

Iida Arima

# Laserkeilausprosessi uudisrakennuskohteen toteumamallia varten

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

25.5.2018

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Arima lida Laserkeilausprosessi uudisrakennuskohteen toteumamallia varten  47 sivua + 1 liite 25.5.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	tietomalli-insinööri Pekka Wilska lehtori Ilkka Partonen
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli selvittää uudisrakennuskohteen toteumamallin tuottamista varten vaadittava laserkeilausprosessi. Rakennusten tietomallintaminen on Suomessa suunnittelun osalta käytössä laajalti, mutta ongelmana on informaation siirtäminen käytön ja ylläpidon piiriin. Insinöörityössä tarkoituksena oli kehittää selkeä prosessi toteutuneen rakennuksen tiedon keräämiseen, jotta tulevaisuudessa toteumatiedon hankkiminen helpottuisi, ja jotta hankkeen tilaaja osaisi toteumamallia vaatia.</p> <p>Työssä perehdytään tietomallien hyödyntämiseen koko rakennuksen elinkaaren aikana tarveselvitysvaiheesta käyttöön ja ylläpitoon asti. Tietomallintamista ei ole syytä tehdä vain tavan vuoksi, vaan jo rakennushankkeen alussa tulee määritellä tietomallintamiselle tavoitteet ja syyt. Rakennuksien tietomallintamisen lisäksi työssä kerrotaan laserkeilauksen teoriaa ja perustellaan, miksi laserkeilaus on tällä hetkellä paras tapa toteumatiedon keräämiseen.</p> <p>Insinöörityön laserkeilausprosessi pilotoitiin Helsingin Laajasalossa sijaitsevassa Helsingin kaupungin uudisrakennuskohteen lasten päiväkoti Yliskylän työmaalla. Insinöörityö laadittiin Sweco PM Oy:lle, joka toimii asiantuntijaorganisaationa Helsingin kaupungin Toteumamallista ylläpitomalliin -kehityshankkeessa. Sweco PM Oy on tutkinut ja kehittänyt tietomallintamisen hyödyntämistä rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana jo useiden vuosien ajan. Insinöörityön tilaajana toimi Helsingin kaupungin Kaupunkiympäristön toimiala. Myös Helsingin kaupunki on kiinnostunut kehittämään tietomallintamista ylläpidon ja käytön piiriin.</p> <p>Työn tuloksena saatiin konkreettinen pistepilviaineisto, jota voitiin verrata suunnittelumalleihin. Lisäksi saatiin selville toteumamallin kannalta oleelliset keilattavat kohteet sekä työmaan aikataulun vaiheet, jotka ovat mittausten kannalta oleellisia. Näiden perusteella voitiin kehittää prosessikaavio laserkeilausprosessista toteumamallia varten uudisrakennuskohteessa.</p>	
Avainsanat	tietomalli, toteumamalli, ylläpitomalli, laserkeilaus, pistepilvi

Author Title Number of Pages Date	lida Arima Laser scanning process to develop as-built model of new construction 47 pages + 1 appendices 25 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Pekka Wilska, Modeling Engineer Ilkka Partonen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to define the laser scanning process that is required to develop an as-built model. The goal was to execute measurements at the building construction site and delineate issues to be taken into consideration while executing measurements, and examine how many working hours are required for the necessary laser scanings.</p> <p>The method used in this project was to conduct a case study of the day care center Yliskylä. The measurements commenced in October when the precast concrete elements were constructed and the floor heating system was under construction. Laser scanings were performed once a week from October to February, when the building was almost completed.</p> <p>The result of the project was a process flow chart of the as-built model's laser scanning process. In the building there are five sections that are important to scan for the as-built model. In addition, it is worthwhile to scan the coalface before the construction of the actual building begins.</p> <p>In conclusion, the laser scanning process is not too burdensome to conduct in the future, especially since new lighter and more user-friendly laser scanners are launched more regularly.</p>	
Keywords	building information model, as-built model, laser scanning, point cloud

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rakennusten tietomallintaminen	3
2.1	Tietomallintamisen tavoitteet	4
2.2	Tietomallintamisen vaiheet hankkeessa	5
2.2.1	Tarveselvitys	6
2.2.2	Hankesuunnittelu	7
2.2.3	Ehdotussuunnittelu	8
2.2.4	Luonnossuunnittelu	8
2.2.5	Toteutussuunnittelu	8
2.2.6	Toteutuksen suunnittelu	10
2.2.7	Luovutus	10
2.2.8	Käyttöönotto	11
2.2.9	Käyttö-, hoito- ja ylläpitovaihe	11
3	Laserkeilaus	15
3.1	Laserkeilauksen prosessi	16
3.1.1	Suunnittelu ja kenttätyöt	17
3.1.2	Pistepilvien rekisteröinti ja jälkikäsittely	18
3.1.3	Pistepilvien jatkokäyttö ja arkistointi	21
3.2	Laatuun vaikuttavat tekijät	21
3.3	Laserkeilauksen edut ja haasteet	22
4	Pilottihanke: LPK Yliskylä	24
4.1	Aikataulujen suunnitleminen ja yhteydenpito työmaan kanssa	25
4.2	Työvälineet ja ohjelmistot	25
4.2.1	Laserkeilain Leica HDS6200	25
4.2.2	Autodesk ReCap Pro	26
4.2.3	Solibri Model Viewer	27
4.2.4	Tekla Field3D	27
4.2.5	Autodesk Navisworks	28
4.3	Mittausten suorittaminen	28
4.4	Pistepilvien rekisteröiminen	31
4.5	Pistepilvien vertailu malliin	33

5	Tulokset	37
5.1	Keilattavat järjestelmät	37
5.2	Työmaan ja mittaajan välinen yhteydenpito	40
5.3	Mittauksiin kuluva aika	41
5.4	Pistepilvien rekisteröintiin kuluva aika	42
5.5	Toteutuneen rakennuksen ja suunnittelumallien väliset erot	43
5.6	Mittausten hyödyt rakentamisen aikana	43
5.7	Pistepilvimateriaalin hyödyt toteuma- ja ylläpitomallissa	44
5.8	Tulevaisuuden tekniikat	44
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1. LPK Yliskylän pistepilvien ja tietomallien vertailun kooste	

## Lyhenteet

BIM	Building Information Modeling. Rakennuksen tietomallintaminen.
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment. Tila, jonka pinnoille heijastettavaa kuvaa tietomallista tarkastellaan 3D-laseilla.
E57	Tiedostomuoto pistepilville.
IFC	Kansainvälinen rakennusalan standardi oliopohjaisen tiedon siirtämiseen järjestelmästä toiseen.
LVI	Lämpö, vesi ja ilmanvaihto.
PTS	Leican vektorimuotoinen formaatti pistepilville.
RGB	Värimalli, jossa värit muodostetaan sekoittamalla punaista, vihreää ja sinistä valoa. RGB lyhenne tulee värien englanninkielisistä nimistä red, green ja blue.
SMC	Solibri Model Checker -ohjelman tuottama tiedostomuoto. Useimmiten SMC-tiedostot ovat yhdistelmämalleja.
YTV2012	Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Senaatti-kiinteistöjen vuonna 2007 julkaistujen tietomallivaatimusten päivitys, joka on toteutettu COBIM-hankkeena.
VR-lasit	Virtuaalilasit.

## 1 Johdanto

Rakennusten tietomallintaminen kehittyy jatkuvasti, ja yhä useammat rakennukset suunnitellaan tietomallintamalla. Informaatiota rakennuksesta kertyy suunnittelun aikana huomattavia määriä, ja tiedolle olisi rakennuksen ylläpidon ja käytön aikana tarve. Ongelmaksi muodostuvat toteutuneen rakennuksen ja suunnitelmien väliset erot; rakentamisen aikana suunnitelmista saatetaan poiketa, ja näitä poikkeamia ei tietomalleihin päivitetä. Monissa tapauksissa suunnittelumalleihin voi luottaa tietyllä toleranssilla, mutta luotettavuuden varmistamisen ja todentamisen kannalta on oleellista, että toteutunut rakennus dokumentoidaan.

Tässä insinööriyössä tutkitaan, miten ja millaisella aikataululla rakentamisen aikana saataisiin kerättyä informaatiota toteutuneista asennuksista rakentamisen aikana, ja suoritetaan pilotti kohteessa laserkeilaukset toteumamallia varten. Projektissa datan keräämiseen käytettiin laserkeilainta, koska se on tällä hetkelläärkevin väline suurten tietomäärien hankkimiseen. Kerätyn datan pohjalta voidaan tehdä suunnittelumalleihin muutoksia, mikäli toteutuneen rakennuksen ja suunnitelmien välillä havaitaan poikkeamia, ja luoda toteumamalli. Toteumamallista saadaan pohja ylläpitomallille, jota ylläpidon ja käytön aikana päivittämällä tietomallinnusprosessista saadaan mahdollisimman suuri hyöty.

Rakennusten elinkaaren kannalta on oleellista kehittää tietomallinnusprosessia ja kuunnella niin käyttäjien kuin esimerkiksi rakennuttajienkin ajatuksia ylläpitomallin toteuttamisesta. Helsingin kaupunki on yhdessä Sweco PM Oy:n kanssa käynnistänyt Toteumamallista ylläpitomalliin -kehityshankkeen, jossa keskustellaan ja tutkitaan, mitä hyötyjä toteumatiedosta ja ylläpitomallista on ja miten toteuma- sekä ylläpitomalli käytännössä toteutetaan. Helsingin kaupungin Kaupunkiympäristön toimiala toimii kehityshankkeessa tilaajana ja Sweco PM Oy asiantuntijaorganisaationa. Kehityshankkeen tavoitteena on selvittää, miksi toteumatietoa kannattaa kerätä, mitä tietoja ylläpitomallin tulee sisältää ja miten toteuma- ja ylläpitomalli käytännössä toteutetaan. Insinööriyön aiheeksi valikoitui toteumamallia varten tehtävien mittausdatan kerääminen työmaalta on.

Toteumamallista ylläpitomalliin -kehityshankkeeseen liittyen Johannes Laurila teki vuonna 2017 diplomityön ”Toteumamallien vaatimukset rakennusten ylläpidon kannalta peruskorjauskohteessa” (engl. Requirements for the as-built building information models for use in maintenance in renovation project). Diplomityössä selvitettiin, minkälainen prosessi toteumamallin tuottaminen on ja millä tavalla toteumamalli hyödyttää kiinteistönomistajaa rakennuksen ylläpidon aikana. Tämä insinöörityö on tehty kehityshanketta varten jatkona Laurilan diplomityölle.

Insinöörityö koostuu teoriaosuudesta ja tutkimusosuudesta. Teoriaosuus sisältää kaksi osiota: tietomallintamisen sekä laserkeilauksen. Tietomallintamisen osalta kerrotaan erityisesti, mitkä ovat prosessin tavoitteita ja miten tietomallinnus etenee rakennushankkeen eri vaiheissa. Laserkeilausosiossa käsitellään esimerkiksi laserkeilausprojektin työvaiheet sekä tekniikan etuja ja haasteita.

Varsinaisessa tutkimusosassa kerrotaan, miten mittausprosessi aikataulutettiin sekä suoritettiin ja miten kerätty pistepilvimateriaali käsiteltiin. Työn lopussa esitellään työn tuloksia: mitä havaintoja projektin aikana tehtiin ja miten toteumamallin mittaukset tulevaisuudessa voitaisiin suorittaa.



## 2 Rakennusten tietomallintaminen

Tietomallintaminen (BIM, engl. Building Information Modeling) tarkoittaa kohteen suunnittelua, rakentamista ja ylläpitoa digitaalisessa muodossa olevan kolmiulotteisen informaation avulla. Oleellista on, että tietomallien 3D-data sisältää tietoa mallinnetuista objekteista. Aiemmin BIM-termillä on tarkoitettu pelkkää tietomallia objektina (engl. Building Information Model), mutta nykyään BIM käsittää koko mallinnusprosessin ja kuvaa enemmänkin toimintaa. (Eastman ym. 2011.)

Tietomallintaminen on talonrakennusalalla jo vakiintunut käytäntö. Tietomallintaminen aloitetaan suunnittelun alkuvaiheessa tietomallipohjaisilla ohjelmilla, ja monissa hankkeissa tavoitteena on, että tietomallia hyödynnettäisiin koko rakennuksen elinkaaren ajan niin pienissä kuin suurissakin uudis- sekä korjausrakennuskohteissa. Piirustuksia käytetään suunnittelussa edelleen, mutta tietomallit ovat tulleet niiden rinnalle jäädäkseen. (Jäväjä & Lehtoviita 2016: 8.)

Tietomallintamista Suomessa on kehitetty laajasti erilaisilla ohjelmilla. Merkittävin kehitysaskel on ollut Yleisten tietomallivaatimusten 2012 julkaisu. YTV2012 koostuu 14 osasta ja neljästä täydentävästä liitteestä. Osat sisältävät kattavat ohjeet tietomallintamisesta hankkeen eri vaiheissa ja toimivat hyvänä tietolähteenä käytännön tietomallintamiselle. YTV2012: ohjeistuksia voidaan pitää vähimmäisvaatimuksina tietomallintamiselle. Jokaisessa hankkeessa päätetään tapauskohtaisesti, esitetäänkö mallintamiselle näiden lisäksi lisävaatimuksia tai tarkennuksia. (Jäväjä & Lehtoviita 2016: 34.)

Tietomalleja voidaan hyödyntää rakennushankkeen aikana monessa yhteydessä. Kolmiulotteisuus helpottaa suunnittelijoiden ratkaisujen vertailua, yhteensovittamista sekä havainnollistamista. Eri suunnittelualojen mallit voidaan koota tietyin väliajoin yhteen, ja näin nähdään, toimivatko suunnittelijoiden ratkaisut toistensa kanssa. Kommunikointi helpottuu, kun mallista selkeästi nähdään toimivat ja toimimattomat sekä virheelliset osiot ja näistä voidaan ilmoittaa asianosaisille suunnittelijoille. Kun kommunikointi ja suunnitelmien tarkasteleminen toimivat, samalla laadunvarmistus helpottuu. (Erkkilä 2018.)

Tietomalli selkeyttää ratkaisujen esittelyä myös tilaajalle ja hankkeen muille osapuolille – kolmiulotteinen malli on huomattavasti paperipiirustuksia visuaalisempi ja konkreettisempi. Osallisia on mahdollista ottaa mukaan rakennuksen suunnitteluun perinteisempien keinojen lisäksi CAVE-tilaa tai VR-laseja käyttäen. Esimerkiksi sairaalakohteessa on tärkeää kuunnella sairaalassa työskentelevien mielipiteitä siitä, kuinka paljon tilaa tietyt huoneet vaativat sekä minne ja mille korkeudelle työskenneltäessä käytettävät väliinnot on sijoiteltu. CAVE-tilassa useampi valmiissa rakennuksessa tulevaisuudessa työskentelevä pääsee suunnittelijoiden kanssa keskustelemaan vaihtoehtoista ja vaikuttamaan päätöksiin. (Valtonen 2018.)

Muita tietomallien käyttötarkoituksia ja etuja ovat mahdollisuus erilaisten analyysien, esimerkiksi energia-analyysin, suorittamiseen sekä tuki investointipäätösten tekemiseen. Tietomallipohjainen hanke mahdollistaa myös varmemman tiedonsiirron vaiheesta toiseen ja erityisesti tiedon hyödyntämisen käytön sekä ylläpidon aikana. (YTV osa 1, 2012: 5.)

## 2.1 Tietomallintamisen tavoitteet

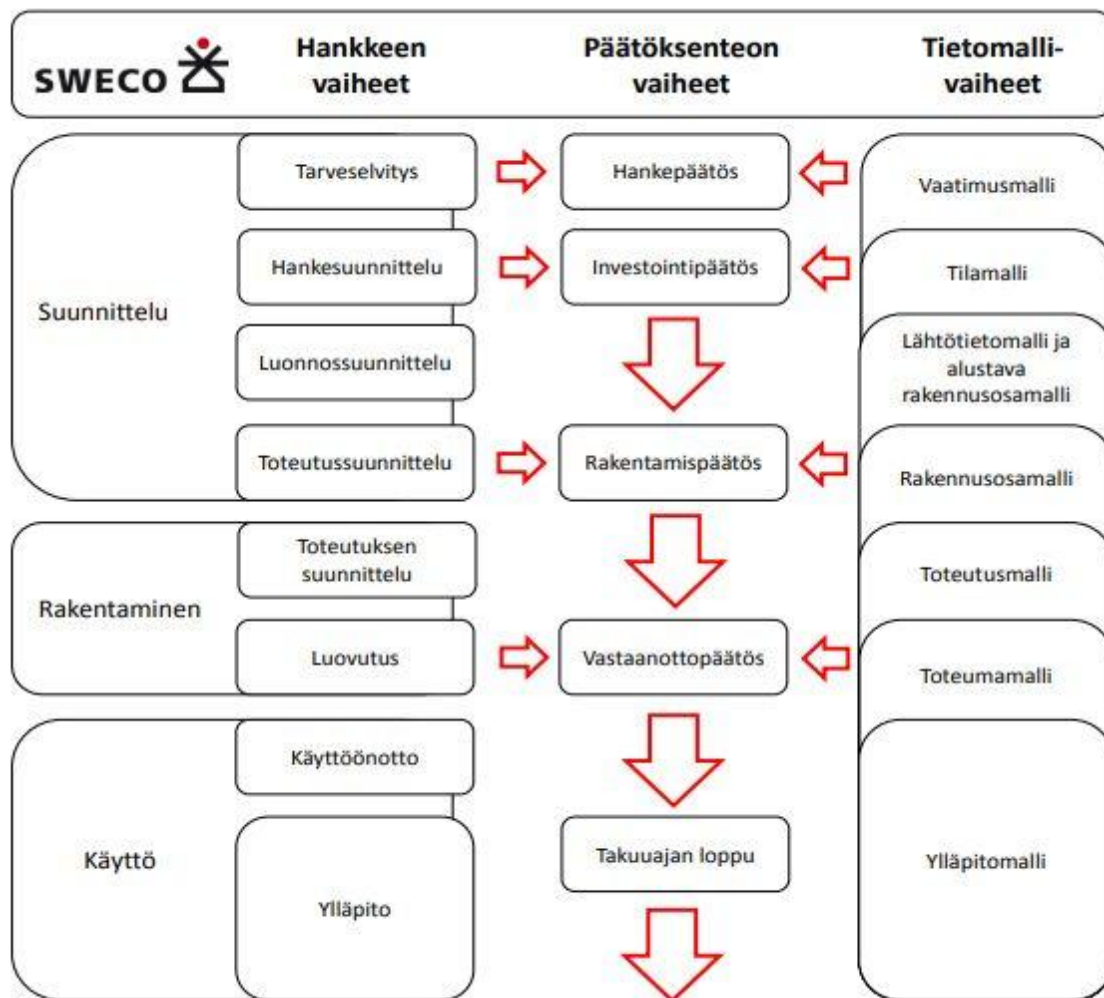
Rakennusten tietomallintamisen päätavoitteita ovat laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestävä kehityksen edistäminen. Suurin hyöty tietomalleista saadaan, kun malleja käytetään tehokkaasti koko rakennuksen elinkaaren ajan suunnittelusta ylläpitoon. (YTV osa 1, 2012: 5.)

Tavoitteet tietomallintamiselle asetetaan aina hankekohtaisesti. Tällaisia tavoitteita voivat olla esimerkiksi

- kustannus- ja elinkaarianalyysien tukeminen
- hankkeen päätöksentekoprosessien tukeminen
- osapuolten sitouttaminen tavoitteisiin mallin avulla
- suunnitteluratkaisujen havainnollistaminen
- suunnitelmien yhteensovittamisen helpottaminen
- rakennusprosessin ja lopputuotteen laadun parantaminen
- rakentamisen turvallisuuden lisääminen
- hankkeen tietojen siirtäminen käytön ja ylläpidon järjestelmiin. (YTV osa 1, 2012: 5.)

## 2.2 Tietomallintamisen vaiheet hankkeessa

Tietomallintamisen vaiheet talonrakennushankkeessa voidaan jakaa kahdeksaan osaan. Koska eri vaiheita on paljon, on tärkeää kiinnittää huomiota siihen, että tietoa ei katoa hankevaiheesta toiseen siirryttäessä. (Erkkilä 2015: 3–4.) Kuvassa 1 esitetään hankkeen eri vaiheita tietomallintamisen kannalta.



Kuva 1. Tietomallintaminen talonrakennushankkeen eri vaiheissa (Lehtovirta 2013).

Kuvasta nähdään hankkeen, päätöksenteon ja tietomallien vaiheiden väliset riippuvuudet. Lisäksi voidaan huomata, että edellisen vaiheen tietomalli toimii aina seuraavan vaiheen lähtötietona. (Erkkilä 2015: 3–4.) Hankkeen aikana kehitetyt tietomallit kulkevat mukana projektissa loppuun asti, mutta niitä muokataan ja kehitetään hankkeen aikana.

Talonrakennushankkeen aikana käytetyt mallit voidaan jakaa kuvassa esitettyä karkeammin neljään ryhmään:

- lähtötieto- ja vaatimusmallit
- suunnittelumallit
- tuotantomallit
- ylläpitomallit. (Jäväjä & Lehtoviita, 2016: 18.)

### 2.2.1 Tarveselvitys

Hankkeen tietomallinnusprosessi alkaa tarveselvitysvaiheessa. Tarveselvityksen aikana määritellään projektin tarpeellisuus, tavoitteet ja päämäärät. Projektinjohto huolehtii alustavan vaatimusmallin laatimisesta ja lähtötietomallintamisen hankkimisesta. Tilaaja luovuttaa palveluntuottajalle hankkeen lähtötiedot eli vaatimusmallin ja lähtötietomallin. Lähtötietomalli teetetään joko tarveselvitys- tai hankesuunnitteluvaiheessa. Tarveselvitysvaiheen tuloksena syntyy hankepäätös. (YTV osa 11, 2012: 8–9.)

#### Lähtötietomalli

Lähtötilanteen mallintaminen tarkoittaa uudiskohteessa tontin mallia. Tontin malli on vähintään kolmiulotteinen pintamalli, joka kuvaa rakennuspaikan ympäristöä kuten esimerkiksi pihaa ja liikennerakenteita ja jonka tiedot perustuvat joko mittauksiin tai kartta-aineistoihin. (YTV osa 1, 2012: 14.)

Korjausrakennuskohteissa lähtötilanteen mallia kutsutaan inventointimalliksi eli olemassa olevan rakennuksen tietomalliksi. Inventointimalli tehdään paikalla suoritettavien mittausten ja tutkimuksien mukaan. Tietoja täydentämään käytetään lisänä vanhoja piirustuksia ja muita dokumentteja. Esimerkiksi piilossa olevia rakenteita mallinnettaessa piirustukset ovat tärkeitä, koska mitattaessa nämä tiedot ovat jääneet saamatta. Tietomalliselostukseen dokumentoidaan, minkä lähtötiedon perusteella mallinnus on tehty ja mikä on mallin tarkkuustaso. (YTV osa 2, 2012: 7–9.)

## 2.2.2 Hankesuunnittelu

Hankesuunnitteluvaiheessa laaditaan hankesuunnitelma. Tilaaja laatii suunnitelman, jossa esitetään toiminnan, omistajan sekä kiinteistönpidon asettamat tavoitteet hankkeen suunnittelulle. Hankesuunnitelmassa tehdään riskianalyysi ja määritellään hankkeen toteutustapa sekä organisointi. (YTV osa 11, 2012: 9.)

Viimeistään hankesuunnitelmavaiheessa laaditaan vaatimusmalli. Lisäksi hankesuunnitteluvaiheessa käynnistetään arkkitehtisuunnittelu. Arkkitehti laatii alustavan tila- tai tilaryhmämallisuunnitelman, jolla voidaan havainnollistaa hanketta ja tehdä esimerkiksi mitoitustarkasteluja. Hankesuunnitteluvaiheen tuloksena syntyy investointipäätös. (YTV osa 11, 2012: 10.)

### Vaatimusmalli

Vaatimusmallilla tarkoitetaan tilaajan hankkeelle määrittämiä vaatimuksia sähköisessä muodossa. Vaatimuksien lisäksi vaatimusmallista käyvät ilmi tilaajan tavoitteet ja budjetti. Minimivaatimus vaatimusmallille on taulukkomuodossa oleva tilaohjelma, joka sisältää vähintään tilakohtaiset pinta-ala- ja erityisvaatimukset. Erityisvaatimukset voivat liittyä esimerkiksi tilan muotoihin, energiankulutukseen tai valaistukseen. (YTV osa 1, 2012: 12.)

Vaatimusmallista saadaan lähtötiedot rakennuksen suunnitteluun ja kustannuslaskentaan. Vaatimusmallia ylläpidetään koko hankkeen ajan sähköisessä muodossa, jotta suunnitelmia voidaan myöhemmin vertailla vaatimuksiin. Tarvesuunnitteluvaiheessa tietomallilla ei vielä välttämättä ole geometrista muotoa (YTV osa 1, 2012: 12). Tulevaisuudessa Excel-muotoiset vaatimusmallit kuitenkin todennäköisesti vähenevät, ja hankkeen vaatimukset esitetään esimerkiksi Graviconin Modelspace-ohjelmiston kaltaisen ratkaisun avulla kolmiulotteisessa mallissa (Wilska 2018).

### Tilamalli

Tilamalli sisältää tilat ja tiloja rajaavat seinät, lattian ja katon. Rakennus on jaettu tilaobjekteihin, joihin on liitetty tilan tunniste sekä käyttötarkoitus. Tilat jaetaan toiminnallisiin tiloihin, esimerkiksi toimistoiksi ja varastoiksi, käyttötarkoitusten mukaan, vaikka tila fyy-

sisesti olisikin yhtenäinen. Tilaohjelman mukaiset tilat eivät voi olla päällekkäin. Useimmiten tilamallit tehdään arkkitehtimallinnuksen yhteydessä ja niitä käytetään suunnittelun lisäksi esimerkiksi energiasimulointiin. Energiasimulointia varten pitää monesti seinien lisäksi mallintaa myös ikkuna-alueet yksinkertaistettuna. (YTV osa 3, 2012: 12.)

Suunnittelun alkuvaiheessa saatetaan simuloiteja varten tehdä tilamallia yksinkertaisempi tilaryhmämalli. Tilaryhmämalliin ei ole määritelty tiloja yhtä tarkasti kuin tilamalliin, vaan tilat on mallinnettu isoina kokonaisuuksina esimerkiksi kerroksittain tai käyttötarkoitusten mukaan. (YTV osa 3, 2012: 13.)

### 2.2.3 Ehdotussuunnittelu

Ehdotussuunnitteluvaiheen tavoitteena on laatia ehdotussuunnitelma. Tähän päästään tekemällä vaihtoehtoisia suunnitteluratkaisuja, jotka täyttävät aiemmin asetetut tavoitteet. Sopivaa ratkaisua haetaan erilaisilla arkkitehdin tekemillä tilamalleilla, joita verrataan vaatimusmalliin. Ehdotussuunnitteluvaiheessa laaditaan talotekniikan vaatimusmalli, ja lisäksi erityissuunnittelijat tutkivat mahdollisia rakenteeseen ja talotekniikkaan liittyviä ratkaisuja. Vaatimusmalli päivitetään tehtyjen päätösten mukaiseksi. Ehdotussuunnitteluvaiheen tuloksena syntyy ehdotussuunnitelman hyväksymispäätös. (YTV osa 11, 2012: 16–17.)

### 2.2.4 Luonnossuunnittelu

Luonnossuunnitteluvaiheessa kehitetään valittua ehdotussuunnitelmaa. Arkkitehti kehittää valittua tilamallia alustavaksi rakennusosamalliksi. Rakennesuunnittelija varmistaa rakennejärjestelmän mitoituksen ja vaatimukset sekä vaikutukset muiden suunnittelijoiden työhön. LVI- ja sähkösuunnittelijat tekevät suunnitelmiansa tilavarausmallit, joista näkyy pääkanaville ja -reiteille varatut tilat. (YTV osa 1: 15–16.)

### 2.2.5 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnitteluvaiheessa tietomallien tarkkuustasoa kehitetään, jotta malleja voidaan käyttää tarjouslaskentavaiheessa. Tässä vaiheessa arkkitehti kehittää rakennusosamallia entistä tarkemmaksi. Muut suunnittelijat laativat järjestelmämallit, joiden

pohjana käytetään arkkitehdin mallia. Suunnittelijoiden mallit kootaan tarkastelua varten yhteen tiedostoon yhdistelmämalliksi. Toteutussuunnitteluvaiheen tuloksena saadaan hyväksytyt toteutussuunnitelmat. (YTV osa 1, 2012: 17.)

#### Rakennusosa- ja järjestelmämallit

Rakennusosa- ja järjestelmämallit ovat suunnittelun keskeinen osa. Mallit sisältävät objekteja, joilla on geometria- ja ominaisuustiedot. Rakennusosamalleilla tarkoitetaan arkkitehdin mallia tiloista ja rakennusosista sekä rakennesuunnittelijan tekemää rakennemallia, joka sisältää esimerkiksi kantavat rakenteet. Rakennemallin osalta on sovittava erikseen, mitä ei-kantavia rakenteita ja muita oleellisia asioita mallinnetaan. Järjestelmämallit ovat eri talotekniikan järjestelmien tietomalleja. Näitä ovat LVI-suunnittelun, sähkö- ja telesuunnittelun sekä rakennusautomaatiosuunnittelun järjestelmämallit. (Jäväjä & Lehtoviita 2016: 20.)

Tietomallit tarkentuvat, ja niitä päivitetään suunnittelun edetessä. YTV 2012 määrittelee rakennus- ja järjestelmäosamallien tietosisältöjä ja tarkkuustasoja, ja näitä määritelmiä voidaan käyttää perusteena, kun tilaaja sopii suunnittelijoiden kanssa tarkemmin mallien tietosisällöstä sekä tarkkuustasosta. (Jäväjä & Lehtoviita 2016: 20.)

#### Yhdistelmämalli

Yhdistelmämallilla tarkoitetaan tietomallia, joka sisältää useamman kuin yhden suunnittelualan malleja. Toteutussuunnitteluvaiheessa yhdistelmämalliin lisätään hankkeen rakennusosa- ja järjestelmämallit eri suunnittelualojen välisten törmäysten etsimistä varten. Yhdistelmämalli sisältää käytännössä useimmiten arkkitehti-, rakenne-, LVI- sekä sähkömallit. (YTV osa 1, 2012: 18.)

Yhdistelmämallille tehdään törmäystarkasteluja, jotta nähdään, kuinka hyvin eri suunnittelualojen mallit toimivat yhdessä. Tietomallien tarkastamisen törmäystarkasteluineen suorittaa hankkeessa tietomallikoordinaattori. Tietomallikoordinaattori tekee tarkastuksessa todetuista virheistä ja törmäyksistä dokumentin suunnittelijoille, jotka muokkaavat malliaan huomautusten mukaisesti. (YTV osa 1, 2012: 18.)

### 2.2.6 Toteutuksen suunnittelu

Rakentamisen suunnitteluvaiheessa hankitaan urakoitsijat ja organisoidaan rakennustyöt. Urakoitsijalle luovutetaan käyttöön tietomallit IFC- ja natiivimuodossa (YTV osa 11, 2012: 20–21). IFC-muodolla tarkoitetaan rakennusalalla yleisesti käytössä olevaa standardia oliopohjaisen tiedon siirtämiseen eri suunnitteluohjelmien välillä. Natiivimuoto on suunnitteluohjelman oma tiedostomuoto, joka ei yleensä muissa ohjelmissa toimi. (YTV osa 12, 2012: 8–9.)

Kolmiulotteiset mallit helpottavat rakennukseen tutustumista ja rakennustöiden suunnittelua (YTV osa 11, 2012: 20–21). Tietomalleja voidaan hyödyntää myös työmaalla suunnittelussa ja rakentamisen aikana esimerkiksi rakentamisaikataulun, toteumatiedon ja työturvallisuusratkaisujen osalta (YTV osa 13, 2012: 10–16).

### 2.2.7 Luovutus

Rakennus rakennetaan valmiiksi tietomallien, asiakirjojen ja rakennustöiden aikana tarvittavaksi todettujen muutosten mukaisesti. Rakennuksen ohjausvaiheessa varmistetaan, että rakentamisen aikaiset tietomallinnustehtävät on suoritettu, toteutus on sopimuksenmukainen ja valmiudet käyttö- ja ylläpitovaiheeseen ovat olemassa. (YTV osa 11, 2012: 22.) Toteutuksen laatu voidaan varmistaa vertaamalla suunnitelmamalleja toteumatietoihin. Todetut eroavaisuudet suunnitelma- ja toteumatietojen välillä ovat lähtötieto toteumamallia varten. (Erkkilä 2015: 8.)

#### Toteumamalli

Kun suunnitteluvaiheen tietomallit päivitetään toteumaa vastaavaksi, on tuloksena toteumamalli (Jäväjä & Lehtoviita 2016: 20). YTV 2012:n mukaan on periaatteena, että suunnittelu on tilaajan vastuulla ja urakoitsija toimittaa toteumatiedot suunnittelijoille, jotka tekevät toteumamallit. Vaatimukset urakoitsijalle toteumatiedon toimittamisesta määritellään urakkatarjouspyynnössä.

Rakennuksen toteumatiedot saadaan kerättyä tällä hetkellä parhaiten laserkeilaamalla. Tämä vaatii urakoitsijalta sitoutumista, sillä toteumatiedot tulee saada kaikista piiloon



jäävistä järjestelmistä, eli mittauksia täytyy tehdä hankkeen aikana useita kertoja. Pistepilvidatan ja tulevaisuudessa esimerkiksi valokuva- tai videodatan keräämisen hyöty tiedon valtavan määrän lisäksi on myös tiedon luotettavuus. Esimerkiksi takymetrillä pisteitä mitattaessa täytyy luottaa siihen, että mittaaja on varmasti asemoinut takymetrin oikein ja pisteitä ei ole käsitelty urakoitsijan kannalta edulliseen suuntaan. Laserkeilaimella tuotetun pistepilvidatan manipuloiminen on huomattavasti vaikeampaa. (Wilska 2018.)

Toteumamallintamisen päätavoite ja -hyöty on talotekniikan ja rakenteiden sijainti- ja ominaisuustietojen dokumentoiminen. Tämä tieto on oleellista ylläpidon aikana tulevia huoltoja, korjauksia ja tilamuutoksia varten. Lisäksi sivuvaikutuksena rakentamisen laatu paranee, koska urakoitsija joutuu dokumentoimaan rakentamisen aiempaa kattavammin. Jos suunnitelmista on poikettu, on poikkeavien ratkaisujen syyt selvitettävä ja selitettävä. Laadunvalvonnan lisäksi toteumamallia varten voidaan suorittaa työmaavalvontaa asennetuista järjestelmistä esimerkiksi puhelimella otetuilla kuvilla. (Wilska 2018.)

On tärkeää, että toteumamallin tarkkuustaso määritellään tapauskohtaisesti. Toteumamallin aiheuttamat kustannukset ovat riippuvaisia siitä, kuinka tarkasti mittapoikkeamat siirretään malleihin. Toteumamalliin on usein järkevää päivittää vain käytön ja ylläpidon kannalta keskeiset poikkeamatiedot. (Erkkilä 2015: 8.)

### 2.2.8 Käyttöönotto

Käyttöönottovaiheessa varmistetaan, että kaikki järjestelmät toimivat ja lisäksi annetaan käytön opastus. Urakoitsija ja suunnittelijat luovuttavat tilaajalle luovutusasiakirjat. Luovutettavat mallit on päätetty suunnittelu- ja urakkasopimuksissa. Nykyään luovutettavat mallit sisältävät myös toteutuneen rakennuksen mallin eli toteumamallin. Käyttöönottovaiheen tuloksena syntyy käyttöönottopäätös. (YTV osa 11, 2012: 23.)

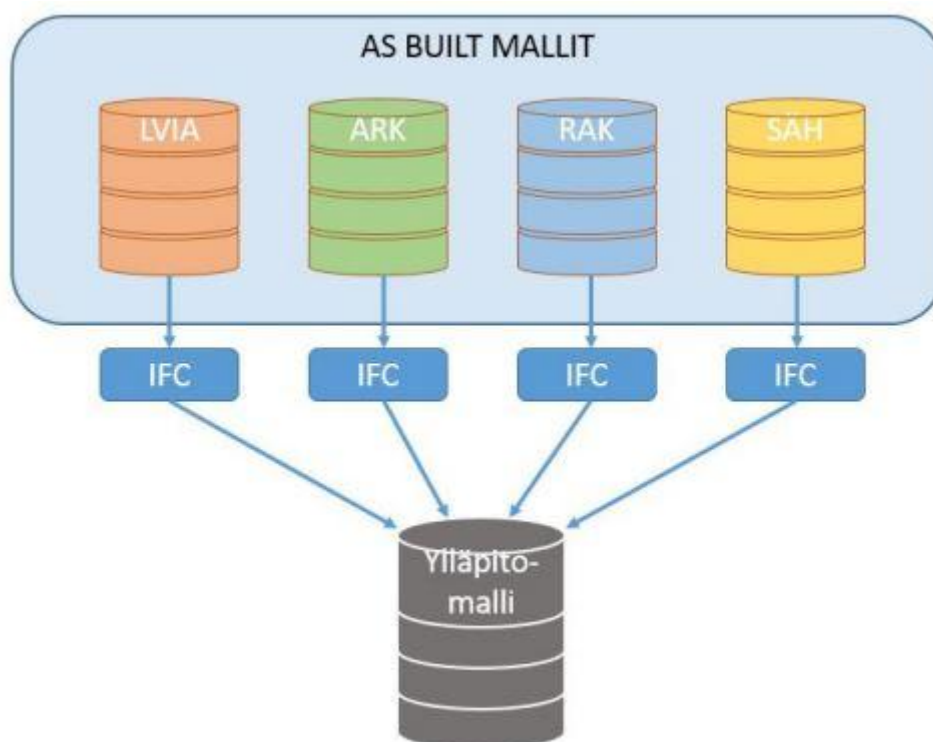
### 2.2.9 Käyttö-, hoito- ja ylläpitovaihe

Ylläpitovaiheessa huolehditaan tietomallien siirrosta ylläpidon aikaisiin järjestelmiin. Hankkeen aikana tuotetun tietomallit jäävät sopimusten mukaisesti tilaajan käytettäväksi. Tietomalliprosessin kannalta tärkeää olisi, että toteumamallia päivitetään käytön

aikana tehtyjen korjausten ja muutoksien mukaisesti. Näin mallit pysyvät ajantasaisina ja luotettavina lähtötietoina tulevaisuutta ajatellen. (YTV osa 11, 2012: 24.)

### Ylläpitomalli

Yksinkertaistettuna ylläpitomalli on yhdistelmämallien pohjalta tehty toteumamalli, jota päivitetään rakennukseen tehtyjen muutosten mukaisesti koko rakennuksen elinkaaren ajan. Malli sisältää rakennuksen käytön ja ylläpidon kannalta oleelliset järjestelmät, rakenteet ja laitteet. Kuvassa 2 havainnollistetaan, miltä pohjalta ja miten ylläpitomalli toteutetaan. (Halmetoja 2016: 19.)



Kuva 2. Ylläpitomalli muodostuu eri suunnittelualojen toteumamalleista (Halmetoja 2016).

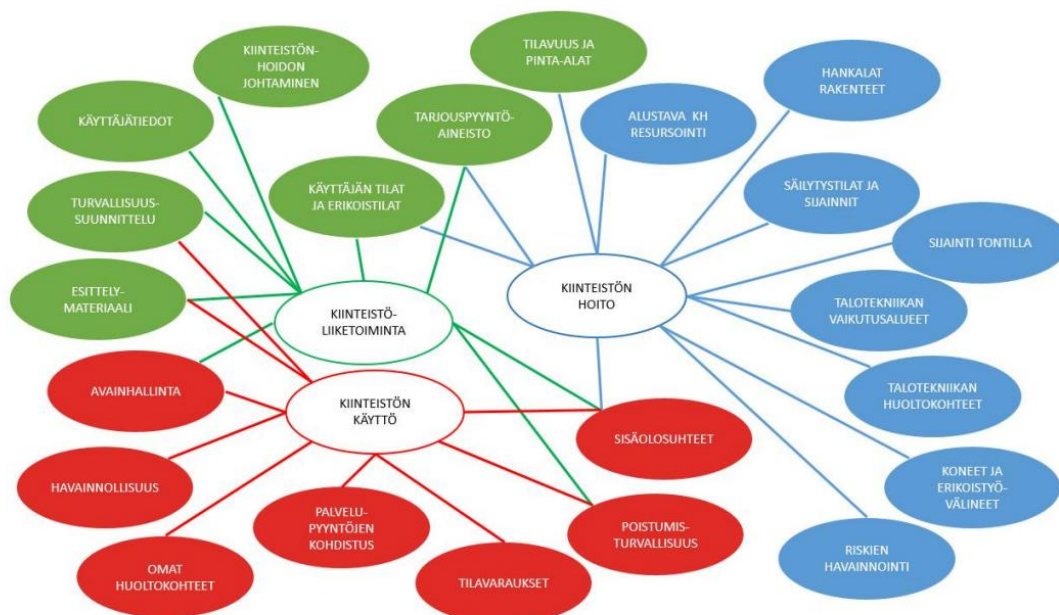
Ylläpitomalleja käytetään tällä hetkellä lähinnä tiedon hakemiseen ja visualisointiin. Kiinteistöhuollon tarpeisiin tämä ei riitä, vaan mallin tulisi sisältää paikannuspiirustuksissa vaadittavat tiedot ja tunnisteet, joilla laitteiden tiedot yhdistetään huoltokirjaan. Näin erillisiä piirustuksia ei enää tarvittaisi, vaan laitteiden paikantaminen onnistuisi mallin avulla. (Halmetoja 2016: 20.)

Tiedon tarve riippuu käyttäjäryhmästä. Tämän vuoksi ylläpitomallissa olisi järkevää olla eri tasoja eri käyttäjiä varten. Kiinteistönhoidon kannalta ylläpitomallin on tärkeää sisältää esimerkiksi tilatiedot, laitetiedot, teknisten järjestelmien vaikutusalueet, konekortit sekä järjestelmäkuvaukset. (Halmetoja 2016: 19–20.)

Ylläpitomallilla on monia käyttökohteita kiinteistön käytön ja ylläpidon kannalta. Tällaisia voivat olla

- visualisointi
- korjaustyön tai käyttömuutoksen suunnittelu
- työn suunnittelu ennen kohteeseen menemistä
- simulaatiot
- turvallisuus
- käyttäjän avustaminen. (Halmetoja 2016: 20–21.)

Kuvassa 3 on esitelty tarkemmin ylläpidon eri toimijoiden tarpeita ylläpitomallille.



Kuva 3. Ylläpidon prosessien tiedontarve (Halmetoja 2016).

Ylläpitomallin käytettävyyden kannalta on erittäin tärkeää, että malli on ajantasainen. Jotta ajantasaisuus olisi mahdollista, on ylläpitomallin pohjana käytettävän toteumamallin oltava paikkansa pitävä. Lisäksi ylläpitomallille tulisi laatia ylläpitomallin päivitysohje, jossa päivityksiin liittyvät tehtävät, vastuut ja ajankohdat on määritetty. (Halmetoja 2016: 20.)

### 3 Laserkeilaus

Laserkeilaamisella tarkoitetaan mittaustekniikkaa, jossa laserkeilain muodostaa ympäristöstään kolmiulotteisen pistepilven mittaamalla suuntia ja etäisyyksiä. Pistepilveä voidaan käyttää kohteen, esimerkiksi rakenteiden tai maaston, tutkimiseen, mittaamiseen ja mallintamiseen. Laserkeilaus on nopea ja tarkka tapa mitata ympäristöä; dataa saadaan lyhyessä ajassa paljon. (Laurila 2012: 271–272.)

Laserkeilaimet voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan:

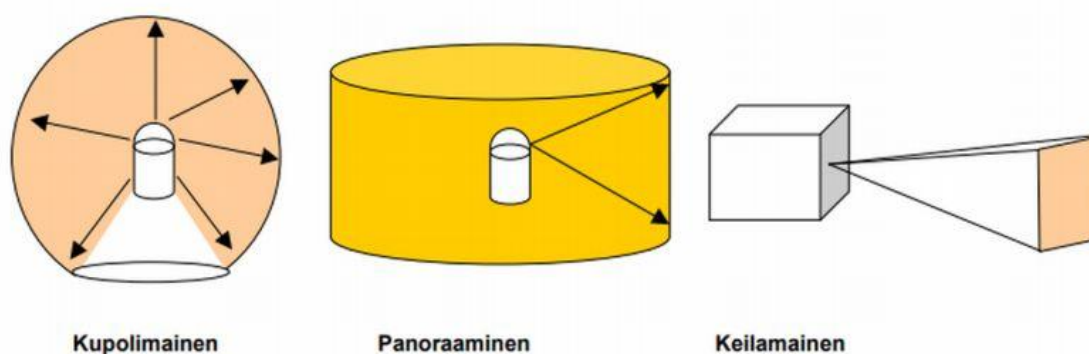
- ilmalaserkeilaimiin
- maalaserkeilaimiin
- teollisuuslaserkeilaimiin.

Ilmalaserkeilainta käytetään esimerkiksi lentokoneissa ja helikoptereissa laajoja alueita mitattaessa. Mittausetäisyys vaihtelee sadasta metrillä sataan kilometriin, ja mittaus-tarkkuus on useimmiten yli 10 senttimetriä. Maalaserkeilaimella mitataan nimensä mukaisesti maan tasosta useimmiten jalustan päältä. Mittausetäisyys on metrillä 300 metriin, ja mittaus-tarkkuus on alle 2 senttimetriä. Teollisuuslaserkeilaimet ovat laserkeilaimista tarkimpia, ja niillä mitataan pieniä kohteita alle 30 metrin etäisyydeltä. Mittaus-tarkkuus on jopa alle millimetri. (Joala 2006: 1.)

Pääluokista yleisimmin käytetty keilain on maalaserkeilain, ja sellaista käytettiin myös tämän insinööriyön mittausten tekemiseen. Maalaserkeilaimet voidaan jakaa mittaustavan mukaan neljään ryhmään:

- kupolimainen mittaustapa
- panoraamainen mittaustapa
- keilamainen mittaustapa
- optinen kolmiomittaus. (Joala 2006: 2–3.)

Kuvassa 4 esitellään piirroksien avulla, miten laserkeilaimet ympäristöään mittaavat.



Kuva 4. Maalaserkeilaimien toimintatavat (Joala 2006).

Useimmat maalaserkeilaimet perustuvat kupolimaiseen mittaustapaan. Kupolimaisessa mittaustavassa katvealue on pienin; mittaamatta jää vain pieni alue suoraan keilaimen alla. (Joala 2006: 2.)

Laserkeilain mittaa jokaiselle pisteelle koordinaatit joko vaihe-eromittauksena tai valon kulkuajan perusteella. Valon kulkuajasta perustuvaa laserkeilainta kutsutaan myös pulssikeilaimeksi. Pulssikeilain lähettää laserpulsseja, joiden lähtö- ja paluuhetken erotuksesta saadaan laskettua kohteen sijainti. Vaihe-eroon perustuva keilain taas lähettää jatkuvaa signaalia usealla eri kantoaaltopituudella. Signaali heijastuu takaisin mitattavasta kohteesta, ja lähetetyn ja vastaanotetun signaalin vaihe-ero mitataan. (Kukko 2005: 6–8.)

### 3.1 Laserkeilauksen prosessi

Laserkeilausprosessi pitää sisällään kuusi vaihetta. Itse laserkeilaamisen lisäksi prosessiin kuuluu myös työn suunnittelu, pistepilvien käsittely sekä mallintaminen. Kuvassa 1 on esitelty prosessin vaiheet pääpiirteittäin. Kuvan lähteenä on käytetty Pauli Ahosen insinööriyössä esiteltyä prosessikaaviota, mutta sitä on päivitetty joidenkin kohtien osalta vastaamaan tämänhetkistä tapaa suorittaa laserkeilauksen työvaiheet. Ahosen versiossa esimerkiksi pistepilvien jälkikäsittelyllä tarkoitettiin pitkälti geometrinen mallintamista sekä piirustuksien tekemistä. Seuraavaksi esiteltävät laserkeilausprosessin vaiheet on kuvattu rakennuksien mittauksen näkökulmasta.

## Laserkeilausprosessi



Kuva 5. Laserkeilauksen prosessi.

### 3.1.1 Suunnittelu ja kenttätyöt

Prosessi alkaa kohteen ja työn arvioimisesta. Tilaajan kanssa keskustellaan halutusta lopputuotteesta; käyttötarkoituksesta, laatu- ja tarkkuusvaatimuksista sekä aineiston formaatista. Kun nämä seikat ovat selvillä, voidaan aloittaa mitausten tekemisen suunnittelu ja päättää esimerkiksi likimääräiset sijainnit keilausten asemapisteen sijainneille. Keilauspaikkojen tiheys on riippuvainen pistepilvien rekisteröintimenetelmästä, joten menetelmä täytyy päättää jo suunnitteluvaiheessa. (Joala 2006: 5.) Eri rekisteröintimenetelmistä kerrotaan seuraavassa luvussa 3.1.2. Pistepilvien käsittely.

Kenttätyö sisältää tähyksien sijoittamisen, takymetrimittaukset ja laserkeilaamisen (Joala 2006: 6). Valitusta rekisteröintimenetelmästä riippuen tähyksiä on joko muutamia koko keilattavalla alueella tai vähintään kolme jokaisessa keilauksessa. Lisäksi vaihtoehtona on mitata ja rekisteröidä näitä menetelmiä yhdistellen. Mitä vähemmän ja harvemmin

keilauksia mitattavasta kohteesta tehdään, sitä enemmän joudutaan tähyksiä takymetrillä mittaamaan. Harvaan keilatussa pistepilvimateriaalissa yhteisiä pintoja ja tähyksiä on vähemmän, ja tämän vuoksi pistepilvet on yhdistettävä toisiinsa pelkkien koordinaattitietojen perusteella. (Wilska 2017.)

### 3.1.2 Pistepilvien rekisteröinti ja jälkikäsitteily

Laserkeilausprosessin vaiheet 3–4 liittyvät pistepilvien rekisteröintiin ja käsittelyyn. Käsittely tarkoitti insinöörin käytännön osuudessa lähinnä tiedostomuotojen muuntamista, joten käsittelyä ei tässä käydä läpi enempää.

Kenttätöiden jälkeen pistepilvet rekisteröidään eli pilvet asetetaan koordinaatistoon ja yhdistetään toisiinsa. Rekisteröinti voidaan suorittaa eri tavoin tähyksiä käyttämällä tai visuaalisesti. Kuten edellä on mainittu, päätös käytettävästä rekisteröintimenetelmästä tulee tehdä jo laserkeilausten suunnitteluvaiheessa.

#### Tähysrekisteröinti

Tähysrekisteröinti on manuaalinen, pelkästään tähyksistä riippuvainen rekisteröintitapa. Tällä tavalla rekisteröidessä jokaiselle asemapisteele täytyy näkyä vähintään kolme keilaimen eri puolille ja eri korkeuksille sijoitettua tähystä. Tähyksillä rekisteröitäessä voidaan pistepilvet yhdistää joko yhteisten tähyksien perusteella, tai mittaamalla jokaiselle tähykselle koordinaatit takymetrillä ja yhdistämällä pistepilvet koordinaattien perusteella. (Wilska 2018.)

Jos pistepilvet yhdistetään yhteisten tähyksien perusteella, on huolehdittava, että yhteisiä tähyksiä on jokaisessa keilauksessa riittävästi. Tämä tarkoittaa sitä, että keilauksia on tehtävä tarpeeksi tiheästi, jotta esimerkiksi huone ja käytävä saadaan yhdistettyä varmasti. Jos pistepilvi halutaan koordinaatistoon, on osalle tähyksistä mitattava koordinaatit. Menetelmän ongelmana on käytännössä todettu olevan hitaus ja toimimattomuus käytössä olevissa rakennuksissa. (Wilska 2018.)

Helsingin kaupungin tietomallinnustiimi yhdistää pistepilvet toisiinsa useimmiten niin, että jokaiselle tähykselle mitataan takymetrillä koordinaatit. Näin tehdään siksi, että suu-



rissa ja käytössä olevissa rakennuksissa ei ole mahdollista käyttää aikaa tähyksien paikkojen tarkkaan suunnitteluun, eikä tähyksiä voi jättää seinille useiksi päiviksi. Menetelmän etuna on, että mittaaminen vaatii vähemmän aikaa, jos mittaajia on vähintään kaksi (toinen keilaa ja toinen mittaa takymetrillä), eikä keilauksia tarvitse tehdä yhtä tiheästi kuin yhteisten tähyksien avulla yhdistettäessä. Lisäksi rekisteröitäessä saatetaan huomata tarve lisäkeilauksille, jolloin on tärkeää, että yhdistäminen ei vaadi pistepilville yhteisiä tähyksiä. Menetelmä on käytössä todettu toimivammaksi yhteisiin tähyksiin perustuvaan menetelmään verrattuna tietomallinnustiimin tyypillisimmissä kohteissa, jollaisia ovat esimerkiksi koulut, mutta siirtymä visuaalisen rekisteröinnin suuntaan on käynnissä. (Wilska 2018.)

Jos rakennuksen pistepilvien rekisteröinti suoritetaan tähyksillä, saatetaan törmätä muutamisiin ongelmiin. Tähyksirekisteröinnissä koordinaattien perusteella rekisteröitäessä saattaa suuria tiloja, esimerkiksi liikuntasaleja, keilattaessa syntyä kaksinkertaisia pintoja. Tällaisissa tilanteissa tähykset ovat usein joltain suunnalta liian lähellä keilainta ja aiheuttavat kauempien seinien näkymisen kaksinkertaisina. Mittaajalle saattaa olla hankalaa todeta, milloin tähykset ovat liian lähellä keilainta ja virhemahdollisuus on suuri. (Wilska 2018.)

Tähyksirekisteröinnissä koordinaattien perusteella yhdistettäessä luotetaan siihen, että mittaukset on suoritettu tarkasti ja oikein ja että mittaaja on asettanut tähykset sopiviin kulmiin ja etäisyyksiin keilaimeen nähden. Helsingin kaupungin tietomallinnustiimi vie takymetrillä mitattaessa rakennukseen ensin koordinaattijonon, joka täytyy sulkea. Kun keilaukset aloitetaan, takymetriä viedään rakennuksessa jonon avulla sopiviin kohtiin, josta tähykset mitataan. Kun keilattavan kohdan tähykset on mitattu, tulisi takymetri kääntää merkintämittauksella tunnettuun pisteeseen. Tämä on työlästä ja aikaa vievää, ja saattaa helposti jäädä mittaajalta tekemättä, jolloin virhekontrolli heikkenee. Rekisteröidessä usein huomataan, että osa tähyksistä ei olekaan käyttökelpoisia, ja rekisteröinti joudutaan tekemään pienemmällä tähysmäärällä, kuin alun perin oli tarkoitus. Syitä virheellisille tähyksille ovat mitattaessa tapahtuneet virheet ja tähyksien heikko näkyvyys keilauksessa. Hyväksyttävien tähyksien aiottua vähäisempi määrä pistepilviä rekisteröitäessä nostaa rekisteröinnin epäonnistumisriskiä huomattavasti. (Wilska 2018.)

## Visuaalinen rekisteröinti

Visuaalinen rekisteröinti nojaa rekisteröintiohjelman kykyyn tunnistaa pistepilvistä yhtäläiset pinnat ja muodot. Tällöin pistepilviä ei yhdistetä toisiinsa tähyksillä, vaan rakennuksen pintojen perusteella. Tähyksiä tarvitaan muutamia ympäri rakennusta, jotta kohde saadaan koordinaatistoon. Helpoiten virheitä syntyy rakennuksen nivelkohdissa. Tällaisia kohtia ovat esimerkiksi pitkänmallisessa rakennuksessa kaksi käytävää yhdistävä ovi tai L-muotoisen rakennuksen taitekohta. Tällaisissa kohdissa on järkevää asettaa alueelle useampia tähyksiä niin, että voidaan varmistua pistepilvien koordinaatistossa pysymisestä myös taitekohdan osalta. Varmimmin visuaalinen rekisteröinti onnistuu silloin, kun vierekkäisissä keilauksissa näkyy runsaasti yhteisiä pintoja. Erityisesti molemmissa keilauksissa näkyvät yhteiset kulmat ovat tärkeitä. (Wilska 2018.)

Mittauksia tehdessä rekisteröintivalinnalla on merkitystä keilausasemapisteiden tiheyteen ja tähyksien määrään. Huoneesta toiseen siirryttäessä visuaalista rekisteröintiä käytettäessä tulee usein yksi ylimääräisen keilaus tähyksirekisteröintiin verrattuna. Jotta visuaalisessa rekisteröinnissä saadaan tarpeeksi vastinpisteitä, on kahden huoneen välistä otettava yksi keilaus oviaukosta tai läheltä oviaukkoa, jotta pistepilvet varmasti yhdistyvät oikein. Keilauksia tulee siis enemmän, mutta toisaalta pistepilvimateriaaliin saattaa jäädä välillä aukkoja, jos keilauksia yritetään tehdä mahdollisimman vähän. Visuaalisessa rekisteröinnissä tämä riski pienenee. (Wilska 2018.)

Visuaalisessa rekisteröinnissä virheitä tapahtuu todennäköisimmin silloin, kuin keilauksia ei ole tehty tarpeeksi tiheästi. Jos näin on, rekisteröintiohjelma ei enää varsinkaan kapeilla käytävillä tai huoneesta toiseen siirryttäessä löydä tarpeeksi vastinpisteitä, ja yhteiset pinnat täytyy valita rekisteröinnin aikana manuaalisesti. Näin tehtäessä ohjelma saattaa löytää oikeat pinnat, mutta riski sille, että rekisteröijä ei huomaa ohjelman tekemää pientä virhettä, on huomattava. Tämän vuoksi onkin tärkeää tarkastella pistepilvien päällekkäisyyttä tarkasti ongelmatilanteissa ja kokeilla vastinpisteiden asettelua eri kohtiin, jotta pistepilvet varmasti yhdistyvät oikein. (Wilska 2018.)

Rakennusta mitattaessa visuaalinen rekisteröinti sopiviin paikkoihin asetelluilla tähyksillä on todettu Helsingin kaupungin hankkeissa sekä tämän insinööriyön aikana toimivammaksi menetelmäksi tähyksirekisteröintiin verrattuna, koska mittajaan tekemien virheiden riski on matalampi ja rekisteröintiohjelma löytää toisiaan vastaavat pinnat erittäin hyvin,

kunhan keilauksia on tarpeeksi tiheästi ja yhteisiä pintoja on tarpeeksi. Erityisesti to-  
teumamallia varten mitattaessa, kun rakennus on aluksi yhtä isoa tilaa ilman väliseiniä,  
visuaalinen rekisteröinti on nopeampi ja käyttöön sopivampi vaihtoehto kuin tähysrekis-  
teröinti. Ulkona kasvillisuus, ihmiset ja autot aiheuttavat pistepilviin jonkin verran eroja,  
joten rekisteröintiohjelma saattaa antaa rekisteröinnille huonomman onnistumisprosen-  
tin sisätiloihin verrattuna. Tämä ei kuitenkaan suoraan tarkoita, että rekisteröinti olisi epä-  
onnistunut, vaan tulee ottaa huomioon rekisteröintiraporttia tarkasteltaessa. (Wilska  
2018.)

### 3.1.3 Pistepilvien jatkokäyttö ja arkistointi

Kun rekisteröinti on suoritettu, alkaa pistepilven jälkikäsitteily ja jatkokäyttö. Pistepilviä  
saatetaan rekisteröimisen jälkeen muokata sopivammiksi esimerkiksi harventamalla pis-  
tetiheyttä tai siivoamalla pois turhia pisteitä. Rekisteröintiohjelman tuottamasta tiedosto-  
muodosta muunnetaan suunnitteluohjelmissa käytettävät tiedostomuodot. Tällaisia ovat  
esimerkiksi E57- ja PTS-tiedostomuodot.

Pistepilven jatkokäyttöön kuuluu pistepilven siirtäminen suunnitteluohjelmiin sekä tieto-  
mallintaminen. Lopuksi mallit ja pistepilvet arkistoidaan ja niihin saatetaan liittää meta-  
dataa. Metadatalle tarkoitetaan tietoja pistepilvistä, tällaista dataa on esimerkiksi se,  
kuka on mitannut ja milloin, mitä laitteistoa on käytetty tai mikä kohde on kyseessä. (Aho-  
nen 2015: 17–18.)

## 3.2 Laatuun vaikuttavat tekijät

Laserkeilauksen laatuun vaikuttavia tekijöitä on kolme:

- yksittäisen pisteen laatu
- pistepilven tiheys
- pistepilvien yhdistämisen laatu.

Yksittäisten pisteiden laatuun vaikuttavat mittausetäisyys, mitattavan kohteen kaarevuus-  
det ja kallistuskulmat sekä kohteen materiaali. Pitkällä mittausmatkalla laserkeilaimeen  
palaava signaali heikkenee. Näin tapahtuu myös kaarevia pintoja mitattaessa; signaali ei

palaudu laserkeilaimen samalla luotettavuudella kuin tasaista kohdetta mitattaessa. Erilaiset pinnat ja materiaalit vaikuttavat paluusignaaliin eri tavoin. Esimerkiksi betoni-seinä ja teräs palauttavat mittasignaalit hyvinkin eri tavoin. Laserkeilain mittaa jokaiselle pisteelle intensiteettiarvon, joka tarkoittaa takaisin tulevan signaalin voimakkuutta. Erilaiset tekstuurit voidaan erottaa, koska eri intensiteettiarvot antavat pisteille erilaisen väri-tai sävyeron. (Joala 2006: 3.)

Pistepilvi on sitä tarkempi, mitä tiheämpi se on. Vaatimus tälle tietenkin on, että yksittäisten pisteiden laatuun voidaan luottaa. Pistepilviä käytetään usein mallintamisen lähtötietona, ja tiheydeltään harva pistepilvi saattaa johtaa virheelliseen malliin. Kovin pitkiä etäisyyksiä laserkeilaimella ei kannata mitata, sillä mitä kauempana mitattava kohde on, sitä harvemmalla tiheydellä kohde tulee mitatuksi. (Joala 2006: 3.)

Useimmiten yksi laserkeilaus mitattavasta kohteesta ei riitä, vaan mittauksia tarvitaan useampia. Tällöin pistepilvet täytyy yhdistää toisiinsa. Laserkeilauksen laatuun vaikuttaa se, kuinka hyvin pistepilvet toisiinsa yhdistyvät. Pistepilvien yhdistämiseen liittyvät riskit on esitelty luvussa 3.1.2.

Nämä kolme esitelty tekijää ovat osittain riippuvaisia mittaajasta, mutta myös laserkeilaimen ominaisuuksilla on suuri vaikutus laatuun. Laserkeilaimissa on eroja esimerkiksi mitattujen pisteiden tiheyden suhteen. Usein laserkeilaimissa voi valita, kuinka tiheän pistepilven haluaa mitata. Ennen mittausten aloitusta on syytä pohtia hankkeen vaatimusten kannalta sopivin pistetiheys, sillä mitä tiheämpiä pistepilviä tuotetaan, sitä kauemmin keilauksiin kuluu aikaa. Lisäksi pistepilvitiedostojen koko on sitä suurempi, mitä tiheämpi pilvi on. (Wilska 2018.)

### 3.3 Laserkeilauksen edut ja haasteet

Mittausmenetelmänä laserkeilauksen suurimpia etuja ovat nopeus ja tarkkuus. Millään muulla menetelmällä ei saada yhtä paljon mittatarkkaa dataa lyhyessä ajassa. Minuuttissa laserkeilain voi mitata jopa miljoonia pisteitä. Datan määrä onkin laserkeilauksen etu, mutta samalla myös haaste. Pistepilvet ovat raskaita käsitellä suuren tiedostoko-

konsa vuoksi ja vaativat tietokoneelta hyvää suorituskykyä. Varsinkin suurempien alueiden ja rakennusten pistepilvien käsittely rekisteröintiohjelmistolla saattaa olla hidasta ja kömpelöä valtavien tiedostokokojen vuoksi. (Wilska 2017.)

Mittausten kustannuksien osalta laserkeilaus saattaa olla edullinen vaihtoehto nopeutensa vuoksi. Mittauksiin kuluu suhteessa muihin menetelmiin vähän aikaa, ja joissain tapauksissa mittaajia tarvitaan vain yksi. Kustannuksien osalta suurin ongelma on laserkeilaimen hinta. Kymmeniä tuhansia maksavan laserkeilaimen ostaminen on monelle pienelle yritykselle liian kallis sijoitus. Tämä tilanne näyttäisi kuitenkin olevan muuttumassa, sillä Leica julkaisi vuonna 2017 uuden BLK360-keilaimen, joka maksaa tällä hetkellä noin 15 000 euroa. BLK360 on myös huomattavasti pienempi kuin vanhemman polven keilaimet; painoa sillä on vain kilo (Leica BLK360 Product Specifications 2017). Ero on iso esimerkiksi tämän insinööriyön pilottiprojektissa käytössä olleeseen Leica HDS6200:aan, joka painaa 14 kilogrammaa (Leica HDS6200 2010).

Kaluston määrä on erityisesti ahtaissa tiloissa haaste, jos pistepilvien yhdistämiseen käytetään tähyksiä ja kaikki tähykset mitataan takymetrillä. Esimerkiksi käytössä olevaa sairaalaa mitatessa on tärkeää, että mittaukset aiheuttavat mahdollisimman vähän häiriötä ja ovat ohi nopeasti, ja suurella kalustomäärällä tämä voi olla hankalaa. Kalustomäärään on mahdollista vaikuttaa tekemällä pistepilvien rekisteröinti vain muutamien tähyksien avulla. Näin takymetriä ei tarvitse pitää mukana koko mittausurakan ajan. (Wilska 2017.)

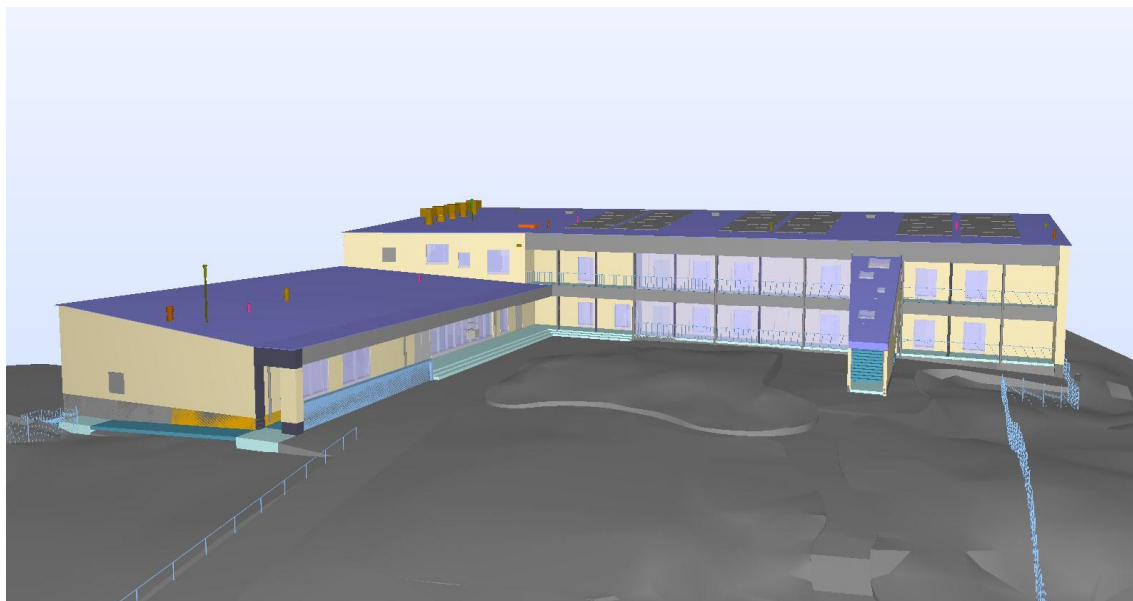
Menetelmänä laserkeilaus on turvallinen ja mahdollistaa mitausten tekemisen myös haastavissa olosuhteissa. Valon määrä ei vaikuta laserkeilauksen laatuun, mutta vesi, lumi sekä pöly vaikuttavat muuttamalla lasersäteiden ratoja (Rajala 2009: 451). Lisäksi on huomioitava ihmisten ja ajoneuvojen kulku keilattavalla alueella. Erityisesti tähyksiä käytettäessä on tärkeää, ettei kukaan tai mikään kulje tähyksen edestä silloin, kun keilausektori osoittaa tähystä kohti. Luotettavan pistepilven tuottamista varten on siis suoritettava keilaukset niin, että lasersäteiden kulkuun vaikuttavat häiriöt olisivat mahdollisimman pienet. (Ahonen 2015: 18.)

#### 4 Pilottihanke: LPK Yliskylä

Insinööriyön käytännön mittaukset pilotoitiin lasten päiväkoti Yliskylän työmaalla Helsingin Laajasalossa. Päiväkoti sopi Toteumamallista ylläpitomalliin -kehityshanketta varten tehtäviä laserkeilauksia varten hyvin, sillä se on Helsingin kaupungin oma uudisrakennushanke ja rakennuksena sopivan kokoinen. Kaksikerroksiseen päiväkotiin on suunniteltu tilapaikkoja noin 232, ja rakennuksen bruttopinta-ala on 2 513 m<sup>2</sup>. Uusi päiväkoti rakennetaan vanhan, purettavan päiväkodin viereen samalle tontille. Päiväkodin hankesuunnittelu alkoi maaliskuussa 2015, ja toteutus aloitettiin huhtikuussa 2017.

Mittaukset työmaalla aloitettiin lokakuussa. Mittauksia tehtiin noin kerran viikossa helmikuuhun asti lukuun ottamatta joulukuun loppua ja tammikuun alkua. Valmiin rakennuksen mittauksia ei insinööriyön aikana ehditty tehdä, koska rakennus valmistui huhtikuun lopussa.

Kuvassa 6 on Solibrista otettu kuvakaappaus uudesta lasten päiväkoti Yliskylästä arkkitehdin tietomallista.



Kuva 6. LPK Yliskylän tietomalli

#### 4.1 Aikataulujen suunnitleminen ja yhteydenpito työmaan kanssa

Alustava aikataulu mittauksille suunniteltiin työmaan yleisaikataulun mukaan. Yhteyttä työmaahan pidettiin suurimmaksi osaksi käymällä työmaalla ja tiedustelemalla aikatauluista paikan päällä. Lisäksi yhteyttä pidettiin ajoittain sähköpostilla ja puhelimitse.

Rakennuksen toteumatietoa tuotettaessa tärkeintä on kartoittaa talotekniikan reitit kattavasti, koska suunnitelmien ja toteuman välisiä eroja esiintyy usein eniten talotekniikassa. Tärkeitä työvaiheita ovat lattialämmitysten, vesijohtojen sekä ilmanvaihtokanavien ja ilmanvaihtokoneiden asennukset. Mittausten kannalta kriittisimpiä ajankohtia olivat lattioiden valupäivät ja alakattotöidentekoviikot. Lisäksi IV-kanavat peittivät vesijohdot useissa paikoissa, joten oli tärkeää saada pistepilvidata vesijohtojen osalta ennen IV-kanavien asennustöitä. Rakenteet saadaan keilattua helposti samalla, kun talotekniikkaa mitataan.

Ajankäytöllisesti järkevintä olisi, että työmaalta tulisi mittaajalle tieto siitä, milloin esimerkiksi valupäivät ovat. Näin saadaan kerralla mitattua enemmän valmiita osia, eikä työmaalla tarvitse käydä usein. Pilottihankkeessa työmaalla käytiin kerran tai kaksi viikossa, useimmiten kerran tarkastamassa, miten työmaalla on edetty ja mitä mitattavaa on, ja kerran suorittamassa mittauksia. Esimerkiksi vesiputkia mitattiin useaan otteeseen, vaikka järkevintä olisi odottaa, että putket on asennettu valmiiksi ennen IV-kanavien asennusta, ja mitata kaikki putket, niin että keilauskertoja kertyy mahdollisimman vähän.

#### 4.2 Työvälineet ja ohjelmistot

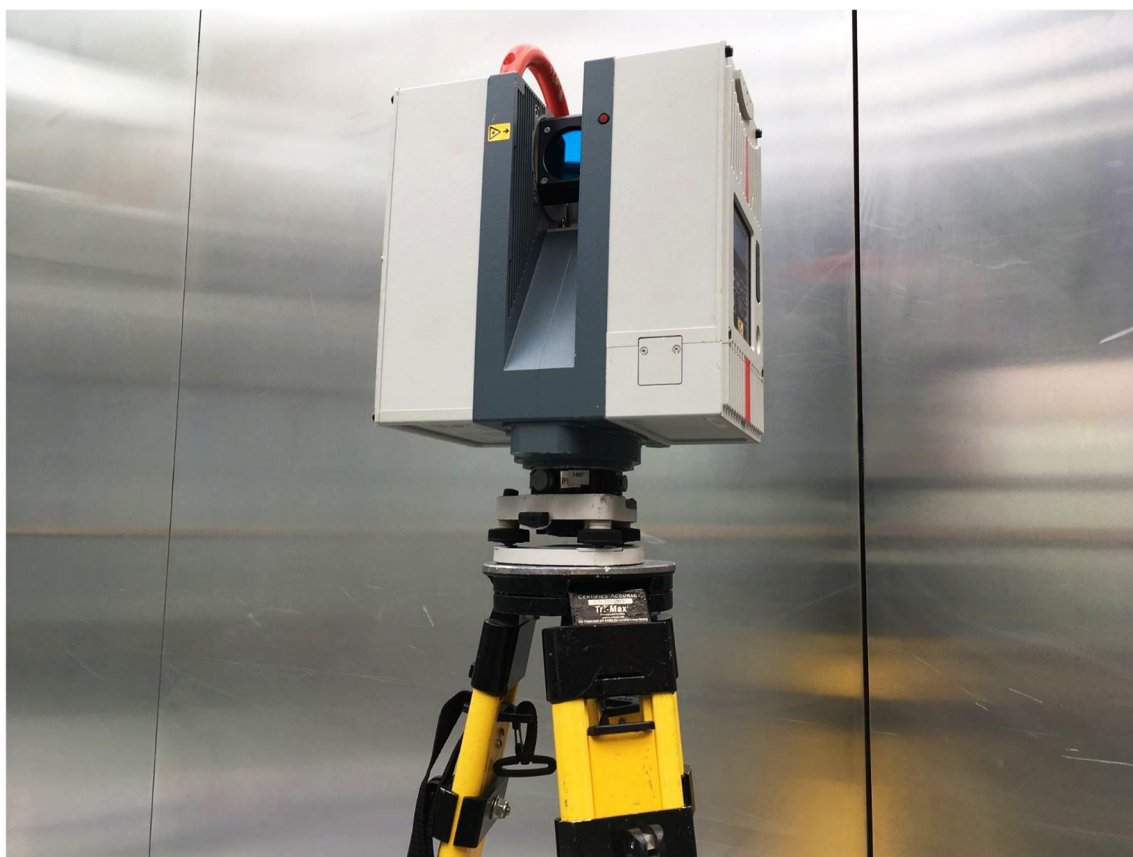
Insinööriyössä käytettiin Helsingin kaupungin Kaupunkiympäristön toimialan Rakennusten ja yleisten alueiden Tilapalveluiden tietomallinnustiimin kalustoa sekä ohjelmistolienssejä.

##### 4.2.1 Laserkeilain Leica HDS6200

Laserkeilaukseen käytettiin Leica HDS6200 -laserkeilainta, joka mittaa pisteitä vaiheeron perusteella ja täydellä näkökentällä. Akun kanssa keilain painaa 14 kg. Jalustaa keilauksissa käytettiin vain silloin, kun jalustasta oli selkeää hyötyä. Muutoin keilaukset

suoritettiin lattialta pakkokeskisen päältä. Keilaimessa on kuusi eri resoluutiovaihtoehtoa tuotettavalle pistepilvälle. Heikoimmalla resoluutiolla keilattaessa yksi skannaus kestää 25 sekuntia, kun taas korkeimmalla kesto on 26 min 40 s. Keskimmaisella vaihtoehdolla eli korkealla pistetiheydellä (pisteiden väli kymmenen metrin etäisyydellä 6,3 mm x 6,3 mm) keilattaessa yksi keilaus kestää 3 min 22 s. Tämä pistetiheys oli projektin kannalta riittävä, ja keilausaika pysyi kohtuullisena. (Leica Geosystems AG 2010.)

Kuvassa 7 on Leican HDS6200-laserkeilain, jolla mittaukset insinööriyössä tehtiin.



Kuva 7. Leica HDS6200.

#### 4.2.2 Autodesk ReCap Pro

Autodeskin ReCap Pro on pistepilvien käsittelyyn ja rekisteröimiseen tarkoitettu ohjelmisto. Vastaavan kaltaisia ohjelmistoja on useita, esimerkiksi Leica Cyclone ja Trimble RealWorks. ReCap-ohjelmalla voidaan rekisteröidä pistepilviä joko tähyksien tai pintojen



avulla. Erityisesti ilman tähyksiä rekisteröiminen on helppoa ja melko nopeaa tietokoneen suorituskyvystä riippuen. Näiden ominaisuuksien vuoksi ReCap-ohjelmaa käytettiin insinööriyössä pistepilvien rekisteröimiseen.

#### 4.2.3 Solibri Model Viewer

Solibri Model Viewer on ilmainen ohjelma, joka on kehitetty lähinnä Solibri Model Checker -ohjelmalla tehtyjen yhdistelmämallien tarkastelua varten. Model Checker -ohjelma on maksullinen ja yhdistelmämallien lisäksi sillä voidaan ottaa informaatiota talteen sekä tehdä tietomallitarkastuksia. Käyttöliittymä on molemmissa ohjelmissa samanlainen, mutta Model Viewer -ohjelmassa osa välilehtien toiminnoista ei ole käytössä. Model Viewer lukee IFC-, SMC- sekä 3D-DWG-tiedostoja. (Jävämä & Lehtoviita 2016: 44.)

Pilottiprojektissa Solibri Model Viewer -ohjelmaa käytettiin mallin tarkastelun lisäksi laserkeilauspaikkojen ja laserkeilausaikataulujen suunnitteluun sekä koordinaattitietojen lähteenä. Koska työmaalla ei mitattu takymetrillä, rekisteröintivaiheessa koordinaattitiedot pistepilville otettiin tietomallista.

#### 4.2.4 Tekla Field3D

Työmaalla oli projektin aikana käytössä iPad-tabletti, johon oli asennettu Tekla Field3D. Tekla Field3D:llä voidaan tarkastella tietomalleja leikkaus- ja mittaustyökaluilla, ottaa valokuvia sekä kuvakaappauksia ja lähettää huomautuksia suunnittelijoille työmaalta käsin (Jävämä & Lehtoviita 2016: 46).

Pilottiprojektissa ohjelmaa käytettiin vain tietomallin tarkasteluun. Sovellus vähensi turhien keilausten määrää, kun työmaalla pystyi tarkastamaan mallista, onko esimerkiksi jonkin huoneen IV-kanavat asennettu kokonaan, vai puuttuuko osa kanavista. Tablettiin oli ladattu myös ReCap Pro, jolla pystyi tarkastelemaan pilvipalveluun siirrettyjä rekisteröityjä pistepilviä. Näin tabletilla oli helppo tarkastaa, oliko jokin osa rakennuksesta jo keilattu ja oliko kohtaan tullut uutta talotekniikkaa, joka pitäisi mitata.

#### 4.2.5 Autodesk Navisworks

Autodeskin Navisworks on projektintarkasteluohjelmisto, jolla voidaan tehdä Solibrin tavoin yhdistelmämalleja ja tarkastaa tietomalleja. Suurin ero Solibriin on kyky lukea IFC-tiedostojen lisäksi pistepilviaineistoja. Näin ollen Navisworks-ohjelmalla voidaan tarkastella pistepilvien ja tietomallien eroja. (Autodesk Navisworks 2018.)

Insinööriyössä tarkasteluun ei käytetty Navisworksin automaattisia tarkastusparametreja, vaan tarkastus suoritettiin manuaalisesti, koska parametrit eivät tuntuneet toimivan kunnolla pistepilven ja mallin välisessä tarkastuksessa.

#### 4.3 Mittausten suorittaminen

Mittauksia suoritettiin projektin aikana lokakuusta helmikuuhun noin kerran viikossa. Suurin osa laserkeilauksista tehtiin ilman kolmijalkaa asettamalla keilain suoraan lattialle. Kolmijalan asetteluun sekä keilaimen nosteluun ja ylimääräiseen liikutteluun ei näin kulunut aikaa. Kolmijalkaa käytettiin vain tilanteissa, joissa olosuhteet alustaa vaativat, ja jalustasta oli selvää hyötyä. Esimerkiksi lattialämmitysputket näkyvät huomattavasti paremmin keilaimen ollessa jalkojen päällä, eikä putkia ole mahdollista keilata kokonaan ilman jalustaa.

Keilausten asemapaikkojen välimatkat olivat melko lyhyitä, koska pistepilvet yhdistettiin toisiinsa ilman tähyksiä. Vaikka keilauksia täytyi tehdä enemmän kuin silloin, kun pistepilvet yhdistetään tähyksien avulla, oli tapa luultavasti nopeampi, koska takymetrimittauksia ei tarvinnut tehdä. Lisäksi näin toimittaessa objektit mitattiin useasta kulmasta ja saatiin varmemmin tarpeeksi dataa esimerkiksi IV-kanavista.

Rakennuksen keilauskohteet voidaan jakaa pilotin perusteella viiteen ryhmään:

- rakenteet
- lattialämmitysputket
- lämmitys-, käyttövesi- ja viemäriputket
- ilmanvaihtokanavat ja -koneet
- valmis rakennus kalusteineen.

Yllämainitut ryhmät oli järkevintä keilata omina kokonaisuuksinaan. Tosin pilotissa lattialämmitysputkia keilatessa oli kannattavaa ottaa huomioon myös rakenteiden mittaaminen. Näin ollen niin sanotulla ensimmäisellä keilauskierroksella oli hyvä mitata koko rakennus lattialämmitysputket ja rakenteet huomioiden, jotta välttyttiin turhilta mittauksilta. Ryhmissä mainittujen kokonaisuuksien lisäksi saatiin samalla tarkka tieto esimerkiksi kaapelihyllyjen sijainneista, vaikka kaapelihyllyjen vuoksi ei tarvinnut tehdä erillistä keilauskierrosta.

Laserkeilaukset aloitettiin keilaamalla koko rakennus kerran läpi, ja mittaamalla samalla lattialämmitysputket. Lattialämmitysputkien mittausta havainnollistetaan kuvassa 8. Kuvasta nähdään, kuinka kolmijalka on asetettu puokappaleiden päälle styroksieristeen suojelemiseksi.



Kuva 8. Lattialämmitysputkien laserkeilaus.

Insinööriyön tekeminen alkoi kesken Yliskylän päiväkodin rakentamisen, joten osa ensimmäisen kerroksen lattialämmitysputkista jäi keilaamatta. Lattialämmitysputkien mittaaminen oli noin kaksi kertaa hitaampaa kuin normaali mittaaminen, koska putkien alla

on styroksieriste. Eristeen vuoksi keilaimen jalkojen alle tarvitaan alusta, esimerkiksi puukappaleet, styroksin rikkoutumisen estämiseksi. Styroksesta myös liikkuu ihmisten kulkiessa ympärillä, joten useita keilauksia piti ottaa uudelleen, koska HDS6200-keilain keskeyttää keilauksen, jos alusta liikkuu liikaa. Toinen syy keilausten uusimisille oli useimmiten se, että ihminen käveli liian läheltä keilainta tai keilain oli asetettu lähelle seinää. HDS6200 pysäyttää käynnissä olevan keilauksen myös silloin, jos havaitsee pinnan alle 30 senttimetrin sisällä keilaimesta. Ominaisuus hankaloitti mittauksien tekemistä ajoittain, jos työmaalla oli erityisen paljon asennuksia käynnissä samaan aikaan ja henkilömäärä työmaalla oli suuri. Kolmas syy keilauksen keskeytykselle oli talvella sisä- ja ulkotilan välinen suuri lämpötilaero, jonka vuoksi keilaimen linssi huurtui ja esti mittaamisen ennen keilaimen lämpötilan nousemista.

Lattialämmitysputkien mittaamisen jälkeen mittauksia suoritettiin aina, kun uusia talotekniikan järjestelmiä asennettiin. Pilottiprojektissa lämmitys-, käyttövesi- ja viemäriputket asennettiin yhtä aikaa. Usein ilmanvaihtokanavat peittävät ainakin osan putkista, joten ajankäytöllisesti optimaalisinta on odottaa, että kaikki putket ovat valmiita, ja keilata ne ennen IV-kanavien asennuksia. Käytännössä tämä on haastavaa, koska mittaukset on rytmittävä rakentamisaikatauluun, jossa asennukset menevät usein päällekkäin.

IV-kanavien keilauksien ajoittaminen oli pilotissa hankalaa. Asennuksia tehtiin hajanaisesti ja osaa kanavista eristettiin samaan aikaan, kun osaa vasta asennettiin. Tämän vuoksi mittauksia täytyi tehdä kanavien osalta useaan kertaan, ja silti joistakin kanavista saatiin keilattua vain jo eristetty pinta. Tällä kuitenkin tuskin on toteutumamalliin suurtaakaan vaikutusta, koska LVI-malleihin on usein mallinnettu kanavat ja eristeet erikseen.

Keskeneräisestä rakennuksesta tuotettiin harmaasävyiset pistepilvet, koska Leican HDS6200-keilain ei tuota värillistä materiaalia. Lisäksi keskeneräisen rakennuksen väritiedosta ei koettu olevan hyötyä. LPK Yliskylä ei valmistunut insinööriyön teon aikana, joten valmista rakennusta ei työn aikana päästy mittaamaan. Valmis rakennus kuitenkin tullaan mittaamaan keilaimella, jolla värillinen pistepilvimateriaali saadaan tuotettua. Tulevaisuudessa väritiedolla saattaa olla käyttöä.

#### 4.4 Pistepilvien rekisteröiminen

Sisätilojen pistepilvet rekisteröitiin kerroksittain. Molemmista kerroksista tullaan tekemään kolmen eri vaiheen rekisteröinnit, mutta insinööryön aikana tehtiin vain kaksi ensimmäistä vaihetta. Ensimmäiseen rekisteröintiin tuotiin lattialämmitysputkien, rakenteiden ja vesiputkien pistepilvimateriaali. Toiseen rekisteröintiin tuotiin IV-kanavat ja väliseinät sisältävät pistepilvet. Kolmas rekisteröinti tulee sisältämään valmiin rakennuksen. Näiden rekisteröintien lisäksi kellarille tehtiin yksi rekisteröinti kellarin ollessa tyhjä talotekniikasta. Rakennuksen valmistuessa kellarista tehdään toinen rekisteröinti, joka sisältää putket, kanavat ja koneet. Julkisivu keilataan kerran rakennuksen valmistuessa.

Pistepilvien rekisteröiminen aloitettiin tuomalla pistepilvet ReCap-ohjelmaan. Pistepilviä ei kannattanut yrittää rekisteröidä automaattisesti, koska ohjelma sekoittaa pilvet helposti keskenään ja yhdistää ne väärin. Lisäksi laadunvalvonta on hankalampaa, koska virheellisiä pistepilvien yhdistämisistä ei välttämättä aina huomaa, kun pistepilvi sisältää useita samankokoisia huoneita. Manuaalisesti rekisteröidessä ohjelmalle näytettiin kaksi vierekkäistä pistepilveä, jotka ReCap yhdisti toisiinsa automaattisesti, jos toisiaan vastaavia pisteitä ja muotoja löytyi tarpeeksi. Näin pilvet yhdistettiin yksi kerrallaan toisiinsa. Yhdistäminen oli yllättävän nopeaa, ja virheitä oli helppo kontrolloida, koska ReCap näyttää jokaisesta yhdistämisestä diagrammin, josta näkee, kuinka hyvin yhdistäminen onnistui. Lisäksi virheitä pystyi seurata visuaalisesti.

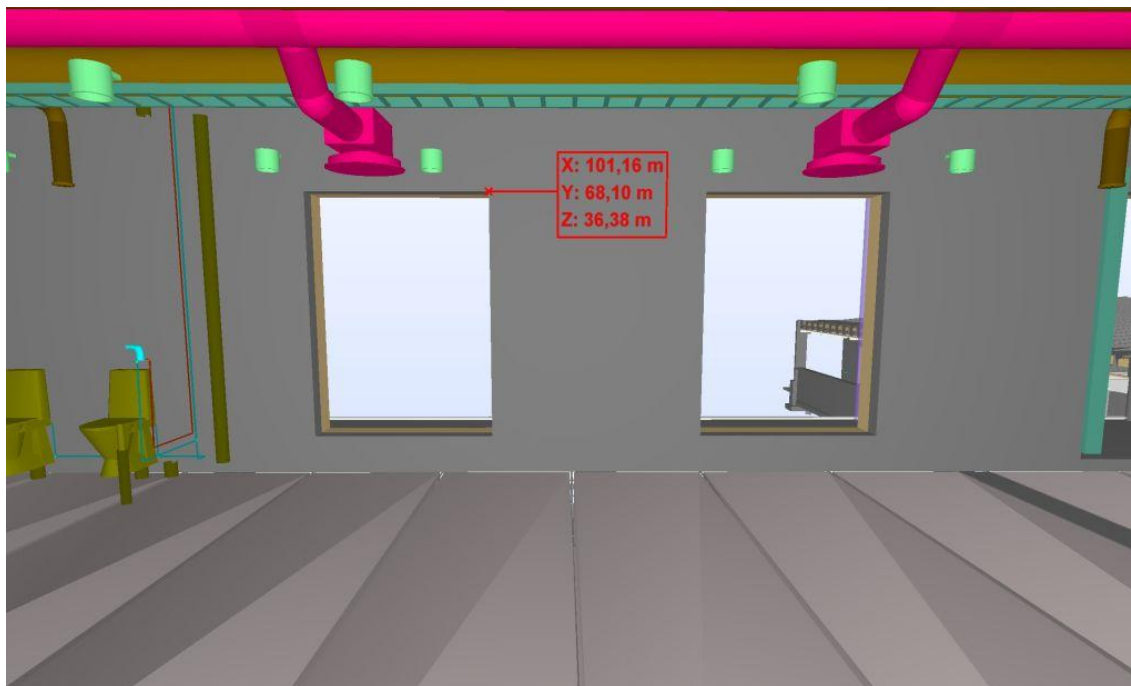
ReCap antaa lopuksi koko rekisteröinnistä rekisteröintiraportin. Raportissa on luettelona onnistumisprosentit päällekkäisyydelle, tasapainolle ja yhtenäisille pisteille. Projektin aikana huomattiin, että erityisesti pienet tilat, kuten komerot ja wc:t, sekä pitkät käytävät aiheuttivat rekisteröintiin raportin mukaan virhettä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että rekisteröinti olisi välttämättä epäonnistunut; ohjelmalla ei vain ole mahdollista saada tietyistä tiloista tarpeeksi hyvää tasapainoa tai päällekkäisyyttä joillekin pistepilville. Tärkeintä on seurata yhtenäisten pisteiden onnistumisprosenttia.

Kuvassa 9 on esitetty Yliskylän päiväkodin kellarin rekisteröintiraportti. Raportissa oranssilla oleva keilaus on komero, jossa pisteiden päällekkäisyys ja tasapaino ovat kaukana muiden keilausten onnistumisprosentista.

registration data		target data	
overall RMS <b>7.63 mm</b>			
scan name	overlap	balance	points < 6mm
2017.10.30-13.21....	36.3%	58.9%	99.5%
▶ 2017.10.30-13.16....	55.3%	90.0%	99.6%
2017.10.30-13.12....	64.3%	96.4%	99.9%
▶ 2017.10.30-13.07....	60.8%	50.5%	99.9%
▶ 2017.10.30-13.02....	18.5%	21.5%	100.0%
▶ 2017.10.30-12.57....	59.9%	56.0%	100.0%
2017.10.30-12.49....	39.0%	26.3%	100.0%

Kuva 9. Rekisteröintiraportti ReCap-ohjelmassa.

Kun pistepilvet oli yhdistetty, etsittiin pilvestä sopivat pisteet, joille annettiin koordinaatit. Koordinaatit saatiin suunnittelumallista Solibri Model Viewer -ohjelman kautta. Käytännössä sopivia koodinaattipisteitä olivat ikkuna-aukkojen kulmat ja oviaukot. Kuvassa 10 on esitetty esimerkki koordinaattitietojen hakemisesta.



Kuva 10. Esimerkki koordinaattitietojen hakemisesta Solibri Model Viewer -ohjelmalla.

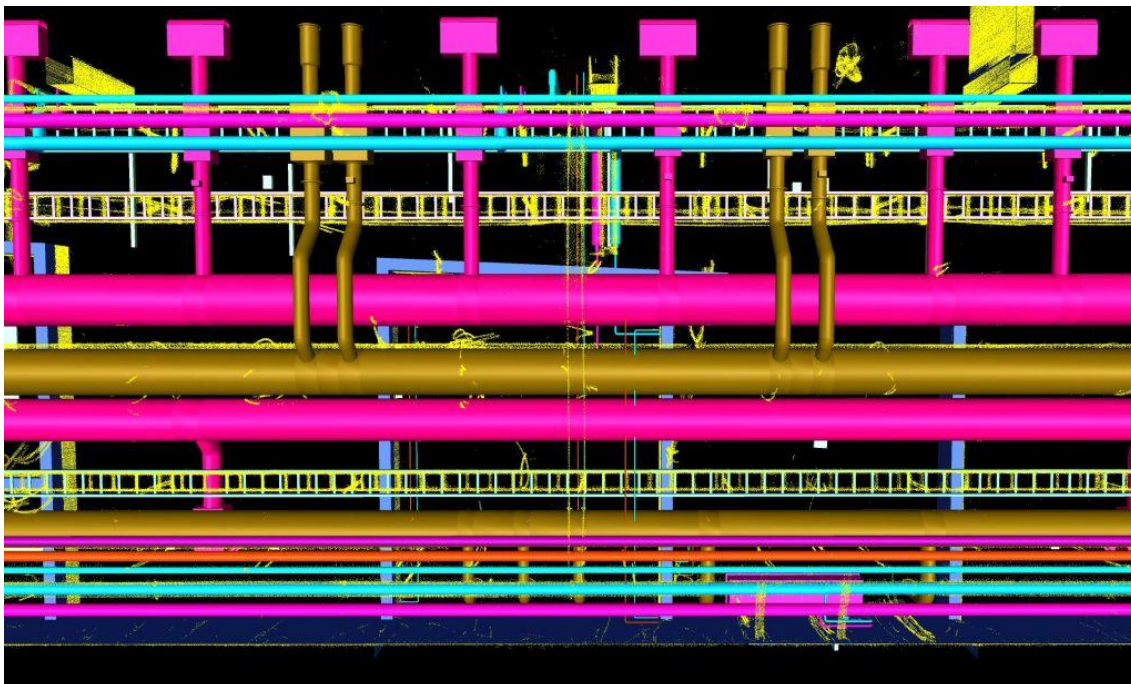
Rakennusta rekisteröitäessä luotettiin siihen, että elementit ovat toisiinsa nähden oikeilla paikoilla, vaikka suunniteltuun rakennuspaikkaan olisikin eroa. Koordinaattipisteitä annettiin 7–10 kerrosta kohden. ReCap pitää hyvän rekisteröinnin rajana alle 10 millimetrin virhettä. YTV:n mukaan virheen raja on 20 millimetriä, ja tätä käytettiin rajana rekisteröinnin onnistumiselle tässä projektissa. Projektin aikana virhearvo oli useimmiten 10–15 millimetriä, mistä voidaan päätellä, että rekisteröinnit onnistuivat hyvin ja rakennuksen elementtirakenteet olivat toisiinsa nähden hyvinkin tarkasti paikoillaan. Tämä virhe kulki mittauksen ajan mukana, mutta oli tarpeeksi pieni, joten virheellä ei toteumamallia varten keilattaessa ollut merkitystä. Jos virhe olisi ollut suuri, olisi täytynyt alkaa tutkia tarkemmin, missä kohdassa rakennusta virhe on.

#### 4.5 Pistepilvien vertailu malliin

Pistepilvien vertailu suunnittelumalliin tehtiin Autodeskin Navisworks-ohjelmalla. Vertailu suoritettiin visuaalisesti. Navisworks sisältää toiminnon, jolla ohjelma käy mallit automaattisesti läpi, ja listaa virhekohdat. Toiminto ei kuitenkaan pistepilven ja mallin välisessä vertailussa toiminut, vaan virheitä tuli satoja, jopa tuhansia. Jokaisen törmäyksen etsiminen ei myöskään vaikuttanut hyödylliseltä. Tärkeintä oli tutkia, missä varsinkin suurimpia eroja mallin ja asennusten välillä esiintyi. Sopivin tapa oli siis käydä pistepilvi ja malli läpi visuaalisesti.

Vertailu aloitettiin tarkastelemalla valittua kerrosta ensin suuripiirteisesti ulkoa päin. Näin katsottiin, asettuuko pistepilvi mallin päälle oikein, eli ettei pistepilvessä ole suurta heittoa koordinaattien osalta. Alun vertailussa pistepilveä tarkasteltiin yhdessä rakennemallin kanssa. Näin väliseinät ja alakatot eivät häirinneet tarkastelua.

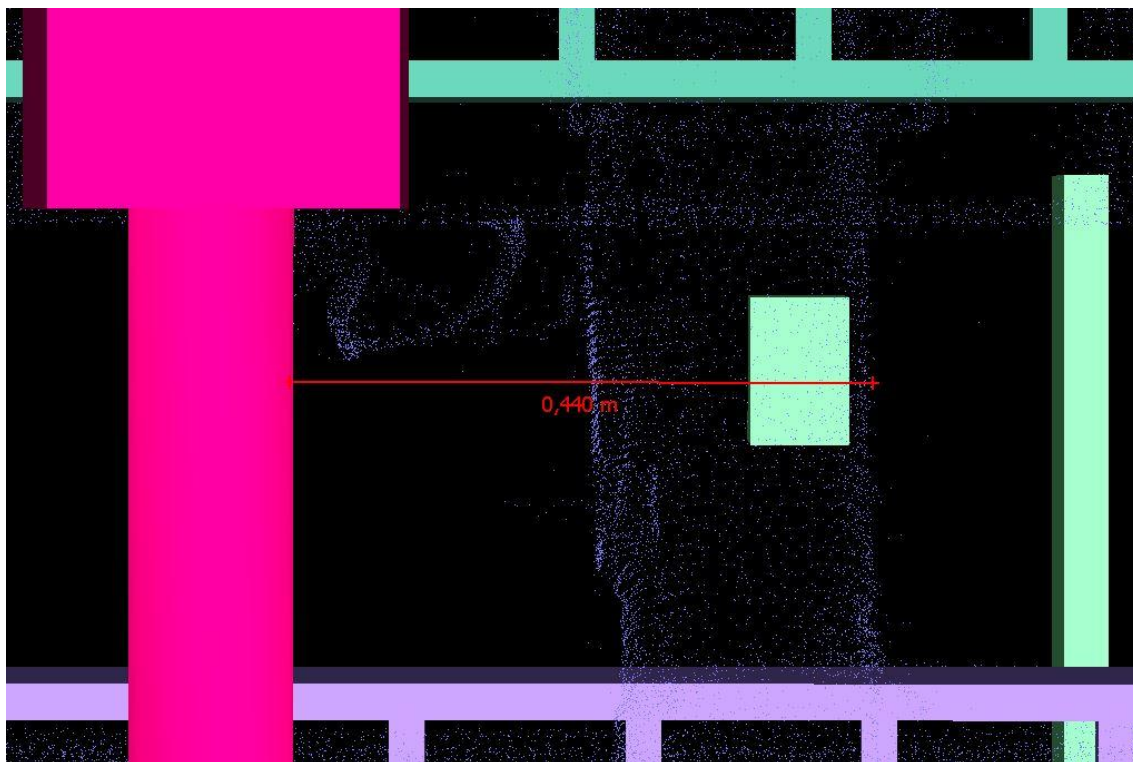
Kun alkutarkastelu oli tehty ja oli todettu, että rakenteet ovat paikallaan, alettiin vertailla pistepilveä joko tarkemmin rakennemalliin tai LVI- ja sähkömalliin. Ensin näkymää muokattiin leikkauksilla. Esimerkiksi IV-kanavia tarkasteltaessa oli järkevää leikata katto ja lattia pois. Näin ylimääräiset pisteet eivät häirinneet vertailua. Kuvassa 11 tarkistetaan IV-kanavien ja putkien sijainteja, pistepilvi näkyy keltaisella. Kuvasta voidaan huomata, että putket ja kanavat osuvat melko hyvin kohdalleen. Suurimmat eroavaisuudet nähdään kaapelihyllyjen kohdalla.



Kuva 11. Pistepilven (keltaisella) ja tietomallin vertailu Navisworks-ohjelmalla.

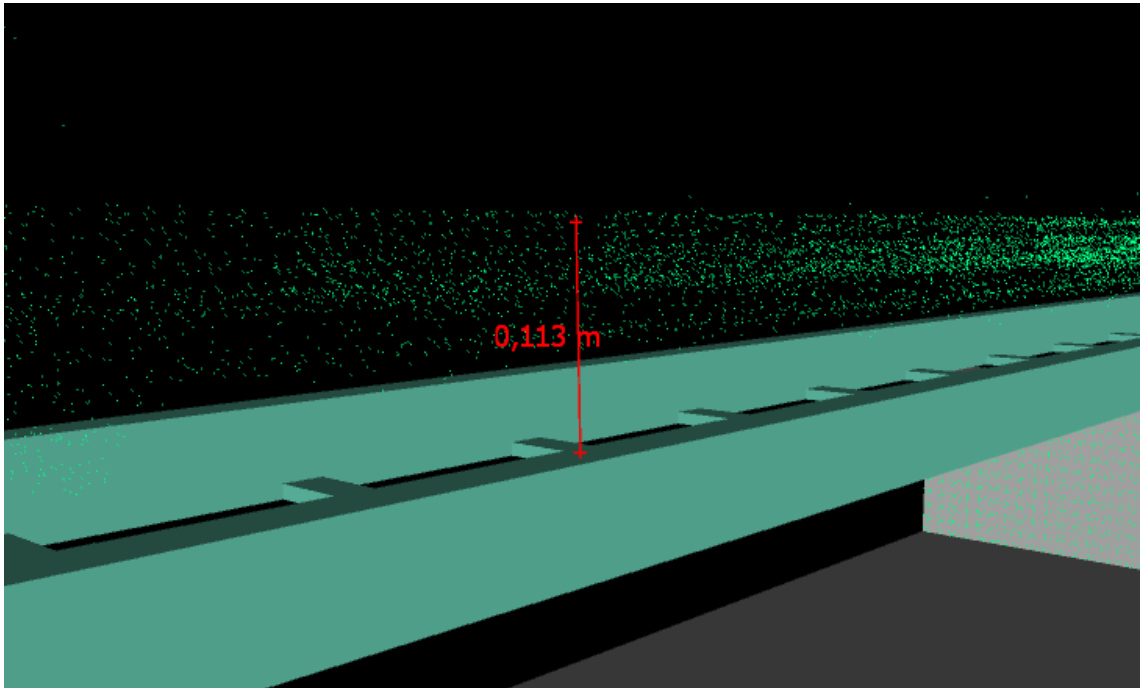
Kun yleiskuva asennusten ja mallin välisistä eroista oli saatu, alettiin pistepilveä ja mallia käydä läpi järjestelmällisemmin. Malli ja pilvi käytiin kokonaisuudessaan läpi eri suunnista ja mahdollisesti leikkauksia apuna käyttäen. Kun eroavaisuus havaittiin, tallennettiin kohdasta Viewpoint, eli kuva, johon voidaan myöhemmin palata. Viewpointtiin saa luotua myös mittoja, ja niitä olikin järkevää tallentaa, jotta nähdään, minkä suuruista eroista on milloinkin kyse. Kuvissa 12 ja 13 on esimerkkejä mallien ja toteutuneiden järjestelmien välisistä eroista. Kuvassa 12 IV-kanava poikkeaa selvästi mallin mukaisesta paikasta leveys suunnassa.





Kuva 12. Toteutuneen IV-kanavan ja tietomallin välinen ero Navisworks-ohjelmassa.

Kuvassa 13 kaapelihyllyn ero mallinnettuun paikkaan ei ole kovin suuri, mutta on hyvä huomata, että eroja täytyy etsiä myös korkeussuunnassa. Esimerkkikuvan kaapelihylly on leveysuunnassa täysin oikealla kohdalla, mutta kun mallia ja pistepilveä tarkastelee eri kulmista ja tekee leikkauksia eri suunnista, huomataan myös korkeussuunnan virheet. Usein alakaton yläpuolinen tila on ahdas ja täynnä eri suunnittelualojen järjestelmiä, joten kymmenen sentin eroavaisuudella suunniteltuun paikkaan voi olla vaikutusta, jos rakennusta joudutaan myöhemmin korjaamaan ja talotekniikan järjestelmiä suunnittelemaan uudestaan.



Kuva 13. Toteutuneen kaapelihyllyn ja tietomallin välinen ero Navisworks-ohjelmassa.

Liitteessä 1 on kooste pistepilvien ja tietomallien välisestä vertailusta IV-kanavien ja vesiputkien osalta. Kooste on tehty Toteumamallista ylläpitomalliin -kehityshankkeen kokousta varten, ja siinä esitellään kohtia, joissa eroja voidaan havaita runsaasti, sekä kohtia, joissa suunnitelmat ja toteutunut rakennus vastaavat toisiaan.

## 5 Tulokset

Insinööriyössä selvitettiin, mitä asioita tulee ottaa huomioon, kun tehdään mittauksia toteumamallia varten. Työn aikana suoritettiin mittaukset, pistepilvien käsittely ja pistepilvien vertaaminen suunnittelumalleihin. Tavoitteena oli mittausprosessin suorittamisen lisäksi määritellä, missä vaiheissa mittauksia on syytä tehdä, ja kuinka kauan mittauksiin kuluu aikaa. Lisäksi pohdittiin, millaiset toteutuneen rakennuksen ja suunnitelmien väliset erot korjataan toteumamalliin.

Insinööriyössä päästiin tavoitteisiin ja saatiin määriteltyä selkeät mittausajankohdat toteumamallin laserkeilauksia varten. Lisäksi pystyttiin toteamaan, mitä asioita on syytä ottaa huomioon tulevaisuudessa mittauksia tehtäessä ja mitkä todennäköisimmin tulevat olemaan ongelmakohtia. Seuraavissa luvuissa esitellään insinööriyön tuloksia tarkemmin.

### 5.1 Keilattavat järjestelmät

Projektin aikana huomattiin selvästi, että rakennus koostuu viidestä tietomallintamisen kannalta tärkeästä osiosta, jotka kuitenkin pystytään mittaamaan neljässä vaiheessa. Näiden vaiheiden lisäksi olisi kannattavaa keilata rakennuspaikan louhintapinta. Näin ollen tulevaisuudessa toteumamallin mittaukset voitaisiin suorittaa viitenä kokonaisuutena:

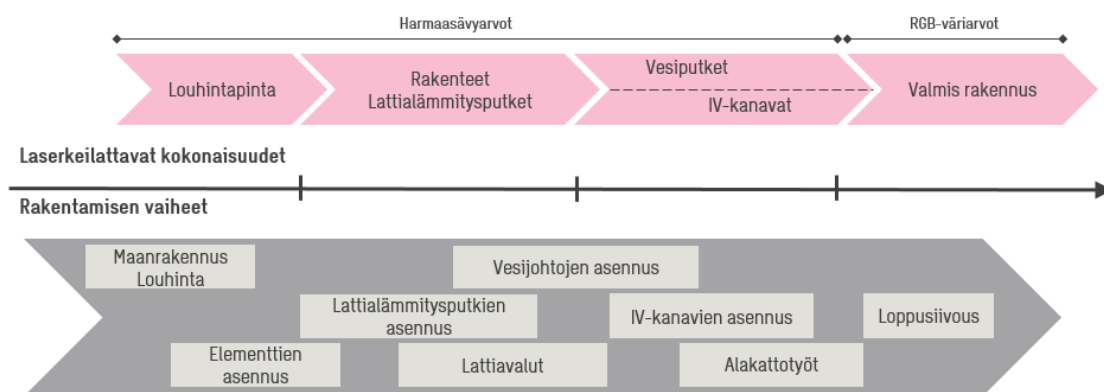
1. louhintapinta
2. rakenteet ja lattialämmitysputket
3. vesiputket
4. ilmanvaihtokanavat
5. valmis rakennus sisältäen julkisivun.

Jos nämä viisi osiota keilataan, saadaan kaikki piiloon jäävät järjestelmät mitattua ja rakennuksesta syntyy riittävästi dataa toteumamallia varten. Lattialämmitysputkia ja rakenteita ei ole järkevää mitata erikseen, koska molempien osien data saadaan yhdellä keilauksierroksella. Myös vesiputkia ja IV-kanavia keilattaessa on syytä huomioida, että keilauksia ei tehdä turhaan, ja järjestelmiä mitataan jossain määrin samaan aikaan huolehtien, että kaikki peittyvä ja piiloon jäävä materiaali saadaan dokumentoitua.

Insinöörityön tulosten perusteella tehtiin prosessikaavio laserkeilattavien kohteiden mittaamisesta suhteessa työmaan aikatauluun. Kuvaan 14 on koottu laserkeilattavat kohteet sekä rakentamisvaiheista mittausten kannalta olennaisimmat kohdat. Lisäksi prosessikaaviossa esitetään, mitkä kokonaisuudet keilataan ilman väritietoa ja mitkä väritiedon kanssa.



#### Laserkeilausten ajoitus työmaan aikatauluun mukaan



Kuva 14. Laserkeilattavat kokonaisuudet ja mittaamisen ajoitus työmaan aikatauluun nähden.

Tässä projektissa sisätilojen mittaukset suoritettiin ilman väriarvoja. Luultavasti lisäarvoa väritiedolle ei keskeneräistä rakennusta mitattaessa ole, mutta on syytä pohtia, olisiko valmiin rakennuksen RGB-väriarvoille tarvetta. Pilotissa rakennuksen sisustusarkkitehti totesi, että väreillä saattaisi valmiin rakennuksen osalta hyvinkin olla merkitystä (Jääskö

2018). Värillinen pistepilvi on visuaalisempi, ja pintojen materiaalit on helpompi tunnistaa pelkän intensiteettiä sisältäviin pistepilviin verrattuna. Tällä hetkellä rakennuksista saatetaan ottaa valokuvia, joista värit ja materiaalit nähdään, mutta ongelmana on, ettei aina tiedetä, mistä kohdasta rakennusta kuva on otettu. Jos pistepilvet tuotetaan värillisenä, tätä ongelmaa ei ole, koska väritieto on paikkaan sidottu. Tulevaisuudessa käyttötarkoituksia saattaa olla enemmänkin, joten jos värien kanssa keilaaminen on mahdollista, siitä ei ole ainakaan haittaa. Mahdollisten hyötyjen vuoksi valmis rakennus julkisuuteen saattaa olla siis kannattavaa keilata RGB-väriarvoja käyttäen.

Kuvassa 15 on LPK Yliskylän ensimmäisen ja toisen kerroksen yhdistetty pistepilvi. Kuvasta nähdään, ettei harmaasävyarvoisesta pistepilvestä materiaalitietoja juurikaan erota, mutta rakenteiden tarkasteluun harmaasävyarvot sopivat.



Kuva 15. LPK Yliskylän ensimmäisen ja toisen kerroksen pistepilvi ReCap-ohjelmassa.

Kuvassa 16 on kuvakaappaus ReCap-ohjelman RealView-tilasta. Kuva on valokuvamainen, ja kuvasta on helppo tunnistaa putket ja kaapelihyllyt. Värillisestä kuvasta materiaalitietojen tunnistaminen olisi huomattavasti helpompaa.



Kuva 16. LPK Yliskylän ensimmäisen kerroksen pääty ReCap-ohjelman RealView-tilassa.

## 5.2 Työmaan ja mittajaan välinen yhteydenpito

Projektissa käytettiin runsaasti aikaa mittausajankohtien suunnitteluun ja työmaalla käytiin viikoittain tarkastamassa, missä vaiheessa rakentamisessa oltiin. Tämä ei ole kannattava tapa mittausajankohtien hallintaan.

Jotta mittaja tietää, milloin kunkin vaiheen järjestelmät ovat mittausvalmiita, on tiedon tultava työmaalta vaivattomasti. Tähän on vaihtoehtoina joko perinteinen sähköpostilla tai puhelimitse ilmoittaminen ja aikatauluista kertominen, tai mahdollisesti voitaisiin kehittää sovellus, jossa tietomalliin pystyisi työmaalla yksinkertaisesti merkitsemään valmiit rakenteet ja järjestelmät. Tällä tavalla, paitsi että työmaalla olisi jatkuvasti ajantasainen tieto tehdyistä töistä, myös mittajaan olisi helppo seurata rakentamisen edistymistä, ja ajoittaa mittaukset oikeaan hetkeen. Lisäksi toteumamallia varten suoritettavat mittaukset tulisi merkitä työmaan yleisaikatauluun.

### 5.3 Mittauksiin kuluva aika

Hankkeen aikana puhtaasti laserkeilauksiin kului aikaa noin 25 tuntia. Tämä sisältää rakennuksen molempien kerrosten mittaukset lattialämmitysputkien ja rakenteiden, vesiputkien sekä IV-kanavien osalta. Valmiin rakennuksen keilaukset suoritettiin tämän insinööriyön valmistumisen jälkeen, mutta tehtyjen keilausten perusteella voidaan arvioida, kuinka paljon aikaa koko rakennuksen mittauksiin kuluu.

Yhteen laserkeilausaseman keilaukseen on laskettu kuluvan 5 minuuttia. Tämä tulos on saatu laskemalla yhden keilauksen pituus (noin 3,5 min) ja lisäämällä siihen laserkeilaimen liikuttamiseen ja asemointiin kuluva aika (noin 1,5 min). Yhden kerroksen keilaamiseen tarvittiin noin 40 keilausta, eli aikaa kului tällöin noin 3,5 tuntia.

Valmiin rakennuksen keilaaminen tehtiin vasta insinööriyön valmistumisen jälkeen, mutta jo suoritettujen keilausten perusteella pystytään arvioimaan melko tarkasti, kuinka paljon aikaa valmiin rakennuksen keilaamiseen tulee varata. Jos siis ajatellaan, että rakennus keilataan läpi neljä kertaa sisältäen molemmat kerrokset, saadaan tulokseksi 28 tuntia (4 x 3,5 h x 2). Tähän lisätään vielä ulkokierto, kellariin ja mahdollisiin lisäkeilauksiin kulunut aika, jonka on arvioitu olevan noin 7 tuntia. Yhteensä voidaan arvioida koko LPK Yliskylän keilauksiin kuluvan aikaa noin 35 tuntia.

Projektin keilauksiin kulunut aika oli siis noin 25 tuntia, mutta kokonaisuudessa mittauksiin tunteja kului huomattavasti enemmän, koska keilaamassa käytiin lähes viikoittain. Tavoiteltava mittauskertojen määrä rakennuksen osalta lukuun ottamatta louhintapinnan mittaamista olisi LPK Yliskylän kaltaisessa kohteessa 8–12, jos ajatellaan, että keilaukset saataisiin suoritettua aina yksi kerros ja järjestelmä kerrallaan. Jos putkia ja kanavia keilattaessa sillä ei ole merkitystä, onko eristeet asennettu vai ei, voitaisiin tällaiseen keilausmäärään ehkä päästäkin. Suurin este alle kymmenelle keilauskerralle ovat lattialämmitysputket sekä vesiputket ja IV-kanavat. Pilottikohteessa lattialämmitysputkia ei rakennettu kerralla, vaan valettava osio kerrallaan. Näin ollen keilausajankohtia täytyy olla vähintään yhtä monta, kuin valukertojakin on. Myös vesiputkien ja IV-kanavien osalta ongelmana oli asennustöiden limittäisyys; kokonaisen järjestelmän kerrallaan keilaaminen ei ollut mahdollista.

Pilottiprojektin aikana viikoittaiset keilaukset eivät olleet ongelma, joten työmaalla käytiin mittaamassa yhteensä 21 kertaa, mutta tulevaisuudessa tämä ei tietenkään ole kustannuksia ajatellen mahdollista. Useisiin keilauskertoihin aikaa kuluu aina huomattavasti enemmän, koska itse keilausten lisäksi matkustus (tässä projektissa ajomatka työmaalle 9 km), mittausvarusteiden työmaalle kantaminen, alkujärjestelyt ja tiedonsiirto vievät aikaa. Projektin aikana todettiin, että nämä työvaiheet veivät aikaa noin kaksi tuntia. LPK Yliskylän mittauksiin todellisuudessa kulunut aika olikin monien keilauskertojen vuoksi noin 67 tuntia. Tähän arvioon on päädytty lisäämällä laserkeilauksiin käytettyyn aikaan (25 h) kaksi tuntia jokaista mittauskertaa kohden ( $2 \times 21 \text{ h} = 42 \text{ h}$ ).

#### 5.4 Pistepilvien rekisteröintiin kuluva aika

Itse mittauksen lisäksi työaikaa vievät pistepilvien rekisteröinti ja käsittely. Pilotin aikana pistepilvien rekisteröintiin kului huomattavasti aikaa, koska keilauskertoja oli paljon, ja näin ollen rekisteröintejäkin tehtiin usein. Nopeampaa olisi rekisteröidä aina yksi osio kerrallaan.

Pistepilvien rekisteröimisen nopeuteen vaikuttaa tietokoneen suorituskyky. Yhden kerroksen rekisteröinnin koko saattaa olla yli 50 Gt, joten tiedoston käsittely vaatii tarpeeksi tehokkaan tietokoneen. Erityisesti tehottomalla tietokoneella pistepilvien vieminen rekisteröintiohjelmaan ja tiedostotyyppien muuttaminen vievät useita tunteja. Tämä ei tietenkään vaadi työntekijän kokoaikaista läsnäoloa, mutta on silti hyvä huomioida aikatauluksessa.

Insinööriyön aikana tuotettiin viisi eri rekisteröintiä: kaksi rekisteröintiä ensimmäisestä kerroksesta, kaksi toisesta kerroksesta ja yksi kellarista. Kellarikerros keilattiin tyhjänä ilman IV-koneita. Molemmista varsinaisista kerroksista tehtiin niin sanottu ensimmäisen vaiheen rekisteröinti, joka sisälsi rakenteet ja lattialämmitysputket, sekä toinen rekisteröinti, joka sisälsi vesiputket ja IV-kanavat. Tarkastelun kannalta selkeämpää olisi tehdä vesiputkille ja IV-kanaville omat rekisteröinnit, mutta koska vesiputkien ja IV-kanavien asennukset menivät useissa paikoissa päällekkäin, oli helpompaa yhdistää nämä pistepilvet samaan rekisteröintiin.



## 5.5 Toteutuneen rakennuksen ja suunnittelumallien väliset erot

Pistepilvimateriaalin ja suunnittelumallien suurpiirteinen vertailu oli helppoa. Kun materiaaleihin teki sopivat leikkaukset, nähtiin suurimmat erot nopeasti ja vaivattomasti. Navisworks ei kuitenkaan ollut tarkempaan vertailuun toimiva työkalu. Pistepilvitiedostot ovat suuria, eikä ohjelma kunnolla jaksanut niitä pyörittää. Tällä hetkellä ei ole ohjelmaa, jolla pistepilven ja tietomallin vertailu onnistuisi helposti. Olisikin toivottavaa, että kehitettäisiin ohjelma, jolla pistepilven ja mallin vertailu onnistuisi yhtä hyvin kuin esimerkiksi Solib-riassa eri tietomallien vertailu toisiinsa.

Suunnitelmien ja toteutuksen välisille eroille tulisi asettaa raja-arvoja, joiden perusteella eroavaisuudet toteumamalliin päivitetään. Mahdollisesti voitaisiin kehittää jonkinlainen taulukko, jossa on eri suunnittelualoille erilaisia raja-arvoja, joiden ylittävät eroavaisuudet toteumamalliin päivitetään. Noudatettavat arvot voidaan päättää hankekohtaisesti, mutta suuntaa-antavat raja-arvot olisi hyvä olla olemassa.

Tärkeää on myös miettiä, onko toteumamallin kannalta perusteltua asettaa sisätilojen pistepilvimateriaali rakenteiden mukaiseen asentoon. Periaatteessa pistepilvet täytyisi rekisteröidä suunnittelumalleissa käytettyyn koordinaatistoon. Jos rakennus kuitenkin jostain syystä ei aivan tässä koordinaatistossa ole, on pistepilvi kokonaisuudessaan eri kohdassa kuin mallit. Jos näin tapahtuu, ei rakennuksen sisällä kulkevia järjestelmiä voida verrata malliin lainkaan, koska järjestelmät ovat automaattisesti ja johdonmukaisesti eri kohdassa kuin mallissa. Voisikin olla järkevää ottaa koordinaattipisteet myös tulevaisuudessa suoraan rakennuksen tietomallista, mutta valmista rakennusta keila- tessa asettaa tähykset sopiviin kohtiin niin, että rakennus mitataan niiden perusteella sekä kaupungin että maailman koordinaatistoon. Näin saataisiin tieto rakennuksen tar- kasta sijainnista ja sidottua pistepilvet suoraan useampaan koordinaatistoon. Useam- masta koordinaatistosta voisi olla hyötyä tulevaisuudessa ylläpitomallissa.

## 5.6 Mittausten hyödyt rakentamisen aikana

Vaikka laserkeilauksia tehtiin projektin aikana toteumamallia varten, oli mittausdatalle käyttöä jo rakentamisen aikana. Kolme kertaa pistepilviä tarvittiin, kun haluttiin tarkistaa,

missä esimerkiksi piiloon jääneet lattialämmityspotket kulkevat, jotta kiintokaluste osataan asentaa turvallisesti oikealle paikalle osumatta putkiin.

Tarve pistepilvidatalle rakennustöiden aikana oli yllättävä. Vaikka kertoja datan tarpeelle ei ollut kovin montaa, helpottivat mittaukset silti työmaan toimintaa. Mittausdataa ei välttämättä osattaisi pyytää, ellei sitä jo valmiiksi projektista tuotettaisi. Voidaankin siis ajatella, että tarvetta rakentamisen aikaiselle asennuksien paikkojen seurannalle on muutenkin kuin toteumamallin osalta. Hyötyä voidaan saada esimerkiksi silloin, kun toteutunut asennus ei vastaa suunnitelmaa ja jonkin muun järjestelmän sijainti täytyy suunnitella uudestaan. Tämä voidaan laskea toteumamallin tuottamisen lisähyödyksi.

### 5.7 Pistepilvimateriaalin hyödyt toteuma- ja ylläpitomallissa

Insinööriyön aikana Toteumamallista ylläpitomalliin -kehityshankkeeseen liittyviä kokouksia ja palavereja pidettiin noin 1–2 kertaa kuukaudessa. Kokouksissa toteuma- ja ylläpitomallien hyötyjä ja tavoitteita mietittiin ylläpidon, rakennuttamisen sekä rakennetun omaisuuden hallinnan näkökulmista. Tärkeimpinä seikkoina esiin nousi toteumamallin osalta laadunvarmistuksen toteaminen ja rakentamisen laadun parantaminen sekä pistepilvipohjaisen dokumentaation hyöty rakennuksen mahdollisessa muutos- tai korjausrakentamisessa. Toteumamallin haasteena on kehittää mallipohjaisen loppudokumentaation uudelleen ohjeistaminen. Tällä tarkoitetaan toteumamallin tuottamisesta aiheutuvan lisätyön sisällyttämistä sopimukseen sekä päätöksen tekemistä siitä, kuinka suuret erot toteutuneen rakennuksen ja suunnittelumallien välillä päivitetään toteumamalliin.

Ylläpitomallin osalta selkeä tavoite on kehittää ylläpitomallille sopiva käyttöliittymä. Käyttöliittymän on oltava sopiva ja mukautettavissa eri käyttäjien tarpeisiin. Haasteena on päättää, kuka päivittää ylläpitomalliin rakennuksessa tapahtuneet muutokset ja korjaukset ja miten päivitys käytännössä tapahtuu.

### 5.8 Tulevaisuuden tekniikat

Tulevaisuudessa toteumatietoa tullaan luultavasti laserkeilauksen lisäksi keräämään kevyemmillä tekniikoilla, kuten valo- ja videokuvaamalla. Laserkeilauksessa on hyötyjä valokuvamateriaaliin verrattuna esimerkiksi valon lähteen tarpeettomuuden ja tarkkuuden

osalta, ja markkinoille tulee seuraavina vuosina todennäköisesti aiempaa kevyempiä, nopeampia ja mobiilimpia malleja, jotka soveltuvat rakentamisen aikaiseen seuranta-mittaamiseen. Leican BLK360 on askel tähän suuntaan.

Tällä hetkellä voidaan olettaa, että pistepilvien rekisteröimisen tulos erityisesti toteumatietoa kerätessä on saatava tietoon reaaliaikaisesti työmaalla tabletilla. Samalla materiaalia voidaan verrata IFC-malleihin. Mittaustekniikat ja tablettisoftat ovat kehittymässä jatkuvasti käyttäjäystävällisempään suuntaan, eikä keilaimen käyttäjä tulevaisuudessa välttämättä aina tule olemaan mittaustekniikan ammattilainen. Tämän vuoksi pistepilvien rekisteröinti kehittyy koko ajan helpommaksi ja visuaalisemmaksi, eikä tähyksiä toteumatietoa kerätessä tulla luultavasti enää käyttämään. ReCap-ohjelman kaltaiset työmaalla tapahtuvat visuaaliset ja reaaliaikaiset rekisteröinnit ovat jo tätä päivää, ja algoritmit kehittyvät kovaa vauhtia. Siksi tässäkin insinööriyössä haluttiin käyttää visuaalista rekisteröintiä

Älypuhelimien valo- ja videokuvaominaisuuksien kehittymisen myötä on syytä tulevaisuudessa tutkia, voitaisiinko toteumamalli tuottaa tätä insinööriyötä kevyemmällä tavalla. Vaihtoehtona olisi esimerkiksi laadunvalvojalle suunnattu sovellus, jolla laadunvalvoja rakentamisen aikana valo- tai videokuvaa asennettuja järjestelmiä ja vertaa järjestelmiä suoraan malliin sovelluksen kautta. Laserkeilaamalla mitattaisiin vain sellaiset kohdat, joissa huomataan suuria poikkeamia suunnitelman ja toteutuneen rakentamisen välillä. Näin laserkeilausprosessi kevenisi huomattavasti, ja laadunvalvonta saisi uusia työkaluja rakentamisen laadun varmistamiseen.

Tekniikan ja teknologian lisäksi tulevaisuudessa täytyy tutkia, miten ja mikä toteumatieto malliin päivitetään. Lisäksi tulee tutkia, miten ylläpitomalli toteutetaan ja millainen käyttöliittymä on ylläpitomallille sopiva. Vektorio Oy:llä on jo nyt mielenkiintoisia vaihtoehtoja, jotka voisivat ylläpitomallin käyttämiseen ja päivittämiseen sopia. Vektorio Oy on esimerkiksi sitonut tietomalleja maailmankoordinaatistoon niin, että koko maapallon kartasta on mahdollista zoomata yhden tietyn rakennuksen tarkkaan tietomalliin. Tulevaisuudessa voisi esimerkiksi olla mahdollista sisällyttää kaikki kaupungin ylläpitomallit yhteen kolmiulotteiseen karttaan, josta on mahdollista päästä tarkastelemaan valitun rakennuksen mallia yhtä tarkasti kuin tällä hetkellä Solibrissa.

## Lähteet

Ahonen, Pauli. 2015. Laserkeilaus, laserkeilausmittauksen suorittaminen ja pistepilven käsittelyohjelmien vertailu. Insinööriyö. Saimaan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Autodesk Navisworks. 2018. Verkkoaineisto. Autodesk. <<https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview>>. Luettu 8.3.2018.

Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks, Rafael & Liston, Kathleen. 2011. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers & Contractors. Yhdysvallat, New Jersey. John Wiley & Sons.

Erkkilä, Juuso. 2018. Projektipäällikkö, Sweco PM Oy. Helsinki. Haastattelu 5.2.2018.

Erkkilä, Juuso. 2015. Taloteknisen tietomallin informaatio sisältö kiinteistön ylläpitovaiheessa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Halmetoja, Esa. 2016. Tietomallit ylläpidossa. Senaatti-kiinteistöt.

Joala, Vahur. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Verkkoaineisto. <<http://docplayer.fi/7209674-Laserkeilauksen-perusteita-ja-mittauksen-suunnittelu.html>>.

Jäväjä, Päivi & Lehtoviita, Timo. 2016. Tietomallintaminen rakennustyömaalla. E-kirja. Rakennustieto.

Jääskö, Ari. 2018. Sisustusarkkitehti, Helsingin kaupunki. Helsinki. Haastattelu 9.3.2018.

Kukko, Antero. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetriin mittaustehtäviin. Fotogrammetrian erikoistyö. Aalto-yliopisto.

Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Lehtovirta, Verner. 2013. Hankkeen tietomallit hankevaiheittain -kuvio. Sweco PM Oy yritysaineisto.

Leica BLK360 Product Specifications. 2017. Verkkoaineisto. Geosystems AG. <[https://lasers.leica-geosystems.com/sites/default/files/leica\\_media/product\\_documents/blk360/prod\\_docs\\_blk360/leica\\_blk360\\_spec\\_sheet.pdf](https://lasers.leica-geosystems.com/sites/default/files/leica_media/product_documents/blk360/prod_docs_blk360/leica_blk360_spec_sheet.pdf)>. Luettu 4.4.2018.

Leica HDS6200. 2010. Verkkoaineisto. Geosystems AG. <[http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/HDS6200/brochures-datasheet/Leica%20HDS6200%20DAT\\_en.pdf](http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/HDS6200/brochures-datasheet/Leica%20HDS6200%20DAT_en.pdf)>. Luettu 4.4.2018.

Rajala, Marko. 2009. Laserkeilausmittaus ja rakennuksen inventointimalli. Verkkodokumentti. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090701.pdf>>.

Valtonen, Perttu. 2018. Liiketoimintayksikön johtaja, Sweco PM Oy. Helsinki. Haastattelu 16.1.2018

Wilska, Pekka. 2018. Tietomalli-insinööri, Helsingin kaupunki. Helsinki. Haastattelut 22.11.2017 ja 23.3.2018.

YTV osa 1. 2012. RT 10-11066. Yleinen osuus. Yleiset tietomallivaatimukset 2012.

YTV osa 2. 2012. RT 10-11067. Lähtötilanteen mallinnus. Yleiset tietomallivaatimukset 2012.

YTV osa 3. 2012. RT 10-11068. Arkkitehtisuunnittelu. Yleiset tietomallivaatimukset 2012.

YTV osa 11. 2012. RT 10-11076. Tietomallipohjaisen projektin johtaminen. Yleiset tietomallivaatimukset 2012.

YTV osa 13. 2012. RT 10-11078. Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa. Yleiset tietomallivaatimukset 2012.

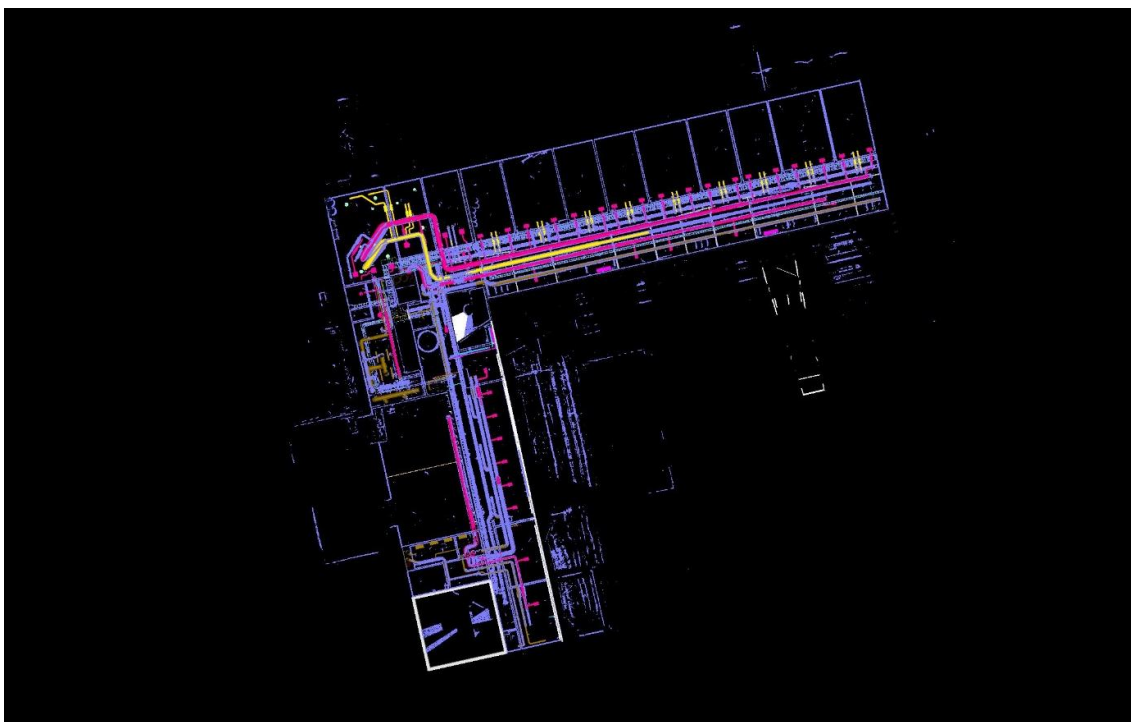
---

## LPK YLISKYLÄN PISTEPILVIEN JA TIETOMALLIEN VERTAILUN KOOSTE

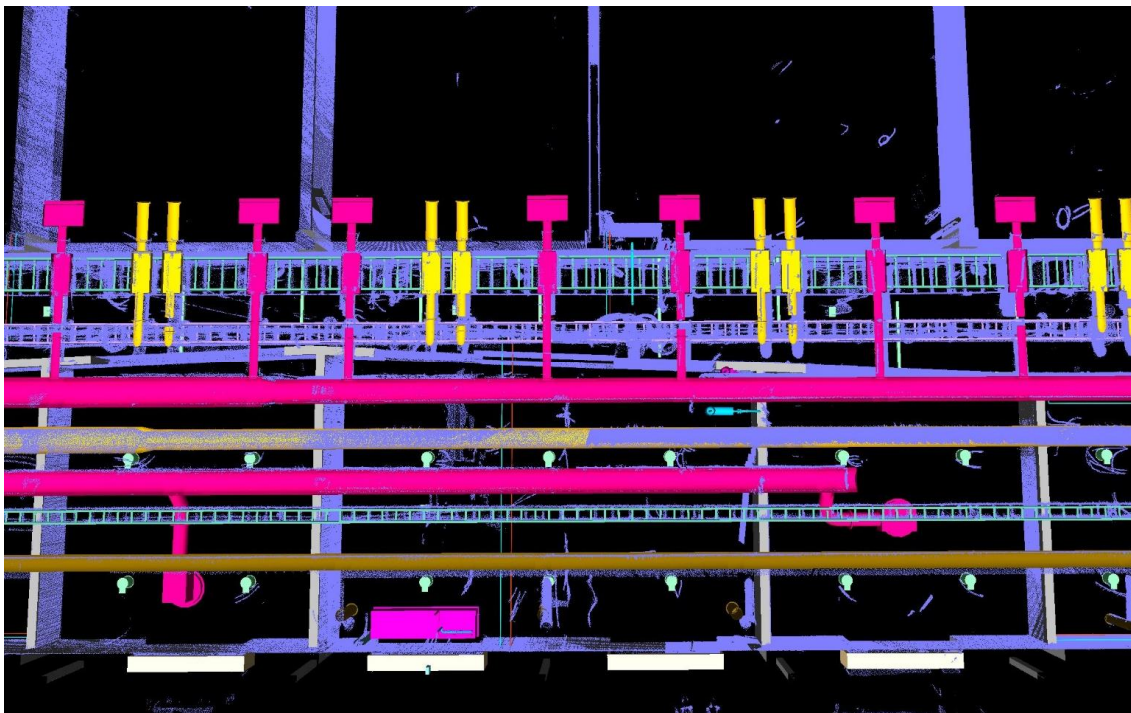
---



Tässä dokumentissa esitellään LPK Yliskylässä tehtyjen keilausten perusteella havaittavia eroja sekä yhtenäisiä kohtia suunnittelumallien ja toteutuneiden järjestelmien välillä. Pääosin LVI- ja sähköasennukset ovat oikeilla paikoillaan, mutta alle 30 senttimetrin virheitä pistepilvien ja tietomallien välillä on huomattavasti. Kuvissa on esitetty laajempia kokonaisuuksia sekä pieniä yksityiskohtia havainnollistavin mitoin. Pistepilvet näkyvät kuvissa liilalla värillä.



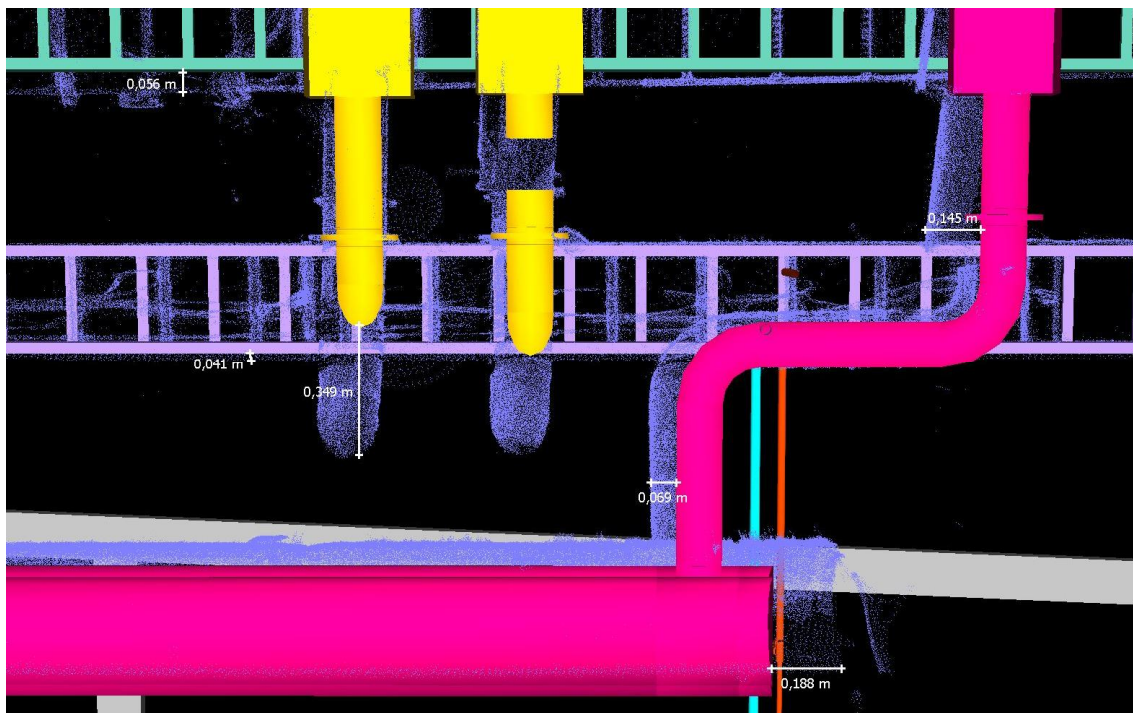
Kuva 1. Ensimmäinen kerros.



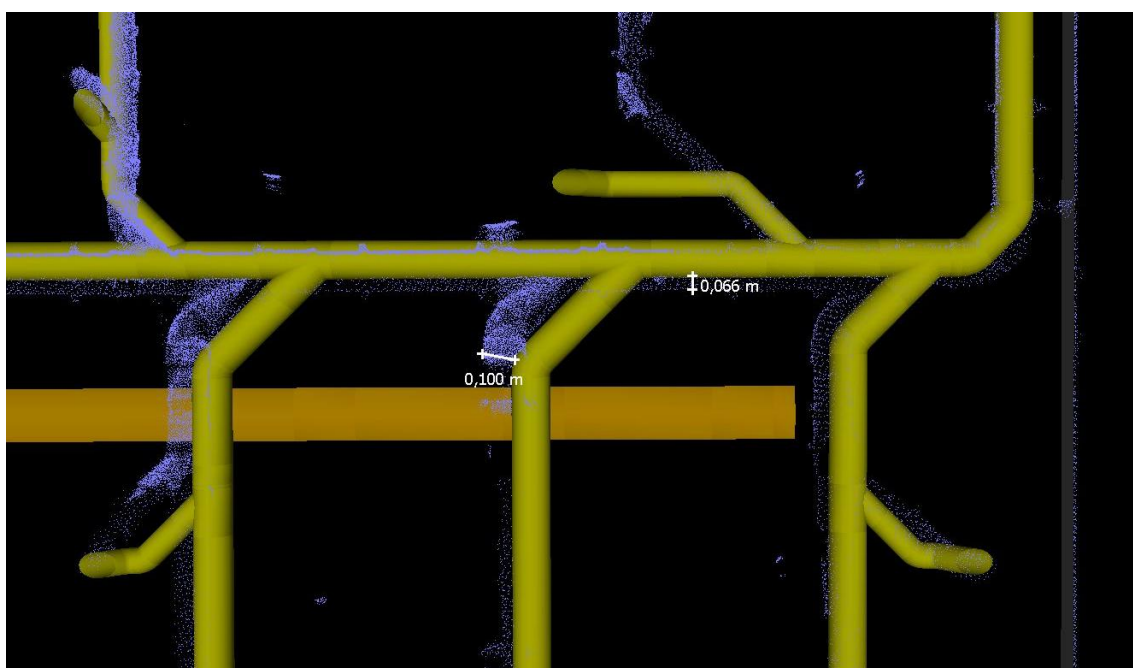
Kuva 2. Ensimmäisen kerroksen IV-kanavat, putket ja kaapelihyllyt.



Kuva 3. IV-kanavien sekä kaapelihyllyjen eroja.

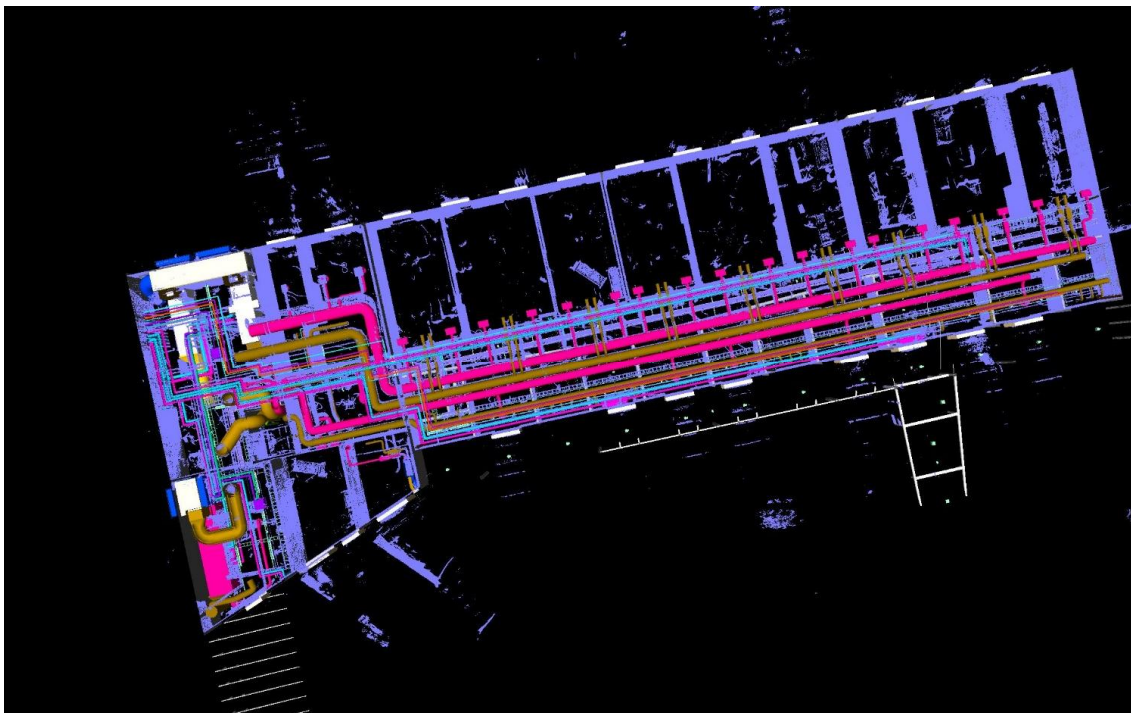


Kuva 4. IV-kanavien ja kaapelihyllyjen eroja.

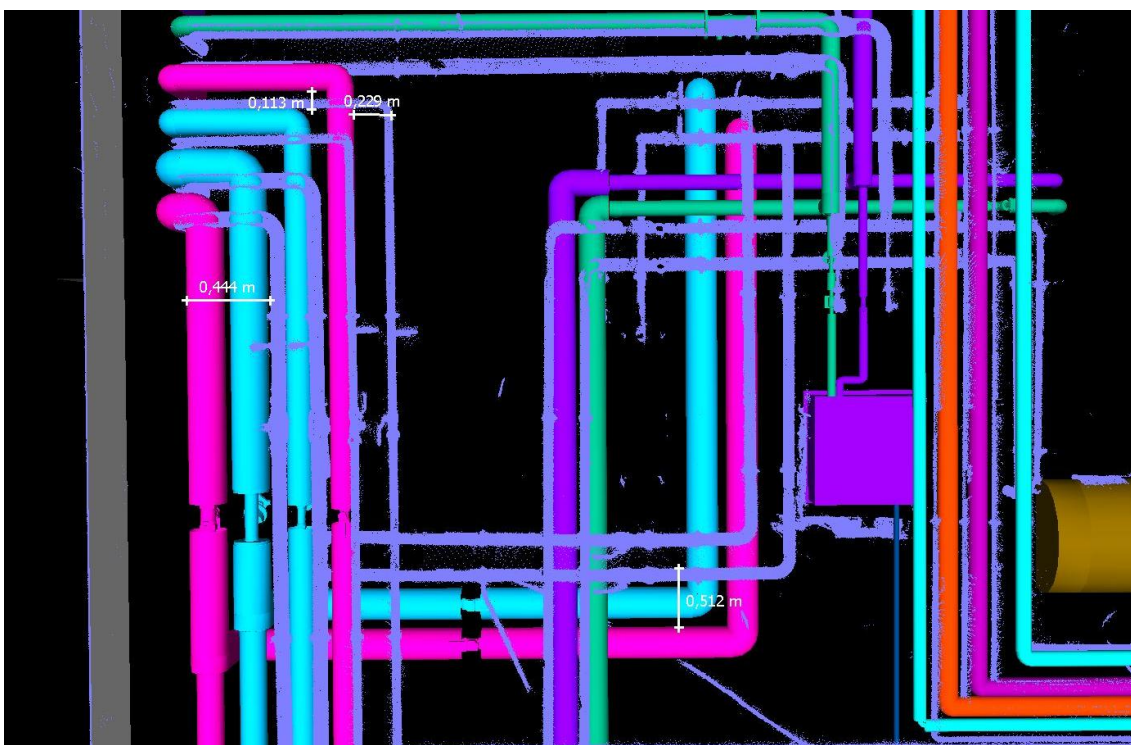


Kuva 5. Viemäriputket ovat suurimmaksi osaksi hyvinkin lähellä suunniteltua sijaintia.

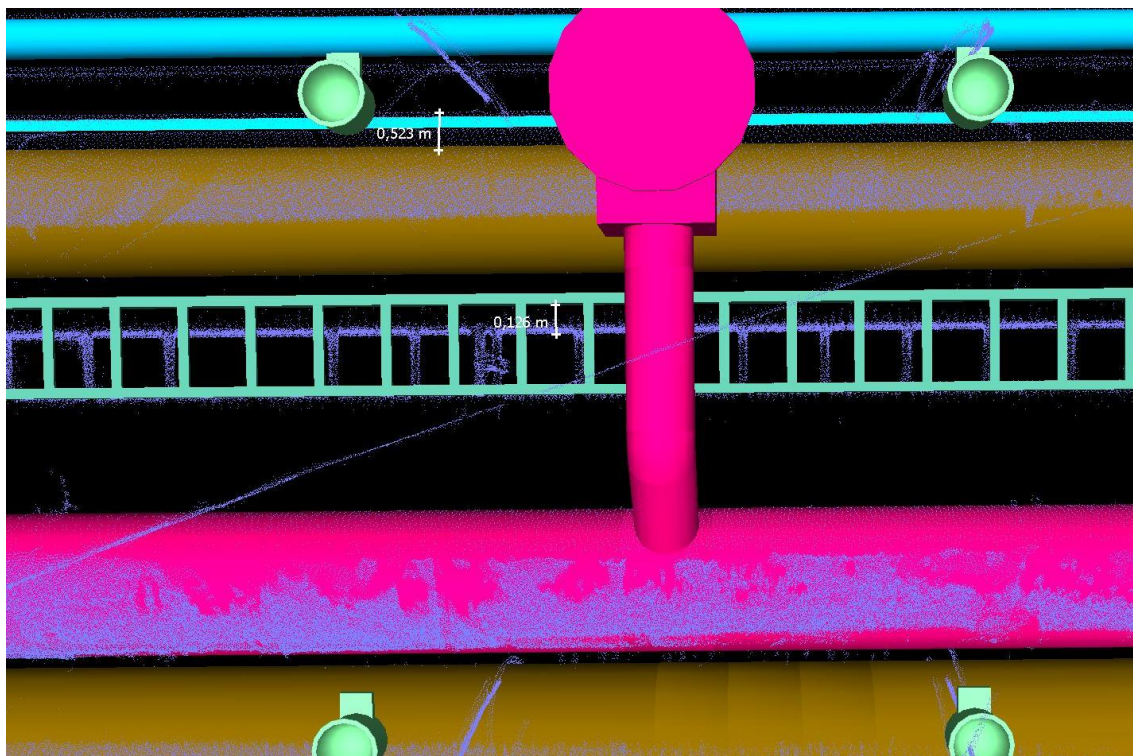




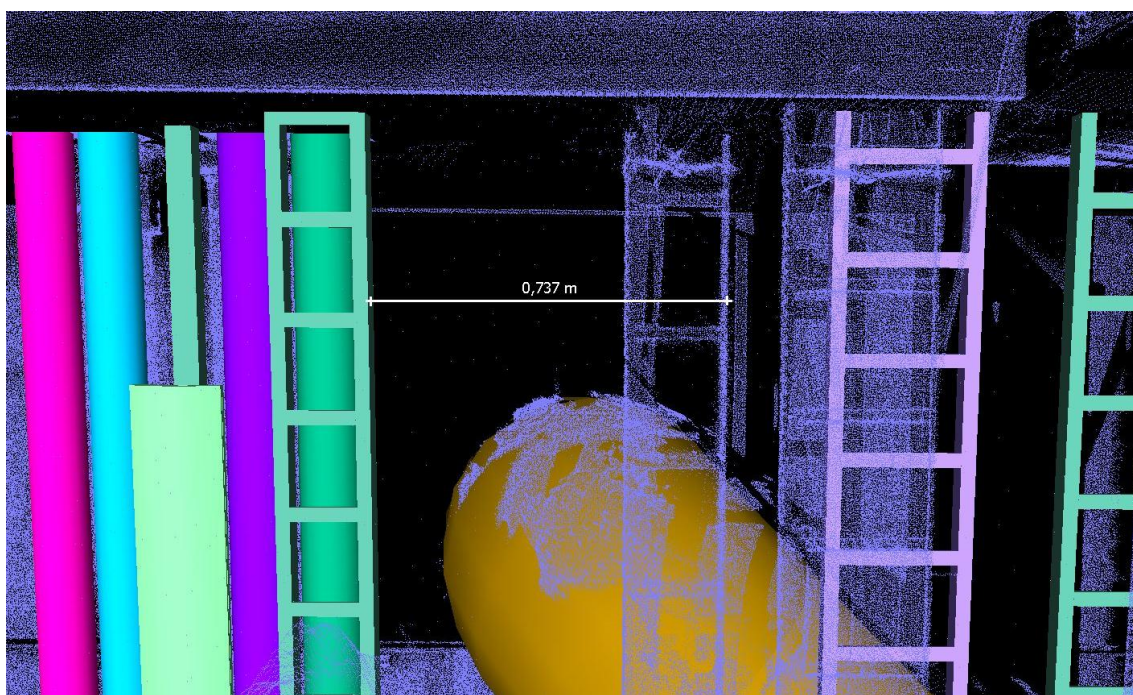
Kuva 6. Toinen kerros.



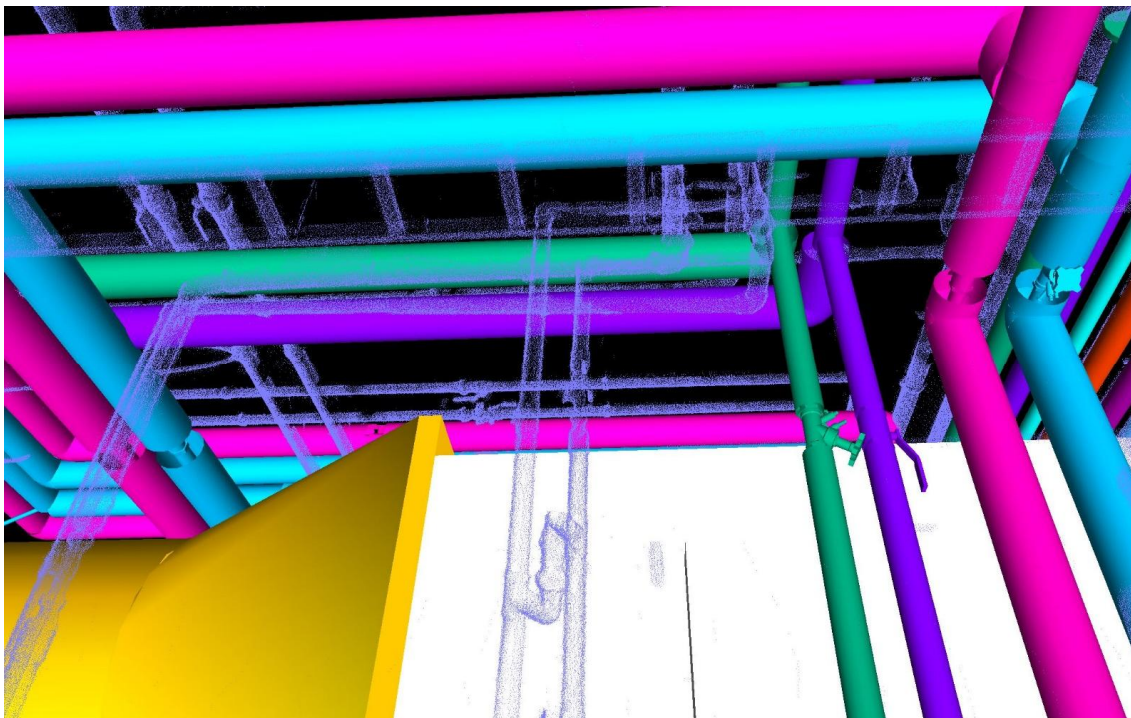
Kuva 7. IV-konehuoneen putkia.



Kuva 8. Useat IV-kanavat olivat todella lähellä suunniteltua sijaintia.



Kuva 9. IV-konehuoneessa on isoja eroja kanavien, putkien ja kaapelihyllyjen osalta.



Kuva 10. IV-konehuoneen eroja.