeiden hyvien tulosten ansiosta on alettu ymmärtää tietomallien hyödyt ja mahdollisuudet paremmin. Myös korjausrakennushankkeiden lähtökohtana käytetään enenevässä määrin tietomallipohjaista suunnittelua. Korjausrakentamisessa olemassa olevat rakenteet ja rakennusosat muodostavat rajoitteita suunnittelulle. Tällöin lähtötietojen merkitys korostuu ja suunnittelun pohjaksi on erityisen tärkeää saada tarkkaa mittatietoa kohteesta jo ennen varsinaisen suunnittelun aloittamista. Tietomallipohjaisessa korjausrakennushankkeessa korjattavasta kohteesta laaditaan ennen korjaussuunnitelmia lähtötietomalli, jota myös inventointimalliksi kutsutaan. Tämän olemassa olevan rakennuksen tietomallin laatimiseksi riittäväällä tarkkuudella on kohteesta oltava saatavilla ajantasaiset mittapiirustukset tai kolmiulotteista mittatietoa sen geometriasta.

Tässä opinnäytetyön raportissa käsitellään nykyaikaisia 3D-mittausvälineitä ja -tekniikoita, ja perehdytään niistä tarkemmin 3D-kuvantamiseen. 3D-kuvantamisen sovellus, laserkeilaus, on nopeasti kehittyvä mittaustekniikka, joka mahdollistaa tarkkojen 3D-mittatietojen määrittämisen nopeasti ja kattavasti. Rakennusten inventointimittauksissa nopeasti yleistyvällä laserkeilauksella voidaan jo yhdestä asemapistestä mitata ympäristöstä kymmeniä miljoonia mittapisteitä. Tätä mittapisteiden joukkoa kutsutaan pistepilveksi. Pistepilviaineiston perusteella rakennuksesta on mahdollista laatia 2D-piirustuksia tai kolmiulotteisia malleja. Ongelmallista on kuitenkin se, kuinka pistepilven käsittelyyn erityisesti kehitetyillä ohjelmilla tuotetut mallit tai pistepilven mittatiedot ylipäättään saadaan arkkitehdin käyttöön korjausrakennushankkeen lähtötietoina. Uudenlainen toimintatapa tuo siis mukanaan uudenlaisia haasteita. Miljoonien pisteiden pistepilviä ei voida – ainakaan toistaiseksi – tuoda sellaisenaan Suomessa yleisimmin käytössä oleviin rakennuksen tietomallinnusohjelmiin, Autodeskin Revit Architectureen tai Graphisoftin ArchiCADiin.

Opinnäytetyössä jatkojalostetaan esimerkkitilaksi valitun Kuopion kaupunginteatterin aulasta kahdella eri mittalaitteella tuotettua pistepilviaineistoa. Tavoitteena on luoda pistepilvistä kolmiulotteiset mallit kuvitteellista jatkosuunnittelua varten tai muutoin saattaa mittatiedot jatkosuunnittelun käyttöön. Saatuja tuloksia analysoidaan ja verrataan keskenään. Opinnäytetyön aiheen antajina ja yhteistyökumppaneina toimii Savonia-ammattikorkeakoulu ja kiinteistöjen mittaamiseen ja dokumentointiin erikoistunut

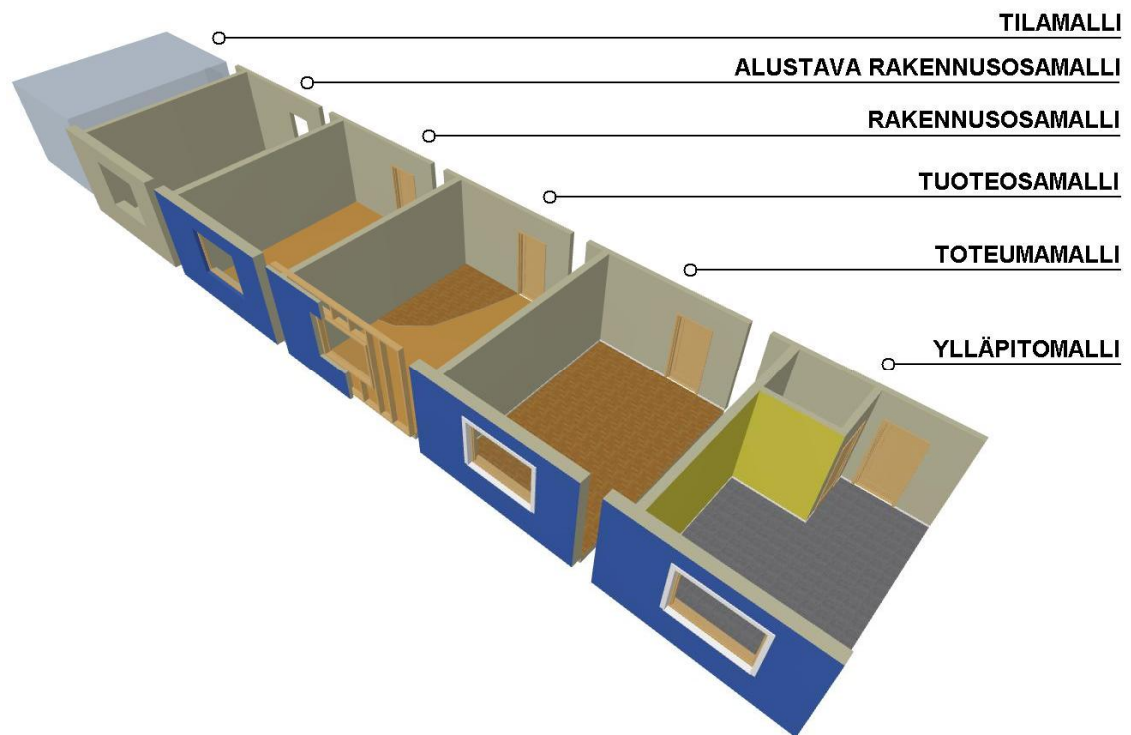
Sillman Digital Oy. Molempien yhteistyökumppaneiden taholta on työn tutkimusosiota varten saatu käsiteltäväksi pistepilviaineistoa. Pistepilvet on tuotettu Trimblen VX Spatial Station skannaavalla robottitakymetrillä ja Rieglin VZ-400 laserkeilaimella. Työssä käytetään mittalaitteiden valmistajien omia pistepilvenkäsittelyohjelmia, Trimblen RealWorksia ja Rieglin RiSCAN PRO:ta sekä AutoCADin päälle asennettavaa Kubit PointCloudia. Työ liittyy Savonia-ammattikorkeakoulun koordinoimaan TIRTA-projektiin (Tietomalli rakentamisessa ja talotekniikassa), jonka tarkoituksena on tietomallin-
nusprosessin monipuolinen tutkiminen ja kehittäminen.

Tämän raportin toisessa luvussa käsitellään lyhyesti ja yleisesti korjausrakentamista ja rakennuksen tietomallia. Raportin kolmannessa luvussa esitellään nykyaikaisia rakennuksen inventointimittaukseen soveltuvia 3D-mittausvälineitä ja -tekniikoita. Neljännessä luvussa pohditaan pistepilven jatkokäsittelymahdollisuuksia. Viidennessä luvussa käsitellään esimerkikohteesta tuotettujen pistepilvien prosessointia aina mittalaitteen omasta pistepilvenkäsittelyohjelmasta arkkitehtisuunnitteluohjelmiin. Kuudes luku koostuu tulosten analysoinnista ja seitsemäs luku työn yhteenvedosta ja pohdinnasta.

2. TIETOMALLIT JA KORJAUSRAKENTAMINEN

2.1 Rakennuksen tietomallintaminen

Rakennuksen tietomallilla tarkoitetaan rakentamisen tiedonhallinnan viitekehystä ja toimintamallia, jossa kaikkien rakennushankkeen tietojen, rakennuksen suunnitelmien, käytännön toteutuksen sekä ylläpidon aikaisten tietojen kokonaisvaltainen mallintaminen, käsittely ja hallinta on toteutettu tieto- ja informaatiotekniikan avulla. (Freese, Penttilä, Rajala 2007, 10.) Kuvassa 2.1 on esitetty yleisesti tunnetut rakennuksen tieto- ja prosessimallintamisen vaiheet.



Kuva 2.1. Yleisesti tunnetut vaiheet tuote-/prosessimallintamisessa (Vakkilainen 2009, 70).

Rakennuksen tietomalli toimii rakennuksen virtuaalimallina, jonka avulla suunnitelmien toimivuus voidaan analysoida erilaisina vaihtoehtoina. Tietomallipohjaisessa rakennushankkeessa rakennuksen toteutusprosessi on suunniteltu ja simuloitu ennen kuin rakentamista on edes aloitettu. (Freese ym. 2007, 11.)

Rakennuksen tietomallista voidaan tulostaa tarvittavia dokumentteja, kuten piirustuksia ja luetteloita. Dokumentit ovat keskenään ristiriidattomia, koska ne tuotetaan yhtenäisestä tietomallista. Eräs keskeisimpiä tietomallipohjaisen rakennushankkeen hyötyjä on myös se, että kaikki rakennuksen elinkaaren aikana tarvittava tieto löytyy tietomallista yhdestä paikasta (ideaalinen tietomallin käyttö). Tiedon on myös tarkoitus olla helposti ja ohjelmistoriippumattomasti saatavissa. (Freese ym. 2007, 11.)

Korjausrakennushankkeen ja uudisrakennushankkeen näkyvimpänä eroavaisuutena voidaan pitää sitä, että korjausrakennushankkeessa rakennuspaikkana on jo olemassa oleva rakennus. Korjattavasta rakennuksesta on tehtävä kattavia selvityksiä ja mittauksia mm. sen kunnosta ja muista aikaisemman käytön aikana tapahtuneista asioista, joilla on merkitystä hankkeen suunnittelussa, käytännön toteutuksessa ja ylläpidossa. (Vakkilainen 2009, 53.) Tietomallien käyttöä voidaan soveltaa korjausrakentamisessa uudisrakentamisen tapaan, sillä tietomallin elinkaari on parhaimmillaan sama kuin rakennuksen elinkaari, johon korjaustoimenpiteet luonnollisesti kuuluvat. Tietomallien avulla voidaan esimerkiksi suunnitella ja vertailla erilaisia energiaa säästäviä korjausratkaisuja.

Tietomallintamisen ja korjausrakentamisen suhde on ollut riippuvainen myös mittaamisen kehittymisestä. Mallinnus voidaan tehdä vanhojen piirustusten perusteella, mutta aina niitä ei ole käytettävissä tai niiden perusteella ei kannata mallinnusta edes aloittaa. Tällöin olemassa olevan rakennuksen tietomallintaminen perustuu muun olemassa olevan tiedon hankinnan lisäksi tarkemittauksiin.

2.2 Inventointimalli

Inventointimalli on yleisesti käytössä oleva nimitys olemassa olevan rakennuksen tietomallista, mutta myös nimitystä lähtötietomalli käytetään. Mallinnettavien lähtötietojen hankintatapa, tarkkuustaso, käsittely ja tehtäväjako ovat hankekohtaisesti sovittavia asioita. Rakennusten rakenteet ovat aina jossain määrin vinoja, kaltevia, kaarevia tai muuten geometrialtaan epämääräisiä. Pyrkiminen ”absoluuttiseen” mallinnustarkkuuteen ei siksi ole tarkoituksenmukaista. Inventointimallinnus voidaan tehdä joko työmaalla tehtävien mittausten perusteella, vanhojen kuvien perusteella tai näiden yhdistelmällä. (Se-naatti-kiinteistöt 2007, 5.)

Inventointimallin sisällöstä sovittaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota mallin jatkokäyttöön. Rakennuksen lähtötilannetta mallinnettaessa rajoitetaan tarkastelemaan rakennusosia, jotka ovat kohteessa nähtävillä. Senaatti-kiinteistöt on listannut tietomalliohjeessaan arkkitehtisuunnittelun inventointimallia varten kerättäviä ja dokumentoitavia asioita seuraavasti: (Senaatti-kiinteistöt 2007, 6-7.)

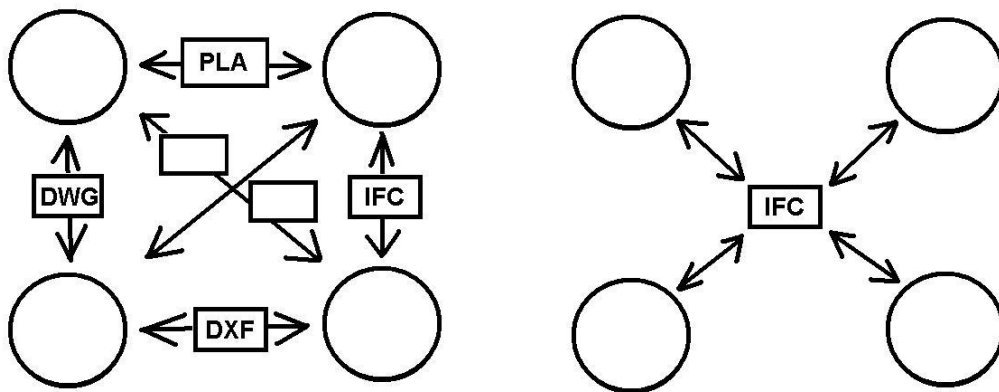
- **Tilat.** *Tilat on mallinnettava tilaobjekteina ja niihin täytyy liittää yksilöllinen tilatunnus, tilan nykyinen nimi ja tilan pinta-ala inventointimallista laskettuna. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mittauksen suorittajan tulee kirjata myös tilojen nykyinen käyttö, koska näitä tietoja ei voida saada automaattisesti mittausdatasta. Lähtötilanteen mallintajan tulee tiloja mallintaessaan nimetä ne projektissa sovitulla tavalla siten, että tietojen alkuperä on yksiselitteinen.*
- **Rakennusosan tyyppi.** *Kaikista rakennusosista tulee yksiselitteisesti ilmetä mikä tyyppisestä rakennusosasta on kyse. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rakennusosien mallintajan on käytettävä asianmukaista, kyseisen rakennusosan tekemiseen tarkoitettua työkalua. Lisäksi seinistä tulee ilmetä, ovatko ne kantavia vai kevyitä rakenteita. Mikäli tyyppistä ei ole varmaa tietoa, se voidaan arvioida. Tällöin malliin on kuitenkin selvästi merkittävä, että kyseessä on arvio esimerkiksi sopivalla nimeämiskäytännöllä, joka dokumentoidaan tietomalliosuudessa.*
- **Kantavat rakenteet.** *Tietomalliin täytyy sisällyttää pilarit, palkit, laatat, seinät sovitulla tarkkuudella.*
- **Kevyet väliseinät** *mallinnetaan vain, jos se on kohteen tai purku-urakan suunnittelun tai määrälaskennan kannalta tarpeellista.*
- **Ikkunat ja ovet** *mallinnetaan sovitulla tarkkuudella. Esimerkiksi ikkunoista mallinnetaan joko vain aukot, valoaukot tai myös karmit ja puitteet.*
- **Rakennusmateriaali.** *Inventointimallin rakennusosiin merkitään sovitussa laajuudessa käytetyt rakennusmateriaalit. Mikäli niistä ei ole varmuutta, toimitaan samoin kuin rakennusosan tyyppin kohdalla eli arviot ja faktat pitää pystyä tunnistamaan inventointimallista. Erikoistapauksissa rakennusmateriaaleja voidaan selvittää myös tutkimuksin.*

Pelkät mittatiedot (paikkatiedot) sisältävää inventointimallia voidaan kutsua myös mittatietomalliksi. Mittatietomallin tietosisältönä ovat yksinkertaisimmillaan vain rakennuksen oleellimmat paikkatiedot, eli rakennusosien oleellimmat nurkkapisteen. Mit-

tätietomalli voi siten olla esimerkiksi pistepilvi-, rautalanka-, pinta tai tilavuusmalli. Mittatietomallin avulla voidaan laatia tarvittavia tietomalleja.

2.3 Tietomallien tiedonsiirto

Rakennushankkeen eri suunnittelijaosapuolet käyttävät usein eri tietomallinnusohjelmistoja. Erilaiset ohjelmistot eivät yleensä ymmärrä toisten ohjelmien natiiviformaattia. Tähän tiedonsiirron ongelmaan on kehitetty ja edelleen kehitetään kansainvälistä oliopohjaista standardia, IFC-formaattia. Tavoitteena on ohjelmistoriippumaton, avoin tiedonsiirtoformaatti, joka voidaan tuottaa ja avata IFC-sertifioidulla ohjelmalla. Standardin avulla kaikki osapuolet voivat käyttää muiden tuottamaa tietoa suoraan omissa tietojärjestelmissään (kuva 2.2). (Karling 2008, 12.)



Kuva 2.2. Kuvassa vasemmalla puolella on nähtävissä tyypillinen tilanne rakennushankkeen osapuolten välisestä tiedonsiirrostä ja eri formaattien käyttämisestä. Oikealla puolella oleva tiedonsiirtokaavio havainnollistaa IFC-formaatin käyttämisen yksinkertaistavan vaikutuksen tiedonsiirrossa. (Freese ym. 2007, 13.)

3. RAKENNETUN YMPÄRISTÖN NYKYAIKAISET MITTAUSMENETELMÄT

Olemassa olevan rakennuksen korjaussuunnitelman tekemiseksi tarvitaan mittatietoja. Tarkat mittaukset vähentävät virheitä ja tarvetta tehdä työtä uudestaan. Rakennusten mittaamiseen on käytössä monia erilaisia mittatietoa tuottavia mittaustekniikoita. Tässä luvussa käsitellään rakennusten inventointimittauksissa käytettäviä nykyaikaisia mittauslaitteita ja -tekniikoita.

3.1 Käsilaseretäisyysmittarit

Käsilaseretäisyysmittarit ovat pieniä ja helppokäyttöisiä kädessä pidettäviä lasersäteen kulkuun perustuvia etäisyysmittareita (kuva 3.1). ”Käsilasereita” käytetään rakennusten inventoinnissa lähinnä sisätilojen mittauksissa. Niillä voidaan mitata esimerkiksi huoneen seinämittoja, huonekorkeuksia, aukkojen sijainteja ja mittoja sekä askelmien, pilareiden ja palkkien mittoja. Mitat luetaan mittalaitteesta ja kirjataan paperille tulostettuun tai esimerkiksi kannettavalla tietokoneella olevaan vanhaan rakennuksen pohjapiirustukseen. Uusimmista laitteista on myös mahdollista saada mittatulokset suoraan tietokoneelle ja suunnitteluovelluksiin, kuten AutoCADiin esimerkiksi DistToPlan-ohjelman avulla.

Käsilaseretäisyysmittareilla pystytään mittaamaan millimetrin tarkkoja pituus- ja korkeusmittoja jopa 100 metriin saakka. Mittaustarkkuuteen vaikuttaa laitteen ominaisuuksien lisäksi mittaajan taidot ja mittaolosuhteet. Esimerkiksi seinän pituutta mitattaessa mittari asetetaan yleensä seinää vasten. Mittarin takapinta on tasainen ja lasersäde lähtee kohtisuorassa laitteen takapintaa vasten. Jos seinäpinta on epätasainen, lähtee lasersäde siten vinosti ja aiheuttaa poikkeaman mittaustuloksen ja todellisen seinäpintojen välisen kohtisuoran etäisyyden välillä. Uusimpiin laitteisiin on kehitetty kaltevuussensorit estämään tämänkaltaisia virheitä. Mahdollisten seinien vinouksien selvittämiseksi, on mitattava kahdesta tai useammasta pisteestä seinälinjalta. Tälläkään tavalla ei saada selvyttä siitä, mikä tai mitkä tilan seinistä ovat vinossa ja minkä suhteen. Käsilaseretäisyysmittareiden suurin ongelma onkin se, ettei yksittäisiä mittaustuloksia voida sitoa luotettavasti toisiinsa.



Kuva 3.1. Leican käsilaseretäisyysmittareita.

3.2 Takymetrit

Takymetri (kuva 3.2) on mittauslaite, jossa yhdistyvät teodoliitin, vaaituskojeen ja etäisyysmittarin toiminnot. Teodoliitilla mitataan kulmia, vaaituskojeella korkeuseroja ja etäisyysmittarilla etäisyyksiä. Takymetrillä mitataan kartoitettavalle pisteelle vaaka- ja pystykulma sekä etäisyys kojeeseen nähden. Näiden perusteella takymetrin sisään rakennettu prosessori laskee pisteen koordinaatit.

Ensimmäinen koaksiaalinen takymetri integroidulla tallentimella tuli markkinoille vuonna 1978. Laite oli painava, kulutti paljon virtaa ja sisälsi hyvin vähän ominaisuuksia nykymittapuun mukaan. Nykyisin on tarjolla monenlaisia takymetrejä eri käyttötarkoituksiin. Laitevalmistajilla on mallivalikoimissaan erilaisia takymetrejä, jotka on tarkoitettu tiettyntyyppiseen mittaukseen, kuten esimerkiksi yksinkertaiseen rakennusmittaukseen tai vastaavasti suurta tarkkuutta vaativien teollisuusmittausten suorittamiseen. (Wikman 2004, 44.) Takymetrin kulmatarkkuus vaihtelee laitekohtaisesti 0,15-1 mgon

eli asteen tuhannesosiin ja etäisyyden mittatarkkuus $1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ tai $3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$ (Ojutkangas 2008, 11).

Takymetrillä tyypillisesti tehtäviä rakennuksen inventointimittauksia ovat mm. runko-verkon määrittäminen, rakennuksen nurkkapisteiden mittaaminen ja erilaisten korkojen kuten aukkojen ja lattiatasojen korkojen mittaaminen. Tavallisesti takymetrillä on mitattu yksi piste kerrallaan. Uudet skannaavat robottitakymetrit kykenevät mittaamaan pisteitä automaattisesti valitulta alueelta halutulla pistevälillä.



Kuva 3.2. Nikon NPL-632 takymetri.

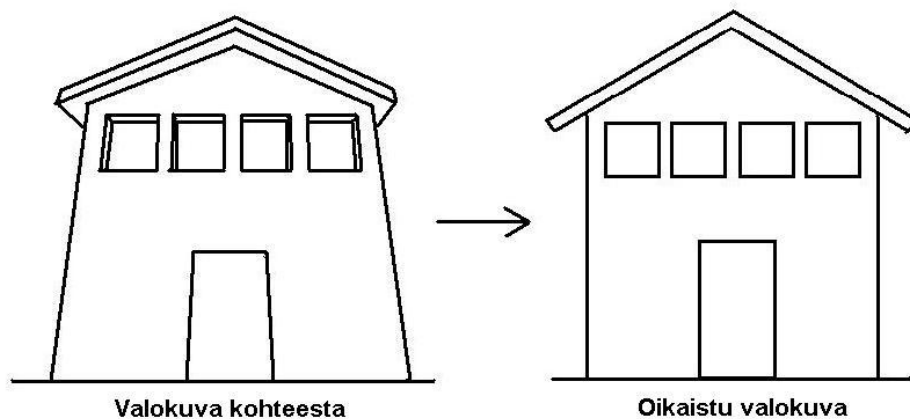
3.3 Fotogrammetria

Fotogrammetria on kohteen kolmiulotteista mittaamista kuvien avulla. Saksassa Fotogrammetriaa alettiin kehittää rakennusten julkisivujen dokumentointia varten 1800-luvun puolivälissä. Menetelmässä kaksiulotteisista valokuvista (yhdestä kuvasta, stereokuvaparista tai useasta kuvasta) mitataan kohteen x, y ja z -koordinaatit, joiden perusteella voidaan piirtää halutut elementit. Kuvaamiseen käytettyjen mittakameroiden optiikan ja filmin aiheuttamat vääristymät tunnettiin tarkasti. Stereopiirtolaitteita, joiden

avulla halutusta kuvaparista voitiin tehdä viivapiirros, käytettiin aina 1970-luvulle saakka. (Ratilainen 2009, 193–194.)

Tietokoneiden yleistyessä fotogrammetriassa tarvittavat monimutkaiset laskutoimitukset helpottuivat, ja siirryttiin ns. analyttiseen fotogrammetriaan. Digitaalisen fotogrammetrian kehitys alkoi 1990-luvulla, mutta vasta 2000-luvulla digitaalikameroiden, takymetrioiden ja käyttäjäystävällisten tietokoneohjelmien kehittyttyä ja halvennettua ala digitalisoitui todenteolla. (Ratilainen 2009, 194.)

Vaihtoehto käsin mittaamiselle ja varsinaiselle fotogrammetrialle on oikaistun valokuvan käyttö. Kuvassa 3.3 on nähtävissä periaatepiirros valokuvan oikaisusta. Valokuvassa kohteeseen kiinnitetään kontrollipisteitä, jotka mitataan takymetrillä. Kontrollipisteinä voivat toimia myös luonnolliset pisteet, kuten ikkunan tai ovien nurkkapistet. Kuva oikaistaan tasoon koordinaattipisteiden ja tietokoneohjelman avulla. Kun kuva on suoristettu, se voidaan viedä halutussa mittakaavassa CAD-ohjelmiin, jossa siitä voidaan työstää viivapiirros. Oikaisuun tarvitaan vähintään neljä koordinaattipistettä, mutta parempi tarkkuus saadaan käyttämällä useampia pisteitä. Menetelmällä voidaan saavuttaa ainakin ± 5 cm:n tarkkuus. Hyvään lopputulokseen pääsemiseksi kohde kannattaa kuvata mahdollisimman kohtisuorasti. Toiseksi kameran optiikan kuvaan aiheuttamat vääristymät pitää pystyä poistamaan oikaisuvaiheessa ja kolmanneksi tulee ymmärtää, että julkisivussa mahdollisesti ulompana tai sisempänä olevat yksityiskohdat tai muut pinnat aiheuttavat perspektiivivirhettä. Edellä mainitusta syystä kannattaa dokumentoida vain suoria julkisivuja. (Ratilainen 2009, 194.)



Kuva 3.3. Periaatepiirros valokuvan oikaisusta.

Ortokuvassa perspektiivivirheet on korjattu eli kaikki julkisivun muodot on asetettu mittakaavaan. Ortokuva tehdään digitaalisen pintamallin avulla. Pintamalli, jossa kohteen pinnan muodot on esitetty mittatarkasti, luodaan automaattisesti stereokuvista fotogrammetrisella tietokoneohjelmalla. Pintamallista projisoitu kaksiulotteinen ortokuva voidaan tulostaa paperille tai viedä viivapiirtoa varten CAD-ohjelmiin. Käytännössä ortokuva tehdään kuten oikaistu kuvakin, mutta ortokuvaa varten valokuvat on otettava esimerkiksi stereoparina. Tarkempaan lopputulokseen päästään ottamalla kohteesta mahdollisimman paljon kuvia eri kuvakulmista. Kalibrointikuvien avulla korjataan kameralin optiikan aiheuttamaa vääristymistä. Kohteesta otetut valokuvat liitetään toisiinsa tietokoneohjelmalla yhteisten pisteiden perusteella, ja niiden kesken luodaan sisäinen koordinaatisto. Koordinaatisto voidaan kiinnittää ulkoiseen koordinaatistoon, esimerkiksi takymetrimittauksin. (Ratilainen 2009. 194–195.) Esimerkkejä ohjelmista, joilla voidaan tuottaa ortokuvia, ovat mm. PhotoModeler ja PhoToPlan.

3.4 3D-kuvantaminen

Tämä luku käsittelee 3D-kuvantamista (3D imaging, 3D scanning) ja on kirjoitettu mukaillen USA:ssa toimivan General Services Administration (GSA) yhtiön dokumentin ”GSA BIM Guide For 3D Imaging” luonnosversion osia.

3.4.1 Mitä 3D-kuvantaminen on?

3D-kuvantamisella tarkoitetaan menetelmää, jolla voidaan mitata ja/tai kuvata 3D-kuvantamislaitteella rakennetun tai luonnonympäristön olemassa olevia olosuhteita. 3D-kuvantamislaitteilla voidaan mitata etäisyyttä ja suuntaa kohteeseen tai kiinnostuksen kohteena olevan alueen 3D-koordinaatteja (kuvat 3.4 ja 3.5). 3D-kuvantamislaitteilla voidaan suorittaa tyypillisesti tuhansia mittauksia sekunnissa. Esimerkkejä 3D-kuvantamislaitteista ovat laserkeilaimet (kuva 3.6), kolmioivat mittausjärjestelmät sekä muut optiset laitteet, jotka mittaavat etäisyyttä lähetetyn signaalin ja heijastuneen signaalin interferenssi-ilmiön perusteella. 3D-kuvantamislaitteen keräämä aineisto voi laitekohtaisesti sisältää koordinaattitietojen lisäksi myös heijastuneen signaalin intensiteetin ja jokaiseen koordinaattiin liittyvän väriarvon. Väriarvo saadaan mittalaitteeseen integroidulla tai ulkoisesti asetettavalla kameralla. (General Services Administration 2009, v.)



Kuva 3.4. Ylempi kuva on digitaalinen valokuva opinnäytetyön tutkimusosion esimerkkitilasta. Alemmassa kuvassa on nähtävissä väriarvoinen pistepilvi vastaavasta tilasta. Kuvat: © Sillman Digital Oy



Kuva 3.5. Lähemmäksi zoomattu pistepilvi kuvan 3.4 pistepilvestä. Pistepilven taustaväriksi on asetettu valkoinen, joten valkoiset pisteet ja alueet tarkoittavat tässä kuvassa sitä, ettei niiltä osin ole mittaustietoa tai mittapisteen väriarvo on lähellä valkoista. Kuva: © Sillman Digital Oy.

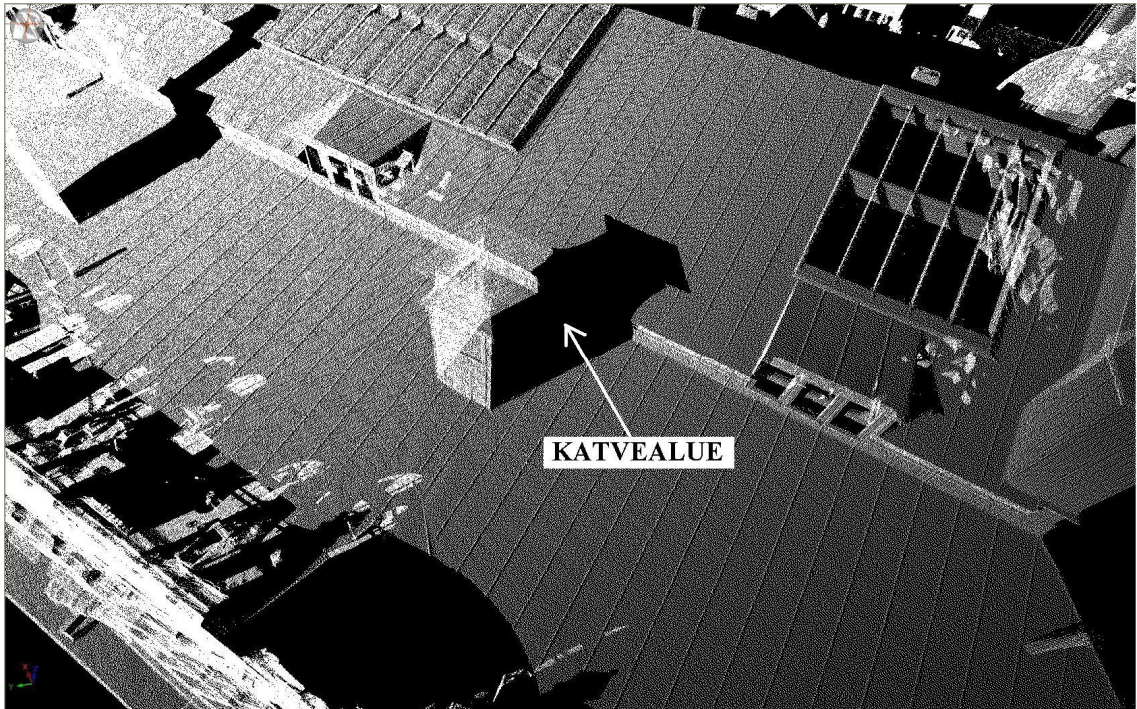


Kuva 3.6. Riegl VZ-400 laserkeilain.

Mittaukset 3D-kuvantamislaitteilla suoritetaan koskematta kohteeseen. Mitattavat pinnat eivät myöskään tarvitse mitään erityistä pinnoitetta, vaikkakin paljon heijastavat pinnat kuten peilit ja veden pinta ovat ongelmallisia mittauksissa. Suurimmat mittausetäisyydet vaihtelevat alle metrillä yli kahteen kilometriin. Laitteiden mittavirheet vaihtelevat puolestaan millimetrin osista senttimetreihin suurimpien virheiden liittyessä useimmiten pitkän mittausmatkan laitteisiin. (General Services Administration 2009, v.)

Vaikka 3D-kuvantamistekniikka on ollut käytettävissä 1970-luvulta lähtien, on se vasta kahdella viime vuosikymmenellä tullut yleisempään käyttöön. Nykyään 3D-kuvantamista käytetään monilla eri aloilla aina teollisuusmittauksista kaukokartoitukseen. 3D-kuvantamislaitteiden tuottaman mittatiedon avulla voidaan luoda 3D-malleja tai kartoittaa maastoja. Tekniikkaa käytetään myös mm. laadunvalvonnassa, miehittämättömien ajoneuvojen ohjauksessa, törmäyksen estossa, kohteen tunnistuksessa, oikeuslääketieteessä, arkeologiassa, onnettomuuksien valvonnassa, avaruustutkimuksessa ja metsänhoidossa. (General Services Administration 2009, vi-vii.)

Rakennuksiin liittyvät mittaukset suoritetaan yleensä pulssilasertekniikkaa tai vaiheeron mittaukseen perustuvaa tekniikkaa käyttävillä laitteilla. Tavallisesti pulssilasertekniikan avulla voidaan mitata suurempia etäisyyksiä (yli 1 km), kun taas vaiheeroon perustuvilla laitteilla mittausetäisyys on alle 100 metriä. Pulssilasersysteemien mittausnopeus on vaihe-erosysteemejä hitaampi. 3D-kuvantamislaitteen ja mitattavan kohteen välissä sijaitsevat esteet muodostavat ”varjoja” (katvealueita) mittausaineistoon. Katvealueelta mittausaineistoa ei siis ole saatavissa (kuva 3.7). Jos halutaan minimoida katvealueet mittausaineistossa, täytyy kohde yleensä mitata useasta eri suunnasta. Jokaisesta 3D-kuvantamislaitteen asemapistestä saadaan tuloksena pistepilvi, joka koostuu jopa kymmenistä miljoonista pisteistä. Mittausaineiston hankkimiseen tarvittavaan aikaan vaikuttaa mitattavan kohteen tai alueen koko, laitteen näkökentän laajuus, pistetiheys, mittauksen toivottu tarkkuus ja itse laitteen ominaisuudet. (General Services Administration 2009, ix-x.)



Kuva 3.7. Katvealueet ovat alueita, joista ei ole mittatietoa. Katvealueet näkyvät tässä kuvassa mustana. Kuva: © Sillman Digital Oy

Pistepilviä voidaan käyttää sellaisinaan tai niitä voidaan jälkikäsitellä 2D-piirustusten, 3D-mallien tai muiden lopputuotteiden aikaansaamiseksi. (General Services Administration 2009, xi.)

3.4.2 3D-kuvantaminen vs. vaihtoehtoiset mittausmenetelmät

3D-kuvantamistekniikka ei välttämättä ole paras mittausmenetelmä, jos työn kohde on geometrisesti yksinkertainen tai muutoin helposti saavutettavissa (mitattavissa). Toisaalta, vaikka vaihtoehtoinen mittausmenetelmä olisi edullisempi, 3D-kuvantaminen saattaa kuitenkin olla parempi vaihtoehto mittausaineiston monipuolisen käytettävyyden takia. (General Services Administration 2009, xi.)

3D-kuvantamistekniikan käyttäminen olemassa olevien olosuhteiden tallentamiseen saattaa tulla kysymykseen esimerkiksi, kun

- tarvitaan mitata yksityiskohtaisesti monimutkaisia geometrisiä muotoja tai täyteen ahdettuja paikkoja. Esimerkiksi, jos tarkoituksena on dokumentoida tehdasympäristöä siten, että mittausaineistosta on mahdollista erottaa kaikki putket ja laitteet, on edullisempaa käyttää 3D-kuvantamismenetelmiä kuin perinteisiä mittausmenetelmiä, joiden avulla mitataan käytännössä yksi piste kerrallaan.

- vaihtoehtoisten mittausmenetelmien käyttämisestä aiheutuisi turvallisuusriskejä. Esimerkiksi teiden tai myrkyllisten maaperien mittaukset.
- mitattava kohde on vaikeasti saavutettava tai ahdas. (General Services Administration 2009, xi.)

3.4.3 3D-kuvantamisen hyödyt

3D-kuvantamismenetelmän suurimpia hyötyjä on se, että sen avulla voidaan tallentaa kohteen nykytilanne täydellisemmin ja suuremmalla tarkkuudella perinteisiin mittausmenetelmiin verrattuna. Lisäksi etäisyyksiä voidaan mitata mihin tahansa pintoihin, eikä mitattavan kohteen tarvitse olla tehty erikoismateriaalista tai pinnan olla normaalia heijastavampi. 3D-kuvantaminen vähentää virheitä ja tarvetta tehdä työtä uudelleen, mikä luo joustomahdollisuuksia projektisuunnitelmien muuttuessa ja lyhentää projektin kestoa. 3D-kuvantaminen mahdollistaa myös 3D-visualisointeja ja tila-analyysyjä. (General Services Administration 2009, xi-xii.)

4. PISTEPILVEN JÄLKIKÄSITTELY JATKOSUUNNITTELUA VARTEN

4.1 Pistepilvenkäsittelyohjelmat

Pistepilvenkäsittelyohjelmia on markkinoilla useita. Jokaisen pistepilveä tuottavan mittalaitteen valmistajalla on oma käsittelyohjelmansa. Pistepilvenkäsittelyohjelmia ovat mm. CloudCUBE, EdgeWise, RiSCAN PRO, RealWorks, Leica Cyclone, Pointools, VRMesh, Point-Cab. Näiden lisäksi markkinoilla on paljon muitakin käsittelyohjelmia.

Useissa pistepilvenkäsittelyohjelmissä voidaan mallintaa ja tuottaa osin automaattisesti 3D-malleja pistepilvitietoon perustuen. Point-Cab -ohjelman mainostetaan olevan ensimmäinen ohjelma, jolla voidaan napin painalluksella muodostaa leikkauspiirustuksia pistepilvestä. Nämä piirustukset eivät ole DWG-formaatissa, mutta ne voidaan tuoda CAD-ohjelmaan taustalle referenssikuvina. Vaikka piirustukset saataisiinkin jossain ohjelmassa automaattisesti DWG-muotoon, eivät ne välttämättä olisi vielä sellaisenaan kovinkaan hyödyllisiä jatkosuunnittelijalle. Kaikki seinät kun olisivat tällöin vähän vinoja ja suorakulmaisiksi suunnitellut nurkat eivät olisi suorakulmaisia.

Useissa pistepilvenkäsittelyohjelmissä voidaan mm. muodostaa pinta kolmen lähimmän pisteen välille. Kun tämä toiminto suoritetaan suurelle pistepilvelle, on tuloksena 3D-mesh eli pintamalli. Lisäksi ohjelmissä voidaan tehdä mm. solidmalleja. Ongelma on kuitenkin se, miten nämä mallit saataisiin arkkitehtisuunnittelijan käyttöön sopivaan muotoon ja formaattiin korjausrakennushankkeen lähtökohtatietona. Pistepilvenkäsittelyohjelmistojen valmistajat ovat tiedostaneet kyseisen tarpeen ja markkinoivat ohjelmiinsa sen mukaisesti. Mittausta ja mallinnusta tarjoavat yritykset kertovat täyttäneensä aukon pistepilven ja suunnitteluohjelmistojen välillä. ”Laser Scan to Revit Models” -mainoslause, saa asian kuulostamaan helpolta ja ongelman ratkaistulta. On selvää, että mittatiedot pistepilvestä on siirrettävissä suunnitteluohjelmistoihin. Se ei kuitenkaan ole yksinkertaista eikä nopeaa, ainakaan vielä.

Näyttääkin siltä, etteivät ohjelmistovalmistajat ole vielä saaneet kehitettyä markkinoille niin hyvää pistepilvenkäsittelyohjelmaa, jotta voitaisiin aidosti puhua pistepilven helpposta jatkokäsittelystä nimenomaan arkkitehtisuunnittelijan tarpeita ajatellen. Ihanne-tilanteessa pistepilven voisi tuoda suoraan suunnitteluohjelmaan. Pistepilvestä voisi

mitata pisteiden välisiä etäisyyksiä. Pisteisiin voitaisiin tarttua. Niiden päälle voisi mallintaa. Pistepilveä voisi muokata suunnitteluohjelmassa, harventaa ja leikata osiin. Rakennusosia voisi mallintaa pistepilvitiedon perusteella automaattisesti. Pistepilven saisi näkyviin ja pois näkyvistä napin painalluksella. Vastaavasti myös mallin saisi pois näkyvistä napin painalluksella. Koko ajan olisi mahdollista verrata syntyvää mallia pistepilveen. Todellisuudessa suuria pistepilviä tukee eniten käytetyistä suunnitteluohjelmista vain AutoCAD 2011 ja Bentley. Tukeminen tässä tapauksessa tarkoittaa lähinnä sitä, että suuriakin pistepilviä voi kyllä tuoda näihin ohjelmiin, mutta pistepilvien muokkaamiseen tarvitaan muita ohjelmia. Lisäksi normaalissa toimistokäytössä olevien tietokoneiden suorituskyky ei riitä, kun kuvaruudulla pitäisi pystyä käsittelemään jopa kymmeniä miljoonia pisteitä.

4.2 Pistepilven sisältämän mittatiedon toimittaminen jatkosuunnittelijalle

Niin kuin millä tahansa mittaustavalla mitatun tiedon toimitusmuoto, myös laserkeilauksella tuotetun pistepilven mittatietojen toimitusmuoto, on riippuvainen asiakkaan tarpeista. Pistepilven sisältämän mittatiedon toimitusmuodot jatkosuunnittelijalle ovat kuitenkin käytännössä seuraavat:

- Pistepilvestä tuotetut 2D-piirrokset, kuten pohjapiirustukset ja leikkaukset
- Pistepilvestä tuotettu 3D-malli, esimerkiksi inventointimalli
- Raakapistepilvet tai rekisteröity ja esikäsitelty pistepilvi + katseluohjelma.

Kaikista korjattavista tai muun syyn takia inventointimitattavista rakennuksista ei tehdä tietomalleja. Näissä tapauksissa pistepilvitiedon perusteella laaditaan ajantasapiirustukset. Jos tietomallinnus ei ole tavoite, pistepilvestä muodostetun 3D-mallin voidaan ajatella olevan lähinnä rahan ja ajan haaskausta. Jos taas tietomallinnus on tavoitteena, tulisi muodostetun 3D-mallin palvella tietomallia, vaikkakin se voi toimia myös havainnollistamisen apuvälineenä. Koska 3D-mallintaminen on hidasta, ja kahteen kertaan mallintaminen loogisesti ajatellen vielä hitaampaa, tarkoittaa tämä käytännössä sitä, että pistepilven perusteella mallinnetun 3D-mallin tulisi itse asiassa jo olla rakennuksen tietomalli tai se pitäisi olla helposti muunnettavissa sellaiseksi.

Tarvittaessa jatkosuunnittelijalle voidaan toimittaa myös vain raakapistepilvi tai esikäsitelty pistepilvi ja sen mukana katseluohjelma, esimerkiksi RiSCAN PRO Viewer Rieglin laitteella keilatun pistepilven katseluun. Tässä ohjelmassa voidaan avata väriarvoinen pistepilvi. Kun pistepilvi on riittävän tiheä, kuvaruudulta katsellaan käytännössä 3D-valokuvaa, jossa voidaan liikkua vapaasti. Pistepilvestä voidaan halutessa mitata pisteiden välisiä etäisyyksiä ja pistepilveä voidaan myös leikata. Jatkosuunnittelijan kannalta tämä toimitusmuoto tarkoittaa käytännössä kahden ohjelman vuorottelevaa käyttämistä: mitataan toisessa ohjelmassa ja siirrytään mallintamaan toiseen ohjelmaan.

5. ESIMERKKIKOHTTEEN 3D-MITTAUS JA PISTEPILVIEN KÄSITTELY

Opinnäytetyössä jatkojalostettiin kahden eri mittalaitteen tuottamaa pistepilvimateriaalia. Tavoitteena oli mittatietojen siirtäminen jatkosuunnittelijan käyttöön tietomallipohjaisen korjausrakennushankkeen lähtökohtatietoina.

5.1 Käytetyt mittajärjestelmät

Savonia-ammattikorkeakoululla on käytössään Trimble VX Spatial Station robottitakyometri skannausominaisuudella. Laite yhdistää laserkeilauksen, digitaalisen kuvan ja takymetrimittauksen yhdeksi järjestelmäksi. Sen mittausnopeus, tyypillisesti n. viisi mittausta sekunnissa, on kuitenkin vain murto-osa laserkeilainten mittausnopeuksista, eikä sillä voida tuottaa väriarvollisia pistepilviä. Laitteen skannausominaisuuden kantamaksi on laitevalmistaja ilmoittanut 1 - 250 metriä ja skannattujen pisteiden minimiväliksi 10 millimetriä. Skannauksen keskihajonnaksi on ilmoitettu 3 millimetriä alle 150 metrin matkalla ja yhden 3D-mittapisteen tarkkuudeksi 10 millimetriä samaisella matkalla. (Trimble)

Sillman Digital Oy:llä käytössä olevan Riegl VZ-400 maalaserkeilaimen mittausnopeus on jopa 122 000 mittausta sekunnissa. VZ-400 mittaa vain 10 % heijastavaa materiaalia jopa 160 metrin etäisyydeltä ja 80 % heijastavaa materiaalia 500 metrin etäisyydeltä. Valmistajan testien mukaan paikanmittauksen kokonaistarkkuus on näillä etäisyyksillä 5 millimetriä. (Nordic Geo Center Oy) Laitteella voidaan tuottaa väriarvollista mittatietoa laitteeseen ulkoisesti asennettavan kameran avulla.

5.2 Käytetyt ohjelmistot

Trimblen oma pistepilvenkäsittelyohjelma on nimeltään RealWorks. Opinnäytetyötä varten saatiin Trimbleltä käyttöön täysversio kyseisestä ohjelmasta. RealWorksin avulla voidaan rekisteröidä, visualisoida, tutkia, mallintaa ja muutoin käsitellä pistepilvitietoa. RealWorksissa avatut pistepilvet, tuotetut viivat, pinnat ja 3D-kappaleet voidaan tallentaa DWG-muotoon. Muita mahdollisia tallennusformaatteja ovat: DXF, DGN (Bentley

MicroStation), ASC (ASCII), OBJ (Alias/Wavefront), PTC (Kubit PointCloud), KMZ (Google Earth), XML, BSF ja PDMSMAC.

Rieglin laitteiden tuottaman pistepilvitiedon oma käsittelyohjelma on puolestaan RiSCAN PRO. Tässä opinnäytetyössä RiSCAN PRO:ta ei juuri käytetty. Esimerkkitila oli keilattu Sillman Digital Oy:n toimesta aiemmin ja keilausaineistosta oli jo luotu RiSCAN PRO:n projekti. Ajankäytöllisistä syistä RiSCAN PRO:n viivan piirto- tai mallinnusominaisuuksia ei opinnäytetyössä testattu.

Myös Kubitilta saatiin opinnäytetyökäyttöön pistepilvenkäsittelyohjelma. Kubit PointCloud on AutoCADin päällä toimiva pistepilven käsittelyyn tarkoitettu ohjelma. Kubit PointCloudilla voidaan avata mm. Rieglin laitteilla tuotettuja pistepilviä. Tällöin Kubit muodostaa RiSCAN PRO:n projektin pistepilvestä PTC-tiedoston, joka on sen natiiviformaatti. Kubit PointCloudin avulla voidaan tuoda AutoCADiin suuria pistepilviä samalla, kun kaikki AutoCADin työkalut ovat käytettävissä. Asentamalla PointCloudin AutoCAD Architecturen päälle on siis käytettävissä mm. rakennuksen tietomalliobjekteja. Myös PointCloud tuo mukanaan erilaisia piirto- ja mallinnustyökaluja, mutta niiden ominaisuuksia ei opinnäytetyössä tarkasteltu.

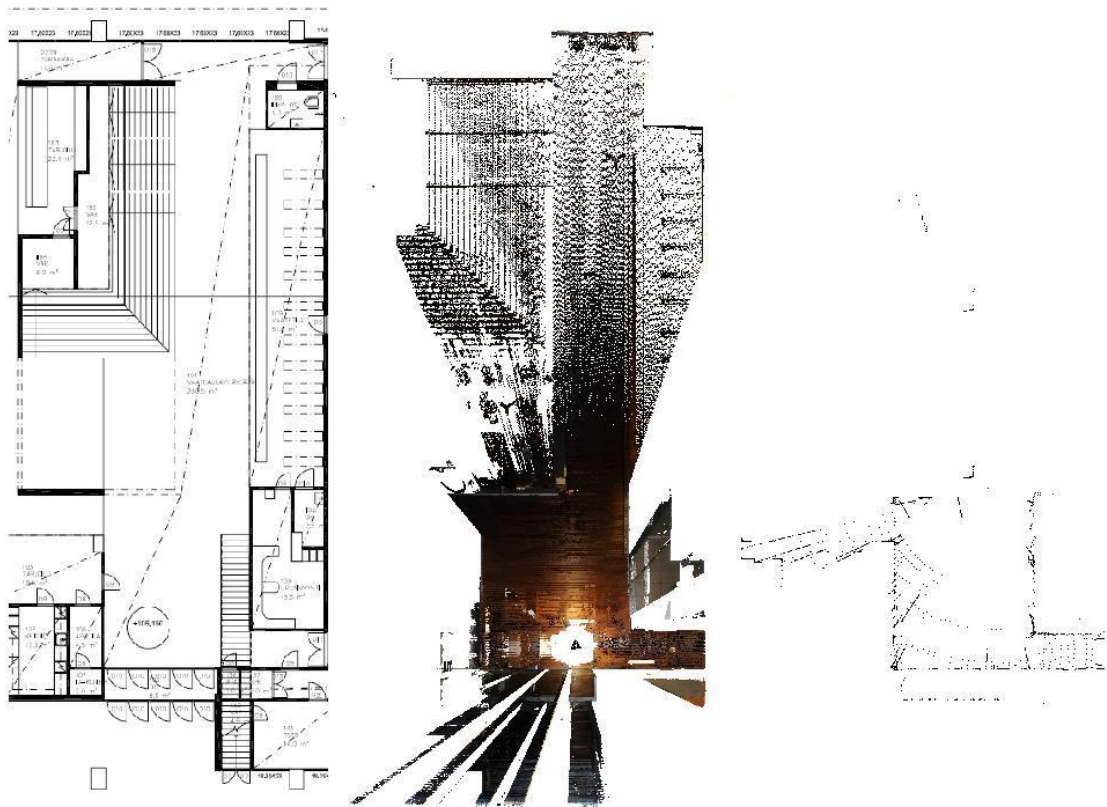
Autodeskin AutoCAD 2011:n yhtenä uutena ominaisuutena on pistepilvien tuonti. Tämä ominaisuus on ”perus”-AutoCADissa, mutta ei esimerkiksi arkkitehtisovelluksessa AutoCAD Architecturessa. AutoCADin natiivipistepilviformaatit ovat ISD ja PCG. LAS-, XYB-, FLS- ja FWS-tiedostot ovat käännettävissä AutoCADin natiiviformaatteihin. AutoCAD 2011:n pistepilvituki kaipaa vielä kehitystyötä. Yksi puutteista on se, että ohjelmaan tuotuja pistepilviä ei voida leikata, joten esimerkiksi rakennuksen leikkauspiirustuksen tekeminen pistepilven päälle piirtämällä on ongelmallista.

Pistepilvestä prosessoituja DWG- ja IFC-muotoisia tiedostoja tuotiin Autodeskin Revit Architectureen ja Graphisoftin ArchiCADiin.

5.3 Tuotetut pistepilvet

Esimerkkikohteeksi valittiin Kuopion Kaupunginteatterin aula, sillä Sillman Digital Oy oli jo suorittanut koko rakennuksen keilauksen Rieglin laserkeilaimella ja siten opinnäytetyöhön oli tältä osin saatavilla pistepilviaineistoa. Savonia-ammattikorkeakoulun mittalaitteella, Trimblen skannaavalla robottitakymetriajärjestelmällä, aulaa käytiin mittaa-

massa toukokuun loppupuolella 2010. Kuvassa 5.1 on nähtävissä ote teatterin pohjapiirustuksesta ja kummankin laitteen tuottamaa pistepilvimateriaalia. Rieglin laserkeilain mittaa parhaillaan n. 122 000 pistettä sekunnissa, joten 9,5 miljoonan pisteen mittaamiseen kuluu aikaa laitteelta noin minuutti. Trimblen skannaavalla robottitakymetriajärjestelmällä n. 13 500 pisteen mittaaminen vie useita tunteja. Tulokset eivät ole kuitenkaan tällaisenaan vertailukelpoisia. Rieglin laserkeilaimessa ei ole takymetriominaisuuksia, joten jos halutaan keilata useasta asemapistestä, tarvitaan keilaimen lisäksi myös takymetrimittauksia, ellei kohteessa ole valmiina tunnettuja pisteitä. Lisäksi mittausdatan siirto mittalaitteesta tietokoneelle ja eri asemapististä keilattujen pistepilvien yhdistäminen vie useita tunteja. Trimblen laite yhdistää automaattisesti eri asemapisteen mittaukset toisiinsa ja pistemäärien ollessa suhteellisen pieniä, ne siirtyvät tietokoneelle nopeasti.



Kuva 5.1. Kuvassa vasemmalla on nähtävissä ote esimerkkitalan pohjapiirustuksesta. Keskellä on Riegl VZ-400 maalaserkeilaimen tuottama väriarvoinen pistepilvi (n. 9 500 000 pistettä) yhdestä mittauspisteestä ja oikealla Trimble VX Spatial Station robottitakymetriajärjestelmällä mitattu pistepilvi (n. 13 500 pistettä). Ote pohjapiirustuksesta: © Sillman Digital Oy.

5.4 Pistepilven jatkojalostaminen

5.4.1 Trimble VX Spatial Station robottitakymetriajärjestelmällä tuotetun pistepilven jatkojalostaminen.

Trimble VX Spatial Station robottitakymetriajärjestelmällä tuotettuja pistepilviä voidaan käsitellä Trimble RealWorks -ohjelmalla. Tässä opinnäytetyössä ei perehdytty perusteellisesti Trimble RealWorksin ominaisuuksiin, koska opinnäytetyön tekijällä ei ollut juurikaan aikaisempaa kokemusta ohjelman käyttämisestä. Ohjelman käyttämiseen perehdyttiin opastusvideoiden, ohjekirjan ja kokeilun avulla.

RealWorksissa voidaan luoda mm. AutoCAD-sovelluksista tuttujen pintojen, solidien ja viivojen (polyline) tapaisia objekteja pistepilvitietoja mukailten. Kyseessä ei ole tietomallinnusohjelma ArchiCADin tai Revitin tapaan. RealWorksissa ei ole esimerkiksi valmista objektikirjastoa.

Opinnäytetyön yksi tarkoitus oli tutkia, miten pistepilveä voidaan jatkojalostaa siten, että se palvelisi parhaiten jatkosuunnittelijan tarpeita. Toisin sanoen tuli tutkia vaihtoehtoisia keinoja pistepilven sisältämän mittatiedon saattamisesta jatkosuunnittelijan käytettäväksi. Tässä opinnäytetyössä esimerkkitalan oleellimmat mittatiedot ovat seinälinjat ja aukkojen koot ja sijainnit. Työssä päädyttiin tutkimaan viittä tapaa Trimble VX Spatial Station robottitakymetriajärjestelmällä tuotettujen pistepilvien mittatietojen toimittamiseksi jatkosuunnittelijalle:

- Pintamalli: mallinnetaan rakennusosat pintoina.
- Tilamalli: mallinnetaan tilat solideina.
- Tietomalli: Pistepilvi tallennetaan DWG-muotoon RealWorksissa ja avataan AutoCAD Architecturessa mallinnusta varten.
- 2D-piirustukset: esim. pohjapiirros piirretään katsomalla pistepilveä yläpuolelta.
- Esikäsitelty pistepilvi ja valokuvat + Trimble RealWorks Viewer.

5.4.1.1 Trimblen pistepilvestä pintamalliksi

Trimblen pistepilvenkäsittelyohjelmassa, RealWorkissa, voidaan luoda pintoja pistepilven mukaisesti. Pistepilvestä rajataan haluttu pistejoukko, jonka perusteella ohjelma muodostaa tason, toisin sanoen keskiarvopinnan. Pintoja voidaan pakottaa pysty- tai

vaakasuuntaisiksi sekä toisiinsa nähden kohtisuoriksi tai samansuuntaisiksi. Tulee ymmärtää, että näin tekemällä menetetään mittatarkkuutta. Mikään rakennusosa ei ole oikeasti täysin suora missään suunnassa. Esimerkiksi suorakulmaiseksi suunniteltu nurkka voi todellisuudessa olla $89,123\dots^\circ$ kulmassa. Tarkoituksen mukaisuuden nimissä rakennusosat kannattaa kuitenkin yleensä mallintaa suoriksi sopivalla toleranssilla.

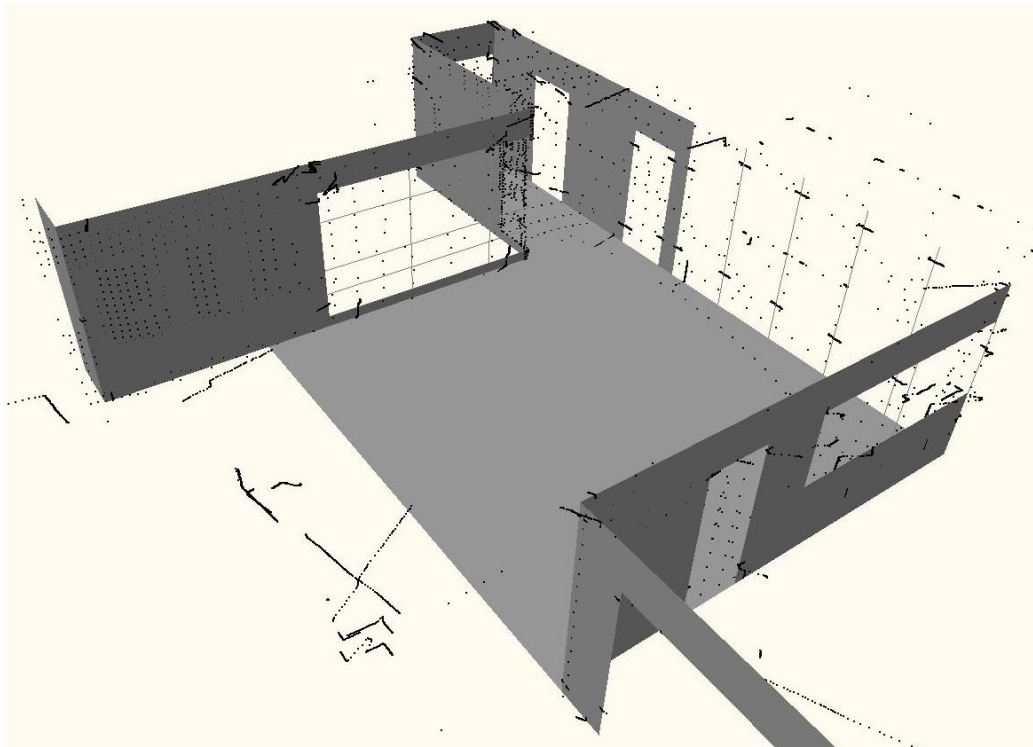
RealWorksissa pintoja voidaan muokata esimerkiksi leikkaamalla tai toisiin pintoihin täsmäämällä. Aukot, tässä tapauksessa ikkunat ja ovet, luotiin pintamalliin tekemällä pintoihin aukot ikkunoiden ja ovien kohdille. Ikkunoiden ruutujakoa ja useiden ovien ja ikkunoiden muodostamaa seinää kuvaamaan piirrettiin polylineja asemapistenäkyssä, jossa mitatut pisteet ja laitteen ottamat valokuvat ovat nähtävissä samanaikaisesti (kuva 5.2). Ovien kätsyyttä ei merkitty malliin eikä kätsyyden merkitsemismahdollisuutta tutkittu erikseen. Halutessa ovet voisi mallintaa omina pintoinaan. Kätsyyden havainnollistamiseksi ne voitaisiin mallintaa avonaisiksi. Toinen mahdollisuus olisi merkitä kätsyys aukon kohdalle esimerkiksi ”polylinekahvana” tai ”polylinetekstinä”.

RealWorkissa luotu pintamalli ja tarvittavat polylinet (kuva 5.3) voidaan tallentaa RealWorkista DWG-muotoon eli avattavaksi ja muokattavaksi CAD-ohjelmissa (kuva 5.4). 3D-DWG-tiedoston voi avata myös Revitissä, mutta käytännössä rakennusosat pitää kuitenkin mallintaa uudestaan, jos tarkoituksena on tuottaa tietomalli. Pinnat ovat tyhmiä, eivätkä sisällä paikkatiedon lisäksi mitään muuta informaatiota. Tämä tarkoittaa sitä, että hyöty, jonka jatkosuunnittelija pintamallista saa, on sen sisältämien mittatietojen suhteellisen helppo tarkastaminen. Pintamalli voi toimia rakennusosia uudelleen mallinnettaessa Revitissä myös taustalla ns. sapluunana.

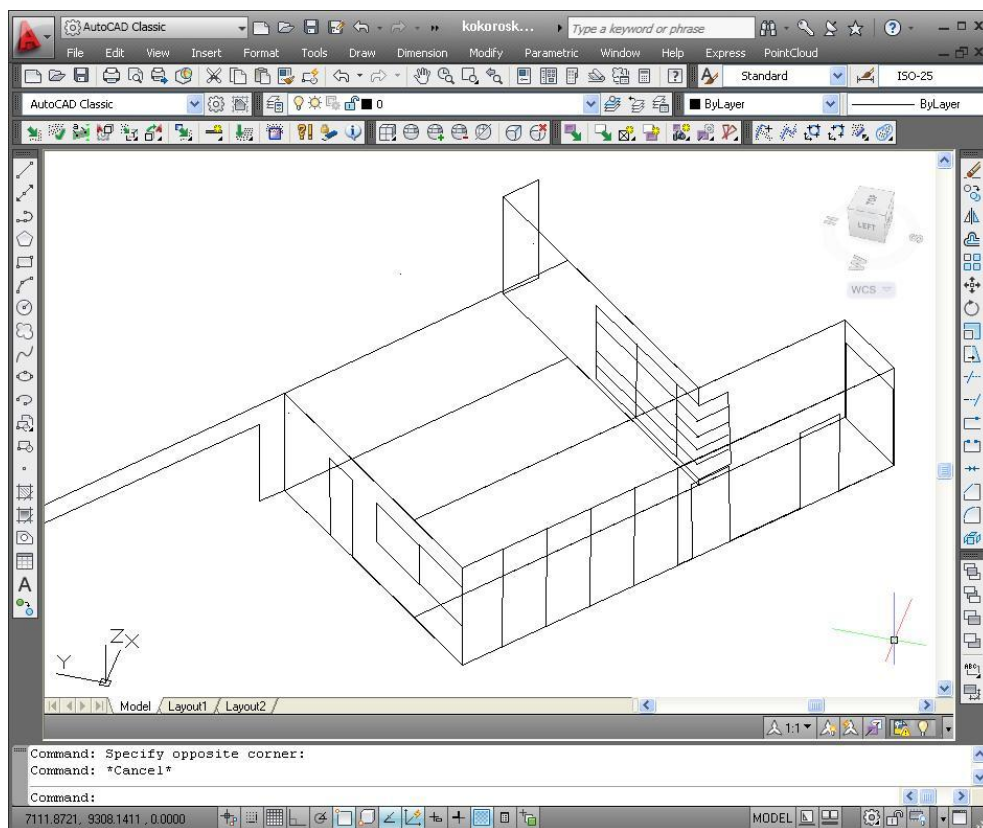
Jos rakennusosat halutaan mallintaa mahdollisimman tarkasti hyväksyen kaikki vinoudet, kannattaa mallinnus tehdä RealWorksilla. Jos rakennusosat aiotaan kuitenkin mallintaa suoriksi, voi mallinnuksen ja se kannattaa tehdä suoraan AutoCADissa, ottaen huomioon pistepilven koon ja AutoCADin suorituskyvyn pistepilven toistamisessa. AutoCAD-mallinnusta varten pistepilvi tulee tallentaa DWG-formaattiin.



Kuva 5.2. "Pistepilveen sovitettu valokuva". RealWorks muodostaa mittalaitteeseen integroidun kameran ottamista valokuvista "mosaiikkikuvan". Tämä näkymä näyttäisi muodostuvan viidestätoista valokuvasta. Kuvassa näkyvät valkoiset pisteet ja viivat ovat mitattuja pisteitä ja tiheitä pistejonoja.



Kuva 5.3. RealWorksissa luodusta pintamallista on poistettu näkyvistä alakattopinnot. Kuvassa näkyvät mustat pisteet ja viivat ovat mitattuja pisteitä ja tiheitä pistejonoja.



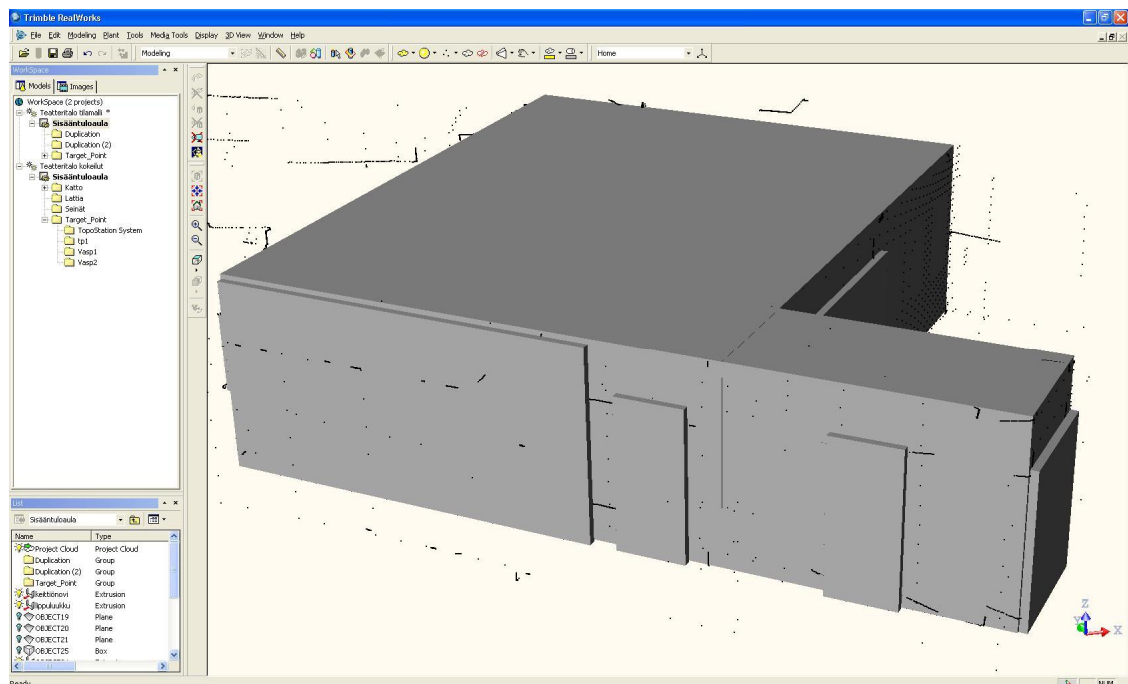
Kuva 5.4. RealWorksissa luotu pintamalli on tallennettu DWG-muotoon ja avattu AutoCAD 2011:ssä. Pinnat ovat regioneja. Kuvassa näkövaihtoehtona on perspektiiviton rautalankamalli.

5.4.1.2 Trimblen pistepilvestä tilamalliksi

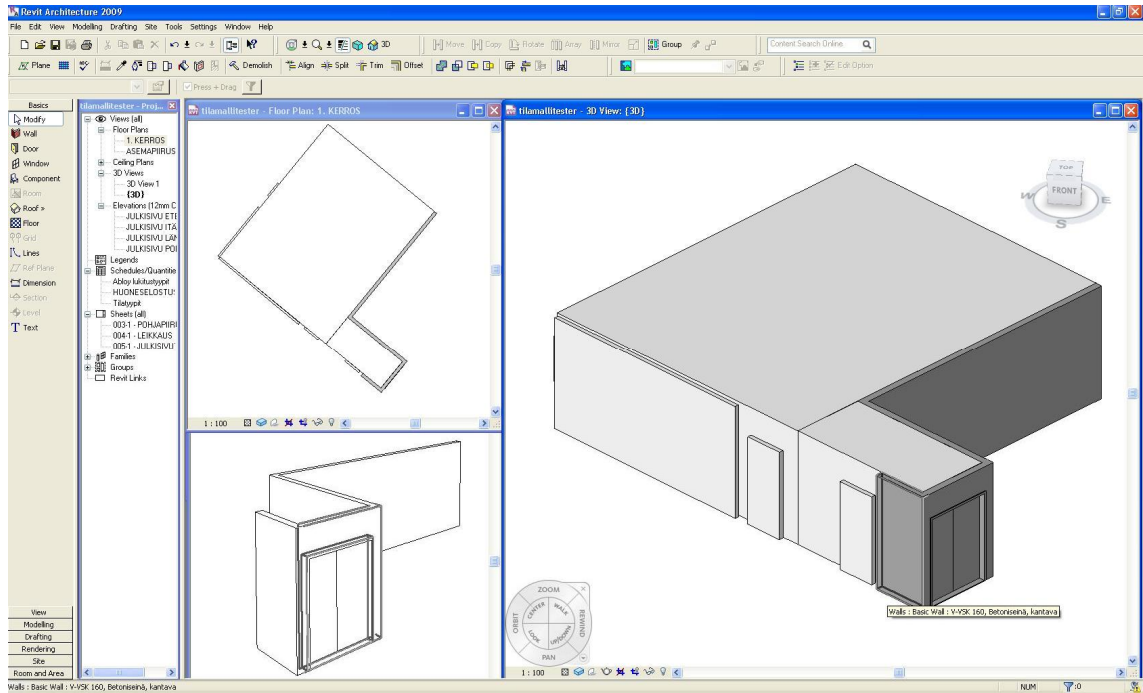
Tilamalliksi kutsutaan tässä opinnäytetyössä mallia, jossa mallinnetaan tiloja rakennusosien sijaan. Tilamalli sisältää käytännössä samat paikkatiedot kuin pintamallikin, joten se sopii myös mittatietojen toimitusmuodoksi. Tilamallista voidaan tarkastaa mittoja, kuten pintamallistakin. Jos tilamallin tuo arkkitehtisuunnitteluohjelmaan, kuten Revit Architectureen, voi tiloja mukaillen mallintaa tarvittavia rakennusosia, seiniä, laattoja, ovia ja jne.

Tiloja mallinnettiin RealWorksissa box- ja extrucion-työkaluilla. Molemmilla työkaluilla mallinnetut tilat voidaan tallentaa DWG-muotoon. Aukot päädyttiin mallintamaan omina tilaelementteinään. Vaihtoehtoisesti ne voitaisiin merkitä malliin 3D-polylinejä käyttäen, kuten pintamallin osalta tehtiin.

Ohjelman automatiikka solidien luomisessa pistepilvitietoa mukaillen osoittautui ongelmalliseksi ja sen käyttäminen vaatisi harjaantuneisuutta. Tässä työssä päädyttiin ratkaisuun, jossa luotuja kappaleita venytettiin manuaalisesti oikean kokoisiksi pistepilvitietoa hyväksi käyttäen. Kuvassa 5.5 on nähtävissä luotu esimerkkitalan tilamalli RealWorksissa ja kuvassa 5.6 tilamalli on tallennettu DWG-muotoon ja avattu Revit Architectureessa jatkosuunnittelua varten.



Kuva 5.5. RealWorksilla luotu tilamalli. Ovet ja ikkunat työnnytävät ulos suuremmasta tilamassasta.



Kuva 5.6. RealWorksilla luotu tilamalli on tuotu Revit Architectureen. Seinien ja ovien mallinnusta on aloitettu Revitissä tilamallin ”kylkeen”.

Tilamallin luontia pistepilven pohjalta kokeiltiin myös AutoCADillä. Pistepilvi tallennettiin RealWorksissa DWG-tiedostoksi ja avattiin AutoCADissä (kuva 5.7). Esimerkkitalan ollessa suhteellisen pieni jäi kokonaisuuspistemääräkin melko alhaiseksi verrattuna esimerkiksi laserkeilauksen normaaleihin miljoonien pisteiden määriin. Noin 13 500 pisteenkään pyörittäminen kuvaruudulla ei kuitenkaan ole AutoCADissä ongelmattonta. Kuvaruutu ei päivity sulavasti pistepilveä käännettäessä. 100 000 DWG-pisteen pilveä ei pysty juuri enää pyörittämään kuvaruudulla ja kaikki toiminnot ovat hitaita. 800 000 pisteen pilven pyörittäminen johti AutoCADin ilmoitukseen muistin loppumisesta ja kehotukseen peruuttaa ruudun pyörittäminen. Sulavampaa kuvan päivittymistä tiettyyn pisteeseen saakka voisi olettaa saavutettavan mm. tehokkaammalla prosessorilla, näytönohjaimella ja optimaalisilla AutoCADin omilla kuvantoistoasetuksilla. Tosi asia lieenee kuitenkin se, ettei AutoCADiin avatun DWG-pistepilven kannata olla juurikaan 10 000 pistettä suurempi.

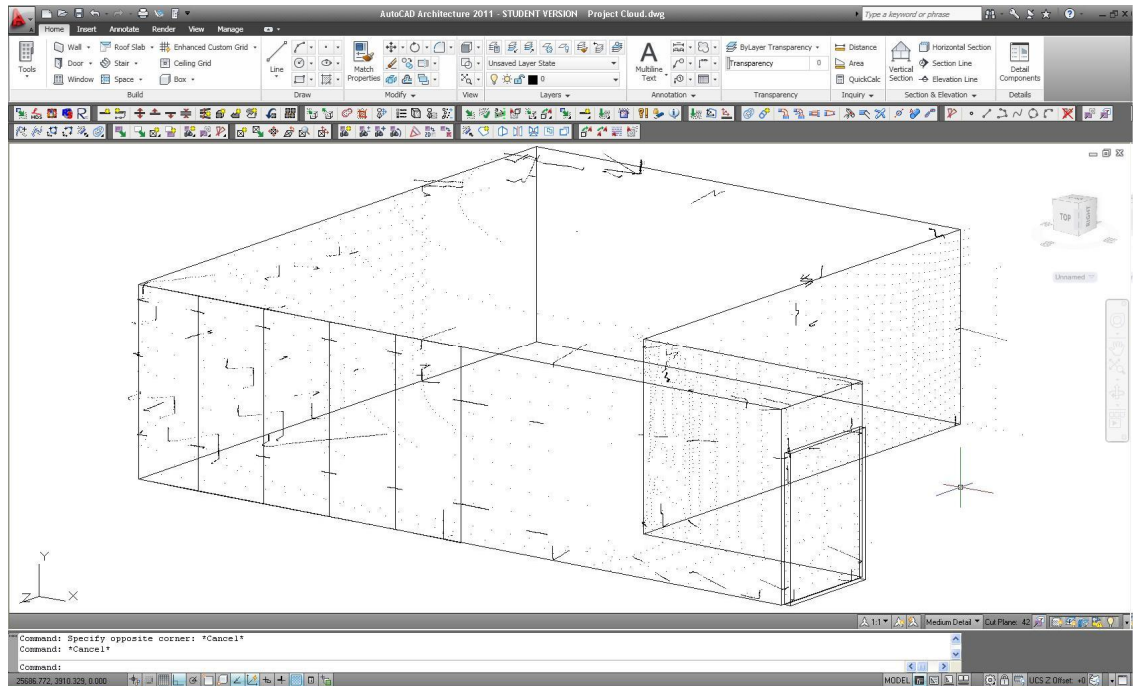
Esimerkkitalan tilavuus on vain murto osa koko rakennuksen tilavuudesta. Yleistäen voidaan sanoa, että mitä enemmän on mitattavaa tilaa, sitä enemmän tarvitaan mittapisteitä. Täten koko teatterirakennuksen DWG-pistepilven tuomisesta AutoCADiin ei kannata edes haaveilla.

Suurempia pistepilviä ja niiden parempaa käsittelyä varten on Autodesk luonut AutoCAD 2011:een omat pistepilviformaattinsa (PCG ja ISD). AutoCAD 2011 osaa myös kääntää LAS-, XYB-, FLS- ja FWS-tiedostot PCG- tai ISD-tiedostoksi. RealWorksissa pistepilveä ei voida tallentaa kyseisiin muotoihin.

Tilamallinnus AutoCADissa aloitettiin piirtämällä suljettu polyline pistepilven päälle seinälinjoja mukaillen. Tämän jälkeen polyline siirrettiin lattiakorkoon sivunäkymässä ja nostettiin solidiksi extrude-komennolla osoittaen kappaleelle oikea korkeus pistepilven perusteella. Koska AutoCADissa ei ole käytettävissä RealWorksin ominaisuutta, jonka avulla voidaan katsella samanaikaisesti mitattuja pisteitä valokuvien kanssa, on aukkojen paikat hankala paikantaa. Niiden paikantamiseen vaikuttaa myös mitattujen pisteiden tiheys ja määrä. Esimerkkikohteessa mitattiin aukkojen kohdilta tiheitä pistejonoja, mutta silti ikkunoiden ja ovien paikat ja koot jouduttiin tarkastamaan RealWorksissa valokuvien avulla. Aukkojen esittämistä mallissa testattiin mallintamalla niitä omina tilaelementteinään ja vaihtoehtoisesti polylineinä. Pelkän suljetun viivan piirtäminen on tietenkin nopeampaa kuin se, että sille annetaan myös syvyys.

Valmiista tilamallista voidaan helposti mitata mm. etäisyyksiä AutoCADin mittatyökaluilla. Malli ja aukkojen paikat osoittavat viivat ovat myös siirrettävissä Revit Architectureen jatkosuunnittelun ja tietomallintamisen pohjaksi.

Tilojen mallinnusta kokeiltiin myös AutoCAD Architecturen tila-työkalulla. Tilaobjekti tallennettiin IFC-muotoon ja avattiin Revit Architecturessa. Revit ei osannut kuitenkaan näyttää tilaa 3D:nä. Ongelman mahdollinen ratkaiseminen vaatisi jatkoselvittelyä.

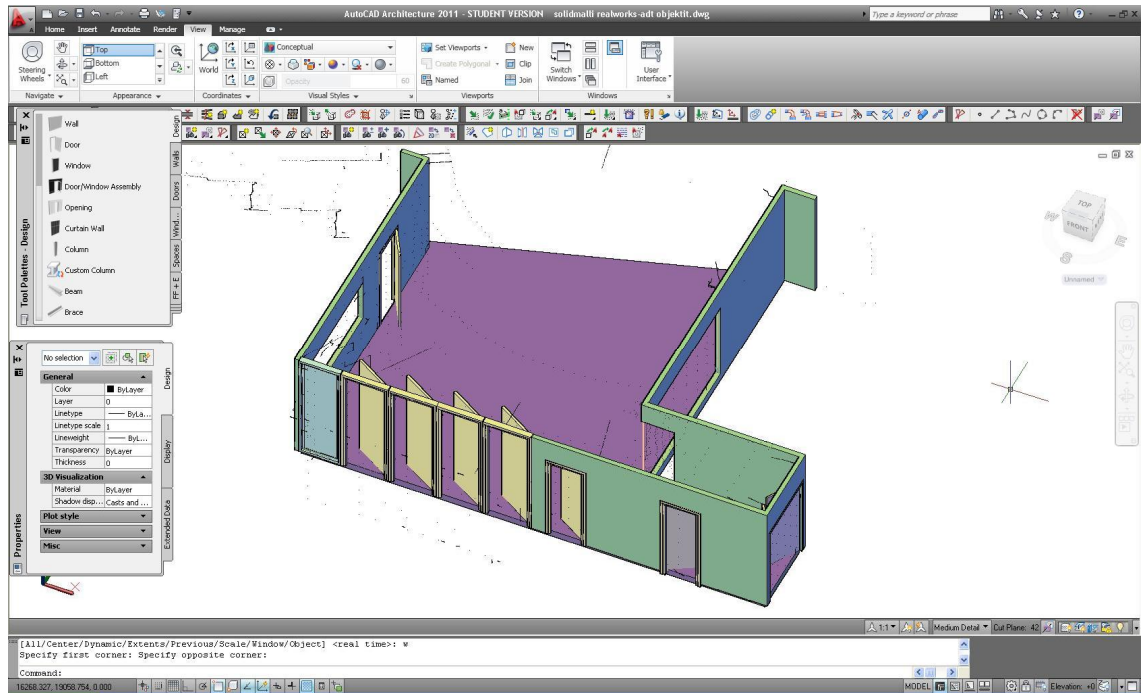


Kuva 5.7. Noin 13 500 mitattua 3D-pistettä on avattu AutoCADissä. Pistepilvitetiä mukailleen on tilasta luotu malli solidkappaleena. Mallin vasemmassa reunassa ovat näkyvissä oviseinän puitteiden kohdilla polylinet. Mallin oikeassa reunassa on tuplaovi mallinnettu solidina.

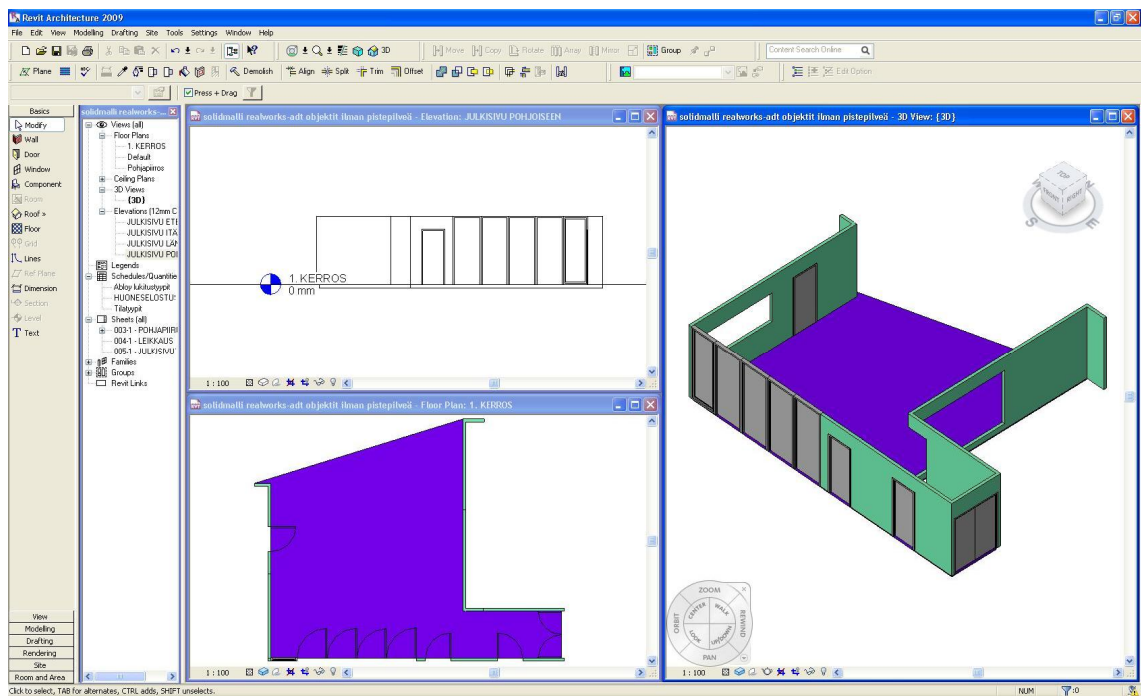
5.4.1.3 Trimblen pistepilvestä tietomalliksi

N. 13 500 pisteen DWG-pistepilvi avattiin AutoCAD Architecturessa ja mallintamista kokeiltiin käyttäen objekteja (kuva 5.8). Seinien ja laattojen mallinnus pistepilveä mukailleen sujuu ohjelmalla vaivattomasti. Ovien ja ikkunoiden oikeille paikoille oikean kokoisina mallintamisessa käytettiin apuna RealWorksin valokuvanäkymiä. Tiheämpi pistepilvi mahdollistaisi aukkojen mallintamisen ilman RealWorks-tarkastuksia, mutta toisaalta hidastaisi AutoCADin toimintoja.

Objektit tallennettiin IFC-formaattiin ja avattiin Revit Architecturessa (kuva 5.9). Revit ymmärtää avata kunkin objektin oikein. Eli AutoCADissä luodut seinät ovat Revitissäkin seiniä, ovet ovia jne. Tämä tarkoittaa jatkosuunnittelun kannalta sitä, ettei kyseisiä rakennusosia tarvitse mallintaa uudestaan alusta, vaan niitä voidaan tarvittaessa päivittää esimerkiksi rakennekerrosten osalta.



Kuva 5.8. Seinät, laatta, ovet, ikkuna ja aukot on mallinnettu pistepilvitetiä mukailien AutoCAD Architecture 2011:llä.



Kuva 5.9. AutoCAD Architecturella luodut objektit on tallennettu IFC-formaattiin ja avattu Revit Architecturessa. Täältä osin Autodeskin IFC-käännökset näyttäisivät toimivan. Ovet ovat ovia, seinät seinä jne. vielä Revitiin tuotaessakin.

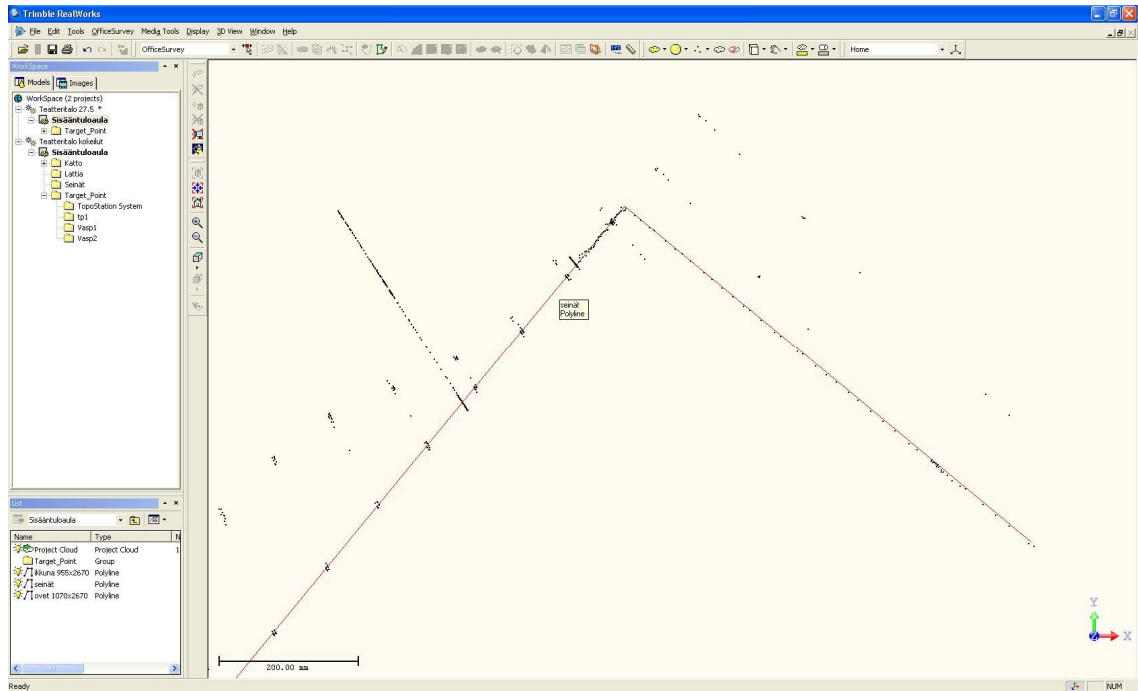
5.4.1.4 Trimblen pistepilvestä 2D-piirustukseksi

2D-piirustusten luontia pistepilvitietoa mukailten kokeiltiin RealWorksissa ja AutoCADissa. Viivojen piirtämiseen käytettiin kummassakin ohjelmassa Polyline-työkalua.

Seinälinjojen piirtäminen onnistuu RealWorksissa vaivattomasti (kuva 5.10), mutta aukkojen merkitseminen on ongelmallista. Jatkosuunnittelija tarvitsee aukon paikan lisäksi sen mitat ja oven kohdalla sen aukeamissuunnan. Parasta olisi jos aukon kohdalle voisi luoda suunnitteluohjelmista tutun merkinnän (tag), jossa ilmoitetaan aukon, oven tai ikkunan koko ja esimerkiksi alareunan etäisyys lattiakorosta. Tällaista automaattista tagia ei RealWorksissa ole käytettävissä, eikä myöskään valmiita 2D-piirustusobjekteja, joten aukkojen paikat pitää merkitä yksinkertaisesti viivoina. Luotuja viivoja on hankala muokata RealWorksissa. Esimerkiksi AutoCADista tuttua trim- tai extend-komentoa tai niitä vastaavia ei ole käytössä, puhumattakaan fillet- tai chamfer-työkaluista.

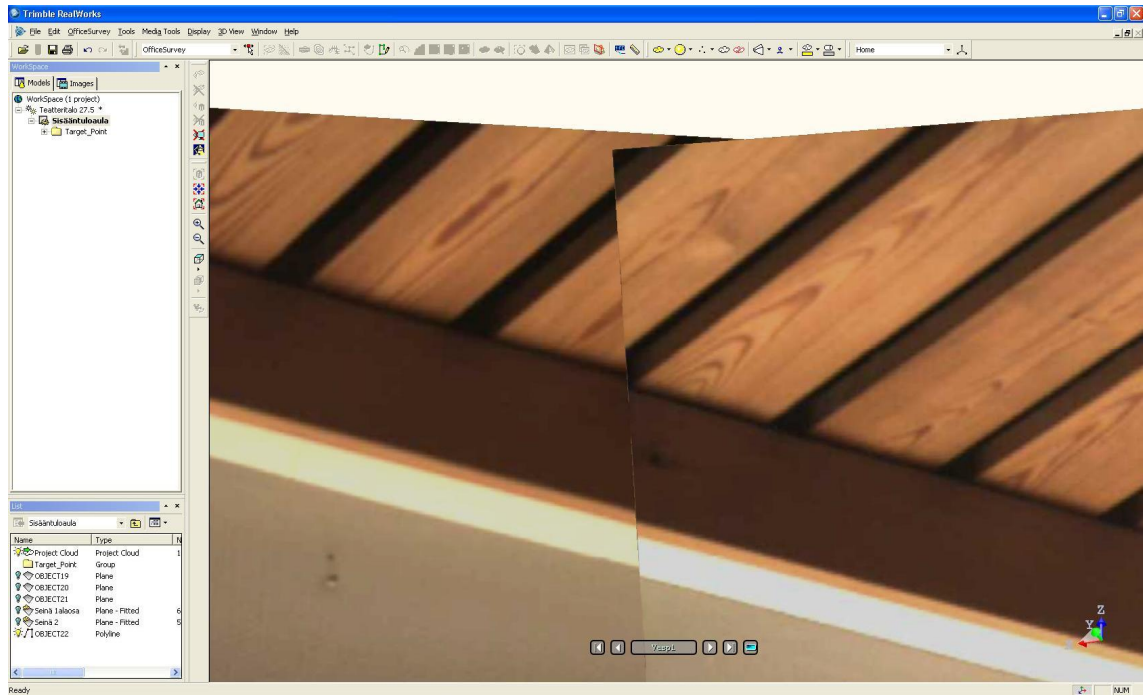
Oleellisimmat mittatiedot, seinälinjat ja aukot, on piirrettävissä RealWorksin polyline-työkalulla, mutta piirtäminen on hidasta. Pohjapiirroksen luontia varten pienet pistepilvet (n. 10 000 pistettä) kannattaakin tallentaa RealWorksissa DWG-muotoon ja avata AutoCADissa, jossa viivan piirtoon on käytettävissä paremmat työkalut. ARK-sovelluksessa käytössä on lisäksi mm. aukoille, ikkunoille ja oville valmiita 2D-symboleja. Suuret pistepilvet voidaan avata esimerkiksi AutoCADin päällä toimivalla Kubit PointCloudilla. Tällöin pistepilvi on tallennettava ensin RealWorksissa PTC-muotoon. Kubit PointCloudiin paneudutaan tarkemmin tässä raportissa myöhemmin.

Leikkausten piirtäminen RealWorksissa onnistuu kuten pohjapiirustustenkin piirtäminen. Leikkausten tekemiseksi RealWorksissa pistepilvi leikataan sopivalta kohdalta, ts. pistepilvestä katsellaan vain haluttua pistejoukkoa ja siirrytään katselemaan pilveä sivusta. Tämän jälkeen piirretään leikkausviivat pistepilvitietoa mukailten.



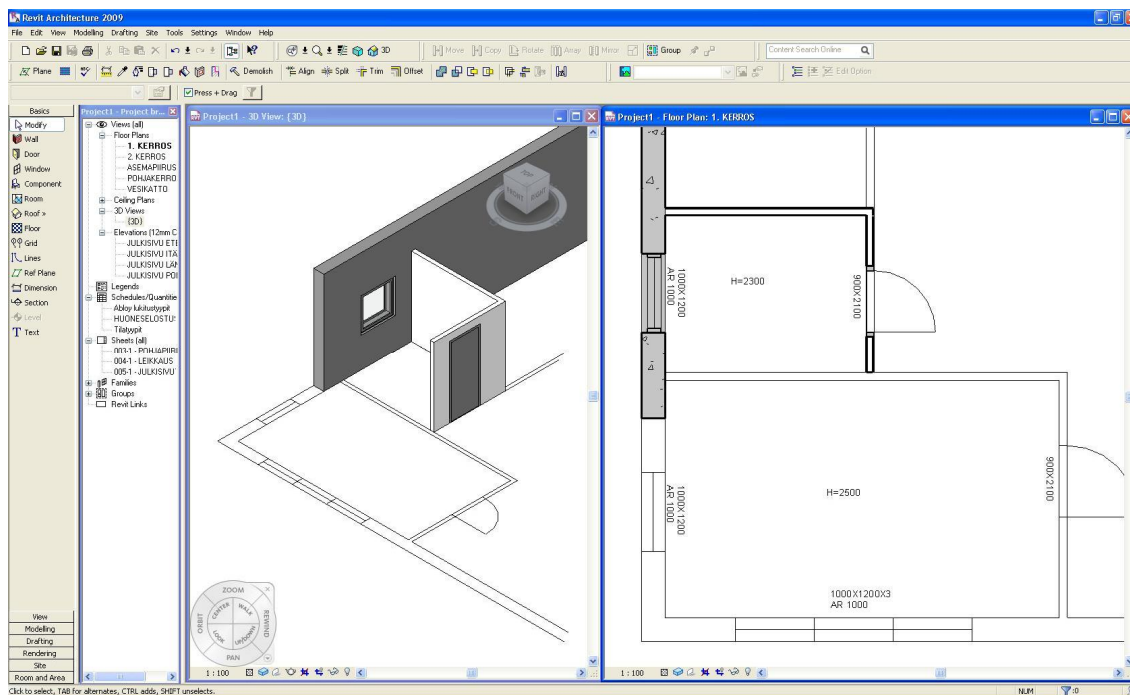
Kuva 5.10. RealWorksissa piirrettyä seinälinjaa. Seinän kohdalla on nähtävissä yläpuolelta tarkasteltuna paljon mitattuja pisteitä, ns. pistetiheys, joten seinälinjan piirtäminen on helppoa.

RealWorksissa voidaan piirtää 2D-viivoja myös asemapistenäkössä, jossa mitatut pisteet ja valokuvat ovat tarkasteltavissa samanaikaisesti. Tämä mahdollistaa esimerkiksi mitatun ja kuvatun julkisivun piirtämisen. Vastaavalla tavalla syntyvät myös esimerkiksi huonekaaviot. Tämän tekniikan käyttäminen vaatisi jatkoselvittelyä, sillä valokuvat limittyvät huonosti toisiinsa, minkä voidaan olettaa aiheuttavan virhettä piirustuksiin (kuva 5.11).



Kuva 5.11. Lähikuva Trimblen mittalaitteen ottamista valokuvista asemapistenäkyvästä tarkasteltuna. Valokuvat limittyvät toisiinsa virheellisesti.

Jos mittatietojen perusteella on tarkoitus luoda tietomalli, voi jatkosuunnittelija avata DWG-pohjapiirustuksen Revit Architectureen tai ArchiCADiin taustalle mallin lähtökohdaksi. Esimerkiksi seinät syntyvät siten helposti taustalla olevan pohjapiirustuksen päälle. Mikäli seinille halutaan oikea korkeus, on huonekorkeus oltava mitattu pistepilvestä ja merkitty pohjakuviin (kuva 5.12).



Kuva 5.12. AutoCADilla luotu DWG-muotoinen pohjapiirustus on avattu Revitissä mallinnuksen taustalle. Kuvan pohjapiirustusta ei ole piirretty pistepilven perusteella eikä se ole esimerkkikohteesta.

5.4.1.5 Esikäsitelty pistepilvi ja valokuvat + RealWorks Viewer

Jatkosuunnittelijalle voidaan toimittaa tarvittaessa mittatietona piirustusten ja mallien sijaan esikäsitelty pistepilvi ja ilmainen RealWorks Viewer. Ohjelmassa voidaan mm. mitata mitattujen pisteiden välisiä etäisyyksiä. Pisteitä on siis mittausvaiheessa mitattava kohteesta tarpeen mukaisesti.

Jatkosuunnittelijan kannalta tämä toimitusmuoto tarkoittaa käytännössä kahden ohjelman vuorottelevaa käyttämistä: mitataan RealWorks Viewer -ohjelmassa ja siirrytään piirtämään tai mallintamaan toiseen ohjelmaan.

5.4.2 Riegl VZ-400 maalaserkeilaimella tuotetun pistepilven jatkojalostaminen

Riegl VZ-400 maalaserkeilaimella tuotettua pistepilveä voidaan käsitellä Rieglin omalla pistepilvenkäsittelyohjelmalla, RiSCAN PRO:lla. Tässä opinnäytetyössä ei perehdytty perusteellisesti RiSCAN PRO:n ominaisuuksiin, koska opinnäytetyön tekijällä ei ollut juurikaan aikaisempaa kokemusta ohjelman käyttämisestä. Ohjelman käyttämiseen perehdyttiin Sillman Digital Oy:n pistepilvenkäsittelijän opastuksella, opastusvideoiden, ohjekirjan ja kokeilun avulla.

RiSCAN PRO:n 3D-mallinnus- ja 2D-piirustusominaisuuksia päätettiin olla testaamatta tässä opinnäytetyössä ajankäytöllisistä syistä johtuen. RiSCAN PRO:ta käytettiin pistepilviaineiston rekisteröimiseksi, harventamiseksi ja siirtämiseksi Kubit PointCloudiin, joka on AutoCADin päällä toimiva pistepilvenkäsittelyohjelma.

Opinnäytetyön yksi tarkoitus oli tutkia, miten pistepilveä voidaan jatkojalostaa siten, että se palvelisi parhaiten jatkosuunnittelijan tarpeita. Toisin sanoen tuli tutkia vaihtoehtoisia keinoja pistepilven sisältämän mittatiedon saattamisesta jatkosuunnittelijan käytettäväksi. Tässä opinnäytetyössä esimerkkitilan oleelliset mittatiedot ovat seinälinjat ja aukkojen koot ja sijainti. Työssä päädyttiin tutkimaan neljää tapaa Riegl VZ-400 maalaserkeilaimella tuotettujen pistepilvien mittatietojen toimittamiseksi jatkosuunnittelijalle:

- Tilamalli: mallinnetaan tilat solideina.
- Tietomalli: mallinnetaan rakennusosat AutoCAD Architecturella.
- 2D-piirustukset.
- Väriarvoinen pistepilvi + RiSCAN PRO Viewer.

5.4.2.1 Rieglin pistepilvestä tilamalliksi

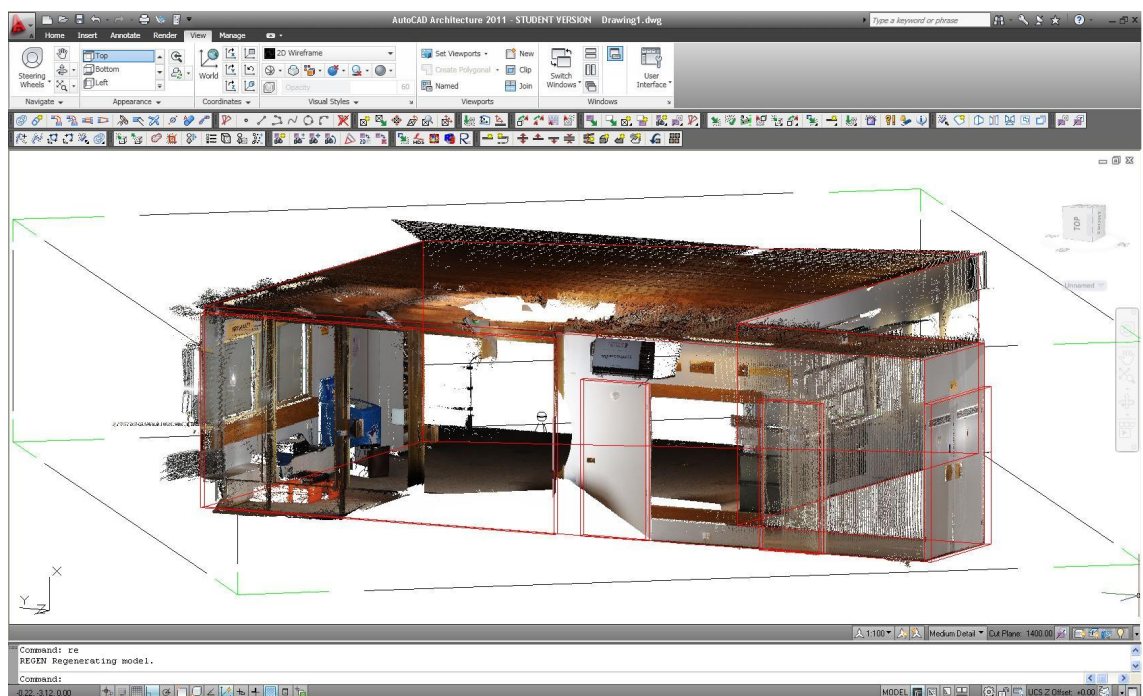
Tilamalliksi kutsutaan tässä opinnäytetyössä mallia, jossa on mallinnettu rakennuksen tiloja rakennusosien sijaan. Tilamallinnusta kokeiltiin Kubit PointCloud -ohjelman avulla. Kubit PointCloud toimii AutoCAD-ohjelmien päällä. Opinnäytetyötä varten Kubit PointCloud asennettiin AutoCAD Architecturen päälle sen sisältämien mallinnustyökalujen testaamiseksi.

Tilamallien luontia pistepilvitietoa mukaillen AutoCADilla testattiin jo aiemmin Trimblen osalta. Tilamallin luontia varten AutoCADiin avattiin nyt n. 13 000 DWG-pisteen sijasta n. 7 000 000 väriarvoinen pistettä PTC-formaatissa Kubit PointCloudin avulla.

Tilamallinnus AutoCADissa aloitettiin samalla tavalla kuin Trimblen pistepilven jalostuksessa eli piirtämällä suljettu polyline pistepilven päälle seinälinjoja mukaillen. Tämän jälkeen polyline siirrettiin lattiakorkoon sivunäkymässä ja nostettiin solidiksi extrude-komennolla osoittaen kappaleelle oikea korkeus pistepilven perusteella (kuva 5.13). Tällaisen tilan luomiseksi vähempikin pistemäärä riittää, minkä aiempi kokeilu Trimblen skannaavalla robottitakymetrillä tuotettu pistepilvi osoitti. Riegl VZ-400

laserkeilaimella tuotettu pistepilvi sisältää yli 500-kertaisesti pisteitä verrattuna Trimblen skannaavalla robottitakymetrillä tuotettuun. Suuren pistemäärän ja pisteiden väriarvon ansiosta tilan pystyy hahmottamaan paremmin, mutta liian suurella pistemäärällä ohjelman käyttäminen hidastuu. Kubit PointCloudin avulla voidaan käsitellä miljoonia pisteitä, mutta mitä vähemmän niitä on, sitä paremmin ohjelma toimii.

Aukkojen paikat ja koot on helppo määrittää tiheästä väriarvillisesta pistepilvestä. Aukkoja mallinnettiin omina tiloinaan. Ne voitaisiin piirtää tilamalliin myös viivoina.



Kuva 5.13. PTC-muotoinen väriarvoinen pistepilvi on avattu Kubit PointCloudilla. Koska Kubit PointCloud toimii AutoCADin päällä, on kaikki AutoCADin työkalut käytettävissä. Kuvassa on luotu tilamalli solidkappaleiden avulla pistepilvi tietoa mukailleen. Aukkoja on mallinnettu omina tilakappaleinaan.

CAD-ohjelmaa käyttävä jatkosuunnittelija voi helposti mitata DWG-muotoisesta tilamallista tarvittavia mittoja, kulmia jne. DWG-tilamallin voi tuoda myös suunnitteluohjelmiin varsinaisen tietomallinnuksen taustalle.

5.4.2.2 Rieglin pistepilvestä tietomalliksi

AutoCAD Architecturessa voidaan luoda objekteja, kuten seiniä, pilareita, palkkeja, laattoja, ikkunoita, ovia, portaita jne. Tässä opinnäytetyössä haluttiin kokeilla, kuinka

rakennuksen tietomallintaminen AutoCAD Architecturella onnistuu, kun taustalle on avattu Kubit PointCloudin avulla miljoonia pisteitä, joita pitäisi mallinnuksessa mukaila.

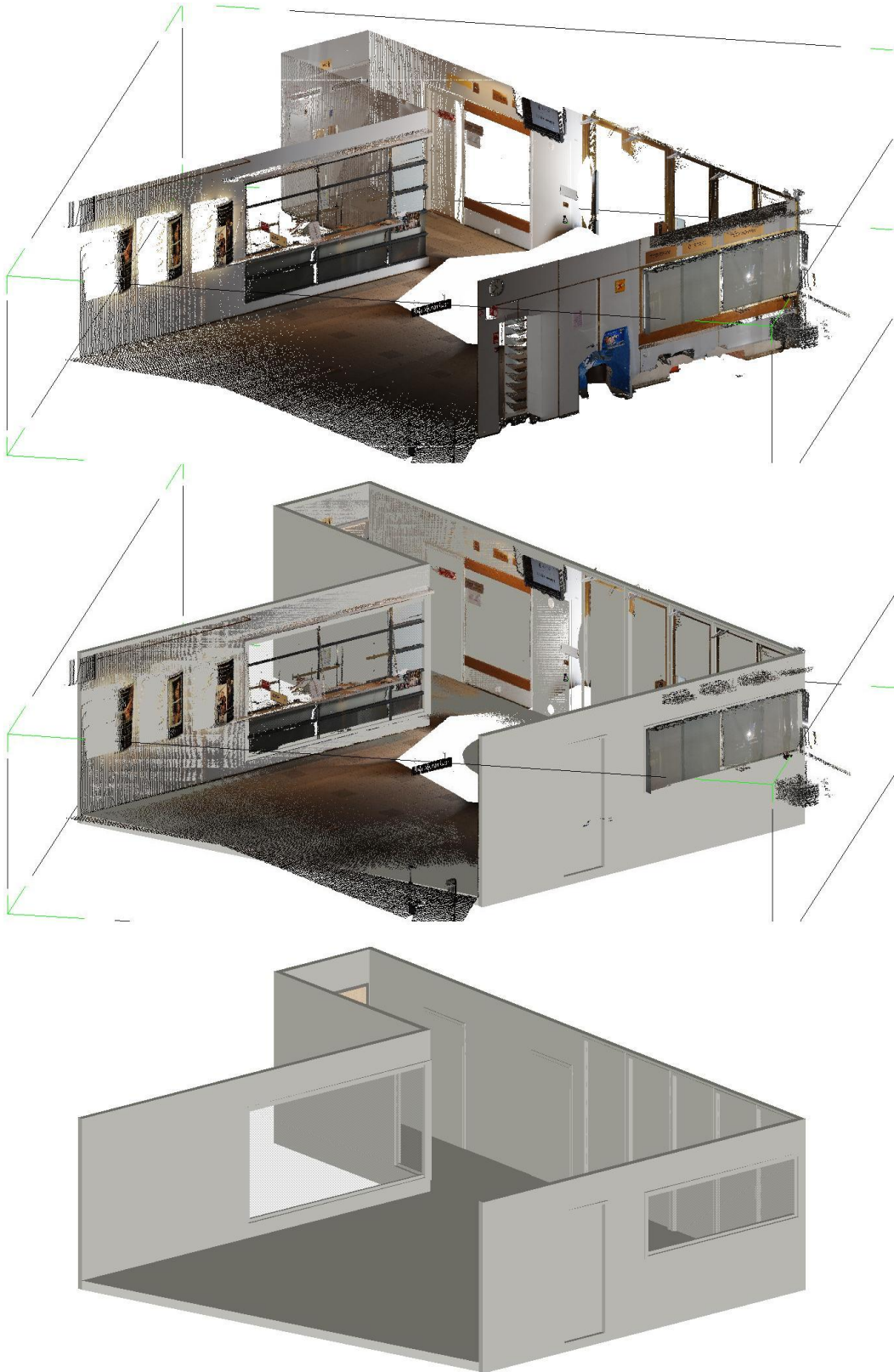
Seinän mallinnusta varten mitattiin ensin pistepilvestä seinän keskimääräinen korkeus. Seinän leveydeksi asetettiin 100 mm. ”Todellisen” seinän paksuuden määrittämiseksi, täytyisi olla pistepilvimateriaalia myös viereisistä tiloista. Jos mallinnettavan seinän halutaan mukailevan pistepilveä mahdollisimman tarkasti, on kuvaruutua luonnollisesti zoomattava lähelle pistepilveä ennen seinän alkupisteen osoittamista. Pistepilvi päivittyy kuvaruudulla hitaasti, jos ruutua liikuttaa tai zoomaa kesken seinän piirron. Ongelman voi kiertää tekemällä seinäobjektin ensin ”summittaisesti” kaukaisemmalla zoomilla. Seinän luonnin jälkeen se voidaan asettaa tarkemmin paikoilleen zoomaten ensin lähelle seinän ”todellista” (pistepilven mukaista) nurkkapistettä, kuitenkin siten, että luotu seinäobjektikin näkyy vielä ruudulla, ja tämän jälkeen raahaamalla seinäobjektin nurkka oikealle kohdalle. Pistepilven päivittymisongelma hidastaa mallintamista huomattavan paljon.

Edellä mainitulla tavalla mallinnettujen seinien pituudet ja seinien väliset kulmat tuskin koskaan sattuvat muodostumaan tasaluvuiksi. Toleranssit huomioon ottaen, seinien pituudet ja niiden väliset kulmat kannattaisi käytännössä viimeistellä sen jälkeen, kun ne on asetettu mahdollisimman hyvin pistepilven mukaisesti eli pyöristää lähimpään järkevään tasalukuun.

Ovet ja ikkunat voidaan ensin asettaa mallinnetuille seinille suurpiirteisesti. Tässä vaiheessa pistepilveä kannattaa leikata Kubit PointCloudin leikkaustyökalulla siten, että kohtisuoraan seinää katseltaessa, sen edessä olevat pisteet on poistettu näkymästä. Tämän jälkeen aukon, ikkunan tai oven voi venyttää oikean kokoiseksi pistepilven mukaisesti. Ikkunoiden ja ovien koot ilmoitetaan rakennuspiirustuksissa yleensä ”tasaluvuilla”, esimerkiksi tekstillä 12x12 ikkunan kohdalla tarkoitetaan ikkunan olevan 1 200 mm leveä ja 1200 mm korkea. Myös pistepilven mukaisesti venytetyt aukot, ikkunat ja ovet kannattaa lopuksi pyöristää lähimpään järkevään ”tasalukuun”.

AutoCad Architecturella luotu rakennuksen tietomalli (kuva 5.14) voidaan nyt tallentaa IFC-formaattiin ja avata sitä tukevissa ohjelmissa, kuten Revitissä tai ArchiCADissa. Edellä kuvatulla menetelmällä voidaan siis tuottaa jatkosuunnittelijalle sellaisenaan käyttökelpoisia tietomalleja suoraan pistepilvitietoa mukailien eikä jatkosuunnittelijan

tarvitse mallintaa rakennusosia enää uudestaan. Tämän tyyppinen mallintaminen on vielä kuitenkin hidasta, ainakin AutoCAD Architecture + Kubit PointCloud -yhdistelmällä, mutta saattaa yleistyä, kun ohjelmistot ja tietokoneet kehittyvät paremmiksi ja nopeimmiksi. On myös mahdollista, että tällainen pistepilvitietoa manuaalisesti muokaleva rakennuksen tietomallintaminen on jo nyt kohtuullisen nopeaa jollain toisella ohjelmalla tai ohjelmayhdistelmällä.

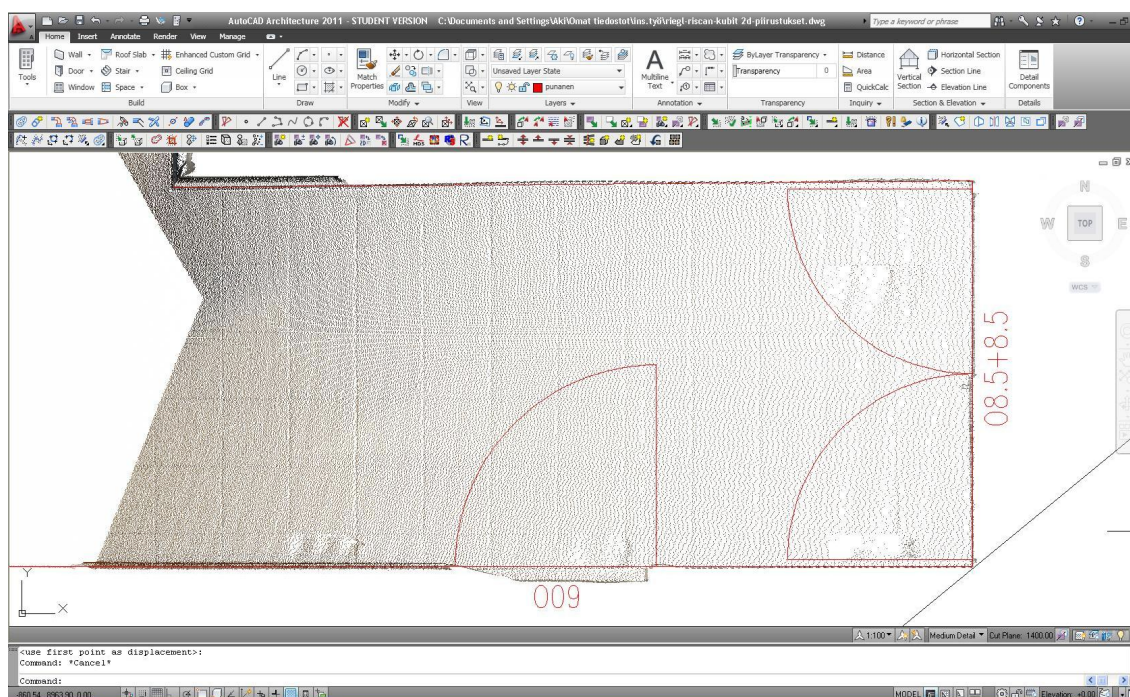


Kuva 5.14. Kolme näkymää AutoCAD Architecturen (+Kubit PointCloud) kuvaruudulta. Ylimmässä näkymässä on esimerkkitalan väriarvoinen pistepilvi. Keskimmäisessä näkymässä on pistepilven lisäksi mallinnetut rakennusosat. Alimmassa näkymässä pistepilvi on sammutettu ja näkyvissä ovat vain mallinnetut rakennusosat.

5.4.2.3 Rieglin pistepilvestä 2D-piirustuksiksi.

Kubit PointCloudin leikkaustyökaluilla pistepilveä voidaan AutoCADissa leikata halutulla tavalla. Esimerkiksi pohjapiirustuksen piirtämistä varten pistepilvestä voidaan leikata pois näkyvistä kaikki pisteet, jotka ovat metriä korkeammalla lattiatasosta mitattuna. Kun tätä leikattua pistepilveä siirrytään katselemaan kohtisuoraan yläpuolelta, voidaan pistepilvitietoa mukaillen piirtää helposti seinälinjoja (kuva 5.15).

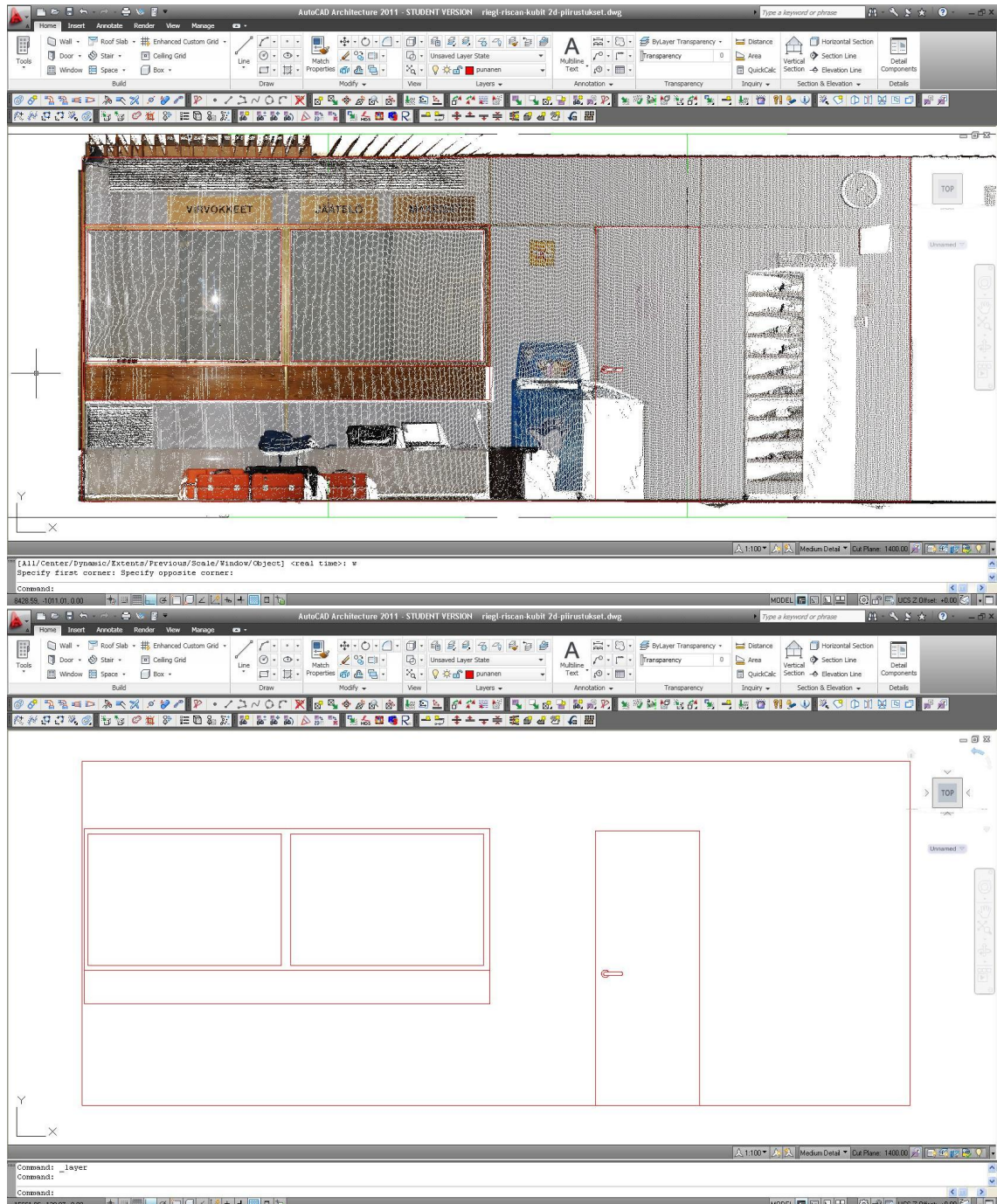
Aukkojen, ovien ja ikkunoiden ”todellisten” paikkojen ja kokojen tarkastamiseksi ja mittaamiseksi kannattaa pistepilveä tarkastella välillä muusta kuin yläpuolisesta näkymästä. Ikkunoiden ja ovien merkintää varten suuremmassa mittakaavassa kannattaa tietenkin käyttää valmiita symboleja piirtämisen nopeuttamiseksi. ARK-sovelluksen ja Kubit PointCloudin yhtäaikaisen käyttämisen mahdollisuutta ei päästy opinnäytetyön aikana testaamaan.



Kuva 5.15. Riegl VZ-400 maalaserkeilaimella tuotettu pistepilvi on avattu Kubit PointCloudissa (AutoCADin päällä toimiva ohjelma). Pohjapiirustus voidaan piirtää pistepilvitietoa mukaillen. Kuvassa on näkyvissä piirrettyä seinälinjaa ja ovia. Jotta seinän paksuudet saadaan piirrettyä pistepilven mukaisesti, täytyy seinän takapintakin olla keilattu, ts. keilausmateriaalia täytyy olla myös viereisistä tiloista.

Kaikenlaisten leikkaus-, julkisivu- ja huonekaaviopiirustusten piirtäminen pistepilvestä onnistuu kuten pohjapiirustuksen piirtäminen. Prosessi voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: 1. Leikataan pistepilveä halutulla tavalla. 2. Siirrytään katselemaan pistepilveä

halutusta suunnasta 3. Piirretään pistepilvitietoa mukailten. Kuvassa 5.16. on nähtävissä esimerkkitylän seinäkaavio yhdeltä seinältä.



Kuva 5.16. Esimerkkitylän yhdeltä seinältä on piirretty pistepilvitiedon päälle yksinkertainen seinäkaavio AutoCADillä (+Kubit PointCloud). Piirtotarkkuuden ja detaljien tason voi piirtäjä määrittää itse. Tästäkin pistepilvestä voisi piirtää esimerkiksi seinällä olevan kellon viisareineen.

2D-piirustusten laatiminen pistepilvitietoa mukailten vaikuttaa toimivalta ratkaisulta mittatietojen toimittamiseksi jatkosuunnittelijalle. 2D-piirrosten avulla jatkosuunnittelija voi laatia rakennuksesta myös kolmiulotteisen mallin, rakennuksen tietomallin. Käyt-

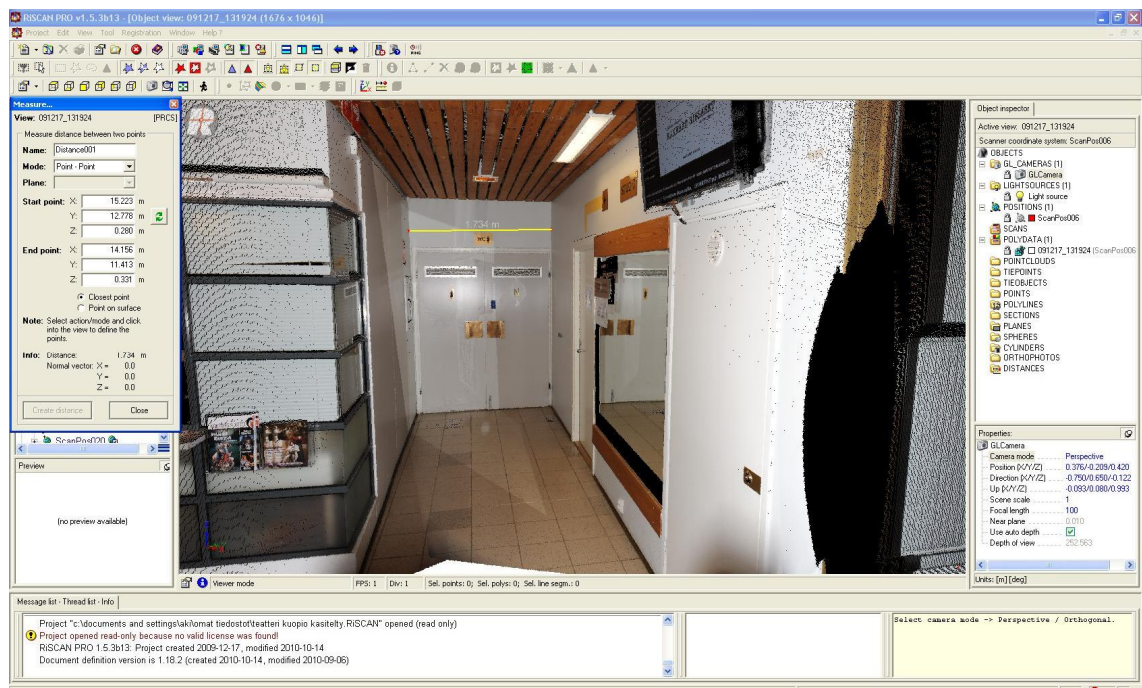
tökelpoisten piirustusten laatimiseksi pistepilven tulee olla mahdollisimman kattava, ts. katvealueiden tulisi olla mahdollisimman pieniä ja merkityksettömiä. Mitä kattavampi pistepilvi, sitä enemmän aikaa joudutaan kuitenkin käyttämään mittaamiseen työmaalla.

Pistepilven hidas päivittyminen AutoCADin kuvaruudulla hidastaa 2D-piirustusten laadintaa. Tulevaisuudessa tämä ongelma poistunee parempien ja nopeampien tietokoneiden ja ohjelmien ansiosta.

5.4.2.4 Rekisteröity ja esikäsitelty pistepilvi + RiSCAN PRO Viewer

Jatkosuunnittelijalle voidaan toimittaa tarvittaessa mittatietona piirustusten ja mallien asemesta rekisteröity ja esikäsitelty pistepilvi ja ilmainen pistepilven katseluohjelma RiSCAN PRO Viewer (kuva 5.17.). Ohjelmassa voidaan mm. mitata mitattujen pisteiden välisiä etäisyyksiä.

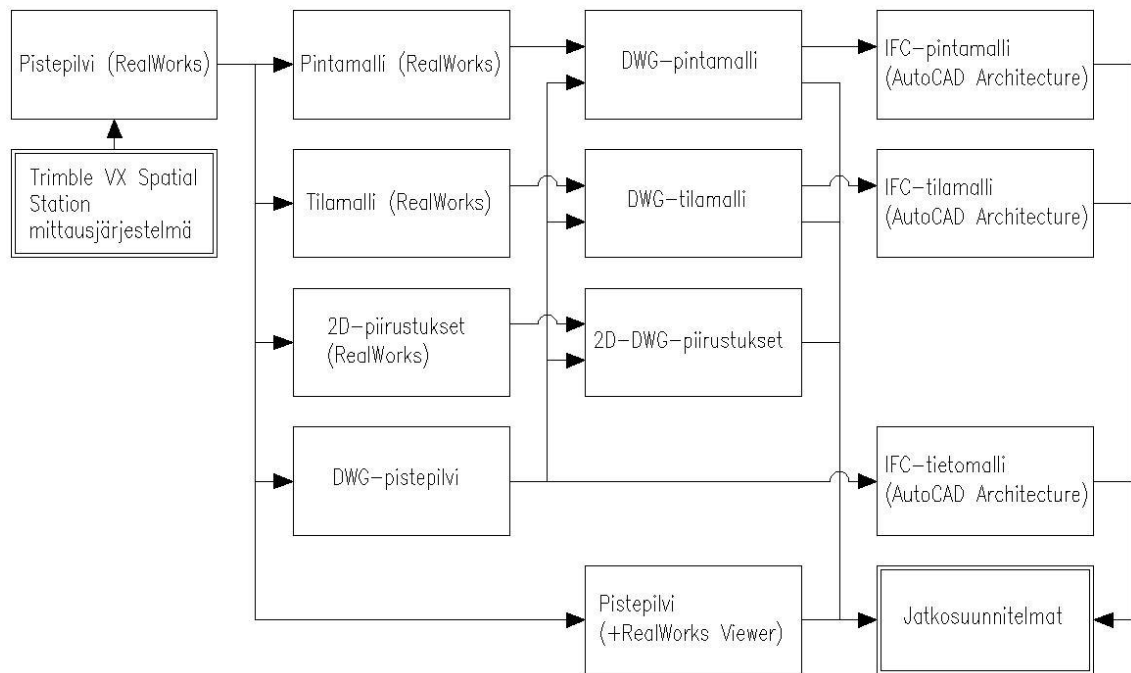
Jatkosuunnittelijan kannalta tämä toimitusmuoto tarkoittaa käytännössä kahden ohjelman vuorottelevaa käyttämistä. Mitataan RiSCAN PRO Viewer -ohjelmassa ja siirrytään piirtämään tai mallintamaan toiseen ohjelmaan.



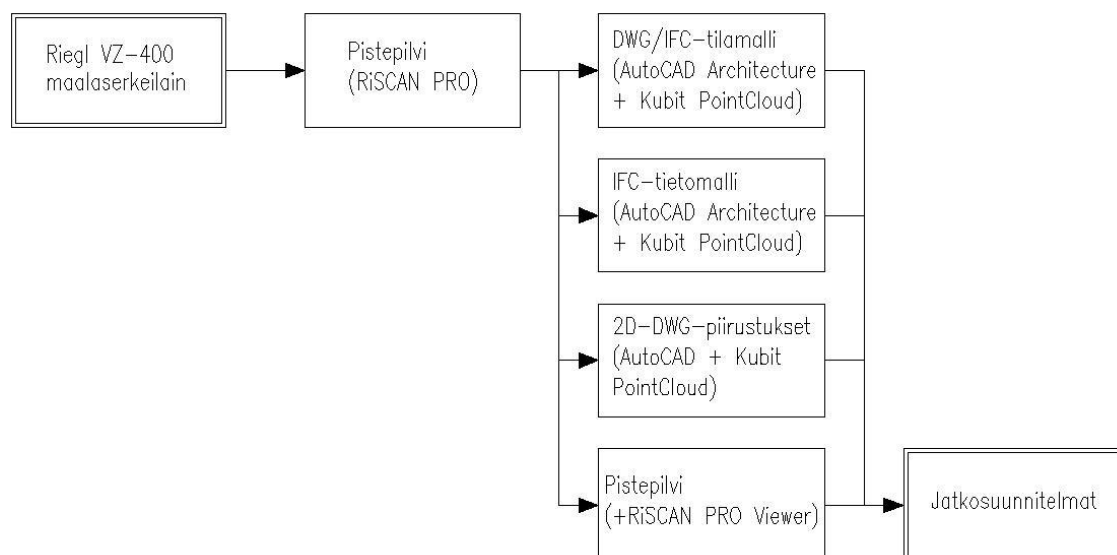
Kuva 5.17 3D-näkymä esimerkkitalan väriarvillisesta pistepilvestä RiSCAN PRO Viewerillä avattuna. Kun mitattuja pisteitä on tarpeeksi tiheässä ja niillä on väriarvo, näyttää 3D-näkymässä pistepilven tarkastelu parhaillaan siltä kuin katselisi 3D-valokuvaa, jossa voi liikkua vapaasti.

6. TULOSTEN ANALYSOINTI

Opinnäytetyössä testattiin käytännössä, millä menetelmillä käytettävissä olevilla ohjelmissa mittausjärjestelmien tuottamaa pistepilven sisältämää mittatietoa voidaan siirtää jatkosuunnittelijan käyttöön. Käytettävissä olevat ohjelmat olivat RealWorks, RiSCAN PRO, Kubit PointCloud, AutoCAD 2011, AutoCAD Architecture 2011, Revit Architecture 2009 ja ArchiCAD 13. Kokeilut näyttävät toteen, että pistepilven sisältämät mittatiedot voidaan saattaa jatkosuunnittelijan hyödynnettäväksi ja käytettäväksi näillä ohjelmissa ainakin kolmella tavalla: Pistepilvenä, 2D-geometriana tai 3D-geometriana. Kuvissa 5.18 ja 5.19 on nähtävissä kaaviot kummankin testatun mittausjärjestelmän tuottaman mittatiedon kulusta mittalaitteesta jatkosuunnittelijalle.



Kuva 5.18. Opinnäytetyössä tutkittu mittatietojen kulku Trimblen mittausjärjestelmästä jatkosuunnittelijalle.



Kuva 5.19. Opinnäytetyössä tutkittu mittatietojen kulku Rieglin laserkeilaimesta jatkosuunnittelijalle.

Perustellun ja perusteellisen vastauksen antamiseksi kysymykseen, mikä tutkituista toimitusmuotovaihtoehdoista tai menetelmistä on paras, nopein, taloudellisin, tarkin jne., tulisi menetelmiä testata ja arvioida huomattavasti suuremmassa mittakaavassa monien projektien osalta.

Trimblen pistepilvenkäsittelyohjelman, RealWorksin osalta voidaan todeta, ettei kahteen kertaan manuaalisesti mallintaminen tunnu kovinkaan järkevältä. Rakennuksen tietomallinnusohjelmat eivät pysty – ainakaan toistaiseksi – kääntämään RealWorksin mallinnettuja kappaleita tai pintoja älykkäiksi tietomalliobjekteiksi. Kaikki RealWorksin mallinnetut rakennusosat täytyy siten mallintaa uudestaan, jos tavoitellaan rakennuksen tietomallia.

Myös testattu menetelmä, jossa pistepilvi tallennettiin RealWorksin DWG-muotoon ja avattiin AutoCADissa, on vähintäänkin kyseenalainen. AutoCADiä ei ole ohjelmoitu käsittelemään suuria DWG-pistepilviä, jollainen helposti syntyy jo keskivertosuuren omakotitalon mittaamisesta, puhumattakaan suuremmista rakennuksista, kuten kerrostaloista tai toimistorakennuksista.

RealWorksin tehtyjen 2D-piirustusten osalta voidaan todeta, että pohjapiirustuksia varten seinälinjojen piirtäminen onnistuu hyvin pistepilvitietoa mukailien. Sama johtopäätös voidaan tehdä myös leikkausten piirtämisestä. Ongelmallista sen sijaan näyttää olevan aukkojen merkitseminen pohjakuviin, lähinnä huonon viivan muokkausominais-

suuksien takia. Mahdollisuutta piirtää esim. julkisivupiirustuksia pistepilveen sovitettun valokuvan päälle, pitäisi tutkia tarkemmin. Kuinka suuria heittoja valokuvien vääristyminen aiheuttaa mittoihin?

Opinnäytetyössä ei testattu Rieglin pistepilvenkäsittelyohjelman, RiSCAN PRO:n, piirto- tai mallinnusominaisuuksia lainkaan. Sen sijaan RiSCAN PRO:lla Rieglin laserkeilaimella tuotetusta pistepilvestä luodun projektin avulla PTC-muotoinen pistepilvi avattiin Kubit PointCloudilla AutoCAD Architecturessa.

Mittatietojen toimittamiseksi jatkosuunnittelijan käytettäväksi kokeiltiin AutoCAD + Kubit PointCloud -yhdistelmällä onnistuneesti tilamallin, tietomallin ja 2D-piirustusten luontia. Kokeilujen perusteella voidaan sanoa, että tilamallin (tilan geometrian esittäminen) luomiseen menee vähemmän aikaa kuin tietomallin (rakennusosien mallinnus) luomiseen, mutta toisaalta tietomalli on jatkosuunnittelijalle arvokkaampi.

Koska esimerkkityö on muodoiltaan hyvin yksinkertainen, ei ole järkevää tehdä pitkälle vietyjä johtopäätöksiä 3D-mallintamisen kannattavuudesta verrattuna 2D-piirustusten laatimiseen tämän opinnäytetyön kokeilujen perusteella. Haasteelliset muodot on nopeampaa piirtää kaksiulotteisesti kuin mallintaa kolmiulotteisesti. Jos pistepilvestä on tarkoitus luoda rakennuksen tietomalli, voisi olettaa, ettei kannata ensin piirtää pistepilvestä 2D-piirustuksia ja sitten laatia tietomalli näiden piirustusten avulla, vaan pyrkiä tietomallintamiseen suoraan pistepilvestä. Tätä vaikeuttaa kuitenkin se, että tietomallinsohjelmat eivät pysty riittävän hyvin, jos ollenkaan – ainakaan toistaiseksi – käsittelemään miljoonien pisteiden pistepilveä kuvaruudulla yhtäaikaisesti tietomallintamisen kanssa.

Mittatietojen toimitusvaihtoehto, jossa asiakkaalle lähetettäisiin esikäsitelty pistepilvi ja ilmainen katseluohjelma, siirtää vastuun pistepilven sisältämien mittatietojen tulkinnasta asiakkaalle. Onko asiakas kyvykäs, halukas tai valmis tähän vastuuseen?

Vastausta kysymykseen, kuinka hyvin nämä testatut mittausjärjestelmät, Trimblen VX Spatial Station ja Rieglin VZ-400, soveltuvat rakennusten inventointimittaukseen, ei voida tällaisen yksittäisen pienen tilan mittauksen ja pistepilvien käsittelyn perusteella perustellusti antaa, eikä sitä tässä opinnäytetyössä tavoiteltukaan. Näitä mittausmenetelmiä tulisi verrata muihin mittausmenetelmiin. Tässä opinnäytetyössä ei myöskään selvitetty mitä kannattaa mitata, millä laitteella tai millä tarkkuudella.

Pistepilvenkäsittelyohjelmien, Trimblen RealWorksin, Rieglin RiSCAN PRO:n ja Kubitin PointCloudin, osaltakaan ei voida opinnäytetyön perusteella antaa tyhjentävää vastausta kysymykseen, mitä kaikkea ohjelmilla todella voidaan tehdä ja mitä ei. Kysymykseen vastaamiseksi pitäisi hallita käsittelyohjelmien ominaisuudet perusteellisesti.

7. YHTEENVETO JA POHDINTA

Olemassa olevien rakennusten tarkkojen tietomallien tekemiseksi tarvitaan tarkkoja mittatietoja kohteesta. Inventointimittaukset voidaan suorittaa nopeasti ja kattavasti nykyaikaisin mittausmenetelmin. Laserkeilauksella tuotetusta pistepilvestä ei voida kuitenkaan napin painalluksella tuottaa rakennuksen tietomallia tai edes käyttökelpoisia rakennuspiirustuksia. Pistepilvi voidaan jatkojalostaa 3D-malliksi, mutta aiheellisesti voidaankin esittää kysymys, onko mallintamisessa mitään järkeä, jos jatkosuunnittelija joutuu kuitenkin mallintamaan kaiken uudestaan? Pistepilven perusteella voidaan laatia myös 2D-piirustuksia, jotka voidaan jalostaa edelleen tietomalliksi.

Tulevaisuuden visioissa suunnitteluohjelmien pistepilvituki mahdollistaa rakennuksen tietomallintamisen suoraan pistepilvitietoa mukaillen. Se on mahdollista jo nyt opinnäytetyössä tehtyjen kokeilujen perusteella, mutta työskentely on vielä liian hidasta ollakseen kannattavaa. On vielä odotettava tietokoneiden ja ohjelmien kehittymistä. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että opinnäytetyössä kokeiltiin käytännössä vain kahta pistepilviohjelmia. Jollain muulla ohjelmalla työskentely saattaa olla tehokkaampaa jo nyt.

Epämääräiset kallistuskulmat ja mitat aiheuttavat ongelmia tietomallinnusohjelmille. Pistepilvi paljastaa rakennusosien pienimmätkin vinoudet, kaltevuudet, kieroudet ja kulmien poikkeamat suunnitelluista. Ongelmallista on se, millä tavoin näihin vinouksiin pitäisi mallintamisessa suhtautua. Malli ei koskaan voi olla absoluuttisen tarkka kuvaus oikeasta kohteesta. Malli on aina todellisuuden likiarvo. Sopiva mallinnuksen toleranssi on riippuvainen pitkälti mallin jatkokäytöstä ja siitä on aina sovittava tapauskohtaisesti yhdessä asiakkaan kanssa.

Tätä kirjoittaessa on Savonia-ammattikorkeakoululla tekeillä muitakin opinnäytetöitä, joissa käsitellään rakennusten 3D-mittausta ja pistepilven hyödyntämistä. Laserkeilaus rakennusten inventointimittauksissa on menetelmänä uusi ja sisältää paljon mahdollisia tutkimusaiheita mm. asiakastarpeiden hallinta ja tarjouspyynnön määrittely. Mitä kannattaa mitata, millä laitteella ja millä tarkkuudella? Ja vastaavasti mitä kannattaa mallintaa, millä ohjelmalla ja millä tarkkuudella?

LÄHTEET

Freese, Simo, Penttilä, Hannu, Rajala, Marko. 2007. *Arvorakennusten korjaushankkeet ja tuotemallintaminen*. Teknillinen korkeakoulu, arkkitehtiosasto. ArkIT-informaatio-tekniikka. Saatavissa:

http://arkit.tkk.fi/senaatti/images/Arvorakennusten_korjaushankkeet_ja_tuotemallintaminen.pdf

General Services Administration (GSA). 2009. *GSA Building Information Modeling Guide Series 03 - GSA BIM Guide for 3D Imaging Version 1.0* [verkkajulkaisu]. The National 3D-4D BIM Program [viitattu 25.10.2010]. Saatavissa:

http://www.gsa.gov/graphics/pbs/GSA_BIM_Guide_Series_03.pdf

Karling, Aini. 2008. *Skanskan tuotantomallin käyttö tuotannossa*. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Saatavissa:

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/38560/stadia-1210143732-1.pdf?sequence=1>

Nordic Geo Center Oy. *Maalaserkeilaus (Terrestrial Laser Scanning, TLS)* [viitattu 08.11.2010]. Saatavissa: <http://www.geocenter.fi/maalaserkeilaus.html>

Ratilainen, Tanja. 2009. Digitaaliset tutkimus- ja dokumentointimenetelmät rakennusarkeologin näkökulmasta – kohteena Hattulan Pyhän ristin kirkko. Teoksessa Hanna-Maria Pellinen (toim.) *Maasta, kivistä ja hengestä*. Saarijärvi, Saarijärven Offset Oy, 192-208. Saatavissa:

http://utu.academia.edu/TanjaRatilainen/Papers/172085/Digital_Surveying_Methods_from_a_Buildings_Archaeologists_Point_of_View_Case_Holy_Cross_Church_of_Hattula_in_Hame_Finland

Senaatti-kiinteistöt. 2007. *Tietomallivaatimukset 2007. Osa 2: Lähtötilanteen mallinnus. Versio 1.01* [verkkajulkaisu]. [Viitattu 01.11.2010]. Saatavissa:

http://www.senaatti.com/tiedostot/Tietomalli_2007_Osa2_Lahtotilanne.pdf

Trimble. *Trimble VX Spatial Station Datasheet* [verkkajulkaisu]. [Viitattu 08.11.2010]. Saatavissa: http://www.trimble.com/trimblevx_ds.asp

Vakkilainen, Jussi. 2009. *Rakennuksen tietomalli rakennushankkeen suunnitteluvälineenä*. Diplomityö. Arkkitehtuurin koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/229>

Wikman, Esa. 2004. Nykyaikaisen takymetrin anatomia. *Maankäyttö 4/2004*. Saatavissa: http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk404/mk404_75_wikman.pdf
