Putkonen Henri

Pistepilven hyödyntäminen tietomallintavassa korjaussuunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusarkkitehti (AMK)

Rakennusarkkitehtuuri

Opinnäytetyö

07.05.2021

Tiivistelmä

Tekijä(t):	Henri Putkonen
Otsikko:	Pistepilven hyödyntäminen tietomallintavassa korjaussuunnittelussa
Sivumäärä:	56 sivua
Aika:	07.05.2021
Tutkinto:	Rakennusarkkitehti (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennusarkkitehtuuri
Suuntautumisvaihtoehto:	Rakennussuunnittelu
Ohjaajat:	Lehtori Janne Järvinen, Tutkintovastaava Jorma Lehtinen

---

Korjausrakentaminen on ollut tasaisessa kasvussa 1980-luvulta lähtien, ja 2020-luvulle tultaessa siitä on kasvanut yksi merkittävimmistä rakentamisen sektoreista. Korjausrakentamisen ero muuhun rakentamiseen on, että sen kohde on olemassa oleva rakennus. Kohteesta kerättyä tietoa kutsutaan korjaussuunnittelussa lähtötiedoksi. Lähtötietojen tarkkuus ja luotettavuus ovat koko korjausprosessin kannalta merkittävässä asemassa. Epätarkkuudet johtavat rakentamisvaiheessa mitoitusvirheisiin sekä lisäsuunnitteluun, joka taas nostaa kustannuksia ja syö aikaresursseja. Viimeisimpien vuosien aikana alalla on otettu käyttöön uutta teknologiaa lähtötietojen mittaamiseen. Yksi merkittävimmistä lähtötietojen luotettavuutta parantavista tietomuodoista on pistepilvitieto, jota tuotetaan laserkeilaamalla.

Laserkeilain on optinen mittalaite, joka kerää kaikista havaitsemistaan pinnoista tarkkaa mittatietoa, joka on yhdistettävissä samaan koordinaatistoon. Havaituista mittapisteistä muodostuu visuaalisesti tunnistettava pistepilvi, joka on digitaalinen kopio todellisuudesta. Pistepilvi parantaa arkkitehtisuunnittelun lähtötilanteen luotettavuutta huomattavasti, sillä aikaisemin lähtötietona on toiminut esimerkiksi kohteen alkuperäiset piirustukset, jotka harvoin vastaavat todellista tilannetta.

Tietokoneella tapahtuva tiedonsiirto on muuttanut suunnittelutyön käsin piirtämisestä tietokoneavusteisen viivapiirtämisen kautta kolmiulotteiseen tietomallintamiseen. Korjaussuunnittelun toteuttaminen tapahtuu vielä pääosin dokumenttipohjaisesti, vaikka työkalut kolmiulotteiseen tietomallintavaan korjaussuunnitteluun ovat saatavilla. Tässä tutkielmassa testataan tietomallintavan korjaussuunnittelun mahdollisuuksia hyödyntäen pistepilvitietoa arkkitehtisuunnittelun lähtötietona.

Opinnäytetyössä perehdytään pistepilvitiedon ja tietomallintamisen teoriaan sekä selvitetään korjaussuunnittelun nykytilaa Suomessa. Tutkielman lopputulemana voidaan todeta, että pistepilvi toimii mittatarkkana lähtötietona korjaussuunnitelussa, ja sen pohjalta voidaan luoda luotettava tietomalli. Uuden teknologian hyödyntäminen vaatii vielä standardisointia, jotta toiminta saadaan koko alalla yhtenäiseksi.

Avainsanat: korjausrakentaminen, laserkeilain, pistepilvitieto, tietomallintaminen

Abstract

Author(s):	Henri Putkonen
Title:	Point Cloud Data as a Tool for an Architect in a Renovation Project
Number of Pages:	56 pages
Date:	07, May, 2021
Degree:	Construction Architecture
Degree Programme:	Bachelor's Programme
Specialisation option:	Architectural Design
Instructors:	Janne Järvinen, Senior Lecturer Jorma Lehtinen, Head of the Degree Programme

---

In building construction, renovation has been steadily increasing since the 1980s and nowadays it is one of the largest sectors of the industry. The main difference to other construction is that there is an existing building to be renovated. To be able to start designing we need to get accurate data of the existing building. Inaccurate fundamental data leads to errors and miscalculations which delays the construction process. During the recent years there has been development in the technology of measuring existing buildings. One of the major tools to measure an object is laser scanning which provides a whole new technology for renovation.

Laser scanner is an optical measuring tool, which collects accurate data of every surface it sees. The data is registered into a common three-dimensional coordinate-system. After surveying the whole site, we get visually recognizable point cloud which is basically a digital copy of surrounding reality. Point cloud provides an accurate fundamental data as a base for architectural designing.

Digitalization has changed the workflow of designers from hand drawing to computer-aided design into 3D-modeling. Site surveying has also evolved from manual measuring into collecting three-dimensional digital data. Combining these two major developments, rehabilitation projects can now be completed in three-dimensional form. Despite these new technologies the industry of renovation still works with two-dimensional drawings. This research aims to examine and test these new technologies and how well it could be used in rehabilitation projects.

This research is divided into theoretical part and a case study. In theoretical part I examine basic information of point cloud data and BIM (Building information modelling). In addition, I will present the trend of rehabilitation industry in Finland. As a conclusion, point cloud data works great as fundamental data for rehabilitation project. Point cloud can be used as a base for 3D-modeling, but the industry needs more standardization to ensure better consistency.

Keywords: renovation, laser scanner, point cloud data, building information modeling

Keskeisimmät opinnäytetyössä käytetyt lyhenteet ja käsitteet

Attribuutti = Kuvastaa objektin ominaisuuksia. Esimerkiksi tietomallinnuksessa seinälle voidaan määrittää erilaisia attribuutteja liittyen esimerkiksi seinätyyppiin, U-arvoon, kantavuuteen yms.

BIM (Building information modelling) = Tietomalli = 3-ulotteinen mallinnus tuotteesta, mikä sisältää geometrian lisäksi tietosisältöä attribuutteina.

Digitalisaatio = Muutos, jossa toimintamallit siirtyvät teknologiaa käytettäessä digitaaliseen ympäristöön

IFC (Industry foundation classes) = Standardoitu avoin tiedonsiirtomuoto, jonka avulla rakennushankkeen eri suunnittelijaosapuolten suunnitelmat voidaan yhdistää kokonaisuudeksi.

Laserkeilain = Optinen mittalaite, joka kerää ympäristöstään mittatarkkaa pistepilvitietoa lasersäteiden avulla.

Layers (Kuvatasot) = CAD-ohjelmistoissa yleisin käytetty tietojen jäsentelymenetelmä. Kuvatasojen avulla voidaan ryhmitellä eri piirustuksen osia, viivatyyppejä ja -paksuuksia, piilottaa ja esittää haluttuja osia. Myös eri suunnittelualojen piirustukset voidaan määrittää omille tasoilleen.

Mittapiste = Yksittäinen etäisyyshavainto, jonka laserkeilain havaitsee mitatessaan ympäristöä. Pistepilvi muodostuu useista yksilöidyistä mittapisteistä, joilla on oma paikkatieto.

Natiiviformaatti = Ohjelmiston oma tiedostomuoto. Usein mallinnusohjelmistoilla on omat tiedostomuotonsa, joita kyseinen ohjelmisto tukee. Tietomallihankkeessa natiiviformaatista tulee julkaista standardisoitu IFC-malli, jota hankkeen eri osapuolet voivat hyödyntää.

Projektipankki = Digitaalisten dokumenttien hallinnointi- ja jakelupaikka. Rakennushankkeen eri osapuolet voivat säilyttää ja lähettää projektipankkien kautta

suunnitelmiaan ja dokumentteja muille osapuolille. Projektipankit ovat tällä hetkellä yleisin tiedonhallinnan muoto korjaussuunnittelussa.

Pyörähdyskuva = Visuaalinen tuotos, jonka laserkeilain rakentaa mittausprosessin yhteydessä. Pyörähdyskuva on valokuvamainen panoraama keilausasemasta.
Rekisteröinti = Työvaihe, jossa eri mittausasemasta tuotetut pistepilvet yhdistetään samaan koordinaatistoon.

RHS = Rakennushistoriaselvitys.

YTV = Yleiset tietomallivaatimukset. Viimeisin julkaisu vuonna 2012.

.e57 = Tiedostomuoto, jossa pistepilvimalli voidaan julkaista. Useimmat mallinnusohjelmistot tukevat .e57-tiedostomuotoa.

Yhdistelmämalli = 3D-tietomalli, joka sisältää hankkeen kaikkien suunnittelualojen suunnitelmat.

Seuraavat laserkeilaukseen ja pistepilveen liittyvät käsitteet ovat Anssi Savisaaren diplomityössään *Pistepilvitiedon hyödyntäminen korjausrakennushankkeen arkkitehtisuunnittelussa* (Savisaari 2017) tuottamia määritelmiä, joiden tarkoituksena on yhtenäistää ja selkeyttää alan terminologiaa:

> **Pilvi** = Pistemuotoisen mittatiedon pistetiheyttä kuvaava termi. Pistemuotoisen mittatiedon pistetiheys on riittävä täyttääkseen pilvi-määritelmän, kun kohde on aineiston perusteella visuaalisesti tunnistettavissa.
>
> **Pistepilvi** = Pistepilvitiedon esitystapa, jossa tieto sisältyy yksittäisiin pisteisiin, joilla ei ole pituutta, pinta-alaa eikä tilavuutta
>
> **Pistepilvitieto** = Tiheää kolmiulotteista pistemuotoista mittatietoa kohteen geometriasta. Pistepilvitietoa voidaan tuottaa ja esittää usealla eri tavalla
>
> **Pistetiheys** = Pistepilvitiedon absoluuttinen tietomäärä suhteutettuna tiedon laajuuteen. Ilmaistaan pisteiden välisenä minimietäisyytenä.

Sisällys

1 Johdanto 8

1.1 Tutkimuksen tausta 8
1.2 Tutkielman tavoitteet 9
1.3 Aiheen rajaus 10
1.4 Case-kohteena viljamakasiini 10

2 Teoreettinen taustoitus 11

2.1 Digitalisaation vaikutus arkkitehdin työnkuvaan 11
2.1.1 Käsin piirtämisestä tietomallintamiseen 11
2.2 Pistepilvitieto 14
2.2.1 Pistepilvitiedon ominaisuudet 15
2.2.2 Pistepilven käsittely 16
2.2.3 Pistepilvitiedon käyttömahdollisuudet 17
2.3 Korjaussuunnittelu Suomessa 17
2.3.1 Rakennuskanta ja korjausvelka 18
2.3.2 Korjausrakentamisen suunnittelu 20
2.4 Tietomalli 24
2.4.1 Tietomallintamisen sisällöllinen rakenne ja vaatimukset 26
2.4.2 Tietomallintava korjaussuunnittelu 27
2.4.3 Lähtötietojen kartoittaminen 29
2.4.4 Mallinnusvaatimukset 30
2.4.5 Inventointimalli 31
2.4.6 Tietomallintamisen edut ja haitat 33
2.4.7 Tietomalliseloste 34

3 Arkkitehtisuunnittelun työpolku korjauskohteessa 35

3.1 Suunnittelun taustoitus 35
3.1.1 Rakennushistoriaselvitys 35
3.2 Lähtötietojen kartoittaminen laserkeilaimella 37
3.3 Pistepilvimalli 39
3.4 Inventointimallintaminen 41
3.5 Tilamalli ja ehdotussuunnittelu 44
3.6 Alustava rakennusosamalli 45

4 Tulokset ja johtopäätökset 51

4.1 Pistepilvitiedon käytössä havaitut hyödyt 51
4.2 Pistepilvitiedon käyttöön liittyvät ongelmakohdat 52
4.3 Tietomallintamisen kannattavuus korjauskohteessa 53

Lähteet 55

Opinnäytetyössä käytetyt asiantuntijasovellukset ja -laitteet 56

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Korjausrakentamisen suunnittelu on ollut muutosvaiheessa suunnittelun siirtyessä käsin piirtämisestä digitalisaation vaikutuksesta tietokoneavusteiseen suunnitteluun. CAD-viivapiirtämisen ja projektipankkien rinnalle on noussut kolmiulotteinen tietomallintaminen, jonka mahdollisuuksia suunnittelualalla ei ole vielä täysin otettu käyttöön. Korjausrakentamisesta puhuttaessa suunnittelun lähtötietona toimii kohderakennuksen nykytila. Korjaussuunnittelussa yleinen haaste on lähtötietojen luotettavuus, kun suunnitelmien pohjana käytetään esimerkiksi kohteen alkuperäisiä piirustuksia. Luotettavuuden parantamiseksi kohdetta voidaan mitata erilaisin menetelmin, kuten laserkeilaamalla.

Suunnitteluprosessin kehittyessä yhä nykyaikaisemmaksi, on myös suunnittelun työkalujen kehityttävä. Tämä johtaa uusien työkalujen opetteluun ja niitä tukevien ohjelmistojen hallintaan. Muutosprosessi on pitkä ja vaatii tuekseen paljon tutkimustyötä ja standardisointia, yhteisten toimintamallien kehittämistä ja testausta. Tämän opinnäytetyön tehtävänä on olla osana tätä muutosprosessia, jossa korjaussuunnittelu saadaan päivitettyä tälle vuosikymmenelle. Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi BuildingSmart Finland on julkaissut vuonna 2012 *Yleiset tietomallivaatimukset*, joka on 14-osainen merkittävä tietomallinnuksen reunaehtoja ja toimintaperiaatteita käsittelevä kokonaisuus. Teoksesta on tekeillä uusi julkaisu, *YTV2020*, joka tarkentaa olemassa olevia vaatimuksia. Tässä tutkielmassa merkittävänä lähteenä ja tiedon perustana käytän *YTV2012*-julkaisua, ja lisäksi tukeudun useisiin aihetta tutkiviin teoksiin sekä case-tutkielmiin. Opinnäytetyön pääpaino on nykyaikaisten työmenetelmien tutkimisessa, kuten pistepilven käytössä lähtötietona sekä tietomallintavassa korjaussuunnittelussa arkkitehdin näkökulmasta. Tutkielman case-kohteena toimii erään kartanon viljamakasiini, johon viittaan suunnitteluprosessia käsittelevissä aihealueissa. Tutkielma on käytännönläheinen, ja pyrkii kasvattamaan lukijan ymmärrystä aiheesta.

Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen, sillä korjausvelka Suomessa kasvaa jatkuvasti, ja rakennuskannan määrällisesti suurimmat massat ovat saavuttaneet teknisen käyttöikänsä. Parhaimmillaan nykyaikainen tietomallintava korjaussuunnittelu mahdollistaa vanhoille rakennuksille pidempää käyttöikää, ja parantaa käytönaikaista ylläpitoa sekä toimii tulevaisuuden korjaustarpeiden lähtötietona.

Opinnäytetyön hankkeistajana toimii Saatsi Arkkitehdit Oy. Saatsi on korjausrakentamiseen sekä arvorakennusten restaurointiin erikoistunut arkkitehtitoimisto, ja on kiinnostunut kehittämään korjaussuunnitteluun liittyviä käytänteitä. Toimisto tukee opinnäytetyötäni tarjoamalla käyttööni nykyaikaiset työkalut suunnitteluun, kuten laserkeilaimen sekä laserkeilausdatan käsittelyyn tarvittavat ohjelmat. Olen kiitollinen, että Saatsi Arkkitehdit Oy on lähtenyt tukemaan opinnäytetyötäni ja tarjoaa minulle mahdollisuuden tehdä tutkimusta tärkeästä aiheesta ja kehittää toimintaa nykyaikaisempaan muotoon.

1.2 Tutkielman tavoitteet

Tutkielman päätavoitteena on tutkia käytännönläheisesti pistepilvitiedon hyödyntämistä tietomallintavassa korjaussuunnittelussa. Tämä vaatii perehtymistä pistepilvitiedon ominaisuuksiin sekä tietomallintavan suunnittelun erityispiirteisiin ja eroavaisuuksiin perinteiseen korjaussuunnitteluun verrattuna. Vaikka tutkielman painopisteenä on arkkitehtisuunnittelu, tulen tutkimaan ja sivuamaan tietomallintavan suunnittelun vaikutusta muiden suunnittelualojen toimintaan. Parhaimmillaan tietomallihanke hyödyttää kaikkia projektin eri osapuolia. Opinnäytetyön toinen tärkeä tavoite on perehtyä yleisiin tietomallivaatimuksiin, kehittää tietämystäni suunnittelijana ja tuoda merkittävää tietoa lukijalle. Opinnäytetyö syventyy jo aiemmin julkaistuihin tutkielmiin aiheesta luoden jatkumoa kehitystyölle, jota tarvitaan korjaussuunnittelun siirtyessä kohti tietomallipohjaista suunnittelua.

1.3 Aiheen rajaus

Opinnäytetyö rajautuu otsikon mukaisesti korjausrakentamisen suunnitteluun, ja uudisrakentaminen jää aiheen ulkopuolelle. Nykyaikaisten mittavälineiden osalta tutkielmassa keskitytään pääosin maahan tukeutuviin laserkeilaimiin, eikä huomioida tarkemmin esimerkiksi fotogrammetriaa tai droneja. Tietomallintamisen osalta pääpaino on lähtötietojen hankinnassa sekä inventointimallinnuksessa. Case-tutkimus suoritettiin käyttäen Leica BLK360 laserkeilainta sekä valmistajan omaa laserkeilausaineiston rekisteröintiapplikaatiota. Pistepilven käsittelyssä hyödynnettiin Leican Register360-ohjelmaa. (Leica geosystems 2021) Tietomallinnus tapahtui Archicad 24-ohjelmalla. Työpolkua kuvaavat osiot esitellään näiden laitteiden ja ohjelmistojen avulla, ja muut vastaavat työkalut rajautuvat opinnäytetyön ulkopuolelle.

1.4 Case-kohteena viljamakasiini

Opinnäytetyön rinnalla suunnittelen perusparannuksen sekä käyttötarkoituksen muutoksen Uudellamaalla sijaitsevaan viljamakasiiniin (kuva 1 s. 11). Tietoturvallisista seikoista johtuen viljamakasiini esitellään opinnäytetyössä nimettömänä. Projektissa hyödynnän opinnäytetyössä tutkimiani arkkitehtisuunnittelun nykyaikaisia menetelmiä, kuten laserkeilaukseen pohjautuvaa pistepilveä sekä tietomallintamista. Projektissa suunnittelen viljamakasiinista arkkitehtonisesti laadukkaan ja teknisesti toimivan kokonaisuuden, jonka käyttötarkoitus muuttuu taiteilijaresidenssiksi. Tulen esittelemään case-kohteen suunnitteluprosessin aikana syntyneitä havaintoja, ja pyrin löytämään ratkaisuja mahdollisiin ongelmakohtiin. Pyrkimyksenäni on myös havainnollistaa arkkitehdin suunnitteluprosessia case-kohteen avulla.

Kuva 1. Opinnäytetyön case-kohteena toimiva viljamakasiini. Valokuva otettu pääasiallisesta lähestymissuunnasta. Kuva: Henri Putkonen.

Opinnäytetyössä kuvaan arkkitehtisuunnittelun prosessin aina kohteen laserkeilauksesta inventointimallin tekemiseen sekä korjaussuunnitelman laatimiseen.

Pyrin case-kohteen avulla kokeilemaan käytännössä tutkielman myötä havaitsemiani seikkoja liittyen esimerkiksi yleisiin tietomallivaatimuksiin, laserkeilauksen mahdollisuuksiin ja ongelmakohtiin, joita tietomallintavassa korjaussuunnittelussa voi kohdata.

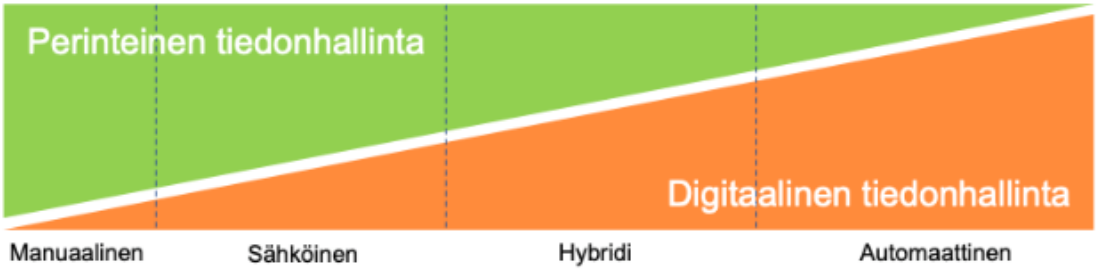
2 Teoreettinen taustoitus

2.1 Digitalisaation vaikutus arkkitehdin työnkuvaan

2.1.1 Käsin piirtämisestä tietomallintamiseen

Tietotekniikan hyödyntäminen on käytännössä mullistanut koko suunnittelualan viimeisen 30 vuoden aikana. Kautta aikojen käytössä ollut perinteinen manuaalinen käsinpiirtäminen on jäänyt tietokoneavusteisen (CAD) piirtämisen varjoon. Siirtyminen teknisestä käsivaraisesta piirtämisestä tietokoneavusteiseen

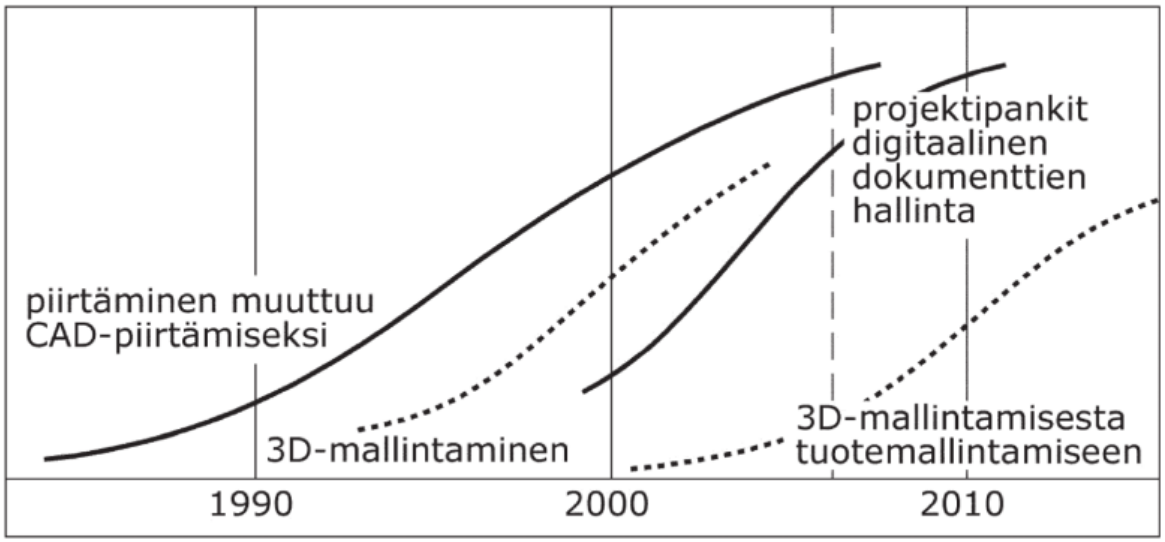
rakennussuunnitteluun tapahtui verrattain nopeasti 1990-luvun alussa. Yksi merkittävimmistä eroista perinteiseen suunnittelutyöhön verrattuna oli tiedonsiirto hankkeen eri osapuolien välillä. Aiemmin tieto siirtyi niin kutsuttujen puhtaaksipiirtäjien kautta fyysisinä paperidokumentteina, kun taas tietotekniikka toi mukanaan mahdollisuuden tulostamiseen sekä myöhemmin 2000- luvun alussa projektipankit. Projektipankki on internetissä toimiva tiedostosijainti, jossa projektiin liittyviä tiedostoja säilytetään ja hallinnoidaan digitaalisesti sekä jaetaan eri hankeosapuolien välillä. Kuva 2 (Hyvärinen, Henttinen et al. 2019) esittää karkeasti havainnollistettuna tiedonhallinnan kehitystä tulevaisuudessa, kun projektipankeista siirrytään tietomallihankkeisiin.



Kuva 2. Digitalisaatio mahdollistaa tiedonhallinnan automaation (Hyvärinen, Henttinen et al. 2019).

CAD-järjestelmien tuoman tiedonsiirron tehokkuuden ja uuden projektinhallinnan lisäksi menetelmä muutti suunnittelijoiden työskentelymenetelmän ja -välineistön. CAD-ohjelmistojen toiminta perustuu eri kuvatasojen (englanniksi layers) käyttöön. Suunnitelmien toimittaminen ja lukeminen tapahtuu kuitenkin perinteisen mallin mukaan dokumenttipohjaisena joko paperisena tai digitaalisena hankkeen eri osapuolien välillä. CAD-ohjelmien ehdottomia vahvuuksia on mittatarkkuus ja eri vaihtoehtojen nopea vertailu ja muokkaus. Lisäksi suunnitelmia tai niiden osia voidaan kopioida ja jäsennellä siten, että yhteensovitus on varmempaa verrattuna käsin piirtämiseen. 2000-luvun alussa suunnittelijoiden keskuudessa CAD-ohjelmien käyttöaste oli noin 70–80 %. (Penttilä, Rajala et al. 2007)

Suunnitteluprosessi on kehittynyt viimeisimpien vuosikymmenien aikana kohti kolmiulotteista tietomallintamista, kuten kuvassa 3 (Penttilä 2006) esitetään. Tietomallintamisen avulla rakennuksesta tuotetaan kolmiulotteinen malli, joka sisältää 2D-piirustuksista poiketen myös erilaisia mitattavia ominaisuustietoja eli attribuutteja. Tietomallinnuksessa rakennuksesta mallinnetaan sovitun tarkkuustason mukaan esimerkiksi rakennusosat, tilatiedot, detaljit sekä muita tarkentavia ominaisuuksia. Tietomallipohjaisesta suunnitelmasta saadaan tuotettua erilaisia laskelmia kuten energiatehokkuus-, kustannus ja määrälaskelmia.



Kuva 3. Suunnitteluympäristön muutos 1990-luvulta tähän päivään (Penttilä 2006).

Tietomallintaminen on tuonut mukanaan myös viivapiirustuksia havainnollistavamman esitysmuodon, sillä suunnitelmasta voidaan tuottaa visuaalista materiaalia, kuten perspektiivikuvia sisä- ja ulkotiloista (Penttilä, Rajala et al. 2007). Perspektiivissä tarkastelun avulla voidaan myös arvioida rakennuksen sopivuutta ympäristöönsä. Tietomallintamisen mahdollistama havainnollisuus auttaa suunnittelijoiden lisäksi myös asiakasta hahmottamaan paremmin suunnitteluratkaisuja, sillä teknisten piirustusten ymmärtäminen voi olla asiakkaalle haasteellista. Perinteinen kaksiulotteinen viivapiirtäminen tulee kuitenkin pysymään merkittävänä suunnitelmien esitystapana mallinnuksen rinnalla tulevaisuudessakin.

2.2 Pistepilvitieto

Laserkeilain (kuva 4) on optinen mittalaite, jonka avulla voidaan tuottaa, kolmiulotteista mittatietoa ympäristöstä. Laserkeilauksen lopputuote, pistepilvitieto, on digitaalinen kopio todellisuudesta. Laserkeilain perustuu laitteen lähettämiin laserpulsseihin ja pinnoista heijastuvan paluupulssin kulkeman ajan mittaamiseen. Laserkeilain tuottaa yhdestä keilausasemasta miljoonia etäisyyshavaintoja, joista muodostuu kolmiulotteista mittatietoa, jossa jokaisella pisteellä on tarkka XYZ-koordinaatti. Laserkeilaus toteutetaan kohteessa useammasta eri keilausasemasta, joiden pistepilvitiedot yhdistetään toisiinsa rekisteröimällä, ja näin muodostuu kokonaisvaltainen pistepilvi mitatusta kohteesta. (Kallinen 2019) Eri keilausasemien mittatulokset yhdistetään samaan koordinaatistoon joko paikan päällä mobiilisovelluksella tai kohdekäynnin jälkeen tietokoneohjelmalla. Laserkeilausprosessiin perehdytään tarkemmin kappaleessa 3.2. Koordinaattitiedon lisäksi pisteet sisältävät muita ominaisuuksia, kuten väri- ja intensiteettiarvoja.

Kuva 4. Case-kohteessa käytetty laserkeilain Leica BLK360. (Leica geosystems 2021)

Pistepilvitietoa voi tuottaa muillakin tavoin kuin laserkeilaamalla. Näitä menetelmiä ovat muun muassa fotogrammetria, takymetrimittaus sekä manuaalinen taulukointi (Savisaari 2017). Nämä pistepilvitiedon tuottamistavat on rajattu tutkielman ulkopuolelle.

Laserkeilausta on hyödynnetty jo vuosikymmeniä maanmittauksessa, ja nykyisin menetelmän käyttömahdollisuudet ovat laajentuneet muun muassa

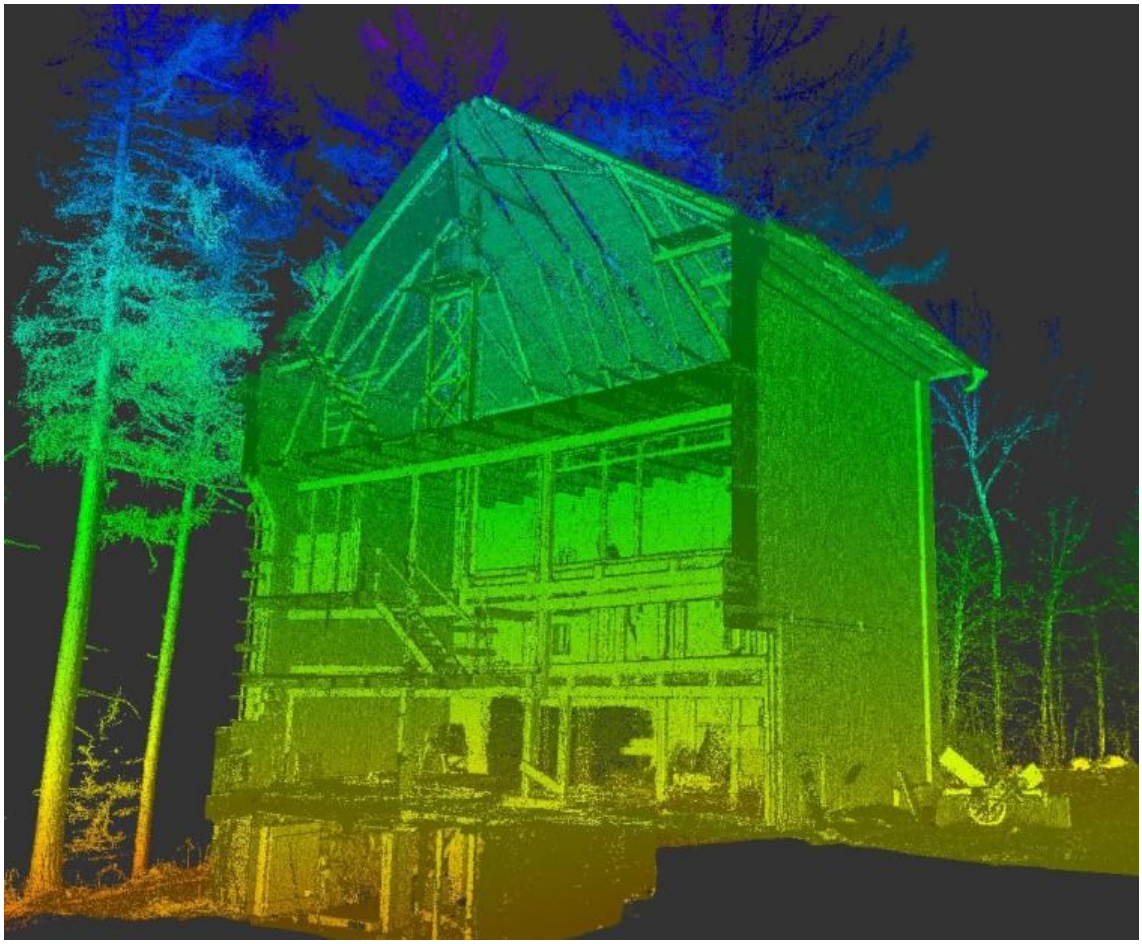
korjaushankkeiden lähtötietojen mittaukseen, kiinteistöomaisuuden digitaaliseen dokumentointiin sekä historiallisten kohteiden taltiointiin. Esimerkiksi Google Arts on aloittanut yhteistyössä CyArk-organisaation kanssa projektin, jonka tarkoituksena on luoda digitaalinen kopio Ihmisen historian merkittävimmistä kohteista käyttäen nykyaikaisia mittausmenetelmiä, kuten laserkeilausta sekä fotogrammetriaa (Hicks 2018).

2.2.1 Pistepilvitiedon ominaisuudet

Pistepilvi on pistepilvitiedon esitystapa, jossa tieto esitetään yksittäisten mittapisteiden muodostamana pilvenä. Muita pistepilvitiedon esitystapoja ovat esimerkiksi kuori- ja pintamalli, kolmioverkko sekä numeerinen taulukointi (Savisaari 2017).

Pistepilvi koostuu valtavasta määrästä yksittäisiä mittapisteitä, jotka ovat rekisteröity samaan XYZ-koordinaatistoon. Laserkeilaimissa on sisäänrakennettu LiDAR-anturi (light detection and ranging), jonka avulla keilain pystyy määrittämään yksittäisten pisteiden tarkan sijainnin suhteessa keilausasemaan (Glueck 2021). Case-kohteessa käytetty laserkeilain mittaa 360 000 mittapistettä sekunnissa (Leica geosystems 2021).

Pistepilvitiedolla on koordinaattitiedon lisäksi muita ominaisuuksia riippuen mittavälineestä. Useimmiten pisteet sisältävät väri- ja intensiteettiarvoja. Värit ilmoitetaan yleisesti käytetyn RGB-värimallin mukaan. Pistepilveä käsiteltäessä esitystapaa voidaan säätää esimerkiksi pisteiden Z-koordinaatin (kuva 5 s.16), mittausaseman, intensiteetin ja joissain laserkeilaimissa myös lämpöarvon mukaan. Esitystavan muuttaminen parantaa pistepilven käytettävyyttä ja virheiden havaitseminen ja korjaaminen on helpompaa. Useimmat laserkeilaimet tuottavat mittausasemastaan myös 360°-värivalokuvan, jota voi hyödyntää esimerkiksi inventointimallinnuksen tukena sekä visualisoinnissa.



Kuva 5. Pistepilven pisteiden väriarvoja voidaan muokata tarpeen mukaan. Kuvassa pisteiden väriarvo vaihdettu määräytymään pisteen Z-koordinaattiarvon eli korkeusaseman mukaan. Autodesk ReCap.

2.2.2 Pistepilven käsittely

Kohteesta kerätty laserkeilaimella kerätty pistepilvitieto tuodaan tietokoneohjelmaan, jossa sitä voidaan tarkastella, korjata ja siistiä. Eri keilausasemista otetut mittaukset voidaan joko rekisteröidä toisiinsa paikan päällä sille tarkoitetun mobiilisovelluksen avulla, tai suorittaa rekisteröinti myöhemmin pistepilvitiedon käsittelyohjelmalla. Case-kohteessa pistepilven rekisteröinti on toteutettu paikan päällä käyttäen Leica Field360-mobiilisovellusta (Leica geosystems 2021). Pistepilven virheettömyys varmistetaan myöhemmin tietokoneohjelmassa pistepilven siistimisen yhteydessä.

Laserkeilain kerää kaikista havaitsemistaan pinnoista tietoa, joka johtaa usein suuriin tiedostokokoihin. Pistepilvitiedon käsittelyyn tarkoitetut ohjelmat prosessoivat dataa suhteellisen vaivattomasti, mutta esimerkiksi mallinnusohjelmissa pistepilven suuri tiedostokoko voi koitua ongelmaksi ja käyttö olla raskasta. Tämän vuoksi on tärkeää, että kaikki hankkeen kannalta tarpeettomat pisteet poistetaan pistepilven käsittelyvaiheessa. Pistepilven voi myös tarvittaessa pilkkoa pienempiin osiin, jotta sen käyttö mallinnusohjelmassa olisi sujuvaa.

2.2.3 Pistepilvitiedon käyttömahdollisuudet

Pistepilveä hyödynnetään laajasti eri sektoreilla, kun työssä tarvitaan mittatarkkaa tietoa. Laserkeilausta hyödynnetään esimerkiksi arkkitehtuurissa, eri insinöörialoilla, peliteollisuudessa, maanmittauksessa sekä arkeologiassa. Työkalut pistepilven tuottamiseen ja käsittelyyn kehittyvät ja niiden hintataso laskee, jolloin käyttäjäkunta laajenee ja hyödynnettävyys paranee. Tulevaisuudessa pistepilven käyttöön voidaan yhdistää VR-teknologiaa, jolloin havainnollisuus ja käyttömahdollisuudet laajenevat entisestään. (Glueck 2021)

Korjausrakennushankkeessa pistepilven pääasiallinen tarkoitus on toimia lähtötietona, jonka päälle inventointimalli mallinnetaan. Laajemmissa kohteissa voidaan mallintaa esimerkiksi vain hankkeen kannalta olennaiset kohdat. Mallinnuksen laajuus sovitaan hankesuunnitteluvaiheessa asiakkaan kanssa. Pistepilveä voidaan käyttää esimerkiksi mallintamattomien tilojen havainnollistamiseen (hybridimalli), jolloin säästetään mallinnustyön aikaresursseja.

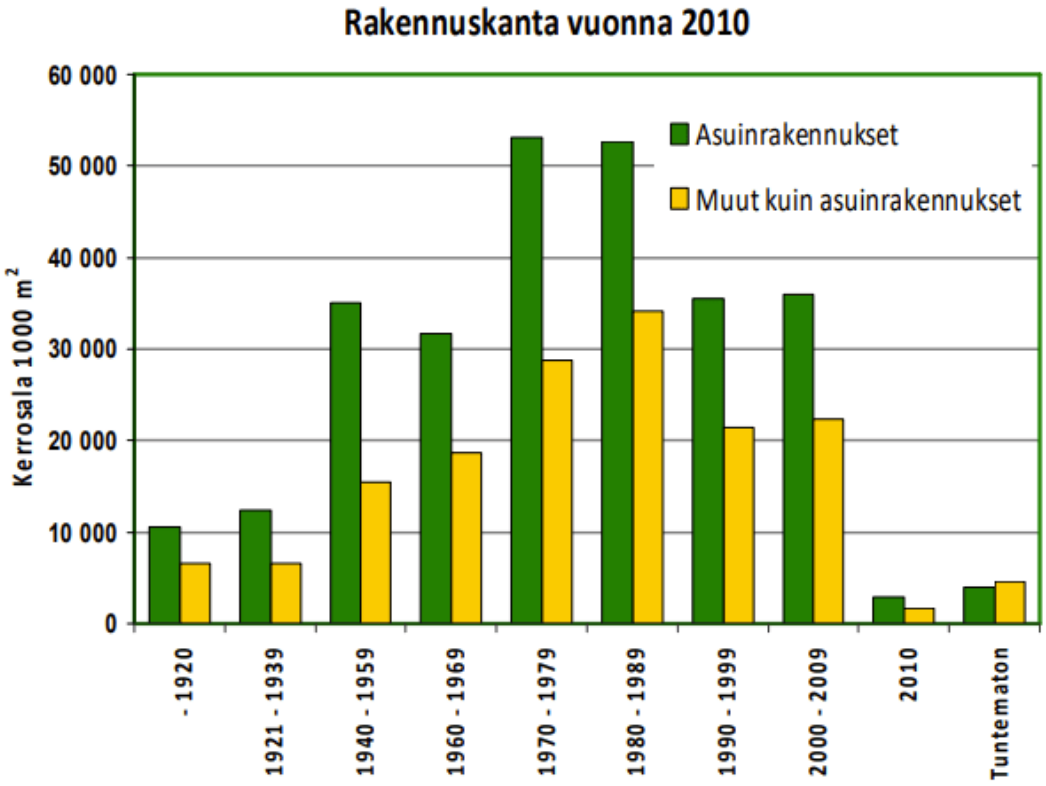
2.3 Korjaussuunnittelu Suomessa

Korjausrakentamisessa lähtötietojen epämääräisyys aiheuttaa haasteita rakennusvaiheessa, kun toteutussuunnitelmat eivät vastaa todellista tilannetta. Tämä hidastaa korjausprosessia ja lisää kokonaiskustannuksia. Koska korjaussuunnittelussa lähtötiedot ovat merkittävässä roolissa, täytyy niiden hankkimiseen ja hyödyntämiseen lisätä resursseja. Mallintavassa suunnittelussa kokonaisvaltainen hyöty saavutetaan, kun ajallisesti panostetaan suunnittelun alkuvaiheeseen. Onnistuneella tietomallintamisella toisaalta voidaan vähentää

rakennusvaiheen muutostarpeita (Snellman 2014). Jotta voidaan ymmärtää paremmin uuden teknologian käyttöönoton tarpeen ajankohtaisuutta, täytyy tutkia rakennuskantaa ja korjaustarvetta koko Suomen mittakaavassa.

2.3.1 Rakennuskanta ja korjausvelka

Suomen rakennuskanta on merkittävä osa kansanvarallisuutta. Suomen kansanvarallisuudesta (775mrd. €) rakennuskanta kattoi 349 mrd. €, joka on noin 45 %. (Holmijoki 2013) Rakennuksien määränä ilmaistuna rakennuskanta oli 1,45 miljoonaa rakennusta. Vuoden 2020 alussa on rakennuskannaksi ilmaistu 1,4 miljoonaa rakennusta (Ympäristöministeriö 2020), eli määrällisesti rakennuskanta ei ole muuttunut merkittävästi kymmeneen vuoteen.



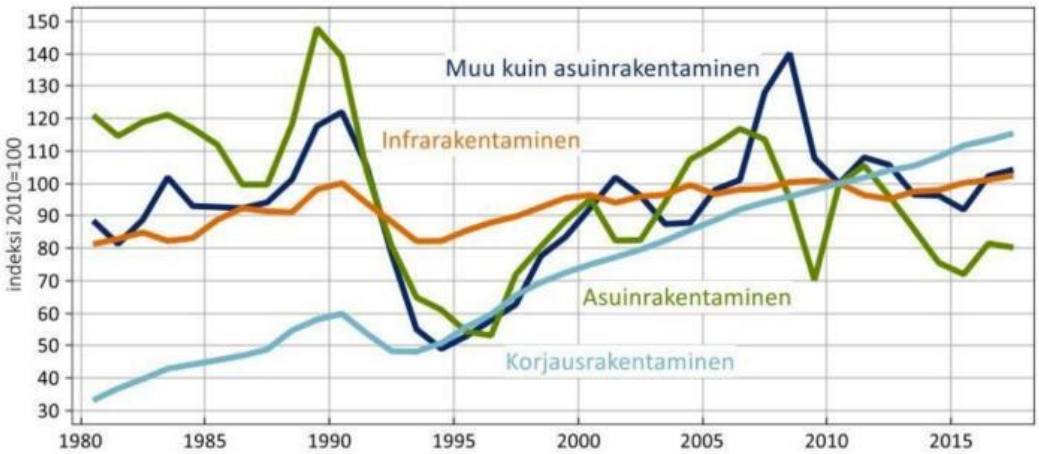
Kuva 6. Suomen rakennuskanta vuonna 2020 ilmaistuna kerrosalaneliöinä rakennusvuosien mukaan (Holmijoki 2013).

Kuten kuvasta 6 s. 18 (Holmijoki 2013) nähdään, aikavälillä 1970–1989 rakennuskanta on kokenut selvän piikin, sillä se edustaa noin 40 % koko rakennuskannasta. Nämä rakennukset ovat 30–50 vuotta vanhoja, jolloin niiden rakennustekninen korjaustarve kasvaa merkittävästi. Korjausrakentamisen suunnittelu ja toteutus on aloitettava, kun rakennuksen rakennustekninen ikä saavuttaa korjaustarpeen, eikä tavanomainen kiinteistönhuolto pysty varmistamaan rakennusosien ja rakennuksen laitteiston toimivuutta tai rakennuksen toiminnallisia tavoitteita. Korjaustarpeiden huomioiminen ja niihin ajoissa reagoiminen on kiinteistön omistajan vastuulla. (Holmijoki 2013)

Korjausrakentaminen on välttämätön rakennusten huoltoa ja ylläpitoa kohottava sektori. Korjausrakentamisen eri alueet voidaan Rakli Ry:n tuottaman kiinteistöliiketoiminnan sanaston mukaan jakaa korjausrakentamisen kunnossapitoon, perusparannuksiin, teknisten järjestelmien ja rakennusosien uusimiseen (Hietala, Huovari et al. 2015). Kunnossapidon avulla pyritään säilyttämään rakennuksen alkuperäiset ominaisuudet ja peruslaatutaso. Tämä toteutetaan usein joko vuosikorjauksina tai peruskorjauksena. Perusparantamisesta puhutaan, kun korjaustoimenpiteiden tavoitteena on parantaa tai muuttaa rakennuksen alkuperäisiä ominaisuuksia. (Hietala, Huovari et al. 2015)

Olemassa olevaa rakennuskantaa korjatessa arvioidaan rakennuksen alkuperäistä käyttötarkoitusta suhteessa alueellisiin tarpeisiin, ja usein korjaustoimenpiteenä päädytään suunnittelemaan käyttötarkoituksen muutos vastaamaan nykyisiä tarpeita. Tarkalla suunnittelulla voidaan esimerkiksi muuttaa tyhjäksi jääneet toimisto- sekä tehdasrakennukset asumiskäyttöön, mikäli alueelle kohdistuu muuttopainetta eikä uudisrakennuksille ole tarvittavaa tilaa tarjolla. Korjausrakennushankkeeseen ryhdyttäessä rakennuksen energiatehokkuus pyritään päivittämään vastaamaan nykyisiä vaatimuksia. Energiatehokkuutta voidaan parantaa esimerkiksi päivittämällä rakenne- ja LVI-ratkaisuja tai vaihtamalla ikkunat ja ovet energiatehokkaampiin tuotteisiin. Myös tilojen esteettömyyttä pyritään parantamaan korjaushankkeen yhteydessä. (Laitinen, Laitinen et al. 2007)

Korjausrakentamisen tarve kasvaa tasaisesti, kun vanha rakennusikä saavuttaa rakennusteknisen käyttöikänsä. Kuten kuvasta 7 voidaan päätellä, korjausrakentamisen trendi on nousujohteinen samalla kun uudisrakentamisen volyymi vaihtelee suhdanteiden mukaan. Huomionarvoista graafissa on 1990-luvun taite, kun Suomeen iski taloudellinen lama ja muu rakentaminen koki selvän laskun, mutta korjausrakentaminen pysyi kurssillaan. 2010-luvulle tultaessa korjausrakentamiseen käytetyt resurssit ovat saavuttaneet uudisrakentamisen, ja tarpeen odotetaan kasvavan tulevaisuudessakin. Tämä kertoo siitä, että korjausrakentamisen suunnitteluun on resursoitava yhä enemmän henkilökuntaa, tai korjausrakentamista on tehostettava ja menetelmiä parannettava, jotta korjausrakentamisen paine saadaan tasattua.



Kuva 7. Rakentamisen trendit Suomessa,1980–2015 (Risulahti 2016).

2.3.2 Korjausrakentamisen suunnittelu

Korjausrakentamisen merkittävin ero uudisrakentamiseen on, että kohteena on olemassa oleva rakennus, johon suunnitellaan korjaustoimenpiteitä. Olemassa olevalla rakennuksella on aina yksilöllinen historia, jota täytyy ymmärtää ennen suunnittelutyöhön ryhtymistä. Rakennuksesta tulee selvittää sen historian lisäksi vähintään aiemmat korjaus- ja muutostyöt, rakennukseen ja sen ympäristöön vaikuttavat kaavamääräykset. Lisäksi kohteeseen tulee tehdä erilaisia

selvityksiä liittyen esimerkiksi rakenteellisiin ja taloteknisiin ratkaisuihin sekä tehdä selvitys ympäristön geoteknisestä tilanteesta pintavaaituksen ja pohjatutkimusten avulla. Rakennushistoriallisesti suunnittelijan on ymmärrettävä rakennukseen liittyvät historialliset tyyppiratkaisut ja erityispiirteet, ja arvottaa näiden merkitys korjaussuunnittelussa. Laserkeilaimen avulla olemassa olevista kohteen digitaalinen kopio, jonka avulla kohteen erityispiirteitä voidaan vaalia tai korostaa.

Suunnittelutehtävään ryhdyttäessä suunnittelijan tulee ottaa yhteys rakennusvalvontaan sekä tarpeen tullen muihin asiantuntijoihin, kuten museoviranomaisiin. Aktiivinen kommunikointi takaa sen, että suunnittelija ymmärtää rakennuksen ja sen lähiympäristön mahdollisuudet, haasteet ja rajoitteet. Arkkitehtisuunnittelun varhaisessa vaiheessa myös keskustelu muiden suunnittelualojen kanssa on kannattavaa, sillä näin ennaltaehkäistään virhearvioita, ymmärretään talotekniikan tilatarpeet ja rakenteelliset perusratkaisut.

Case-kohteena oleva Viljamakasiini on hyvä esimerkki taustatutkimuksen tärkeydestä. Viljamakasiini sijaitsee pihapiirissä, joka on kaavalla suojeltu kulttuurihistoriallinen alue. Pihapiirin maisemallinen kulttuuriarvo on korkea, eikä pihapiiriin voi tehdä merkittäviä muutoksia. Tämän johdosta rakennuksesta on löydettävä ja arvotettava ne erityispiirteet, joita tulee vaalia. Analyysini perusteella merkittävimmät arkkitehtoniset piirteet rakennuksessa ovat sen etelään suuntautuva goottilaistyylinen ikkuna (kuva 8 s. 22), vaalea pintarappaus massiivitiiliseinän ulkopinnalla, pyramidikatto puurakenteineen (kuva 9 s. 23) sekä massiivinen kivisokkeli. Kohteessa on sisätiloissa hirsirakennelmia, jotka ovat alkuperäisesti ollut tarpeellinen osa viljamakasiinin toimintaa. Puutavaran kunnosta voidaan päätellä, että osa rakenteesta on lisätty selvästi myöhemmin, eikä lisäykset näin ollen liity alkuperäiseen käyttötarkoitukseen. Viljamakasiinin kivijalassa on matala viinikellari, jossa välipohjarakenteena on käytetty ratakiskoja sekä kappaholvausta (kuva 10 s. 23).

Kuva 8. Viljamakasiinin etelänpuoleisella julkisivulla on goottilaistyylinen, noin 8 metriä korkea ikkuna. Ikkuna on merkittävä arkkitehtoninen elementti, jota on suojeltava korjaussuunnittelussa. Julkisivun vaalea pintarappaus on paikoittain rapistunut, ja sen alta paistaa massiivitiiliseinä. Kuva: Henri Putkonen.

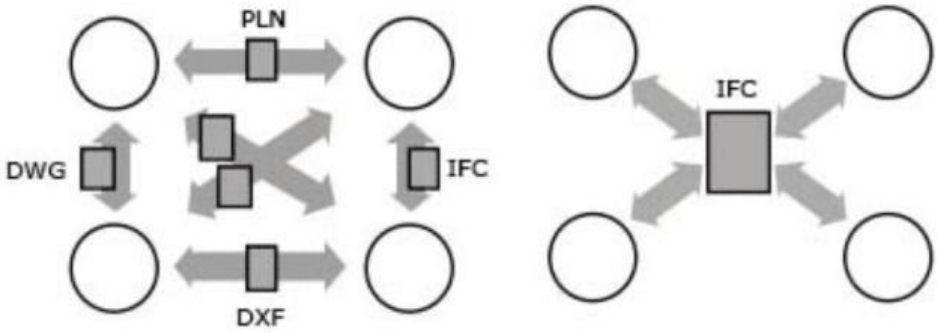
Kuva 9. Pyramidikaton kattorakenteita. Kuva: Henri Putkonen.

Kuva 10. Viinikellarin rakenteellinen perusratkaisu koostuu kivijalasta, hirsipilareista sekä välipohjasta, jossa on hyödynnetty kappaholvausta sekä ratakiskoja. Kuva: Henri Putkonen.

2.4 Tietomalli

Tietomalli on kohteesta tietokoneavusteisesti mallinnettu usein kolmiulotteinen suunnitelma. Tietomalli on hyödynnettävissä koko rakennuksen elinkaaren ajan aina suunnittelusta rakentamiseen ja käytön aikaiseen ylläpitoon. Tietomalli on digitaalinen suunnitelma, jonka pohjalta voidaan suunnitella myös tulevat korjaustarpeet. Mallinnuksen päätavoite on *YTV2012:n* mukaan laadukas suunnittelu ja rakentaminen tehokkaasti huomioiden kestävä kehitys ja rakennuksen elinkaari. (Henttinen 2012b)

Tietomallinnuksella tarkoitetaan viitekehystä, jossa rakennushankkeen tietojen kokonaisvaltainen käsittely tehdään tieto- ja informaatiotekniikan avulla. Tietomalli voi käsittää 3- tai 2-ulotteisen geometrisen kuvauksen kohteesta, mutta tämä ei kuitenkaan ole välttämätön osa tietomallia. Tietomalli sisältää kohteen geometrian lisäksi erilaisia ominaisuustietoja eli attribuutteja liittyen esimerkiksi kohteen rakennusosiin. Tietomallihankkeessa useiden eri suunnittelualojen natiivimuotoiset tietomallit (mallinnusohjelman oma tiedostomuoto) yhdistetään integroiduksi tietomalliksi tai toisin sanoen yhdistelmämalliksi, jonka avulla voidaan tarkastella ja analysoida hankekokonaisuutta. Yhdistelmämalli on kokonaisuus, jossa samaan tietomalliin on yhdistetty hankkeen kaikkien eri suunnittelijaosapuolien suunnitelmat. Yhdistelmämallin avulla voidaan esimerkiksi tehdä törmäystarkasteluja ja visuaalisesti havainnoida ja ratkaista ongelmakohtia. Yhdistelmämallin käyttö perustuu avoimien standardien, esimerkiksi IFC:n (Industry foundation classes) käyttöön. (Rajala 2006) IFC on standardoitu avoin tiedonsiirtomuoto, jonka avulla rakennushankkeen eri suunnittelijaosapuolten suunnitelmat voidaan yhdistää kokonaisuudeksi kuvan 11 s. 25 (Penttilä, Rajala et al. 2007) mukaan. Suunnittelijoiden on tarjouksissaan mainittava käyttämänsä mallinnusohjelma, sen versio sekä sen tukeman IFC-muotoisen tiedoston versio.



Kuva 11. Projektinsisäinen tiedonsiirto yksinkertaistuu ja selkeytyy tietomallin (IFC) avulla. Vasemmanpuolinen dokumenttipohjainen tiedonsiirtokaavio kuvastaa tilannetta, jossa hankeen eri osapuolten välinen tiedonsiirto tapahtuu eri suunnitteluohjelmien tiedostomuodoilla, kun taas tietomallihankkeessa kaikki informaatio kulkee saman yhdistelmämallin sisällä (Penttilä, Rajala et al. 2007).

Tietomallintamisen kannattavuus vaihtelee kohteesta ja sen laajuudesta riippuen. Tietomallintava hankkeistus tehostaa kokonaisvaltaista hanketietojen hallintaa yhteistoiminnallisesta näkökulmasta. Kannattavuutta voidaan tarkastella rakennuksen korjaushistoriaa tutkimalla ja arvioimalla tulevia korjaustarpeita. Tietomalli tukee pitkäjänteistä korjausstrategiaa, sillä korjaussuunnittelua voidaan tehokkaasti jatkaa jo aiemmin tehdyn tietomallin päälle. Korjaussuunnittelun lisäksi tietomallia voidaan hyödyntää rakennuksen käytössä ja ylläpidon ohjelmoinnissa.

Rakennuksen tietomalli on kuin virtuaalimaailma, jossa nähdään rakennuksen nykytila ja tehdyt suunnitelmat. Suunnitelmien toimivuutta ja toteutusta voidaan tarkastella ja analysoida jo hyvin varhaisessa vaiheessa suunnittelua. Muiden suunnittelualojen tullessa mukaan myös törmäystarkastelujen simuloiminen on mahdollista. Tietomallista tuotettavat dokumentit ovat aina ristiriidattomia, sillä ne tulevat samasta mallista. Ristiriidattomuus CAD-pohjaisessa suunnittelussa koetaan usein ongelmalliseksi, sillä piirustuksia täytyy päivittää muiden suunnittelijoiden ja revisioiden mukaan, ja kaikkien tulee olla perillä siitä, missä sijaitsevat viimeisimmät suunnitelmat. Tämä myös tarkoittaa toisaalta sitä, että tietomallinnuksesta saa parhaan hyödyn vain, kun koko suunnitteluorganisaatio toimii tietomallintavilla ohjelmistoilla. (Penttilä, Rajala et al. 2007)

Yleisten tietomallivaatimusten (YTV2012) mukaan tietomallintamisen merkittävimmät hyödyt rakennushankkeen kannalta ovat:

- investointipäätöksien tukeminen vertailemalla eri ratkaisujen toimivuutta, laajuutta ja kustannuksia
- energia-, ympäristö- ja elinkaarianalyysit
- suunnitelmien havainnollistaminen
- rakennettavuuden analysointi, laadunvarmistus
- tiedonsiirron parantaminen ja suunnitteluprosessin tehostaminen, suunnittelualojen yhteensovittaminen
- rakennushankkeiden tietojen hyödyntäminen sekä käytön että ylläpidon aikaisissa toiminnoissa

2.4.1 Tietomallintamisen sisällöllinen rakenne ja vaatimukset

Tietomallintamiselle on asetettu Senaatti-kiinteistöjen toimesta tiettyjä vaatimustasoja, jotka sisältävät erilaisia sisältövaatimuksia. Perinteisesti arkkitehtisuunnittelu voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri vaiheeseen: luonnossuunnitelmat, rakennuslupa-asiakirjat sekä toteutussuunnitelmat. Tietomallihankkeessa vaatimustasot hahmottuvat mallin rakentumisen ja tarkentumisen mukaan. Prosessi voidaan erottaa seuraaviin vaiheisiin (Penttilä, Rajala et al. 2007):

1. Vaatimusmalli. Periaateratkaisu, joka kuvaa hankemäärittelyä tilaajan ja hankkeen omistajan näkökulmasta. Vaatimusmalli määrittää jatkosuunnittelun suuret linjat.

2. Tilamalli, käytetään pääasiassa huonetiloihin liittyvän tiedon jäsentelyyn. Tilamalli vastaa osittain tilaohjelmaa, missä ilmenee tilojen oikeat tilavuustiedot sekä tilojen käyttötarkoitukset. Tilamallissa voidaan karkeasti määrittää suunniteltavien tilojen järjestys ja laskea esimerkiksi niiden pinta-aloja sekä tilavuuksia.

3. Alustava rakennusosamalli, vastaa perinteisiä luonnossuunnitelmia. Alustavassa rakennusosamallissa suunnitelmat ovat periaatteellisia, rakenteet ja rakennusosat (ovet, ikkunat, ym.) sekä tilojen varusteet (kiintokalusteet, varusteet, laitteet) esitetään kaaviomaisesti niille tarkoitettujen työkalujen avulla mallinnettuna.

4. Rakennusosamalli, vastaa pääosin nykyistä toteutussuunnittelua. Rakennusosamallissa alustavat rakenteet ja rakennusosat tarkentuvat ja ne esitetään todellisina tuotteina, mutta tuotteiden toimittajaa ei tarvitse vielä tässä vaiheessa määrittää. Rakennusosamalli mallinnetaan sillä tarkkuudella, että siitä voidaan tuottaa määrälaskelmia ja sen pohjalta voidaan selvittää hankinnan tarpeet.

5. Tuoteosamalli eli toteutusmalli, vastaa nykyistä toteutussuunnittelua. Mallinnustarkkuus kasvaa yhä yksityiskohtaisemmaksi ja kohteen detaljiikka on tarkentunut. Rakennusosiin liitetty tarkempia attribuutteja esimerkiksi toimittajista ja materiaaleista.

6. Toteumamalli. Rakennustyön jälkeen tietomalli jalostetaan vastaamaan todellista toteumaa. Toteumamalli on tarpeellinen esimerkiksi tulevia korjaushankkeita ajatellen.

7. Ylläpitomalli, tukee käyttö- ja ylläpitovaihetta. Tietomalliin voidaan syöttää tietoa esimerkiksi eri alueiden siivoustiheydestä tai eri rakennusosien teknisestä käyttöiästä. Parhaimmassa tapauksessa ylläpitomallin avulla kohteen käyttöikää saadaan pidennettyä ja korjaustarvetta siirrettyä myöhemmäksi.

2.4.2 Tietomallintava korjaussuunnittelu

Uudispuolella tietomallinnushankkeet ovat nykyään arkipäivää, kun taas korjauspuolella projektipankit ja CAD-piirtäminen toimivat pääsääntöisenä suunnittelutapana. Jotta muutos kohti tietomallintavaa korjaussuunnittelua olisi mahdollinen, on lähtötietojen luotettavuus oltava korkea. Tietomallihankkeessa

arkkitehdin tekemä mallinnus on välttämätön, sillä se toimii pohjana muiden suunnittelualojen mallinnukselle. Arkkitehtisuunnitelmien pohjalta voidaan tuottaa myös erilaisia laskelmia ja analyysejä esimerkiksi kustannus- ja energiatehokkuuslaskelmia.

Erot uudis- ja korjaussuunnittelun välillä

Merkittävin ero uudisrakentamiseen on se, että lähtötietona suunnitteluun toimii olemassa oleva rakennus ja siitä tuotettu inventointimalli. Inventointimallia tehtäessä on osittain jo tehty arvotusta ja valintoja suunnittelua varten tarkkuustasoa määriteltäessä. Mallintaessa tehdään valintoja rakennusosien suhteen, mitä mallinnetaan ja millä tarkkuudella. Toisaalta kohteen sisäiset tarkkuustasot ja vaadittava tietosisältö voi vaihdella kohteen osien ja hankevaiheiden välillä. Hankkeessa merkittävimmät kohdat voidaan määritellä ja mallintaa jos tarveselvitysvaiheessa hyvinkin tarkasti, kun taas suunnittelun kannalta tarpeeton kohta rakennuksesta voidaan jättää tarkkuustasoltaan tilamallin tasolle. Tästä hyvä esimerkki on As Oy Kyösti Kallion tie 10:n linjasaneeraus, jota varten Tietoa Finland Oy on laserkeilannut ja luonut inventointimallin kohteen huoneistojen kylpyhuoneista sekä yhteisistä märkätiloista. Osittainen laserkeilaus ja mallintaminen sopii erityisesti vastaaviin kohteisiin, joissa korjaus kohdistuu vain tiettyyn osaan rakennusta. (Tietoa Finland Oy 2017)

Korjauskohteessa olevien, purettavien, siirrettävien ja rakennettavien rakennusosien hallinta tietomallissa tuo omat haasteensa verrattuna uudiskohteeseen, jossa lähtökohtaisesti kaikki rakennusosat ovat uusia. Tämän vuoksi mallintajan tulee kiinnittää erityistä tarkkuutta rakennusosien tietojen määrittelyyn, jotta mallin käsittely helpottuu ja pysyy todenmukaisena. Arvokohteita korjattaessa kohteessa voi lisäksi olla historiallisia kerrostumia, jotka tulee mallintaa ja joiden tietosisältö tulee sisällyttää mallinnettaviin rakennusosiin. (Penttilä, Rajala et al. 2007)

2.4.3 Lähtötietojen kartoittaminen

Suunnittelutyön pohjaksi kohteesta täytyy hankkia lähtötietoja. Lähtötiedolla tarkoitetaan suunnittelussa käytettävää esitietoa, joka voi olla kirjallista tietoa, valokuvia tai inventoitua mittatietoa. Korjauskohteissa perinteisin menetelmä suorittaa lähtötilanteen inventointi tapahtuu kolmen henkilön voimin, jotka ovat nollamies, mittaaja ja tulosten merkitsijä. Työvälineinä toimii rullamitta (myöhemmin laseretäisyysmitta), paperi ja kynä. Tiloista laaditaan luonnostasoiset pohjapiirustukset, jotka mitoitetaan päämittojen ja ristimittojen avulla hyödyntäen geometrian peruselementtejä. Työ vie runsaasti resursseja, sillä mittaus voi kestää useita päiviä kohteen laajuudesta riippuen. Korjaussuunnittelussa lähtötilanteen tarkka inventointi on merkittävässä asemassa, sillä summittainen lähtötilanteen kartoitus aiheuttaa ongelmia sekä lisäkustannuksia viimeistään rakennusvaiheessa, kun suunnittelussa mitoitetut rakennusosat eivät korreloi todellisen tilanteen kanssa.

Lähtötilanteen mittausvaatimukset voidaan luokitella *YTV2012 Osa 2:n* (Rajala 2012) mukaan kolmeen eri tasoluokkaan. Taso 1 on vähäisin mittaustarkkuus, jossa olevat piirustukset käydään tarkemittaamassa kohteella merkaten poikkeamat manuaalisesti piirustuksiin. Mittausvälineenä käytetään laseretäisyysmittaria. Laseretäisyysmittari on manuaalinen työkalu, eikä mittatulokset täten ole samassa koordinaatistossa. Tämä mittausmenetelmä ei tuota tarpeeksi luotettavaa mittatietoa, jotta sen pohjalta voitaisiin tuottaa luotettava kolmiulotteinen inventointimalli. Menetelmä on hyödyllinen yksittäisten mittausten tekemiseen osana korkeamman tasoluokan mittausmenetelmiä.

Taso 2 käsittää takymetrisen mittauksen, jossa mittatulokset ovat samassa XYZ-koordinaatistossa, mutta pistetiheys on vähäinen. Mittaus perustuu ennalta määrättyihin selkeisiin linjoihin, josta mitataan eri rakennusosien etäisyydet. Menetelmä sopii yksinkertaisiin kohteisiin, piha-alueiden kartoituksiin tai esimerkiksi lattiakaivojen sijaintien määrittelyyn. Kokonaisvaltaisen inventointimallin luominen takymetrisen mittauksen perusteella on epäedullista, sillä pistetiheys on vähäinen ja mallinnuksessa täytyy tukeutua vanhoihin piirustuksiin.

Takymetrinen mittaus on hyödyllinen menetelmä laserkeilausmittauksen tueksi, kun yksittäisistä rakennusosista tarvitaan tarkemittausta. Takymetrisen mittausmenetelmän mittapisteiden sijainnin virhemarginaali on alle 5 mm. Menetelmä on tarkka, mutta pisteistä ei voida luoda visuaalisesti tunnistettavaa mittatietoa eli pistepilveä.

Taso 3 käsittää laserkeilausmittauksen, johon tässä tutkielmassa syvennytään tarkemmin kohdassa 2.4. Laserkeilausmittauksessa inventoitava kohde mitataan kaikilta näkyviltä pinnoiltaan. Laserkeilain sitoo kaiken mitta-aineiston XYZ-koordinaatistoon, jolloin mittaustulos on visuaalisesti havainnollista ja sen oikeellisuus voidaan todentaa tarkastelemalla mittaustuloksena syntynyttä pistepilveä. Laserkeilauksen mittaustarkkuus määritetään kohinan sekä pistetiheyden avulla. Kohinalla tarkoitetaan virhemarginaalia eli pisteiden hajontaa. Kohinaa muodostuu, kun kahdesta eri mittausasemasta mitatut havainnot poikkeavat toisistaan. Taso 3:n kohinan virhemarginaali on +/- 10 mm.

Pistetiheys eli resoluutio tarkoittaa koko pistepilven keskiarvollista pisteiden välistä etäisyyttä toisistaan. Taso 3:n vaatimuksena on, että pistepilven mittapisteiden välinen etäisyys tulee olla alle 5 mm. Tapauskohtaisesti mittaus voidaan suorittaa korkeammallakin resoluutiolla. Tämä voi olla oleellista esimerkiksi kulttuurihistoriallisissa arvokohteissa, joissa mittatuloksen tulee olla lähes virheetöntä. Tämänkaltaisissa kohteissa resoluutiolta voidaan vaatia jopa +/- 1 mm:n virhemarginaalia.

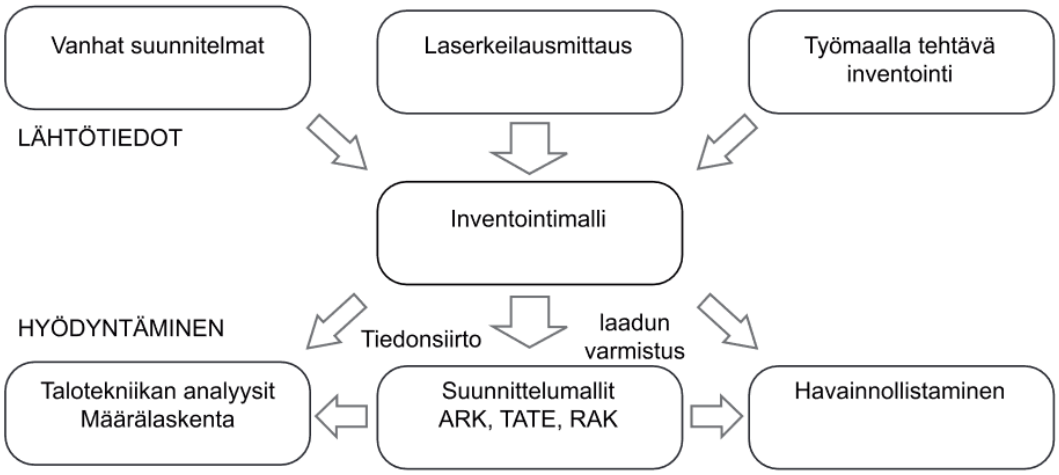
2.4.4 Mallinnusvaatimukset

Kohteen mittauksen pohjalta muodostetaan lähtötilannemalli, joka käsittää tontin mallin sekä itse rakennuksen tietomallin, jota kutsutaan inventointimalliksi. Tietomallintavassa korjaussuunnittelussa lähtötilanteesta vaaditaan molemmat, kun uudisrakentamisessa vaaditaan vain tontin malli. Tontin malli tuotetaan sille tarkoitetulla maaston mallintamiseen soveltuvalla työkalulla sekä muilla työkaluilla, jos tontilla on esimerkiksi tukimuuria tai portaita. Tontin malli luodaan omalle kerrokselleen, jotta sitä voidaan käsitellä erillisenä osana kokonaisuutta.

Kohteesta riippuen tontin lisäksi on hyvä laserkeilata myös ympäröivää maastoa sekä lähirakennuksia, mikäli niillä on oleellista vaikutusta kohderakennuksen suunnittelun kannalta. Tutkielman case-kohde sijaitsee laajalla tontilla, jossa viereiset rakennukset sijaitsevat kaukana kohteesta. Tässä tapauksessa siis ympäröivän lähimaaston laserkeilaus riittää.

2.4.5 Inventointimalli

Inventointimalli tehdään paikalla tehtävien mittausten perusteella. Mittausten tueksi käytetään olemassa olevia vanhoja piirustuksia ja muita dokumentteja. Alkuperäisten suunnitelmien hyödyntäminen pistepilvitiedon tukena on arvokasta, sillä niiden avulla saadaan tietoa esimerkiksi rakenteellisista ratkaisuista sekä arkkitehtonisesti merkittävistä rakennuskohtaisista ominaispiirteistä. Kuva 12 havainnollistaa inventointimallin hyödynnettävyyttä korjaussuunnittelussa. Sen tärkein käyttökohde on toimia pohjana eri suunnittelualojen ratkaisujen alustana. Useimmiten kolmiulotteisesti mallinnettu visuaalisesti havainnoitava inventointimalli varmistaa myös laadukkaan ja ristiriidattoman suunnittelun. Inventointimallia käytetään myös lähtötietona erilaisen laskennallisen tiedon tuottamiseen.



Kuva 12. Inventointimallin mallinnusprosessi ja hyödynnettävyys jatkosuunnittelussa (Rajala 2006).

Vanhojen rakennusten geometria on usein epäsäännöllistä, sillä seinälinjat voivat olla hieman kaarevia tai vinoja, rakenteissa voi olla painaumia tai muita muutoksia. Näiden poikkeamien tarkka mallintaminen ei ole tarkoituksenmukaista, vaan inventointimallintamisessa pyrkimyksenä on luoda riittävän tarkka malli nykytilanteesta, jossa sallitaan pieniä mittapoikkeamia kohteesta riippuen. Mallinnustarkkuus sovitaan aina projektikohtaisesti asiakkaan kanssa, ja tieto mittapoikkeamista merkitään tietomalliselosteeseen. *Yleisten tietomallivaatimusten 2012 osa 2* mukaan (Rajala 2012) inventointimallissa sallitaan mittapoikkeamia seuraavasti: Rakennusosien nurkkapisteissä 10 mm, seinä- ja lattiapinnoilla 25 mm sekä epäsäännöllisten rakenteiden osalta 50 mm (esimerkiksi vanhat vesikattorakenteet). Rakennushistoriallisissa kohteissa tarvittava mittatarkkuus voi olla tarkempi, esimerkiksi yksityiskohtien suhteen mittapoikkeamaksi sallitaan 5 mm.

Etenkin geometrialtaan haastavissa kohteissa sekä arvorakennuksissa inventointimallinnus voi kestää huomattavasti kauemmin, sillä monimutkaisten rakennusosien mallintaminen vie aikaa. Arvokohteissa olemassa olevien rakennusosien tarkka mallintaminen on tärkeää, sillä vain siten vanhoja arvoja voidaan vaalia ja niitä voidaan hyödyntää korjaus- ja muutostöissä.

Inventointimallinnuksessa käytettävä kuvatasojärjestelmä dokumentoidaan tietomalliselosteeseen. Inventointimalliin mallinnetaan rakennusosat niille tarkoitetuilla mallinnustyökaluilla. Mikäli tästä periaatteesta täytyy joustaa esimerkiksi geometrialtaan haastavan rakennusosan vuoksi, dokumentoidaan poikkeus tietomalliselosteeseen.

Inventointimallinnuksen aikana arkkitehti määrittää projektin koordinaatiston siten, että inventoitava rakennus sijaitsee lähellä projektin origoa. Käytännöllisistä syistä projekti kannattaa sijoittaa positiiviseen koordinaatistoon, jotta vältytään mahdollisilta huolimattomuuksilta. Näin tiedon siirtäminen ja eri suunnittelualojen yhteensovittaminen on vaivattomampaa. Suunnittelun myöhemmässä vaiheessa projekti sidotaan kunnalliseen koordinaatistoon ja N2000-

korkojärjestelmään, kun tarvittavat mittaukset on tehty. Vaihtoehtoisesti projektikoordinaatiston voi määrittää suhteessa kunnan koordinaatistoon vastinpisteiden avulla.

2.4.6 Tietomallintamisen edut ja haitat

Hankkeesta riippuen on sovittava, toteutetaanko suunnittelu viivapiirtämällä CAD-ohjelmistoilla, vai laaditaanko suunnitelmista tietomalli. Tietomallintavan suunnittelun toteuttaminen muuttaa hieman suunnitteluprosessin rakennetta, sillä tietomallinnuksessa etenkin projektin alkuvaihe vie enemmän aikaa.

Korjauskohteissa on myös huomioitavaa, millainen kohde on kyseessä. Esimerkiksi hankkeissa, missä korjaustyötä tehdään eri puolilla suurempaa rakennusta, koko rakennuksen mallintamisen kannattavuus laskee. Hyödyt rakennuksen mallinnukseen ovat vähäiset suhteessa aikamenekkiin. Näissä tilanteissa esimerkiksi ennalta määrättyjen alueiden mallintaminen voisi tulla kyseeseen.

Tietomallinnus tuo erilaisia hyötyjä suunnittelun eri vaiheisiin mutta toisaalta sen mukana tulee myös hieman haasteita. Juha Risulahti on listannut diplomityössään *Tietomallipohjainen rakennesuunnittelu ja lähtötietojen selvitys korjausrakennuskohteessa* (Risulahti 2016) tietomallin tuomia hyötyjä ja haasteita seuraavasti:

Hyödyt hankesuunnitteluvaiheessa ovat:

- kannattavuuden arviointi
- toiminnallisuuden arviointi
  ekologisuuden ja energiatehokkuuden arviointi

Hyödyt suunnitteluvaiheessa ovat:

- suunnitteluratkaisujen simulaatiot
- havainnollisuus
- yhteistyön kehittyminen
- suunnitelmien laadun parantuminen
- törmäystarkastelut

- määrätiedot
- energia-analyysit

Hyödyt rakentamisvaiheessa ovat:

- määrätiedot
- aikataulusuunnittelu
- työmaasuunnittelu

Tietomallintamisen tuomat haasteet:

- lähtötietojen laatu ja tarkkuus sekä niiden toimittaminen varhaisessa vaiheessa
- toimintaongelmat koneissa ja ohjelmistoissa
- tietomallin laatuvaatimukset ja niiden täyttyminen
- hankeaikataulutuksessa ei huomioida tietomallintamisen viemää aikaa oikealla tarkkuudella, mallintaminen lisää työmäärää
- yhteistyön ongelmat, mallinnustaito eri hankeosapuolten välillä
- juridiset kysymykset, esimerkiksi mallin omistukseen liittyen
- vastuukysymyksen tietomallin oikeellisuuden osalta

2.4.7 Tietomalliseloste

Tietomalliseloste on dokumentti, joka laaditaan aina tietomallintamisen yhteydessä. Sen pääasiallinen tarkoitus on tukea tietomallin luotettavuutta ja varmistaa sen laadulliset kriteerit. Tietomalliselostusta ylläpidetään kaikkien hankkeen suunnittelualojen toimesta, ja lisäksi projektiin nimetään usein myös tietomallikoordinaattori, joka pitää huolen sen ajantasaisuudesta. Selostus on kuvaus tietomallin sisällöstä, mallinnuksessa käytetyistä ohjelmistoista, kuvatasojärjestelmistä, koordinaatistosta ja hankekohtaisista poikkeamista suhteessa yleisiin mallinnusperiaatteisiin. Kohteissa, joissa hyödynnetään laserkeilausta, liitetään tietomalliselostukseen myös laserkeilausraportti. Selostuksen avulla hankkeen osapuolet voivat seurata mallin valmiusastetta ja yleistä rakennetta. (Henttinen 2012a)

3 Arkkitehtisuunnittelun työpolku korjauskohteessa

Arkkitehtisuunnittelun työpolku korjauskohteessa eroaa uudiskohteeseen oleellisesti, sillä lähtökohtana siinä on olemassa oleva rakennus. Korjaussuunnittelussa yksi merkittävimpiä seikkoja on ymmärrys olevasta rakennuksesta, sen tyyppiratkaisuista sekä erityispiirteistä. Arkkitehdin tehtävänä on suunnitella rakennustaiteellisesti ja kaupunkikuvallisesti kestävä kokonaisuus, jonka teknisen toteutettavuuden varmistavat erityissuunnittelijat. Tutkielmassa kuvataan suunnitteluprosessin kulku case-kohteen avulla aina alustavaan rakennusosamalliin saakka, sillä nämä vaiheet ovat sidoksissa tutkielman aiheeseen vahvimmin.

3.1 Suunnittelun taustoitus

3.1.1 Rakennushistoriaselvitys

Korjaussuunnitteluun lähdettäessä kohteesta voidaan laatia RHS eli rakennushistoriaselvitys, joka on erikseen tilattava työ. RHS laaditaan asiakkaan kanssa sovitussa laajuudessa. Arvorakennusten suhteen käytäntö on, että rakennussuojeluviranomainen vaatii lähtökohtaisesti rakennushistoriaselvityksen pohjatiedoksi lausunnoilleen. RHS on selvitys kohteen historiasta korjaussuunnittelun näkökulmasta katsottuna. RHS on tutkimuksellinen dokumentti, joka sisältää selostuksen ja kohteen inventoinnin.

Rakennushistoriaselvityksen selostusosassa esitellään yleisesti rakennus ja käydään läpi rakennuksen historia kronologisesti. Historiaan kuuluu suunnittelu- rakennus- ja käyttöhistoria. Selostusta voidaan havainnollistaa piirroksin. Historiaselvityksen tarkoituksena on hahmottaa nykytilannetta verrattuna menneisyyteen, kuinka hyvin rakennus on säilynyt teknisesti ja arkkitehtonisesti, onko rakennus muodoltaan tai käyttötarkoitukseltaan muuttunut alkuperäiseen verrattuna. Selostusosassa kuvataan usein myös rakennuksen rakennustyyppiä ja käytön historiaa tutkimalla sen kotimaisia ja ulkomaisia esikuvia. Rakennuksen historiaa voidaan ymmärtää paremmin myös tutkimalla sen suunnitellun arkkitehdin muuta tuotantoa, mikä kyseisen rakennuksen rooli on tässä kontekstissa.

Selostukseen sisällytetään mahdollisuuksien mukaan kopioita alkuperäisistä suunnitelma-asiakirjoista, luonnoksista, muutossuunnitelmista sekä historiallisia kuvia kohteesta. Dokumenttien tarkoituksena on auttaa hahmottamaan rakennuksen elinkaarta ja sen merkitystä ympäristölleen ja käyttäjilleen.

Selostusosio voidaan liittää inventointimalliin. Selostusosiosta voidaan myös saada konkreettista tietoa, mitä voi sisällyttää inventointimallin attribuutteihin, kuten rakennusosien/tilojen rakennusvaiheet sekä säilyneisyysaste. Alkuperäiset suunnitelmat voidaan skannata inventointimallin pohjaksi tai viitetiedostoksi. Historiallisia valokuvia voidaan hyödyntää perspektiivikuvien laatimisessa käyttämällä samaa kuvakulmaa (ennen ja nyt -näkymä).

Selostusosa painottuu rakennuksen historian ymmärtämiseen ja elinkaaren vaiheisiin, jotka ovat johtaneet rakennuksen tilaan, missä se on nyt. Inventointiosiossa taas pyritään dokumentoimaan nykyinen rakennuksen tila sellaisena kuin se on. Perinteisesti RHS:n inventointiosa on tehty osissa, kuten huonekohtaisesti, kerroksittain tai rakennusosien mukaan. Inventointi kattaa myös julkisivut, tontin ja vesikaton sekä tilanteesta riippuen myös kalusteinventaarion. Kohteesta laaditaan lomakkeita kuten huonekortteja, joihin listataan havaintoja ja täydennetään niitä valokuvin tai skissein.

Rakenneosien tutkimuksessa selvitetään alkuperäiset rakenteet sekä käytön aikana kunnostetut tai lisätyt rakenteet ja rakennekerrokset, kirjataan nykytila sellaisenaan sekä yleinen rakennejärjestelmä ja talotekniikan laatu ja määrä. Tutkimuksessa voidaan tuottaa myös värikartoitus, josta selviää maalikerrosten pohjalta alkuperäiset sävyt.

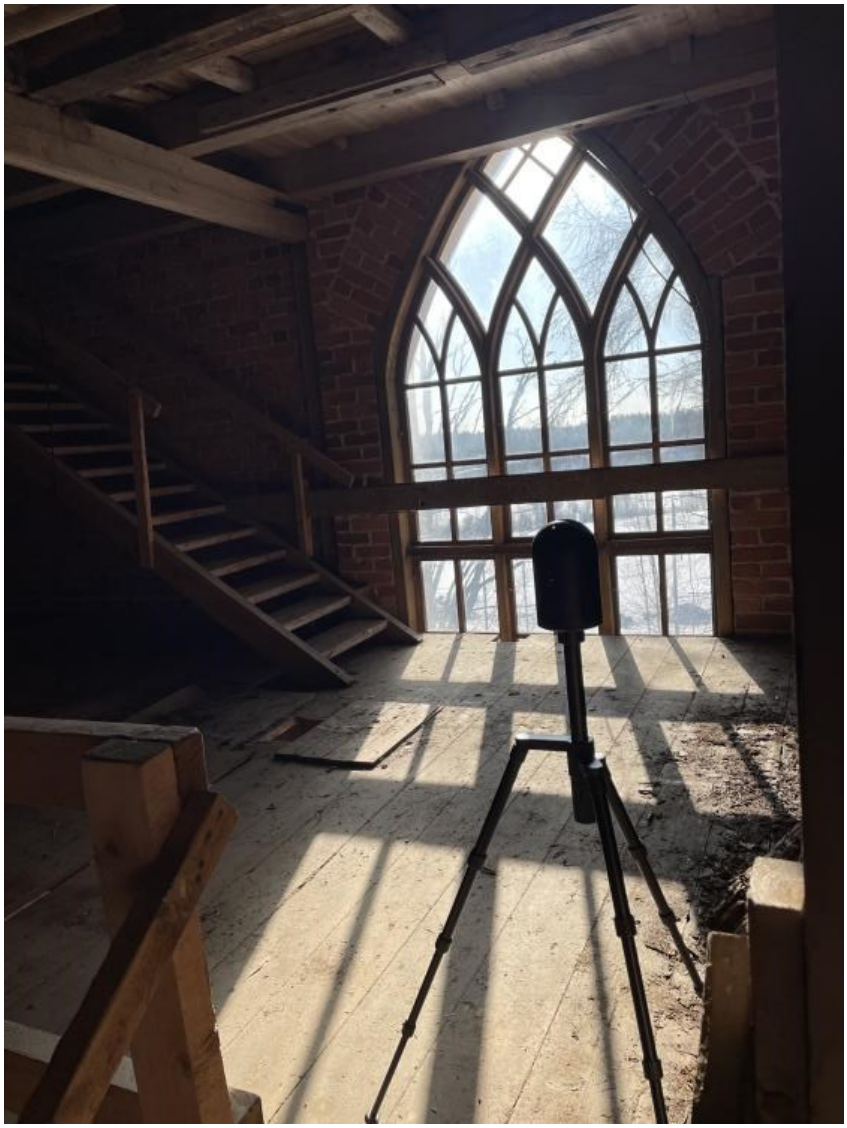
Rakennushistoriaselvitys on objektiivinen kuvaus kohteesta. Sen onnistumiseksi optimaalisinta olisi, että selvitys olisi itsenäinen työ, johon rakennuttajan tai suunnittelijan sana ei vaikuttaisi. Parhaimmillaan RHS on selkeä ja informatiivinen kokonaisuus, josta selviää kohteen tilasta ennen suurta muutostyötä. Selvitykseen ei kuulu tekijän subjektiivista ajattelua tai kohteen arvottamista. Toisaalta RHS voi sisältää erillisen analyysiosion, jossa tekijä luokittelee ja

vertailee kohdetta vastaaviin rakennuksiin suojeluprosessin käynnistämistä ajatellen. (Penttilä, Rajala et al. 2007)

Tietomallintava korjaussuunnittelu mahdollistaa rakennushistoriaselvityksen uudistumisen. Inventointiosa nivoutuu osittain inventointimallin kanssa yhteen, sillä inventointiosiossa selvitettyjä tietoja voidaan sisällyttää inventointimalliin. Inventointimallista tulee osittain rakennushistoriallinen tiedosto, jossa ilmenee rakennuksen historian lisäksi myös tuleva korjausprosessi, ja sen myötä päivittynyt käyttötapa ja ylläpidollinen osuus. Tavoitteena on, että tietomalliin sisällytetty RHS toimii projektin tietopankkina tukemaan suunnitteluratkaisuja.

3.2 Lähtötietojen kartoittaminen laserkeilaimella

Ennen laserkeilauksen aloittamista kohde on tärkeää tehdä mittaussuunnitelma, jossa mietitään ennalta kohteen erityispiirteet, kuten kuvassa 13 s. 38 oleva case-kohteen goottilaistyylinen ikkuna. Paikan päällä kohde on hyvä kiertää läpi ja miettiä valmiiksi reitti, missä järjestyksessä tilat keilataan ja kuinka monta keilausta kannattaa ottaa kustakin tilasta. Keilausasemat on hyvä suunnitella siten, että vierekkäiset keilauspisteet yhdistyvät ongelmitta toisiinsa. Hyvä lähtökohta on, että kahden keilauspisteen välillä on kolme yhdistävää seinäpintaa, jotka keilain löytää eri keilausasemista. Tilojen haastavuuden (hämäryys, reflektoivat pinnat, ahtaat nurkat) mukaan keilaimen asetuksia hienosäädetään, jotta keilaustuloksesta saadaan tarkoituksenmukainen. Tärkeimmät asetukset ovat pistetiheys, valotus, salama sekä HDR-asetus. Tavanomaisissa olosuhteissa riittävät laserkeilaimen oletusasetukset.

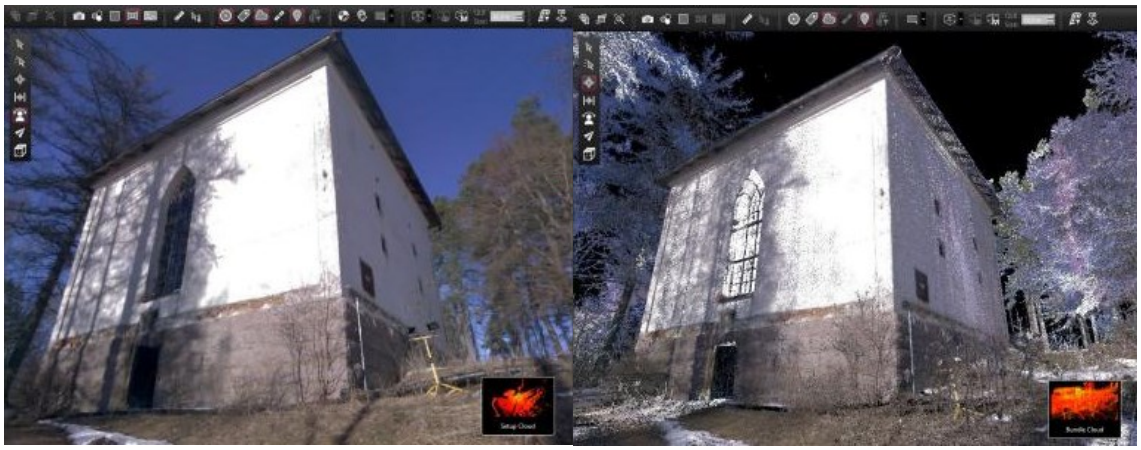


Kuva 13. Laserkeilain tuettuna kolmijalkaan. Kuva: Henri Putkonen.

Yksittäiset laserkeilaukset esirekisteröidään manuaalisesti tai automaattisesti keilauksen edetessä, ja hienosäätö tapahtuu pistepilvikäsittelyyn tarkoitetussa tietokoneohjelmistossa. Field360-sovelluksessa voidaan seurata pistepilvimallin rakentumista reaaliajassa laserkeilauksen edetessä. Esikatselusta voidaan helposti havaita, mikäli keilauspisteet eivät yhdisty toisiinsa laadukkaasti, ja tilanteen voi korjata joko rekisteröimällä keilaukset toisiinsa uudestaan, tai ottaa haastavasta kohdasta uusi keilaus. Tämä vähentää ongelmia pistepilven käsittelyvaiheessa.

Haastavissa kohteissa, joissa esimerkiksi yhtenäisiä seinäpintoja on vähän (maasto, julkisivut), voidaan hyödyntää Black and white-maalipisteitä. Laserkeilain tunnistaa automaattisesti maalit, joita on asetettu ympäristöön ennen keilaamisen aloittamista. Näiden avulla eri keilauspisteet voidaan yhdistää toisiinsa haastavissakin olosuhteissa.

Laserkeilauksen lisäksi on tärkeää dokumentoida kohde lisäksi myös valokuvaamalla, sillä valokuvat ovat yhä merkittävä väline suunnittelun tukena. Laserkeilain ei välttämättä löydä kaikkia pintoja esimerkiksi kalusteiden tai muiden esteiden vuoksi, ja etenkin nämä kohdat on hyvä valokuvata tarkasti. Myös tarkempien detaljien valokuvaaminen auttaa suunnittelijaa hahmottamaan lähtötilanteen paremmin.



Kuva 14. Leica Register360-ohjelman näkymiä. Vasemmalla panoraamakuvaa keilausasemasta, oikealla näkymä pistepilvimallista samasta kohdasta. Kuva: Leica Register360.

3.3 Pistepilvimalli

Laserkeilattu aineisto tuodaan Field360-sovelluksesta register360-työpöytäohjelmaan (Leica geosystems 2021), jossa pistepilven käsittely viimeistellään. Register360-sovelluksen tärkeimpiä ominaisuuksia on laserkeilausten rekisteröinti, keilausasemien linkkien muodostaminen sekä esirekisteröinnin virheiden havaitseminen ja korjaaminen. Register360-ohjelmalla voidaan lisäksi siistiä pistepilvitiedosta ylimääräiset pisteet (kuva 15 s. 40). Näitä ovat esimerkiksi ikkunoista ja

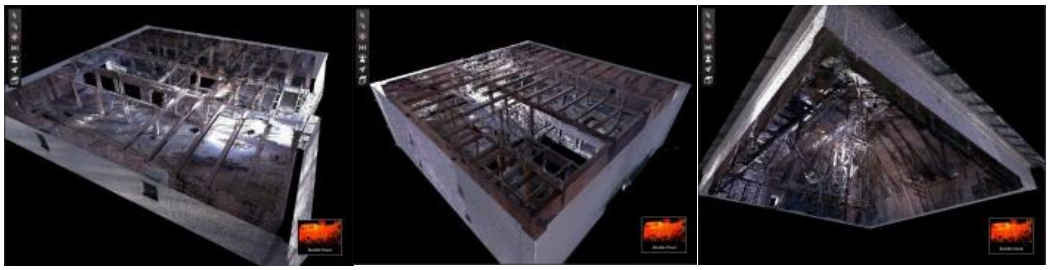
peileistä muodostuvat heijastukset sekä mallintamista häiritsevät irtokalusteet. Lisäksi ympäristöstä voidaan rajata harkinnan mukaan ympäristöä sekä kasvillisuutta pois, sillä nämä usein sisältävät paljon ylimääräisiä pisteitä, jotka kasvattavat pistepilvitiedoston kokoa merkittävästi.

Kuva 15. Heijastavat pinnat luovat pistepilvimalliin ylimääräistä dataa, joka voi häiritä mallintamista. Pisteet voidaan siistiä Register360-ohjelmassa. Kuvassa vasemmalta oikealle: laserkeilaimen raakadata, työpöytäohjelmaan tuotu pistepilvitieto sekä siistitty pistepilvi. Kuva: Leica Register360.

Register360-ohjelman avulla pistepilvimallista voidaan tallentaa näkymiä, leikkauksia ja tehdä muita suunnittelua tukevia rajauksia, jotka mallinnusohjelma tunnistaa automaattisesti, kun pistepilven asettaa Archicadiin. Tässä vaiheessa rajauksien tekeminen nopeuttaa itse mallinnusta huomattavasti.

Kun pistepilvimalli on tarkastettu, keilauspisteet on yhdistetty saumattomasti toisiinsa sekä ylimääräiset pisteet on siistitty, voidaan pistepilvimalli julkaista sopivaan tiedostomuotoon. Archicad tukee pistepilven E57-muotoa, jossa pistepilvi kannattaakin julkaista. Pistepilven voi julkaista myös RCP-muotoon, jota esimerkiksi Autodeskin ReCap tukee. ReCapin avulla pistepilveä voidaan tarkastella, luoda leikkauksia ja muita näkymiä, kuten kuvassa 16. Tämä on

hyödyllistä, sillä usein pistepilvimallin pyörittäminen Archicadilla on raskasta suuren tiedostokoon vuoksi, joten on helpompaa tarkastella mallia ohjelmistossa, joka käsittelee tiedostoa sujuvammin.



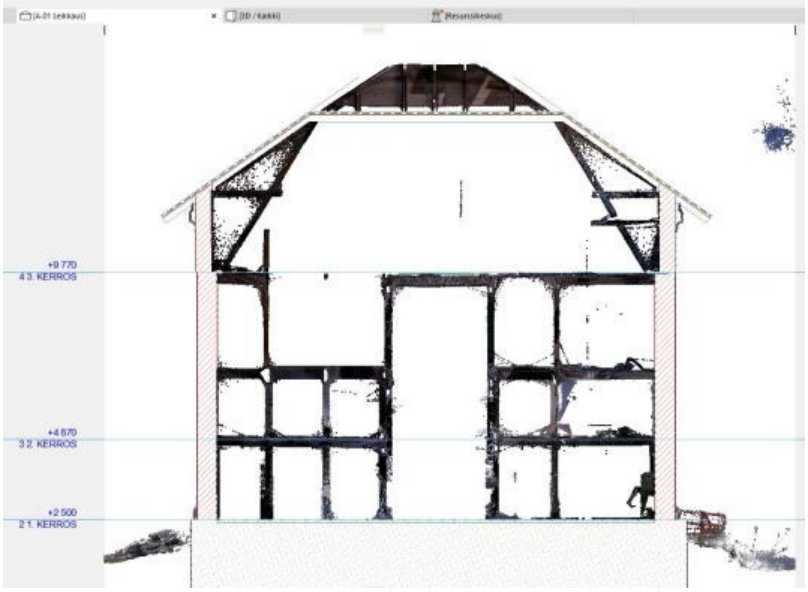
Kuva 16. Register360-ohjelmassa voidaan luoda leikkauksia ja näkymiä, jotka auttavat inventointimallin luomisessa. Kuva: Leica Register360

Pistepilvimallin julkaisun yhteydessä Register360 koostaa pistepilvitiedosta raportin, jossa ilmenee esimerkiksi laserkeilaustarkkuus, virhemarginaali sekä linkkien vahvuus. Laserkeilausraportti liitetään osaksi tietomalliselostetta.

3.4 Inventointimallintaminen

Pistepilvimalli tuodaan Archicadiin .e57-muotoisena. Pistepilvi asetetaan koordinaattiasemaan, joka on joko ennalta määritetty tai arkkitehdin valitsema. Sijoittamisessa hyödynnetään esimerkiksi ennalta määrättyä kiintopistettä, joka sijoitetaan projektin origoon. Näin tietomallin asema saadaan lukittua siten, että myöhemmässä vaiheessa eri suunnittelualojen suunnitelmat saadaan samaan asemaan suhteessa lähtötilanteeseen. Tietomallin sijaintia voidaan tarkentaa esimerkiksi pintavaaituksen jälkeen, jolloin tietomalli voidaan liittää kunnan koordinaatistoon.

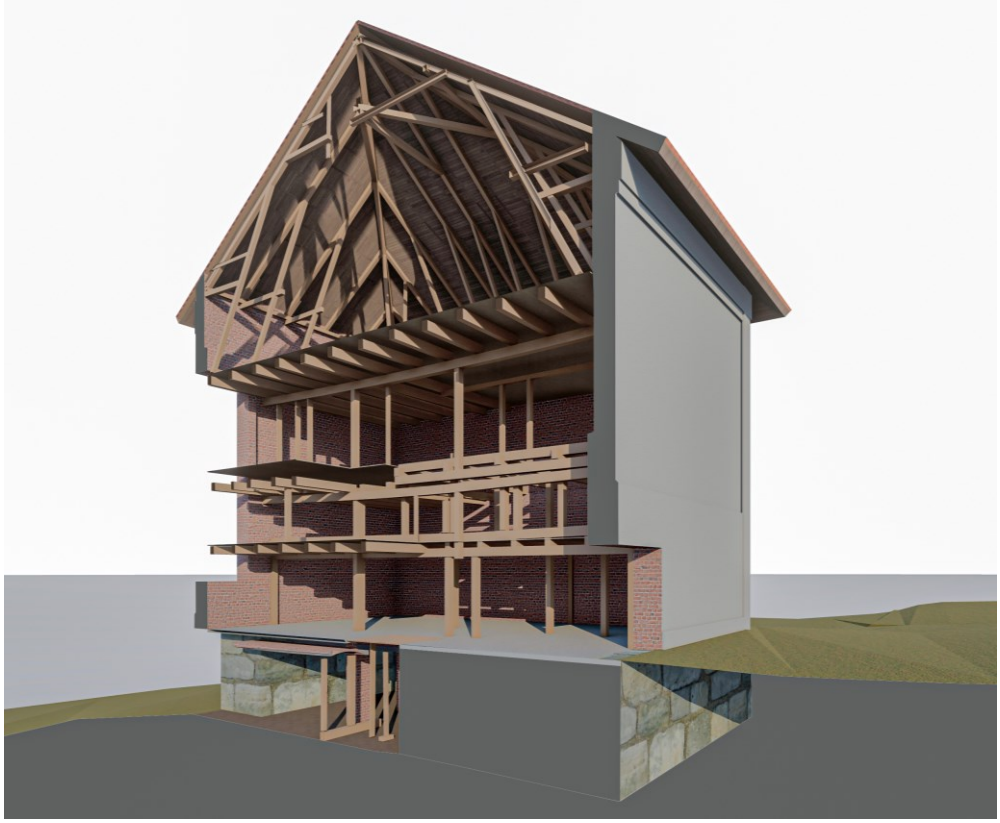
Itse mallintaminen tapahtuu määrittämällä ensin kerrosten korkeusasemat sopimaan pistepilvimallin korkomaailmaan. Mallinnus kannattaa suorittaa lähtökohtaisesti pohja- sekä leikkausnäkymiä hyödyntämällä (kuva 17 s. 42). Leikkaus- ja pohjanäkymien lisäksi mallin tarkastelu 3D-näkymässä on hyödyllistä. 3D-näkymästä havaitsee parhaiten mallinnusvirheet, sillä siinä mallia päästään tutkimaan eri puolilta (kuva 18 s. 43).



Kuva 17. Kuvankaappaus inventointimallinnusprosessista. Leikkausnäkymien hyödyntäminen on inventointimallinnuksessa olennaista, sillä niiden avulla kerroskorot sekä rakennusosien eri korkeusasemat saadaan määritettyä tarkimmin. Kuvassa pistepilvimalli mallinnuksen pohjatietona. Archicad 24.

Mallintaminen tapahtuu yleisten tietomallivaatimusten mallinnusperiaatteiden mukaisesti siten, että seinät mallinnetaan seinätyökalulla, ala- ja välipohjat laattatyökalulla ja pilarit ja palkit niille tarkoitetuilla työkaluilla ja niin edelleen. Geometrialtaan haastavat rakennusosat voidaan mallintaa esimerkiksi muunteiden avulla, jotka voidaan osoittaa kuvaamaan kyseistä rakennusosaa. Rakennusosat mallinnetaan niille kuuluville kuvatasoilleen joko Archicadin oletustasojen mukaan tai vaihtoehtoisesti käytetään toimiston omaa tai asiakkaan kanssa ennalta sovittua tasojärjestelmää, esimerkiksi Talo2000-nimikkeistöä. Koska inventointimallissa mallinnetaan olemassa oleva rakennus, asetetaan mallinnusvaiheeksi ”lähtötilanne”. Suunnittelutyön edetessä purettavat rakenteet muutetaan ”purettavat rakenteet” mallinnusvaiheen alle.

Kuva 18. Perspektiivikuva mallinnusprosessista. Kuvassa nähtävissä pistepilvi mallinnettujen hirsirakenteiden päällä. Archicad 24.

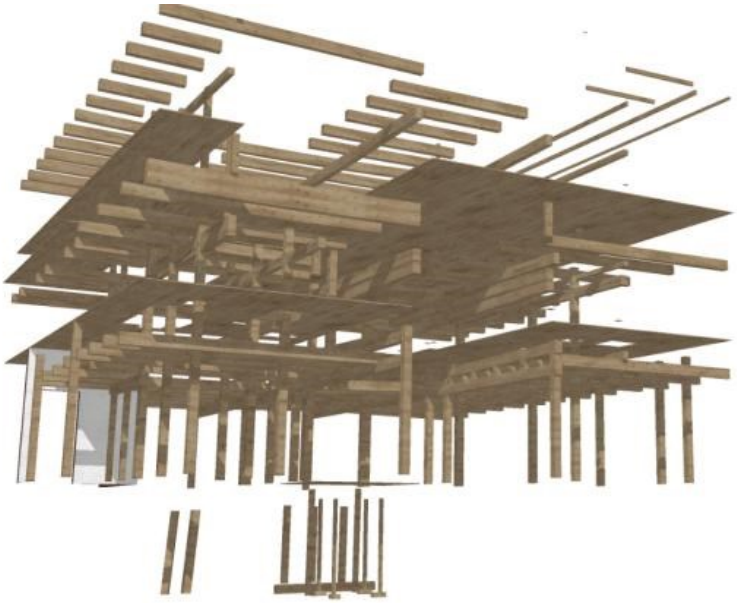


Kuva 19. Leikattu perspektiivikuva valmiista inventointimallista. Archicad 24/Lumion.

3.5 Tilamalli ja ehdotussuunnittelu

Kun lähtötilanteesta on muodostettu inventointimalli, saadaan siitä laskennallista tietoa itse suunnittelua varten. Rakennuksesta saadaan mitattua laajuustietoja, joiden pohjalta laaditaan tilamalli. Tilamalliin kartoitetaan tilalliset tarpeet sekä eri tilojen funktiot, sekä niiden tarvitsema pinta-ala. Tilamallista voidaan laatia eri variaatioita esitettäväksi tilaajalle, ja näin saadaan karkeasti hahmoteltua kokonaiskuvaa rakennuksen toiminnallisista vaatimuksista.

Tilamallin tarkennuttua alkaa ehdotussuunnittelu. Ehdotussuunnittelussa suunnitellaan eri ratkaisuvaihtoehtoja liittyen tilajärjestelyihin ja eri tilojen kokosuhteisiin. Korjaussuunnittelun ollessa kyseessä tulee suunnitella, mitkä rakennusosat jätetään ja mitkä puretaan (kuva 20). Purettavien rakenteiden osalta rakennesuunnittelija selvittää eri rakenteiden kantavuuden perusteella niiden purkumahdollisuuden. Ehdotussuunnittelu luo myös pohjan muiden suunnittelualojen, kuten LVI- ja sähkösuunnittelijoiden työlle. Lähtökohtaisesti vesipisteet on hyvä sijoittaa päällekkäin ja lähelle toisiaan, jotta putkitukset toteutuvat tehokkaasti ja ilman ylimääräisiä kotelointeja. Lyhyet reitit parantavat myös LVI-järjestelmien toimivuutta.

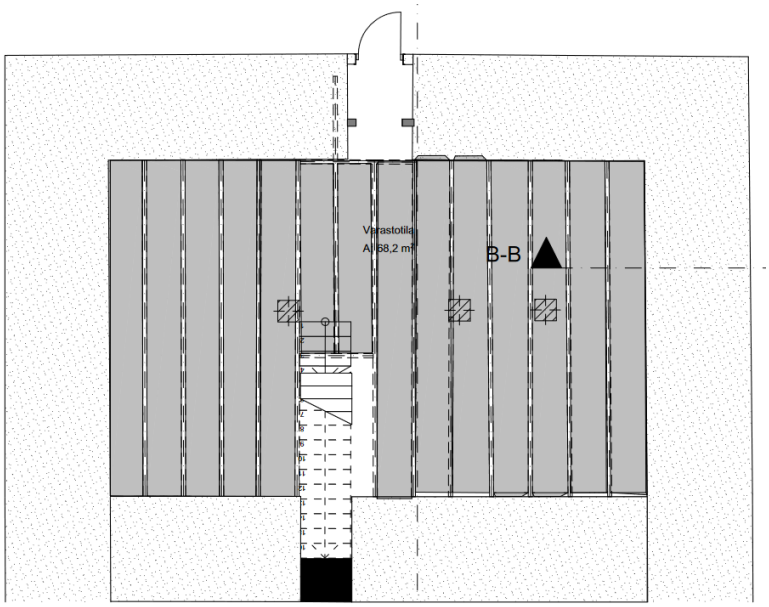


Kuva 20. Ehdotussuunnittelussa purettavat rakenteet. Purettavista rakenteista osan voi hyödyntää uusien rakenteiden rakennusaineena. Archicad 24

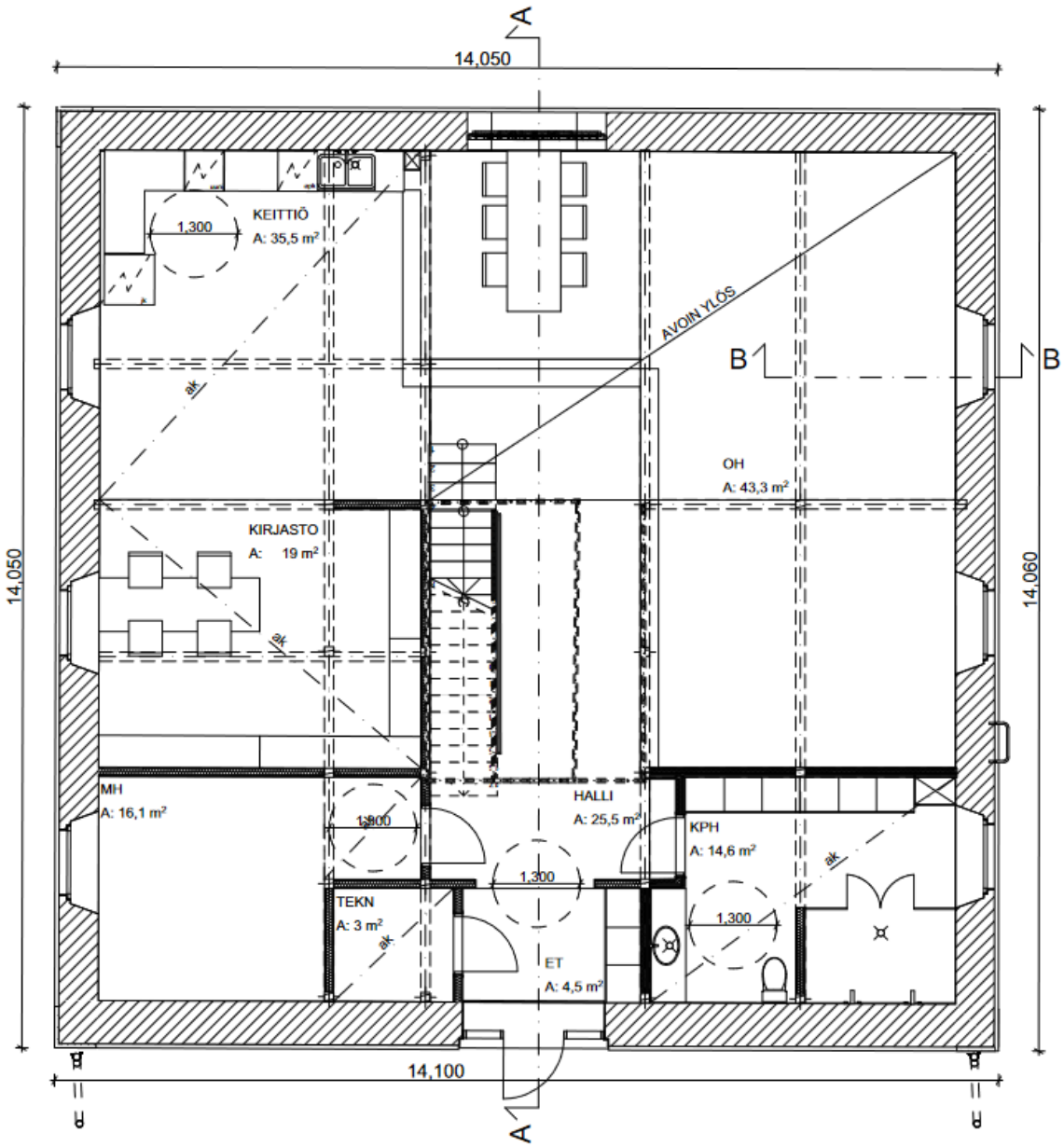
3.6 Alustava rakennusosamalli

Alustava rakennusosamalli vastaa dokumenttipohjaisen suunnittelun yleissuunnittelua, jossa suunnitelmat viedään pääpiirustustasoiseksi. Alustavan rakennusosamallin pohjalta haetaan rakennuslupaa, ja muut suunnittelualat voivat mitoittaa reititykset ja tilantarpeet asennuksille. Tässä vaiheessa tilojen mittasuhteetrakenteellinen perusratkaisu on selvillä ja sen toimivuudesta vastaa rakennesuunnittelija.

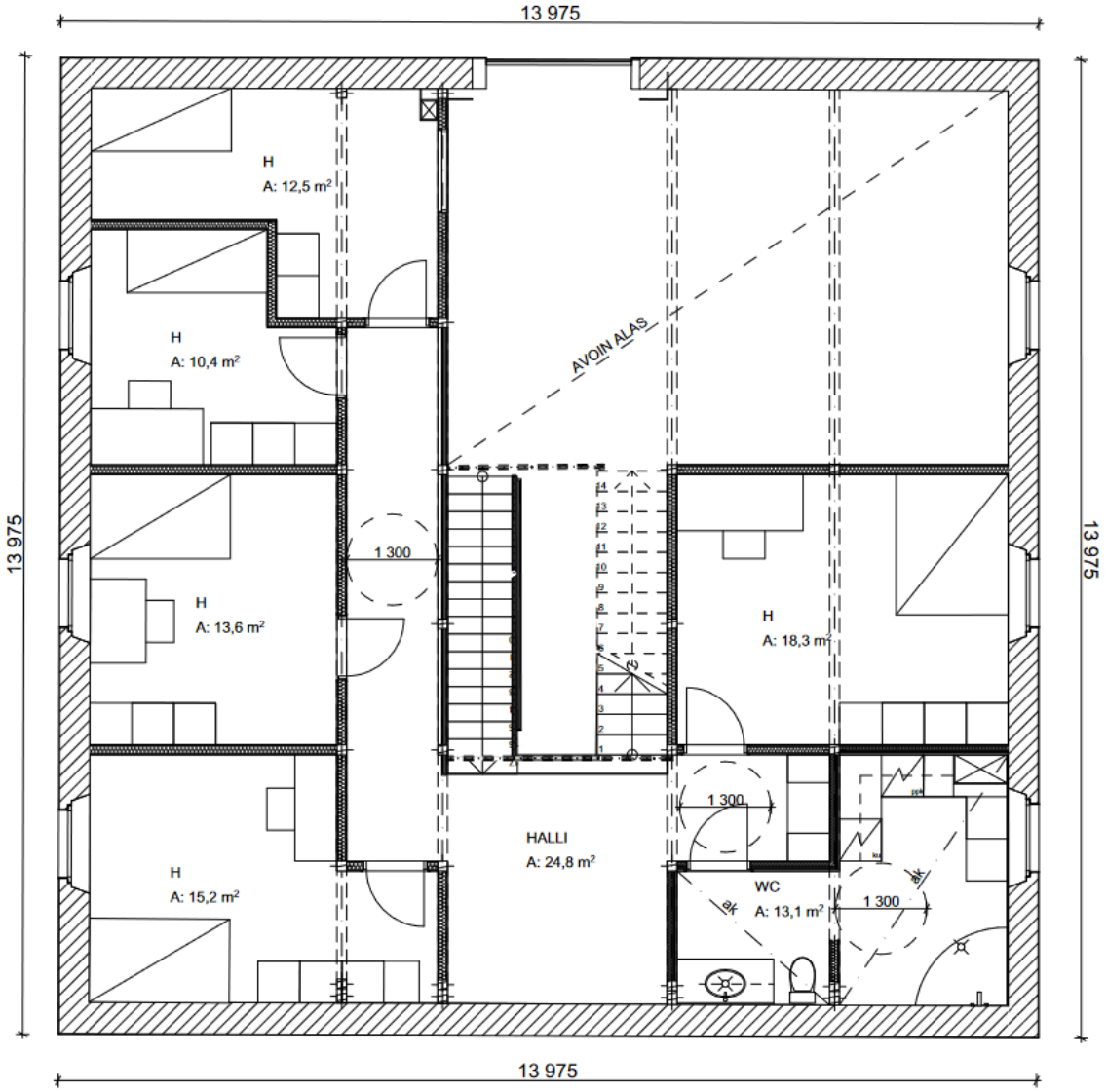
Alustavan rakennusosamallin tarkkuustaso tulee olla riittävä rakennusluvan hakemisessa tarvittavien piirustusten tuottamiseen. Käytännössä esitettynä tulee olla kantavat rakenteet, eri seinätyypit luokiteltuna sekä aukotukset ilman tarkempia tyyppitietoja (Henttinen 2012a). Tarkemmat detaljisuunnitelmat laaditaan rakennesuunnittelijan toimesta toteutussuunnittelun aikana. Yleissuunnittelun lopputuloksena on arkkitehtonisesti, rakenteellisesti ja erityissuunnitelmiltaan yhtenäinen ja toimiva periaatteellinen kokonaisuus, joka voidaan jalostaa toteutussuunnitelmissa toteutuskelpoiseksi rakennukseksi. Alla käydään casekohteen alustavat rakennusosapiirustukset, kun käyttötarkoitus on muutettu viljamakasiinista taiteilijaresidenssiksi (kuvat 21–28 s. 45–50).



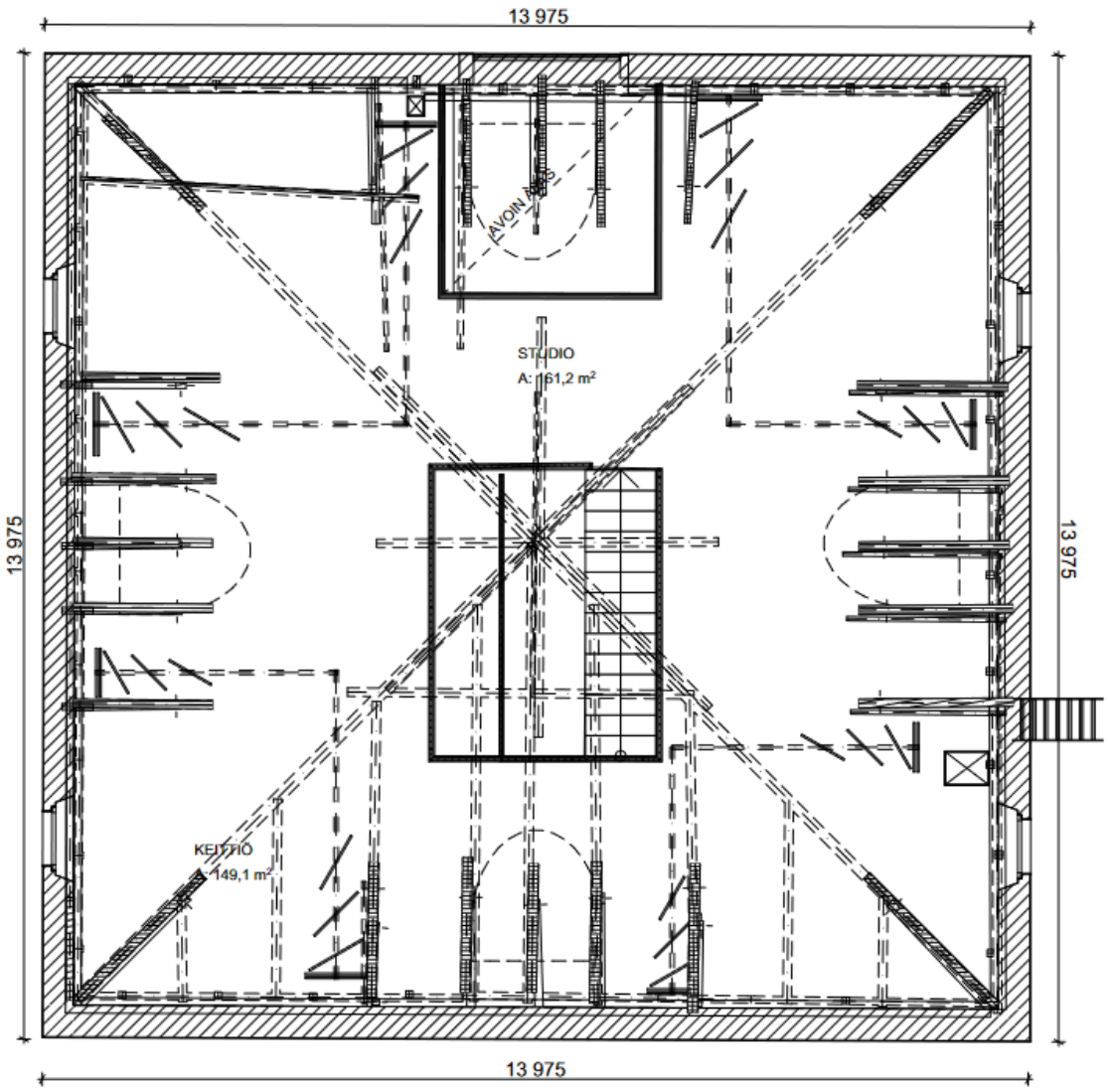
Kuva 21. Kellarikerroksen pohjapiirros, ei mittakaavassa. Kellarin pääasiallinen käyttötarkoitus on toimia säilytystilana. Archicad 24.



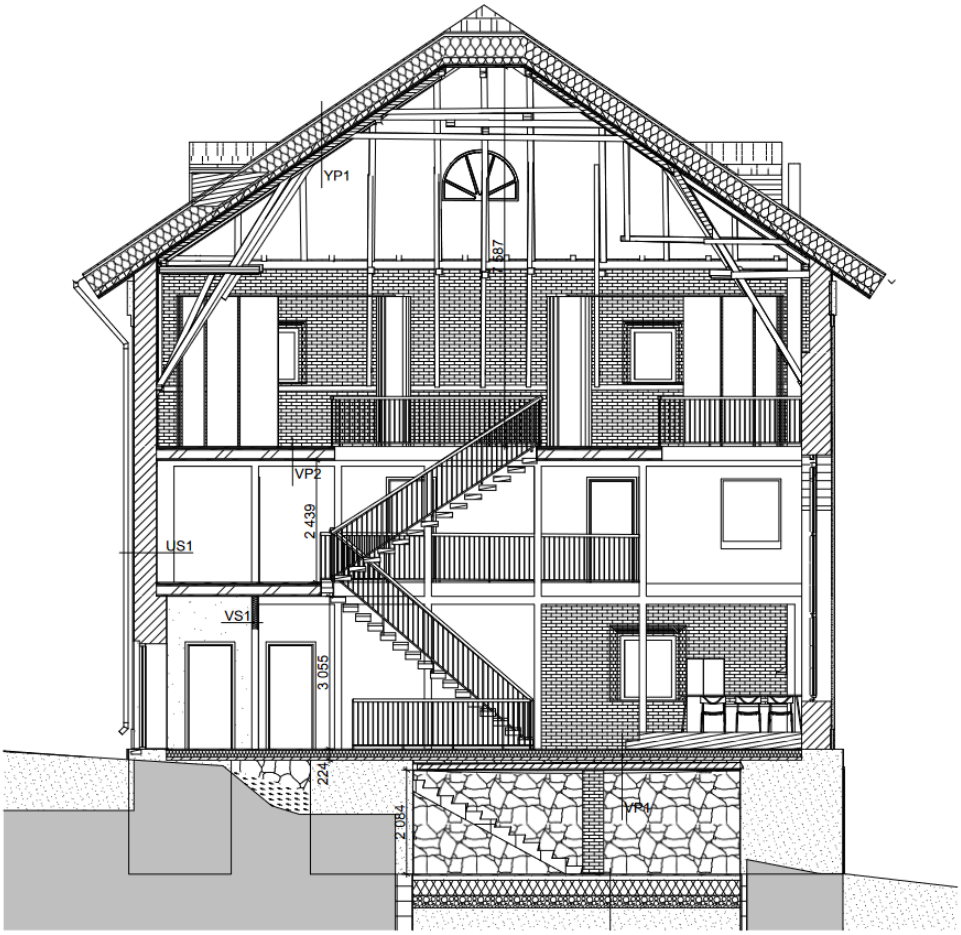
Kuva 22. 1. kerroksen pohjapiirustus, ei mittakaavassa. Maantasokerros sisältää yhteiset tilat, kuten keittiön, olohuoneen ja kylpyhuoneen. Esteettömyyden näkökulmasta maantasokerros toimii myös niin kutsuttuna selviytymiskerroksena. Archicad 24.



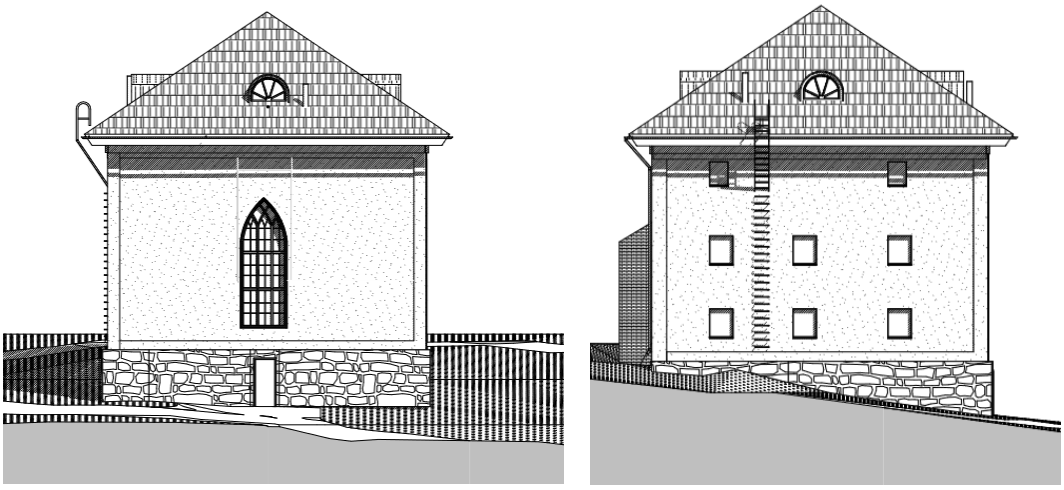
Kuva 23. 2. kerroksen pohjapiirros, ei mittakaavassa. Toisen kerroksen pääasiallisena funktiona on toimia majoituskerroksena. Hallista sekä käytävältä on avattu näkymä ensimmäisen kerroksen oleskelutilaan. Archicad 24.



Kuva 24. 3. kerroksen pohjapiirros, ei mittakaavassa. Ylin kerros toimii taiteilijaresidenssin avoimena studiotilana, johon eri tilankäyttäjät voivat rajata tarvitsemansa alueen liikuteltavilla tilanjakajilla. Archicad 24.



Kuva 25. Leikkaus A-A, ei mittakaavassa. Rakennuksen keskiössä on portaat, joiden avoin rakenne mahdollistaa vertikaalisen tilakokemuksen. Archicad 24.



Kuva 26. Julkisivupiirrokset etelään ja länteen, ei mittakaavassa. Analyysini perusteella pääasiallinen lähestymissuunta, etelä, on kulttuurihistoriallisesti arvokkaimmassa asemassa ja on sen vuoksi hyvä säilyttää ennallaan. Lännenpuoleiselle julkisivulle sijoittuvat oleskelu- sekä majoitustilat, jotka tarvitsevat luonnonvaloa. Archicad 24.

Kuva 27. Perspektiivikuva ylimmän kerroksen avoimesta studiotilasta. Lumion.

Kuva 28. Perspektiivikuva ensimmäisen kerroksen oleskelutilasta. Suunnitelmassa on pyritty säilyttämään alkuperäisen hirsirakenteen tunnelmaa. Lumion.

4 Tulokset ja johtopäätökset

4.1 Pistepilvitiedon käytössä havaitut hyödyt

Pistepilvitiedon ehdoton vahvuus on sen mittatarkkuus ja luotettavuus verrattuna perinteisiin lähtötietoihin, kuten alkuperäisiin piirustuksiin ja manuaaliseen mittaamiseen. Pistepilvi on käytännössä digitaalinen kopio mittauskohteen sen hetkisestä tilasta. Korjaussuunnittelussa lähtötietojen luotettavuus on merkittävässä asemassa, sillä epätarkkuuksien merkitys kertaantuu mitoitusvaiheessa sekä etenkin rakentamisvaiheessa.

Pistepilvitietoa voidaan hyödyntää laajasti kaikilla eri toimialoilla, joissa tarvitaan mittatarkkaa tietoa olemassa olevasta objektista. Pistepilveä hyödynnetään arkkitehtuurin lisäksi esimerkiksi maanmittauksessa, eri insinöörialoilla, peliteollisuudesta sekä arkeologiassa. Korjaussuunnittelussa pistepilven pääasiallinen tarkoitus on toimia lähtötietona, jonka päälle inventointimalli mallinnetaan. Pistepilvitiedon käsittelyohjelmien avulla kohteesta voidaan luoda havainnollistavia näkymiä, jotka tukevat mallinnusprosessia. Lisäksi laserkeilaimella mitatut pisteet sisältävät väri- ja intensiteettiarvoja, joiden avulla pistepilven esitystapaa voidaan säätää tarkoituksenmukaisesti, kuten helpottamaan eri materiaalien rajapintojen havaitsemista.

Visualisoinnin kannalta pistepilveä voidaan hyödyntää sellaisenaan, kun kohteesta halutaan esittää sen hetkinen tilanne. Mikäli korjauskohteena on laaja rakennus, voidaan mallinnus suorittaa vain korjauskohdista, ja käyttää pistepilviä mallintamattomien tilojen havainnollistamiseen.

Tulevaisuudessa laserkeilaimien sekä pistepilvitietoa käsittelevien ohjelmistojen toimivuus ja laatu paranee samalla kun hintataso laskee nykyisestä, ja tämä mahdollistaa menetelmän laajemman käyttöönoton. Lisäksi pistepilven hyödynnettävyys kasvaa sitä tukevien laitteistojen yleistyessä. Nykyään pistepilveä voidaan esimerkiksi tarkastella VR-teknologian avulla. Vastaavat kehitysaskeleet

parantavat pistepilven havainnollistavuutta ja käyttömahdollisuuksia entisestään.

4.2 Pistepilvitiedon käyttöön liittyvät ongelmakohdat

Laserkeilauksen heikko suorittaminen voi jättää aukkoja ja kysymysmerkkejä invenvointimallinnusta tehtäessä. Tämän vuoksi laserkeilausta saattaa joutua tarkentamaan uudella mittauskäynnillä, jotta pimentoon jääneet kohdat saadaan mukaan suunnitelmiin. Jotta tältä vältytään, on laserkeilaukseen käytettävä reilusti aikaa ja suorittaa työ huolellisesti, ja dokumentoida kohde keilauksen lisäksi valokuvaamalla.

Vanhaan käsin tehtävään mittaukseen verrattuna laserkeilaus on huomattavasti tehokkaampaa, mutta toisaalta perinteisin menetelmin toteutettuna arkkitehti tulee viettämään paljon aikaa kohteessa ja tutustuu siihen siten syvällisemmin. Tämä voi auttaa arkkitehtiä ymmärtämään rakennusta syvällisemmin, joka on mielestäni suuri etu laserkeilaukseen verrattuna. Toisaalta resurssoinnin kannalta pitkäjänteinen mittaustyö on epäedullista, ja lisäksi se vaatii kolmen henkilön työpanoksen, kun taas laserkeilauksen voi toteuttaa yhden työntekijän voimin.

Eri laserkeilaimet, pistepilven käsittelyohjelmat ja mallinnusohjelmat eroavat huomattavasti toimintaperiaatteiltaan, ja usein tiedostomuodotkin vaihtelevat eri valmistajien kesken. Tällä hetkellä moderni tietomallintava suunnittelu vaatii kaikilta suunnittelijoilta laajaa teknistä osaamista ja tietomallien vaatimaa teoreettista tietämystä. Tämä johtaa usein siihen, että toimistoilla on muotoutunut omat toimintaperiaatteensa. Tiedostomuotoja tulisi yhtenäistää siten, että mallinnusohjelmat tukisivat samoja tiedostomuotoja, ja eri suunnittelualat voisivat hyödyntää niitä suunnittelussaan saumattomammin. Tietomallintava korjaussuunnittelu tulisi yhä vahvemmin standardisoida ja yleisiin tietomallivaatimuksiin tulisi selkeämmin korostaa uuden teknologiaan ja sen käyttöön liittyviä reunaehtoja ja toimintamalleja.

4.3 Tietomallintamisen kannattavuus korjauskohteessa

Tietomallintava korjaussuunnittelu on kasvava hankkeen toteutustyyli, ja sen reunaehtoja ja yhteisiä toimintatapoja täytyy tutkia lisää ja löytää ratkaisuja, joilla eri suunnittelualat pystyvät sovittamaan suunnitelmat saumattomasti yhteen. Tämä vaatii ohjelmistojen päivitystä sekä niiden tuomaa ammattitaidon lisäystä suunnittelijoiden keskuudessa. Hankkeeseen ryhdyttäessä täytyy punnita vaihtoehtoja, kuinka suunnittelu tullaan toteuttamaan. Tietomallintavassa suunnittelussa ajankäytön resurssointi painottuu tavallista enemmän lähtötilanteen kartoittamiseen ja suunnittelun esivalmisteluun. Kun esityön tekee laadukkaasti, itse suunnittelu on tehokkaampaa ja lopputulos on havainnollisempaa viivapiirustuksiin verrattuna. Tutkielman pohjalta voidaan todeta, että perinteistä viivapiirtämistä tullaan tarvitsemaan tietomallintamisen tukena jatkossakin, esimerkiksi detaljipiirustuksia laadittaessa. Tietomallintaminen mahdollistaa havainnollistettavuuden ja suunnittelualojen yhteensovituksen lisäksi paljon erilaista mitattavaa tietoa esimerkiksi määrälaskentaan, energiatehokkuuteen sekä budjetointiin. Näin ollen tietomallintava suunnittelu mahdollistaa tärkeää tietoa koko rakennusprosessia ajatellen, joka osaltaan optimoi hankkeen kokonaisvaltaista toteutusta.

Korjauskohteen rakennustyyppi ja asiakkaan tarpeet määräävät sen, kannattaako hanke toteuttaa tietomallintamalla vai 2d-viivapiirustuksina. Geometrialtaan haastavat ja yksityiskohtaiset rakennukset vaativat korkeaa mallinnuskykyä ja aikaa, jolloin on hyvä punnita tarvetta tietomallille. Toisaalta suunnittelussa voidaan ratkaista haasteita toteuttamalla suunnittelu hybridinä, jossa rakennus mallinnetaan tarvittavilta osin, ja muuten tukeudutaan viivapiirtämiseen. Toisaalta esimerkiksi kulttuurihistoriallisesti arvokkaissa kohteissa tarkka tietomallinnus voi olla hyödyksi myös sen vuoksi, että rakennuksesta saadaan taltioitua digitaalinen 3d-suunnitelma. Tämä helpottaa suunnittelutyötä tulevia korjaustarpeita ajatellen.

Ohjelmistot kehittyvät jatkuvasti ja suunnittelijoiden täytyy jatkuvasti oppia uutta, jotta kehitys voi mennä eteenpäin. Arkkitehtitoimistojen olisi hyvä kouluttaa henkilökuntaansa teknologian kehittyessä.

Korjaussuunnittelun prosessia tulee nykyaikaistaa ja toimintaa tulee tehostaa, jotta korjauskohteet saadaan laadukkaasti ja kestävästi suunniteltua. Parhaimmillaan nykyaikainen tietomallintava korjaussuunnittelu mahdollistaa vanhoille rakennuksille pidempää käyttöikää, ja parantaa käytönaikaista ylläpitoa sekä toimii tulevaisuuden korjaustarpeiden lähtötietona.

Lähteet

Glueck, P., All you need to know about 3D point clouds. Saatavilla: https://blog.hexagongeosystems.com/all-you-need-to-know-about-3d-point-clouds/ [22.04.2021].

Henttinen, T., 2012a. Yleiset tietomallivaatimukset YTV 2012, Osa 1.

Henttinen, T., 2012b. Yleiset tietomallivaatimukset YTV 2012, Osa 3.

Hicks, M., Google's new VR museum preserves endangered and lost historical landmarks. Saatavilla: https://www.techradar.com/news/googles-new-vr-museum-preserves-endangered-and-lost-historical-landmarks [24.4.2021].

Hietala, M., Huovari, J., Kaleva, H., Lahtinen, M., Niemi, J., Ronikonmäki, N., Vainio, T., 2015. Asuinrakennusten korjaustarve.

Holmijoki, O., 2013. Korjausrakentaminen Suomessa. Työterveyslaitos.

Hyvärinen, J., Henttinen, T., Perttula, T., Liukas, J., Saarentaus, J., Savisalo, A., Manninen, P., Heiskanen, A., 2019. Rakennetun ympäristöntiedonhallinnan standardisointi- Nykytilan kartoitus ja ehdotustoimenpiteistä.

Kallinen, A., 2019. Rakennuksen laserkeilaus RT103133.

Laitinen, E., Laitinen, M., Mattinen, M., Pajakkala, P., 2007. Korjausrakentamisen strategia 2007-2017. Ympäristöministeriö.

Leica geosystems, 2021. Leica Geosystems. Saatavilla: https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360 [23.04.2021].

Penttilä, H., 2006. Nykyaikainen suunnittelu ja rakentaminen. s. 510-515.

Penttilä, H., Rajala, M., Freese, S., 2007. Arvorakennusten korjaushankkeet ja tuotemalintaminen. ArkIT-informaatiotekniikka.

Rajala, M., 2012. Yleiset tietomallivaatimukset YTV 2012, Osa 2.

Rajala, M., 2006. Laserkeilausmittaus ja rakennuksen inventointimalli.

Risulahti, J., 2016. Tietomallipohjainen rakennesuunnittelu ja lähtötietojen selvitys korjausrakennuskohteessa.

Savisaari, A., 2017. Pistepilvitiedon hyödyntäminen korjausrakennushankkeen arkkitehtisuunnittelussa.

Snellman, V., 2014. Resurssitehokas tietomallintaminen.

Tietoa Finland Oy, 2017. Kyösti Kallion tie 16 ja Munkkivuoren ala-aste.

Ympäristöministeriö, 2020. Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020-2050. Motiva.

Opinnäytetyössä käytetyt asiantuntijasovellukset ja -laitteet

Autodesk, (2021). Autodesk ReCap pro (Versio 1) [tietokoneohjelma], Autodesk. Mill Valley, CA, USA.

Leica geosystems, (2016). Leica BLK360 [Laserkeilain], Leica geosystems. Heerbrugg, Sveitsi.

Leica geosystems, (2018). Leica Cyclone Field360 [mobiilisovellus], Leica geosystems. Heerbrugg, Sveitsi.

Leica geosystems, (2018). Leica Cyclone Register360 [tietokoneohjelma], Leica geosystems. Heerbrugg, Sveitsi.