

Jonne Lahtinen

Tietomallinnuksen hyödyntäminen rakennusmittauksessa

Tietomallinnuksen hyödyntäminen rakennusmittauksessa

Jonne Lahtinen
Opinnäytetyö
Syksy 2017
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelmat, Talonrakentamisen tuotanto

Tekijä: Jonne Lahtinen
Opinnäytetyön nimi: Tietomallinnuksen hyödyntäminen rakennusmittauksessa
Työn ohjaajat:
Lehtori Kimmo Illikainen, OAMK
DI Jaakko Hakala, NCC Suomi Oy
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2017
Sivumäärä: 51

Tämä opinnäytetyö tehtiin NCC Suomi Oy:n tilauksesta. Tietomallintaminen ja sen tarjoamat mahdollisuudet rakennushankkeille ovat lisääntyneet viime vuosina merkittävästi. Työn tavoitteena oli selvittää, miten rakennusmittauksessa on hyödynnettävissä tietomallinnuksesta saatava tieto, ja toisaalta miten mitaustyöstä saadut tarketiedot sekä kuvat saataisiin vietyä takaisin tietomalliin. Lisäksi haluttiin selvittää NCC:llä tällä hetkellä käytössä olevat tietomallintamisen ja rakennusmittauksen laitteet sekä järjestelmät.

Opinnäytetyössä etsittiin alan kirjallisuuden ja julkaisujen avulla tietoa tietomallintamisesta ja rakennusmittauksesta. Niiden avulla kartoitettiin tilanne: mitä mallinnus ja rakennusmittaus tällä hetkellä mahdollistavat. Haastattelujen avulla hankittiin tietoa, mikä olisi tehokkain tapa lähteä kehittämään mitaustyön ja tietomallin yhteensopivuutta.

Parhaaksi havaittujen kehitysaiheiden osalta järjestettiin laitevalmistajan esittelytilaisuus, jossa kokeiltiin mittaamista tietomallin avulla, laserkeilaamista ja 360-asteisten paikkatiedolla varustettujen valokuvien ottamista. Tilaisuudessa havaittiin, että suoraan mallista mittaaminen vaatii vielä jatkotutkimusta toimivan tiedostomuodon löytämiseksi. Laserkeilaamisen avulla pystyttiin kuitenkin keräämään palautetietoa tietomalliin jo rakennetuista osa-alueista.

Tutkimuksessa todettiin, että suurin osa kehitysaiheista tarvitsisi toimiakseen laitteistopäivityksen. Korvaaviksi laitteiksi valittiin 3 erilaista laitetta. Näistä laitteista tehtiin kustannusvertailu. Parhaaksi vaihtoehdoksi laitteista osoittautui Leican MS60-keilaintakymetri laserkeilausominaisuutensa ja suurinäyttöisen tablet-maastotietokoneen sekä hintansa ansiosta.

Asiasanat: Tietomalli, Rakennusmittaus, Laserkeilaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building

Author: Jonne Lahtinen

Title of thesis: Utilization of building information model in construction measurement

Supervisors:

M.Sc. Jaakko Hakala, NCC Suomi Oy

Lecturer Kimmo Illikainen, OAMK

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2017

Pages: 51

This thesis was requested by NCC Suomi Oy. Building information modeling (BIM) and the opportunities it offers, have developed significantly in the past years.

The aim of this study was to find out how the BIM is exploited in construction measurement and then continue to research how the measurement information and pictures can be subsumed back into the model. One of the goals was also finding out which systems and equipment are currently in use at NCC.

Research method was to find out relevant information about BIM and construction measurements from the literature and publications of this field of science. By using the gathered information, the possibilities of compatibility between modeling and measurement were charted. Interviews were used as a base when discovering the best ways to develop the compatibility between BIM and measurement. Interviews were held with professionals, who work with BIM and construction measurement at NCC.

For the best-found developmental subjects, a device manufacturer's demonstration was conducted, which was used to experiment with data modeling, laser scanning, and 360-degree spatial data capture. At the event, it was discovered that direct measurement of the model still requires further research to find a working data format. However, laser scanning was successfully used to collect feedback of the elements already built in the data model.

During the research, it was discovered that most of the developmental topics would need a hardware upgrade, to work properly. Three different devices were selected as replacement devices. These devices were cost-oriented and compared. The best device was Leica MS60 because of the tablet-computer screen and cost.

Keywords: BIM, Building measurement, Laser scanning

ALKULAUSE

Tämä Insinööri työ tehtiin NCC Suomi Oy:n toimeksiannosta. Kiitän työpäällikkö Jaakko Hakalaa NCC Suomi Oy:ltä ja lehtori Kimmo Illikaista Oulun ammattikorkeakoulusta työn ohjauksesta sekä korjaus- ja parannusehdotuksista. Lisäksi haluan kiittää NCC:llä projektissa mukana olleita Sampo Palomaata, Mikko Vahernea sekä Heini Kivirantaa hyödyllisistä neuvoista ja ideoista.

Helsingissä 3.12.2017

Jonne Lahtinen

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
1.1 Tutkimuksen tausta	5
1.2 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet	6
2 TIETOMALLINTAMINEN RAKENNUSHANKKEESSA	7
2.1 Yleistä tietomallinnuksesta	7
2.2 Ohjelmat	9
2.3 Yhdistelmämalli	10
2.3.1 Arkkitehtimalli	11
2.3.2 Rakennemalli	13
2.3.3 Talotekniikkamalli	14
2.4 Tietomallinnuksen nykytilanne NCC:llä	16
3 RAKENUSTYÖMAAN MITTAUSJÄRJESTELMÄT	21
3.1 Perinteiset rakennusmittausvälineet ja -menetelmät	22
3.2 Nykyaikaiset menetelmät	23
3.2.1 Robottitakymetri	24
3.2.2 Satelliittipaikannin	25
3.3 Tulevaisuudessa yleistyvät menetelmät	26
3.3.1 Laserkeilaus	26
3.3.2 Fotogrammetria	29
3.4 Rakennusmittauksen nykytilanne NCC:llä	30
4 KEHITYSAIHEET	32
4.1 Tietomallinnuksen hyödyt rakennusmittaukselle	32
4.2 Rakennusmittauksen palautetieto tietomalliin	35
5 TULOKSET	37
5.1 Kehitysaikojen analysointi	37
5.2 Suositus jatkotoimenpiteiksi	44
6 YHTEENVETO	47
LÄHTEET	50

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on toteutettu NCC Suomi Oy:n toimeksiantona. NCC Suomi Oy on osa ruotsalaisomisteista NCC-konsernia. Se on yksi johtavista rakentamisen, kiinteistökehityksen ja infrastruktuurin yrityksistä Pohjois-Euroopassa. Yrityksen pääasialliset toimimaat ovat Ruotsi, Suomi, Tanska ja Norja. NCC Building rakentaa Suomessa asuntoja, toimitiloja, kouluja, sairaaloita ja urheiluhalleja, sekä myymälä- ja varastotiloja kaupalliselle sektorille. Building onkin NCC:n suurin liiketoiminta-alue.

NCC osallistuu vahvasti rakennusalan kehitykseen Pohjoismaissa ja tekee yhteistyötä useiden eri yliopistoiden kanssa. Se on myös osa monia eurooppalaisia tutkimusverkostoja. Tietomallinnuksen osalta NCC on ollut mukana muun muassa laatimassa tässä tutkimuksessa, sekä muissa aiheesta kertovissa artikkeleissa laajasti lähteenä käytettyjä Yleisiä tietomallivaatimuksia.

1.1 Tutkimuksen tausta

Tietomalli on rakennuksen ja rakennusprosessin tiedoista muodostuva kokonaisuus. Tietomallinnus on kehittynyt viime vuosina kovaa vauhtia ja suunnitteluvaiheessa mallinnus on jo lähestulkoon täysin syrjäyttänyt perinteiset kaksiulotteiset CAD-suunnitteluohjelmat. Myös muissa rakennushankkeen vaiheissa on alettu hyödyntämään laajasti tietomallin tarjoamia mahdollisuuksia.

Rakennusmittaus ei ole kehittynyt samaa vauhtia tietomallinnuksen kanssa. Tällä hetkellä rakennusmittauksessa ei vielä hyödynnetä tietomallin tarjoamia etuja niin laajasti, kuin malli ja mittalaitteet mahdollistaisivat. Tietomalli tarjoaisi rakennusmittaukselle etuja esimerkiksi mittatietojen, sijaintitietojen ja määräluetteloiden osalta.

Tietomallinnusta hyödynnetään NCC:llä laajasti. Tällä hetkellä yrityksen Suomessa rakennettavista uudiskohteista noin 65 prosenttia on jo mallinnettu. NCC:llä tietomallinnusta kehitetään jatkuvasti sen kaikilla eri osa-alueilla.

1.2 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten tietomallinnuksesta saatava tieto on hyödynnettävissä rakennusmittauksessa, ja toisaalta miten mittaustyöstä saadut tarketiedot sekä kuvat saadaan vietyä takaisin tietomalliin. Tutkimuksessa selvitetään myös NCC:llä tällä hetkellä käytössä olevat laitteet ja järjestelmät, sekä hankitaan haastattelujen avulla tietoa, mikä olisi tehokkain tapa mittaustyön ja tietomallin yhteensopivuuden kehittämiseksi. Lisäksi tarkoituksena on selvittää mahdollisten mittauslaitteistopäivitysten tarpeellisuus NCC:lle.

Tutkimuksen tavoitteena on tunnistaa kehityskohteita tietomallinnuksen ja rakennusmittauksen yhteistyön edistämiseksi, priorisoida havaitut aiheet, sekä tehdä käyttökelpoisimmaksi havaitusta aiheesta kustannusvertailu. Tutkimusmenetelmänä käytetään pääasiassa haastatteluja. Haastateltavina olivat NCC Suomi Oy:ssä tietomallin ja rakennusmittauksen parissa työskenteleviä henkilöt. Näiden haastattelujen avulla saadaan kuva siitä, mitä hyötyjä tietomallinnus ja rakennusmittaus toisilleen tarjoavat ja miten esille tulleita menetelmiä voidaan kehittää. Haastattelut toteutettiin loka-marraskuun 2017 aikana. Haastattelut ovat pääasiassa teemahaastatteluja. Teemahaastattelu ei perustu kyselykaavaan, vaan se on keskustelunomainen tilanne, jossa käydään läpi ennalta suunniteltuja teemoja. Siinä teemojen puhumisjärjestys on vapaa, eikä kaikista asioista tarvitse välttämättä keskustella samalla laajuudella.

Opinnäytetyön teoriaosuutta varten tutustaan kirjallisuuteen ja alan julkaisuihin tietomallinnuksesta ja rakennusmittauksesta. Laitte- ja ohjelmistovalmistajien tarjonnan avulla kartoitetaan mallinnuksen ja mittaustyön yhdistämisen mahdollisuuksia. Teorialähteenä käytetään myös haastatteluista saatua tietoa. Työssä käytetyn teorian havainnollistamiseksi käytetään NCC:n rakentaman Fredriksberg-toimistorakennuksen tietomallia.

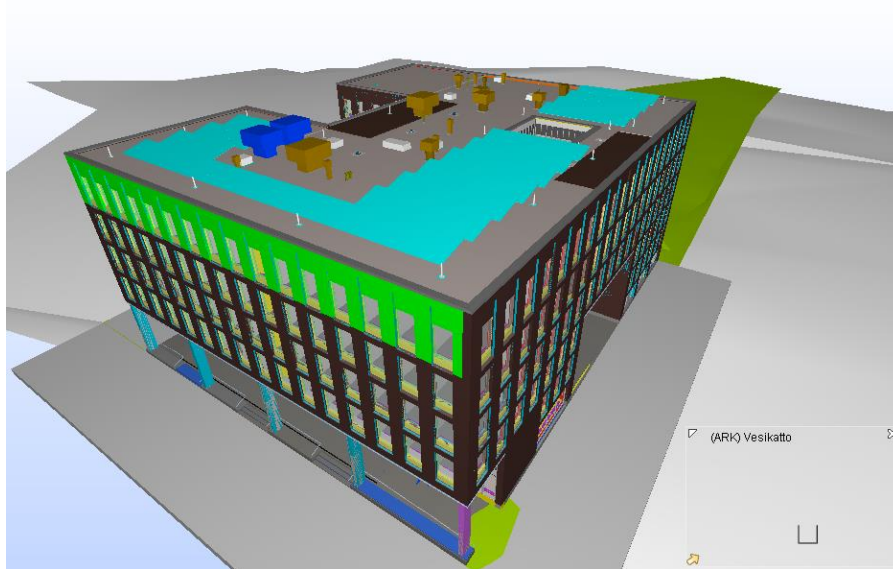
Tutkittavista aiheista järjestettiin esittelytilaisuus, jossa kokeiltiin tämän työn perusteella parhaaksi todettuja kehitysaiheita. Kehitysaiheiden pohjalta kartoitettiin niistä NCC:lle aiheuttavat kustannukset ja koottiin kehitysaiheisiin pohjautuva jatkotoimenpidesuunnitelma.

2 TIETOMALLINTAMINEN RAKENNUSHANKKEESSA

2.1 Yleistä tietomallinnuksesta

Puhuttaessa tietomallinnuksesta rakennusteollisuuden yhteydessä käytetään usein sanaa BIM (Building Information Modeling). Tällä tarkoitetaan suunnitelmista luotua, todellisuutta vastaavaa kolmiulotteista 3D-virtuaalimallia. Kaikki 3D-mallit eivät kuitenkaan ole tietomalleja. Tavallinen mallinnusohjelmalla toteutettu 3D-malli sisältää myös tietoa, mutta tietomallissa tieto on järjestelmällistä ja tarkoituksenmukaista. (10, s. 15.)

Sana tietomalli voidaan jakaa kahteen erilliseen sanaan: tieto sekä malli. Tiedolla tarkoitetaan, että objektit sisältävät mittatietojensa (pituus, paksuus ja korkeus) lisäksi paljon muutakin tietoa. Tämä tieto voi olla esimerkiksi seinän rakennekerrokset, tekniset arvot tai sen sijainti on koordinaatistossa. Mallinnukseen käytettävät ohjelmat ymmärtävätkin perinteisistä viivapiirustusohjelmista poiketen seinän seinänä, eikä vain viivana. Sanalla malli taas tarkoitetaan 3D-mallintamista. Kolmiulotteisuus eli 3D mahdollistaa paljon asioita, kuten törmäystarkastelun, joita ei perinteisen 2D-suunnittelun pohjalta ole pystytty tekemään. Suunnittelun osalta tämä tarkoittaa, että piirustukset tehdään erilaisia komponentteja yhdistelemällä, eikä vain viivoja piirtämällä. Tietomalli on siis kuin palapeli, joka koostuu erilaisista kappaleista. Kuvassa 1 tarkastellaan NCC:n Fredriksberg-toimistorakennuksen ulkoseinää US1. (10, s. 12-14, 70.)



KUVA 1. NCC Fredriksberg-tietomalli (Kuva Jonne Lahtinen)

Kun kyseisen seinän valitsee tietomallista, siitä saadaan erilaista informaatiota, kuten paikkatietoja, rakenne, ynnä muuta. Tätä havainnollistetaan alla kuvassa 2. Tämän kaltaisia listauksia pystytään tallentamaan tietomallista myös Excel-tiedostoiksi.

Info									
(ARK) Seinä. 7.39									
Identiteetti	Sijainti	Ilmoitukset	Määrä	Materiaali	Profilii	Relaatiot	Luokittelu	Hyperlinkit	NCC
Ominaisuus	Arvo								
INFO_Category	Walls								
INFO_Core Material	Betoni								
INFO_Description	US1 KUJDES KERROS								
INFO_Family	Basic Wall								
INFO_GUID	00kMIEWATFg8_hBXxl2r9w								
INFO_Model Discipline	Architectural Model								
INFO_Model Name	ARK_FREDRIKSBERG.ifc								
INFO_Name	US1								
INFO_Object Class	Wall								
INFO_RenovationStatus	Uusi rakenne								
INFO_Structure	M23.121 Julkisivutilet, poltetut-M - ilmapäli-M27.1000 Lämmö...								
INFO_Talo2000	1241								
INFO_Talo80	55_ARK_Ulkoseinien pintarakenteet								
INFO_Time Stamp	2017-06-16T14:08:20								
LOC3_Section	Etelä								
LOC8_Floor NCC	6								
LOC_Floor	6								
QTY_Area Side Largest Gross	236,69 m2								
QTY_Area Side Largest Net	145,72 m2								
QTY_Height	4,88 m								
QTY_Length	44,25 m								
QTY_Thickness	542 mm								

KUVA 2. NCC Fredriksberg-tietomalli (kuva Jonne Lahtinen)

Tietomallit tukevat rakennuksen ja rakentamisen suunnittelua. Niiden avulla mahdollistetaan parempi analytiikka ja projektinhallinta perinteisiin menetelmiin verrattuna. Tietomallinnuksen avulla pystytään myös kokeilemaan erilaisia suunnitteluratkaisuja jo ennen rakentamisen alkua. Muutoksia onkin huomattavasti helpompi tehdä tietokoneen näytöllä kuin työmaalla. Mallien tuomaa tietoa voidaan hyödyntää rakentamisessa, osien valmistuksessa sekä hankintojen tekemisessä. 3D-mallia käytetään myös laajasti rakennusliikkeen ja asiakkaan välisessä kanssakäymisessä. Perinteiset 2D-suunnitelmat ja rakennusaikataulut voivat olla alaa tuntemattomalle hyvin hankalia ymmärtää, mistä johtuen asiakas saa harvoin kommentoitua haluamiaan muutoksia niihin. Sen sijaan virtuaaliset 3D-mallit ja 4D-animaatiot tekevät suunnitelmista helpommin tulkittavia ja näin maallikkokin pystyy niistä ymmärtämään, miltä valmis rakennus tulee näyttämään. Tietomalli onkin tällä hetkellä yksi rakennusalalla eniten kehittyvistä osa-alueista. (9, s. 6; 11; 12.)

Tietomallinnuksella on useita eri ulottuvuuksia: 3D-, 4D- ja 5D-mallinnus. 3D-malli on edellä mainittu tietomalli, jonka ulottuvuudet ovat korkeus, pituus ja leveys. 4D-mallinnukseen on lisätty uusi ulottuvuus, aikataulu. Tällä tarkoitetaan rakennusaikataulusta tehtyä simulaatiomallia, joka on luotu tietomallin pohjalta. Yleisesti 4D-mallinnusta käytetään hyödyksi rakennuksen runko-osien aikatauluttamiseen ja työjärjestyksen suunnitteluun sekä visualisointiin. 5D-mallinnuksessa lisätty ulottuvuus on kustannukset. Tämän avulla voidaan ennustaa rakentamisen, suunnittelun ja käytön kustannuksia. Malliin pohjautuvan kustannuslaskennan etuna onkin, että sen avulla laskettaessa ei jää niin helposti asioita huomioimatta. (9, s. 8, 23; 14, s. 7.)

2.2 Ohjelmat

Tietomallien tekemiseen on tarjolla suuri määrä erilaisia ohjelmia. Ohjelmien perusvaatimuksena voidaan pitää sitä, että ohjelmasta voidaan tallentaa tiedosto IFC-muotoiseen avoimen tiedonsiirron malliin. (5, s. 6; 10, s. 39-41.)

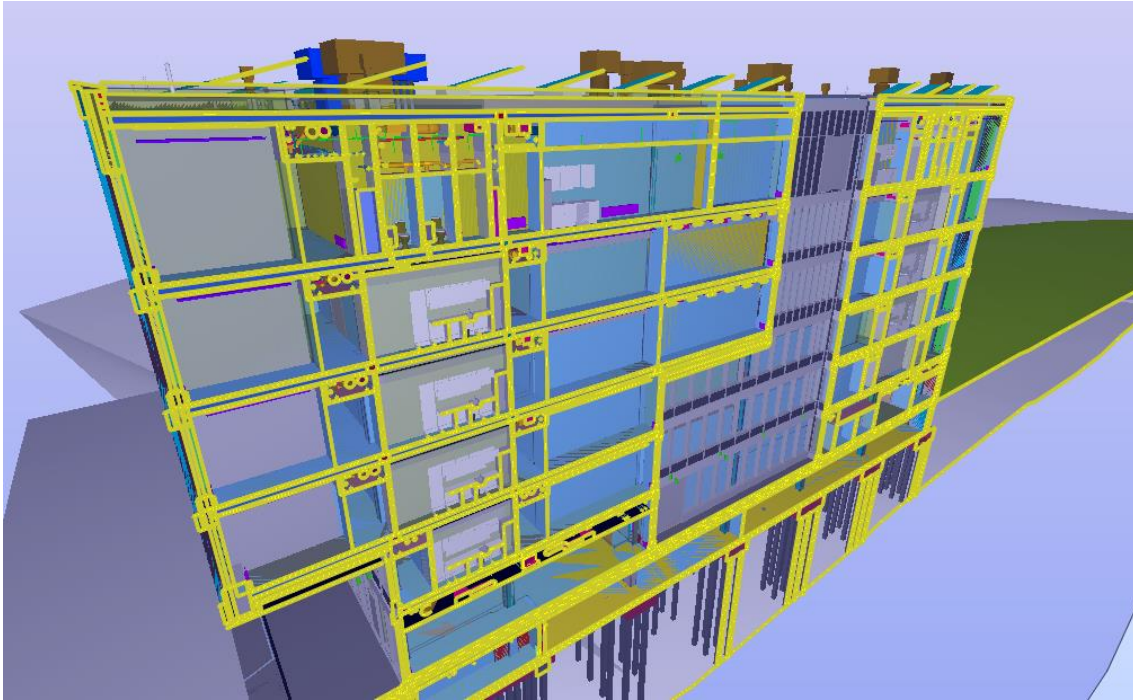
IFC-yhteensopivia ohjelmistoja ovat esimerkiksi:

- arkkitehtisuunnittelu: ArchiCAD, Revit Architecture, CADS
- rakennesuunnittelu: Tekla Structures, Revit Structure
- talotekniikka: MagiCAD, CADS.

IFC-muotoon tallennettuja malleja pystytään käyttämään ja niistä saadaan hankittua informaatiota siihen tarkoitetuilla katseluohjelmilla. Ohjelmistoja tähän tarkoitukseen on useita. Monet ohjelmistovalmistajat tarjoavat katseluohjelmista ilmaisversion sekä kattavamman maksullisen version. Ilmaisversioilla pystytään usein vain mallin ulkoiseen katseluun. Maksullisista ohjelmista löytyy yleisesti paljon enemmän ominaisuuksia liittyen muun muassa mallin analysointiin, informaation talteenottoon ja laadunvarmistukseen. Esimerkkejä IFC-mallien 3D-katseluohjelmistoista ovat: Autodesk Navisworks, Tekla BIMsight ja Solibri Model-Checker (10, s. 42-45.)

2.3 Yhdistelmämalli

Yhdistelmämalli on katseluohjelmilla koottu yhdistelmä useiden eri suunnittelualojen IFC-muotoon käännettyistä tietomalleista. Yhdistelmämalli voi koostua esimerkiksi arkkitehti-, rakenne- ja talotekniikkamalleista. Yhdistelmämalli palvelee esimerkiksi taloteknisissä törmäystarkasteluissa ja yhteensopivuuden varmistuksessa. Yhdistelmämallia käytetään usein myös viestintäkanavana eri suunnittelualojen välillä. Viestintä katseluohjelmien välityksellä onkin vaivatonta, sillä niiden avulla suunnittelijan on mahdollista nähdä virhe suoraan mallista, eikä sen etsimiseen kulu turhaa aikaa. Kuvassa 3 esimerkki yhdistelmämallista. (10, s. 18-22.)

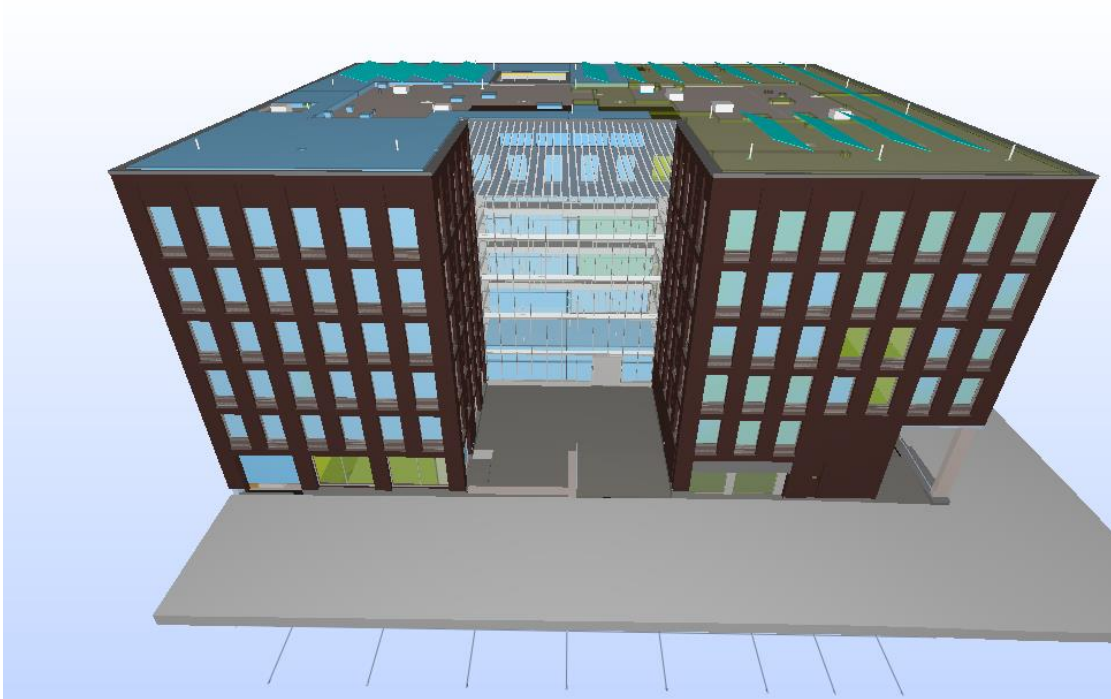


KUVA 3. NCC Fredriksberg-yhdistelmämalli (kuva Jonne Lahtinen)

Yhdistelmämalli on myös rakennuksen tuotantovaiheessa erityisen hyödyllinen, sillä sen avulla on helppo oppia havainnoimaan asioita ja ottamaan talteen informaatiota hyvin pienellä harjoittelulla tai koulutuksella. Yhdistelmämallin tarkkuuden tulisi olla sillä tasolla, että sen perusteella voitaisiin tehdä myös asennustöitä. Asennustöiden avuksi mallista saa helposti kuvankaappauksin ulos hyvin havainnollisia, mitoilla varustettuja suunnitelmia. (10, s. 42-44.)

2.3.1 Arkkitehtimalli

Arkkitehtimalli toimii yleensä pohjana kaikelle muulle mallinnukselle sekä suunnittelulle. Siksi on hyvin tärkeää, että se on tehty tarkasti ja teknisesti oikein. Tämä korostuu, sillä tietoa siirrettäessä muihin ohjelmistoihin tulee mallissa säilyä rakennusosan sijainti, nimi, tyyppi, geometria ja muut tekniset tiedot. Arkkitehti nimeää yleensä mallissa käyttämänsä objektit talo 2000- tai talo 80 -nimikkeistön mukaisesti. Arkkitehtimallissa erotellaan myös rakennuksen lohko- ja kerrosjako. Esimerkki arkkitehtimallista näkyy kuvassa 4. (6, s. 5.)



KUVA 4. NCC Fredriksberg-arkkitehtimalli (kuva Jonne Lahtinen)

Arkkitehti määrittelee mallia tehdessään projektille projektikoordinaatiston yleisesti siten, että koko rakennusalue on positiivisessa koordinaatistossa ja origo sijaitsee lähellä rakennusta. Yleinen mallinnusohje suosittaa, että suunnittelua ei tehtäisi kunnan koordinaatistossa, koska tämä voi aiheuttaa ongelmia joillekin suunnitteluohjelmistoille. Suunnittelu on kuitenkin mahdollista tehdä sovitussa koordinaatistossa, joka voi helpottaa esimerkiksi mittamiehen työskentelyä. (6, s. 5-6.)

Arkkitehtimallia käytetään hyödyksi projektin kaikissa vaiheissa ja siitä pystytään helposti ottamaan muun muassa hankinnan avuksi määräluetteloita. Vastuu rakennetyyppien määrittämisestä arkkitehtimalliin jakautuu rakennesuunnittelijan ja arkkitehdin kesken. Yleisesti ottaen arkkitehti kuitenkin mallintaa vain näkyviä pintoja siten että rakenteiden ulkomitat ovat oikeat. (6, s. 7.)

Arkkitehtimallin teko jaetaan useaan eri vaiheeseen, joiden tarkkuustaso lisääntyy prosessin edetessä. Vaiheet voidaan jakaa seuraavasti: (10, s. 19.)

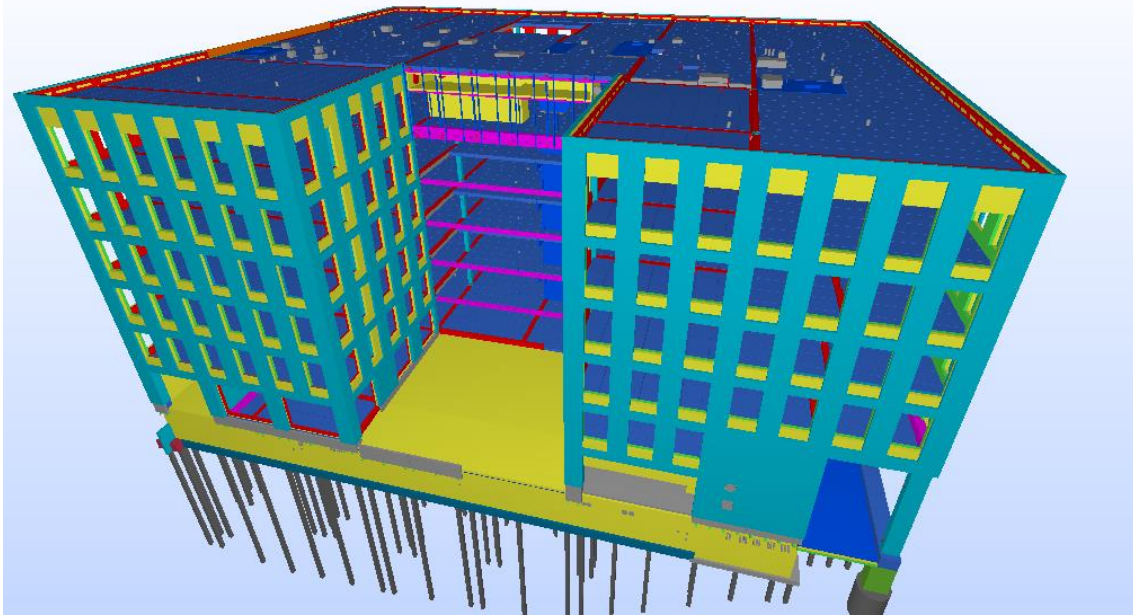
- inventointimalli
- tilamalli
- rakennusosamalli
- as-build-malli
- ylläpitomalli.

2.3.2 Rakennemalli

Rakennemalli on rakennesuunnittelijan tekemä suunnitelmamalli. Rakennemalliin tulee mallintaa kaikki kantavat rakenteet ja ei-kantavat betonirakenteet. Lisäksi kaikki tilaa vievät rakennustuotteet, joilla voi olla merkitystä muuhun suunnitteluun on mallinnettava. Käytännössä rakennemalli onkin rakennuksen runko. Rakennesuunnitelmien tekoon osallistuu tyypillisesti useita suunnittelijoita. Tietojen siirron koordinoinnista yhteen rakennemalliin vastaa päärakennesuunnittelija (8, s. 6; 13, s. 27.)

Rakennemallinnussuunnittelu parantaa suunnitelmien laatua. Mallinnusohjelmista löytyvien tarkistustyökalujen avulla voidaan myös pienentää merkittävästi mahdollisten virheiden määrää. Mallinnus helpottaa myös yhteistyötä arkkitehti- ja taloteknisensuunnittelun kanssa. (13. s. 15-16.)

Rakennemalli sisältää paljon hyvin yksityiskohtaista tietoa, jonka vieminen yhdistelmämalliin ei ole hyödyllistä, koska silloin tiedostokoko kasvaisi turhaan suureksi ja käytettävyys kärsisi. Yhdistelmämalliin voidaan kuitenkin laittaa kyseisten rakenteiden kohdalle linkki, joka vie detailjipiirustukseen. Mallin tarkkuus tuleekin sopia aina projektikohtaisesti. Näin määritellään asiat, jotka mallissa tulee näkyä. Esimerkki rakennemallista näkyy kuvassa 5. (13, s. 26-27.)



KUVA 5. NCC Fredriksberg-rakennemalli (kuva Jonne Lahtinen)

Tyypillisiä asioita, jotka esitetään ainoastaan rakennemallissa ovat esimerkiksi:

- betonirakenteiden raudoitukset
- betonirakenteiden liitososat
- puurakenteiden liitososat
- metallirakenteiden liitososat ja mutterit
- jännebetonirakenteiden punostiedot
- nostoelimet yms.
- rakenneosien mitoitusmalli
- elementtien tiedot
- rakennuksen perustukset.

2.3.3 Talotekniikkamalli

Taloteknisiä malleja on useita erilaisia. Usein mallinnettavia suunnittelualoja ovat ainakin sähkö-, sprinkler-, ja LVI-suunnittelu. Mallien tekemiseen osallistuukin suuri määrä useiden eri alojen suunnittelijoita. Talotekniikkamalleista käytetään lyhennettä TATE-malli. (7, s. 7.)

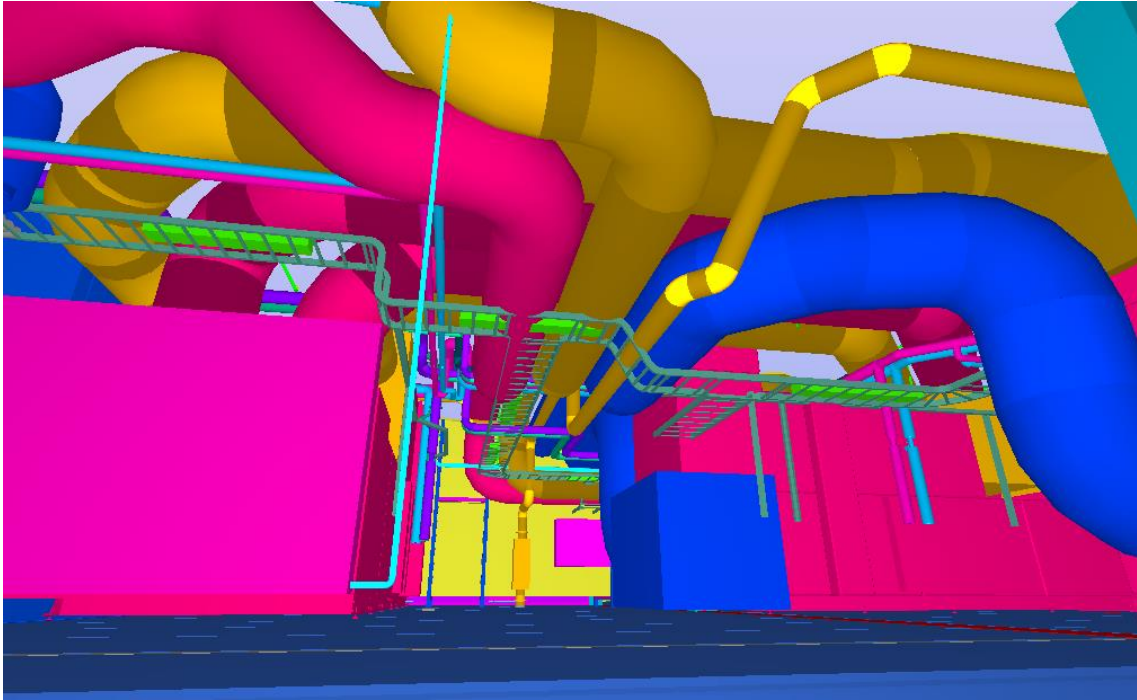
TATE-mallinnus tehdään yleisesti kaksivaiheisena. Ensimmäinen vaihe on ehdotus- ja yleissuunnitteluvaihe. Sen tavoitteena on tuottaa riittävät tiedot arkkitehti- ja rakennemallin tekemiseksi. Toinen vaihe on toteutussuunnittelu, jossa tehdään koko rakennuksen kattavat järjestelmämallit. Järjestelmämalleissa mallinnetaan rakennukseen tulevat talotekniset järjestelmät kattavasti sekä kokeillaan niiden toimivuutta. (7, s. 7.)

Taloteknisessä suunnittelussa tietomallinnuksen tuomat mahdollisuudet ovat hyvin suuret. TATE-mallit ovat laskennallisia malleja eli niiden avulla pystytään tekemään erilaisia simuloitteja ja analyysejä, kuten esimerkiksi:

- energia ja olosuhdesimuloinnit
- virtaussimulointi
- talotekniikan elinkaarikustannusten analyysi
- ympäristövaikutusanalyysi
- valaistuslaskenta ja -visualisointi
- valaistussimulointi.

Edellä mainittujen analyysien ja simulointien avulla pystytään havainnoimaan suunnitteluratkaisujen vaikutus ja yhteensopivuus arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan käyttämien ratkaisujen kesken. Esimerkiksi virtaussimulointien avulla pystytään selvittämään tilan lämpötilaolosuhteisiin sekä ilman laatuun, kosteuteen, hiilidioksiditasoon ja muihin sisäilmaolosuhteisiin vaikuttavia tekijöitä. Aikaisemmin käytetyssä 2D-suunnittelussa nämä vertailut perustuivat usein pelkästään suunnittelijoiden kokemuksiin edellisistä kohteista, joten virheiden mahdollisuus oli paljon suurempi. (7, s. 36; 16, s 3-7.)

3D-mallinnus mahdollistaa talotekniikassa myös kattavat törmäystarkastelumahdollisuudet. Järjestelmien ja suunnittelualojen väliset törmäilyt jäivät aikaisemmin helposti huomaamatta, ja tämä aiheutti vaivaa sekä kustannuksia rakennusvaiheessa. Nykyisin nämä virheet saadaan poistettua jo tietokoneen näytöllä. Esimerkki talotekniikkamallista näkyy kuvassa 6. (7, s. 36; 16, s 3-7.)



KUVA 6. NCC Fredrigsberg-talotekniikkamalli (kuva Jonne Lahtinen)

2.4 Tietomallinnuksen nykytilanne NCC:llä

Tietomallinnusta käytetään apuna kaikissa NCC:n suurissa rakennusprojekteissa. NCC ei itse tee mallinnuksia lukuun ottamatta aluesuunnitelmia ja puotamissuojaussuunnitelmia. Mallinnuksen tekevät yleisesti suunnittelutoimistot, joiden suunnitteluprosessia NCC johtaa. Päätös hankkeen mallinnuksesta ja sen laajuudesta perustuu usein tilaajan vaatimuksiin ja projektin haastavuuteen.

NCC:n tapa toimia tietomallinnusta hyödyntävissä projekteissa perustuu Stanfordin yliopiston kehittämään VDC-malliin (Virtual Design Construction). VDC on menetelmämalli, jota käytetään projektin organisoimiseen, tiedon hallintaan ja projektihenkilöiden työskentelytavan ohjaamiseen. VDC:n perusajatuksena on, että hankkeiden tiedonkulku on mahdollisimman sujuvaa. Sana "VDC" voidaan jakaa kuvan 7 mukaisesti seuraaviin erillisiin osa-alueisiin: yhteistyö, prosessi, toiminnan mittarit sekä tietomallit ja BIM. (9, s. 3.)



KUVA 7. VDC:n osa-alueet (kuva NCC Suomi Oy)

Yhteistyöllä tarkoitetaan tavoitteiden toteutumisen seuranta ja suunnitelmien laadunvarmistusta. Se toteutetaan järjestämällä projektin aikatauluun ja vaiheisiin sidottuja suunnitelmakatselmuksia. Tietomallien visuaalisuuden ja erilaisten analyysien avulla mahdollistetaan kaikkien projektin osapuolten osallistuminen päätöksentekoon yhdenvertaisesti. (15.)

Prosessilla tarkoitetaan projektin tavoitteiden määrittelemistä selkeästi tietomallinnuksen osalta. NCC:llä kehitetyt toimintatavat varmistavat tavoitteiden toteutumisen. NCC:llä on oma VDC-tiimi, joka tarjoaa ohjeistusta sekä tukea projektin kaikille osapuolille. (15.)

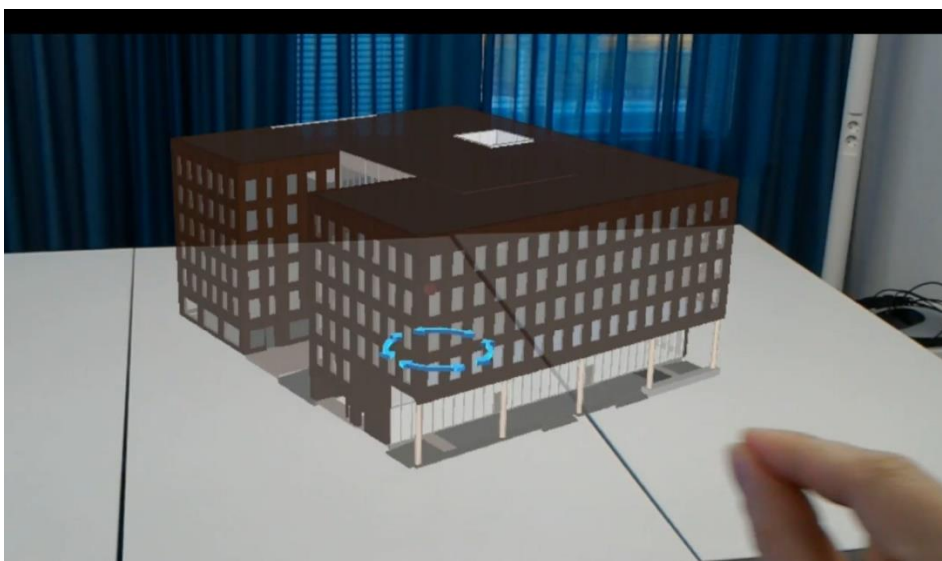
Tietomallilla ja BIM:llä tarkoitetaan mallin hyödyntämistä. Tietomalleja käytetään useissa eri tehtävissä projektin aikana. Esimerkkejä käyttötavoista kussakin projektin vaiheessa ovat:

- hankesuunnittelu
 - o kohteeseen ja suunnitelmiin perehtyminen
 - o visualisoinnit ja rakennusmassan alustava asettelu tontille SketchUpilla.
 - o tiedonhaku tarjousvaihetta varten
 - o työmaatoteutuksen alustava suunnittelu
- tarjouslaskenta
 - o määrätietojen kasaaminen suunnitellussa laajuudessa
 - o 5D-mallinnus
- rakennussuunnittelu
 - o suunnittelun ohjaaminen ja yhteensovitus
 - o suunnitelmien havainnollistaminen tilaajalle
 - o käyttäjäyhteistyö, käyttäjäpalautteen kerääminen visualisointien avulla
 - o 3D-työmaasuunnitelma
 - o tuotannon alustava suunnittelu visualisoinnin ja tuotantomallista saatujen määrien avulla
- tuotanto
 - o aikataulutus
 - o työjärjestyksen laatiminen
 - o aluesuunnitelmat / työmaa-alueen käyttö
 - o työturvallisuussuunnittelu
 - o rakennettavuuden tarkastelu
 - o asennusjärjestyksen ohjaaminen
 - o ongelmakohtien tarkastelu
 - o toteutuskuvien hankkiminen
 - o työnjohtajien ja urakoitsijoiden työsuunnittelu yhdistelmä mallin avulla
 - o VDC-työpiste urakoitsijoille ja urakoitsijoiden yhteensovituspalaverit
- käyttöönnotossa
 - o ylläpitomalli / as-build-malli.

VDC-tiimi antaa tukea mallien käytön jokaisessa vaiheessa, jotta niiden käyttö olisi mahdollisimman tehokasta. Tiimi muun muassa kokoaa yhdistelmämallin eri suunnittelijoiden IFC-muotoon tuoduista malleista ja päivittää sen viikoittain koko hankkeen ajan. NCC järjestää koulutusta kaikille projektin osapuolille mallin käyttöön liittyen. Useilla NCC:n työmailla työmaatoimistoon on järjestetty VDC-työskentelypiste, jossa myös aliurakoitsijat pääsevät käyttämään tietomallia. Tietomallista he voivat havainnollistaa ongelmakohtia tai tulostaa itselleen mittatiedoilla varustettuja suunnitelmia kuvakaappaustoiminnolla. (15.)

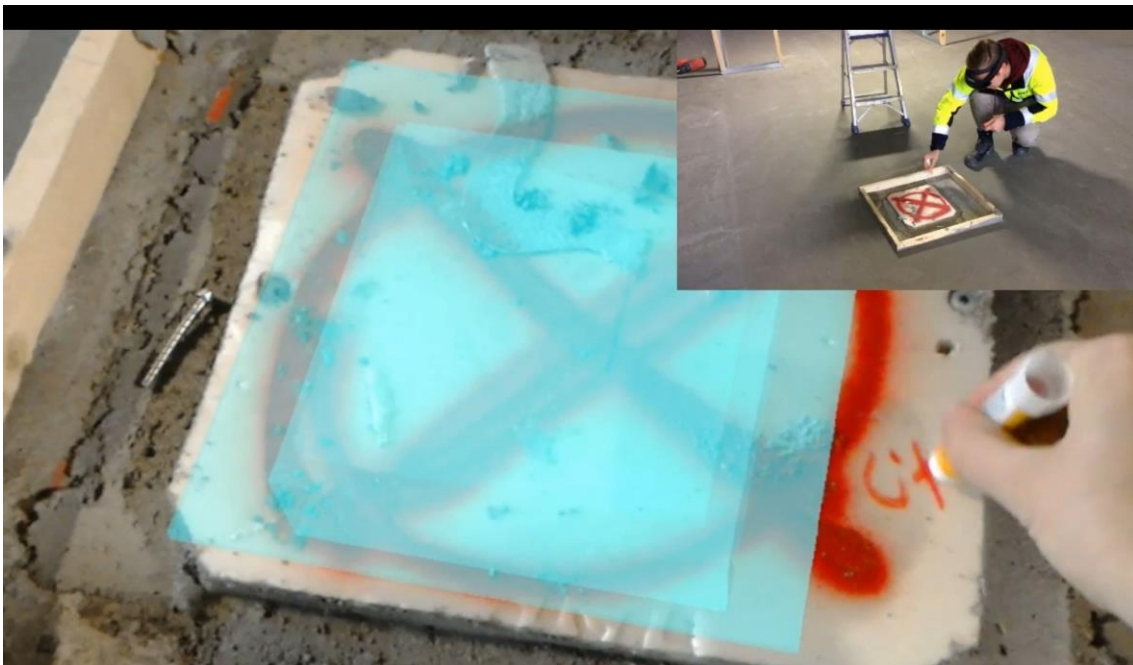
Toiminnan mittareilla tarkoitetaan menetelmiä, joilla voidaan seurata projektiryhmän toiminnan tehokkuutta tai vaikkapa vertailla erilaisia suunnitelmavaihtoehtoja. Mittaustuloksista saadun datan ja analyysien perusteella vertaillaan vaihtoehtoja, tehdään päätöksiä ja kehitetään prosessia. (15.)

NCC on tällä hetkellä kehittämässä myös VR- ja AR-järjestelmiä. VR-järjestelmillä tarkoitetaan virtuaalitodellisuutta hyödyntäviä laitteita. Virtuaalilasien avulla pystytään näyttämään esimerkiksi valmiita rakennuksia ja sen sisätiloja todellisen näköisinä, vaikka ne ovat vasta suunnittelupöydällä. Tämä voi auttaa asiakasta havainnoimaan suunnitelmia eri tavalla, kuin tietokoneen näytöltä. Alla olevassa kuvassa 8 tarkastellaan Fredriksberg-toimistorakennusta virtuaalitodellisuudessa. (15.)



KUVA 8. NCC Fredriksberg-toimistorakennuksen virtuaalinäkymä (kuva NCC Suomi Oy)

AR-järjestelmillä tarkoitetaan lisättyä todellisuutta hyödyntäviä järjestelmiä. Tällaisia järjestelmiä ovat esimerkiksi Hololens-lasit ja Dalux-mobiilisovellus. AR-järjestelmään syötetään IFC- tai SketchUp-malleja. Järjestelmää hyödyntävät Hololens-lasit ovat älylasit, joiden avulla voidaan heijastaa tosimaailman päälle hologrammeja. Dalux-sovellusta taas käytetään puhelimella. Puhelinta osoittamalla esimerkiksi seinää kohti käyttäjä näkee puhelimen kameran välityksellä seinän, sekä siihen lisättyinä halutut kappaleet. Lisätyt kappaleet voivat olla esimerkiksi talotekniset suunnitelmat. Tämän uskotaan tulevaisuudessa mahdollistavan paljon uusia asioita muun muassa rakennusmittaukseen. Alla olevassa kuvassa 9 työntekijä mittaa läpivientireiän sijaintia lisättyä todellisuutta apuna käyttäen. (15.)



Kuva 9. Läpivientireiän sijainti Hololens-laseilla katsottuna (kuva NCC Suomi Oy)

3 RAKENUSTYÖMAAN MITTAUSJÄRJESTELMÄT

Rakennusmittauksella tarkoitetaan rakennettavassa maastossa tai rakennustyömailla tehtäviä runko-, maastomalli-, merkintä- ja kartoitusmittauksia sekä niissä käytettäviä mittauslaitteita ja -menetelmiä. Rakennusmittaus käyttää apunaan rakennusteknisissä suunnitelmissa esiintyviä tarkkoja mittatietoja. (1, s. XII, 5.)

Rakennusmittauksen tavoitteena on ympäristön kohteiden taso- ja korkeussijainnin määrittäminen. Tämä saadaan aikaan erilaisten geodeettisten mittausmenetelmien avulla. Mittausmenetelmällä tarkoitetaan loogista ratkaisutapaa, jolla mitatuista suureista päästään määritettäviin suureisiin. Mittausmenetelmät voivat olla joko suoria tai välillisiä menetelmiä. Suoralla menetelmällä tarkoitetaan sitä, että lopputulos voidaan havaita suoraan mittauksesta. Välillisellä menetelmällä saadut tulokset taas joudutaan johtamaan laskemalla tunnetuista suureista ja havainnoista. (1, s. 14.)

Geodeettiset mittausmenetelmät on yleisesti jaoteltu kahteen eri ryhmään: 1) menetelmät, joilla määritellään mitattavan pisteen tasosijaintia ja 2) menetelmät, joita käytetään korkeussijainnin määrittämiseen. Syy tällaiseen jaotteluun on ensinnäkin se, että tasosijainti esitetään koordinaatteina, joiden määrittelyn taustalla on maan muodon matemaattinen kuvaaminen. Sen sijaan korkeuksien vertailutaso on fyysikaalinen pinta, painovoiman samanarvopinta eli goidi, joka yhtyy tietyn ajankohdan merenpinnan korkeuteen. Tämä tarkoittaa, että koordinaateilla ja korkeuksilla on periaatteellisesti erilainen vertailukohta. Toisaalta jaottelu koordinaatti- ja korkeusmittauksiin perustuu mittauskojeiden rakenteeseen, mittauksen matemaattisen mallintamisen tarpeisiin, perinteisiin ja kehityshistoriaan. (1, s. 14-15.)

Nykyisin mittaustekniikan selkeä jaottelu korkeussuunnassa ja koordinaatein tapahtuvaan mittaukseen on hieman hämärtynyt, erityisesti mittauksen suorittamisen tasolla. Esimerkiksi nykyaikaisella robottitakymetrillä tai satelliittimittauksella mitattaessa syntyy helposti kuva, että mittauksissa havaitaan ja käsitellään suo-

raan koordinaatteja. Kun mittausmenetelmiä tarkastellaan laskennan näkökulmasta, on kuitenkin usein välttämätöntä, että mittaus jaotellaan taso- ja korkeus-sijainnin välillä. (1, s. 15.)

Mittauksessa käytetään termiä ”mitattavat suureet”. Suureella tarkoitetaan ilmiön tai kappaleen ominaisuutta, joka voidaan tunnistaa sekä mitata. Rakennusmittauksessa yleisimmin käytettävät suureet ovat pituus ja kulma. Yleisesti mittaukseen käytettävät suureet ovat geometrian perusasioita, joista voidaan laatia luettelo:

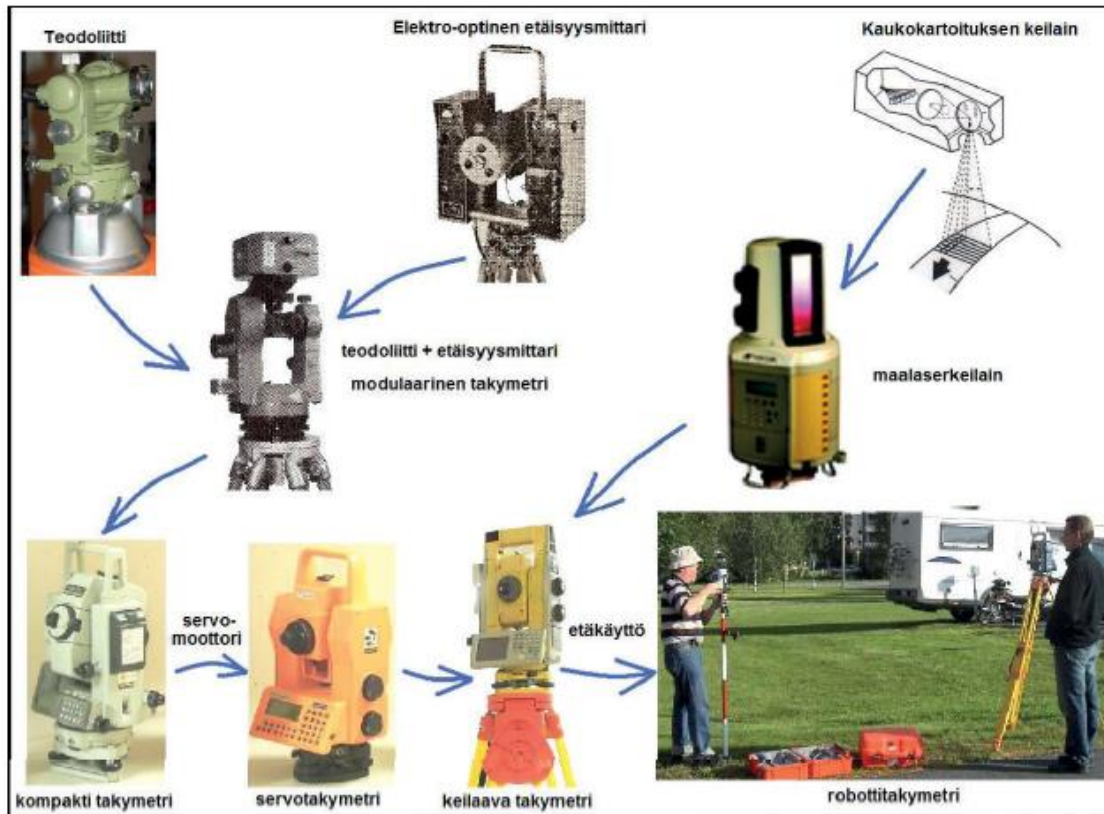
- perussuureet pituus ja kulma
- suunta
- tasosijainti
- korkeusero
- korkeussijainti
- vaakasuoruus
- pystysuoruus
- kohtisuoruus
- yhdensuuntaisuus
- kappaleen tai pinnan muoto
- pinta-ala
- tilavuus.

Edellä mainituista suureista pituus ja kulma voidaan mitata suoraan. Muiden mittaus yleisesti ottaen tapahtuu välillisten mittausmenetelmien avulla. (1, s. 14-15.)

3.1 Perinteiset rakennusmittausvälineet ja -menetelmät

Vielä 70-luvulla rakennusmittauksessa käytettiin nykyisiin menetelmiin nähden hyvin alkeellisia laitteita. Tähän aikaan mittaukseen käytettiin yleisesti teodoliittikaukoputkea. Kehitys alkoi kuitenkin edetä kovaa vauhtia 70-luvulla ja teodoliitin kaukoputken päälle ilmestyi etäisyysmittari, jolloin käyttöön tuli modulaarisia takymetrejä. Sana takymetri juontaa juurensa kreikan kielestä, ja sillä viitataan etäisyyden mittaamiseen. Tämä tarkoitti sitä, että kulmanmittauskoje ja elektro-optinen etäisyysmittari olivat erillisiä laitteita. Takymetrit yleistyivät 80-luvulla ja niissä

etäisyysmittari oli kiinteä osa kulmanmittauskojetta. Tähän aikaan kuitenkin takymetrit olivat paljon nykyistä kehittymättömpiä. Niiden käyttö vaati myös huomattavan määrän opiskelua. Takymetrioiden liikkeen hallinta alkoi automatisoitua 90-luvulla. Tämä aiheutti sen, että takymetreja voitiin alkaa etäkäyttää. Etäkäytettäviä takymetreja kutsutaan robottitakymetriksi. Takymetrin kehitystä tarkastellaan kuvassa 9. (1, s. 275.)



KUVA 9. Takymetrin kehitysvaiheita 1950-luvulta nykypäivään (5, s. 274)

3.2 Nykyaikaiset menetelmät

Viime vuosikymmenten aikana rakennusmittaus on kehittynyt nopeasti. Vuosikymmeniä käytössä olleista menetelmistä on nopeasti siirrytty moderneihin elektronisiin menetelmiin. Mittaustyö itsessään on siirtynyt yhä enemmän toimistosta käsin tehtäväksi. (1, s. 3.)

Nykyaikaisista mittalaitteista tärkeimmät ovat takymetri ja satelliittipaikannin. Takymetri on laite, jolla mitataan suuntia (vaaka- ja pystykulmia) sekä etäisyyksiä.

Satelliittipaikantimella mitataan etäisyyksiä satelliitteihin tai muihin satelliittipaikantimiin. Muita tärkeitä mittalaitteita tällä hetkellä ovat tasolaser ja pistelaser, joita pystytään käyttämään nopeasti pienempiin mittauksiin. Kuitenkaan vanhoja mittausmenetelmiä, kuten mittanauhaa, ei olla pystytty täysin korvaamaan teknologian kehityksen myötä. (1, s.207, 237,279.)

3.2.1 Robottitakymetri

Robottitakymetri on maasto- ja rakennusmittausten yleistyökalu. Se on elektrooptinen koje, jossa on sisällä myös tietokone tai siihen voidaan liittää maastotalentimeksi kutsuttu maastotietokone. Takymetrissa on ominaisuuksia, joilla voidaan mittaustilanteessa käsitellä sijaintitietoa tai tehdä muita välillisiä mittauksia. Takymetrin yksi suuri etu on, että sillä mittaaja pystyy tekemään suurimman osan mittauksista yksin. (1, s.16, 238, 275.)

Nykyisten robottitakymetriä yleistyessä mittamiesten työmenetelmät ovat muuttumassa. Perinteisesti mittauksen lähtökohtana on ollut, että mittamies on harkinnut, mitä tulee mitata ja mitannut kohteesta yksittäisiä pisteitä sekä yhdistellyt niitä viivoiksi, alueiksi ja pinnoiksi. Nykytekniikka mahdollistaa koko kohteen kattamista niin sanottujen mittauspisteiden pilvellä. Mittaukset on mahdollista tehdä automaattisesti ja katsoa jälkikäteen, mitä mittauksista saadaan irti tulkitsemalla ja mallintamalla kohde tietotekniikan tarjoamin keinoin. Nykyinen robottitakymetri (kuva 10) onkin monipuolinen laite. Se voi parhaillaan olla automaattisesti toimiva servotakymetri, etäkäyttöinen mittauskoje, maastotietokone, oheislaitteiden ja tietoverkkojen kanssa kommunikoiva laite, digitaalinen kamera, satelliittipaikantimen kanssa yhteiskäyttöinen koje sekä maalaserkeilain. (1, s. 275-278.)



KUVA 10. Trimble S9HP -robottitakymetri ja Trimble R10 GNSS -satelliittipaikannin (17)

Mittaaminen takymetrilla tapahtuu siten, että kohteesta tehdään tietokoneella sähköinen mittaussuunnitelma, johon tiedot kootaan työkuvista tai sähköisesti suoraan suunnittelusta. Seuraavaksi mittapisteet siirretään mittalaitteelle. Mittauksen jälkeen tarketiedot palautetaan sähköisessä muodossa suunnitteluun. (2, s.184.)

3.2.2 Satelliittipaikannin

Satelliittimittaus on tällä hetkellä yksi tärkeimpiä rakennustyömailla, ja etenkin maastossa toteutettavien mittausten menetelmiä. Nykyaikaisilla satelliittimittauslaitteilla pystytään määrittämään kohteiden sijainti muutamien senttimetrien, jopa millimetrin tarkkuudella. Tähän tarkkuuteen ei kuitenkaan päästä aina, varsinkaan rakennuksen sisällä, josta johtuen satelliittimittaus soveltuu paremmin maanrakennustyömaille. (1, s. 279-281.)

Valtaosalle ihmisistä satelliittipaikannus tarkoittaa GPS-paikannusta. GPS-paikannusjärjestelmä (Global Positioning System) tekee mahdolliseksi maailmanlaajuisen reaaliaikaisen paikantamisen sääolosuhteista riippumatta. GPS-paikannuksen hyviä puolia ovat helppokäyttöisyys ja edullisuus. Nykyisin satelliittipaikannus ei tosin ole enää pelkästään GPS-järjestelmän varassa. Rinnakkain GPS-järjestelmän kanssa toimivat venäläinen Glonass-järjestelmä sekä Euroo-

pan unionin Galileo-järjestelmä. Myös Kiina, Japani ja Intia suunnittelevat toteuttavansa omia paikannusjärjestelmiään. Näiden eri järjestelmien muodostamaa yhteiskokonaisuutta kutsutaan GNSS-järjestelmäksi (Global Navigation Satellite System). (1, s. 280-281.)

Satelliittipaikannuksessa käytetään edellä mainituista systeemeistä havaittavia signaaleja. Paikannin mittaa etäisyyden vähintään kolmeen satelliittiin nähden, joiden avulla se pystyy laskemaan oman sijaintinsa. Satelliittipaikannus perustuu siis etäisyyksien tai etäisyserojen mittaukseen. (1, s. 282.)

Nykyiset satelliittipaikantimet toimivat yhteen takymetriensä kanssa, tai niitä voidaan käyttää yksinään maastotietokoneen kanssa. Yksi satelliittipaikantimen suurimmista eduista on sen käyttöönoton nopeus. Satelliittipaikannin ei myöskään vaadi aikaisemmin tiedossa olevia mittapisteitä. (1, s. 282.)

3.3 Tulevaisuudessa yleistyvät menetelmät

3.3.1 Laserkeilaus

Laserkeilaus perustuu etäisyyksien mittaamiseen sekä mittaussuuntien tarkkaan orientointiin. Tavallaan mittauslaite onkin automaattisesti toimiva takymetri. Lasermitatusta voidaan suorittaa ilmasta käsin, jolloin mittalaite on kiinnitettynä lentokoneeseen tai helikopteriin. Maasta käsin laserkeilainta käytetään kolmijalalle asennettuna, aivan kuten takymetria, mutta keilaaminen onnistuu myös liikkuvasta ajoneuvosta tai veneestä. (1, s. 270.)

Ilmalaserkeilaus

Ilmalaserkeilain koostuu kolmesta osasta: keilainosasta, lasertykkistä ja ilmaisinosasta. Keilainosa kääntelee lasertykkiä, joka lähettää laserpulsseja, jotka osuvat ja kimpoavat takaisin kohteesta. Ilmaisinosasta vastaanottaa pulssit. Keilain laskee laserpulssien edestakaisen kulkuajan, josta saadaan laskettua etäisyys kohteeseen. Mittaussignaali tuotetaan yleensä lähi-infrapunaisen valon aallonpituusalueella (1-1.5 μm). (1, s. 270-271.)

Etäisyyden lisäksi keilain pystyy mittaamaan myös paluusignaalin intensiteetin. Etäisyyksiä mittaamalla saadaan ratkaistua mittauspisteen koordinaatit, kun etäisyyden lisäksi on tiedossa lasertykin paikka sekä asento. Lasertykin paikka mitataan satelliittipaikannuksella käyttäen GPS- ja GNSS-järjestelmiä. Mitattujen kohteiden tarkkuus vaihtelee yleensä lentokorkeuden mukaan, mutta se on tyypillisemmin desimetriluokkaa. Parhaimmillaan voidaan saavuttaa jopa senttimetrin tarkkuus. (1, s. 270-271.)

Laserkeilauksen yksi hyvistä puolista on, että se ei ole riippuvainen vuorokauden ajasta eikä sääolosuhteista. Keilaus onnistuu myös metsäisellä alueella, sillä laserheijastus pystyy tunkeutumaan läpi tiheästäkin kasvustosta. Laserkeilauksen tuloksena saadaan aikaan pistepilvi, jossa mittauspisteiden koordinaatit tunnetaan. Pistepilveä kutsutaan yleisesti etäisyyskuvaksi. Pilven pisteistä muodostetaan digitaalinen pintamalli, jossa ei ole vielä eriteltyä kasvuston ja rakennusten pisteitä toisistaan. Pintamallista pystytään muodostamaan digitaalinen korkeusmalli luokittelemalla pisteet joko maanpinnan, kasvuston tai rakennusten pisteiksi. Digitaalisen korkeusmallin muodostamisen apuna käytetään yleensä digitaalista valokuvaa, jotka on voitu ottaa keilauksen yhteydessä. Alla olevassa kuvassa 11 esitellään ilmalaserkeilaukseen käytettävää drone-lennokkia ja maalaserkeilainta. (1, s. 270-271.)



KUVA 11. GeoDrone X4L ilmalaserkeilain ja Tribble TX6 maalaserkeilain (17)

Maalaserkeilaus

Maalaserkeilaus on tekniikaltaan hieman erilainen kuin ilmalaserkeilaus. Maalaserkeilain on takymetrin kaltainen automaattisesti toimiva, nopeasti etäisyyksiä ja suuntia mittaava laite. Keilaus on erityisen hyvä menetelmä erilaisten rakenteiden mittaamiseen ja mallintamiseen, ja sen käyttö soveltuu myös maaston kohteiden mittaamiseen. Mittausten tuloksena saadaan mittauspisteiden koordinaatit sekä kolmiulotteinen pistepilvi, jonka avulla mittauskohdetta voidaan mallintaa ja tutkia. (1, s. 272 -272.)

Toisin kuin ilmalaserkeilauksessa, pistepilvi on orientoitava jälkikäteen liitospisteiden avulla. Orientointia varten mittauskohteessa tulee olla riittävästi tähyksin näkyvöitetyjä liitospisteitä. Yksittäisen pistepilven orientoinnissa tarvitaan vähintään kolme taso- ja korkeussijainniltaan tunnettua pistettä. Mittauksen luotettavuuden takia olisi kuitenkin eduksi, että niitä olisi enemmän. (1, s. 272 -273.)

Keilaustapa vaihtelee laitevalmistajasta riippuen. Nykyisin enemmistö laitevalmistajista tarjoaa kupolimaisesti mittaavaa laitetta. Kupolimaisessa mittauksessa laitteen alapuolelle jää pieni alue, joka jää mittaamatta. Muutoin mittaus kattaa koko tilan. (1, s. 271.)

Maalaserkeilain mittaa etäisyyden kohteeseen joko valon kulkuajan perusteella tai vaihe-eron mittauksella. Valon kulku aikaan perustuvaa mittauksella voidaan käyttää pidempien matkojen mittaamiseen, kun taas vaihe-eromittauksella mitattavien laitteiden mittausalue jää usein alle 80 metrin. Keilain mittaa kohdetta nopeasti tehden yleensä jopa useita satoja tuhansia mittauksia sekunnissa. (1, s. 272.)

Keilaimilla pystytään myös tallentamaan koordinaatin lisäksi palautuvan signaalin intensiteetti, jolla tarkoitetaan signaalin voimakkuutta. Tästä pystytään päättämään kohdepinnan ominaisuuksia. Signaalin voimakkuus voidaan esittää etäisyyskuvassa harmaasävyeroina. Tällä menetelmällä saadaan syntymään mustavalkovalokuvaa muistuttava näkövaikutelma. Tämä on hyödyllinen esimerkiksi lii-

tospisteiden erottamiseen kuvista. Etäisyyskuvaan voidaan liittää myös digitaalinen valokuva, jonka avulla kuvan värit saadaan vastaamaan luonnollista väriä. (1, s. 272 -273.)

Laserkeilain siirtää tapahtuvaa mittaustyötä yhä enemmän työmaalta toimiston puolelle. Mittauskohteessa ollaan parhaimmillaan vain muutama minuutti. Mittauksen jatkokäsittely tehdään tietokoneella. Pistepilvistä tarvitsee poistaa virheelliset mittaukset suodattamalla, pistepilveä harvennetaan ja se orientoidaan tunnettuun koordinaatistoon. Näin mittauksesta muodostuu erilaisia pinta- ja kapalemalleja, joista voidaan muodostaa esimerkiksi erilaisia poikkileikkauksia. Alla olevassa kuvassa 12 tarkastellaan koulurakennuksesta laserkeilattua pistepilvimallia. (1, s. 273.)



KUVA 12. Pistepilvimalli (kuva NCC Suomi Oy)

3.3.2 Fotogrammetria

Fotogrammetrialla tarkoitetaan mittauksia, joissa käytetään valokuvia tai satelliittikuvia kohteiden muodon ja ominaisuuksien selvittämiseksi sekä 3D-mallintamiseen. Menetelmät soveltuvat pienten kohteiden sekä laajempien kokonaisuuksien mittaamiseen. (3.)

Fotogrammetrian etu perinteisiin mittauksiin nähden on, että kohteen muoto ja koko voidaan määrittää ilman fyysistä kosketusta kohteeseen. Riittää, että kohteesta on riittävä määrä kuvia. Kaikki tarvittavat mittaukset sekä analysoinnit tehdään, ja usein ne onkin pakko tehdä niiden vaatiman laskentatehon vuoksi toimisto-olosuhteissa. Fotogrammetrian avulla voidaan tutkia kaikenlaisia kuvia, mutta usein mittaustarkkuuden takia on eduksi, että kuvat on otettu tähän tarkoitukseen tehdyllä erikoiskameralla. (4.)

Fotogrammetrisiin mittauksiin tarvitaan aina useampi kuva mitattavasta kohteesta. Mitä enemmän kuvia on, sitä parempi mittaustulos yleensä saadaan luotua. Esimerkiksi lentokoneesta tapahtuvassa kuvauksesta perusideana on, että kuvat limittyvät noin 60 prosenttia kuvatulta alueelta edellisen kuvan kanssa. Mittaus itsessään perustuu siihen, että otettuja kuvia vertaillaan toisiinsa ja niistä todetaan kohteessa tapahtuvia muutoksia hyvin erottuvien piirteiden esimerkiksi reunaviivojen, nurkkapisteiden tai pinnan tekstuurin avulla. Näin kuvista saadaan muodostettua mitattava malli. (4.)

3.4 Rakennusmittauksen nykytilanne NCC:llä

Rakennusmittauksen kehittämiseksi ja sen nykytilanteen kartoittamiseksi haastateltiin NCC:llä työskentelevää mittakirvesmies Mikko Vahernoa. Kartoituksen tarkoituksena oli selvittää NCC:llä käytettäviä mittalaitteita ja menetelmiä sekä etsiä kehitystä vaativia osa-alueita. Haastattelu tehtiin Helsingissä 4.10.2017.

Mittausprosessi NCC:llä alkaa maanrakennusvaiheessa. Tällöin mittaukseen käytetään satelliittipaikanninta tai robottitakymetria. Satelliittipaikantimen etuna on sen nopeus, sillä sitä ei tarvitse erikseen asemoida. Yleisimmin uudisrakennustyömailla käytetään kuitenkin robottitakymetria, jonka asemointiin käytetään kaupungin luomia kiintopisteitä. Kun maanrakennusvaihe on päättynyt ja rakentamisvaihe alkaa, tuo kaupungin rakennusvirasto talon nurkkapisteiden koordinaatit, joilla mittausprosessia jatketaan.

Suunnittelijat tallettavat mittaukseen käytettävät suunnitelmat suoraan projekti-pankkiin. Sieltä mittamiehen on helppo ja nopea saada aina niiden viimeisimmät

revisiot. DWG-muodossa olevat suunnitelmat viedään rakennusmittausohjelmaan (esimerkiksi Mmies ja 3D-Win), joiden avulla mittamies luo pohjakartan tai mittaussuunnitelman. Tämän jälkeen suunnitelma viedään robottitakymetrin kenttätietokoneeseen, ja mittaus voi alkaa. Haastattelussa ilmeni, että mittauksen apuohjelmiin ollaan NCC:llä tyytyväisiä ja ne ovat helppokäyttöisiä. Robottitakymetrin ja satelliittipaikantimen lisäksi NCC:llä mittaukseen käytettäviä laitteita ovat tasolaser, linjalaser ja muut perinteiset menetelmät.

Vaherno totesi kehitystä vaativaksi osa-alueeksi mittauslaitteiston nykyaikaistamisen. Kaikilla mittamiehillä ei ole käytössä satelliittipaikantimia, mikä hidastaa mittauksen aloittamista merkittävästi varsinkin silloin, kun työmaata on vaihdettava usein. Tällä hetkellä NCC:llä käytettävät robottitakymetrit eivät myöskään mahdollista laserkeilausta. Keilaus menetelmänä nopeuttaisi tarkemittausten tekemistä merkittävästi.

Toinen kehitystä vaativia alue on yhteisten mittauskäytäntöjen luonti työmaakohteisesti. NCC:llä käytetään rakennusmittaukseen paljon ulkopuolisia mittausurakoitsijoita, joille yrityksen käytännöt eivät välttämättä ole tuttuja. Luomalla yhteinen toimintamalli säästyttäisiin turhilta mittavirheiltä.

Tietomallintamisen yleistyminen rakennussuunnittelussa on mahdollistanut NCC:llä mittamiehille uusia työskentelytapoja. Mallia pystytään käyttämään tällä hetkellä esimerkiksi:

- ongelmakohtien hahmottamiseen
- objektien, esimerkiksi elementin koordinaattien, selvittämiseen
- määräluetteloiden laatimiseen.

Mallinnus tarjoaisi myös muita mahdollisuuksia kehittää rakennusmittausta, joita tullaan tutkimaan myöhemmin tässä työssä. Haastateltava toivoi, että mallista pystyttäisiin jatkossa ottamaan talteen listauksia kappaleiden paikkatiedoista. Listoista kävisi ilmi esimerkiksi peruspulttien sijainnit koordinaatistossa. Haastateltava kertoi myös, että mallia ei pystytä tällä hetkellä tarkastelemaan mittamiehen kentällä käytössä olevilla laitteilla.

4 KEHITYSAIHEET

Tietomallinnuksen ja rakennusmittauksen kehityksaiheiden kartoittaminen tehtiin toimeksiantajan kanssa 4.11.2017 ja 17.11.2017 pidetyissä kokouksissa. Kokouksissa käytiin läpi NCC:llä tällä hetkellä käytettävät rakennusmittauksen ja tietomallinnuksen menetelmät. Niiden pohjalta mietittiin mahdollisia uusia menetelmiä ja laitteita, joilla tietomallinnuksen ja rakennusmittauksen hyötyjä toisilleen voitaisiin kehittää. Kehitystyöhön ja kokouksiin osallistuivat NCC Suomi Oy:stä Jonne Lahtinen, Jaakko Hakala, Sampo Palomaa, Heini Kiviranta ja Mikko Vaherno.

Kokouksissa tuli selkeästi esille, että tällä hetkellä NCC:llä tapahtuvassa rakennusmittauksessa ei vielä hyödynnetä tietomallinnusta tasolla, jonka nykyinen mallinnusteknologia mahdollistaisi. Myöskään rakennusmittauksesta saatavaa suurta määrää tarketietoa ei vielä hyödynnetä takaisin tietomalliin lainkaan.

4.1 Tietomallinnuksen hyödyt rakennusmittaukselle

NCC:llä tietomallinnuksen hyödyntäminen on lisääntynyt viime vuosina. Sitä ei kuitenkaan ole otettu käyttöön työmaalla tapahtuvassa rakennusmittauksessa siinä määrin, kuin olisi mahdollista. Nykyiset mittalaitteet mahdollistaisivat tietomallin ja mittalaitteiden saumattoman yhteistyön. Parhaimmillaan tämän yhteistyön hyödyntäminen nopeuttaisi mittaustyötä merkittävästi ja vähentäisi mittauksessa tapahtuvien virheiden riskiä.

Tietomalli sisältää täsmällistä mittatietoa, jonka hyödyntäminen mittauksessa nopeuttaisi varsinkin mittaustyön valmistelua paljon. Mikäli tietomalli olisi käytettävissä mittamiehellä rakennustyömaalla, säästyisi enemmän aikaa itse mittaukselle, sillä toimistossa vietettyjen tuntien määrää pystyttäisiin vähentämään.

Tietomallin käyttöönotto mittaustyössä edellyttää, että malliin on aina pystyttävä luottamaan. Tämä tarkoittaa sitä, että suunnitelmapankista on aina löydyttävä viimeisien revisioiden mukainen malli. Suunnittelusopimukset edellyttävät usein kaikkia suunnittelijoita päivittämään mallin suunnitelmapankkiin aina, kun muutoksia edelliseen tehdään. Näin ei kuitenkaan käytännössä aina toimita. Tämän

toimintatavan varmistamiseksi projektinjohton tulee valvoa, että viimeisimmät suunnitelmat ovat aina työmaalla työtä toteuttavien osapuolten käytettävissä.

Tietomallin vienti mittamiehen maastotietokoneeseen

Rakennusmittauksen kannalta olisi hyödyllistä pystyä käyttämään tietomallia mittamiehen maastotietokoneella. Työmaalla käytettävän mallin ei kuitenkaan tarvitse olla yhtä kattava, kuin tietokoneella käytettävän version. Nykyisin mittamiehen työtunneista suuri osa koostuu toimistossa tietokoneella tehtävistä töistä.

Tällä hetkellä ennen varsinaista mittausta mittamies kokoaa DWG-muodossa olevista suunnitelmista mittaohjelmalle (esimerkiksi Mmies) mittaussuunnitelman tai pohjakartan. Niiden avulla mittaus pystytään toteuttamaan työmaalla. Mittaussuunnitelman kokoaminen saattaa olla tiettyjen työvaiheiden kohdalla työlästä ja aikaa vievää. Mikäli tietomalli olisi käytettävissä mittamiehen maastotietokoneella, voitaisiin tässä työvaiheessa säästää merkittävästi aikaa. Maastotietokoneella tarkoitetaan robottitakymetrin ohjauslaitetta.

Tällä hetkellä NCC:llä käytössä olevien maastotietokoneiden ominaisuudet eivät mahdollista tietomallin käyttöönottoa työmaalla. Tietomallin käyttöönotto rakennustyömaalla edellyttäisi siis takymetrikaluston päivitystä. Esimerkkinä laiteesta, jolla tietomallin käyttö onnistuisi, on Trimble SX10 (kuva 13). Se on keilaintakymetri, joka toisi myös paljon muita etuja rakennusmittaukseen (esimerkiksi keilaus, valokuvaus ja 360-asteinen kuvaus).



KUVA 13. Trimble sx 10 keilaintakymetri ja ohjainlaite (17)

Tietomalli pitäisi aina olla saatavissa 3D DWG -muodossa, jotta sitä pystyttäisiin hyödyntämään mittaamisessa. 3D DWG -muotoisella tiedostolla tarkoitetaan tiedostoa, joka on kolmiulotteinen CAD-viivatiedosto. Tiedosto tulisi myöskin olla jaettuna kerroksittain, jotta se pysyisi mahdollisimman kevyenä käyttää kenttätietokoneella. Esimerkki hyvästä tiedostomuodosta voisi olla rakennemallista otettu yhden kerroksen piirustus.

Laadukas toimintamalli edellyttäisi, että suunnittelijat systemaattisesti päivittäisivät suunnitelmat 3D DWG -muotoon suunnitelmapankkiin. Riittävää olisi, että kuvat päivitetäisiin aina sitä mukaa, kun rakennuksen kerrokset lähtevät työmaalla toteutusvaiheeseen. Mallin toiminnan takaisi, että suunnitelmien tallettamisesta pankkiin olisi luotu aikataulu.

Informaation talteenotto

Tietomalli sisältää paljon paikkatietoa. Tämä tieto on kuitenkin harvemmin mittamiehen hyödynnettävissä. Tämän kaltaista tietoa on esimerkiksi tiettyjen kappaleiden sijainti koordinaatistossa. Nämä sijainnit ovat saatavilla yleensä pelkästään rakennesuunnittelijan natiivimallista. Olisi erittäin hyödyllistä ja aikaa säästävää, mikäli mittamies pystyisi itse tulostamaan mallista listauksia kappaleiden sijainneista.

Nykyisillä ohjelmistoilla ja laitteilla mittamies joutuu poimimaan mallista kappaleiden sijainnit yksi kerrallaan, syöttämään ne DWG-muodossa olevaan mittaus-suunnitelmaan, ja vasta tämän jälkeen mittaus päästään toteuttamaan. Toimintamalli on näin ollen kohtuuttoman työläs, sillä tietyissä mittausvaiheissa edellä mainittu menetelmä joudutaan toistamaan jopa useita satoja kertoja. Olisi hyödyllistä tutkia mahdollisuuksia, joiden avulla mittamies pystyisi omatoimisesti tulostamaan tietomallista listauksia kappaleiden koordinaateista ja muista ominaisuuksista. Tämä edellyttäisi, että mittamiehellä olisi käytössään rakennesuunnittelijan natiivimalli. Toinen vaihtoehto olisi, että työvaiheiden kohdalla rakennesuunnittelija toimittaisi mittamiehelle kappaleiden paikkatiedoista tehdyn koosteen.

4.2 Rakennusmittauksen palautetieto tietomalliin

Tietomallia hyödynnetään rakennusmittauksessa NCC:llä tällä hetkellä jo jollain asteella. Rakennusmittauksesta syntyy kuitenkin paljon palautetietoa. Tätä tietoa ei vielä hyödynnetä juuri lainkaan takaisin tietomalliin. Mittauksen palautetieto jää usein jopa täysin hyödyntämättä.

Palautetieto auttaisi rakentamaan esimerkiksi as-build-malleja (tietomalli toteutuneesta rakennuksesta), joita olisi mahdollista hyödyntää rakennuksen elinkaaren aikana. Tulevaisuuden remonttien suunnitteleminen olisi huomattavasti helpompaa, mikäli rakennuksesta olisi saatavilla täsmälliset tietomallit suunnittelun tueksi. Tästä olisi myös merkittävä hyöty uudiskohteiden suunnittelussa, mikäli suunnittelu etenee samaa tahtia rakentamisen kanssa.

Työmaan laadunhallinnan kannalta on tärkeää tietää, että rakennus edistyy tarkalleen suunnitelmien mukaisesti. Mittapoikkeamien löytäminen aikaisessa vaiheessa voi aiheuttaa suuria kustannussäästöjä ja auttaa pysymään suunnittelussa rakennusaikataulussa. Palautetietoa vertailemalla tietomalliin voidaan myös löytää mahdollisia rakennusvirheitä.

Laserkeilaamalla mittatiedon vienti tietomalliin

Laserkeilausta hyödyntämällä tehdään mitattavasta kohteesta pistepilvimalli. Pistepilvimallin avulla voidaan tehdä törmäystarkasteluja, jolloin verrataan uusia suunnitelmia jo tehtyihin suunnitelmiin. Pistepilvimalli voidaan tehdä esimerkiksi kokonaisesti kerroksesta elementtiasennuksen jälkeen. Tämä on helppo ja nopea tapa löytää mittapoikkeamia jo rakennetuista paikoista. Mittapoikkeamien löytäminen aikaisessa vaiheessa voi parhaassa tapauksessa säästää huomattavasti kustannuksia ja luoda merkittäviä hyötyjä rakentamisaikatauluihin. Myös ongelmakohtien keilaus ja niistä pistepilven luominen voisivat helpottaa tulevaa suunnittelua.

NCC:llä nykyiset mittalaitteet eivät kuitenkaan mahdollista tätä. Tällaisten hyötyjen saavuttaminen vaatisi siis kalustopäivitystä. Esimerkkinä laitteesta, jolla laserkeilaus onnistuisi, voidaan mainita Trimblen SX10. Toinen vaihtoehto olisi teettää keilauksia niihin erikoistuneilla yrityksillä. Tämä tapa tulisi mahdollisesti

edullisemmaksi, mikäli mittausta tarvitaan vain harvoin. Kuitenkin, jos keilaus todetaan hyödylliseksi menetelmäksi useilla työmailla, on selvästi taloudellisempaa hankkia omat laitteet sen toteuttamiseksi.

Keilaintakymetrillä otettujen valokuvien vienti tietomalliin

Keilaintakymetria käyttämällä pystytään ottamaan kohteesta normaaleja sekä 360-asteisia valokuvia. Liittämällä näitä kuvia tietomalliin pystyttäisiin luomaan havainnollinen tapa nähdä työmaan osia toimistosta käsin. Kuvien etuna olisi lisäksi, että niistä pystytään ottamaan tarkkoja mittoja, sekä niiden sijainti tiedetään millimerien tarkkuudella takymetrin antaman sijaintitiedon takia. Tämä säästäisi suunnittelijoilta ja projektihenkilökunnalta reilusti aikaa, sillä jokaista pientä mittauskäyntiä ei tarvitsisi käydä työmaalla, vaan nämä mitat voitaisiin helposti hankkia mallista käsin.

Kuville pitäisi kuitenkin olla luotuna tietynlainen järjestelmä tai kuvapankki, johon niitä voitaisiin kootusti viedä. NCC:llä ei tällä hetkellä ole suoranaisesti tämän kaltaista järjestelmää. Kuvien mahdollinen sijoituspaikka voisi olla esimerkiksi Dalux-mobiilisovellus.

Rakennuksen mittaaminen laserkeilaamalla droneja hyödyntäen

Rakennustyömaan etenemistä on mahdollista kuvata ja havainnoida myös miehittämättömistä ilma-aluksista eli droneista käsin. Säännöllisillä drone-kuvauksilla mahdollistetaan työmaan muutoksien tarkka seuraaminen sekä etäisyyksien ja pinta-alojen ja tilavuuksien mittaaminen.

Drone-mittauksissa järjestelmään syötetään rakennuksen rakennemalli. Drone kerää laserkeilausta hyödyntäen työmaasta tarkan pistepilven ja vertaa sitä alkuperäiseen tietomalliin. Näin voidaan todeta rakennusprosessin eteneminen reaaliajassa. Drone-kuvat mahdollistavat tarkkojen työmaakarttojen luomisen, työmaalla tapahtuvien muutosten seurannan sekä etäisyyksien, pinta-alojen ja tilavuuksien mittaamisen. Pistepilven avulla mittapoikkeamat saadaan vietyä tarkasti takaisin tietomalliin. Järjestelmän avulla pystytään myös kätevästi tekemään aikatauluseurantaa esimerkiksi elementtiasennuksen osalta. Dronella mittaamisen suurimmat edut tulevat esiin kuitenkin maanrakennustyömailla.

5 TULOKSET

5.1 Kehitysaideiden analysointi

Kehitysaideiden analysoinnin tueksi järjestettiin 31.10.2017 demotilaisuus NCC Suomi Oy:n työmaalla nimeltä Fredriksberg. Tilaisuudessa Geotrim Oy esitteli Trimble SX10 -keilaintakymetria. Takymetrilla kokeiltiin 3D-mallista mittaamista ja laserkeilausta. Demotilaisuuteen osallistuivat NCC Suomi Oy:stä Jonne Lahtinen, Sampo Palomaa ja Mikko Vaherno, sekä Geotrim Oy:stä Tapio Kärkkäinen.

Trimble SX10 on keilaintakymetri. Keilaintakymetri tarkoittaa robottitakymetria, jota on mahdollista käyttää myös laserkeilaamiseen. SX10:llä voidaan laserkeilata 26 600 pistettä sekunnissa ja mitata pisimmillään 600 metriin asti. Täyden kupolimaisen keilauksen tekemiseen kuluu aikaa noin 12 minuuttia.

Mittaaminen demolaitteistolla eroaa NCC:llä tällä hetkellä käytössä olevasta laitteistosta siten, että mittaamisesta suurin osa voidaan suorittaa taustakartoilla. Tämä on huomattavasti nopeampaa ja tehokkaampaa verrattuna aiemmin tehtyihin pistemittauksiin. Taustakarttojen avulla suoritettava mittaus vähentää myös tietokoneella ennen mittausta tehtävää työtä merkittävästi. Tällä tavoin tehdyn mittauksen jälkeen tarkepisteitä voidaan tarkastella suoraan tabletilta, ja näin ollen mahdolliset lisämittaustarpeet voidaan havaita välittömästi.

Laitteen ohjaamiseen esittelytilaisuudessa käytettiin kuvassa 13 esiteltyä Trimblen ohjaintablettia. NCC:llä aiemmin käytössä olleisiin maastotietokoneisiin nähden tablet-maastotietokone on helppokäyttöisempi sen suuren ja selkeämmän näytön ansiosta. Ohjaintabletti käyttää Windows 7 -käyttöjärjestelmää. Ohjaintabletin käyttö tuo mittamiehen perustyöhön useita etuja, sillä muun muassa CAD- ja Excel-tiedostot sekä suunnitelmapankki ovat tällöin avattavissa työmaalla.

Työmaalla työskennellessään mittamies joutuu usein avustamaan muita työntekijöitä mittaukseen liittyvissä asioissa. Mikäli hänen on mahdollista avata suunnitelmat suoraan tabletilta, hänen ei tarvitse keskeyttää työtään ja lähteä toimistoon

tietokoneelle selaamaan suunnitelmia. Tämä tuo etuja myös mittamiehen normaaliin työskentelyyn, sillä osa työskentelystä perustuu vielä tällä hetkellä paperisuunnitelmiin. Paperisuunnitelmissa mittatietoa on usein liian vähän, mutta tabletilla tarvittavat mitat voidaan lisätä nopeasti. Laitteen avulla säästytään myös suurelta määrältä tulostamista. Uusi laitteisto nopeuttaisi mittamiehen työskentelyä NCC:llä työskentelevän mittamiehen Mikko Vahernon arvion mukaan noin 25-30 prosenttia. Eniten aikaa säästyä toimistotyön vähenemisen takia.

Tietomallin käyttö maastotietokoneella

Demotilaisuudessa tietomallia yritettiin hyödyntää keilaintakymetrin maastotietokoneella mittauskäyttöön. Mittausta varten kohteen tietomallista oli tallennettu yhden kerroksen suunnitelmat 3D DWG -muotoon.

Tiedosto saatiin avattua maastotietokoneella työmaaolosuhteissa, mutta tietokone ei ymmärtänyt tietomallia erillisistä kappaleista koostuvana kokonaisuutena, vaan yhtenä kokonaisena kappaleena. Tästä johtuen mittaaminen suoraan tietomallista valituin kappalein ei onnistunut. Jotta mittaus onnistuisi, tulisi 3D DWG -tiedostoa käsitellä ensin mittalaitteen ohjelmistolla tietokoneella, jossa malli pilkottaisiin osiin ja sinne luotaisiin pisteitä ja viivoja mittalaitteelle. Tämä on kuitenkin työlästä ja näin ollen perinteiset menetelmät ovat tässä tapauksessa parempia vaihtoehtoja.

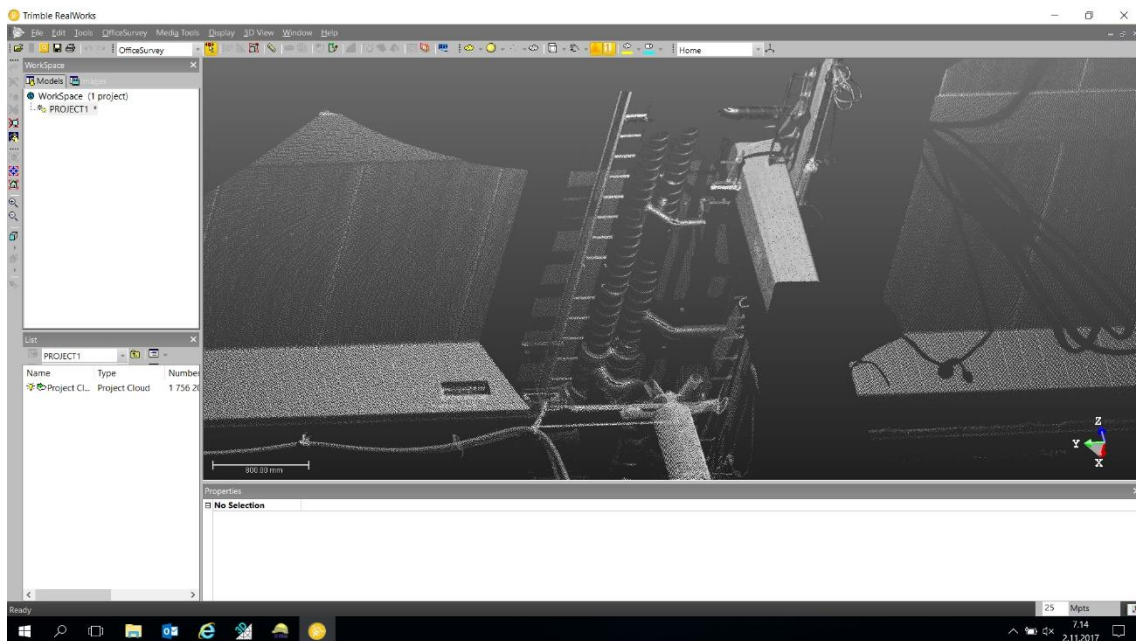
Tietomallia saatiin kuitenkin tilaisuudessa hyödynnettyä maastotietokoneella AR-tekniikan avulla. Keilaintakymetrin kamera kuvaa kohdetta reaaliajassa. Kuvaa voi tarkastella maastotietokoneen eli ohjaintabletin näytöltä. Näytölle pystytään lisäämään kuvan päälle tarkasti asemoituja suunnitelmia.

Vähäistä mittatarkkuutta vaativat mittaukset voidaan suorittaa jopa suoraan AR-tekniikkaa hyviksi käyttäen. Normaaleissa mittauksissa se tuo hyötyä oikean mittakohteen nopean paikannuksen kautta. Esimerkiksi maanrakennusvaiheessa pohjaviemäreiden paikkoja mitattaessa oikean paikan löytäminen xyz-koordinaatiston avulla voi olla hidasta, mutta AR:n avulla mittapaikka löytyy helposti tabletin näytön suunnitelmaa tonttiin vertaamalla. Tekniikka on hyödyllinen myös mittapoikkeamien etsimisessä ja rakennettavuuden tarkastelussa.

Sen avulla on mahdollista jo lyhyellä perehtymisellä todeta, mahtuvatko tietyt kappaleet niille suunniteltuihin asemiin.

Laserkeilaamalla mittatiedon vienti malliin

SX10-keilaintakymetrilla keilattiin esittelytilaisuuden aikana kohteessa seinälinjoja ja talotekniikkaa. Mittapisteistä muodostui 3D-pistepilvimalli. Pistepilveä tarkasteltiin Trimblen Real Works -ohjelmiston avulla (kuva 14).



KUVA 14. Talotekniikasta otettu pistepilvimalli Trimblen RealWorks-ohjelmistossa (kuva Mikko Vaherno)

NCC:lle pistepilvimallin tuomat hyödyt on mahdollista jakaa kolmeen erilliseen ryhmään seuraavalla tavalla:

- laadunvarmistus
- piiloon jäävien rakenteiden dokumentointi
- suunnittelun lähtötietojen hankkiminen.

Laadunvarmistuksessa mallia pystytään vertaamaan tarkasti suunnitelmiin ja sen avulla etsimään niistä mittapoikkeamia. Tämän menetelmän hyödyt korostuvat rakennettaessa vaativia kohteita, joissa mittatarkkuuden vaatimukset ovat

suuret. Tähän tarkoitukseen demotilaisuudessa käytetty SX10 soveltuu erinomaisesti. Laadunvarmistukseen saataisiin myös lisäarvoa nykyaikaisiin laserkeilaimiin oheislaitteena saatavilla lämpökameroilla. Lämpökameroiden avulla pystytään paikantamaan rakennuksesta mahdollisia lämpövuotoja ja vesivuotoja sekä paikantamaan sähkölaitteiden vikoja.

Piiloon jäävien rakenteiden dokumentoinnin hyödyt tulevat esiin jo rakentamisvaiheessa. Piiloon jääviä rakenteita on hyödyllistä mallintaa, sillä myöhemässä vaiheessa niiden tarkastelu ei muuten enää ole mahdollista. Rakennettujen osien, esimerkiksi pohjaviemäreiden ja pumppaamoiden, tarkan sijainnin ja rakenteiden tallettaminen pistepilvimallien avulla voi säästää merkittävästi kustannuksia, mikäli rakenteita joudutaan joskus myöhemmin muokkaamaan tai avaamaan. Myös tähän tarkoitukseen käytetyn demolaitteen SX10:n ominaisuudet sopivat erinomaisesti.

Pistepilvimallin hyödyt tulisivat laajasti esille myös korjaushankkeissa. Mikäli korjauskohteista käytäisiin ennen suunnitteluvaiheen alkua ottamassa tarkat mallit, vähentyisivät työmaalla tehtävien muutosten määrät merkittävästi. Pistepilvimallista on mahdollista määritellä tarkasti esimerkiksi talotekniikan asettelu. Laserkeilauksen avulla tehtyjen pohjasuunnitelmien tarkkuus on perinteisiin menetelmiin verrattuna erinomainen. Myös virheiden mahdollisuus vähenee menetelmää käytettäessä. Laajempia kohteita keilatessa demolaitteen SX10:n keilausominaisuudet eivät kuitenkaan ole riittäviä. Tällaisissa tapauksissa olisi siis edullisempää käyttää laserkeilaukseen erikoistuneita yrityksiä.

Keilaintakymetrillä otettujen valokuvien vienti malliin

Laserkeilauksen yhteydessä keilaintakymetri kuvaa keilattavasta alueesta 360-asteisen valokuvakokoelman. Valokuvatiedostot ovat havainnollinen apu pistepilvien tulkintaan. Valokuvat ovat varustettu paikkatiedolla, ja niistä pystytään Trimblen ohjelmistojen avulla ottamaan suoraan mittoja. Kuvien mittatietojen tarkasteluun vaaditaan Trimblen ohjelmisto, jonka käyttö edellyttää maksullista lisenssiä. Kuvat ovat kuitenkin monesti avuksi kohteen havainnoinnissa myös ilman mittatietoja.

NCC:n järjestelmistä ei vielä tällä hetkellä löydy valmiista valokuvien sijoituspaikka. Parhaiten tämänhetkisistä järjestelmistä valokuvien sijoitukseen sopisi PRO3. Se on projektinhallintajärjestelmä, johon kuville voi luoda oman kansion. Kansioon voidaan antaa pääsyoikeus projektin eri osapuolille tarpeesta riippuen.

Informaation talteenotto

NCC:n mittamiehillä tällä hetkellä käytössä olevat ohjelmistot eivät sovellu suoraan esimerkiksi peruspulttien koordinaattien tallentamiseen Excel-listoiksi. Tämän mahdollistamiseksi mittamiehellä tulisi olla käyttöoikeudet rakennesuunnittelussa yleisesti käytettyyn Tekla-ohjelmistoon. Tämä on kuitenkin hyötyynsä nähden kallista ja lisäksi vaatisi huomattavasti käyttökoulutusta. Suurempia listauksia pystytään kuitenkin tarvittaessa pyytämään suunnittelijoilta. Näin ollen olisi suositeltavaa jatkossa lisätä maininta listausten laatimisesta suoraan suunnittelusopimukseen. Kyseinen menetelmä vähentäisi aikaa sekä virheiden mahdollisuutta merkittävästi.

Mittamiehillä tällä hetkellä käytössä olevalla Solibri-katseluohjelmalla pystyy kuitenkin jo nyt poimimaan tarvittaessa paikkatietoja yksittäisistä kappaleista. Tämä on hieman hitaampi tapa, mutta silti hyvin hyödyllinen, mikäli koordinaattitietoa ei muista suunnitelmista löydy.

Jatkon kannalta kaikkein hyödyllisintä olisi kuitenkin maininta suunnitteluohjeistuksessa jokaisen kerroksen suunnitelmien tallettamisesta suunnitelmapankkiin 3D DWG -muodossa. Näin toimimalla mittamiehen olisi itse mahdollista tarvittaessa poimia käyttöönsä esimerkiksi peruspulttien koordinaatit.

Kustannus- ja laitevertailu

Geotrim Oy teki NCC:lle tarjouksen 31.10.2017 demotilaisuudessa käytetystä keilaintakymetrasta, Trimble SX10:sta ja Trimble S7:sta, joka on vastaavanlainen robottitakymetri ilman laserkeilausominaisuutta. Molempiin tarjouksiin sisältyi itse laitteen lisäksi Trimblen tablet-maastotietokone. Tarjouksiin sisältyvien ohjelmistojen suurimpana erona NCC:lle on, että Advanced-ohjelmiston ominaisuuksiin kuuluu laajemmat mittaus- ja laskentaominaisuudet sekä keilauksesta

saadun pistepilven käsittelymahdollisuus. Base-ohjelmistolla pystyy kuitenkin tekemään kaikki NCC:llä mittamiehen normaalin takymetrimittaukseen liittyvät toiminnot. Molempien laitteiden oletettu käyttöikä on noin 5-10 vuotta.

Lisäksi tarjousvertailuun otettiin mukaan Leica Geosystems Oy:n Leica MS60-robottitakymetrin 15.2.2017 saatu tarjous. MS60 on robottitakymetri, jossa on sisällytettynä laserkeilaustoiminto. Keilain pystyy mittaamaan vain 1000 pistettä sekunnissa, joten sen avulla suurien kokonaisuuksien keilaus on hyvin hidasta. Myös tähän tarjoukseen kuului tablet-maastotietokone sekä mittaustulosten käsittelyohjelmisto. Käsittelyohjelmisto vastaa toiminnoiltaan Trimblen Advanced-ohjelmistoa. Leican etuna Trimblen laitteisiin nähden on tablet-maastotietokoneessa oleva suurempi näyttö. Laitteen arvioitu käyttöikä on noin 5-10 vuotta.

NCC:n mittauslaitteistona on tällä hetkellä käytössä Trimble VX + TSC2-robottikalusto. Geotrim Oy:n tarjouksessa vanhan laitteen hyvityshinnaksi on tarjottu 7000 euroa. Leica Geosystems Oy:n tarjouksessa vanhan laitteen hyvityshinta on 4000 euroa.

Trimble SX10-tarjous sisältää:

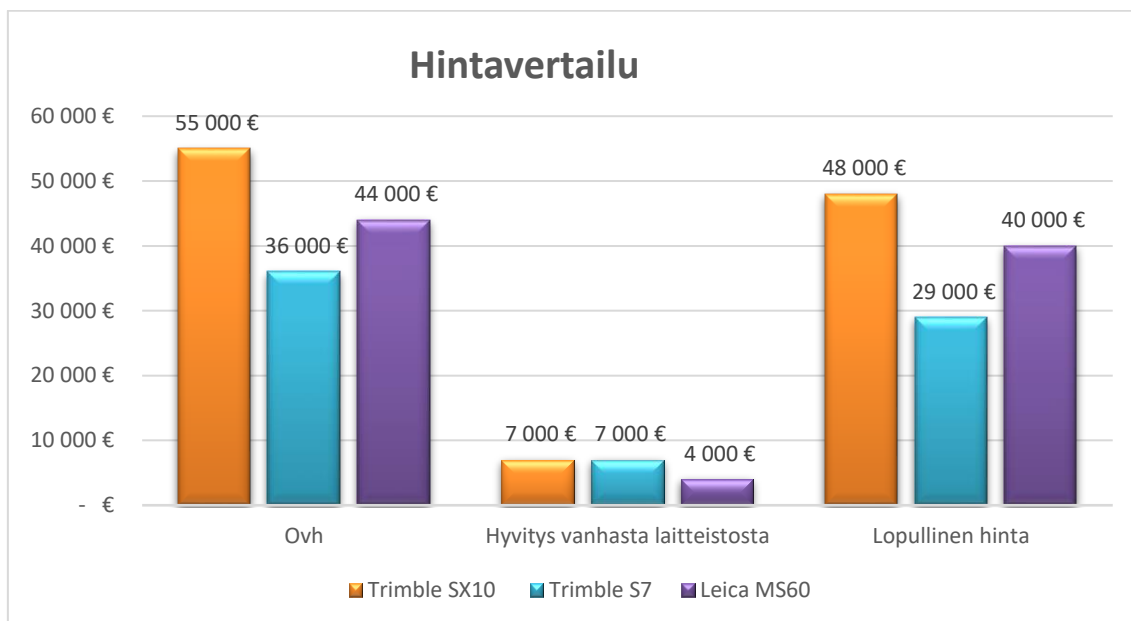
- Trimble SX10 -keilaintakymetrin
- Trimble tablet-maastotietokoneen 7-tuuman näytöllä
- Trimble Business Center Advanced -ohjelmiston
- Trimble Xtra -tukipalvelun ensimmäiselle vuodelle.

Trimble S7-tarjous sisältää:

- Trimble S7 -robottikaluston
- Trimble tablet-maastotietokoneen 7-tuuman näytöllä
- Trimble Business Center Base -ohjelmiston
- Trimble Xtra -tukipalvelun ensimmäiselle vuodelle.

Leica MS60-tarjous sisältää:

- Leica MS60 -robottitakymetrin
- Leica CS35 tablet -maastotietokoneen 10-tuuman näytöllä
- Leica Captive -käyttäjärjestelmän
- ohjelmien ylläpidon ja tuen ensimmäiselle vuodelle.



KAAVIO 1. Hintavertailu (kaavio Jonne Lahtinen)

Laitteista tehtiin kaavion 2 mukainen vertailu. Vertailussa pisteytettiin laitteet viidellä erillisellä osa-alueella. Jokaisella osa-alueella jaettiin pisteitä 1-3. Laserkeilauksessa pisteytyksen kriteerinä oli toiminnon nopeus. Tablet-maastotietokeissa vertailtiin näytön kokoa. Soveltuvuus-kohdassa NCC:lle pisteytys jakautui yrityksessä mittamiehenä toimivan Mikko Vahernon näkemysten mukaan. Käsittelyohjelmissa arvioitiin ohjelmista löytyvien ominaisuuksien määrää.

Ominaisuudet	Trimble SX10	Trimble S7	Leica MS60
Laserkeilaus	26 000 pistettä/s	-	1000 pistettä/s
Pisteet	3	0	2
Tablet-maastotietokone	Trimble-tablet 7-tuuman näytöllä	Trimble-tablet 7-tuuman näytöllä	Leica CS35-tablet 10-tuuman näytöllä
Pisteet	2	2	3
Soveltuvuus NCC:lle			
Pisteet	1	2	3
Käsittelyohjelma	Trimble Advance-ohjelmisto	Trimble Base-ohjelmisto	Leica Captive-ohjelmisto
Pisteet	3	2	2
Hinta	55 000 €	36 000 €	44 000 €
Pisteet	1	3	2
Pisteet yhteensä:	10	9	12

KAAVIO 2. Laittevertailu (kaavio Jonne Lahtinen)

Vertailussa parhaiten sijoittui Leica MS60 -keilaintakymetri. Se sai arvioinnissa 12 pistettä maksimipistemäärän ollessa 15 pistettä. Toiseksi sijoittui Trimblen SX10-keilaintakymetri. Sen heikompi pistemäärä johtui korkeammasta hinnasta ja suuremmasta käyttökoulutuksen tarpeesta. Kolmanneksi sijoittunut Trimblen S7-robotitakymetri menetti pisteitä muun muassa laserkeilaus-ominaisuuden puuttumisen johdosta.

5.2 Suositus jatkotoimenpiteiksi

Demotilaisuudessa käytetty laitteisto Trimblen SX10 tukisi NCC:llä tapahtuvaa rakennusmittausta laajasti. Tietomallin käyttö rakennusmittauksessa suoranaiseen mittaustyöhön ei kuitenkaan kykene nykyisellä laitteistolla vielä korvaamaan perinteisiä mittausmenetelmiä. Nykyisten tablet-maastotietokoneiden tuomat edut ja AR-teknologia nopeuttaisivat joka tapauksessa perinteistä mittaustyötä merkittävästi.

NCC:llä ei vielä tällä hetkellä hyödynnetä laserkeilauksen tuomia hyötyjä, mutta tämän tutkimuksen perusteella on perusteltua olettaa, että sen sisällyttäminen mukaan mittamiehen työhön toisi yritykselle etuja aikataulujen ja kustannusten suhteen. SX10:n rinnalle mukaan vertailuun otettu Leican MS60 voisi olla NCC:n kannalta paras vaihtoehto kalustohankinnaksi. MS60-kaluston etuna olisi suurella ja selkeällä näytöllä varustettu maastotietokone. Se on myös SX10-kalustoa selkeästi edullisempi. Toki tämäkin laite vaatisi myös testausta oikeissa työmaolosuhteissa ennen kuin sen sopivuus voidaan varmasti todeta. Nykyisin käytössä oleva mittauskalusto on jo 7 vuotta vanha ja sen päivitys tulee olemaan lähivuosina joka tapauksessa ajankohtaista. Uuden kaluston arvioitu käyttöikä on 5-10 vuotta, joten hankinta on myös pitkäaikainen. Alla oleva SWOT-analyysikäyttö 3 tiivistää uuden kaluston hankinnan edut ja haasteet.

<p>Vahvuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mittausnopeuden kasvu • Mittavirheiden vähentyminen • Laadunvarmistuksen kehitys • Dokumentaation laadun nousu 	<p>Heikkoudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hinta • Koulutuksen tarve
<p>Mahdollisuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ohjelmistojen päivittyessä tietomallin käyttö mittaukseen mahdollistuu • Tietomallinnuksen kehitystyö • Tulostamisen tarve vähenee 	<p>Uhat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Käyttömäärän mahdollinen vähenäisyys • Menetelmiä aletaan käyttämään pelkästään tekemisen takia, ei niinkään hyödyn

KAAVIO 3. SWOT-analyysi kalustohankinnasta (kaavio Jonne Lahtinen)

Informaation talteenotto tietomallista käsin on nykyteknologialla jo täysin saavutettavissa. Tätä mahdollisuutta hyödynnetään NCC:llä tällä hetkellä jo osittain, mutta kaikkia sen tarjoamia etuja ei ole vielä huomioitu päivittäisessä työskentelyssä. Solibrista saatavat yksittäiset havainnekuvat ja koordinaattitietojen hankkiminen tietomallista ovat jo osa mittamiehen arkipäiväistä työskentelyä. Solibrin käytöstä järjestetään NCC:llä koulutuksia, joilla varmistetaan, että ohjelmasta saadaan paras mahdollinen hyöty irti.

Laajempien listauksien saamiseksi tulisi suunnittelijoiden ja mittamiesten välille luoda selkeä tapa kommunikoida. Listausten tekeminen voitaisiin esimerkiksi sisällyttää suunnittelusopimukseen, jolloin niistä ei aiheutuisi ylimääräistä kustannusta projekteille. Hyvä toimintamalli olisi myös, että suunnittelusopimuksissa veloitettaisiin tallentamaan suunnitelmat 3D DWG -muodossa projektipankkiin. Tästä tiedostomuodosta mittamies pystyy helposti itse poimimaan kappaleiden koordinaatteja.

Laserkeilauksen ja muun mittaustyön yhteydessä otettavia valokuvia olisi hyödyllistä tallentaa yhteisesti sovittuun paikkaan esimerkiksi PRO3:seen. Kuvista olisi jatkossa hyötyä rakennusvaiheessa suunnittelijoille ja muulle projektihenkilökunnalle, sillä ne voivat vähentää tarvittavia työmaakäyntejä. Kuvista on hyötyä myös dokumentaatiota ja mahdollisia myöhempiä korjaushankkeita varten.

6 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, miten tietomallipohjaiset suunnitelmat ovat hyödynnettävissä rakennusmittauksessa ja toisaalta miten rakennusmittauksesta saatavat tarketiedot sekä kuvat saataisiin vietyä takaisin tietomalliin. Työssä selvitettiin myös NCC:llä tällä hetkellä käytössä olevat laitteet ja järjestelmät sekä hankittiin haastattelujen avulla tietoa, mikä olisi tehokkain tapa alkaa kehittämään mittaustyön ja tietomallin yhteensopivuutta. Tutkimusmenetelmänä käytettiin pääasiassa teemahaastatteluja. Teoriaosuuteen hankittiin tietoa alan kirjallisuudesta ja julkaisuista.

Tutkimuksen tavoitteena oli tunnistaa kehityskohteita tietomallinnuksen ja rakennusmittauksen yhteistyön edistämiseksi, priorisoida havaitut aiheet sekä tehdä käyttökelpoisimmaksi havaitusta aiheesta kustannusvertailu. Tärkeimmäksi havaittuja kehitysaiheita kokeiltiin laitevalmistajan esittelytilaisuudessa 30.10.2017. Esittelytilaisuudessa kokeiltiin mittaamista tietomallin avulla, laserkeilaamista sekä otettiin 360-valokuvia valitusta kohteesta.

Tilaisuudessa todettiin, että suoraan tietomalliin pohjautuva mittaustyö ei vielä käytännössä ole järkevää, sillä se vaatisi huomattavan määrän valmistelevia työvaiheita. Mikäli menetelmä haluttaisiin saada käyttöön, vaatisi se jatkotutkimusta siitä, miten tietomalli saataisiin muutettua sellaiseen muotoon, että mittausohjelmat tunnistaisivat siitä suoraan mittapisteitä sekä kappaleiden reunaviivat olisivat omia objektejaan, eivätkä yhtenäisiä kappaleita. Tietomallin todettiin kuitenkin tuovan jo nyt etuja rakennusmittauksen AR-tekniikan ja kohteen helpomman havainnoinnin kautta.

Laserkeilaus onnistui esittelytilaisuudessa hyvin. Sen yhteydessä kohteesta saatiin myös keilatusta alueesta paikkatiedoilla varustetut valokuvatiedostot. Keilauksesta muodostuvan pistepilvimallin käyttöönotto osaksi jokapäiväistä työskentelyä toisi NCC:lle mahdollisuuksia laadunvarmistuksen, piiloon jäävien rakenteiden dokumentoinnin ja suunnittelun lähtötietojen hankkimiseen. Mikäli laserkei-

lausta halutaan käyttää NCC:llä korjaushankkeiden lähtötietosuunnitelmien tekemiseen, on tämän tutkimuksen pohjalta hyödyllisin toimintamalli teettää keilaus ulkopuolisella yrityksellä.

Laserkeilauksen todettiin myös tarjoavan paljon lisämahdollisuuksia rakennusmittaukselle tekniikan kehittyessä. Yksi esimerkki näistä mahdollisuuksista on lämpökuvaus. Perinteisiin lämpökuvauksiin verrattuna laserkeilaus on merkittävästi nopeampi ja kustannustehokkaampi vaihtoehto. Lämpökuvaus laserkeilaimella vaatii keilaimeen asennettavan lisäkameran. Tällä hetkellä lämpökameroita on kuitenkin saatavissa vain varsinaisiin laserkeilaimiin. NCC:lle tämän menetelmän käyttöönotto edellyttäisi ulkopuolisen mittausyrityksen käyttöä. Mikäli tulevaisuudessa lämpökameroita on saatavissa keilaintakymetrien lisälaitteeksi, on se tämän tutkimuksen perusteella varteen otettava lisä NCC:llä tapahtuvaan mittaustyöhön.

Kohteesta saatujen valokuvatiedostojen hyödyntäminen NCC:llä paikkatietojen avulla ei välttämättä tällä hetkellä ole hyödyllistä, sillä paikkatietojen katseluun on välttämätön olla mittalaitteen ohjelmisto, jonka lisenssi on kallis. Valokuvista olisi kuitenkin hyötyä visuaalisesti ilman paikkatietoakin. Hyödyllinen toimintamalli olisi perustaa jokaiselle projektille yhteinen valokuvakansio.

Tutkimuksen pohjalta voidaan todeta, että useimpien kehitysaiheiden toteutuminen edellyttäisi NCC:llä laitteistopäivityksiä. Mittamiehillä käytössä olevat laitteet ovat tällä hetkellä vanhoja, uudet laitteet toisivat mittaustyöhön tarkkuutta ja nopeutta sekä vähentäisivät toimistossa käytettäviä työtunteja. Mahdollisista korvaavista laitteista tehtiin vertailu. Laittevertailuun otettiin mukaan kolme laitetta: Trimble SX10, Trimble S7 ja Leica MS60. NCC:n tarpeisiin vaikuttaisi tällä hetkellä parhaiten soveltuvan hinta-laatusuhteensa sekä suuremman tablet-maastotietokoneensa vuoksi Leican MS60-laite.

Työn aikana ilmeni myös, että tietomallista olisi rakennusmittauksen näkökulmasta hyödyllistä saada tallennettua erilaisia kappaleiden koordinaattilistauksia. Tämän osalta todettiin, että kyseistä mallia varten tarvitaan suunnitteluohjelmistoja, jotka vaativat lisenssin. Lisäksi ohjelmien käyttö vaatisi käyttökoulutusta. Lisenssien ja koulutusten korkeista kustannuksista johtuen päädyttiin siihen, että

parhaiten toimiva ratkaisu tähän ongelmaan olisi tällä hetkellä velvoittaa jatkossa suunnittelusopimuksissa suunnittelijoita toimittamaan mittamiehen pyynnöstä tarvittavia listauksia. Näin listaukset saataisiin jo nyt mittamiehen käyttöön ilman erillisiä kustannuksia.

LÄHTEET

1. Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet 4. painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulu julkaisusarja D3. Kopiojyvä Oy, Jyväskylä.
2. Tukia, K. 2007. Tietokoneavusteinen rakennustyömaan mitta- ja määrätiedon hallinta. Painotalo Gillot, Turku.
3. Fotogrammetria ja kaukokarkoitus. Aalto yliopisto. [Internetsivut]. Saatavissa: <http://maa.aalto.fi/fi/research/gma/photogrammetry/>. Hakupäivä 13.9.2017.
4. Vinni, P. 2003. Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa – Mitä on fotogrammetria. Verkkodokumentti. Saatavissa: <http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm>. Hakupäivä 13.9.2017.
5. RT 10-11066. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 1. Yleinen osuus. Maaliskuu 2012.
6. RT 10-11068. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 3. Arkkitehtisuunnittelu. Maaliskuu 2012.
7. RT 10-11069. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 4. Talotekninen suunnittelu. Maaliskuu 2012.
8. RT 10-11070. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 5. Rakennesuunnittelu. Maaliskuu 2012.
9. Kunz, J, Fischer, M. 2012. Virtual Desing and Construction: Themes, case studies and implementation suggestions version 14. Stanford university.
10. Jäväjä, P. 2016. Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Rakennustieto Oy, Helsinki.
11. Tekla Oy. [Internetsivut]. Saatavissa: <https://www.tekla.com/fi/tietoa-meist%C3%A4/mit%C3%A4-bim>. Hakupäivä. 12.10.2017.
12. Omatalo Oy. [Internetsivut]. Saatavissa: <http://www.omatalo.com/blogi/mita-on-bim/>. Hakupäivä. 12.10.2017.

13. Valjus, J. 2007. Tuotemallintaminen rakennesuunnittelussa. Rakennustieto Oy, Helsinki.
14. Yleiset inframallivaatimukset 2014 osa 1 (YTV2014). [Verkojulkaisu] [Hakupäivä 8.10.2017] Saatavissa: http://infrabim.fi/luonnokset/YIV2014_Mallin-nusohjeet_OSA_1_Tietomallipohjainen_hanke_luonnos_2014_12_04.pdf
15. NCC-intranet [Internetsivut]. Ei yleisesti saatavissa.
16. RT 10-11074. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 9. Mallien käyttö talo-tekniikan analyyseissä. Maaliskuu 2012.
17. Geotrim Oy. [Internetsivut]. Saatavissa: <https://shop.geotrim.fi/>. Hakupäivä 1.11.2017.