

Lauri Vainio

Rakenteiden mallintaminen korjaushankkeessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

6.5.2014

Tekijä(t) Otsikko	Lauri Vainio Rakenteiden mallintaminen korjaushankkeessa
Sivumäärä Aika	62 sivua + 3 liitettä, joista 2 tilaajan käyttöön 6.5.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	Toimitusjohtaja Jyrki Jalli Lehtori Jouni Kalliomäki
<p>Tämä insinööryö tehtiin IdeaStructura Oy:lle, joka on vuonna 2011 perustettu korjausrakentamiseen erikoistunut suunnittelutoimisto. Yritys tarjoaa rakenneteknisiä ja rakennusfysikaalisia asiantuntijapalveluita. Yritys on todennut, että markkinoiden nykykäytännöt mallintaa olemassa olevia rakenteita eivät sovellu korjaushankkeisiin eivätkä toimi käytännössä. Insinööryön tavoitteena oli luoda IdeaStructura Oy:lle toimintatapa olemassa olevan rakennuksen rakenteiden mallintamiselle. Yhtenä mallintamistavan päämääränä oli laatia mallinnussuunnitelma.</p> <p>Työssä tutkittiin mallintamisen nykytilaa korjausrakentamisessa, yleisiä tietomallivaatimuksia ja niiden soveltuvuutta olemassa olevan rakennuksen mallintamiseen, lähtötietojen selvitysmenetelmiä sekä mallintamisen kustannuksia. Lähtötietomenetelmistä kiinnitettiin erityistä huomiota mittaustekniikoihin, joita olivat laseretäisyys- ja takymetrimittaus, fotogrammetria, lämpökuvaus ja laserkeilaus. Laseretäisyysmittausta ja fotogrammetriaa testattiin käytännössä case-kohteessa, josta ei ollut olemassa vanhoja suunnitelmia.</p> <p>Todettiin, että yleiset tietomallivaatimukset eivät sellaisenaan sovellu olemassa olevan rakennuksen rakenteiden mallintamiseen, koska vaatimukset eivät ota korjausrakentamiseen soveltuvalla tavalla kantaa siihen, kuinka rakenteiden sijainti- ja mittatoleransseja hallitaan. Case-kohteen mittauksissa todettiin, että laseretäisyysmittarilla voidaan mitata tarkasti ja luotettavasti pystysuuntaisia mittoja, mutta ei vaakasuuntaisia. Todettiin myös, että fotogrammetriaa voidaan soveltaa korjauskohteen rakenteiden mallintamisessa esim. julkisivujen osalta. Edellä mainittuja mittaustekniikoita sovelletaan yrityksen projekteissa tulevaisuudessa.</p> <p>Työn lopputuloksena IdeaStructura Oy:lle luotiin toimintatapa mallintaa olemassa olevan rakennuksen rakenteet. Osana mallintamistapaa laadittiin mallinnussuunnitelma, jota hyödynnettiin yrityksen julkisivu- ja parvekekorjauskohteessa As Oy Sato No 16 Annalantaus. Kohteesta tehtyä esimerkkimallinnussuunnitelmaa voidaan hyödyntää pohjana tulevien korjaushankkeiden mallintamisen suunnittelussa.</p>	
Avainsanat	BIM, inventointimalli, korjausrakentaminen, mittaustekniikka, rakennemalli, tietomalli

Author(s) Title	Lauri Vainio Modeling of structures in a reconstruction project
Number of Pages Date	62 pages + 3 appendices of which 2 to the use of the client 6 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Jyrki Jalli, CEO Jouni Kalliomäki, Lecturer
<p>This thesis was made for IdeaStructura Inc., which is an engineering office founded in 2011 specializing in reconstruction. The company provides services in the field of structural engineering and structural physics. The company has observed that the common practices how to model existing structures does not adapt to reconstruction projects and do not work in practice. The aim of the thesis was to create a mode of operation to model existing structures for IdeaStructura Inc. One of the goals of the operation mode was to create a modeling plan.</p> <p>In this thesis the present situation of building information modeling in the reconstruction industry, common BIM requirements and their applicability to modeling an existing buildings, survey methods of initial data and costs of BIM were studied. Special attention was paid to surveying techniques which were laser distance measuring, tacheometric survey, photogrammetry, thermal imaging and laser scanning. Laser distance measuring and photogrammetry were tested in practice in a case building. There were no existing building plans for the case building.</p> <p>It was observed that common BIM requirements are not applicable to modeling structures of an existing building as they are now. Requirements do not take into account how to manage positioning and measuring tolerances of existing structures. In a survey of the case building, it was stated that one can make vertical measurements accurately and reliably, but not horizontal measurements. It was also observed that photogrammetry can be applied to the modeling of the structures of a building under reconstruction. These measuring techniques will be used in practice in the future projects of the company.</p> <p>An operation mode of modeling structures of an existing building was created for IdeaStructura Inc. as a final result of this thesis. As a part of the operation mode, a modeling plan was created and used in a façade and balcony renovation project of the company. The example of the modeling plan that was made for the project can be used as a template in the future planning of the modeling of reconstruction projects.</p>	
Keywords	BIM, building information model, inventory model, measuring technique, reconstruction, structural model

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Mallintamisen nykytila korjausrakentamisessa	2
2.1	Inventointimalli	3
2.2	Oletetut hyödyt	4
2.3	Yleiset tietomallivaatimukset ja niiden sopivuus korjaushankkeeseen	6
2.3.1	Yleinen osuus	6
2.3.2	Lähtötilanteen mallinnus	7
2.3.3	Rakennesuunnittelu	8
2.3.4	Soveltuvuus korjaushankkeessa	10
2.4	Mallinnusohjelmistot ja niiden soveltuminen olemassa olevan rakennuksen mallintamiseen	11
3	Rakenneinventointimallin luominen	13
3.1	Vanhat suunnitelmat	14
3.1.1	Suunnitelmien saatavuus	14
3.1.2	2D-suunnitelmien vieminen malliin	15
3.2	Mittaustekniikat	17
3.2.1	Laseretäisyysmittaus	18
3.2.2	Takymetrimittaus	20
3.2.3	Fotogrammetria	23
3.2.4	Lämpökuvaus	25
3.2.5	Laserkeilaus	28
4	Case Sandkullan konesuoja	33
4.1	Kohteen yleiskuvaus	34
4.2	Kohteen mittaaminen laseretäisyysmittarilla	35
4.2.1	Mittausten esivalmistelut	35
4.2.2	Mittaukset laseretäisyysmittarilla	36
4.2.3	Laseretäisyysmittarin testaaminen kohteen mittausten jälkeen	41
4.2.4	Yhteenveto laseretäisyysmittauksista	43
4.3	Kohteen mittaaminen fotogrammetria-ohjelmalla	45
4.3.1	Mittaukset valokuvista fotogrammetria-ohjelmalla	45
4.3.2	Yhteenveto fotogrammetriamittauksista	49

5	Mallintamisen kustannukset	50
6	Mallintamistapa	52
6.1	Rakennesuunnittelijan rooli rakennemallin laatimisessa	52
7	Mallinnussuunnitelma	54
7.1	Kohteen perustiedot	54
7.2	Kohteen mittaus / lähtötietojen selvitys	55
7.3	Rakennemallin tietosisältö	55
7.4	Suunnitteluvaihekohtaiset tehtävät	56
8	Yhteenveto	57
	Lähteet	59
	Liitteet	
	Liite 1. Sandkullan pilarianturan mitat	
	Liite 2. Mallintamistapa (vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)	
	Liite 3. Mallinnussuunnitelma (vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)	

Lyhenteet ja termistö

BIM	<i>Building Information Model</i> . Tietomalli tai tietomallintaminen.
CAD	<i>Computer Aided Design</i> . Tietokoneavusteinen suunnittelu.
DWG	<i>DraWinG</i> . Tietokoneavusteisessa suunnittelussa käytetty yleinen tiedostomuoto.
Fotogrammetria	Mittausmenetelmä, jolla mittatietoa voidaan selvittää valokuvista.
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i> . Tiedonsiirtomuoto osapuolten välillä tietomallipohjaisessa suunnittelussa.
Inventointimalli	Tietomalli olemassa olevan rakennuksen nykytilasta ja -kunnosta
Laserkeilaus	Mittaustekniikka, joka avulla muodostaa mitattujen pisteiden koordinaateista kolmiulotteisen pistepilven.
Maastomittaustieto	Tekstimuotoinen tiedosto, joka sisältää koordinaattipisteitä. Tiedoston voi luoda taulukkolaskenta- tai suoraan maastomittauslaitteen (esimerkiksi takymetri) ohjelmistolla. [1, s.13.]
Orientointi	Mittauspaikan koordinaatiston ja korkeustason määrittely takymetrille.
Pistepilvi	Kolmiulotteinen mittaustieto, josta ilmenee kaikki laserkeilaimella mitatut pisteet yhdessä koordinaatistossa.
Reikäkierto	Tiedonjakamisprosessi rakenne- ja talotekniikkasuunnittelija välillä rakenteisiin tehtävistä läpivienneistä.

Tietomalliselostus	Kuvaus tietomallin sisällöstä. Selostuksessa kerrotaan miten on mallinnettu ja miten poikettu normaaleista mallinnuskäytännöistä.
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i> . Kuvien tallennukseen käytetty tiedostomuoto, jota käytetään erityisesti asiakirjojen jäljennyksessä ja arkistoinnissa. [2.]
Varaussuunnittelu	Taloteknisiä järjestelmiä varten tehtävien läpivientien suunnittelu.
YTV	Yleiset tietomallivaatimukset.

1 Johdanto

Suunnittelukonsepti BIM eli *Building Information Modeling*, suomeksi tietomallintaminen, esiteltiin CAD-suunnittelun kanssa samoihin aikoihin 1990-luvun alussa, mutta alkoi yleistymään vasta 2000-luvulla vallaten alaa aina enemmän vuosi vuodelta. BIM-menetelmällä tietokoneella tehdään rakennuksesta kolmiulotteinen malli, johon voidaan viedä tietoa rakennuksesta, kuten sen rakennusmateriaaleista, mitoista, sijainnista koordinaatistossa ja kunnosta. Tietomallintaminen on nykypäivänä yleistynyt uudisrakentamishankkeissa, mutta se on pikkuhiljaa siirtymässä myös korjausrakentamiseen.

Insinööriyön tilaaja IdeaStructura Oy on vuonna 2011 perustettu korjausrakentamiseen erikoistunut yritys, joka tarjoaa rakenneteknisiä ja rakennusfysikaalisia asiantuntijapalveluita. Yrityksellä on laaja ja monipuolinen kokemus arvoteknisten korjaushankkeiden peruskorjaamisesta asunto-osakeyhtiöiden korjaushankkeisiin asti. Asiakaskunta koostuu sekä yksityiseltä että julkiselta puolelta. IdeaStructurassa on suunniteltu pääsääntöisesti CAD-pohjaisesti, mutta yritys haluaa olla tiennäyttäjänä korjausrakentamisen tietomallipohjaisessa suunnittelussa.

Markkinoille ei ole vielä kehittynyt toimivaa mallia tuottaa olemassa olevasta rakennuksesta tietomallia. Vallitseva tapa on tuottaa inventointimalli laserkeilauksen avulla. Tällä tavalla tehty malli on kuitenkin työläs ja aikaavievä eikä mallinna rakenteita. Käytännössä hankkeissa rakennesuunnittelija joutuu usein laatimaan rakennemallin inventointimallin rinnalla sitä hyödyntämättä.

IdeaStructurassa pohdittu toisenlaista lähestymistapaa inventointimallin, tai tarkemmin sanottuna rakenneinventointimallin, luomiseen. Uuden mallin luominen voi tuoda yritykselle kilpailuetua muihin alan yrityksiin nähden. Tämän työn tavoitteena on luoda IdeaStructura Oy:lle toimintatapa olemassa olevan rakennuksen rakenteiden mallintamiselle. Mallintamistavassa kuvataan rakenneinventointimallin luomisen vaiheet ja näiden vaiheiden roolitus. Yhtenä osana mallintamistapaa on mallintamissuunnitelma, jossa määritetään korjattavan kohteen mallintamisen laajuus, mallinnettavat rakennusosat ja niiden mittatarkkuudet sekä tapa kerätä kohteen lähtötiedot rakenneinventointimallin laatimiseen. Työssä tutkitaan mallintamisen nykytilaa korjausrakentamisessa, yleisiä vaatimuksia tietomallinnukseen ja lähtötietojen

selvitysmenetelmiä, joista osaa testataan käytännössä case-kohteessa. Työtä varten tutkitaan artikkeleita alan julkaisuista, nykyisiä ohjeistuksia ja vaatimuksia sekä sovelletaan olemassa olevaa kirjallisuutta.

Työ liittyy toiseen IdeaStructura Oy:ssä käynnissä olevaan insinööriyöhön ”Varaussuunnitelmien laadinta korjausrakentamishankkeessa”, jossa käsitellään talotekniikan varaussuunnitteluprosessia nykyajan tekniikoilla sekä reikäkierron hallintaa. Tässä työssä varaussuunnitelmat otetaan huomioon rakennesuunnittelun osalta mallintamistavan laadinnassa.

2 Mallintamisen nykytila korjausrakentamisessa

Huhtikuussa 2013 teetettiin tutkimus tietomallintamisen käytöstä Suomessa rakennusalan puolueettoman vaikuttajan Rakennustietosäätiön ja tietomallintamisen yhteistyöfoorumin buildingSMART:n toimesta. Kyselyyn vastasi reilu 400 rakennusalalla työskentelevää henkilöä. Kyselyn mukaan vastaajista 65 prosenttia käyttää tietomallintamista ja 92 prosenttia uskoo käyttävänsä sitä seuraavan viiden vuoden sisällä. Kyselyssä ei eritelty, toimivatko vastaajat uudis- vai korjausalalla. [3.]

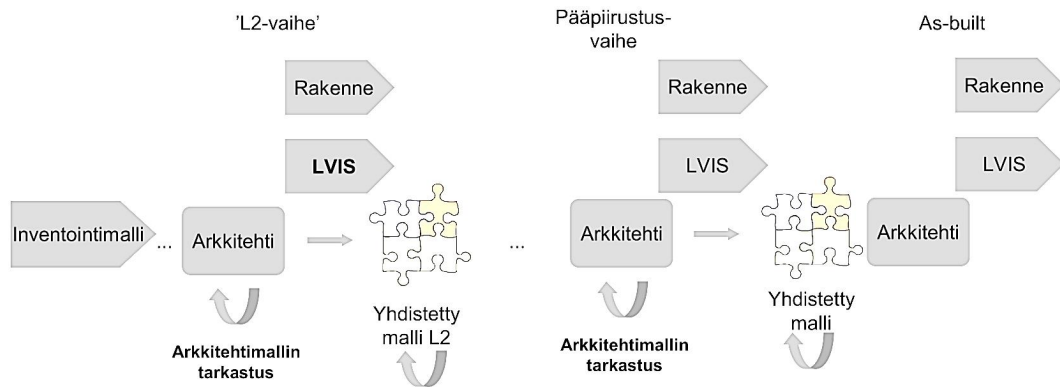
Vastauksista voidaan päätellä, että tietomallintaminen tulee olemaan väistämättä tulevaisuuden työkalu. Nykypäivänä se ei ole vielä lyönyt itseään täysin läpi, vaikka mallinnusohjelmistoja on ollut kauan markkinoilla. Moni yksittäinen toimija toimialasta riippumatta käyttää mallinnusta päivittäin, mutta toistaiseksi kohde, jossa kaikki projektin osapuolet käyttäisivät tietomallia suunnittelussa ja toteutuksen ohjauksessa, on poikkeuksellista. Uudisrakentamisessa tietomallintaminen on yleisempää, sillä rakennus luodaan tyhjästä eikä vanhan rakennuksen asettamia reunaehtoja ole rajoittamassa tietomallin käyttöä. Korjausrakentamisalalle ei ole luotu valmista mallintamisjärjestelmää tai mallia, jota seuraamalla voisi edetä askel askeleelta loppuun asti. Tämä ei ole helppoa, sillä jokainen korjaushanke on yksilöllinen ja korjauksen tarve vaihtelee laajasti. [4, s. 7-8, 52; 5.]

Yksi syy, joka ei korjaudu hetkessä, on alalla vallitsevat jäykät asenteet ja ennakkoluulot uutta menetelmää kohtaan. Vanhoista rutiineista halutaan pitää kiinni voimakkaasti. Menee aikansa kunnes tietomallintamisen mahdollisuuksia aletaan hyödyntämään täyspäiväisesti. Kun CAD-suunnittelu yleistyi 1990-luvulla, mitään

muuta suunnittelumenetelmää ei enää sen jälkeen käytetty. On oletettavaa, että tietomallintamisen kanssa tulee käymään samalla tavalla. Muun muassa Isossa-Britanniassa maan hallitus on linjannut, että tietomallin käyttäminen tulee pakolliseksi julkisissa kohteissa vuoteen 2015 mennessä. Tietomallihankkeista on saatu niin suuri hyöty irti, että valtion tietomallilinjauksella voidaan nostaa koko rakentamis sektorin tuottavuutta. Myös monet toimijat Suomessa ovat halunneet olla edelläkävijöitä mallinnuksen hyödyntämisessä, kuten rakennusliike Skanska ja toimitiloja ja toimitilapalveluita valtionhallinnolle tuottava liikelaitos Senaatti-kiinteistöt. [3; 5.]

2.1 Inventointimalli

Inventointimallilla kuvataan korjauskohteen nykyistä tilaa. Mallinnus tehdään kohteessa tehtyjen mittausten, tutkimusten, vanhojen piirustusten sekä muiden aikaisemmin laadittujen dokumenttien pohjalta. Inventointimallin tarkkuustaso sovitaan kohdekohtaisesti. Inventointimallin laatimista on kuvattu yleisissä tietomallivaatimuksissa. Inventointimallin voi laatia mittauspalveluita tarjoava yritys tai arkkitehti. Yleisin tapa mitata kohde on käyttää laserkeilainta. Laserkeilain on mittauskoje, joka lasersäteen avulla mittaa suuren joukon pisteitä näkyviltä pinnoilta samaan xyz-koordinaatistoon. Laserkeilaimen mittaamia pisteitä kutsutaan pistepilveksi. Tämän pistepilven avulla luodaan inventointimalli erinäisiä keinoja käyttäen. Itse laserkeilaus on esitelty tarkemmin luvussa 3.2.5. Kun inventointimalli on valmis, arkkitehti luo oman tietomallinsa inventointimallin pohjalta. Vasta sen jälkeen, kun arkkitehdin malli on valmis, voivat muut erikoissuunnittelijat, kuten rakennesuunnittelija, aloittaa oman mallinsa työstämisen. Tietomallintamisen perinteinen prosessi on esitetty kuvassa 1. Hyöty arkkitehdin mallista rakennesuunnittelijalle ei välttämättä ole kovin suuri, sillä kantavia rakenteita tai rakennekerroksia ei välttämättä ole selvitetty inventointivaiheessa eikä siitä näin ollen saada irti tietoa rakennesuunnitteluaan varten. Rakennesuunnittelijan on siis selvítettävä kantavat rakenteet jollain muulla tapaa. [6, s. 7, 13.]



Kuva 1. Tietomallintamisen nykyinen prosessi korjausrakentamisessa [7].

2.2 Oletetut hyödyt

CAD-suunnittelu tuottaa viivoja ja erilaisia geometrisiä kuvioita, kuten ympyröitä ja suorakulmioita, jotka eivät sisällä muuta kuin geometrista, kaksiulotteista informaatiota. Suunnittelijan on itse luotava näiden menetelmien avulla havainnollistavat suunnitelmat rakentamista varten käyttäen apunaan irrallisia tekstejä, jotka on manuaalisesti kirjoitettava ja kohdistettava suunnitelmissa haluttuihin kohtiin. Voitaisiin ehkä kärjistää luonnehtia, että CAD-suunnittelu on tietokoneavusteista piirtämistä.

BIM-suunnittelussa rakennus luodaan kolmiulotteisena mallina, jonka osat muodostuvat erilaisista objekteista tai olioista, jotka laaditaan rakennusosakohtaisilla työkaluilla. Seinät mallinnetaan seinätyökalulla, pilarit pilarityökalulla, palkit palkkityökalulla ja niin edelleen. Rakennusosille määrittyy nimet, materiaalit, sijainnit koordinaatistossa sekä muita oleellisia tietoja niiden kannalta. Tietomalli ei siis vain esitä rakennuksen geometrioita vaan se sisältää sellaista tietoa rakennuksesta, jota voidaan hyödyntää rakentamisen myöhemmissä vaiheissa. Mallien avulla voidaan luoda määräluetteloita malliin syötetyistä objekteista. Mallista voidaan määrittää määrät urakkalaskentavaiheessa. Tämä on tilaajan näkökulmasta positiivinen asia, sillä syntyviin kustannuksiin voidaan varautua näin paremmin. Eräässä VTT:n tietomallihankkeessa huomattiin, että määrälaskenta tietomallista on 30-50 % nopeampaa kuin käsin piirustuksista. Korjauskohteissa saatavaa hyötyä määrälaskennasta voidaan pitää samassa luokassa kuin uudiskohteiden kanssa. [8; 9, s. 31.]

Tietomalli luodaan siis virtuaalisesti mallinnusohjelmalla kolmiulotteisena yhteen koordinaatistoon ikään kuin pienoismalliksi, hieman kuten arkkitehdit rakensivat pienistä puupaloista aikoinaan havainnollistaakseen asiakkaallensa lopullisen rakennuksen ulkomuodon. Kolmiulotteisuus ja sen tuoma esitystapa onkin yksi mallintamisen suurimmista vahvuuksista.

Rakennushankkeessa eri osapuolet luovat omat tietomallinsa. Yhteisen tiedonsiirtomuodon, IFC:n eli *Industry Foundation Classes*:n, avulla eri malleja pystytään siirtämään, yhdistämään ja tarkastamaan. IFC on kehitetty, sillä mallinnusohjelmat eivät tue toisen ohjelmistovalmistajan malleja. Mallinnusohjelmalla luotu tietomalli muutetaan IFC-tiedostoksi ja lähetään muille hankkeen osapuolille. IFC-tiedoston pystyy avaamaan millä tahansa mallinnusohjelmalla. BIM onkin tiedon siirtämistä ja jakamista hankeosapuolten kesken. Esimerkiksi talotekniikkamalli voidaan yhdistää arkkitehdin malliin ja tarkastaa, onko tekniikalle varattu tarpeeksi tilaa vai törmääkö tekniikka kantaviin rakenteisiin. Mallinnusohjelma kertoo, missä törmäys tapahtuu, mutta vaadittuja korjauksia se ei ehdota. Tällä tavalla vastuu suunnittelusta säilyy edelleen suunnittelijalla. Ristiriidat voidaan havaita suunnitteluvaiheessa tietokoneen ruudulta eikä vasta työmaalla, kuten CAD-käytännöllä tuotettujen dokumenttien avulla. Kun suunnitteluosapuolten mallien yhteensopivuudet tarkastetaan hankkeen alussa, vältytään ylimääräisiltä töiltä työmaalla. Suunnitelmien tarkastamiseen ja yhteensovittamiseen on varattava enemmän aikaa kuin perinteisellä suunnittelulla. Aikaisella vaikutuksella suunnitteluun katsotaan olevan parantava vaikutus suunnittelijaosapuolten yhteistyössä. Jos halutaan, mallinnusohjelmaa voi pyytää tekemään standardisuunnittelun ja suunnittelija voi keskittyä erikoisimpiin kohtiin. [3; 5; 8; 10.]

Käytettäessä tietomallintamista suunnittelussa, suunnittelijalla on vain yksi mallitiedosto kohteesta, jota hän työstää mallintamisohjelmalla. Yhdestä tietomallista voi luoda monta erilaista piirustusta, kun taas perinteisessä CAD-suunnittelussa tiedostoja on monia, joista piirustukset on erikseen tuotettava. Tietomallin etu on siinä, että kun mallista muuttaa jonkin asian, se muuttuu kaikissa piirustuksissa. CAD-suunnittelussa muutokset on korjattava manuaalisesti kaikkiin sitä koskeviin tiedostoihin, koska suunnittelutiedostojen välillä ei ole relaatorakenteita, jotka mahdollistaisivat muutosten siirtymisen muihin suunnitelmiin. Esimerkiksi, jos yhdestä seinästä on tehty kolme eri piirustusta ja seinän paksuus muuttuu, tietomallintamalla muutos on tehtävä vain kerran ja kaikki piirustukset muuttuvat samaan aikaan. CAD-menetelmällä samaisessa

myös inventointimallin koordinaatistoa. Kaikki tietomallit luodaan mahdollisimman tarkkoina, mutta inventointimalleissa ei tarvitse pyrkiä absoluuttiseen tarkkuuteen johtuen rakennuksen vinouksista, kaltevuuksista ja paksuuden muutoksista.

Mallinnuksessa käytetään mallinnusohjelman mallinnuskomponentteja ja työkaluja niiden varsinaiseen käyttötarkoitukseen eli seinätyökalulla mallinnetaan seinät ja niin edelleen. Jos jollekin rakennusosalle ei löydy omaa työkalua, on sovellettava jotain muuta työkalua ja mainittava asiasta tietomalliselostuksessa. Tietomalliselostus on suunnittelualakohtainen kuvaus oman mallinsa sisällöstä, jossa mainitaan käytetyt mallinnustavat ja mahdolliset poikkeamat yleisiin vaatimuksiin tai mallinnustapoihin nähden. Selostuksessa kerrotaan, mihin tarkoitukseen malli on julkaistu ja mikä sen tarkkuusaste on. Selostus päivitetään aina kun malli julkaistaan muiden osapuolten käyttöön.

YTV:n mukaan inventointimalli voidaan luoda olemassa olevien kuvien tai sähköisten mittausten pohjalta. Malli voidaan teettää erillisenä toimeksiantona mittauspalveluyrityksellä tai arkkitehtitoimistolla. Inventointimallin jälkeen arkkitehti luo oman mallinsa, joka lähetetään vasta sen valmistuttua rakennesuunnittelijalle. [11, s. 7-9, 14.]

2.3.2 Lähtötilanteen mallinnus

Osassa 2 mainitaan samoja asioita kuin ensimmäisessä osassa. Lisäyksenä tietomalliselostukseen inventointimallin laatijan on dokumentoitava muun muassa mittausmenetelmät, poikkeamat mittausmäärittelystä sekä lähtötietojen alkuperä.

Inventointimallille on asetettu mallinnustarkkuuksia. Sallitut mittapoikkeamat ovat rakennusosien nurkkapisteille 10 mm, pinnoille, kuten seinille ja lattioille, 25 mm ja vanhoille epäsäännöllisille rakenteille, kuten vesikattorakenteille, 50 mm. Sallittuja mittapoikkeamia ei silti voi käyttää yleistäen, vaan mallinnustarkkuus on sovittava projektikohtaisesti.

Inventointimallin tarkkuudelle on esitetty kolme eri tarkkuustasoa. Tarkkuustasojen alle on listattu ne rakennusosat, jotka mallinnetaan kyseenomaiselle tarkkuustasolle. Tasojen avulla kerrotaan, mitkä osat täytyy mallintaa ja mistä osista on sovittava hankekohtaisesti. Erillisiä mittatarkkuuksia ei ilmoiteta. Taso 1 on tilamalli, joka

tarkoittaa, että mallissa on esitetty vain tilat, joista rakennus koostuu. Taso 1:n malleja käytetään vain luonnostason suunnitelmiin. Tasolla 2 malli on rakennusosamalli, joka on inventointimallin perustaso. Mallissa pitää esiintyä rakennusta ympäröivät taso-osat eli tontti ja säilytettävä kasvillisuus, tila-osat eli kiintokalusteet ja sisäkattorakenteet sekä talo-osat (kuva 3), joista muun muassa runko, alapohjalaatat ja ulkoseinät mallinnetaan näkyviltä osiltaan. Tason 3 mallit ovat laajempia ja yksityiskohtaisempia kuin tason 2 mallit. Runko, alapohjalaatat ja muu rakennustekniikka mallinnetaan yksityiskohtineen, jolla tarkoitetaan koristeita ja muita pieniä osia. Pintojen sisäisiin osiin myöskään tasolla 3 ei oteta kantaa.

12 Talo-osat

1221 Alapohjalaatat	mallinnetaan näkyviltä osin
123 Runko	mallinnetaan näkyviltä osin ilman yksityiskohtia
1241 Ulkoseinät	mallinnetaan ilman yksityiskohtia
1242 Ikkunat	mallinnetaan karmeineen ja puitteineen
1243 Ulko-ovet	mallinnetaan karmeineen
125 Ulkotasot	mallinnetaan
1261 Vesikattorakenteet	mallinnetaan yksinkertaistettuina
1263 Vesikatteet	mallinnetaan
1265 Lasikattorakenteet	mallinnetaan
1266 Kattoikkunat ja -luukut	mallinnetaan
1222 Alapohjakanaalit	määritellään hankekohtaisesti

Kuva 3. Inventointimallin talo-osien tarkkuus tasolla 2 [3, s. 15].

Liitteenä osasta 2 löytyy mittauksen ja inventointimallinnuksen tehtävämäärittelylomake, johon on taulukoitu, mitkä rakennuksen osat kullakin tarkkuustasolla mallinnetaan. Mukana on myös tietomalliselostuspohja lähtötilanteen mallinnusta varten. [3, s. 7-8, 13–17.]

2.3.3 Rakennesuunnittelu

YTV:n osassa 5 on esitetty, että rakennemalli määritetään tietomallina, johon on mallinnettu kaikki kantavat rakenteet, ei-kantavat betonirakenteet sekä sellaiset rakennustuotteet, jotka sijainnillaan ja koollaan vievät tilaa niin paljon, että niillä on vaikutusta muiden suunnittelijoiden työhön. Rakenteista saadun tiedon tulee siirtyä muille osapuolille ilman, että sijainti, tyyppi tai geometria muuttuu.

Rakennesuunnittelijan on varmistettava, että rakennusosat on mallinnettu oikeilla mallinnustyökaluilla IFC-tiedonsiirtomalliin, seinä on mallinnettu seinätyökalulla ja palkki palkkityökalulla.

Osassa 5 on annettu ohjeita korjauskohteen rakenteiden mallintamiseen. Korjauskohteiden mallinnuksen laajuus on aina sovittava hankekohtaisesti. Mallien laajuuteen ja tarkkuuteen vaikuttaa lähtötietomallin soveltuvuus rakennesuunnittelijan näkökulmasta. Jos inventointimallia ei ole tehty tai tieto rakenteista on puutteellinen, voi rakennesuunnittelija mallintaa olemassa olevat rakenteet. Rakennesuunnittelijan lähtötietomalli toteutetaan käyttäen hyväksi Yleisten tietomallivaatimusten osaa 2 Lähtötilanteen mallinnus. Tietomalliselostuksessa tulee mainita käytetty mittausmenetelmä ja arvioida mallin tarkkuus.

Rakennemallin tietosisältö on jaettu viiteen eri suunnitteluvaiheeseen: vaatimusmalliin, ehdotus-, yleis-, hankintoja palvelevaan ja toteutussuunnitteluun. Suunnitteluvaiheissa ei oteta kantaa, soveltuuko rakennemallin tietosisältö uudis- vai korjauskohteisiin. Vaatimusmalli- ja ehdotussuunnitteluvaiheessa ei vaadita mallinnusta. Vaatimusmallivaiheessa esitetään rakennesuunnittelulle asetetut tavoitteet ja vaatimukset taulukko-, piirustus-, tekstiasiakirja- tai halutessa tietomallimuodossa. Ehdotussuunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelija arvioi arkkitehdin esittämiä vaihtoehtoja toteutettavaksi rakenneteknisestä näkökulmasta. Yleis-, hankintoja palvelevalle ja toteutussuunnittelulle on määritetty suunnitteluvaihekohtaisesti mallinnettavat rakenneosat ja niiden tarkkuudet. Näiden kolmen viimeisen suunnitteluvaiheen alle on listattu, mitkä rakennusosat mallinnetaan kyseenomaisessa vaiheessa.

Mallinnettavien rakennusosien tarkkuuteen ei ole annettu absoluuttisia mittoja millimetreinä minkään suunnitteluvaiheen rakennemallia varten, monen osan kohdalla lukee, että sen perusgeometria ja sijainti mallinnetaan oikein (kuva 4). Tietty rakennusosa mallinnetaan YTV:n mukaan tai siitä on sovittava hankekohtaisesti. Rakennemallin suunnitteluvaihekohtaiset tietosisällöt on tehty uudispainotteisiksi, sillä monessa vaiheessa puhutaan sellaisista tuotettavista piirustuksista, joita korjaushankkeissa ei tehdä, kuten esimerkiksi elementtikaavio, paalupiirustukset ja perustusten raudituspiirustukset. [12, s. 6, 8-14, 17-18.]

Rakenne	Rakennusosa	x/(x)	Tarkkuus
Perustukset	Paalutukset	(x)	
	Anturat	x	Mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein
	Perusmuurit	x	Mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein
	Peruspilarit	x	Mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein
	Peruspalkit	x	Mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein
	Lämmöneristeet	(x)	

Kuva 4. Rakennemallin tietosisältö perustusten osalta yleissuunnitteluvaiheessa [12, s. 20].

2.3.4 Soveltuvuus korjaushankkeessa

Yleiset tietomallivaatimukset ovat periaatteessa ensimmäiset viralliset ohjeet, joita tietomallinnettavan hankkeen osapuolet voivat käyttää hyväkseen. Vaatimuksilla on luotu standardimainen järjestelmä tekemällä yhteiset pelisäännöt hankkeessa työskenteleville. Rakennesuunnittelun eri suunnitteluvaiheiden ja lähtötilanteen mallintamisen tarkkuustasojen vaatimusosista on helppo katsoa kuhunkin suunnitteluvaiheeseen vaaditut mallinnettavat osat taulukoista ja tarkastaa oma malli luoduista tarkastuslistoista. Samalla periaatteella tehdyt tietomalliselostukset helpottavat niiden lukemista ja tarkastelua eri tietomallihankkeissa eri osapuolilla.

Koska Yleiset tietomallivaatimukset ovat ensimmäisiä yleisiä ohjeita, eivät ne ole kovinkaan tarkkoja, mikä laskee niiden hyödynnettävyyttä. Monessa kohdassa viitataan hankekohtaiseen sopimiseen. Toki hankkeeseen sekä tietomalliin vaikuttaa moni asia, kuten projektiorganisaatio, itse rakennus sekä tilaajan halut ja vaatimukset, joten yksi suoranainen ohje olisi voinut olla haastavaa ensimmäiseksi kerraksi. Varsinkin korjauskohteiden moninaiselle kirjolle olisi vaativaa tehdä selkeä yleispätevä ohje.

Rakennusosien mittatarkkuuksia ei ole määritelty missään YTV:n osassa. Ohjeiden mukaan rakenteet joko mallinnetaan, niiden mallintamisesta sovitaan projektikohtaisesti tai niitä ei mallinneta ollenkaan. Mallinnetaan ja ei-mallinneta käytäntö toimii enemmän uudispuolella, kun rakennusosien mitat määrätään suunnittelijan toimesta. Korjauskohteissa olemassa olevan rakennuksen mitat ovat juuri ne, mitä ne kohteessa sattuvat olemaan. Mittojen tarkkuudella ei ole pelkästään suuri merkitys korjauskohteen rakennesuunnittelussa, vaan myös rakennemallia

hyödyntävien suunnittelijoiden, kuten talotekniikkasuunnittelijoiden, työssä. YTV:ssä ei anneta ohjeita siitä, kuinka olemassa olevien rakenteiden sijainti- ja mittatoleransseja hallitaan mittaamisessa, dokumentoinnissa ja suunnittelussa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, ettei YTV:n ohjeita voi hyödyntää korjaushankkeessa, vaan pelisäännöt on luotava hankekohtaisesti. Inventointimalleille annetut muutamat sallitut mittapoikkeamat ovat pinnoille eikä niinkään kantaville rakenteille. Esimerkiksi osassa 2 olisi toivonut edes konkreettisia ehdotuksia tarkkuustasoista eri vaiheiden malleille, onko esimerkiksi seinän paksuuden tarkkuus 100 mm, 10 mm vai 1 mm?

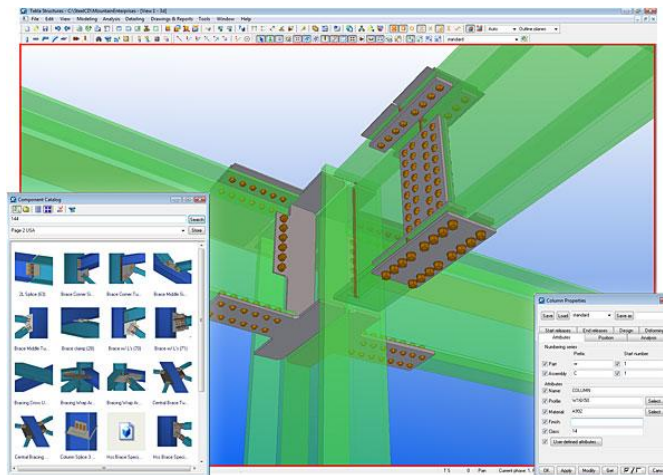
Yleiset tietomallivaatimukset etenevät perinteisen suunnitteluprosessin mukaan. Rakennesuunnittelijan on odotettava, että saa arkkitehdiltä tai mittausyritykseltä lähtötiedot ennen kuin pystyy aloittamaan oman suunnittelunsa. Rakennesuunnittelija voi aloittaa rakennemallin työstämisen vasta, kun on saanut käsiinsä inventointimallin. Osassa 2 inventointimallin tarkkuustasoilla 1-3 pintojen takana oleviin kantaviin rakenteisiin ei oteta kantaa, mikä tekee mallista arkkitehtimallin. Rakennesuunnittelija ei voi kovinkaan paljoa hyödyntää YTV:n ohjeistusta, sillä inventointimalliin ohjeistetaan mallinnettavaksi vain näkyvät pinnat eikä kantaville rakenteille ei ole esitetty mittatarkkuuksia. Liian moni asia kehoitetaan hoidettavaksi projektikohtaisesti, joten jotain muuta menetelmää olemassa olevan rakennuksen rakennemallin luomiseen on käytettävä.

2.4 Mallinnusohjelmistot ja niiden soveltuminen olemassa olevan rakennuksen mallintamiseen

Suunnitteluohjelmistomarkkinoita hallitsevalla Autodeskillä on Autodesk Revit Structures ja Kymdatalla kaikkia suunnittelualoja tukeva CADs Planner. Tunnetuin rakennemallintamisohjelmisto on kuitenkin suomalaista alkuperää oleva Tekla Structures, joka on vakiinnuttanut paikkansa ympäri maailmaa. IdeaStructura Oy:llä on käytössä saksalaisen Nemetschekin Allplan, joka on yleinen tietomallintamisohjelma Keski- ja Itä-Euroopassa. Koska kaikkien mahdollisten rakennemallinnusohjelmien vertailu olisi jo itsessään oma insinööriaiheensa, on tässä työssä arvioitu Tekla Structures:n ja Allplan:n soveltuvuutta olemassa olevan rakennuksen mallintamiseen.

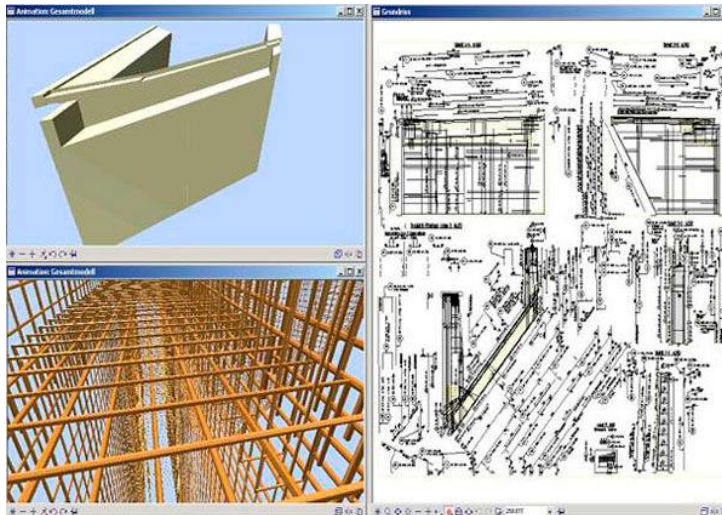
Molemmissa ohjelmistoissa on paljon samoja perustoimintoja, kuten muissakin alan ohjelmissa. Molemmista löytyvät rakennusosatyökalut, kuten esimerkiksi palkki-, seinä- ja laattatyökalu sekä mahdollisuus tehdä 3D-tietomallista perinteisiä 2D-piirustuksia.

Yksi ero ohjelmien välillä on työkalujen määrässä. Teklassa on todella paljon erilaisia työkaluja tai ”velhoja” rakenteiden liitoksille, eritoten teräsrakenteiden liitoksille (kuva 5). Teklan kilpailuvaltti onkin teräsrakenteiden mallintamisessa, millään muulla ohjelmalla ei pysty luomaan yhtä hyvin teräsrakenteita tai niiden liitoksia BIM-maailmassa. Allplanissa ei ole yhtä kattavia teräsrakenteiden suunnittelukomponenttejä kuin Tekla Structuresissa.



Kuva 5. Tekla Structuresissa on useita työkaluja mm. teräsrakenteiden liitoksille [13].

Tekla Structures -ohjelmaa käytetään paljon uudishankkeissa sen sisältämien komponenttien ansiosta. Työkalulle syötetään arvot, joiden mukaan se mallintaa halutun osan automaattisesti. Tämä nopeuttaa detaljien suunnittelua perinteiseen tietokoneavusteiseen suunnitteluun verrattuna. Korjaushankkeissa tilanne on toinen. Tekla vaatii vakiotyökaluilla luodut osat esimerkiksi pilarin ja palkin välisen liitoksen luontiin. Korjauskohteessa, jossa rakenteet ovat epäsäännöllisiä, ei velhotyökaluilla voida tehdä osia uusien ja vanhojen rakenteiden liitoksiin. Korjauskohteissa on usein sovellettava suunnittelijan toimesta monia korjausmenetelmiä yhden valmiin ratkaisun sijaan, joten valmiita mallinnuskomponentteja on vaikea käyttää. Detaljit on usein laadittava 2D:nä CAD-ohjelmalla, sillä Teklassa se ei ole mahdollista. Mallintamisen lisäksi on siis käytettävä toista ohjelmaa, että korjausrakennepiirustukset voidaan tuottaa rakennesuunnittelijan suunnitelmien mukaisesti. Allplanissa tätä ongelmaa ei ole, sillä ohjelmassa on mahdollisuus piirtää detaljeja 2D:nä mallista saatujen leikkausten päälle (kuva 6).



Kuva 6. Allplanissa voi suunnitteella 3D:n lisäksi 2D:nä [14].

Allplanin ja Tekla Structuresin lisenssien hinnoissa on suuri ero. Teklan lisenssi on ohjelmiston versiosta ja laajuudesta riippuen lähes neljä kertaa kalliimpi kuin Allplanin. Molemmilla ohjelmilla on mahdollista mallintaa korjauskohde niiden perustyökalujen ansiosta, kumpaiseltakin yritykseltä löytyy referenssejä oman ohjelmistonsa käytöstä korjaushankkeissa. Tosin hintavamman Teklan ohella on kuitenkin käytettävä toista piirto-ohjelmaa tarvittavien suunnitelmien luontiin. Alustavan vertailun perusteella Allplan on näistä kahdesta siis käytännöllisempi ja halvempi ratkaisu olemassa olevan rakennuksen tietomallintamiseen. [15; 16.]

3 Rakenneinventointimallin luominen

Rakenneinventointimallin luomisessa voidaan hyödyntää monta eri keinoa: on perehdyttävä vanhoihin suunnitelmiin, tehtävä mittauksia parhaaksi katsotulla mittaustekniikalla, suoritettava kuntotutkimuksia ja tehtävä johtopäätöksiä näiden selvitysmetodien perusteella. Lähtötietoja selvittäessä on muistettava, että rakenteet eivät aina ole suoria. Ne ovat voineet taipua ulkoisesta kuormasta, virua alaspäin ajan saatossa tai kutistua tai laajentua materiaaliteknisistä syistä. Rakentamisen tarkkuuskaan ei välttämättä ole ollut alkuperäisten suunnitelmien mukaista.

Seuraavissa luvuissa on esitetty rakenneinventointimallin luomiseen käytettyjä menetelmiä. Menetelmien avulla voidaan luoda hyvinkin tarkka rakennemalli jo inventointivaiheessa. Jokaisessa luvussa on esitelty menetelmä, toiminta- tai

käyttöperiaate ja pohdittu, miten kyseistä menetelmää käyttäen voidaan saada tietoa rakenneinventointimalliin tarkoituksenmukaisesti.

3.1 Vanhat suunnitelmat

Ensimmäinen askel rakennesuunnittelijalle on tutustua alkuperäisiin ja mahdollisten myöhempien korjausten suunnitelmiin. Vanhoiksi suunnitelmiksi luokitellaan rakennuspiirustusten lisäksi rakennelaskelmat sekä erilaiset tekstimuotoiset selostukset, kuten esimerkiksi työselostus. Vanhojen suunnitelmien tarkkuuden, määrän ja luotettavuuden avulla voidaan arvioida muiden lähtötietoselvitysmenetelmien laajuutta ja tarvetta.

3.1.1 Suunnitelmien saatavuus

Jos rakennuksesta on tehty suunnitelmat, löytyvät ne suurimmalla todennäköisyydellä rakennuksen kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta. Rakennusvalvonnat ovat vaatineet vaihtelevasti aikakaudesta riippuen rakennussuunnitelmia toimitettavaksi itselleen. Suunnitelmia säilytetään yleensä rakennusvalvontojen omissa arkistoissa. Sähköisten asiakirjojen käytön lisääntyessä vanhoja paperisia suunnitelmia on muutettu sähköiseen muotoon. Esim. Helsinki ja Espoo ovat ottaneet käyttöön sähköisen asiointipalvelun ARSKA:n, johon on tallennettu vanhoja skannattuja suunnitelmia PDF- ja TIFF-tiedostoina. Palvelun on avoin kaikille ja käytössä kellon ympäri ja sieltä voi ostaa ja ladata järjestelmään tallennettuja dokumentteja. Yhden tiedoston hinta on 3,00 € Turvaluokitellut ja salaiset suunnitelmat eivät ole myynnissä. Vantaan rakennusvalvontavirastolla on myös suunnitelmat sähköisessä muodossa, mutta omaa sähköistä palvelua kaupunki ei ole vielä luonut. Rakennusvalvonnoissa on mahdollista vierailta arkistoissa ja tutkia paikan päällä vanhoja suunnitelmia paperilta tai mikrofilmiltä ilmaiseksi.

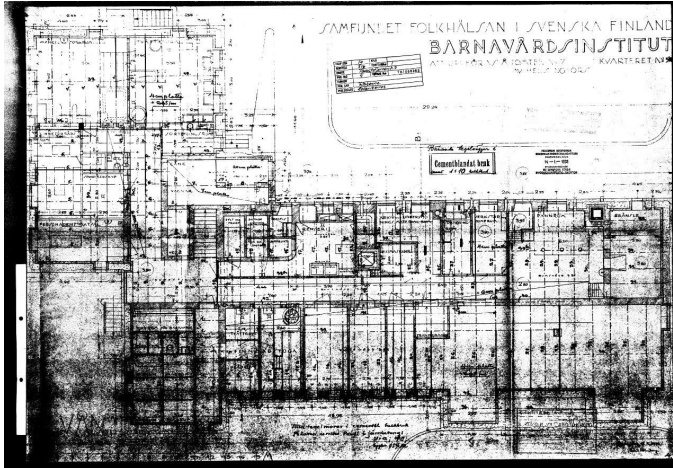
Rakennushankkeen päätyttyä valmiit suunnitelmat saatetaan luovuttaa rakennuksen haltijalle tai kiinteistöä huoltavalle osapuolelle. Rakennesuunnittelijan onkin soveliasta tiedustella toimeksiannon tilaajalta hankkeen alkuvaiheessa, josko tällä on hallussaan vanhoja suunnitelmia. Suomen valtion arvokohteiden suunnitelmia säilytetään Kansallisarkistossa, josta on mahdollista ostaa kuntien rakennusvalvontojen tapaan kopioita vanhoista suunnitelmista. Suunnitelmiin käsiksi pääseminen saattaa tosin

edellyttää poliisiviranomaisen tai pääesikunnan suorittamaa turvaselvitystä riippuen kohteesta ja sen turvaluokituksesta.

3.1.2 2D-suunnitelmien vieminen malliin

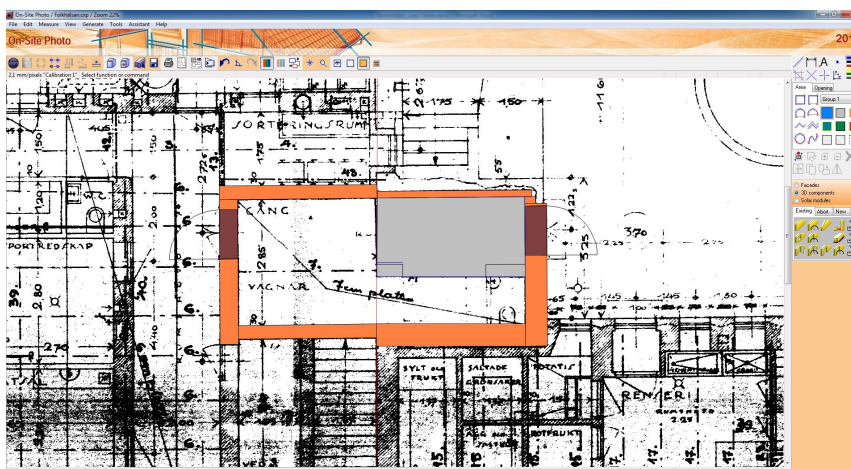
Vaikka erilaiset työselostukset ja rakennelaskelmat antavat arvokasta tietoa rakennuksen materiaaleista, toimitetuista työtavoista ja rakenteiden lujuuksista, rakennuspiirustukset ovat eniten käytetty suunnitelmamuoto rakenneinventointimallin luomisessa. Helpoin ja yksinkertaisin tapa käyttää hyväksi vanhoja piirustuksia on ladata ne mallinnusohjelmaan, jos ne vain ovat sähköisessä muodossa. Jos piirustukset ovat vain paperisina, voidaan ne skannata PDF-tiedostoiksi tai käyttää sellaisinaan. Tasopiirustusten päälle on helppo mallintaa seinät sekä ala-, väli- ja yläpohjat. Vanhat rakennusvalvonnoista ostetut skannatut piirustukset ovat harvoin piirustuksen nimiössä esitetyssä mittakaavassa, joten tiedostot on skaalattava 1:1 kokoisiksi jonkin piirustuksessa esitetyn mitan ja sen mitan paperilla olevan pituuden suhteella ennen kuvan skaalaamista.

Piirustuksista ei ole aina esitetty tarpeeksi tietoa rakennesuunnittelun kannalta. Vanhoista rakennuksista on saatettu tehdä pelkät arkkitehtipiirustukset, joiden avulla koko rakennus on rakennettu. Näissä piirustuksissa on voitu esittää päämittoja, mutta ei välttämättä esimerkiksi seinä- tai taso-osien paksuuksia. Vanhat piirustukset ovat saattaneet olla likaisia ja tahriintuneita jo ennen skannausvaihetta, joten joiltain osilta rakennusta tietoa saattaa jäädä pimementoon (kuva 7). Käsiniirretyissä piirustuksissa kaikki osat eivät välttämättä ole piirretty saman suuruiseksi kuin esitetty mitta. Mallintaessa tuleekin käyttää kirjoitettua mittaä, sillä työmaa on suuremmalla todennäköisyydellä käyttänyt samaa mittaä. Vanhojen piirustusten mittoihin onkin suhtauduttava suurella varauksella.

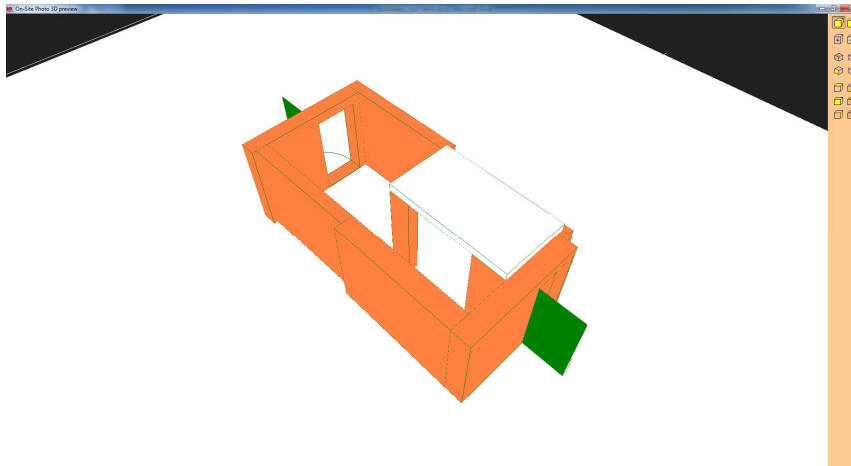


Kuva 7. 1930-luvulla laadittu skannattu tasopiirustus. Mustat tahrat tekevät piirustuksen lukemisesta haastavaa [17].

Vanhojen suunnitelmien pohjalta rakennemalli voidaan tehdä esimerkiksi fotogrammetriaohjelma On-Site Photolla. Fotogrammetria on mittaustekniikka, joka esitetään luvussa 3.2.3. On-Site Photon toiminnasta selostetaan kattavammin luvussa 4.3. Ohjelman käyttö on yksinkertaista. Siihen ladataan rakennepiirustustiedosto, TIFF tai PDF, minkä jälkeen piirustuksesta määritetään ohjelmalle siitä yksi tunnettu x-suuntainen mitta piirustuksesta, jotta ohjelma osaa skaalata piirustustiedoston oikean kokoiseksi. Tunnettuna mittana voidaan käyttää myös työmaalla mitattua tietoa. On-Site Photolla on mahdollista luoda 3D-komponentteja, kuten seinä-, lattia- ja kattoobjekteja tiedostojen päälle. Mallintaminen voidaan aloittaa siis jo On-Site Photolla vanhojen piirustusten pohjalta (kuva 8 ja kuva 9). Malli ladataan tietomallinnusohjelmaan, jossa sitä voidaan jatkokäsitellä.



Kuva 8. Kuvan 7 tasopiirustukseen On-Site Photolla laadittu malli 2D:nä.



Kuva 9. Kuva 8:n malli 3D:nä. Mallinnetut osat voi siirtää suoraan mallinnusohjemaan.

Mitä vanhempia suunnitelmat ovat, sitä kriittisemmin niihin kannattaa suhtautua. Rakennesuunnitelmien, erityisesti toteutussuunnitelmien, dokumentointi ja arkistointi on menneisyydessä vaihdellut paljon. Huolimatta suunnitelmien laadusta, rakennesuunnittelijan on hyvä tarkistaa vanhojen suunnitelmien paikkansa pitävyys tarkemittausten tai kuntotutkimusten avulla ainakin korjaushankkeen kannalta tärkeimpien rakennusosien kohdilta.

3.2 Mittaustekniikat

Seuraavissa luvuissa esitellään rakenneinventointimallin kannalta oleellisten mittaustekniikoiden toimintaperiaatteita ja kuinka tietyllä menetelmällä saadaan vaaditut rakennuksen mittatiedot selville. Yksittäisen mittaustekniikan kohdalla pohditaan laitteiden hyödynnettävyyttä olemassa olevan rakennuksen mittaukseen.

Mittauksia suoritettaessa on muistettava, että inventointimallia luodessa rakennus on yleensä vielä käytössä ja täynnä kalusteita tai esillä olevaa talotekniikkaa. Rakennemallin kannalta oleellinen tieto, kuten seinät, ylä- ja alapohjat, jäävät näiden esteiden taakse ja tekevät mittaamisen haastavaksi. Mittaajan on suunniteltava tarkkaan, milloin mittaus suoritetaan ja miten edessä olevat esteet saadaan vältettyä.

3.2.1 Laseretäisyysmittaus

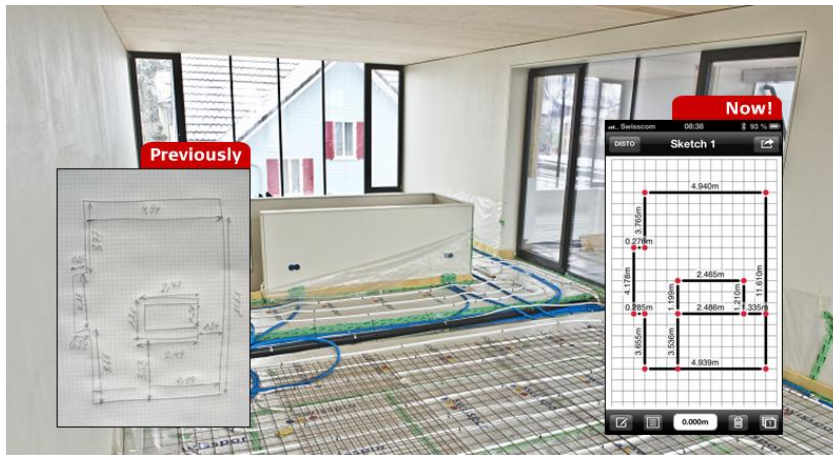
Laseretäisyysmittari on pieni ja tehokas laite etäisyyksien, pinta-alojen, tilavuuksien, kaltevuuksien ja suuntien mittaamiseen. Se mittaa tarkasti ja mahdollisten esteiden ohi. Mittarin toiminta perustuu lasersäteen kulkeman matkan ajanjaksoon taittamiseen mitattavaan kohteeseen ja sieltä takaisin. Mittarin ulottuma ja tarkkuus riippuu merkittävästi valaistusolosuhteista ja tähyskohteen heijastusominaisuuksista. Joillakin laseretäisyysmittareilla on mahdollisuus mitata jopa 200 metrin päähän. Erinäistä mittatarkkuutta ei ole lasermittauksille määritelty, mutta virhemarginaalit ovat muutaman millimetrin luokkaa. [18, s.12; 3, s.9.]

Laseretäisyysmittari on eräänlainen elektroninen mittanauha. Pienillä etäisyyksillä mekaaninen mittanauha pitää edelleen pintansa laseretäisyysmittariin verrattuna sen helppokäyttöisyytensä vuoksi. Laseretäisyysmittarilla mittaukset voidaan suorittaa turvallisesti dokumentoitavassa kohteessa, kun mekaanisen mittanauhan kanssa tehtävää samanlaista kurottelua ei tarvita mittojen saamiseksi. Mittaukset voi hoitaa yksi mittaaja. Laseretäisyysmittaukset säästävät aikaa, sillä halutun mittausarvon saa muutamassa sekunnissa. Mittarin nopeus korostuu varsinkin sellaisia mittauksia tehdessä, missä tarvitaan matemaattisia laskuja halutun mittaus tuloksen saavuttamiseksi, kuten esimerkiksi pinta-alat, tilavuudet tai korkeudet.

Monissa mittarimalleissa ja -tyypeissä mittaus tulokset saa tallennettua mittariin, josta ne saadaan ulos Bluetooth® -teknologian tai USB-tiedonsiirtokaapelin avulla. Mittaus tiedot pystytään siirtämään mittauslaitteen tiedonsiirto-ohjelmalla suoraan AutoCAD-ohjelmistoon, jolla saaduista tuloksista luodaan dwg-tiedostoon yhtenäinen tasokuva. Tämä tiedosto voidaan ladata mallinnusohjelmaan pohjaksi itse mallintamisen avuksi. Menetelmällä voidaan säästää huomattavasti aikaa esim. paperille tehtyjen muistiinpanoihin verrattuna .

Markkinoilla on sovelluksia ja tietokoneohjelmistoja älypuhelimiin ja tablet-tietokoneisiin, joita pystytään hyödyntämään laseretäisyysmittarin kanssa mittauksia tehtäessä. Mittari ja ohjelmisto ovat yhteydessä toisiinsa mittarin siirtäessä mitattua tietoa langattomasti mobiililaitteeseen Bluetoothin avulla. Sovellusten avulla mittatieto voidaan viedä pohjapiirustukseen tai mobiililaitteella otettuun valokuvaan tai mallintaa kohde alustavasti paikalla mallinnusohjelmistolla tablet-tietokoneella. Sovelluksilla voidaan myös piirtää paikan päällä kohteen pohjapiirustus, johon mittatulokset voidaan

siirtää (kuva 10). Jos käytössä on kohteen vanhat piirustukset PDF-muodossa, voidaan näihin tiedostoihin siirtää mitattua tietoa ja tehdä muita tarvittavia merkintöjä.



Kuva 10. Huoneen mittaamiseen on käytetty lasermittaria ja oikeassa laidassa näkyvää älypuhelinsovellusta. Vasemmalla vanha menetelmä [19].

Vanhojen piirustusten mittojen oikeellisuutta tarkistettaessa laseretäisyysmittarin ja mittaria tukevan mobiilisovelluksen käyttäminen saattaa olla varsin hyvä keino. Laseretäisyysmittareilla ei kuitenkaan saada luotua avaruudessa leijuvaa pistepilviedostoa, jossa kaikki mitatut pisteet ovat samassa xyz-koordinaatistossa. Kaikki mitatut etäisyydet, korkeudet ja muut suureet ovat vain mittarin määrittämiä lukuarvoja mittaajan mittaamien pisteiden perusteella. Toisin sanoen mittatiedot eivät määrity samaan koordinaatistoon laitteessa. Mittatietojen yhteensovittaminen on mallintajan tehtävä. Jos käytössä on mittari, joka pystyy lähettämään mittatietoja älypuhelimelle tai tablet-tietokoneeseen ja joka osaa yhdistää mittaajan mitaamat mitat automaattisesti ohjelmistossa, mittatietojen yhteensovittamisen ongelmat katoavat. Tämän jälkeen mittaajan vastuulle jää vain mittaustarkkuudesta huolehtiminen. [20.]

Kustannuksiltaan laseretäisyysmittarit maksavat noin 100 eurosta 700 euroon laitteen hinnan kasvaessa suoraan verrannollisena sen käyttöominaisuuksiin ja mittatarkkuuteen. Laite maksaa itsensä nopeasti takaisin. Mittareiden helppokäyttöisyyden vuoksi mittauksen suorittajalla ei tarvitse olla mittamiehen koulutusta, vaan nykyteknologian avustuksella mittatiedot saa helposti dokumentoitua. Tästä syystä kohteen dokumentoinnin suorittamiseksi yrityksen ulkopuolista mittauspalvelua ei tarvitse palkata ja näin säästää, rakennesuunnittelijan tai tilaajan, rahoja. Samalla kokonaisuus kohteen luonteesta, laajuudesta ja geometriasta säilyy

yhden osapuolen halussa eikä tietoa tarvitse siirtää yhdeltä toiselle. Näillä keinoilla aikaa säästyy ja informaatiokatkoksia ei synny. [21.]

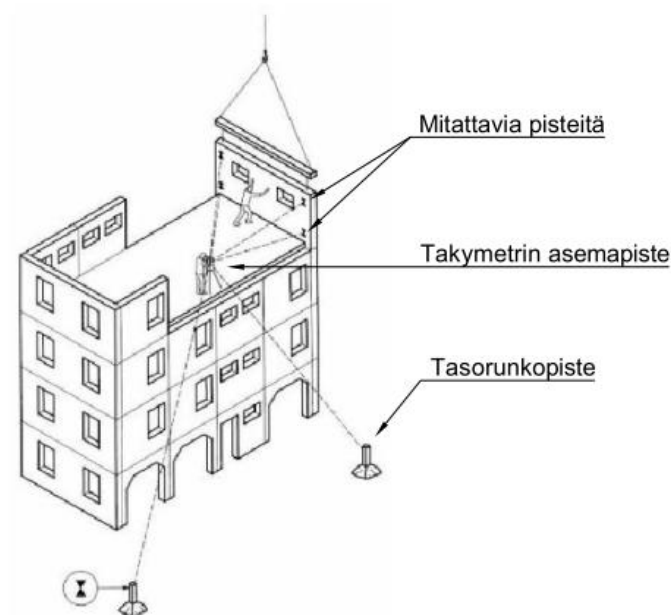
3.2.2 Takymetrimittaus

Takymetri on yksi tärkeimmistä nykyaikaisista mittauslaitteista. Sen tietoteknisiä ominaisuuksia hyväksikäyttäen sillä voidaan suorittaa erittäin monipuolisia mittauksia. Ensisijaisesti se on kulman- ja etäisyydenmittauslaite, jolla voidaan mitata vaaka- ja pystykulmia sekä etäisyyksiä. Saaduista havainnoista voidaan laskea rakennuksen koordinaatteja, rakenteiden korkeuksia ja etäisyyksiä sekä muita suureita. Mittaustulokset tallentuvat sähköisesti kojeen muistiin, erilliselle tiedonkeruulaitteelle tai tietokoneelle. Alunperin takymetri on ollut manuaalisesti käytettävä mittauskoje, mutta tekniikan kehittyessä markkinoille on syntynyt pitkälle automatisoituneita mittausrobotteja. Nykyaikaisilla takymetreillä useimmat työt voidaan suorittaa yhden mittajaan voimin, kun aikaisemmin automatisoitumisen yleistyttyä työn suorittamiseen tarvittiin kaksi mittajaa. Ennen takymetrejä kulmien mittaukseen käytettiin teodoliittejä, joilla voidaan mitata pysty- ja vaakakulmia mutta ei etäisyyksiä. Tästä syystä niitä käytetään vähän rakennusten mittaustekniikkana, sillä takymetri on mittauskojeena monipuolisempi yleisissä mittaustehtävissä. [22, s. 237-238.]

Itse takymetrikokeen lisäksi mittaukseen tarvitaan alustoiksi puisia tai alumiinisia kolmijalkoja kojeelle ja tähyksille, prismoja ja tähyksiä etäisyyksien ja kulmien mittaukseen ja kartoitussauvoja. Yleisimmät rakennusmittauksissa käytettävät tähykset ovat miniprismalla varustettu kartoitussauva, tähystarrat ja rakennukseen kiinnitettävät erikoistähykset. [22, s. 242-243.]

Mittauskoje on määritettävä mittauspaikan koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään, eli toisin sanoen orientoitava, ennen takymetrillä suoritettavia sijaintimittauksia. Takymetrin orientointi voidaan suorittaa kahdella tavalla: tunnetulle tai vapaalle asemapisteelle. Jos vanhoista rakennesuunnitelmista ilmenee rakennuksen xy-koordinaatisto ja käytetty korkeusjärjestelmä, voidaan takymetri orientoida vähintään kahden tunnetun tasorunkopisteen perusteella (kuva 11). Orientointi aloitetaan asettamalla takymetri ensimmäiselle tunnetulle pisteelle, jota nimitetään asemapisteeksi. Tämän jälkeen viedään tähykselle liitospisteelle, joka on toinen tunnettu piste koordinaatistosta. Takymetrin kaukoputkella tähdätään liitospisteellä olevaan tähykseen. Tähtäyksen vaakakehälukemaksi asetetaan tunnettujen pisteiden

koordinaateista laskettu suuntakulma eli asemapisteen liitospisteen välinen kulma. Vaakakehä on asteikko takymetrin runko-osassa, jonka avulla tiedetään kojeen tähtäyssuunta ja vaakakulma. Takymetri suorittaa itse orientoinnin tunnettujen pisteiden ja niiden välisen suuntakulman avulla mittarista löytyvällä mittausohjelmalla. Korkeustason määrittelyyn riittää, että tunnetaan asemapisteen korkeus ja takymetrin korkeus.



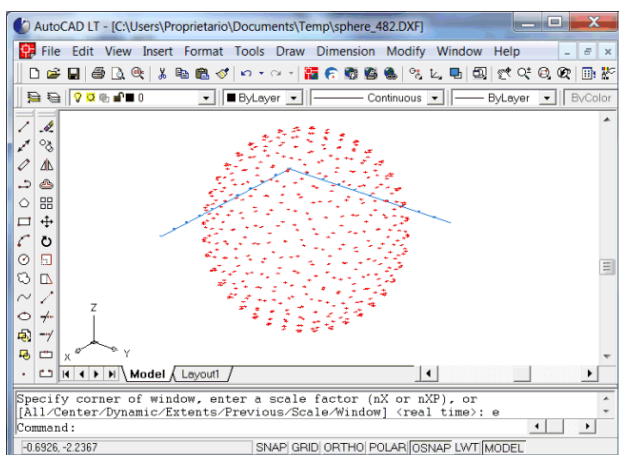
Kuva 11. Mittauksia takymetrillä kahden tunnetun tasorunkopisteen avulla [23, s. 6].

Takymetri voidaan orientoida vapaan eli toisin sanoen tuntemattoman asemapisteen avulla. Näin asemapisteen paikka voidaan valita mittauksen kannalta tarkoituksenmukaiseksi. Vaikka asemapisteen ei tarvitse olla tunnettu, tarvitaan sen koordinaattien ja korkeuden määrittämiseksi vähintään kahden liitospisteen etäisyydet tai kolmen tähtäyssuunnat. Mitä enemmän liitospisteitä on käytettävissä, sitä luotettavammaksi mittauksen tulokset saadaan. Liitospisteiden tähtäyksen jälkeen voidaan vasta suorittaa haluttujen pisteiden mittaus. [22, s. 257-260.]

Useimpien takymetrien vakio toimintoja ovat piiloviivan ja luoksepääsemättömän kohteen mittaus. Piiloviivalla tarkoitetaan kahden pisteen välisen etäisyyden ja korkeuden mittaamista, vaikka pisteiden välillä ei ole näköyhteyttä. Luoksepääsemättömän kohteen korkeuden ja tasosijainnin mittaus voidaan toteuttaa asettamalla tähys mitattavaan kohteeseen nähden pystysuoraan alapuolelle. [22, s. 262.]

Takymetrimittaus voi osoittautua hankalaksi tiloissa, joissa halutut pisteet ovat jonkin esteen takana, näitä saattavat olla mm. välikatot tai talotekniikka. Rakennukset ja tilat, jotka ovat geometrialtaan yksikertaisia, soveltuvat mitattavaksi takymetrillä. Tämänkaltaisissa kohteissa mitattavia pisteitä on rajallinen määrä, jolloin mittaus ei muodostu liian työlääksi. Joissain rakennushistoriallisesti merkittävissä tai arkkitehtonisesti monimuotoisissa rakennuksissa ei päästä takymetrin avulla tarpeeksi tarkkoihin tuloksiin tai niihin pääseminen vaatisi kohtuuttomia suorituksia mittaajalta. Esimerkiksi kaarevat seinät tai holvit voivat olla tällaisia rakenteita, joissa ei ole selkeitä nurkkapisteitä. Takymetrin mittaustarkkuutena voidaan pitää ± 5 mm tai pienempää määritelyjen mittapisteiden suhteen. [3, s.10.]

Jotta mittaustuloksia olisi helpompi lukea, käsitellä ja hyödyntää, useimmissa takymetreissä on ominaisuus luoda mitatuista pisteistä mittatiedosto. Tämä on hyödyllinen ja nopea toiminto mallintajan näkökulmasta, sillä jokaista pistettä ei tarvitse lukea ja syöttää manuaalisesti ohjelmaan erikseen. Mittatiedosto voidaan tuoda suoraan mallinnusohjelmaan pohjaksi varsinaisen mallintamisen avuksi. Laitteen tuotemerkistä ja mallista riippuen takymetri voi muuttaa pisteet suoraan 3D CAD-tiedostoksi tai maanmittaustiedoksi (XYZ-tiedosto), joka voidaan muuttaa soveltuvalla ohjelmistolla DWG-tiedostoksi tai joksikin muuksi tiedostotyyppiä, mitä käytettävä mallinnusohjelma tukee. Kuvassa 12 on esitetty esimerkki maanmittaustiedostosta. Muun muassa Allplan-mallinnusohjelmisto osaa lukea vain 2D ja 3D CAD-tiedostotyyppiä.



Kuva 12. Takymetrillä mitatut pisteet yhdessä XYZ-tiedostossa. Mittaustieto AutoCAD-ohjelmaan tuotuna [24].

Takymetrimittauksia suoritetaan rakennusteknillistä suunnittelua varten ja rakennussuunnitelmien toteutuksen yhteydessä. Uudiskohteissa takymetrillä suoritetaan merkintämittauksia, joiden avulla asemapiirroksessa esitetyn rakennuksen ja sen rakenteiden suunnitellut sijainnit merkitään rakennuspaikalle ennen rakentamisen alkua. Rakentaminen tapahtuu tehtyjen merkintöjen suhteen. Takymetrimittaukset ovat yleisiä tänä päivänä rakennuksen paikan määrittämisessä, sillä mittaus ja mittojen merkkäminen on nopeaa. Korjauskohteille samanlaisia mittauksia ei tehdä, mutta menetelmää voidaan käyttää rakennuksen nurkkapisteiden sijainnin määrittämiseen. [22, s. 266-267.]

3.2.3 Fotogrammetria

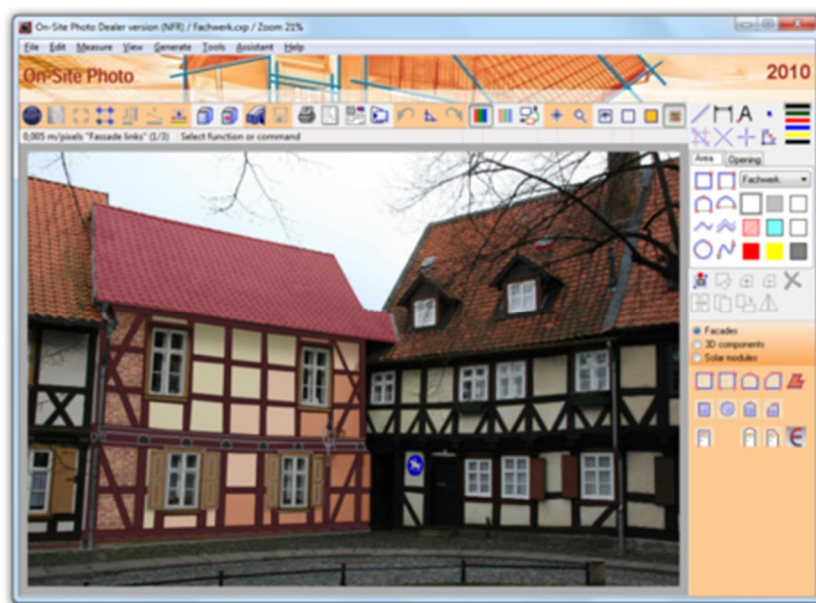
Fotogrammetria tulee kreikankielen sanoista fotos = valo, gramma = piirros, viiva ja metrein = mitata. Fotogrammetrialla avulla tutkitaan kohteiden kolmiulotteista mittaamista valokuvien avulla. Menetelmä on yleisessä käytössä mm. maastokarttojen tuotannossa ja rakennusteknisen suunnittelun tarvitsemia maastomalleja mitattaessa. [25, s. 13; 22, s.2.]

Mittaaminen pohjautuu kohteesta otettuihin valokuviin. Kohteesta otetaan valokuvia, jotka syötetään fotogrammetriaohjelmaan. Jos fotogrammetriaohjelmassa ei ole linssivääristymän korjaukseen soveltuvaa työkalua, on se tehtävä erillisellä ohjelmistolla. Linssivääristymällä tarkoitetaan kameralla otetun kuvan suorien viivojen kaarevuutta johtuen linssin pyöreästä muodosta, joskus kuuluu puhuttavan myös tynnyrivääristymästä, ikään kuin kuvattava kohde olisi tynnyrin poikkileikkauksen muotoinen. Mitä lähempää kohdetta kuva on otettu, sitä suurempia kuvassa olevat viivat ovat. Itse mittaaminen tapahtuu soveltuvalla fotogrammetriaohjelmalla.

Miten mittaus sitten tapahtuu? Ohjelman valmistajasta riippuen valokuvasta määritetään kohteen nurkkapisteet, joiden avulla ohjelmalle kerrotaan halutut mitat. Fotogrammetriaohjelmat eivät osaa päätellä valokuvista niiden mittasuhteita. Tämän takia valokuvassa esiintyvässä kohteesta on tunnettava kaksi mittaa, toinen vaakaan ja toinen pystyyn. Nämä tunnetut mitat voidaan ottaa esimerkiksi laseretäisyysmittarilla tai perinteisellä mittanauhalla. Näiden tunnettujen mittojen avulla ohjelma pystyy suorittamaan annettujen nurkkapisteiden avulla kaikki mitat valokuvasta. Ohjelma skaalaa valokuvan x- ja z-koordinaatit näiden kahden mitan avulla. Tässä piilee myös ohjelman mittatarkkuus. Mitoista tulee sitä tarkemmat, mitä tarkemmin ohjelman

käyttäjää määrittää rakennuksen nurkkapisteet valokuvasta fotogrammetriaohjelmalla. Asiaan vaikuttaa myös valokuvan tarkkuus. Jos kuvan tarkkuus on huono, saadaan niistä epätarkempi tulos verrattuna kuvaan, jonka tarkkuus olisi parempi. Valokuvattaessa kohdetta läheltä tarkkuus paranee ja tynnyrivääritykset poistuvat, mutta kohde ei välttämättä mahdu kokonaisuena yhteen valokuvaan. Kirkkaus ja varjot vaikuttavat kuvan laatuun, joten paras tulos saavutetaan pilvisenä päivänä. Kuvakohteen edessä ei pitäisi olla esteitä, kuten puita tai huonekaluja, jos tietomallista halutaan tarkka. [26, s. 4-6; 27.

Valokuvista saatujen mittojen lisäksi tuloksena voidaan mallintaa kuvattava kohde tai piirtää 2D:nä CAD-tiedosto ja viedä tieto tietomallinnusohjelmaan (kuva 13). Tämä ominaisuus nopeuttaa mallintamista, kun mallia ei tarvitse tehdä pelkästään valokuvasta mitattujen mittojen perusteella. Kun malli tai viivapiirustus on valokuvan perusteella saatu fotogrammetriaohjelmalla valmiiksi, voidaan se tuoda itse mallinnusohjelmaan.



Kuva 13. Vasemalla olevan rakennuksen julkisivu on piirretty 2D:nä valokuvan päälle [28].

Fotogrammetrian on nopea menetelmä. Kun valokuva / -kuvat ja yksi pysty- ja vaakamitta on otettu, voidaan kohteen mallintaminen aloittaa.

Ohjelmistokehittäjät markkinoivat tuotteitaan käytettäviksi julkisivujen ja vesikattojen mallintamiseen eli rakennuksen ulommaisimman kuoren mallintamiseen. Tähän löytyy

selvä selitys. Ulkopuolelta kuvattaessa rakennuksen edessä ei ole välttämättä näköesteitä ja kaikki haluttu tieto saadaan sisällytettyä valokuvaan. Jos rakennuksen edessä on esimerkiksi puita, tarvittavat kuvat voidaan ottaa sellaisesta kuvakulmasta, että puut jäävät kuvan ulkopuolelle. Kuvakulmaa ei voi vaihtaa samalla tavalla kuin ulkopuolisessa kuvaamisessa, sillä sisätila, jossa inventointia tehdään, on rajattu tiettyyn pisteeseen asti. Sisäkalusteiden siirtäminen kuvattavan kohteen edestä voi olla erittäin työlästä, mahdotonta ja ennen kaikkea aikaavievää. Menetelmää on toki mahdollista käyttää rakennuksen sisälläkin, jos fyysisiä esteitä ei ole. Tosin on muistettava, että fotogrammetriaohjelmalla saatu tieto on vain pintoihin liittyvää tietoa. Kantavat rakenteet voivat sijaita näkyvien pintojen takana, jolloin niiden paikkojen ja dimensioiden selvittäminen on tehtävä jollain muulla keinolla.

Fotogrammetrian käyttö soveltuu esimerkiksi julkisivujen mallintamiseen sekä julkisivujen 2D-piirustuksissa esimerkiksi rakennuslupaa tai kuntotutkimusta varten, jos ajantasaisia sähköisiä piirustuksia ole saatavilla. Fotogrammetria on selvästi nopeampi menetelmä kuin perinteinen tapa, jossa julkisivupiirustukset laaditaan vanhojen piirustusten ja tarkemittausten perusteella. Fotogrammetrialla työvaiheita on paljon vähemmän, joten käytetty aikakin on paljon lyhyempi. Fotogrammetriaohjelmilla julkisivuihin voidaan tehdä merkintöjä kuntotutkimuksista saatujen tietojen perusteella ja tämän avulla määrittämään kuinka suuri osa julkisivusta on vaurioitunut. Fotogrammetrialle ei ole virallista tarkkuutta, mutta sitä on tutkittu insinööriyön case-kohteessa luvussa 4.

Jos fotogrammetriaohjelmalla ei voi mallintaa suoraan 3D:nä vaan tehdä pelkkiä 2D CAD-piirustuksia, sitä voidaan käyttää vain apuna inventointimallin luomiseen. Mallinnus sujuu jouhevasti 2D-viivojenkin avulla, kun valokuvan pohjalta piirretyt apuviivat ovat mallinnustiedoston pohjalla referenssikuvana. Esimerkiksi ulkoseinien aukkojen paikat ja mitat saa kätevästi fotogrammetriaohjelman avulla vietyä tietomalliin. Fotogrammetriaa ei voida yksinään käyttää inventointimallin luomiseen, mutta se toimii hyvänä apuvälineenä tietomallin luomisessa ja mittatietojen saamisessa muiden lähtötietoselvityskeinojen ohella. [15.]

3.2.4 Lämpökuvaus

Lämpökuvaus on rakennusten ainetta rikkomaton laatu- ja kuntoarviointimenetelmä. Perinteisesti lämpökuvausta on käytetty korjausrakentamisalalla yhtenä

kuntotutkimusmuotona. Lämpökuvaus suoritetaan lämpökameralla. Lämpökamera toimii lämpösäteilyn vastaanottimena, joka mittaa kuvauskohteesta luonnostaan lähtevää lämpösäteilyä. Lämpösäteilyn voimakkuus muutetaan kameraseläntä ilmaisimessa lämpötilatiedoksi, jossa lämpökuva muodostuu kameraseläntä näytölle reaaliajassa. Lämpökuvassa esitetään kuvattavan kohteen pintalämpötilat väreillä kameraseläntä väriasteikon mukaan. Kameralla voidaan määrittää esimerkiksi kuvattavan pinnan maksimi- sekä minimilämpötila että paikallinen lämpötila halutussa pisteessä. Parhaimmillaan lämpötilan erotuskyky voi olla jopa 0,02 C°. Vaikka lämpökuvaus toimii ensisijaisesti kuntotutkimusmenetelmänä, voidaan sillä myös havaita piilossa olevia rakenteita sisäpintojen takaa. [29.]

Nyrkkisääntönä on, että rakennuksen vaipan yli oleva lämpötilaero olisi 15 C° ulkolämpötilan ollessa alimmillaan -5 C° ± 1 C° ja sisälämpötilan korkeimmillaan + 20 C° ± 2 C°. Jos vakio-olosuhteet eivät päde, voidaan pintalämpötiloja arvioida ja vertailla toisiinsa lämpötilaindeksillä. Lämpötilaindeksi ilmoitetaan prosentteina yhden prosentin tarkkuudella. Lämpötilaindeksi määritetään seuraavalla kaavalla:

$$TI = \frac{T_{sp}-T_o}{T_i-T_o} * 100 [\%] \quad (1)$$

T_{sp} on lämpökameralla mitattu sisäpinnan lämpötila [C°]

T_o on ulkoilman lämpötila [C°]

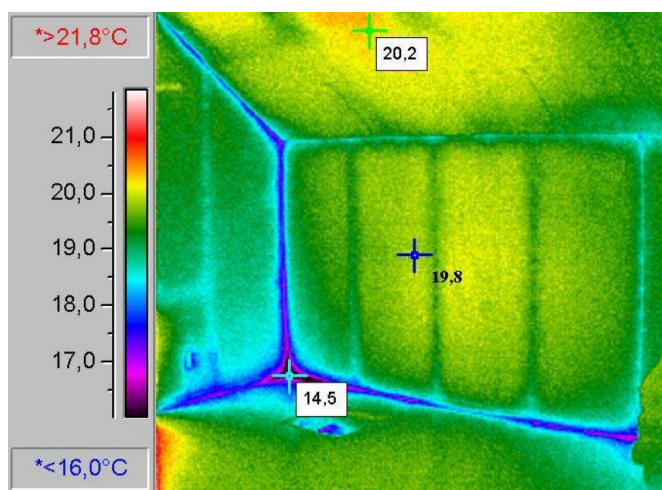
T_i on sisäilman lämpötila [C°].

Kuvattavalta kohteelta edellytetään muun muassa seuraavia olosuhteita rakenteiden erottumisen kannalta:

- Ulkolämpötila ei saa poiketa enempään kuin ± 10 C° vähintään 12 tuntia ennen lämpökuvauksen aloittamista
- Kuvaksen ja sen aikana ilman lämpötilaero ulkovaipan yli ei saa ylittää lukuarvoa $\frac{U}{3}$, missä U on rakennusosan teoreettinen lämmönläpäisykerroin $[\frac{W}{m^2K}]$, 12 tuntia ennen kuvauksen aloittamista.
- Lämpökuvattava osa ei saa olla vähintään 12 tuntia ennen kuvausta tai sen aikana auringonvalon vaikutuksen alaisena.
- Ulkoilman lämpötila ei saa poiketa enempää kuin ± 5 C° kuvaksen aikana eikä sisälämpötila enempää kuin ± 2 C° kuvaksen aloittamisajankohdasta.

Jos kuvattava kohde on niin sanottu raskas, massiivinen rakenne, esimerkiksi umpitiilirakenne, täytyy lämpötilojen tasaantumisaika olla edellä mainitun 12 tunnin sijasta vähintään 24 tuntia. Ennen lämpökuvausta irtokalusteet tulisi siirtää pois ulkoseiniltä noin yhden metrin päähän ja tilojen ilmastoinnin ja lämmityksen tulisi olla normaalin käyttötilanteen mukaisia vähintään 24 tuntia [30, s.1-3].

Jos lämpökameralla halutaan saada tietoa pinnan takana sijaitsevista rakenteista, pitää rakenteen ja sen edessä olevan pinnan välillä vallita lämpötilaero. Lämpötilaeron voi aiheuttaa esimerkiksi lämmöneristeiden puuttuminen puurunkoisen seinän runkotolppien väleistä, kuten kuvassa 14. Tolpat erottuvat kylmempinä kappaleina lämpökamerakuvassa kuin niiden päällä oleva levytys. Tekniikka ei toimii eivätkä rakenteet erotu siis silloin, kun pinta ja piilossa oleva rakenne ovat saman lämpöisiä.



Kuva 14. Lämpökamerakuvasta voi paikantaa seinän kantavat pystyrakenteet [31, s. 25].

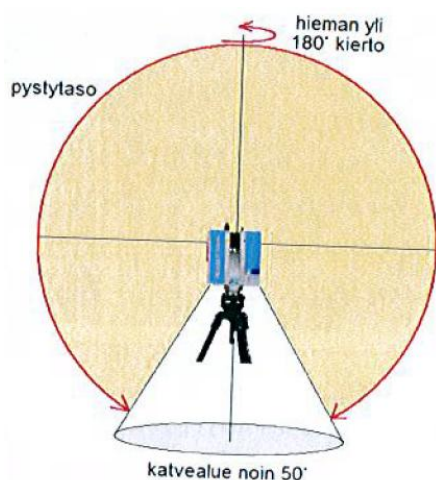
Lämpökamerakuvaus toimii täydentävänä mittaustekniikkana inventointimallin mittatietojen selvittämiseksi. Lämpökameralla otettujen kuvien perusteella voidaan vahvistaa tai tarkistaa muiden lähtötietojen, kuten vanhojen piirustusten, paikkansapitävyyttä. Fotogrammetrian avulla voidaan selvittää rakenteiden jakovälit ja niiden karkeita dimensioita. Lämpökuvat eivät ole resoluutioltaan kuitenkaan kovin tarkkoja. Toisaalta, lämpökuvauksella on mahdollista nähdä pintojen takana olevia rakenteita ainetta rikkomatta. Muilla mittaustekniikoilla on mahdollisuus saada mittatietoa vain silmin havaiten.

Lämpökuvauksella voidaan täydentää ja tarkentaa muita mittausmenetelmiä olemassa olevaa rakennusta mallinnettaessa. Lämpökuvauksen avulla voidaan paikantaa seinien, kattojen tai lattioiden rakenneosia, onkaloita, hormeja ja muita vastaavia poikkeamia, jotka saavat aikaan pintalämpötilan muutoksen.

3.2.5 Laserkeilaus

Laserkeilaus on alkujaan ollut kaukokartoitusmenetelmä. Nykyisin sitä käytetään myös maanpinnalla tehtävissä mittauksissa ja se onkin vakiinnuttanut paikkansa inventointimallien mittatietojen hankinnassa lähes ainoana menetelmänä. Laserkeilain on samantapainen mittauskoje kuin takymetri, mutta se toimii automaattisesti ja mittaa etäisyyksiä ja suuntia nopeasti. Yleisten tietomallinnusvaatimusten mukaan laserkeilaus onkin ainoa tapa selvittää rakennuksen mittojen tiedot luotettavasti.

Laserkeilain mittaa etäisyyden joko laserin valon kulkeman ajan tai vaihe-eromittauksen perusteella. Vaihe-eromittauksessa mitattava etäisyys määritetään matkaan sisältyvien kokonaisten mittausaallon aallonpituudet. Laserkeilain on mittauksissa erittäin nopea, se pystyy mittaamaan jopa useita satoja tuhansia mittauksia sekunnissa. Keilaimen keilaustapa voi vaihdella, mutta suurin osa käytettävistä laitteista mittaa kupolimaisesti. Mittaus kohdistuu koko tilaan pois lukien pieni alue mittauskojeen alapuolella. Kuvassa 15 on esitetty keilaimen toimintaperiaate.



Kuva 15. Kupolimaisesti mittaavan laserkeilaimen toimintaperiaate. [22, s.271]

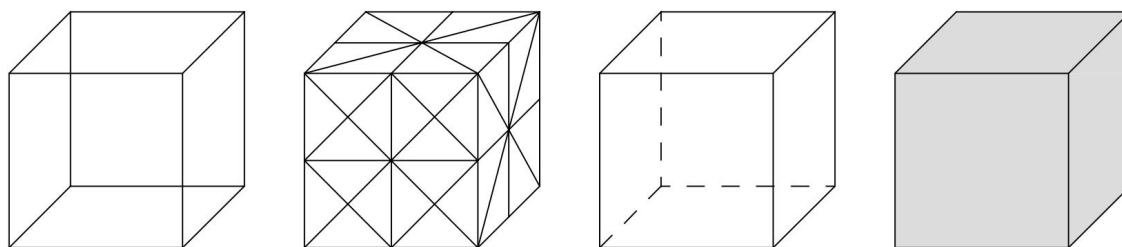
Laserkeilain asetetaan keilattavaan eli mitattavaan tilaan, josta se keilaa suuren määrän pisteitä näkemiltään pinnoilta. Näistä pisteistä laserkeilain muodostaa kolmiulotteisen pistepilvitiedoston kojeeseen, missä kaikki sen mitatut pisteet ovat samassa koordinaatistossa. Jotta mitatuille pisteille saadaan määritettyä lukuarvot, pitää pistepilven orientoinnissa olla vähintään kolme taso- ja korkeussijainniltaan tunnettua liitospistettä. Pisteisiin asetetaan tähys, josta laserkeilain saa pisteen luettua. Jos rakennuksessa on useampia tiloja keilattavana, täytyy laserkeilainta siirtää mitattavasta tilasta toiseen. Tunnettujen liitospisteiden avulla erilliset pistepilvitiedostot pystytään yhdistämään toisiinsa pistepilvidataa käsittelevällä ohjelmalla. Pisteiden tiheys pilvessä on suoraan verrannollinen mittausetäisyyteen. Jos keilaimen asetukset pidetään samana, lähellä olevasta kohteesta saa tiheämmän pistepilven kuin kaukana olevasta.

Itse mittatiedon hankinta tapahtuu laserkeilaimen antaman datan perusteella toimistossa tietokoneella pistepilven käsittelyohjelmalla. Mittarin mittaamia pistepilviä harvennetaan poistamalla tarpeettomat ja väärät mittauspisteet pois ja yhdistetään samaan koordinaatistoon. Kun alustavat työt on tehty, pistepilven avulla kohde voidaan mitata ja sen pohjalle tehdä erilaisia rautalanka- tai pintamalleja, jotka voidaan tuoda mallinnusohjelmaan. [22; s. 251, 271-273.]

Laserkeilauksen tarkkuus riippuu pisteiden määrästä, mitä enemmän pisteitä mitataan, sitä tarkempi on pistepilvi malli. Toisaalta suuri tarkkuus kasvattaa pistepilveä ja tallennettavaa tiedon määrää, mikä puolestaan hidastaa tiedon tallentamista, siirto- ja jatkokäsittelyä. Mittauksen tarkkuuden määrittely onkin luonteeltaan optimointitehtävä. [15; 32, s. 31-32; 33.]

Laserkeilain tuottaa pistepilvimallin, josta luodaan edelleen jokin seuraavista geometrisistä malleista (kuva 16):

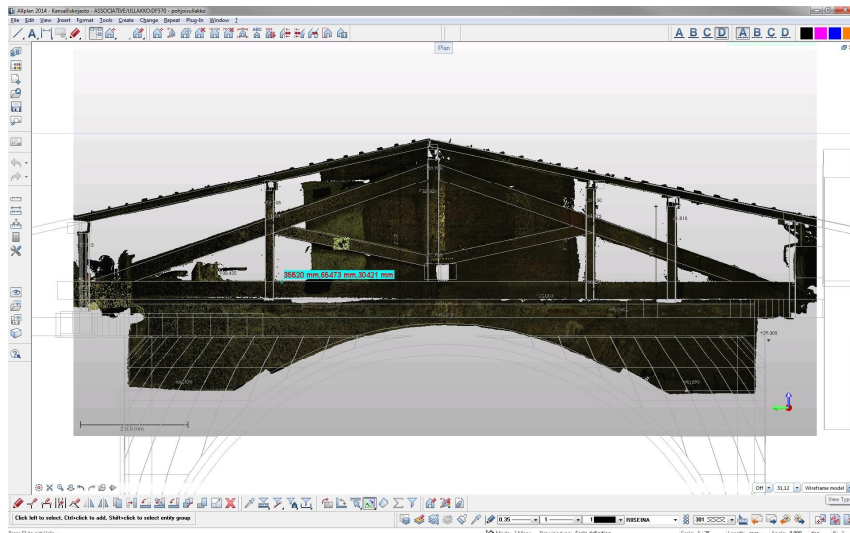
- viivamalliin
- pintamalliin
- kolmiverkkomalliin
- tilavuusmalliin.



Kuva 16. Pistepilven mallintamistavat: viiva-, kolmioverkko-, pinta- ja tilavuusmalli.

Viiva- eli rautalankamalli koostuu yhden akselin suuntaan venytetyistä pisteistä. Mallin luominen tapahtuu nopeasti rakennuksen nurkkapisteiden avulla, mutta kovin informatiivinen tai havainnollinen se ei ole. Pintamalli koostuu toisen akselin suuntaan venytetyistä viivoista, jotka muodostavat tasopintoja. Pintamalli on paljon havainnollisempi kuin rautalankamalli. Pintamallin muodostaminen vaatii ensin pistepilviaineistosta tehdyn kolmioverkkomallin. Kolmioverkkomallissa mahdollisimman lähellä toisiaan olevien pisteiden välille muodostetaan kolmioita, jotka antavat mallinnettavalle pinnalle sen muodot. Pintamalli luodaan sen jälkeen näiden kolmioiden avulla. Tilavuusmalli on jo hyvin lähellä visuaalisesti itse tietomallia, on kuitenkin muistettava, että 3D-malli ei ole vielä varsinainen tietomalli. Kappaleet ovat kolmannen akselin suhteen venytettyjä tasopintoja, joihin voidaan liittää tietoa esimerkiksi niiden tilavuuksista. Malli rakentuu kolmiulotteisista kappaleista, kuten suorakulmainen särmiö tai lieriö. Kappaleita voidaan yhdistää toisiinsa, tehdä niihin aukkoja tai muokata muotoja haluamallaan tavalla. Tietomallista poiketen tilavuusmallissa kappaleilla ei ole materiaaliominaisuuksia. [34, s. 31-34.]

Jos pistepilvi on riittävän havainnollinen ja ylimääräiset pisteet on poistettu, voidaan tietomalli luoda käyttämällä sitä hyväkseen ilman erillisiä pinta- tai tilavuusmalleja. Joihinkin tietomallinnusohjelmista pistepilvitiedostot voidaan tuoda sellaisenaan, mutta osaan pistepilvitiedosto on muokattava tiedostotyyppiksi, jonka tietomallinnusohjelma ymmärtää. Esimerkiksi Allplan-ohjelmisto ei tue pistepilvitiedostoja, kun taas DWG- ja kuvatiedostoja se pystyy lukemaan. Pistepilvestä voidaan tehdä kaksiulotteisia leikkauksia ja pohjakuvia DWG- tai kuvatiedostomuodossa, jotka voidaan tuoda pohjiksi tietomallintamista varten (kuva 17). Pistepilvien tutkimista varten on myös tehty katseluohjelmia, joilla pilveä voidaan pyörittää ja mitata pisteiden välisiä etäisyyksiä. [35.]



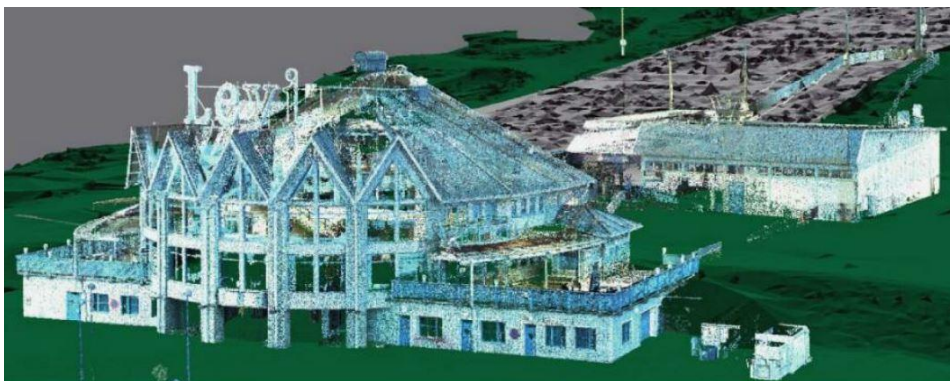
Kuva 17. Allplan-ohjelmaan tuotu kuvatiedosto erään rakennuksen ullakkon pistepilvestä [36].

Vaikka laserkeilaus on itsessään nopeaa toimintaa, on mallinnusprosessiin kuluva aika laserkeilauksen aloittamisesta lopulliseen tietomalliin pitkä. Ensiksi kohde on keilattava, jonka tuloksena syntyy useita pistepilviä laserkeilaimeen. Pistepilvet on siirrettävä tietokoneelle, jossa ne jatkokäsitellään poistamalla pois turhat pisteet ja yhdistämällä pilvet yhteen tiedostoon, jos laserkeilain ei ole jo sitä tehnyt automaattisesti. Pisteet on siirrettävä haluttuun koordinaattijärjestelmään ennen viiva-, pinta- tai tilavuusmallin laatimista. Vasta näiden vaiheiden jälkeen voidaan aloittaa tietomallintaminen mallinnusohjelmalla ellei mallia tehdä suoraan pistepilven pohjalta. Prosessi kestää kauan, vaikka osa toimenpiteistä olisikin automatisoitu tietokoneen avulla. [32, s. 32.]

Yleisten tietomallinnusvaatimusten osassa 2 ”Lähtötilanteen mallinnus” on esitetty mittaustarkkuudet laserkeilaukselle. Inventoidessa olemassa olevaa rakennusta laserkeilauksen avulla, virhe saisi olla mittauksessa enintään yksittäisessä pisteessä ± 10 mm ja mittauspisteitä tulisi olla alle 5 mm välein. Jos kyseessä on rakennushistoriallisesti merkittävä kohde, jonka inventointi vaatii tarkempaa tasoa, tulee mittapisteiden välin olla pienempi kuin 5 mm, esimerkiksi 1 mm. [6, s. 10-11.]

Laserkeilaus saattaa joskus olla helpoin keino kerätä mittatietoa vanhojen rakenteiden muodoista. Esimerkiksi vanhojen holvien tai kaarien geometrian dokumentointi onnistuu niiden tarkat dimensiot säilyttäen pelkästään laserkeilauksen avulla yhteen koordinaatistoon. Esimerkiksi laseretäisyysmittarilla tai fotogrammetrialla saavutettu mittatieto vastaavista rakenteista vaatisi paljon manuaalisia mittauksia, muistiinpanoja ja lopuksi näiden tietojen yhdistämistä toisiinsa tietomallia tehdessä.

Kuva 18 ilmenee, miten tarkka pistepilvi voi olla. Rakennesuunnittelijalle tarkastakaan pistepilvestä ei ole hyötyä, jos rakenteet eivät ole näkyvillä. Rakennesuunnittelijan on selvitettävä yleensä kantavat rakenteet jollain muulla keinolla kuin tutkimalla pistepilveä tai pistepilvestä tuotettua inventointimallia, sillä kantavia rakenteita ei välttämättä ole dokumentoitu. Vaihtoehtoinen tapa on laserkeilata ja todenmukaistaa kantavat rakenteet tietomalliin vasta sen jälkeen, kun pinnat on mahdollisesti purettu pois edestä. [37.]



Kuva 18. Levin hiihtokeskuksesta luotu lähes valokuvan tarkka pistepilvi [38].

Laserkeilain dokumentoi kaiken, mihin lasersäde osuu. Keilain keilaa valaisimet, alakatot, huonekalut ja muut asiat, jotka eivät ole niin oleellisia itse rakennuksen kannalta. Tämä aiheuttaa sen, että pistepilvitiedostoon syntyy turhia pisteitä ja tiedon määrä kasvaa.

Laserkeilaus on hyvä keino dokumentoida olemassa olevat rakenteet, jos ne ovat esillä. Rakenteiden mitat ja paikat saa nopeasti yhteen koordinaatistoon ilman erillistä mittatietojen yhteensovittamista. Laserkeilaus on työturvallisuuden näkökulmasta oivallinen mittausmenetelmä. Koje kerää mittatietoa vaikeista, jopa vaarallisista paikoista, kuten käytössä olevista teollisuuskiinteistöistä, mistä perinteisillä mittaustavoilla mittatiedon saaminen aiheuttaisi ylimääräisiä toimenpiteitä turvallisuuden suhteen. Toisaalta keilausta ei voida suorittaa, jos laserkeilaimen kolmijalkaa ei saada asetettua tasaiselle pinnalle tai keilain ei yksinkertaisesti mahdu keilattavaan tilaan. Pistepilviin jää tällöin tyhjiä alueita, jotka on dokumentoitava jollain muulla tavalla. Jos mahdollista, tyhjat alueet ja kuolleet kulmat voi keilata jostain toisesta asemapistestä, mutta tämä taas luo uuden pistepilvitiedoston, joka yhdistettävä saman alueen tai tilan toiseen pistepilveen. Tämä aiheuttaa lisää työtä pistepilvien yhdistämis- ja muokkausvaiheessa. [39.]

Vaikka kohde päätettäisiinkin laserkeilata kokonaan, jää sinne silti osia, joita ei voi keilata. Rakennusosat, kuten vesikatot, on kuitenkin mitattava jollain muulla mittaustekniikalla. Keilaus ei välttämättä ole kannattavaa suorittaa vain muutamalle rakenneosalle sen aiheuttaman suuren työmäärään takia.

Itse laserkeilaimet maksavat 70 000 eurosta 120 000 euroon riippuen sen mallista, tyypistä ja lisävarusteista. Lisäksi vaaditaan tietokoneohjelma, jolla pistepilvien kanssa voi työskennellä sekä asiantuntija, joka osaa käyttää keilainta ja käsitellä mitattua tietoa hankkeen tarpeen mukaan. On muistettava, että laserkeilaamalla tuotetun inventointimallin prosessin pitkä kesto vaikuttaa itsessään sen parissa työskentelevien asiantuntijoiden työtuntilaskun suuruuteen. Luvussa 5 on käsitelty tarkemmin erään laserkeilauksen avulla tuotetun tietomallin aiheutuneita kustannuksia. Jo pelkästään keilaimeen investointi karsii pk-suunnittelutoimistoja ulkoistamaan palvelun alan parissa toimivalle mittausyritykselle tai turvautumaan muihin mittaustekniikoihin. Vain suurilla konsulttitoimistoilla on tarvittavat taloudelliset ja henkilöstöresurssit keilauspalveluiden tuottamiseen muun suunnittelun ohella. [33; 38.]

4 Case Sandkullan konesuoja

Insinööriyön aikana IdeaStructura Oy sai toimeksiannon Vantaan kaupungilta kohteesta, jonka piirustuksia ei ole ollut saatavilla tai niitä ei ylipäätään ollut olemassa. Toimeksiantona oli laatia rakennukselle korjaussuunnitelmat ja kuntoarvio uudesta vesikatteesta ja kantavista rakenteista. Kohde osoittautui hyväksi mahdollisuudeksi päästä kokeilemaan erilaisia mittaustekniikoita käytännössä. Rakennus soveltui mainiosti case-kohteeksi sen suhteellisen yksikertaisen geometrian ja rakennejärjestelmän vuoksi. Ennen mittauksia yritykseen hankittiin laseretäisyysmittari Leica DISTO™ D8 (kuva 19) ja fotogrammetriaohjelma On-Site Photo 2010. Lasermittarin ja ohjelman lisäksi kohteen mittatietoja selvitettiin mittanauhalla. Seuraavissa luvuissa kerrotaan kohteesta, siellä tehdyistä mittauksista ja niihin valmistautumisesta sekä kokemuksista mittauksen aikana että jälkeen.



Kuva 19. Leica DISTO™ D8 [40].

4.1 Kohteen yleiskuvaus

Kohde on Vantaan kaupungin tilakeskuksen omistama Sandkullan konesuoja, joka sijaitsee Vantaan Jokiniemessä. Rakennus on puurunkoinen ja se on rakennettu luultavimmin samaan aikaan kuin samalla tontilla sijaitseva viereinen navettarakennus 1920-luvulla. Se koostuu kolmesta osasta: kahdesta varastorakennuksesta, jotka yhdistyvät toisiinsa katoksella (kuva 20). Kylmän katoksen ja koko rakennus vesikate on tehty kattotiilistä ja julkisivut pysty-laudoituksesta. Kylmän katoksen alta paljastuu, että tiililaatat ovat ruoteiden ja puuristikoiden päällä. Puuristikot ja kattopalkit ovat reunapalkkien päällä, jotka tukeutuvat pilareihin. Talojen yläpohjien rakenteesta ei ole tietoa, vaikka toisen talon sisällä päästiinkin käymään kohdekäynnin aikana. Sisätilan alakatto on levytetty, jonka johdosta talojen yläpohjarakenteita ei saatu selvitettyä. Rakennuksen ulkoseinä on oletettavasti puurunkoinen sen julkisivumateriaalin ja rakennusaikakauden perusteella.



Kuva 20. Ilmakuva Sandkullan konesuojasta. Kuvan oikeassa laidassa oleva varasto ei kuulunut toimeksiantoon [41].

4.2 Kohteen mittaaminen laseretäisyysmittarilla

Mittaukset suoritettiin keskiviikkona 22.1.2014 klo 9-17. Sää oli pilvetön ja aurinkoinen. Lämpömittari näytti -15 C°:n verran. Mittausten päämääränä oli saada selville rakennuksen yleismitat, kattotuolien ja -palkkien sekä pilareiden betonianturoiden mitat selville rakennesuunnittelua varten. Samalla laseretäisyysmittarin mittatarkkuutta, toimivuutta kenttäolosuhteissa ja mittatoimintoja testattiin käytännössä verraten perinteisen mittanauhan antamiin tuloksiin. Muistiinpanot tehtiin käyttäen kynää ja muistiota sekä mittarivalmistajan älypuhelimille laatimaa applikaatiota.

4.2.1 Mittausten esivalmistelut

Todettiin, että jotta mittaustulokset olisivat luotettavia ja mahdollisimman tarkkoja, tulisi laseretäisyysmittaria käyttää kolmijalan päällä. Samalla laseretäisyysmittarin ohessa hankittiin Leican TRI 100 -kolmijalka, joka on suunniteltu nimenomaan Leican mittareille. Kolmijalan päällä on irrotettava taso, jossa on tyypin 1/4-20 kierreruuvi. Ruuvin avulla taso kiinnitetään tukevasti mittarin pohjassa olevaan kierteeseen, jonka jälkeen mittari-kiinniketaso-yhdistelmä voidaan liittää kolmijalan päälle. Kolmijalassa on kallistuspää, jota voidaan liikuttaa siinä olevan kahvan avulla. Kallistuspäässä on kiristysruuvit, joilla voidaan estää pään pysty- ja vaakasuuntainen liike mittauksen aikana mittarin stabiloimiseksi (kuva 21).



Kuva 21. Laseretäisyysmittari Leica DISTO™ D8 asennettuna TRI 100 -kolmijalan päälle [42].

Epätasaisen maaston vuoksi kolmijalka on saatava suoraan vaakatasoon nähden mittaustarkkuuden parantamiseksi. Tasauksen helpottamiseksi kolmijalasta löytyy tasauskupla, joka kertoo, onko jalusta tasaisesti vai ei (kuva 22). Kuplan tulisi olla punaisen ympyrän sisäpuolella ennen mittausten aloittamista. Kolmijalan jalkojen korkeuksia voidaan säätää ylös tai alas vaakatason saavuttamiseksi (kuva 23).



Kuva 22. Kolmijalka ennen tasausta [42].



Kuva 23. Kolmijalka tasauksen jälkeen [42].

4.2.2 Mittaukset lasertäisyysmittarilla

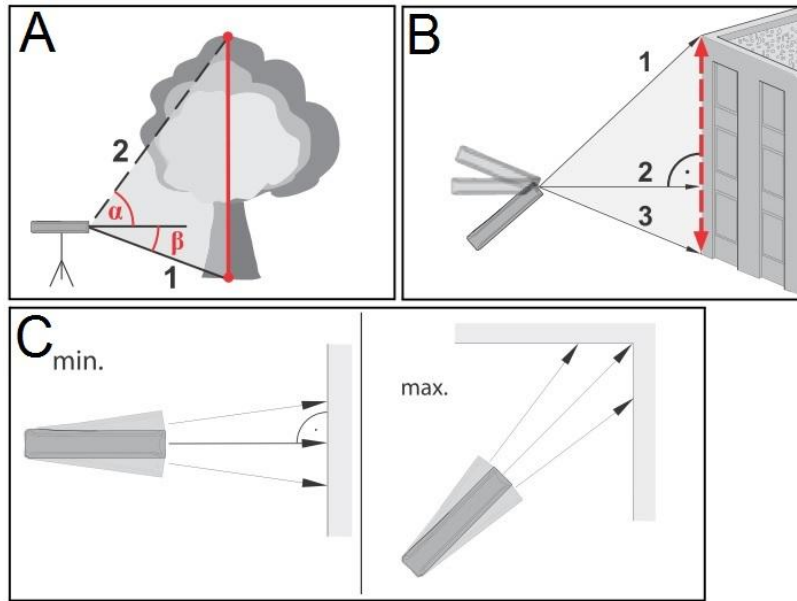
Perusperiaatteena laseretäisyysmittari mittaa mitatun pisteen ja mittarin välisen etäisyyden sekä kulman suuruuden pisteen ja mittarin suhteessa vaakatasoon. DISTO™ D8:ssa on toimintoja, joilla voidaan määrittää muun muassa pinta-aloja ja tilavuuksia seinä-, lattia- ja kattopintojen avulla. Mittatietojen selvittämisen kannalta

oleellisempaa on mitata kahden pisteen välinen etäisyys joko vaakaan tai pystyyn. Näitä kahden pisteen välisiä etäisyyksiä voidaan selvittää D8:lla toimintojen avulla, jotka käyttävät hyväkseen kolmiolaskentaa. Laskennan perustana on, että mittarin ja kahden pisteen välille syntyy kolmio. Kaikkien mitattavien pisteiden tulee olla samalla suoralla, jotta tulokset eivät vääristyisi. Toisin sanoen mittarin tulee olla lukittuna vastakkaiseen suuntaan kuin mihin mittaus suoritetaan.

Pythagoras-painikkeella (kuva 24, näppäin 7) mittari määrittää mittausohjelmasta riippuen kahden tai kolmen pisteen ja Pythagoraan lausekkeen avulla etäisyyksiä ja kulmia mittarin sijainnin perusteella. Pythagoras-lausekkeet toimivat vain suorakulmaisilla kolmioilla. Yhden mitatun pisteen tulee siis olla kohtisuorassa mittaria vasten (kuva 25, B). Lasersäteen kohtisuoruuden saa määritettyä toiminnolla, joka etsii säteen lyhyimmän etäisyyden mitattavaa pintaa vasten (kuva 25, C). Kallistusanturipainikkeella (kuva 24, näppäin 16) mittari määrittää kahden pisteen välisen etäisyyden pisteisiin piirtyvien lasersäteiden vertikaalisten kulmien suuruuksien perusteella (kuva 25, A). Tätä toimintoa ei voida käyttää horisontaaleihin mittoihin, sillä mittari ei havaitse kulmien muutosta vaakatasossa.



Kuva 24. Leica DISTO™ D8:n näppäimistö [43].



Kuva 25. (A) Kallistusanturi-, (B) Pythagoras- ja (C) minimietäisyysmittaus. Pythagoras-mittauksella voidaan mitata myös horisontaalisesti [43].

Mittaukset aloitettiin kolmijalan tasauksen jälkeen tutkimalla lasermittarin mittausohjelmia ja niiden tarkkuutta. Testikappaleeksi valittiin eteläpäässä olevan rakennuksen eräs ovi (kuva 26), jonka leveys ja korkeus oli helppo tarkistaa manuaalisesti mittanauhalla. Vertailuarvoina oven korkeudeksi saatiin 2000 mm ja leveydeksi 800 mm. Toki on muistettava, että mittanauhakaan ei välttämättä anna aina absoluuttisen oikeaa tulosta. Mittanauhat on yleisesti suunniteltu käytettäväksi huoneen lämpötilassa (+20...24 C°). Niiden pituudet muuttuvat lämpötilan muuttuessa mittanauha materiaalin lämpölaajenemiskertoimen mukaan. Mittanauhan kasvu tai lyheneminen on tosin millimetrin sadasosien luokkaa, joten näissä mittauksissa mittanauhan tuloksia voidaan pitää tarpeeksi tarkkoina vertailun kannalta.



Kuva 26. Ensimmäinen mitattu ovi [42].

Yhteistyö ylipäättään lasermittarin kanssa oli allekirjoittaneelle ensimmäinen kerta. Tästä syystä oikean mittausohjelman löytämiseen 20:stä eri ohjelmasta meni tovi, kun mittaus yksi toisensa jälkeen näytti eri tulosta kuin mittanauhalla otettu. Muutaman koemittauksen jälkeen oven korkeudeksi saatiin kallistusanturitoiminolla 1997 mm. Kohdekäynnin aikana vaakamitat mitattiin vain suoran etäisyyden mittauksen perusteella tähtäämällä mittarin mukana tullutta lasertähyslevyä kohti. Syy tähän oli se, että Pythagoras-toiminnon periaatteita, johtuen mittarin käytön vähäisyydestä, ei saatu hyödynnettyä. Oven leveydeksi saatiin tähystlevyn avulla 799 mm (kuva 27).



Kuva 27. Oven leveyden mittaaminen tähyslevyn avulla [42].

Fotogrammetriaohjelmaa varten julkisivuista tuli ottaa selkeitä vaaka- ja pystymittoja ohjelman käytön helpottamiseksi. Mitattaviksi etäisyyksiksi valittiin ikkunoiden valkoisten pielilautojen ulkoreunat. Kuva 28 on rakennuksen eteläpäädyistä, jonka erään ikkunan korkeudeksi saatiin mittanauhalla ja laserilla täysin sama tulos, 937 mm. Leveydeksi mittanauhalla saatiin 905 mm ja laserilla 903 mm. Muiden julkisivujen ikkunoiden dimensioissa erot laseretäisyysmittarin ja mittanauhan välillä olivat $\pm 1\text{...}3$ mm.



Kuva 28. Rakennuksen eteläpääty. Mitattu ikkuna on alarivissä toinen vasemmalta [42].

Pilareiden anturoiden mittojen dokumentoinnissa testattiin Leican kehittämää mobiiliapplikaatiota Leica Sketchiä. Leica Sketch on applikaatio, johon Leican lasermittarin mittaamaa tietoa voidaan lähettää Bluetooth® -yhteyden avulla. Sketchillä voidaan piirtää viivoja joko älypuhelimella otettuun kuvaan, puhelimen arkistosta löytyvään kuvaan tai puhtaalle ruudukolle. Kun mitta on mitattu ja saapunut langattoman yhteyden kautta applikaatioon, voidaan mitattu tieto siirtää halutulle viivalle. Anturoiden tapauksessa yhdestä anturasta otettiin kuva ja sen kaikille eripituisille sivuille piirrettiin sivua vastaavan pituinen viiva. Mitat mitattiin tähyslevyn avulla asettamalla mittarin takapää jonkin pisteen tasolle ja tähyslevy vastakkaisen pisteen tasolle. Applikaatiolla on mahdollista tehdä mittauksista PDF-tiedosto. Tämä tiedosto, jossa on esitetty kuva anturasta, siihen piirretyistä viivoista ja saaduista mitoista, on liitteenä 1.

Kattotuolien ja -palkkien mittaaminen osoittautui haastavimmaksi osa-alueeksi tämän kohteen kanssa (kuva 29). Katon rakenteisiin ei ylettynyt mittanauhalla, joten

lasermittarilla tehtyjä tuloksia ei pystytty tarkistamaan. Kattotuolit ja -palkit oli tehty silmämääräisen arvion mukaan saman poikkileikkauksen omaavista puulankuista, joten yhden palkin korkeutta ja leveyttä voitiin pitää samana muillekin. Molemmat mitat mitattiin kallistusanturitoiminnolla, kun mittari sijaitsi kohtisuorassa mitattavaa lankkua vastaan. Korkeudeksi saatiin 170 mm ja leveydeksi 50 mm. Mittoja voidaan pitää uskottavina, sillä silmämääräisesti lankun leveys näytti mitatun tuloksen leveyksiseltä. Kattotuolin muita osia mitattiin myös ja tulokset näyttivät kaikki samanlaisilta.



Kuva 29. Kylmän katoksen rakenteita [42].

Rakennuksen päämitat eli pituus ja leveys mitattiin käyttämällä tähyslevyä rakennuksen ulkoseinän kulmassa ja mittaamalla etäisyys vastakkaisesta kulmasta. Rakennuksen leveydeksi saatiin 9480 mm ja pituudeksi 64728 mm. Mittoja ei tarkistettu mittanauhalla etäisyyksien suuruuden vuoksi eikä siksi, koska laseretäisyysmittarin ei tarvinnut suorittaa suurempia laskusuorituksia. Reunapilareiden jakovälit suoritettiin mittaamalla etäisyydet yhden pilarin pinnasta toisen pilarin pintaan. Pilareiden etäisyydet toisiinsa vaihtelivat välillä 4583...4654 mm. Mittoja ei tarkastettu samasta syystä kuin yleismittojakaan.

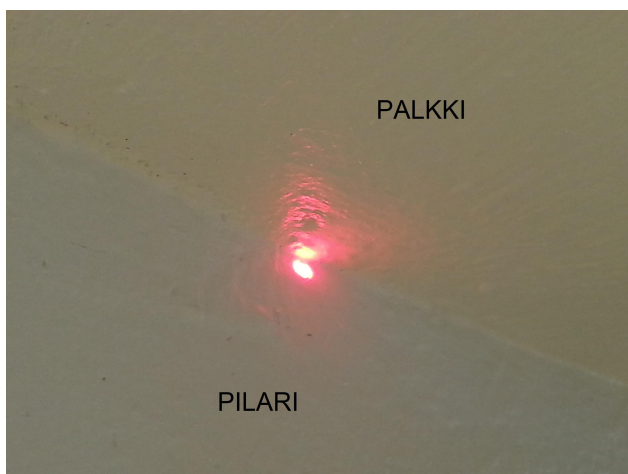
4.2.3 Laseretäisyysmittarin testaaminen kohteen mittausten jälkeen

Vaakamittojen mittaamiseen tarkoitetun Pythagoras-toiminnon poisjäännin vuoksi, laseretäisyysmittaria kokeiltiin uudemman kerran kahden päivän kuluttua kohteen mittauksista IdeaStructura Oy:n toimistolla. Mitattavana kohteena oli toimiston keskellä oleva betonipilari, jonka päälle tukeutuu betonipalkki. Molemmat, pilari ja palkki, on

päällystetty valkoisella maalilla. Laseretäisyysmittarin kanssa käytettiin kolmijalkaa kaikissa mittauksissa. Mittausetäisyydet pilarin ja mittarin välillä olivat noin 1,6 ja 3,5 metriä. Pilarin korkeus ja leveys tarkastettiin mittanauhalla, kuten kohteessakin. Korkeudeksi saatiin jalkalistan yläpinnasta palkin alapintaan 2000 mm ja leveydeksi 330 mm.

Pilarin korkeutta mitattiin kallistusanturitoiminnolla ja leveyttä Pythagoras-toiminnolla. Mittauksia otettiin useita. Kerta toisensa jälkeen 1,6 metristä mitatut tulokset eivät täsmänneet mittanauhalla mitattujen kanssa. Eroavaisuutta pilarin korkeudessa oli 20...30 mm ja leveydessä 20...40 mm. Kallistusanturitoiminto oli antanut korkeudessa tuloksia kohteessa muutaman millin tarkkuudella verrattuna mittanauhaan, joskus jopa tasan saman mitan. Pythagoras-toiminnollakin pystyttiin löytämään betonipilarin leveyssuunnassa paikka lyhyimmälle mahdolliselle lasersäteelle, jolloin se oli kohtisuorassa pintaa vasten. Kolmijalkakin oli tasattu oikein ilmakuplan ollessa punaisen ympyrän keskellä ja mittaukset tehtiin mittarin ollessa samassa pystykulmassa. Vaikka kaiken piti olla kunnossa, niin mikä aiheutti epätarkkuuden tuloksissa?

3,5 metristä tehdyt korkeusmittaukset antoivat täysin samoja tuloksia kuin mittanauha. Betonipilarin mittojen epätarkkuudet johtuivat siis kahden asian yhteisvaikutuksesta: lasersäteen rikkoutumisesta ja mittausetäisyydestä. Kun lasersäde osui 1,6 metristä pilarin ja palkin risteyskohtaan (kuva 30), osa lasersäteestä heijastui palkin alapintaan. Heijastus saattaa johtua maalipinnasta, pilarin pinnan epätasaisuudesta tai näiden yhteisvaikutuksesta. Kiiltävät pinnat aiheuttavat lasersäteen heijastumista pois ja saavat aikaan mittausvirheitä. Säteen rikkoutuessa mittarin tietokone ei enää tiedä kummasta pisteestä se etäisyyden mittaa, mittaajan asettamasta "oikeasta" paikasta vai heijastuskohdasta. Tätä ilmiötä ei tapahtunut konesuojan mittauksia tehdessä. Lasersäde hajosi myös kauempaa mitattaessa pilarin korkeutta, mutta tulos oli tällä kertaa oikea. Jos mittari on liian lähellä, on heijastuma mittauspinnasta mittarille liian suuri sekoittaen tuloksia. Jos mittari on riittävän kaukana, heijastuma pienenee eikä mittari pysty lukemaan väärää tulosta heijastuneesta säteestä. [43, s.18; 44.]



Kuva 30. Lasersäteen voi nähdä heijastuvan pilarin yläreunasta palkin alapintaa. Säde ikään kuin jakautuu kahtia. [42].

Pilarin leveydestä ei saatu luotettavaa tulosta Pythagoras-toiminnolla kummaltakaan etäisyydeltä. Tulokseksi saatiin aina noin 70 mm todellisuutta enemmän. 19,5 mm leveää tähystä mitattiin myös, mutta ero oli 40...50 mm:n luokkaa. Samaisen pilarin palkin pituus mitattiin samalla leveystoiminolla kuin edellä. Palkin oikea pituus mitattiin lasermittarin normaalilla etäisyysmittaustoiminnolla mittaamalla siihen tukeutuvien pilareiden etäisyydet toisistaan. Palkin pituudeksi saatiin 4879 mm. Pythagoras-toiminnolla lopputulemaksi saatiin 4880 mm, paljon lähemmäksi oikeaa tulosta kuin pilariin tai tähyslevyyn verrattuna.

4.2.4 Yhteenveto laseretäisyysmittauksista

Vaikka osalla Leica DISTO™ D8:lla tehdyillä mittauksilla ja mittanauhalla ei ollut suuria eroavaisuuksia, laseretäisyysmittarilla tehtyjä mittauksia ei voida vielä kaikilta osin pitää luotettavina. Niiltä osin kuin mittauksia pystyttiin varmuudella suorittamaan, erot olivat vain muutaman millin suuntaansa. Pienet eroavaisuudet tuloksissa aiheutuivat inhimillisestä virheestä mittaajan käytössä, lasersäde ei aina osunut tarkalleen mitattavaan pisteeseen. Tämä tosin päti vain pystymittoihin, sillä vaakamittoja ei kyetty mittaamaan.

Pythagoras-toiminnolla tehtyjä vaakamittauksia ei voida pitää luotettavina. Tulokset toimistolla tehdyistä mittauksista antoivat uskottavia tuloksia suurilla etäisyyksillä, mutta pienillä eroavaisuus todelliseen oli liian suuri. Sitä, miksi suuremmat mitat saatiin tarkemmin kuin pienet, ei kyetty selvittämään tämän työn aikana. Pythagoras-toiminnon

käyttö horisontaaleiden mittatietojen selvittämiseksi vaatii jatkossa lisätutkimuksia, jotta mittaria voidaan käyttää kokonaisuudessa luotettavasti.

Ennen mittauksen aloittamista mittaajan tulee perehtyä lasermittarin toimintoihin ja mittausohjelmiin. Mittausohjelmiin tulee tutustua niin hyvin, että mittaaja tietää, mitä ohjelmaa käyttää halutun mittatiedon saamiseksi. Oikealla tavalla, mutta väärällä ohjelmalla mitattu dimensio voi antaa hyvinkin virheellisen tuloksen. Mittarista ja sen käytöstä tulee olla varma, sillä mittauskohteessa ei voi, eikä välttämättä pystykään, kyseenalaistamaan mitattua tietoa. Hyvä keino tarkistaa mitta on mitata haluttu tieto moneen kertaan eri paikoista, jos mahdollista, ja samalla mittausohjelmalla verraten eroavaisuuksia tulosten välillä.

Kuten betonipilarin osoitti, pintojen materiaaleilla on merkitystä. Tuloksia analysoidessa mittaajan täytyy ottaa huomioon lasersäteen heijastuminen mitattavilta pinnoilta. Kohteeseen mentäessä tulee varustautua riittävässä määrin tähyksillä, jos lasersäteiden heijastumisia tapahtuu. Kaikkialle tähyksiäkään ei pääse asentamaan. Silloin heijastuminen tulee ottaa huomioon lopputuloksissa ja pohtia, onko tulos luotettava. Lasersäteiden pistettä on seurattava mittauksen aikana niin, että se pysyy yhtenäisenä eikä leikkaannu kahtia. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenneosien liitoskohdissa sekä nurkissa.

Laseretäisyysmittarin edut piilevät käden ulottumattomilla olevien kohteiden mittaamiseen. Käyttökohteiksi soveltuvat myös suuret etäisyydet, joihin mittanauhaan täytyisi käyttää useaan kertaan. Kunhan mittarin käytöstä on tarpeeksi kokemusta ja varmuutta, saadaan sillä uskottavia ja tarkkoja tuloksia. Sitä vastoin voidaan sanoa, että laseretäisyysmittaria ei kannata käyttää sellaisten mittojen mittaamiseen, jotka voidaan mitata mittanauhalla. Sama mitta, joka voidaan selvittää viidessä sekunnissa mittanauhalla, voi kestää lasermittarilla mitattuna muutaman minuutin. Prosessissa aikansa ottaa mittarin siirtäminen haluttuun paikkaan, kolmijalan tasaaminen, mahdollisten asetusten säätäminen, mittausohjelman valinta, kallistuspuun kiristys ja itse mittauksen tekeminen. Mittausprosessi nopeutuu, jos useamman eri mittauksen pystyy suorittamaan samasta pisteestä, mutta aina tämäkään ei ole mahdollista. Jos mittojen dokumentoinnissa haluaa käyttää hyväkseen mobiilisovellusta, esimerkiksi mittatiedon siirtämistä valokuvaan, voidaan mittanauhalla mitattavia mittoja selvittää laseretäisyysmittarilla.

Mittauksia tehdessä huomattiin, että kun mittarin mittauspainiketta (kuva 24, näppäin 1) painetaan, mittari siirtyy hieman pystysuunnassa. Tämä johtuu siitä, että näppäin on hieman kolmijalan tason ulkopuolella eikä sillä tällöin ole tukipintaa. Ilmiö tapahtuu siitäkin huolimatta, että mittarin jalusta olisi kiristetty paikalleen. Heilahdus aiheuttaa lasersäteiden siirtymää vääristäen tuloksia, vaikka muutos tasossa napin painamisen johdosta on vain $0,1...0,2^\circ$. Ratkaisu mittauksesta aiheutuvaan heilahtamiseen on käyttää Timer-toimintoa (kuva 24, näppäin 3). Timer-toiminto on kuin kameran ajastin. Näppäintä painettaessa mittarille voidaan antaa 5...60 sekunnin aikaviive. Kun haluttu aikaviive on asetettu, alkaa aika mittarissa vähenemään. Kellon kuluttua loppuun mittari suorittaa halutun mittauksen. Laitteeseen ei tarvitse enää koskea ajastimen aktivoinnin jälkeen, joten normaalista mittauksesta aiheutuva heilahdus saadaan näin mitätöityä. Timer-komentoa tulisi käyttää kaikissa kolmijalan päältä tehtävistä mittauksista.

Mittarin käytöstä jäi positiivinen kuva, vaikka opetettavaa laitteen käytössä vielä on. Sen jälkeen, kun laseretäisyysmittarin toiminnot sisäistää, on se suhteellisen helppo ja nopea tapa saada rakennuksen mitat selville. Mittausten suorittajan tulee vain olla tarkka, tiedostaa mahdolliset epätarkkuustekijät ja minimoida ne parhaansa mukaan.

4.3 Kohteen mittaaminen fotogrammetria-ohjelmalla

Testikuvaksi valittiin rakennuksen pohjoispäädyn pitempi julkisivu pihan puolelta. Julkisivu valikoitui mittojen testaukseen, sillä siitä oli paikalla mitattu kahden rakennusosan leveys ja korkeus. Mitatut osat olivat keskellä olevan varaston iso ovi ja pienen oven vasemmalla puolella sijaitseva ikkuna. Mitat otettiin pielilautojen ulkopinnoista. Oven leveydeksi saatiin mittanauhalla 3320 mm ja korkeudeksi laserilla 2459 mm. Ikkuna oli mittanauhan mukaan 1890 mm leveä ja 1365 mm korkea lasermittarilla.

4.3.1 Mittaukset valokuvista fotogrammetria-ohjelmalla

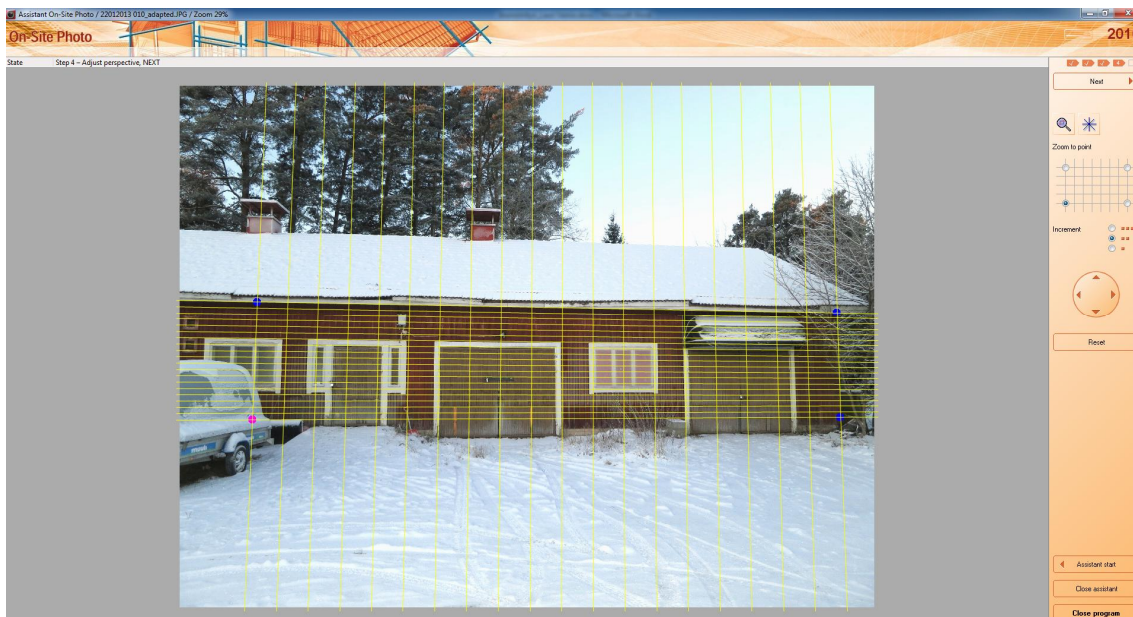
Kuva ladattiin On-Site Photo 2010 -ohjelmaan. Ensimmäiseksi valokuvan kontrastia ja kirkkautta muutettiin kirkkaammaksi, jotta aikaisesta kuvausajankohdasta aiheutuva hämäryys saataisiin minimoitua. Seuraavaksi valokuvasta on poistettava linssivääristymät, jotta talo ääriviivat olisivat mitattaessa suorina. Ohjelmalla määritetään

valokuvaan apuviivat haluttuihin paikkoihin, esimerkiksi rakennuksen nurkkiin (kuva 31). Apuviivojen avulla näkee, ovatko ääriviivat suoria vai kuperia. Jos kuperuutta havaitaan, tulee kuvan kaarevuutta lisätä tai vähentää. Testikuvan kanssa kuperuutta ei havaittu, joten sen kaarevuuden asetuksiin ei koskettu.



Kuva 31. Valokuvan linssivääristymän korjaus. Katon harjan, rakennuksen nurkan ja vasemmanpuolimaisen ikkunan pieleen on piirretty ohuet oranssit apuviivat.

Kun kuva on oikeassa muodossa, täytyy sen perspektiivi määrittää perspektiiviverkolla (kuva 32). Verkko on sijoitettava niin, että sen vaaka- ja pystyviivat ovat samansuuntaiset kuin kuvan rakennuksen ja sen osien ääriviivat. Perspektiivitoiminnon avulla mitätöidään kuvan kuvakulmasta johtuvat eroavaisuudet dimensioissa. Verkon nurkkapisteet voi sijoittaa esimerkiksi kuperuuden määrittämisvaiheessa asetettujen apuviivojen kohdille.



Kuva 32. Perspektiiviverkko. Keltaiset viivat on saman suuntaiset kuin rakennuksen ääriviivat.

Viimeisenä toimenpiteenä kuvasta määritetään kaksi tunnettua mitta pystyyn ja vakaan piirtämällä tunnetun etäisyyden välille viiva ja antamalla sille sen paikalla mitattu pituus tai leveys. Tässä leveys ja korkeus määritettiin rakennuksen keskellä olevan varaston ovele laserilla ja mittanauhalla mitatuilla mitoilla.

Kun edellä olevat valmistelut on saatu tehtyä, voidaan ohjelmalla aloittaa itse työskentely. On-Site Photossa on mahdollisuus muun muassa piirtää 2D:nä erilaisia kuvioita ja viivoja valokuvan päälle. Piirrosten mitat suhteutetaan valokuvaan tunnetun vaaka- ja pystymittan avulla. Kuvan kohde voidaan piirtää kokonaan ja siirtää sen jälkeen oikean kokoisena joko AutoCAD- tai Allplan-ohjelmaan 2D-viivatiedostona. On-Site Photossa valokuvasta mittauksia voidaan tehdä mutkattomimmin viiva- tai mittaviiva-työkalulla. Toimintaperiaate on molemmissa sama: halutun etäisyyden alkupäästä piirretään viiva sen loppupäähän. Viivan pituudesta tulee saman mittainen kuin se olisi kuvauspaikalla.

Ikkunan leveydeksi saatiin valokuvasta 1880,5 mm ja korkeudeksi 1373,9 mm (kuva 33). Erotus molemmilla mitoilla todelliseen oli siis noin 10 mm. Vaikka epätarkkuus saattaa johtua vain inhimillisestä väärästä klikkauksesta väärään pikseliin, on ohjelman käytössä kiinnitettävä huomiota tarkkuuteen kuvan alustusvaiheessa. Jos linssivääristymää korjaa liikaa tai liian vähän, kuvan dimensiot joko kasvavat tai lyhenevät. Juuri sen takia kupuruuden korjauksen apuviivat tulee sijoittaa rakennuksen

särmille, joista on selkeä havaita valokuvan kuperuus suoralla. Särmän tulisi jatkua yhtenäisenä mahdollisimman pitkänä, jotta kaarevuuden erottaisi helpommin. Pidemmällä särmällä pienen kuperuuden havaitsee silmällä helpommin kuin lyhyemmällä. Perspektiiviverkon asettaminen aiheuttaa myös epätarkkuutta tuloksissa, jos sitä ei ole asennettu samansuuntaisesti rakennuksen osien särmien mukaisesti. Paras ja vaivattomin mahdollinen tapa on asettaa perspektiiviverkon nurkkapisteet rakennuksen julkisivun nurkkapisteisiin. Tämä ei ollut mahdollista case-kohteessa edessä olevan kumpuilevan maaston takia.



Kuva 33. Mittavalmis kuva. Vasemmanpuolimainen ikkuna on mitattu keltaisilla mittaviivoilla, leveydeksi ja korkeudeksi saatiin 1880,5 mm ja 1373,9 mm.

Ohjelman kanssa kokeiltiin myös mittaamista muista konesuojasta otetuista valokuvista. Käytön aikana huomattiin, että jos tunnetut referenssimitat olivat lyhyet suhteessa muuhun kuvaan, lyhyet mitat pitivät jokseenkin paikkansa. Pitkät dimensiot taas olivat epätarkkoja, jotka keräsivät enemmän matkallansa mittavirheitä perspektiivistä, kuperuudesta ja piirrettyjen referenssiivojen pituudesta. Tunnettujen mittojen tulisi olla mahdollisimman suuret, ettei epätarkkuuksia pysyisi syntymään. On myös muistettava, että vanhat rakennukset eivät ole aina absoluuttisen suorita. Mittaepätarkkuudet voivat lisääntyä, jos valokuvassa suoralta näyttävä rakennus on oikeasti hieman vinossa. Esimerkiksi kuvasta 33 huomataan, että osan ylemmän räystäslaudan puuttumisen tai vaurioitumisen vuoksi räystäään kattotiilet aaltoilevat silminnähden. Kattoristikoiden geometrioiden mittausta yritettiin myös suorittaa

valokuvista. Luotettavia mittaustuloksia valokuvista ei kuitenkaan saanut. Ensinnäkin kattoristikoiden otetut valokuvat olivat mittausten kannalta huonosta, vinosta kuvakulmasta ja toisekseen varmoja ja pitkiä referenssimittoja ei oltu mitattu rakennusosista, jotka esiintyvät kyseenomaisissa valokuvissa. Ristikoiden mitat olisi saatu mitattua fotogrammetriaohjelmalla, jos ennen kohdekäyntiä valokuvaus ja valokuvien referenssimittojen mittaus olisi suunniteltu perusteellisemmin.

4.3.2 Yhteenveto fotogrammetriamittauksista

On-Site Photo on inventointimallin laadinnassa hyvä apuväline. Mittaukset voidaan suorittaa mukavasti toimistolta käsin eikä kohteessa tarvitse viettää niin paljon aikaa. Ohjelma soveltuu hyvin luoksepääsemättömien kohteiden paikkojen ja dimensioiden mittaukseen. Esimerkiksi testijulkisivun vesikatolla olevien savupiippujen sivumitan ja korkeudet saa vaivattomasti selville valokuvasta mittaamalla. Näitä mittoja ei välttämättä saisi todenmukaisesti tämän insinööriyön aikana tehtyjen johtopäätösten perusteella mitattua edes laseretäisyysmittarilla. Julkisivuosien, kuten ovien ja ikkunoiden, paikat saa riittäväällä tarkkuudella rakenneinventointimallin fotogrammetrialla hankkeen alkuvaiheessa. Nämä osat voidaan hankkeen edetessä tarkemmitata, jos se katsotaan tarpeelliseksi.

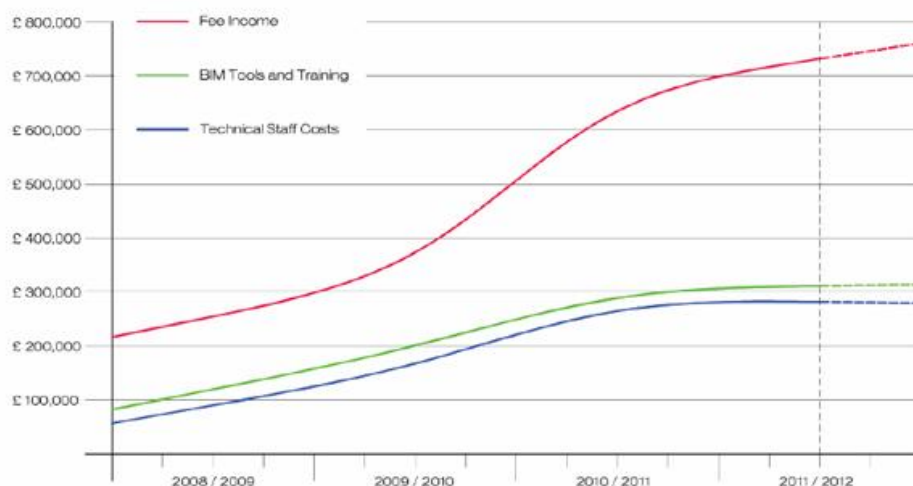
Kaikkea ei kuitenkaan pystytä mittaamaan yhdestä valokuvasta On-Site Photon avulla. Kuvasta voidaan mitata vain referenssimittojen suuntaisia mittoja. Ohjelmalla ei voida määrittää valokuville syvyysmittoja, sillä tietokone ei pysty laskemaan kolmea mittaa kahden avulla. Sen lisäksi vaadittaisiin, että syvyydelle pitäisi määrittää oma perspektiivi. Tämä tekisi tiedostosta kolmiulotteisen, jolloin kuvatiedosto ei voisi olla enää kaksiulotteinen kuvatiedosto, vaan jokin muu tiedostotyyppi. Toki syvyyttäkin voidaan valokuvista mitata, mutta se vaatii vaak- ja pystymitan syvyyspinnan suhteessa ja poissulkee mittaukset toisen pinnan suhteen samanaikaisesti.

Fotogrammetrialla saatujen mittatietojen tarkkuus case-kohteen perusteella on noin 10...20 mm. Menetelmää tulee käyttää rakenne- ja rakennusosien mittaamiseen, joiden mittaustarkkuuden ei tarvitse olla hirveän eksakti. Julkisivuissa tai rakennuksen yleismitoissa ei haittaa, jos mitta on muutaman kymmenen millimetrin luokkaa väärään suuntaan. Kantavien rakenneosien, niin kuin palkkien ja pilareiden, dimensioiden mittaukseen fotogrammetria ei paras mahdollinen tapa sen epätarkkuudesta johtuen, jos valokuvat on otettu kaukaa. Läheltä otettaessa tarkkuus paranee, mutta kuvien

lisääntyessä referenssimitatkin lisääntyvät. Ylimääräisten mittojen ottaminen On-Site Photoa varten sotii menetelmän tehokkuutta vastaan, jos valokuvia täytyy ottaa paljon. Muutaman sentin heitto voi olla kriittinen vanhoissa rakenteissa, jos ja kun niiden kestävyksiä tarkastetaan laskennallisesti inventointimallista saatujen tietojen avulla. Tarkastusmitoituksessa väärin mittojen lopputuloksena voi olla todellisuudessa joko liian heikot rakenteet tai tarpeettomat rakennevahvistukset, joista aiheutuu lisäkustannuksia sekä ajallisia tappioita hankkeen kannalta.

5 Mallintamisen kustannukset

Kustannukset nähdään usein esteenä tietomallintamisen käyttöönottoon yrityksissä, vaikka näin ei kuitenkaan ole. Laitte- ja ohjelmistohankinnat, henkilökunnan koulutus ja teknisen henkilökunnan tarve maksavat aluksi tietyn summan verran. Yrityksen palkkiot kasvavat ensiksi samaan tahtiin kulujen kanssa. Kun henkilökunnan ammattitaito harjaantuu mallintamisessa, koulutuksen ja teknisen tuen määrä vähenee, jolloin tietomallintamiseen käytetyt kulut tasaantuvat vakituiselle tasolle. Samalla kuitenkin mallintamisesta saadut tulot jatkavat kasvua, kun yrityksellä on mahdollisuus lähteä mukaan useampiin ja suurempiin tietomallihankkeisiin ja tehostaa omaa suunnitteluaan (kuva 34). Yritys pystyy myös tarjoamaan palveluita, jotka eivät olleet mahdollisia ennen mallintamisen käyttöönottoa ja laajentamaan näin toimialaansa. [45.]



Kuva 34. Erään pienen lontoolaisen arkkitehtitoimiston mallintamisesta aiheutuneet kulut (vihreä ja sininen käyrä) saatuja tuloja vastaan (punainen käyrä). Huomataan, että menojen tasoittuessa tulot jatkavat kasvuaan [45].

Kuten luvussa 2.2 mainittiin, suunnitteluajan kasvaessa suunnitelmien tarkkuus paranee, mutta niin kasvavat kustannuksetkin. Täysin tarkaksi rakennettu malli, joka ottaa kaikki rakennuksen elinkaaren aikana tapahtuvat asiat huomioon, tulee kustannuksiltaan kalliiksi. Tosin suunnittelun kustannukset ovat prosentuaalisesti pieniä koko rakennushankeeseen verrattuna, joten isosta kokonaiskulujen kasvusta ei ole kysymys. Toisaalta kustannukset voidaan pitää normaalia hanketta pienempänä, jos hyvällä ja tarkalla suunnittelulla vältetään työmaalla ikävistä ja hintavista lisätöistä. Kun virhemäärä pienentyy ja laatu paranee, saadaan aikaiseksi suuria säästöjä. [10.]

Koska inventointimallin tekemiseen käytetty aika on verrannollinen siitä aiheutuviin kustannuksiin, on hyvä verrata laserkeilauksen ja pistepilven avulla tuotettua inventointimallia vanhoista suunnitelmista mallinnettuun inventointimalliin. IdeaStructura Oy:ssä on toteutettu kaksi inventointimallinnettua kohdetta vanhojen suunnitelmien ja laseretäisyysmittarilla tehtyjen tarkemittausten perusteella. Inventointimallit tehtiin vuosina 2013 ja 2014. Ensimmäinen malli tehtiin yhden asiantuntijan voimin rakennuksesta, joka on alunperin valmistunut vuonna 1825 ja peruskorjattu viimeksi 1990-luvun alussa. Rakennuksella on bruttoalaa 4110 m². Toinen malli tehtiin vuonna 1975 rakennetusta kiinteistöstä, jolla kerrosalaa on noin 11 300 m². Mallin luomisessa oli mukana kaksi yrityksen asiantuntijaa. Molempien mallien tekemiseen meni noin 1 kuukausi. Mallin tekeminen maksoi asiantuntijoiden tuntiveloitushinnan mukaisesti noin 11 000 ja 20 000 € ilman arvonlisäveroa.

IdeaStructura Oy:ssä on tehty useampi rakennemalli laserkeilauksen avulla tuotetun pistepilviaineiston ja inventointimallin avulla. Yksi näistä on vuonna 1845 valmistunut rakennus, jonka bruttoala on 6600 m². Rakennuksesta tehty pistepilvi ja inventointimalli palvelivat suunnittelua hyvin vähän. Pistepilvitiedostojen koko oli niin suuri, että niitä oli erittäin vaikea käsitellä. Pistepilvestä ei pystynyt ottamaan uskottavia mittoja, sillä ne olivat aivan eri suhteessa kuin rakennuksen todelliset mitat. Inventointimallistakaan ei ollut hyötyä siitä syystä, että osia rakenteista ei oltu mallinnettu rakenteellisesti oikein. Rakennus ei ollut todellisessa korossa eikä asianmukaisessa koordinaatistossa. Pistepilven ja inventointimallin lisäksi jouduttiin hyödyntämään paikalla tehtyjä mittauksia ja vanhoja suunnitelmia rakennemallin tuottamiseksi. Laserkeilauksen, pistepilviaineiston ja tietomallin laatimisen kokonaiskustannus oli ennen veroja 94 000 €. Hintaan ei ole lisätty lisätöistä aiheutuvia kustannuksia, joten lopullinen summa on todellisuudessa vielä suurempi. [46.]

Yleisten tietomallinnusvaatimusten osassa 2 Lähtötilanteen mallinnus on ohjeistettu, että mittausten ja inventointimallin laatimiseen tulisi varata riittävästi aikaa, kohteen laajuudesta riippuen 2-6 kuukautta. Prosessin pituus johtuu siitä, että YTV:ssä laserkeilaus on periaatteessa ainoa hyväksyttävä tapa selvittää olemassa olevan rakennuksen mitat. Kuten laserkeilausta käsittelevässä luvussa 3.2.5 käy ilmi mittaustekniikan periaate ja prosessi, voi 2-6 kuukautta olla siihen hyvinkin realistinen ajanjakso. Noinkin pitkä ajanjakso tuntuu kohtuuttoman pitkältä rakennesuunnittelijan ja muiden rakennemallia käyttävien osapuolten näkökulmasta, jos yhtä hyvään ellei jopa parempaan rakenneinventointimalliin päästään yhden kuukauden työllä. Ja niin kuin kustannuksista voidaan todeta, ero menetelmien välillä on todella suuri. Laserkeilaus itsessään ei ole kallista, mutta sen tuottaman pistepilven jatkokäsittelystä aiheutuvien kustannusten kertyessä hintaa tulee mittaustekniikalle valtavasti. Vanha sanonta ”hyvää ei saa halvalla” ei tässä tapauksessa päde. [3, s. 18.]

6 Mallintamistapa

Liitteessä 2 on esitetty IdeaStructuran tapa mallintaa korjaushanke prosessikaavion muodossa. Liite on luottamuksellinen ja luovutettu vain yrityksen käyttöön. Mallintamistavassa on kuvattu suunnitteluvaihekohtaisesti mallintamisprosessi hanke-, ehdotus-, yleis- ja toteutussuunnittelu- sekä täydentävän suunnittelun vaiheessa. Mallintamistapa on suunniteltu insinööriyössä tehtyjen päätelmien, Rakennustieto Oy:n RT-korttien ”Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK12” ja ”Tietomallinnettava rakennushanke” sekä IdeaStructura Oy:ssä samanaikaisesti käynnissä olleen insinööriyön ”Varaussuunnitelmien laadinta korjausrakentamishankkeessa” pohjalta. Yhtenä oleellisena osana mallintamistapaa on mallinnussuunnitelma, joka on esitelty tarkemmin luvussa 7. [47; 48; 49.]

6.1 Rakennesuunnittelijan rooli rakennemallin laatimisessa

Kaikkien suunnitelmien tutkimisen, mittausten ja kuntotutkimusten jälkeen rakennesuunnittelijalla on käsissään paljon tietoa olemassa olevasta rakennuksesta. Suunnittelijalla onkin haastava tehtävä tehdä hankittujen tietojen avulla ratkaisuja, miten nämä tiedot saadaan hankkeen kannalta järkevään ja riittävän tarkkaan muotoon. Rakennesuunnittelija on mukana korjaushankkeessa alusta asti, minkä seurauksena

hän osallistuu korjattavaa rakennusta koskeviin kokouksiin, tutkii vanhoja suunnitelmia, tekee kohdekäyntejä ja suorittaa kuntotutkimuksia. Kaiken tämän aikana ja tuloksena suunnittelijan päähän syntyy ajatustasolla omanlaisensa malli rakennuksesta. Tätä tietoa hyväksikäyttäen rakennesuunnittelija pystyy luomaan luotettavan rakenneinventointimallin.

Inventointivaiheessa absoluuttiseen tarkkuuteen ei päästä, mutta mallista kannattaa tehdä mahdollisimman tarkka sen hetkisten tietojen perusteella, jotta vältetään mallin turha korjailu korjaushankkeen myöhemmässä vaiheessa. Rakennesuunnittelijan on tehtävä päätelmiä ja päätöksiä vanhojen suunnitelmien, mittauksen ja tutkimusten perusteella: jos yksi osa-alueen asia on jollakin tavalla, ovatko muutkin osa-alueen asiat samalla tavalla vai tarvitaanko lisää tutkimuksia, jotta luotettavaan lopputulokseen päästään. Esimerkiksi jos rakennuksen yläpohjassa on kattotuoleja, riittääkö, että yhden kattotuolin dimensiot mitataan ja muut arvioidaan silmämääräisesti samanlaisiksi vai pitääkö kaikki muutkin mitata vaaditun tarkkuuden saavuttamiseksi? Silmämääräisen tarkistuksen ja sen varmuuden osatekijänä toimivat rakennesuunnittelijan aikaisemmat kokemukset samankaltaisista rakennuksista, rakenneosista ja -järjestelmistä. Jos sama asia on tullut vastaan moneen kertaan, voidaan päätelmiä tehdä varmemmalla pohjalla eikä lisätoimenpiteitä välttämättä tarvita. Korjaushankkeen alla olevan kohteen rakenteiden inventointia helpottaa kyseisen rakennusaikakauden ja ylipäätään rakennushistorian tuntemus. Kohteen tutkimuksia helpottaa, kun tunnetaan kyseiselle ajanjaksolle tyypilliset rakennejärjestelmät, materiaalit ja työtavat.

Rakennesuunnittelijan on tehtävä päätöksiä ja kompromisseja rakenneinventointimallin suhteen. Suunnittelijan on mietittävä, mitkä rakennuksen osat, osa-alueet ja järjestelmät vaativat erityistä tarkkuutta ja mitkä saavat olla epätarkempia. Rakennemallia tarkennetaan korjaushankkeen aikana niiltä osin kuin rakennesuunnittelija katsoo sen tarpeelliseksi tarkentua. Jos rakennesuunnittelija ei itse tee rakenneinventointimallia, on hänen suotava mallintajalle ajankohtaisin tieto kohteesta, jotta mallin laatu säilyy korkealaatuisena. Loppujen lopuksi rakennetekniikan asiantuntijan on tehtävä johtopäätökset niin, että niistä koituu mahdollisimman paljon hyötyä ja mahdollisimman vähän haittaa hanketta ajatellen, kun rakenneinventointimallia lähdetään jatkojalostamaan ja se luovutetaan muiden suunnittelijaosapuolten käyttöön.

7 Mallinnussuunnitelma

Osana mallintamistapaa on laadittu IdeaStructura Oy:n mallinnussuunnitelmapohja, joka on tämän työn tilaajayrityksen tahdosta luottamuksellisena liitteenä (liite 3). Mallinnussuunnitelman voidaan määrittää, mitkä osat kannattaa mallintaa hankkeen kannalta, mitä ja miten lähtötietojen selvitysmenetelmiä käytetään rakennuksesta saatavan tiedon hankkimiseen sekä kuka on vastuussa kussakin menetelmässä. Suunnitelman laatiminen vähentää asiantuntijan aikaa kohteessa ja toimiston pöydän ääressä, kun kohdekäyntien ja mallintamisen aikana ei tarvitse miettiä mitä pitää tehdä seuraavaksi eikä huolehtia siitä saadaanko kaikki tarvittavat toimenpiteet suoritettua.

Mallinnussuunnitelma on suunnitteluvaihekohtainen. Mallinnussuunnitelmassa selostetaan kohteen perustiedot, tiedot mittauksista ja lähtötietojen selvityksestä sekä rakennemallin tietosisältö rakennekohtaisesti Talo 2000 -nimikkeistön avulla. Suunnitelmaan on listattu taulukko, joiden alle listataan hankekohtaisesti kussakin vaiheessa tehtävät toimenpiteet rakennemallille. Mallinnussuunnitelma on täydennetty suunnitelman havainnollistamiseksi IdeaStructura Oy:n kohteeseen As Oy Sato No 16 Annalantaus. Kohteessa on rapatut julkisivut, jotka korjataan ja jonka parvekkeet puretaan. Vanhojen parvekkeiden tilalle tehdään uudet. Alla kuvataan ohjeet suunnitelman laatimiseksi.

7.1 Kohteen perustiedot

Suunnitelman alussa selostetaan kohteen perustiedot. Itse kohteen, tilaajan, suunnitelman laatijan ja projektipäällikkö yhteystietojen lisäksi mainitaan korjaushankkeeseen liittyviä asioita. Suunnitelmassa kerrotaan, mikä koko rakennustoimenpiteen tarkoitus. Tämän pohjalta määritetään mallinnuksen tarkoitus, jotta koko projektiryhmälle, ja etenkin suunnitelman laatijalle, syntyy kuva siitä, minkä takia työkaluna käytetään juuri tietomallintamista. Kun mallinnuksen tarkoitus on esitetty, eritellään suunnitteluvaiheessa mallinnettavat rakenne- ja rakennusosat, jotka palvelevat mallintamisen tarkoitusta. Lisäksi mainitaan mallintamisessa ja lähtötietojen selvityksessä käytettävät ohjelmistot sekä lisätietoja kohteesta, jotka vaikuttavat tietomallin laadintaan.

7.2 Kohteen mittaus / lähtötietojen selvitys

Edellisessä osassa määritettiin rakennus- ja rakenneosat, jotka mallinnetaan. Tässä osuudessa arvioidaan ne lähtötietomenetelmät, jotka tarvitaan tai jotka ovat käytössä mallinnettavien osien tiedon saamiseksi. Suunnitelmassa määritellään kohteessa tehtävät mittaukset rakennusosakohtaisesti. Mitattavat rakennusosat listataan ja niiden perään merkitään, mitä menetelmää käytetään kunkin osan kohdalla käytetään, jotta haluttu mittatieto saadaan selville. Yhden osan mittaukseen voidaan käyttää useampaa eri menetelmää tarpeen mukaan. Jos kohteessa tehdään paikalla useampia mittauksia tai tutkimuksia, merkitään niiden päivämäärät ja henkilöt, jotka osallistuvat kuhunkin vaiheeseen sekä rakennuksen alue tai osa, mikä mitataan tai tutkitaan kunakin päivänä. Tärkeää on, että yhtenä päivänä keskitytään vain yhteen mittaukseen tai tutkimukseen, jotta kaikki suunniteltu tutkimus- tai mittaustieto saadaan dokumentoitua ja kokonaisuus koko lähtötietoselvitysvaiheesta säilyy ehyenä. Kaikki mitta- ja tutkimustieto dokumentoidaan suunnitelmaan kirjatulla tavalla, jotta jälkepäin voidaan tarvittaessa tarkastaa tiedon alkuperä.

7.3 Rakennemallin tietosisältö

Rakennemallin tietosisältöön listataan mallinnettavat kantavat rakenteet, ei-kantavat betoniseinät sekä sellaiset rakennustuotteet, joilla on vaikutusta muiden osapuolten suunnitelmiin. Jaottelu on tehty Talo 2000 -järjestelmän tuotantonimikkeistön mukaan. Jokaiselle rakenneosalle on määritetty lähtötietomenetelmä tai -menetelmiä, mittausvastuussa oleva henkilö ja osan tarkkuus mallissa. Alla on selostettu rakennemallin ja eri mittaustekniikoilla saatava tarkkuus.

Ensimmäinen versio rakennemallista pyritään tekemään erityisesti kantavien rakenteiden osalta mahdollisimman tarkaksi, jotta myöhemmässä vaiheessa vältetään mallin korjaustöitä eikä näin vaikuteta muiden osapuolten suunnitelmiin ja aiheuteta heille lisätoimia. Korjauskohteessa kantavat rakenteet eivät suurimmilta osin muutu, joten inventointimallia laatiessa korkea tarkkuus hankkeen alussa ei mene hukkaan sen myöhemmässä vaiheessa.

Yksittäisen rakenneosan tarkkuus on riippuvainen tavasta, jolla lähtötieto tuodaan tietomalliin. Paikalla mitattu tieto on todenmukaisempaa kuin vanhoista suunnitelmista

saatu tieto. Tosin vanhat suunnitelmat saattavat olla ainoa lähtötietomenetelmä pintojen takana oleviin rakenteisiin ennen purkuvaihetta, jolloin mallia voidaan halutessa tarkentaa. Taulukkoon 1 on listattu lähtötietojen selvitysmenetelmiä ja niiden suositeltuja tarkkuustasoja. Tarkkuudet perustuvat tässä työssä tehtyihin päätelmiin ja yleisiin tietomallinnusvaatimuksiin.

Taulukko 1. Lähtötietomenetelmien tarkkuudet.

Lähtötietomenetelmä	Suosittelutarkkuus
Vanhat suunnitelmat	Vanhoissa suunnitelmissa esitetty mittatieto sellaisenaan
Mittanauha	1 mm
Laseretäisyysmittari	Pyöristetään lähimpään 5 mm
Takymetri	≤ 5 mm
Fotogrammetria-ohjelma	± 10 mm
Lämpökamera	Fotogrammetrian tarkkuus, lämpökuvia käytetään yhdessä fotogrammetria-ohjelman kanssa
Laserkeilain	± 10 mm

7.4 Suunnitteluvaihekohtaiset tehtävät

Suunnitelman lopussa on listattu tietomalliin liittyviä tehtäviä suunnitteluvaihekohtaisesti. Korjaushankkeessa tehdyn mallintamispäätöksen jälkeen jokaisen suunnitteluvaiheen alapuolelle listataan tehtäviä, jotka liittyvät tietomalliin tai sen laadintaan. Taulukosta voidaan tarkastaa onko kaikki suunnitellut vaiheet suoritettu ennen kuin siirytään seuraavan suunnitteluvaiheeseen. Koko projektin suunnittelu ja aikatauluttaminen helpottuu, kun yhdellä silmäyksellä nähdään, kuinka paljon tehtäviä kussakin suunnitteluvaiheessa on.

8 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä selvitettiin tapaa mallintaa olemassa oleva rakennus ja sen rakenteet. Tavoitteena oli löytää paras mahdollinen tapa hallinnoida mallintamisen prosessia ja löytää lähtötietoselvitysmenetelmät, joilla kohde voidaan mallintaa. Työssä tutkittiin mallintamisen nykytilaa korjausrakentamisessa, yleisiä vaatimuksia tietomallinnukseen ja lähtötietojen selvitysmenetelmiä, joita testattiin käytännössä case-kohteena toimineessa Sandkullan konesuojassa. Käytännön kokemusten lisäksi työtä varten tutkittiin artikkeleita alan julkaisuista, nykyisiä ohjeistuksia ja vaatimuksia sekä soveltuvaa kirjallisuutta.

Työssä todettiin, että COBIM-hankkeen tuloksena luodut yleiset tietomallivaatimukset eivät sovellu korjaushankkeiden mallintamiseen. Vaatimuksissa ei oteta kantaa olemassa olevan rakennuksen rakenteisiin eikä niiden sijainti- ja mittatoleransseihin. Tästä johtuen vaatimukset ovat ympäripyöreitä niin, että niitä täytyy soveltaa hankekohtaisesti. Yleisissä tietomallivaatimuksissa edetään perinteisen suunnitteluprosessin mukaan, missä luodaan ensin inventointimalli näkyviltä pinnoilta, arkkitehtimalli inventointimallin pohjalta ja rakennemalli vasta näiden kahden mallin perustella. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rakenteet ja niiden mittatiedot on selvitettävä käyttämällä jotain muuta menetelmää.

Mittaustekniikoista laseretäisyysmittaria ja fotogrammetria-ohjelmaa päästiin kokeilemaan käytännössä case-kohteessa ja tutkimaan niiden käytettävyyttä ja tarkkuuksia olemassa olevan rakennuksen mallintamiseen. Insinööriyössä käytetyn laseretäisyysmittarin Leica DISTO™ D8:n monipuolisten toimintojen avulla voidaan tulevaisuudessa selvittää kohteen mittatietoja. Työssä tehtyjen päätelmien pohjalta mittarin mittausohjelmia voidaan käyttää luotettavasti pystysuuntaisten mittojen mittaamiseen, mutta vaakasuuntaisten mittojen mittaaminen ja niiden tarkkuus vaatii vielä jatkossa lisätutkimuksia. Niiltä osin kuin laseretäisyysmittarin tuloksia voidaan pitää luotettavina, on tarkkuus noin viiden millimetrin luokkaa. Todettiin, että mittaustulosten dokumentoinnissa hyvänä apuvälineenä on käyttää Leican toteuttamaa sovellusta tablet-laitteille ja älypuhelimille. Fotogrammetria-ohjelma On-Site Photon avulla mittatietoa voidaan selvittää valokuvista kahden tunnetun mitan avulla. Näiden referenssimittojen tulee olla tarpeeksi isoja, jotta virheet mittauksissa pysyisivät pieninä. Fotogrammetrian mittatarkkuudeksi saatiin ± 10 mm. Laserkeilain todistettiin olevan tarkka, mutta hidas ja epäkäytännöllinen mittaustekniikka

rakenneinventointimallin luomiseen laitteen tekniikan takia. Muita mittaustekniikoita ei ollut mahdollista testata työn aikana, mutta niissä piilee potentiaalia, joka tulee ottaa huomioon tulevaisuuden mallinnushankkeissa.

Päätelmien ja tutkimusten osalta luotiin prosessikaavio IdeaStructura Oy:n mallintamistavasta. Mallintamistapa jaettiin eri suunnitteluvaiheisiin, joissa esitetään kunkin vaiheen tehtävät mallintamiseen liittyen. Tärkeänä osana mallintamistapaa on mallinnussuunnitelma. Suunnitelmasta tehtiin esimerkkisuunnitelma julkisivu- ja parvekekorjauskohteesta As Oy Sato No 16 Annalantauksessa havainnollistamaan suunnitelman käyttöä. Mallinnussuunnitelmassa määritetään mallintamisen laajuus, mallinnettavat rakennusosat ja niiden mittatarkkuudet sekä tavat kerätä kohteen lähtötiedot rakenneinventointimallia varten. Suunnitelmaa tullaan käyttämään tulevaisuudessa hyödyksi kaikissa IdeaStructura Oy:n mallintamissa kohteissa.

Työn aikana selvisi runsaasti arvokasta tietoa uudelta tavasta mallintaa olemassa olevan rakennuksen rakenteet. Vaikka tuloksia saatiin hyvissä määrin, tämä työ on vain pintaraapaisu koko IdeaStructura Oy:n mallintamiskonseptin kehittämisessä. Kuten edellä mainittiin, paljon on vielä tutkittavaa ja opittavaa jo pelkästään mittaustekniikoista. Jostain asiasta on silti aloitettava. Tämä työ toimii hyvänä kehitysalustana yritykselle uuden toimintatavan kehittämisessä ja tietomallipohjaisen suunnittelun eteenpäin viemisessä. Merkit korjausrakentamisalalla viittaavat siihen, että tulevaisuudessa rakennesuunnittelua tullaan tekemään yhä enemmän tietomallintamalla kuin perinteisellä tavalla. Jonkun on kuitenkin aina oltava ensimmäinen ja näytettävä muille tietä.

Lähteet

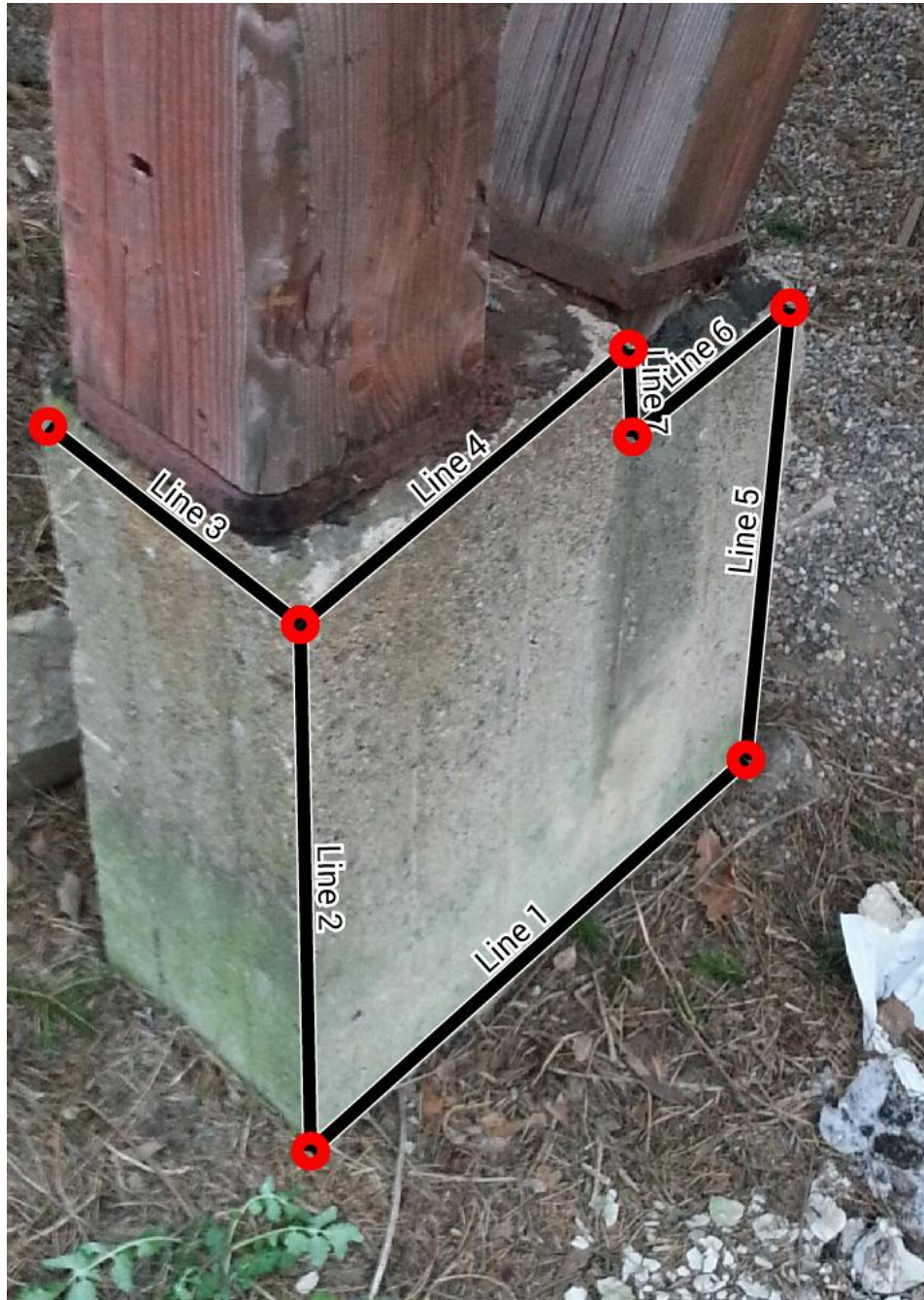
- 1 ArchiCAD 14-FIN –käsikirja, YS.IO – Yhteensopivuus. 2010. Verkkodokumentti. <<http://www.mad.fi/mad/tiedostot/pdf/kasikirja14/YS.IO.pdf>>. Päivitetty 16.8.2010. Luettu 22.11.2013.
- 2 Wikipedia. 2013. Verkkodokumentti. TIFF. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/TIFF>>. Päivitetty 8.3.2013. Luettu 19.2.2014.
- 3 Rakennustietosäätiö RTS – buildingSMART Finland. 2013. Lehdistötiedote 19.8.2013. Tietomallintamisen (BIM) käyttö Suomessa –kyselyn tulokset. Helsinki.
- 4 Freese, S., Penttilä, H. & Rajala, M. 2007. Arvorakennusten korjaushankkeet ja tuotemallintaminen. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
- 5 Törmänen, Eeva. 2012. Tietomallinnus törmää asenteisiin. Tekniikka&Talous, 2.3.2012, s. 12-13.
- 6 Yleiset tietomallivaatimukset 2012. 2012. Verkkodokumentti. Osa 2: Lähtötilanteen mallinnus. <http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_2_lahtotilanne.pdf>. Päivitetty 27.3.2012. Luettu 22.11.2013.
- 7 Ristolainen, Kari. 2008. Verkkodokumentti. Tietomalli korjausrakentamisessa. <http://www.rakennustieto.fi/channels/public/www/rane/material/attachments/5oJ5FjJGF/5xEXzAOLn/Rakennusfoorumi_RTS_tietomalli_korjausrakentamisessa-2008.pdf>. Luettu 21.2.2014.
- 8 Törmänen, Eeva. 2008. SimsalaBIM. Tekniikka&Talous, 14.3.2008, s. 6-7.
- 9 Sulankivi, Kristiina. 2004. Kokemuksia tuotemallin ja 4D:n hyödyntämisestä pilottihankkeissa. Tampere: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.
- 10 Koivula, Petri. 2013. Tietomallien käyttö haaste rakennuksilla. Rakennuslehti, 7.2.2013, s. 13.
- 11 Yleiset tietomallivaatimukset 2012. 2012. Verkkodokumentti. Osa 1: Yleinen osuus. <http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf>. Päivitetty 27.3.2012. Luettu 28.2.2014.
- 12 Yleiset tietomallivaatimukset 2012. 2012. Verkkodokumentti. Osa 5: Rakennesuunnittelu.

- <http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_5_rak.pdf>. Päivitetty 27.3.2012. Luettu 4.3.2014.
- 13 www.ilmutekniksipil.com. 2012. Verkkodokumentti. Tutorial Tekla. <<http://www.ilmutekniksipil.com/software-teknik-sipil-2/tutorial-tekla>>. Päivitetty 29.4.2012. Luettu 7.3.2014.
 - 14 ArchiEXPO. 2014. Verkkodokumentti. 2D/3D computer-aided engineering software CAE. <<http://www.archiexpo.com/prod/nemetschek-scia/2d-3d-computer-aided-engineering-softwares-cae-52159-111543.html>>. Luettu 7.3.2014.
 - 15 Konttila, Mika. 2013. Tietomalliasiantuntija, IdeaStructura Oy, Helsinki. Haastattelu 8.11.2013.
 - 16 BIM Tools. 2008. Verkkodokumentti. Tietomallihankkeen työvälineet. <<http://bimtools.wikispaces.com/home>>. Päivitetty 1.1.2008. Luettu 5.3.2014.
 - 17 Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto. 2013. Tavaststjernankatu 7, kellarikerros. Rakennepiirustus. Helsinki.
 - 18 Alanen, Ville. 2013. Rakennustyömaan mittauksen kehittäminen. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.
 - 19 Laser Measure – Leica Geosystems Specialist. 2014. Verkkodokumentti. Leica DISTO sketch – sketching, photographing and precise dimensioning. <<http://www.laser-measure.co.uk/blog/index.php/leica-disto-sketch-sketching-photographing-and-precise-dimensioning/>>. Luettu 19.2.2014.
 - 20 Leica Geosystems. 2014. Leica DISTO™ - Alkuperäinen laseretäisyysmittari. Tuote-esite.
 - 21 Etäisyysmittarit. 2013. Verkkodokumentti. Tooloutlet.fi. <<http://www.tooloutlet.fi/fi/Tuotteet/Mittaus+ja+merkit%C3%A4/+Mittav%C3%A4lineet/Et%C3%A4isyysmittarit/282>>. Luettu 13.12.2013.
 - 22 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
 - 23 Rakennustietosäätiö. 1993. RT-kortti RT 03-10525 Rakennusten ja rakenneosien mittajärjestely. Helsinki: Rakennustieto.
 - 24 Ransen software. 2014. Verkkodokumentti. .xyz file format conversion (to CSV and DXF etc.). <<http://www.ransen.com/pointor/xyz-file-format-conversion.htm>>. Luettu 19.2.2014.

- 25 Haggrén, Henrik. 2003. Fotogrammetrian perusteet, luento 1. Luentomoniste. Teknillinen korkeakoulu.
- 26 Partanen, Jani. 2013. 3D-rakennuksen luominen valokuvasta – Manuaalisesta mallinnuksesta fotogrammetriaan. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 27 maxmess-software. 2012. On-Site Photo –video. <<http://www.youtube.com/watch?v=vZbvJeM2IjU&noredirect=1>>. Katsottu 20.12.2013.
- 28 maxmess-software. 2012. Verkkodokumentti. Image Measuring Program On-Site Photo. <<http://www.maxmess-software.com/products/image-measuring-program-on-site-photo/>>. Päivitetty kesäkuussa 2012. Luettu 19.2.2014.
- 29 Infradex Oy. 2014. Lämpökameran toiminta. Verkkodokumentti. <<http://www.infradex.com/kuinka.html>>. Luettu 10.1.2014.
- 30 Rakennustietosäätiö. 2005. RT-kortti RT 14-10850 Rakennusten lämpökuvaus. Helsinki: Rakennustieto.
- 31 Leppä, Matti. 2013. Lämpökuvaus. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 32 Heiska, Nina. 2009. Universaaliskanneria etsimässä eli miten valita maalaserkeilain? Maankäyttö 1/2009, s. 30-35.
- 33 Urbica – The 3D Laser Survey. 2014. Frequently asked questions. Verkkodokumentti. <http://www.urbica.net/en/06_support/laser-survey_faq.php>. Luettu 12.2.2014.
- 34 Kari, Veera. 2011. Laserkeilaus ja pistepilven käsittely ydinvoimarakentamisessa. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 35 PointCab. 2014. General Tutorials. Verkkodokumentti. <<http://www.pointcab-software.com/en/support/tutorials/general-tutorials/>>. Luettu 11.2.2014.
- 36 Konttila, Mika. 2014. Kuvakaappaus Kansalliskirjaston tietomallista. Helsinki
- 37 Senaatti-kiinteistöt. 2013. Tietomallinnuspalaveri IdeaStructura Oy:n mallintamistavasta 26.9.2013. Helsinki.
- 38 Tompuri, Vesa. 2012. Laserkeilauksen käyttöaluen laajenee. Rakennuslehti, 8.11.2012, s.12.

- 39 Teccon. 2014. Terrestrial 3D laser scanning. Verkkodokumentti. <<http://www.teccon.be/terrestrial-3d-laser-scanning/terrestrial-3d-laserscanning.htm>>. Luettu 12.2.2014.
- 40 Onsite Tools.com. 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.onsitertools.com/cat/laser-measure/disto-laser-measuring/leica-disto-d8.aspx>>. Luettu 4.2.2014.
- 41 Bing Maps. 2013. Karttahuaku kohteen osoitteella. Lintuperspektiivi. <<http://www.bing.com/maps/#Y3A9NjAuMTg1ODI5fjI0LjYzMzQ4MCZsdmw9NCZzdHk9ciZxPU9yYXNrdWphJTl1MjAx>>. Luettu 24.1.2014.
- 42 Vainio, Lauri. 2014. Insinööriyötä varten otetut valokuvat. Helsinki/Vantaa.
- 43 Leica Geosystems. 2014. Leica DISTO™ D8 – The original laser distance meter. Käyttöohje.
- 44 Toivanen, Petri. 2014. Jälleenmyynnin myyntipäällikkö, Leica Geosystems Oy, Espoo. Puhelinkeskustelu 24.1.2014.
- 45 Miller, David. 2012. Verkkodokumentti. BIM from the point of view of a small practice. <<https://www.thenbs.com/topics/BIM/articles/bimSmallPractice.asp>>. Päivitetty tammikuussa 2012. Luettu 7.3.2014.
- 46 Hönö, Antero. 2014. Project Manager, Indepro Oy, Helsinki. Sähköpostikeskustelu. 3.3.2014.
- 47 Rakennustietosäätiö. 2013. RT-kortti RT 10-11128 Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK12. Helsinki: Rakennustieto.
- 48 Rakennustietosäätiö. 2010. RT-kortti RT 10-10992 Tietomallinnettava rakennushanke – Ohjeita rakennuttajalle. Helsinki: Rakennustieto.
- 49 Hänninen, Aku. 2014. Varaussuunnitelmien laadinta korjausrakentamishankkeessa. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu.

Sandkullan pilarianturan mitat



- when it has to be **right**

Sandkullan pilarianturan mitat

Length	Inclination	Name	Description
0,185m		Line 6	
0,471m		Line 5	
0,317m		Line 4	
0,074m		Line 7	
0,498m		Line 1	
0,534m		Line 2	
0,245m		Line 3	