

# 3D-laserkeilainaineiston hyödyntäminen uudisrakentamisessa

Antti Kauppinen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2015

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) Kauppinen, Antti	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 4.5.2015
	Sivumäärä 57	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>3D-laserkeilainaineiston hyödyntäminen uudisrakentamisessa</b>		
Koulutusohjelma Rakennustekniikka		
Työn ohjaaja(t) Korpinen, Jussi		
Toimeksiantaja(t) ProSolve Oy, Lahtinen Mikko		
Tiivistelmä <p>Laserkeilaus on tehokas tapa tuottaa tietoa kohteen kolmiulotteisuudesta. Laserkeilauksen tuloksena saadaan pistepilvi, jossa jokaiselle pisteellä on tunnettu sijainti xyz-koordinaatistossa. Pistepilveä voidaan hyödyntää useisiin käyttötarkoituksiin ja erilaiset teollisuuden alat, kuten auto-, rakennus-, elokuva- ja peliteollisuus, hyödyntävät laserkeilaustekniikkaa.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja selvittää laserkeilaustekniikan käyttöä uudisrakentamisessa. Tavoitteena oli löytää tapoja hyödyntää laserkeilaustekniikkaa uudisrakentamisen suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa. Lisäksi työssä pyrittiin selvittämään laserkeilaustekniikan käyttöä rajoittavia tekijöitä uudisrakentamisessa.</p> <p>Opinnäytetyössä laserkeilaustekniikkaan perehdyttiin ensin kirjallisuuden avulla. Tämän jälkeen sähköpostitse suoritettujen kyselyjen antoivat lisätietoa eri osapuolilta: tutkijoilta, maa-antaja- ja suunnittelijoilta, rakennuttajilta, urakoitsijoilta ja laserkeilauspalvelua tarjoavilta yrityksiltä. Kyselyyn vastasi yhteensä 10 henkilöä.</p> <p>Tutkimuksessa löydettiin useita mahdollisuuksia hyödyntää laserkeilaustekniikkaa uudisrakentamisessa esim. laadunvalvonnassa ja massalaskennassa. Samalla saatiin selvitettyä laserkeilaukseen liittyviä ongelmia ja tulevaisuuden suuntauksia. Ongelmina nähdään suurten pistepilvien käsittely ja työmaan keilausolosuhteet. Tulevaisuuden suuntauksia edustaa itseohjautuvat autot ja sujuvampi pistepilvien käsittely eri ohjelmien välillä.</p>		
Avainsanat (asiasanat)  Laserkeilaus, pistepilvi, rakentaminen		
Muut tiedot		



Author(s) Kauppinen, Antti	Type of publication Bachelor's thesis	Date 4.5.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 57	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Applicability of 3D-laser scanner data in new construction</b>		
Degree programme Civil Engineering		
Tutor(s) Korpinen, Jussi		
Assigned by ProSolve Oy, Lahtinen Mikko		
Abstract <p>Laser scanning is an efficient way to produce three-dimensional information of objects. The laser scanning produces a point cloud where every point has a known location in an x,y,z-coordinate system. The point cloud can be used for several purposes. Many industrial fields, e.g. car, construction, movie and game industries, use the laser scanning technology.</p> <p>The aim of this thesis was to explore how laser scanning can be used in new construction sites. The idea was to find out ways to utilize the laser scanning technology in different stages, e.g. planning, construction, maintenance-, in new construction sites. Additionally, issues constraining the use of the laser scanning technology in new construction sites were established.</p> <p>First, the laser scanning technology was studied utilizing literature in the field. Next, targeted e-mail inquiries were sent to investigators, importers, planners, promoters, contractors and companies offering laser scanning services in order to get additional information from the laser scanning technology. There were ten replicants.</p> <p>The results of the study include different solutions on how to use the laser scanning technology on new construction sites. The study also reveals some problems and future direction in laser scanning technology. There are problems in handling the big point clouds and the circumstances of constructions. Future directions represent self-steering cars and fluent handling of engineering software.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> )  Laser scanning, point cloud, construction		
Miscellaneous		

## Alkusanat

Ennen opinnäytetyön aloitusta laserkeilaus oli tullut minulle tutuksi menetelmäksi keväällä 2014 suoritettuna ammattikorkeakoulun työharjoittelujakson aikana. Työharjoittelupaikkana toimi ProSolve Oy, jolta sain myös opinnäytetyöni aiheen. Aihe kiinnosti minua ja ryhdyin suureen, mutta kiinnostavaan urakkaan. Opinnäytetyön edessä laserkeilauksen käyttö uudisrakentamisessa osoittautui laajaksi ja koko ajan kehittyväksi maailmaksi. Minua opinnäytetyössäni auttaneita ihmisiä on paljon ja he kaikki ansaitsevat suuret kiitokset.

Eriyisesti haluan esittää kiitokset ProSolve Oy:lle, ProSolven projekti-insinööreille Mikko Lahtiselle ja Eetu Siitoselle sekä työni ohjaajalle Jussi Korpiselle. Kiitos mielenkiintoisesta aiheesta, tuesta ja luottamuksesta, jota minulle annoitte.

Ja lopuksi haluan vielä kiittää perheenjäseniäni ja ystäviäni, ilman teidän tukeanne ja apuunne tämä ei olisi onnistunut.

Jyväskylässä toukokuussa 2015

Antti Kauppinen

## Sisältö

<b>1. TYÖN LÄHTÖKOHDAT .....</b>	<b>4</b>
<b>2. TIETOMALLI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Yleistä .....	5
2.2 Uudisrakentaminen ja tietomalli.....	5
2.3 Tietomallintaminen .....	6
2.3.1 Vaatimusmalli .....	6
2.3.2 Inventointimalli.....	7
2.3.3 Tilamalli .....	7
2.3.4 Alustava rakennusosamalli .....	7
2.3.5 Rakennusosamalli .....	8
2.3.6 Järjestelmämallit TATE.....	8
2.3.7 Tuoteosamalli.....	8
2.3.8 Yhdistelmämalli.....	8
2.3.9 Toteumamalli .....	8
2.3.10 Ylläpitomalli.....	10
2.4 Tietomallin hyödyt.....	11
2.4.1 Toteumamallin hyödyt.....	11
2.5 Tietomallin rajoitukset .....	12
<b>3. MALLINNUS .....</b>	<b>12</b>
3.1 Yleiset tietomallivaatimukset .....	12
3.2 Uudisrakennuksen mallinnus .....	12
3.3 Mallien tuottaminen projektin vaiheissa .....	13
3.4 Tiedonsiirtostandardit IFC ja COBie.....	14

<b>4. 3D-LASERKEILAUS.....</b>	<b>16</b>
4.1 Yleistä .....	16
4.2 Keilauksen vaiheet.....	19
4.3 Pistepilvi ja sen käsittely.....	21
<b>5. 3D-LASERKEILAUS UUDISRAKENTAMISESSA.....</b>	<b>23</b>
5.1 Kirjallisuustutkimus laserkeilauksen hyödyntämisestä uudisrakentamisessa .	23
5.1.1 Laserkeilauksen hyödyntäminen kunnan suunnittelutoiminnassa .....	24
5.1.2 Työmaan hallinta .....	24
5.1.3 Asuin- ja liikerakentaminen .....	25
5.1.4 Ydinvoimarakentaminen.....	28
5.1.5 Siltarakentaminen.....	29
5.1.6 Laserkeilaustekniikan soveltamisen haasteet uudisrakentamisessa.....	32
5.2 Kyselytutkimus laserkeilauksen hyödyntämisestä uudisrakentamisessa .....	33
5.2.1 Kysely .....	33
5.2.2 Laserkeilaus Suomessa ja maailmalla .....	34
5.2.3 Laserkeilauksen käyttömahdollisuudet .....	34
5.2.4 Laserkeilauksen hyödyntäminen uudisrakentamisessa .....	35
5.2.5 Laserkeilauksen ongelmia ja rajoitteita .....	36
5.2.6 Laserkeilaustekniikan kehitys .....	38
5.3 Laserkeilauksen soveltuminen uudisrakentamiseen .....	39
5.3.1 Tietomallintaminen.....	39
5.3.2 Laserkeilaus.....	40
5.3.3 Laserkeilaus uudisrakentamisessa .....	41
5.3.4 Laserkeilauksen ongelmia ja rajoitteita .....	42
5.3.5 Laserkeilauksen tulevaisuus.....	42
<b>6. POHDINTA .....</b>	<b>43</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>46</b>

**LIITTEET .....48**

Liite 1. Rakennemallin tietosisältö, toteutussuunnittelu.....	48
Liite 2. Taloteknisen tietomallin mallinnettavat komponentit .....	50
Liite 3. Suorakulmaisen särmiön mittaustulosten vertailua eri tarkkuuksilla ja etäisyyksillä .....	55
Liite 4. Sähköpostikyselyn kysymykset.....	56

**KUVIOT**

Kuvio 1. Mallinnuksen vaiheet .....	6
Kuvio 2. Liike- ja asuinrakentamisen prosessi.....	9
Kuvio 3. Liike- ja asuinrakentamisen prosessi uudisrakentamisessa .....	10
Kuvio 4. Hankkeen tietomallirakenne .....	13
Kuvio 5. Tietomallien hallinta kiinteistön elinkaaren aikana .....	15
Kuvio 6. Laserkeilain .....	16
Kuvio 7. Maa-laserkeilain ryhmiä toimintaperiaatteen mukaan .....	17
Kuvio 8. Ilmalaserkeilaamiseen liittyviä parametreja .....	18
Kuvio 9. Vaiheet laserkeilausprojektissa .....	19
Kuvio 10. Pallomaisia ja tasomaisia tähyksiä .....	20
Kuvio 11. Käsittelemätön pistepilvi.....	22
Kuvio 12. Käsitelty pistepilvi.....	22
Kuvio 13. Esimerkki mittaustuloksista käytettäessä eri mittaustapoja .....	25
Kuvio 14. Toteutuneen louhinnan pistepilvi ja suunniteltu tunneli .....	29
Kuvio 15. Käsittelemätön pistepilvi.....	30
Kuvio 16. Käsittelemätön pistepilvi välittömästi muottien purkamisen jälkeen .....	30
Kuvio 17. Valetun betonin toteumamalli .....	31
Kuvio 18. Mittausaineiston vertaaminen suoraan suunniteltuun geometriamalliin....	31
Kuvio 19. Mittapoikkeamien analysointia.....	32

## 1. Työn lähtökohdat

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli ProSolve Oy. ProSolve Oy on jyvaskyläläinen insinööri-toimisto, joka on perustettu vuonna 2004. Yrityksen toimipisteet sijaitsevat Jyväskylässä ja Kotkassa. Yrityksellä on kolme päätoimialuetta: konesuunnittelu, kiinteistöpalvelut ja 3D-keilauspalvelut. Työntekijöitä on noin 25. (ProSolve 2015.)

ProSolve Oy:llä on käytössään 3D-laserkeilain, jota yritys hyödyntää projekteissaan. Yritys halusi selvittää laserkeilaintekniikan mahdollisia käyttökohteita uudisrakentamiseen, joilla saataisiin tehostuttua rakentamista esim. materiaalilaskennassa ja laadunvarmistuksessa.

Perustiedot hankittiin hyödyntäen kirjallisuutta ja internetiä. Laserkeilauksen hyödyntämismahdollisuuksia selvitettiin sähköpostitse lähetetyin kyselyin. Kysymykset vaihtelivat hieman kohderyhmän mukaan. Kyselyiden kysymykset on esitetty liitteessä 4.

3D-laserkeilaus tarkoittaa sitä, että keilattava kohde dokumentoidaan 3D-laserkeilaimella kolmiulotteiseksi digitaaliseksi aineistoksi. Keilaimesta saatua kolmiulotteista digitaalista aineistoa kutsutaan pistepilveksi, joissa jokaisella pisteellä on tunnetut koordinaatit (x,z,y). Ennen pistepilven käyttöä sitä muokataan, jotta sen käsiteltävyys paranee. Valmistua pistepilveä voidaan hyödyntää monin eri tavoin esim. lähtötietona inventointimallissa ja maa-aineksien tilavuuksien mittaamiseen (Roivas 2014; Suominen 2007.)

Keilainta on käytetty teollisuudessa jo 90-luvulta lähtien, mutta vasta 2000-luvulla sitä on alettu käyttää laajemmin. Laserkeilausta käytetään rakentamisen lisäksi mm. arkeologiassa, tietokonepeleissä ja autoteollisuudessa. Suomessa laserkeilaustekniikkaa tutkii ja kehittää Geodeettisen laitoksen laserkeilaustutkimuksen huippuyksikkö. (Hotakainen 2015.)

Ulkomailla ollaan pidemmällä laserkeilaustekniikan käytössä uudisrakentamisessa, vaikka Suomi oli ensimmäisten joukossa Euroopassa ottamassa käyttöön laserkeilaustekniikkaa. USA on laserkeilauksen edelläkävijä maailmalla. Esimerkkinä USA:ssa



toimiva General Services Administration (GSA) yhtiö on luonut ohjeistuksen laserkeilauksen käytöstä rakennuksen tietomallintamisessa (General Services Administration 2009). Euroopassa johtavia maita ovat Saksa, Itävalta, Sveitsi ja Englanti. Suomessa laserkeilauksen käyttöönottoa työmaille on hankaloittanut maahantuojien sekava toiminta, menetelmän mieltäminen kalliiksi ja vastustus uuden teknologian käyttöönottoon. (PhD 2015.)

## **2. Tietomalli**

### **2.1 Yleistä**

Tietomalli on ollut käytössä teollisuudessa jo vuosikymmeniä, mutta rakennusalalla se on vasta viime vuosina tullut laajempaan käyttöön. Tietomalli on kolmiulotteinen malli rakennuksesta, johon on lisätty rakentamisessa hyödynnettäviä tietoja tietokoneohjelmien avulla. Tietomalli perustuu mallin sisältämään tietoon, objekteihin ja niiden sisältämiin tietoihin. Geometriatietojen lisäksi objekti voi sisältää tietoa esimerkiksi sen materiaaleista, määrästä, tyypistä (palkki, pilari jne.) yms. (Roivas 2014.)

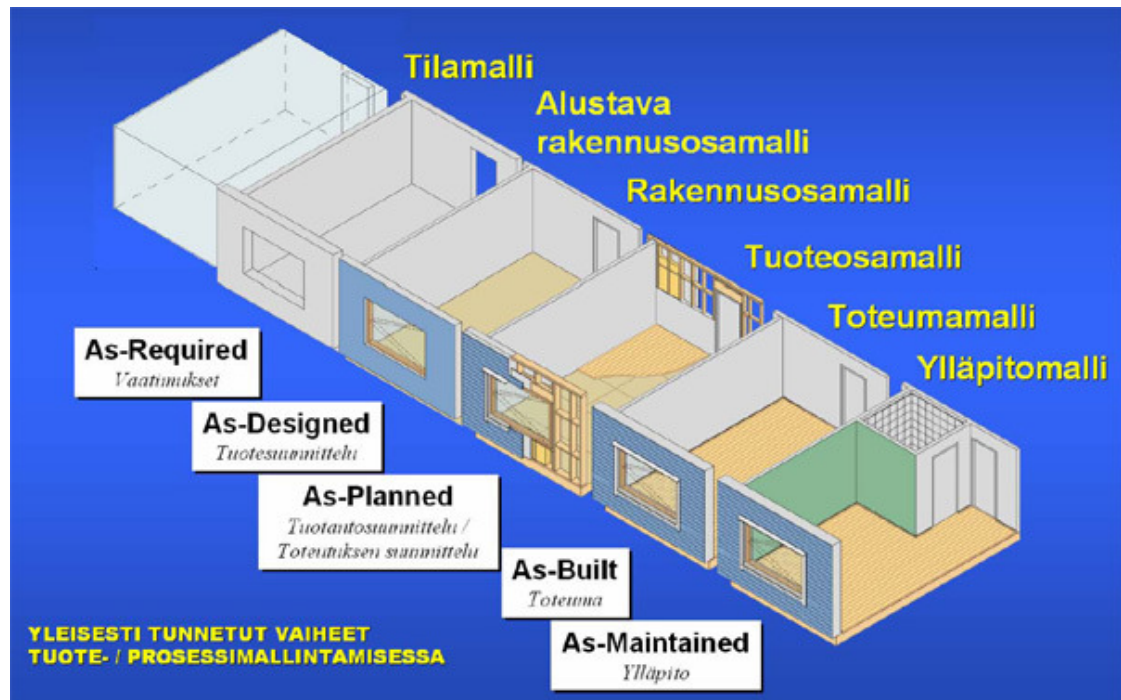
Tietomallia tulisi käyttää suunnittelun alkuvaiheesta rakennuksen elinkaaren loppuun, jolloin mallista saadaan paras hyöty irti. Rakennustyön edetessä lisätään myös tietomalliin uudet toteutuneet tiedot rakentamisesta. Näin saadaan kaikille rakentamisen osapuolille käyttöön ajantasaista tietoa. Tietomallilla pyritään parantamaan ja tukemaan suunnittelun ja lopputuotteen laatua sekä helpottamaan huollon ja ylläpidon toimintaa. (Roivas 2014; RT 10-11080 2012.)

### **2.2 Uudisrakentaminen ja tietomalli**

Tietomallintaminen on vakiinnuttanut asemansa uudisrakentamisessa. Yleiset tietomallivaatimukset asettavat selkeät raamit tietomallien käytölle rakentamisessa. Tietomallintamisella katsotaan olevan useita hyötyjä koko projektin ajan, kuten havainnollistavuus, sujuva määrien laskenta sekä törmäystarkastelut. Myös oppilaitokset ovat ottaneet huomioon tietomallintamisen osaamistarpeen työelämässä, järjestämällä mallintamiseen liittyviä kursseja opiskelijoille. (RT 10-11066 2012.)

## 2.3 Tietomallintaminen

Tietomallin yleiset vaiheet voidaan kuvata kuvion 1 mukaan. Tietomallin eteneminen on kuitenkin hyvin projektikohtaista. Projektille asetetut tavoitteet vaikuttavat mallilta vaadittuihin ominaisuuksiin, kuten tarkkuuteen ja visuaalisuuteen. Mallia tehdessä tuoteosat pitää tehdä niiden mallintamiseen tarkoitetuilla mallinnustyökaluilla.



Kuvio 1. Mallinnuksen vaiheet (Roivas 2014)

### 2.3.1 Vaatimusmalli

Vaatimusmalliksi voidaan kutsua tarveselvityksen pohjalta syntynyttä tilaohjelman ja hankepäätöksen aikaista vaihetta. Rakennushanke alkaa tarveselvityksellä. Tavoitteena on määrittellä tilanhankintaan liittyviä tavoitteita, kustannuksia, laajuutta, aikataulua ja muita rakennushankkeen alussa määriteltäviä asioita. Tuloksena syntyvät alustava tilaohjelma ja päätös hankkeen toteuttamisesta. Minimivaatimuksena mallille on taulukkomuotoinen tilaohjelma, jonka tulee sisältää tila-/tilaryhmäkohtaiset pinta-ala- sekä mahdolliset erityisvaatimukset. Uudisrakentamiskohteessa malli luo-

daan tässä vaiheessa tilaajan vaatimuksien pohjalta. (Roivas 2014; RT 10-11076 2012; RT 10-11066 2012.)

### **2.3.2 Inventointimalli**

Inventointimalli tehdään olemassa olevasta kohteesta korjausrakennushankkeen suunnittelun tueksi. Malli sisältää tontin muodon, tontilla olevien rakennusten geometrian ja rakennusosat. Malli voi olla dokumentoitu paperisena, mutta usein malli luodaan kolmiulotteiseksi. Näin jatkokäyttöä saadaan tehostettua. (Roivas 2014; RT 10-11076 2012.)

Vanhoista piirustuksista tehtävässä inventointimallissa on otettava huomioon asioita, jotka aiheuttavat mittapoikkeamia verrattuna todellisuuteen. Näitä asioita ovat mm. piirustusten paikkansa pitävyydet ja rakenteiden muodonmuutokset. Tällöin tarkistusmittaukset ovat ehdottomia. Inventointimalli voidaan tehdä myös pistepilviaineistosta, joka on luotu kohteesta laserkeilaimella. Keilain mittaa laserin avulla rakenteen geometrian, jonka avulla saadaan tehtyä todellisuuteen verrattava malli. (Roivas 2014.)

### **2.3.3 Tilamalli**

Arkkitehti luo tilamallin vaatimusmallin pohjalta. Mallilla havainnollistetaan rakennusta rakennushankkeen osapuolille. Mallista saadaan tietoja rakennuksen koosta, huonejaoista, tiloista, visualisoinnista, massoituksesta ja sijainnista tontilla. Huolellisesti tehty tilamalli luo hyvän lähtötilanteen suunnittelulle. Suunnittelijoiden on sitä sujuvampi tehdä tehtäviään, mitä paremmin tiloille annetut vaatimukset. Näitä vaatimuksia ovat mm. rakenne- ja laatuvaatimukset sekä viranomaismääräykset, jotka määriteltä ja täytetty tilamallissa. (Roivas 2014; RT 10-11068 2012.)

### **2.3.4 Alustava rakennusosamalli**

Alustava rakennusosamalli tehdään pohjaksi rakennusosamallille, jossa otetaan kantaa detaljeihin ja kiinnityksiin. Alustavasta rakennusosamallista käyvät ilmi seinien, palkkien, pilarien, ikkunoiden, ovien, ja aukkojen koot. (Roivas 2014.)

### **2.3.5 Rakennusosamalli**

Rakennusosamalli vastaa toteutussuunnittelua, ja tästä mallista tuotetaan rakennusluvan hakemiseen tarvittavat suunnitelmat ja dokumentit. Mallissa lisätään tarkempia tietoja alustavaan rakennusosamalliin. Tietoja lisätään rakenteiden liitoksista, rakenteista ja kiintokalusteista. Useimmiten rakennusosamallissa detaljit linkitetään malliin. Tämän katsotaan olevan helpompaa kuin, yritys muokata rakenteita täysin oikeiksi. (Roivas 2014; RT 10-11068 2012.)

### **2.3.6 Järjestelmämallit TATE**

Talotekniikan (TATE) malleja kutsutaan järjestelmämalleiksi. Näitä ovat mm. LVI-, sähkö-, tele- ja rakennusautomaationjärjestelmämallit. TATE-mallit sisältävät vain TATE-suunnitelmiin kuuluvia objekteja. Niissä ei saa olla sisällytettynä muiden suunnittelijoiden malleja. TATE-järjestelmämallia hyödynnetään järjestelmien toiminnan analysointeihin esim. valaistus- ja virtaussimulointi (RT 10-11069 2012; RT 10-11074 2012.)

### **2.3.7 Tuoteosamalli**

Tuoteosamalli on päivitetty malli rakennusosamallista. Mallissa esitetään yksityiskohteisempaa tietoa mm. rakenteiden materiaaleista, ominaisuuksista, rakennustuotteiden toimittajista. Tuoteosamallia kutsutaan myös toteutusmalliksi. (Freese Penttilä ja Rajala 2007.)

### **2.3.8 Yhdistelmämalli**

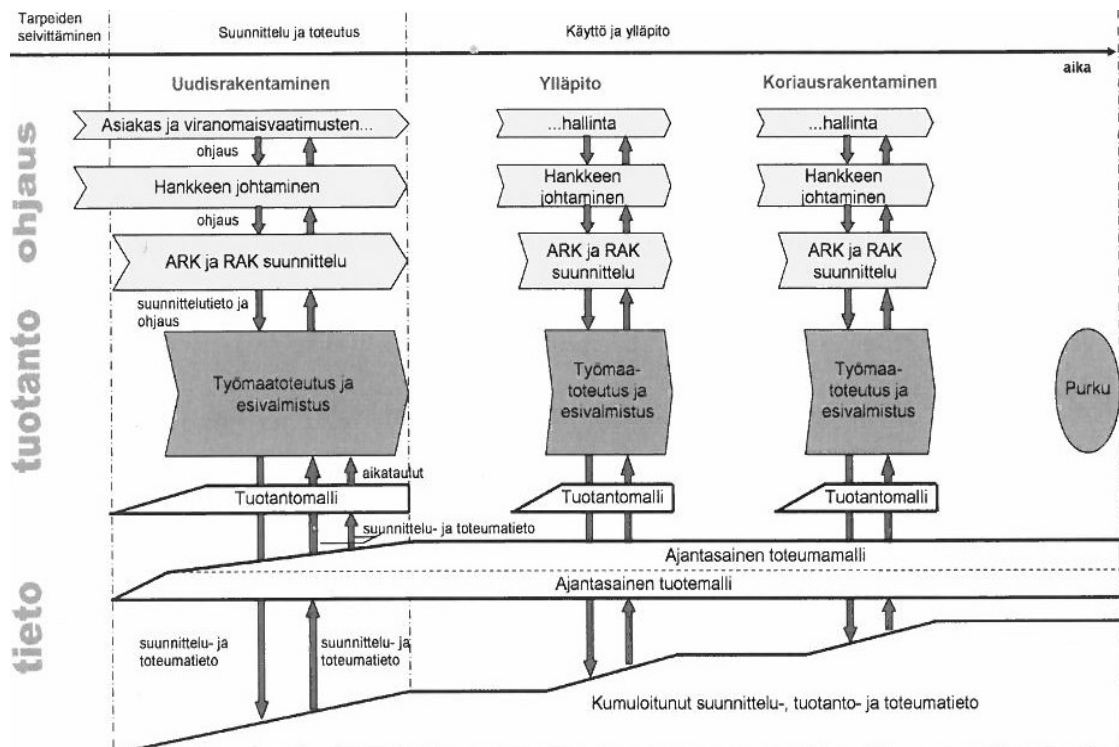
Yhdistelmämallissa yhdistetään suunnittelijoiden mallit yhdeksi malliksi, jolla havainnollistetaan ja tarkastellaan suunnitelmien yhteensopivuuksia. Näitä ovat TATE-järjestelmien törmäystarkastelu, reikä- ja varaussuunnittelu sekä talotekniikan laitteiden tutkiminen osana rakennusta. (RT 10-11069 2012.)

### **2.3.9 Toteumamalli**

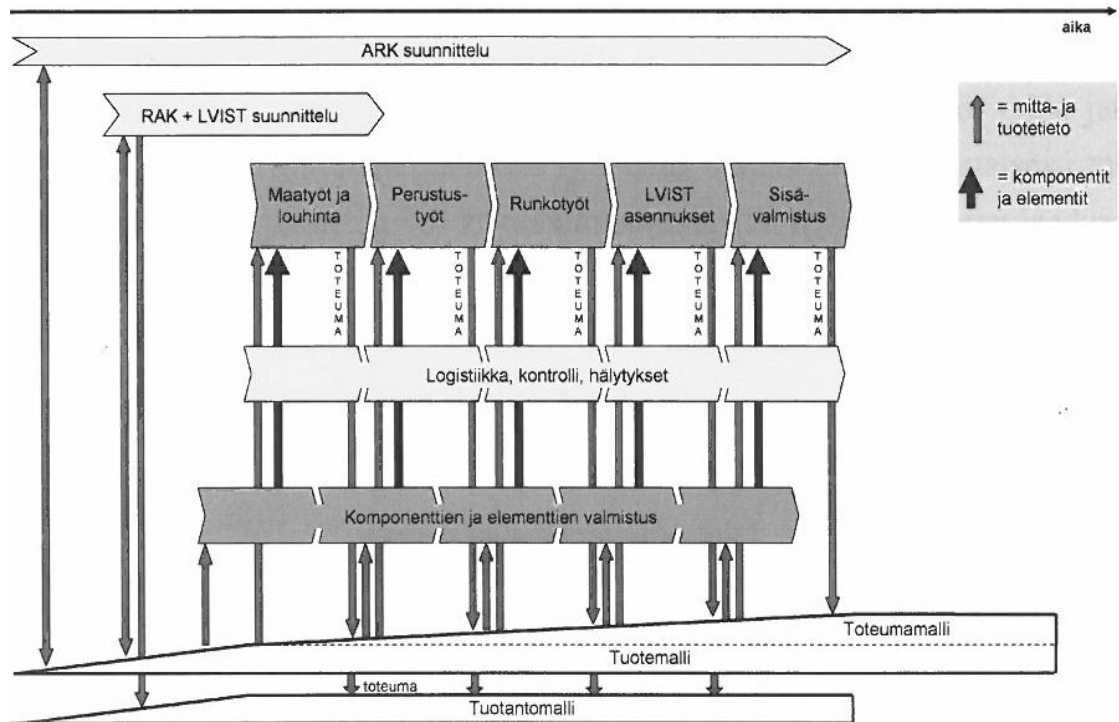
Toteumamalli on malli, johon on päivitetty kaikki rakentamisessa tulleet muutokset ja se vastaa toteutunutta tilannetta. Malli voidaan tehdä valmiista rakennuksesta tai useassa vaiheessa rakennustyön aikana. Valmiista rakennuksesta pystytään mallin-

tamaan vain näkyvät osat, jolloin suuri osa rungosta jää piiloon verhousosien taakse, varsinkin asuin- ja liikerakennuksissa. (RT 10-11077 2012; RT 10-11068 2012; Suominen 2007.)

Paras malli saadaan, kun runko, talotekniikka ja verhous mallinnetaan jo rakentamisvaiheessa, tuolloin ne kaikki saadaan malliin mukaan. Kuvioissa 2 ja 3 esitetään tuotaja toteumamallin hyödyntämistä rakentamisprosessissa. Mallia voidaan käyttää pohjana käytön aikaisille muutoksille, tilahallinnolle ja kiinteistön ylläpidolle. (RT 10-11077 2012; RT 10-11068 2012; Suominen 2007.)



Kuvio 2. Liike- ja asuinrakentamisen prosessi (Suominen 2007)



Kuvio 3. Liike- ja asuinrakentamisen prosessi uudisrakentamisessa (Suominen 2007)

3D-mittaustekniikka kuten laserkeilaus tuottaa tehokkaasti tietoa toteutuneesta rakenteesta. Ajantasainen toteumamalli on osa ajantasaista tuotemallia, jolloin uudet toteumatiedot on syytä päivittää toteumamalliin. Toteumamallin sisältämät toteumatiedot pidetään erillään tuotemallin suunnittelutiedoista. Tuotemallin suunnittelutieto on ensisijainen suunnittelun apuväline. (Suominen 2007.)

Rakennesosat tulevat usein näkyviin korjaus- ja muutostöiden yhteydessä verhouksia poistettaessa. Uusista mittaustiedoista voidaan vertailemalla nähdä rakennesosien mahdolliset siirtymät, kuten painumat, joiden vaikutukset rakennukseen voidaan laskea. (Suominen 2007.)

### 2.3.10 Ylläpitomalli

Ylläpitomalli on tarkoitettu kiinteistöhuollon hallintatyökaluksi. Vaatimukset ylläpitomallille saattavat poiketa suuresti rakennus- ja suunnitteluvaiheen vaatimuksista. Malli voi olla muokattu rakennusosamallista ylläpidon tarpeisiin sopiviksi, jolloin mallissa on vain tarpeelliset tiedot ylläpidon kannalta. (RT 10-11068 2012.)

## **2.4 Tietomallin hyödyt**

Rakennuksen havainnollistaminen 3D-mallina antaa kohteesta hyvän kokonaiskuvan hankkeen osapuolille. Mallista saa selkeät tiedot kohteen koosta, ulkonäöstä, tiloista ja rakenteista. Mallin avulla pystytään jo suunnitteluvaiheessa havainnollistamaan ja laskemaan kustannuksia kohteelle. Mahdolliset suunnitteluvirheet on nopea tarkastella ja korjata törmäystarkastelujen avulla. Tästä seuraa suunnitelmien laadun parantumista ja virheet voidaan korjata jo ennen työmaavaihetta suunnitteluvaiheessa. (Roivas 2014.)

Tietomallista saadaan vaivattomasti määrä- ja pinta-ala tietoja, joten laskenta helpottuu. Myös virheiden määrä vähenee tietokoneen laskiessa. Tästä syystä on tärkeää mallintaa oikeilla mallinnustyökaluilla, muuten tietokoneen laskelma ei pidä paikkaansa. Tietomallipohjaisessa projektissa on laajemmin tietoa kuin normaalissa suunnittelussa. Malliin voi lisätä tietoja huollon ja ylläpidon tarpeisiin, kuten kunnossapidon suunnittelu ja budjetointi sekä olosuhteiden seuranta. Tietomallilla pystytään tarkastelemaan eri korjausvaihtoehtojen toimivuutta ja kustannuksia. Ristiriitoja syntyy vähemmän, kun suunnitteluvaiheen tiedonsiirto osapuolten välillä paranee. (Roivas 2014; RT 10-11077 2012.)

### **2.4.1 Toteumamallin hyödyt**

Työmaan rakentamista seurataan koko ajan. Työkohteen vapautuessa seuraavalle aliurakoitsijalle, on aliurakoitsijan tärkeää tietää, jatketaanko työtä suunnitelmien mukaan vai ei. On tärkeää tietää onko edellinen aliurakoitsija tehnyt työn suunnitelmien mukaan. Toteumamallia voi käyttää myös urakoitsijan sisäiseen laadunvalvontaan. Mitä nopeammin virheet huomataan, sitä edullisempaa ne on yleensä korjata. Ajantasaisesta toteumamallista hyödytään myös asennustyössä. (Suominen 2007.)

Kun verrataan toteutunutta tilannetta suunniteltuun, huomataan toleranssien ylitykset. Tuolloin voidaan päättää, mukautetaanko liittyvien rakenteiden mittoja vastamaan todellista tilannetta vai korjataanko virhe. Tätä voidaan ajatella sovellettavan myös talonrakentamiseen. Elementtien valmistusta pystytään muokkaamaan to-

teumatiedon pohjalta. Päämittojen muuttaminen onnistuu helposti, mutta suorakulmaisuudesta poikkeaminen vaatisi muutoksia valmistustekniikoihin. (Suominen 2007.)

## **2.5 Tietomallin rajoitukset**

Tietomallinnus soveltuu huonosti pieniin ja yksinkertaisiin kohteisiin, koska työmäärä saavutettuun hyötyyn nähden on suuri. Näissä kohteissa 2D-suunnitelmat ovat usein riittävät ja nopeammat.

Ohjelmissa ja ohjelmistoissa on vielä paljon kehitettävää. Ongelmia voi myös esiintyä mallien siirrossa suunnittelijoiden välillä. Malli avataan eri ohjelmistossa, jolloin osa tiedoista saattaa olla hävinnyt. (Roivas 2014.)

Uuden tekniikan käyttöönotto tuottaa yritykselle lisäkustannuksia. Koulutuksen järjestäminen ja uusien ohjelmistojen hankinta edellyttää rahallista panostusta. Myös epäilevät asenteet uutta tekniikkaa kohtaan voivat hankaloittaa tietomallintamisen käyttöönottoa.

## **3. Mallinnus**

### **3.1 Yleiset tietomallivaatimukset**

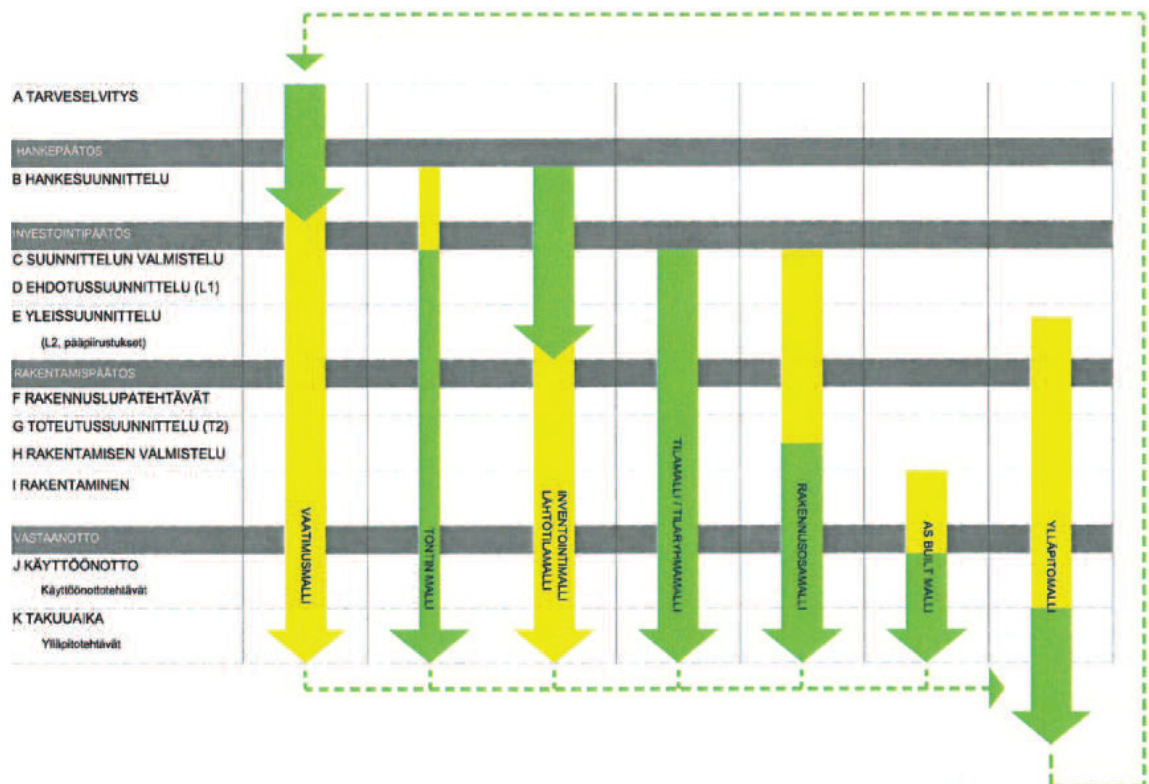
Senaatti-kiinteistöt julkaisi 2007 ”yleiset tietomallivaatimukset”. Yleiset tietomallivaatimukset sisältävät ohjeita ja säädöksiä tietomallin valmistuksesta. Vaatimuksia päivitettiin vuonna 2012 COMBIM-kehittämishankkeen tuloksena. Hankkeessa oli mukana Senaatti-kiinteistöt, Suomen johtavia suunnittelutoimistoja, kiinteistön omistajia ja urakoitsijoita. Tavoitteena yleisellä tietomallivaatimuksella on luoda alalle kansallinen standardi. (RT 10-11080 2012.)

### **3.2 Uudisrakennuksen mallinnus**

Aluksi tehdään tarveselvityksen pohjalta vaatimusmalli sisältäen tila-/tilaryhmäkohtaiset pinta-ala- sekä mahdolliset erityisvaatimukset. Vaatimusmallin pohjalta arkkitehti mallintaa tilamallin, joka sisältää tietoja koosta, huonejaoista, ti-



loista, visualisoinnista, massoituksesta ja sijainnista tontilla. Sen jälkeen mallinnetaan rakennusosamalli, josta tuotetaan lupahakemukseen tarvittavat dokumentit. To-teumamalliin muutetaan toteutuneet muutokset vastaamaan todellisuutta. Ylläpito-malli muokataan ylläpidon ja huollon tarpeitaan vastaaviksi. Kuvion 4 hankkeen tie-tomallirakenteessa näkyy mallien jaksottuminen eri suunnitteluvaiheissa. (RT 10-11068 2012; RT 10-11076 2012; RT 10-11066 2012.)



Kuvio 4. Hankkeen tietomallirakenne (RT 10-11068 2012)

### 3.3 Mallien tuottaminen projektin vaiheissa

Päivitetty mallit tulee olla kaikkien suunnitteluosapuolien saatavilla, silloin kaikki mallinkäyttäjät ovat selvillä suunnitelmiin tulleista muutoksista. Projektin edetessä mallit tarkentuvat luonnoksista tarkoiksi suunnitelmiksi. Mallia hyödynnetään rakentamisvaiheessa mm. havainnoinnissa, määrälaskennassa ja hankinnoissa. Rakennuksen valmistuttua mallia hyödynnetään ylläpidon tarpeisiin.

Projektin alussa selvitetään tavoitteet ja vaatimukset tarveselvityksellä, jonka perusteella päätetään toimintamalli tavoitteiden saavuttamiseksi. Näitä ovat mm. budjetti- ja aikataulutavoitteet, tilavuus, bruttoala ja tilojen kokonaisalat. Tarveselvityksestä saatujen tietojen perusteella laaditaan vaatimusmalli. (RT 10-11066 2012.)

Ehdotussuunnittelussa arkkitehti luo vaihtoehtoisia ratkaisuja toteutettavasta rakennuksesta. Rakennesuunnittelija luo rakennusmallitasoa vastaavat tutkielmat tyyppirakenteista. Talotekniset suunnittelijat luovat alustavat järjestelmämallit, joista ilmenee pääreitit, johtoreitit ja tilaa vievät kanavat. (RT 10-11066 2012.)

Yleissuunnittelussa aletaan kehittää valittua ratkaisua eteenpäin. Arkkitehti luo valitun suunnitelman perusteella alustavan rakennusosamallin. Rakennesuunnittelija mitoittaa rakennejärjestelmän ja tekee tiiviisti yhteistyötä eri suunnittelijoiden kanssa. Suunnitelmille suoritetaan törmäystarkastelut yhdistelmämallissa, jolloin saadaan selvitettyä järjestelmien ja rakenteiden yhteensopivuus. Mallin tarkkuuden pitää riittää rakennuslupa- ja vaadittavien suunnitelmien generointiin. (RT 10-11066 2012.)

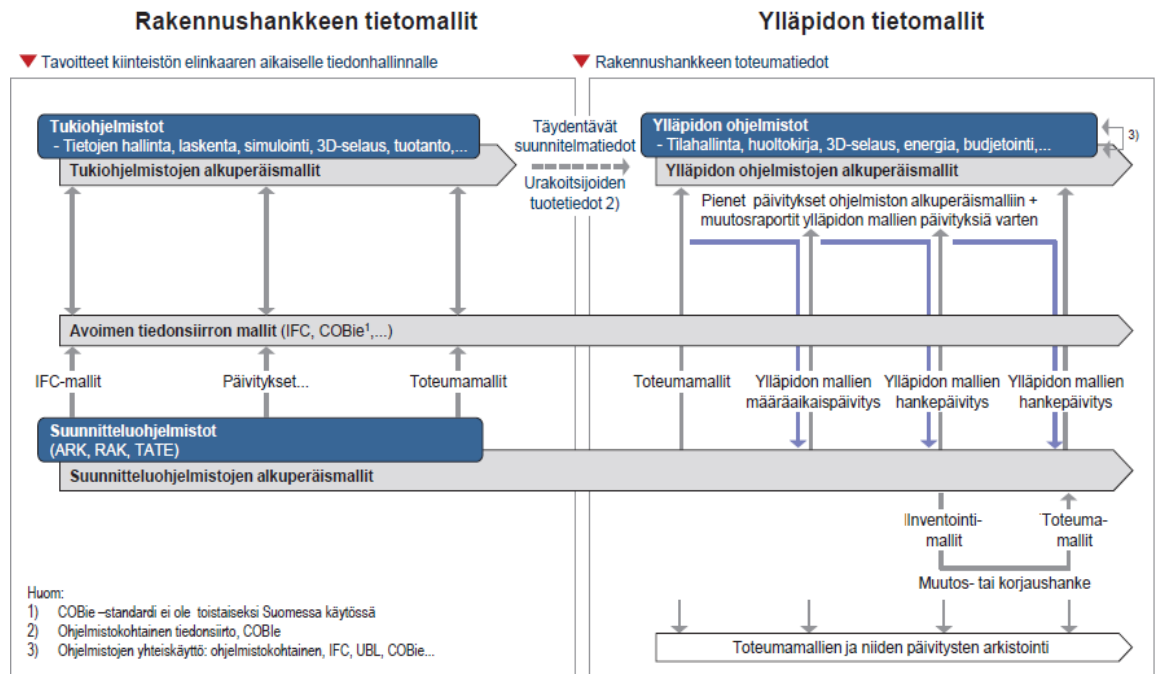
Toteutussuunnittelussa suunnitelmat viimeistellään urakkatarjouksien edellyttämään tarkkuuteen. Toteutussuunnittelussa arkkitehdin malli tarkentuu mittatarkaksi rakennusosamalliksi. Rakennesuunnittelija esittää mallissa rakenteiden oikeat paikat ja perusgeometriat (ks. liite 1). Taloteknisten suunnitelmien vaatimukset esitetään liitteessä 2. (RT 10-11066 2012; RT 10-11069 2012; RT 10-11070 2012.)

Rakentamisen aikana päivitetään malleihin tulleet muutokset säännöllisesti, jotta saadaan rakennuksen valmistuttua todellista tilannetta vastaava toteumamalli. Viimeistään rakentamisen loppuvaiheessa laaditaan huollolle ja ylläpidolle ylläpitomalli, jossa on tarpeelliset tiedot rakennuksesta. (RT 10-11066 2012.)

### **3.4 Tiedonsiirtostandardit IFC ja COBie**

Sujuva suunnittelutyö edellyttää toimivaa ja ajantasaista tiedonsiirtoa eri suunnitteluohjelmien välillä (ks. kuvio 5.). Tiedonsiirto eri suunnitteluohjelmistojen, tukiohjelmien

mistojen ja ylläpidon ohjelmistojen välillä perustuu avoimeen tiedonsiirtoon, kuten IFC- ja COBie- tiedonsiirtostantardeihin. (RT 10-11077 2012.)



Kuvio 5. Tietomallien hallinta kiinteistön elinkaaren aikana (RT 10-11077 2012)

Suomessa käytetään tietomallien avoimeen tiedonsiirtoon IFC- tiedonsiirtostantardia (Industriation foundation classes). IFC on tiedonsiirtomuotona ohjelmistoriippumaton, jolla pystytään siirtämään rakenteen kolmiulotteisia geometriatietoja eri ohjelmistojen välillä. IFC-muotoon perustuvassa tiedonsiirrossa tietoa tuottava ohjelma luo IFC-mallin omasta tallennusmuodosta IFC-muotoon, josta vastaanottava ohjelma muokkaa tiedon IFC-muodosta ohjelman omaksi tiedostomuodoksi. IFC-muotoista mallia ei muokata suoraan, vaan muokkaukset tehdään ohjelmistojen omilla tiedostomuodoilla ja ne tuodaan IFC-muotoon osapuolien tarkasteltavaksi. IFC-malli sisältää siis yhteiskäyttöiset osat ohjelmistojen alkuperäismallien tiedoista. Näin ollen IFC-mallit eivät korvaa alkuperäismalleja. (Roivas 2014; RT 10-11077 2012.)

USA:ssa kehitetty avoimen tiedonsiirron standardi COBie (Construction Operations Building Information Exchange) on tarkoitettu kiinteistöjen ylläpitoon tarvittavien

tietojen tallentamiseen määrämuotoisesti rakennushankkeessa. COBie on yhteensopiva IFC:n kanssa, täydentäen tietomallien hyödyntämistä IFC-muodossa. (RT 10-11077 2012.)

## 4. 3D-laserkeilaus

### 4.1 Yleistä

Laserkeilauksella muodostetaan nykytilaa vastaava kolmiulotteinen pistepilvi ympäristöstä. Laserkeilain on mittalaite, jolla pystytään mittaamaan kohde koskematta siihen. Keilain mittaa pisteen sijainnin lasersäteen paluuseen kuluneen ajan ja lähtökulman perusteella. Tällöin saadaan pisteen koordinaatit (x,y,z). Mittatarkkuudet vaihtelevat käyttökohteen ja keilaimen mittaustavan mukaan. Rakennusten mittauksessa käytettävät maalaserkeilaimet (ks. kuvio 6) ovat tarkkuudeltaan  $\pm 2\text{-}5\text{ mm}$  300 metrin matkalla. Mittaustulosten toleranssit ovat kääntäen verrannollisia keilauksen tarkkuuteen ja suoraan verrannollisia mittausetäisyyteen (ks. liite 3)( Karsidag, Alkan 2012). (Roivas 2014; Joala 2006.)



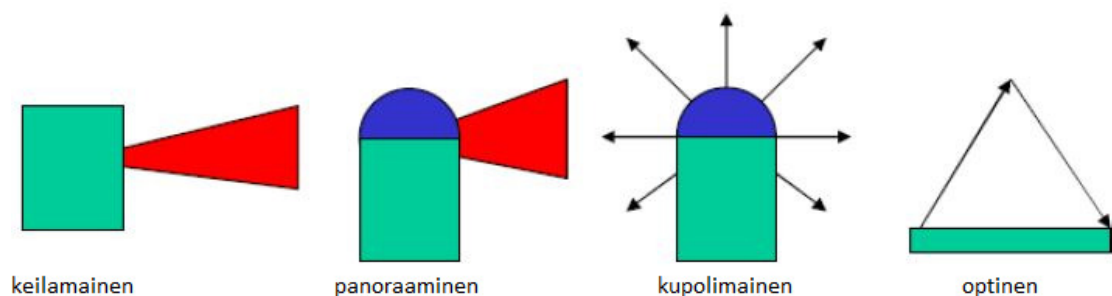
Kuvio 6. Laserkeilain (3D Surveying 2015)

Laserkeilaimet voidaan luokitella mittausetäisyyden mukaan kolmeen pääryhmään (Roivas 2014):

- Kaukokartoituskeilaimet, joita käytetään esimerkiksi kuvattaessa lentokoneesta tai helikopterista puustoa ja maanpinnan muotoja (ilmalaserkeilaus). Mittausetäisyys 0.1-100 km.
- Maalaserkeilaimet, joita käytetään esimerkiksi rakennusten mittaamiseen. Mittausetäisyys 1-300 m.
- Teollisuuslaserkeilaimet, joita käytetään teollisuudessa kappaleiden tarkkuusmittauksissa. Mittausetäisyys alle 30 m.

Maalaserkeilaimet pystytään vielä jakamaan neljään ryhmään (ks. kuvio 7) mittaustavan mukaan (Kari 2011):

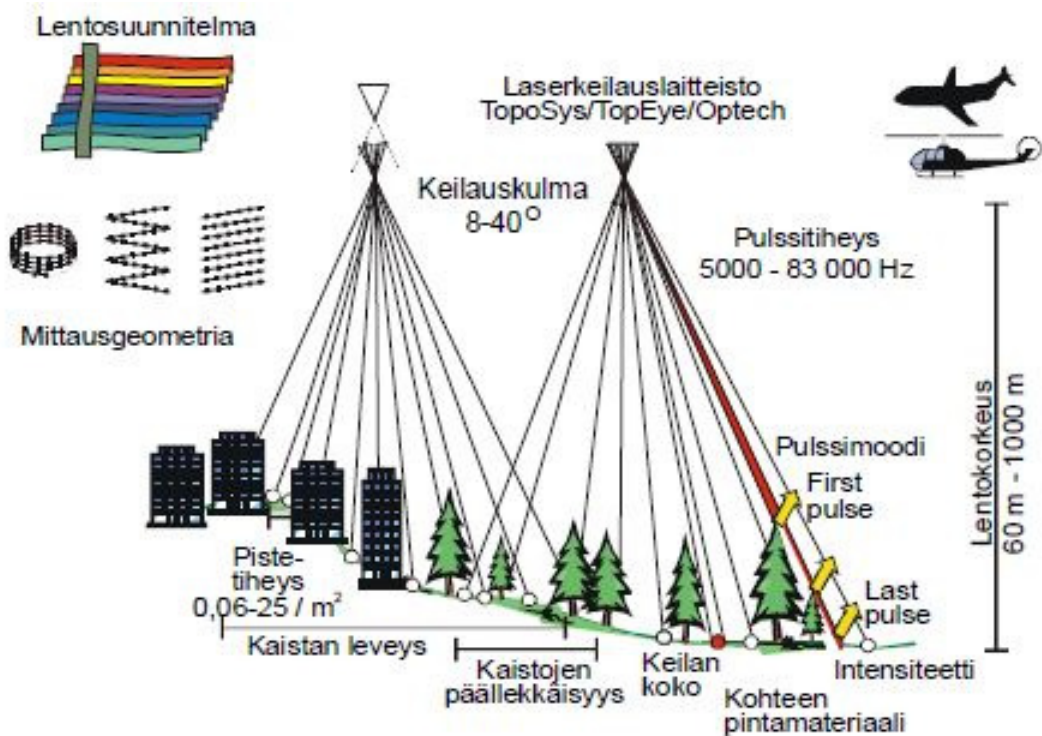
- Keilamainen mittaustapa
- Panoraaminen mittaustapa
- Kupolimainen mittaustapa
- Optinen kolmiomittaus mittaustapa.



Kuvio 7. Maa-laserkeilain ryhmiä toimintaperiaatteen mukaan (Kari 2011)

Ilmalaserkeilaus suoritetaan lentokoneesta tai helikopterista. Järjestelmään kuuluu laserkeilaimen lisäksi paikannuslaitteisto (GPS) ja koneen asentoa mittaava inertiajärjestelmä (IMU). Kun laitteiden tuottama tieto yhdistetään, saadaan selvitettyä pistei-

den sijainti koordinaattijärjestelmässä. Kuviossa 8 on selvitetty ilmalaserkeilaamiseen liittyviä parametreja. (Iivonen 2008.)



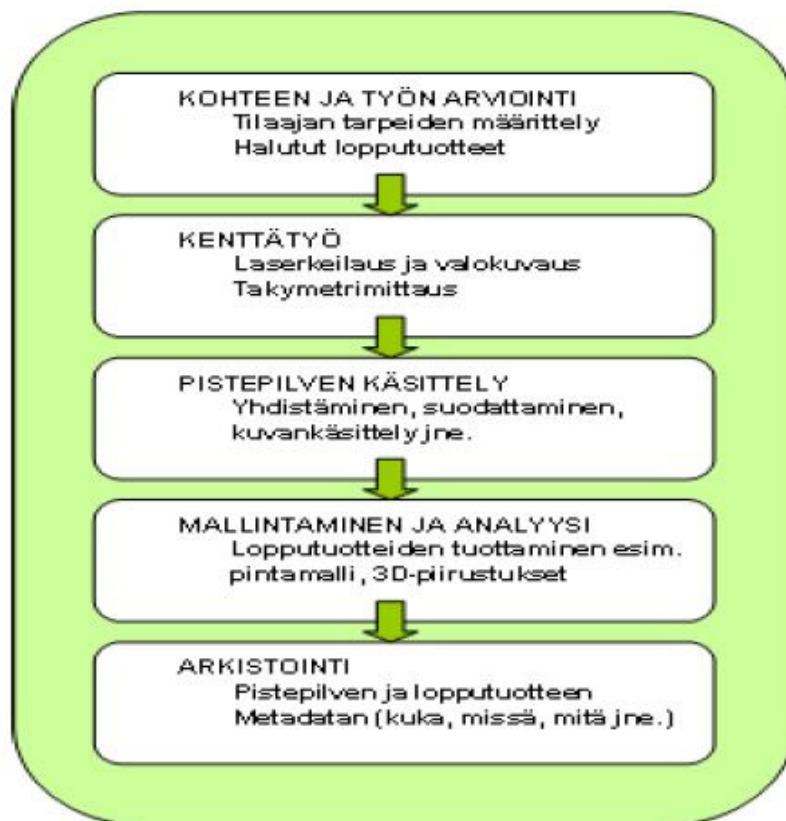
Kuvio 8. Ilmalaserkeilaamiseen liittyviä parametreja (Iivonen 2008)

Maalaserkeilaimella mitataan nimensä mukaisesti maanpinnalta. Yleensä mittaus tehdään paikalleen asetettavasta laitteesta, mutta keilain voidaan asentaa myös liikkuvaan ajoneuvoon esim. autoon. Maalaserkeilaimella mitattaessa lähellä olevat pisteet ovat tiheämmässä ja kauemmaksi mentäessä pisteet harvenevat. (Iivonen 2008.)

Teollisuuslaserkeilain on tarkoitettu pienien kohteiden tarkkaan mittaamiseen. Periaatteessa teollisuuslaserkeilain on maalaserkeilain. Teollisuuslaserkeilain soveltuu esimerkiksi pienten objektien mittaamiseen metalliteollisuudessa, arkeologian sovelutuksiin ja lääketieteen tarpeisiin. (Iivonen 2008.)

## 4.2 Keilauksen vaiheet

Työn alkuvaiheessa tulee määrittellä keilaimesta saatavan aineiston käyttötarkoitus. Tällöin varmistetaan, että mittauksen laajuus ja tarkkuus ovat sopivat, jolloin vältetään tarpeettomalta työltä ja ajan käytöltä. Keilausprojektissa vaihteita on useita, ja niiden määrä vaihtelee projektikohtaisesti. Korjauskohteissa tehdään usein rakennuksesta inventointimalli. Laserkeilausprojektin voi jakaa viiteen eri vaiheeseen kuvion 9 mukaan. (Roivas 2014.)



Kuvio 9. Vaiheet laserkeilausprojektissa (Kari 2011)

Aluksi selvitetään tilaajan tarpeisiin soveltuvat työn vaatimukset. Näitä ovat mm. siirtoformaatti, mallinnustaso, vaadittu tarkkuus sekä yksityiskohtaisuus. Liiallinen tarkkuus tuo ylimääräisiä lisäkustannuksia lisääntyneen ajan ja työmäärän takia. Liian harvaan mitattu pistepilvi ei kuitenkaan anna tarpeeksi tietoa kohteesta. Paras vaih-



toehto on suunnitella kenttätyö hyvin, ettei yli- tai alilyönnejä pääse tapahtumaan. (Joala 2006.)

Kenttätyö on varsin nopea vaihe projektissa. Tähykset tulee laittaa paikalleen ennen työn laserkeilauksen aloitusta. Tähykset ovat muodoltaan yleensä pallomaisia, puoli-palloja tai tasomaisia (ks. kuvio 10.). Yhden keilauksen mittaamiseen menee yhdestä viiteen minuuttia riippuen resoluution tarkkuudesta. Kenttätyön työmäärään vaikuttaa pistepilveltä vaadittu tarkkuus ja keilausasemien määrä. (Roivas 2014).



Kuvio 10. Pallomaisia ja tasomaisia tähyksiä (Kauppinen 2014)

Pistepilven käsittelyssä keilausasemat yhdistetään suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Aineisto suodatetaan ja siitä poistetaan ylimääräiset pisteet. Yhdistettyjen pistepilven koot vaihtelevat työtekniesten ja projektin vaatimusten mukaan. (Roivas 2014.)



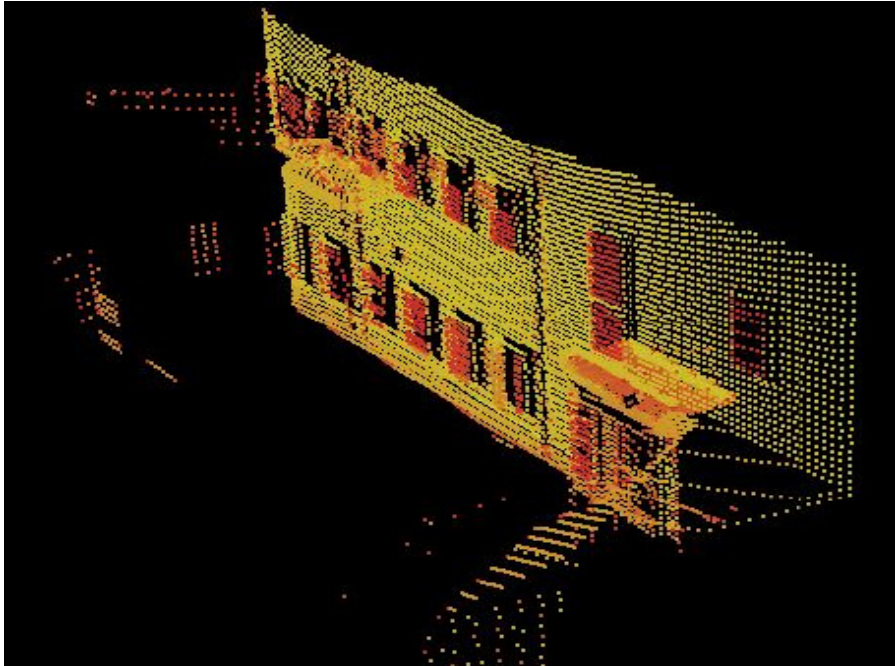
Mallinnuksessa pistepilviaineisto tuodaan mallinnusohjelmaan. Aineiston avulla mallinnetaan kohteesta 3D-malli, jota hyödynnetään suunnittelussa. Mallintamistapa valitaan projektin vaatimukset huomioon ottaen. (Kari 2011.)

Mittauksesta suoritetaan raportti. Siitä ilmenee oleelliset tiedot mittauksesta, kuten käytetty laitteisto, analyysit mittauksesta sekä huomiot mittauksesta. (Roivas 2014).

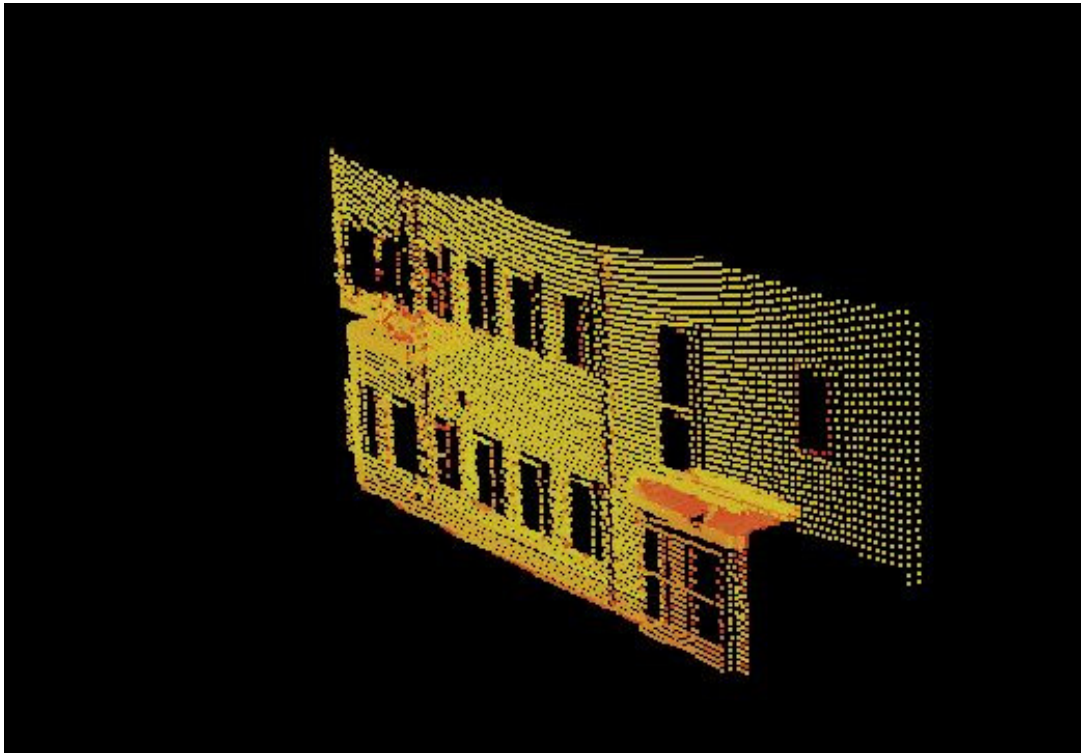
### **4.3 Pistepilvi ja sen käsittely**

Pistepilven jokaisella pisteellä on tunnettu sijainti koordinaatistossa  $(x,z,y)$ . Pistepilven käsittelyyn ja laatuun vaikuttaa suuresti pilven tiheys. Pisteiden tiheyteen vaikuttavat keilausasemien määrä, valittu mittaustarkkuus sekä mitattava matka. Mitä enemmän on keilausasemia, tarkempi on mittaustarkkuus ja lyhyempi mitattava matka, sitä tiheämpi pistepilvi. (Roivas 2014; Kari 2011.)

Pisteiden suuri määrä hidastaa pilven käsittelyä ohjelmistoissa ja lisää tiedostokokoa (kuvio 11.). Tästä syystä sopivan pistetiheyden määrittäminen ennen mittaamista on tärkeää. Pisteiden määrää vähennetään harventamalla pilveä, rajaamalla aineisto vain kohteeseen (kuvio 12.). Rajattavia pisteitä voivat olla ikkunoista näkyvät verhot ja rakenteen edessä olevat kasvustot. Pisteiden hajontaa kutsutaan kohinaksi. Kohinaa aiheuttavat mm. vesipisarot ja kaltevat pinnat. (Roivas 2014; Kari 2011.)



Kuvio 11. Käsittelemätön pistepilvi (Kari 2011)



Kuvio 12. Käsitelty pistepilvi (Kari 2011)

Tarkin tapa pistepilviaineiston yhdistämisessä on yhdistää aineistot yhteisten tunnettujen pisteiden avulla. Näin toimittaessa päästään yhdestä kolmeen mm:n tarkkuuteen. Pistepilvet yhdistetään toisiinsa tähysten avulla koordinaatistoon. Pistepilvien yhdistäminen vie aikaa. Laserkeilaimen ja takymetrin yhdistelmälaite vähentää pistepilvien yhdistämiseen käytettävää aikaa yhdistämällä pistepilvet automaattisesti. Mainittu menetelmä tarvitsee myös tunnettuja pisteitä tai tähysten mittausta. Pistepilvet voidaan yhdistää käyttäen apuna vastinpisteitä ja piirteitä. (Kari 2011.)

Pistepilvi voidaan siirtää tarvittaessa haluttuun koordinaatistoon tähysten ja takymetrimittausten avulla. Tähysten keskipisteiden koordinaatit mitataan ympäröivässä koordinaatistossa, jolloin pistepilvelle saadaan tarkka koordinaatti. Pistepilven muokkauksen jälkeen aloitetaan pilven jatkokäyttö. (Roivas 2014; Kari 2011.)

## **5. 3D-laserkeilaus uudisrakentamisessa**

### **5.1 Kirjallisuustutkimus laserkeilauksen hyödyntämisestä uudisrakentamisessa**

Laserkeilaus soveltuu kaikenlaiseen tiedonkeruuseen, jossa tavoitellaan kolmiulotteisen tiedon hankintaa ja käsittelyä. Laserkeilauksessa kohde pystytään mittaamaan etäältä, joten kohteen luokse ei tarvitse mennä. Keilauksesta saatavaa pistepilveä ei välttämättä tarvitse käsitellä mitenkään, ellei tarvitse palata takaisin rakentamisen ajanhetkeen esim. painumien, virheiden tai rakennustyön etenemiseen liittyvien asioiden vuoksi. (Kukko 2005; Kari 2011; RT 10-11078 2012.)

Takymetrillä suoritettaviin mittauksiin nähden laserkeilaus voi tulla kysymykseen tilanteissa joissa (Suominen 2007.):

- Muodoltaan rakenteet ovat monimuotoisia
- Käytettävissä oleva aika on rajallinen ja se ei riitä takymetrimittauksiin
- Tarvittavia mittauksia ei pystytä etukäteen määrittämään
- Mitattavien kohteiden määrä on suuri
- Tarvitaan yksityiskohtainen 3D-malli.

### **5.1.1 Laserkeilauksen hyödyntäminen kunnan suunnittelutoiminnassa**

Laserkeilaus soveltuu hyvin mittausmenetelmäksi N2000-korkeusjärjestelmään siirryttäessä. Siirtyminen uuteen järjestelmään vaatii korkeuskäyrien uudelleen kuvaamista. Korkeuskäyrien uusiminen tehdään maastomallin avulla. Laserkeilaamalla saadaan helposti korkeuskäyriä myös alueilta joissa on runsaasti korkeuseroja ja peitettä. (Lampinen 2011.)

Kantakartan ajantasaisuus kuuluu kaupungin tehtäviin. Laserkeilaimesta saadusta pistepilviaineistosta voidaan inventoida puuttuvat, muuttuneet ja puretut rakennukset. Tarvittaessa voidaan mitata ja tutkia yksittäisiä rakennuksia sekä puiden korkeuksia ja muotoja. (Lampinen 2011.)

Asemakaavan levitessä uusille tarvitaan kaavan pohjalle pohjakartta. Pohjakartan luomiseen laserkeilaus on tehokkain tapa. Pohjakartan tietosisältö pystytään tekemään käyttämällä pistepilviaineistoa ja laserkeilauksen ohella otettuja ortokuvia rajapyykkien mittaamista lukuun ottamatta. Myös tulvavaara- ja rakennettavuuskartat voidaan helposti tuottaa suurista pistepilvistä. (Lampinen 2011.)

### **5.1.2 Työmaanhallinta**

Laserkeilaustekniikkaa voidaan käyttää työmaan hallintaan. Keilaamalla voidaan tuottaa tehokkaasti tietoa rakennustyön etenemisestä. Sitä voidaan käyttää työn laadun ja tehokkuuden valvonnassa sekä materiaalivirtojen ohjauksen tukena. (Suominen 2007.)

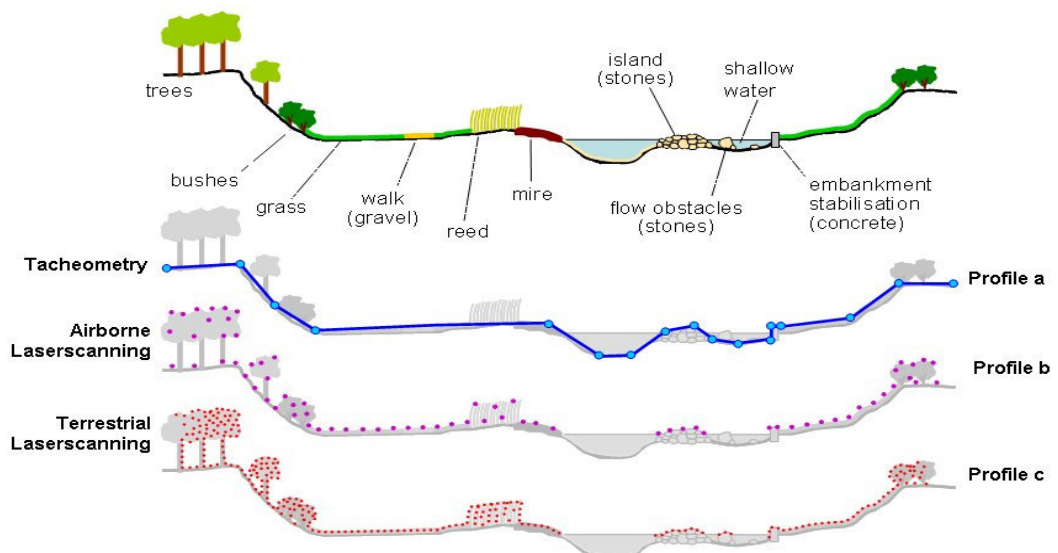
Aikataulutieto, joka on tuotettu laserkeilaamalla, on varmuudella totuudenmukaista ja varmempaa kuin ihmisten kirjaamat valvontavinjetit. Näin ollen keilaamalla tuotettu tieto luo luotettavan lähtötilanteen aikataulun seurannalle ja mahdollisille tutkimuksille, joissa tutkimusaineistona käytetään toteutuneita aikatauluja. (Suominen 2007.)

### 5.1.3 Asuin- ja liikerakentaminen

#### Ennen rakentamista

Ennen rakentamista on jo laserkeilaustekniikkaa voitu käyttää maankäytön suunnittelun (kaavoituksen) apuna. Ilmalaserkeilausaineistosta tuotetulla maanpintaa kuvaavalla korkeusmallilla saadaan selvitettyä tontin korkeuserot. Mallin korkeustarkkuus on noin 20 cm. Kaavoituksessa korkeusmallin pohjalta saadaan tehtyä mm. rakennettavuusselvityksiä ja karttoja. (Iivonen 2008.)

Maalaserkeilaimella tehdyllä mittauksella (profile c) voidaan saada tarkempia tietoja tontin pinnan muodoista, kuin takymetrillä (profile a) ja ilmalaserkeilaimella (profile b) mitattaessa (kuvio 13). Tällöin muodostuvasta maastomallista on mahdollista saada tietoja mm. pinnalla olevista kohteista ja maaston taitelinjoista. Maastomallin avulla voidaan suunnitella tontin kuivatusta, rakenteiden suunnittelua sekä laskea tilavuuksia ja määriä. Tarkoilla lähtötiedoilla voidaan laskea tarjoukset luotettavasti ja tarkasti. (Iivonen 2008.)



Kuvio 13. Esimerkki mittaustuloksista käytettäessä eri mittaustapoja (Zippelt, Czerny 2010)

Keilaimella voisi myös dokumentoida tontin ympärillä olevat rakennusten julkisivut ennen rakennustöiden aloitusta. Silloin pystyttäisiin todentamaan, ovatko ympäröivien rakennusten mahdolliset vauriot (esim. halkeamat) syntyneet ennen rakennustyötä vai sen aikana.

### **Rakentamisen aikana**

Työmaan etenemistä seurataan kokoajan. Työvaiheiden välissä on hyvä tietää onko edellinen työvaihe tehty suunnitelmien mukaan. Varsinkin aliurakoinnissa tieto edellisen aliurakoitsijan töiden suunnitelmien mukaisuudesta on tärkeä. Kun toteutunutta tilannetta verrataan suunniteltuun, voidaan toleranssien ylitykset huomata ja päättää mukautetaanko rakenteiden mittoja vai korjataanko virhe. (Suominen 2007.) Rakennuksen kaivannon laserkeilaus ja sen pohjalta tehty pintamalli voi olla arvokasta tietoa tilaajalle riippuen hankkeen luonteesta. Kaivannon mallia voisi hyödyntää tuotantotapahtumien mallinnukseen sekä rakentamisen lähtötilanteen dokumentointiin. Laserkeilaimen avulla voisi mitata kaivetun maa-aineksen ja louhitun kallion kiinto- ja irtotilavuuksia. Myös alustäytöt, vierustäytöt, kallistukset ja kaadot voidaan määrittää mittaustuloksen perusteella. (Suominen 2007; RT 10-11078 2012.)

Laserkeilaimella tehdyt mittaukset vaikuttavat soveltuvan valumuottien ja siltojen tarkastusmittauksiin erinomaisesti siltarakentamisessa. Laserkeilauksen voisi siten ajatella soveltuvan betonivalutöihin myös muussakin rakentamisessa. Anturan valumuottien poikkeamat voidaan havaita tarkastusmittauksessa, jolloin mahdolliset virheet ehditään korjata ennen anturoiden valua. Anturan, perusmuurien, -pilarien ja -palkkien toteutuneiden sijaintien tarkastusmittauksella voidaan selvittää mahdolliset toleranssien ylitykset, jolloin voidaan päättää korjataanko virheet vai otetaanko ne huomioon suunnitelmissa. (Suominen 2007; Heikkilä, Karjalainen, Pulkkinen, Haapaaho, Jokinen, Oinonen, Jaakkola 2005.)

Jos perustustöissä mittatarkkuudet ovat ylittyneet, eikä suunnitelmia ole muutettu, vaikuttaa se haitallisesti runkotöihin. Elementtejä ei enää välttämättä pysytä asen-

tamaan työmaalla ilman, että elementtejä jouduttaisi työstämään. Ylimääräinen työstäminen lisää työhön menevää aikaa ja sitä kautta myös rakentamiskustannuksia. Paikallavalurunkoisessa rakennuksessa voidaan muottien tarkastusmittauksissa huomattavat poikkeamat korjata ennen valua. (Suominen 2007.)

Rakennuksen rungosta mitatuista pistepilvistä voidaan saada pilarien, seinien, palkkien ja laattojen asennustarkkuus (5-6 mm:n mittausepävarmuudella, joka useimmissa tapauksissa on riittämätön) ja toteumatiedot. Näitä tietoja voidaan käyttää mm. aikataulun seurantaan ja laadunvalvontaan. (Suominen 2007.)

Laserkeilaimen tarkkuus jatkuvilla ja tasomaisilla pinnoilla on erittäin hyvä esim. julkisivupaneelit ja laatat. Nykyaikaiset laserkeilaimet pääsevät 0,5 mm:n tarkkuuteen mitattaessa 100 mm X 100 mm tasomaisten osapintojen korkeussijaintia, tosin tarkkuuteen vaikuttaa kuitenkin mitataanko kohde kohtisuorasti vai vinottain kohteeseen nähden (PhD 2015). Näin ollen laserkeilaus soveltuu esim. julkisivuelementtien pintojen tasaisuuksien mittaamiseen. Keilausaineistosta voidaan rajoitetusti huomata mahdollisesti puuttuvia yksityiskohtia ja runkoa täydentäviä osia. Pienin varauksin mittaustarkkuuden osalta laserkeilain soveltuu laajojen pintojen kuten seinien ja lattioiden tasaisuuden mittauksiin. (Suominen 2007.)

Rakennuksen talotekniikan osalta ohjeistetaan ottamaan valokuvia ja/tai laserkeilauksia peittoon jäävistä asennuksista. Erityisesti peittoon jäävien huoltoluukkujen, venttiilien, kanava- ja putkihaarojen sekä vastaavien talotekniikan osien sijaintitietojen oikeellisuuteen pitää kiinnittää huomiota. (RT 10-11078 2012.)

### **Rakentamisen jälkeen**

Rakentamisen jälkeen rakennuksesta tehtyä toteumamallia voidaan hyödyntää moniin eri käyttötarkoituksiin. Sen pohjalta voidaan tehdä rakennuksen ylläpitomalli sekä erinäisiä suunnitelmia huollon ja ylläpidon tarpeisiin. Parhaimmassa toteumamallissa rakennuksen runko, talotekniikka ja verhous on mallinnettu jo rakentamis-

vaiheessa, tällöin ne kaikki saadaan malliin mukaan. (RT 10-11068 2012; Suominen 2007.)

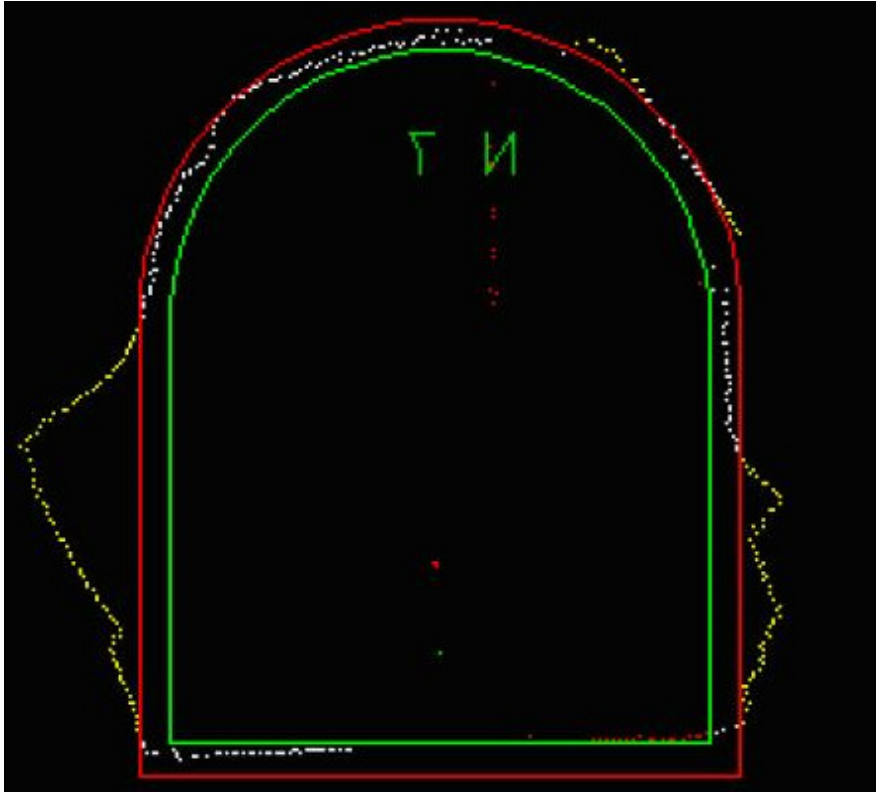
Käyttökohteita voisivat olla mm. korjaus- ja muutossuunnittelu ja rakennuksen kunnon seuranta. Korjaus- ja muutostöiden yhteydessä rakenneosien tullessa näkyviin verhousta poistettaessa voidaan suorittaa uudet mittaukset, jolloin mahdolliset rakenteiden siirtymät (esim. painumat) tulevat esiin. Painumien vaikutus voidaan selvittää laskennallisesti ja painumasta aiheutuneet muodonmuutokset voidaan päivittää malliin. (Suominen 2007.)

#### **5.1.4 Ydinvoimarakentaminen**

Laserkeilaus soveltuu hyvin ydinvoimarakentamiseen. Keilainta on käytetty mm. Olkiluoto 3:en rakentamisen aikana. Sitä voidaan käyttää esim. dokumentointiin, paikalleen mittauksissa ja laadunvalvonnassa. Erityisesti keilauksesta voisi olla hyötyä merivesirakenteiden rakentamisessa. Merivesipiiri on ydinvoimarakentamisen tärkeä osa-alue, koska ydinvoimalan turbiinit jäähdytetään vedellä. (Kari 2011.)

Ydinvoimaloiden alla sijaitsevien tunneleiden louhinnassa pistepilvenkäyttö on hyödyllinen, aikaa säästävänä menetelmänä. Louhittua tunnelia pystytään vertaamaan suoraan suunniteltuun tunneliin (kuvio 14). (Kari 2011.)





Kuvio 14. Toteutuneen louhinnan pistepilvi ja suunniteltu tunneli (Kari 2011)

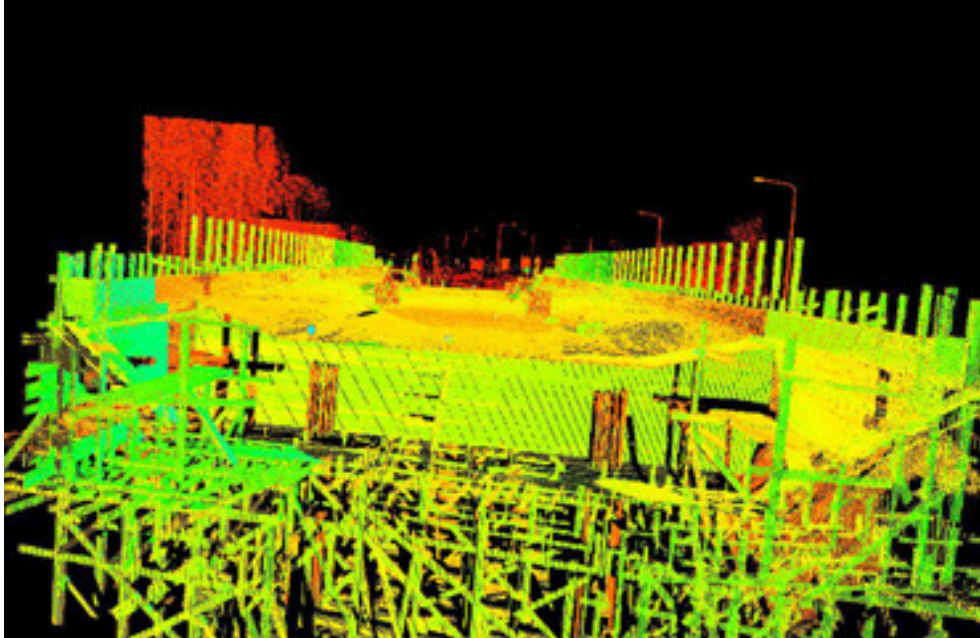
Käyttökohteena voisi olla myös käytön aikainen merivesitunnelien kuntotarkkailu. Merivesitunnelien kunnan tarkkailu voidaan suorittaa eri aikaan keilattujen pistepilvien välisellä vertailulla. Laserkeilausta ja pistepilveä voidaan käyttää rakenteiden elinkaaren tarkkailuun, jolloin korjaustarpeessa olevat kohdat saadaan esille. (Kari 2011.)

### 5.1.5 Siltarakentaminen

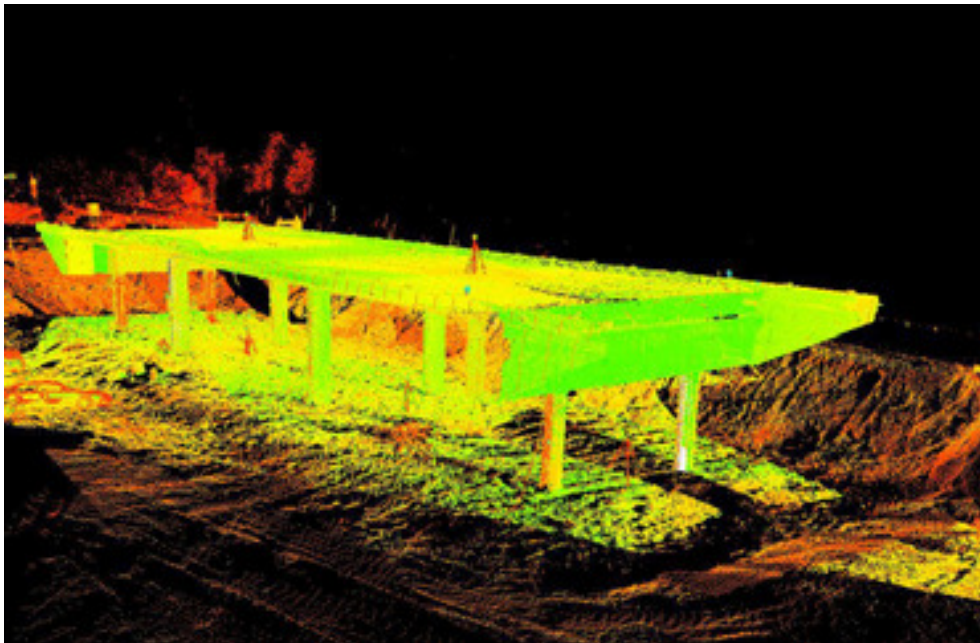
Vuonna 2005 valmistuneen älykäs silta -projektin tarkoitus oli selvittää sen ajan nykyaikaisen tietotekniikan käyttömahdollisuuksia sillan suunnittelun ja rakentamisen apuna. Yhtenä tutkittavana mittaustekniikkana oli maalaserkeilaus.

Keilaimella mitattiin sillan muottipintoja ja valmista betonipintaa (kuviot 15 ja 16). Pistepilveä käytettiin myös valetun betonin toteumamallin tekemiseen (kuvio 17) ja vertaamiseen suoraan suunnitelmiin (kuviot 18 ja 19). Maaston ja sillan geometria hankaloittivat riittävien näkymien hankkimista. Esimerkiksi sillan rakentaminen kai-

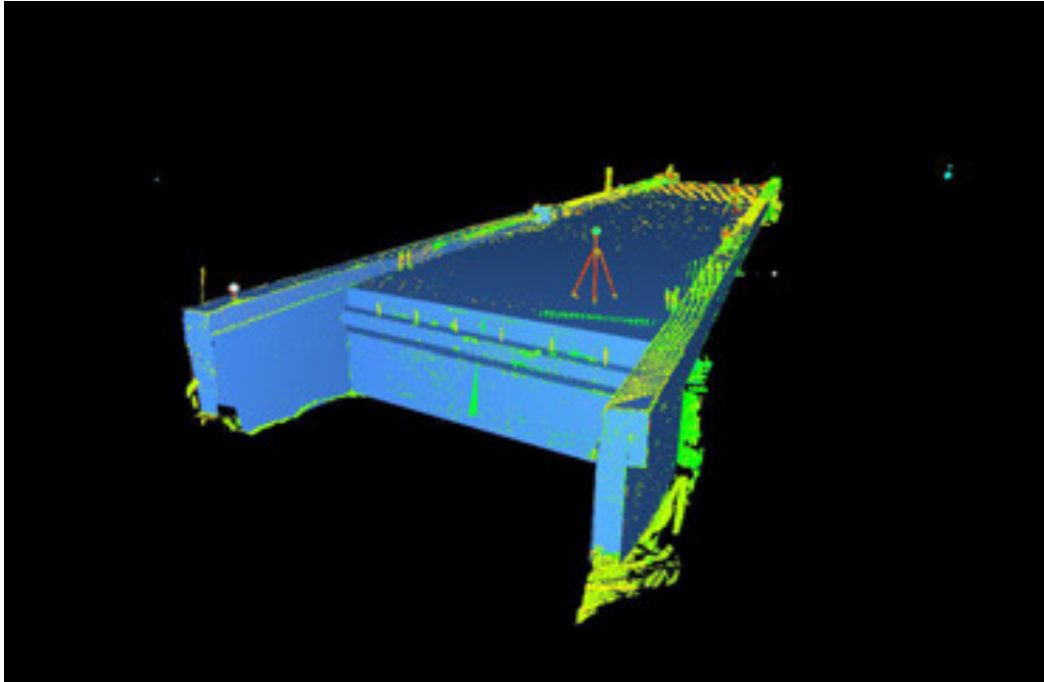
vantoon, joen virtaus ja sillankannen korkeus maanpinnalta käsin olivat hankaloittavia seikkoja. Keilaustyöt onnistuivat yleisesti ottaen hyvin. (Heikkilä ym. 2005.)



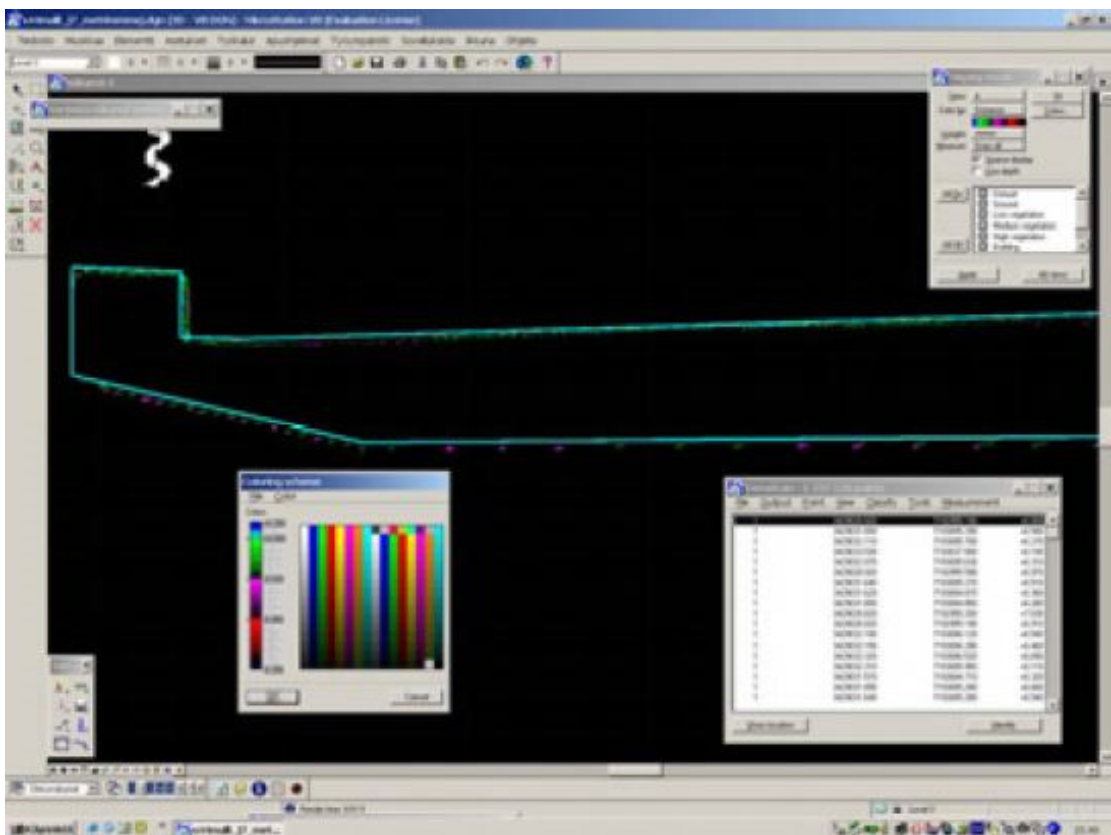
Kuvio 15. Käsittelemätön pistepilvi (Heikkilä ym. 2005)



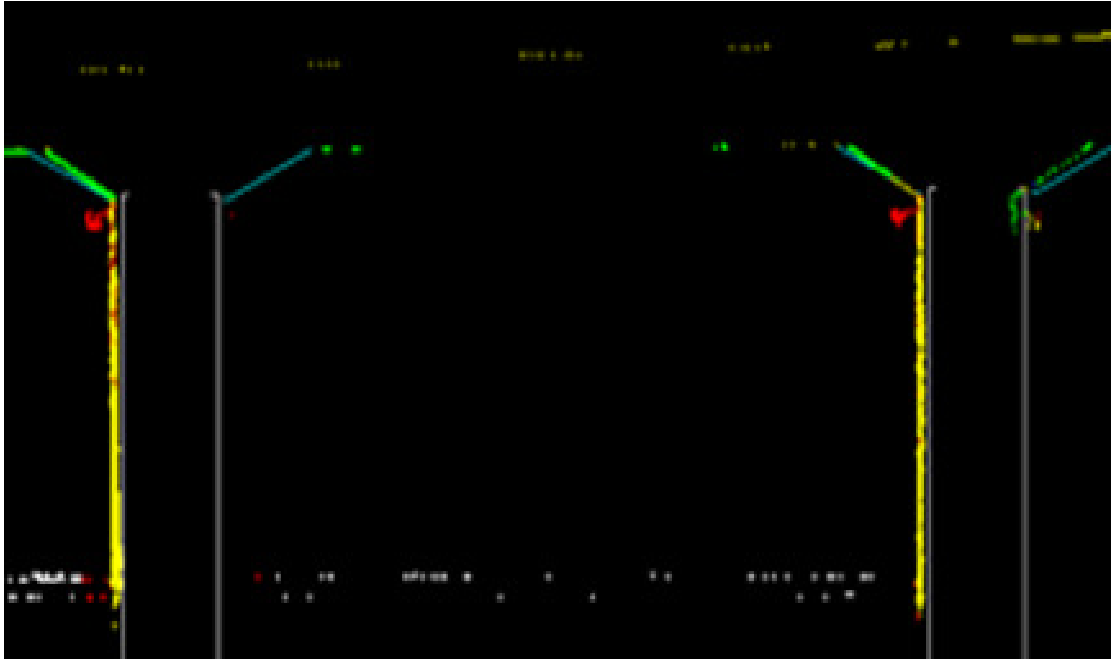
Kuvio 16. Käsittelemätön pistepilvi välittömästi muottien purkamisen jälkeen (Heikkilä ym. 2005)



Kuvio 17. Valetun betonin toteumamalli (Heikkilä ym. 2005)



Kuvio 18. Mittausaineiston vertaaminen suoraan suunniteltuun geometriamalliin (Heikkilä, ym. 2005)



Kuvio 19. Mittapoikkeamien analysointia (Heikkilä ym. 2005)

Kokeiden perusteella pistepilviä mittaavat laserkeilaimet vaikuttavat soveltuvan muottien ja siltojen tarkastusmittauksiin erinomaisesti. Kehitetyillä työkaluilla voidaan suoraan tarkastella muottien ja siltojen poikkeamia, kuten sijainti-, mitta- ja muotopoikkeamia. (Heikkilä ym. 2005.)

Laserkeilaimilla pystytään mittaustapansa ansiosta mittauksiin, joita ei takymetrillä voi tehdä. Esimerkiksi valumuottien havaitut poikkeamat tarkastusmittauksissa voidaan korjata ennen valuvaihetta. Pistepilvestä voidaan myös tehdä toteumamalleja. Mittaustulokset voivat antaa uudenlaista tietoa rakentamisessa, esim. eri työvaiheiden saavutetuista tarkkuuksista ja esikohotusten oikeellisuudesta. (Heikkilä ym. 2005.)

#### 5.1.6 Laserkeilaustekniikan soveltamisen haasteet uudisrakentamisessa

Työmaalla vesisade ja ilmassa leijuva pöly rajoittavat keilaimen käyttöä. Sadevesi taittaa lasersädettä ja pölyinen ilma haittaa lasersäteen kulkua kohteeseen. Pinnoillaan kosteat tähympallot tulee kuivata. Kosteus vääristää tähympallojen mitattua muotoa, jolloin pistepilvien yhdisteleminen hankaloituu. Myös voimakkaan tuulen aiheut-

tamat paine-erot vaikuttavat mittaustarkkuuteen. Paine-erot luovat linssivaikutuksen, jolloin lasersäde taittuu. Työkoneiden aiheuttama värinä aiheuttaa lisävirhettä tuloksiin. Keilaimen ja mitattavan kohteen välissä olevat esteet luovat taakseen katvealueen. Esimerkiksi henkilöt, työkoneet/kojeet ja kasvusto voivat toimia esteinä. (Suominen 2007.)

Laserkeilaus ei saa aiheuttaa merkittäviä haittoja työmaan etenemiselle, jotta sitä hyödynnettäisiin. Jos työt joudutaan pysäyttämään keilauksen ajaksi useita kertoja työmaan aikana, aiheuttaa se tuolloin lisäkustannuksia. Usein mittaustyö on nopea ja yksinkertainen toimenpide, koska yhteen keilaukseen menee 1-5 minuuttia riippuen vaaditusta tarkkuudesta. Mittaustyötä pystytään sujuvoittamaan hyvällä suunnittelulla. Kiinnitettäviä huomioita mittaustyön suunnittelussa on mm. riittävän tiheyden määrittäminen pistepilvelle, tähysten tarpeelliset määrät ja oikeat sijainnit, mittausalueen määrittäminen sekä tarvittavien keilausten määrä. (Joala 2006.)

## **5.2 Kyselytutkimus laserkeilauksen hyödyntämisestä uudisrakentamisessa**

### **5.2.1 Kysely**

Kyselytutkimus suoritettiin lähettämällä vastauslinkki sähköiseen vastauslomakkeeseen sekä liittäen kysymykset suoraan lähetettyyn sähköpostiin. Sähköpostikysely lähetettiin 21 henkilölle. Henkilöt edustivat tutkijoita, maahantuojia, suunnittelijoita, rakennuttajia, urakoitsijoita ja laserkeilauspalvelua tarjoavia yrityksiä. Heistä kymmenen vastasi kyselyyn. Kappaleen 5.2 tulokset perustuvat kyselyssä saatuihin vastauksiin. Kyselyn kysymykset on esitetty liitteessä 4.

Kyselyyn vastanneiden henkilöiden nimikkeet:

- Doctor of Philosophy (PhD)
- Myyntipäällikkö
- Osastopäällikkö
- Professori (Prof A)
- Professori (Prof B)
- Tekniikan tohtori (TKT)

- Tuotepäällikkö A
- Tuotepäällikkö B
- Yksikönjohtaja
- Yliopisto-opettaja.

### 5.2.2 Laserkeilaus Suomessa ja maailmalla

Suomi oli Euroopassa ensimmäisten joukossa ottamassa käyttöön laserkeilaustekniikkaa. Tutkimusta laserkeilauksesta tekee Laserkeilaustutkimuksen huippuyksikkö Geodeettisellä laitoksella. Yksikössä kehitetään ja tutkitaan laserkeilaukseen liittyviä tekniikoita ja menetelmiä mm. mobiililaserkeilauslaitteita ja algoritmeja automaattiseen piirteiden tunnistukseen. Rakennusallalla laserkeilainta käytetään pääosin korjausrakentamisessa. (PhD, Prof A, Osastopäällikkö.)

### 5.2.3 Laserkeilauksen käyttömahdollisuudet

Laserkeilaustekniikan käyttösovelluksien- ja kohteiden määrä on valtava, koska tekniikka voidaan hyödyntää kaikessa mittaamisessa, jossa halutaan kohteesta kolmiulotteista tietoa. Tekniikka soveltuu hyvin kolmiulotteisten maasto-, kohde-, rakennusmallin luomiseen ja erityisesti silloin, kun (Prof A, Yliopisto-opettaja.):

- Malli pitää tuottaa nopeasti
- Alue on tarpeeksi laaja kustannustehokkaalle lasermittaukselle
- Alue on ennestään huonosti kartoitettu
- Alueelta halutaan useita eri tuotteita (DEM, rakennukset ja tielinjat)
- Erikoissovellutuksissa (sähkölinjat, maastomallin muutokset, puuston pituuskasvu ja rakennusmallit).

Laserkeilaustekniikkaa käytetään mm. (PhD, Prof A, TkT, Yliopisto-opettaja, Tuotepäällikkö A, Osastopäällikkö.):

- Laitossuunnittelussa
- Rakennusmittauksissa
- Korjausrakentamisessa
- Infrarakentamisessa

- Tutkimuksissa
- Koulutuksessa
- Rikostutkinnassa.
- Arkeologiassa
- Tietokonepeliteollisuudessa
- Elokuvateollisuudessa
- Autoteollisuudessa
- Laivanrakennuksessa
- Maaston kartoituksessa.

#### **5.2.4 Laserkeilauksen hyödyntäminen uudisrakentamisessa**

Ennen rakentamista laserkeilausta voisi hyödyntää aineiston keruuseen suunnitelmia varten. Tarpeellisia tietoja ovat mm. maanpinnan muodot, kasvillisuus sekä ympäröivät rakennukset. Tietoja voisi käyttää tonttien lohkomiseen, maastomallien tekemiseen sekä kaavoitukseen. (PhD, Prof A, TKT, Yliopisto-opettaja, Tuotepäällikkö A.)

Rakentamisen aikana keilausaineistoa voisi hyödyntää maarakennustöissä, massalaskennoissa, valumuottien ja raudotteiden tarkistuksessa, elementtien asennuksissa, rakenteiden dokumentoinnissa, laatu- ja mittatarkasteluissa, seurantamittauksissa, BIM:n ja IFC-mallien päivittämisessä toteumamalliksi sekä rakennusaikaisessa dokumentoinnissa yhdessä panoraamakuvien kanssa. (PhD, Prof A, TKT, Tuotepäällikkö A.)

Rakennuksen valmistuttua käyttökohteita voisi olla valmiin rakennuksen dokumentointi, vertailu suunnitelmien ja toteutuman välillä, laadunvalvonta sekä valmiin rakennuksen muodonmuutosten seuraaminen. (PhD, Prof A, TKT, Tuotepäällikkö A.)

Laserkeilaustekniikan uskotaan tulevaisuudessa tulevan osaksi uudisrakennustyömaan päivittäistä arkea Suomessa. Muualla maailmassa laserkeilaimen käyttö on jo yleistynyt. Mittalaitteet halpenevat, keilausmenetelmänä on suhteellisen halpa, tarkka ja nopea tapa inventoida ja mitata. Ohjelmistot kehittyvät paremmiksi, jolloin tekniikan käyttö helpottuu. Myös päivitettyillä 3D-malleilla on paljon käyttömahdoli-

suuksia laadunvarmistuksessa ja kiinteistön ylläpidossa. (PhD, Prof A, TkT, Osastopäällikkö.)

### **5.2.5 Laserkeilauksen ongelmia ja rajoitteita**

#### **Asenteet ja tiedon puute uutta tekniikkaa kohtaan**

Ihmisten uskallus käyttää uutta tekniikkaa on yleinen ongelma. Ei haluta oppia uutta, vaan mennään mieluummin vanhoilla keinoilla. Laserkeilaus mielletään menetelmänä vaikeaksi käyttää. Myös laserkeilaustekniikan yleinen tietämys on vähäistä, jolloin tekniikkaa ei siten tunneta (Prof B, Tuotepäällikkö B). (Yliopisto-opettaja, Tuotepäällikkö A.)

Tiedot yrityksen sisällä laserkeilauksen hyödyntämisestä ja hyödyntämiseen liittyvistä asioista katsotaan olevan joissakin yrityksissä yrityksen omaa tietoa, jolloin tietoa halutaan pitää yrityksen sisällä (Tuotepäällikkö B).

#### **Hinta**

Keilaimen hankinta, työntekijöiden kouluttaminen ja ohjelmistojen hankinta muodostuvat yritykselle kalliiksi, mikäli laitteelle ole riittävästi käyttöä (Yliopisto-opettaja). Toisaalta Laserkeilausta pidetään kuitenkin suhteellisen halpana tapana mitata ja inventoida (Osastopäällikkö).

#### **Pistepilvien käsittely**

Pistepilviaineiston tiedostokoko voi kasvaa suureksi, joka aiheuttaa vaikeuksia pistepilvien käsittelyyn ohjelmissa. Pistepilveä voidaan harventaa poistamalla turhia pisteitä ja aineisto voidaan jakaa pienempiin osiin käsiteltäväksi. Turhia pisteitä voivat olla esim. kalusteet, alakatot, kevytseinät sekä ihmiset. (PhD, Prof A, TkT, Tuotepäällikkö A, Osastopäällikkö.)



Pistepilven työstäminen on aikaa vievää ja pilven muuntaminen eri tiedostomuotoihin on liian kankeaa, eikä tarpeeksi automatisoitua. Aineiston käsittely vaatii osaamista ja kokemusta. Laserkeilausprojektin epäonnistuessa on usein syynä rekisteröinnin eli pistepilvien yhdistämisen epäonnistuminen. Ohjelmistojen ja automaation kehittyessä saadaan pistepilvien käsittelystä sujuvampaa ja samalla tehokkaampaa. (PhD, Prof A, TkT, Osastopäällikkö.)

### **Työmaaolosuhteet**

Olosuhteet rajoittavat keilaimen käyttöä. Esimerkiksi vesisade huonontaa mittauksen laatua lisäten aineistoon kohinaa ja epätarkkuutta. Työmaalla keilaimen kestävyys lämpötiloja, kosteutta, tärinää ja pölyä vastaan korostuu. Keilattavat pinnat vaikuttavat pistepilven laatuun. Vaikeita pintoja ovat lasit, peilit sekä kosteat ja pölyiset pinnat. (PhD.)

Työmaalla saatetaan myös joutua keskeyttämään työt keilauksen ajaksi. Mitä tarkempaa aineistoa tarvitaan, sitä kauemmin keilaustyö kestää. Mitattavan kohteen edessä olevat turhat kohteet ovat laserkeilauksen kannalta haitallisempia kuin liikkuvat koneet ja ihmiset. Paikallaan pysyvät kohteet, kuten kalusteet, alakatot ja kevytseinät luovat taakseen katvealueen, josta ei saada mittaustuloksia. Tämä lisää keilaustyön määrää, mittaustyön vaatiessa useampia mittausasemia. (TkT, Osastopäällikkö.)

Pistepilvessä olevien ylimääräisten kohteiden esim. työkoneiden, telineiden ja ihmisten poistaminen vie aikaa (Osastopäällikkö). Tällöin vertailuja suunnitelmien ja muokatun pistepilven välillä ei päästä heti mittaustyön jälkeen tekemään.

### **Asiantuntijoiden vähäinen määrä**

Rakennusyryyksiltä uupuu palveluksesta laserkeilauksen asiantuntijoita, jotka hallitsisivat laserkeilausprosessin alusta loppuun. Tällöin laserkeilaimella suoritettavat

mittaukset joudutaan ostamaan erillisenä palveluna muualta ja menetelmän hyödyntämismahdollisuudet jäävät huomaamatta. Kouluissa tehdään opinnäytetöitä laserkeilaukseen liittyen, jolloin asiantuntijuus lisääntyy. Parantamisen varaa koulutuksessa kouluilla kuitenkin on. Myös internet tarjoaa kattavaa tietoa laserkeilaustekniikan itsenäiseen opiskeluun (Osastopäällikkö). (PhD, Myyntipäällikkö.)

### 5.2.6 Laserkeilaustekniikan kehitys

Laserkeilaintekniikka on kehittynyt viime vuosina paljon ja tulee kehittymään myös tulevaisuudessa. Kehityksen kohteita laserkeilauksessa on useita (PhD, Prof A, TKT, Osastopäällikkö.):

- Laserkeilain
  - Koko
  - Paino
  - Tarkkuus
  - Nopeus
  - Olosuhteiden kestävyys, kuten pöly, kosteus, lämpö ja värinä
- Ohjelmistot
  - Helppokäyttöisyys
  - Pisteiden käsittelykapasiteetti
  - Pistepilvien nopea yhdistäminen (rekisteröinti)
  - Pistepilven muuntaminen.

Laserkeilainlaitteen kehitys painottuu teknisten ominaisuuksien parantamiseen. Parannuksilla on vaikutusta keilaimen käyttöön. Laitteen pitää sietää työmaan olosuhteita, kuten pakkasta, kosteutta ja pölyisyyttä. Laserkeilaimen keilausnopeutta parantamalla saadaan vähennettyä keilaukseen menevää aikaa ja näin ollen keilaustyö tehostuu. Tarkkuuden parantamisella saadaan nostettua pistepilven laatua. Kohteesta saadaan näin ollen yksityiskohtaisempia ja tarkempia tietoja. (PhD, Prof A, TKT, Osastopäällikkö.)

Ohjelmistoja kehitetään helppokäyttöisemmiksi ja pisteiden käsittelykapasiteettia parannetaan. Projektin läpivienti kärsii jos ohjelmisto ei kykene käsittelemään suuria pistepilviä. Jos laserkeilausprojekti epäonnistuu, syynä on usein pistepilvien yhdistämisen eli rekisteröinnin epäonnistuminen. Pistepilven muuntaminen esim. CAD-malliksi on kankeaa, eikä riittävän automaattista. Pistepilven sujuva käsittely on merkittävässä asemassa laserkeilausprojektissa. (PhD, Prof A, TkT, Osastopäällikkö.)

Uusia laitesuuntauksia laserkeilaustekniikassa edustavat modiililaserkeilauslaitteet (auto-, vene- ja reppukeilain), kolmiulotteiset virtuaalilasit, multispektraalit laserkeilaimet ja 3D-etäisyyskamerat. (Prof A, TkT.)

### **5.3 Laserkeilauksen soveltuminen uudisrakentamiseen**

Kyselyiden ja kirjallisuuden perusteella voidaan päätellä laserkeilausmenetelmien soveltuvan erilaisiin mittaustarpeisiin uudisrakentamisessa. Laserkeilauksen eduiksi muodostuvat muihin mittausmenetelmiin verrattuna turvallisuus, tarkkuus, nopeus sekä suuri tietomäärä. Laserkeilausmenetelmät vaativat erityisosaamista, jotta keilausprojekti saadaan onnistuneesti suoritettua. Tekniikan yleistymistä hidastaa uuteen tekniikkaan liittyvät asenteet. Laserkeilaustekniikka kehittyy vauhdilla ja tekniikan uskotaan tulevaisuudessa yleistyvän osaksi työmaiden arkea.

#### **5.3.1 Tietomallintaminen**

Kuten pääluvusta kaksi voidaan todeta, tietomallintaminen on tullut osaksi nykyajan rakentamista. Malleihin sisällytetään rakentamisessa hyödynnettäviä tietoja, kuten geometria- ja materiaalitietoja. Jotta tietomallista saisi kaiken mahdollisen hyödyn, tulisi sitä käyttää koko rakennuksen elinkaaren ajan. Tietomallilla pyritään parantamaan suunnittelua ja laatua sekä tukea huollon ja ylläpidon toimintaa.

Laserkeilauksella voidaan tuottaa lukujen 2.1, 2.3.9 ja 2.4 mukaan tarkkoja lähtötietoja suunnitelmiin, jolloin pystytään tekemään parempia suunnitelmia. Erityisesti toteumamallin ja siitä saatavan ylläpitomallin luomisessa laserkeilain on tehokas apuväline. Mitä täydellisempi toteumamalli on, sitä enemmän mallia voidaan hyödyntää mm. työn etenemisen seurantaan ja laadun valvontaan.

Yleiset tietomallisvaatimukset sisältävät luvun 3.1 mukaan ohjeita ja säädöksiä tietomallien luomiseen. Vaatimusten tavoitteena on luoda tietomallintamiselle yhteinen kansallinen standardi. Kuten luvusta 3.2 käy ilmi, malleja on useisiin eri käyttötarkoituksiin rakennuksen koko elinkaaren (mm. suunnittelu, rakentaminen ja ylläpito) ajaksi.

Sujuva suunnittelutyö vaatii luvun 3.4 mukaan toimivaa tiedonsiirtoa eri suunnitteluohjelmien välillä. Tiedonsiirto suunnitteluohjelmistojen välillä perustuu avoimeen tiedonsiirtoon, kuten Suomessa käytössä olevaan IFC- ja USA:ssa kehitettyyn COBie-tiedonsiirtostantardeihin.

### **5.3.2 Laserkeilaus**

Kuten luvussa 4.1 todetaan, laserkeilauksella muodostetaan ympäristöstä nykytilaa vastaava kolmiulotteinen pistepilvi. Laserkeilain on mittalaite, jolla kohde voidaan mitata siihen koskematta. Keilain mittaa pisteen sijainnin lasersäteen paluuseen kulueneen ajan ja lähtökulman perusteella. Tällöin saadaan pisteen koordinaatit (x,y,z).

Laserkeilamat voidaan luokitella luvun 4.1 mukaan kolmeen pääryhmään. Näitä ovat kaukokartoituskeilaimet, maalaserkeilaimet ja teollisuuslaserkeilaimet. Maalaserkeilaimet voidaan jakaa vielä neljään ryhmään mittaustavan (kupolimainen, pano-raaminen, keilamainen ja optinen mittaustapa) mukaan.

Luvussa 4.2 todetaan, että laserkeilausprojekti voidaan jakaa viiteen eri osaan, joita ovat työn arviointi, kenttätyö, pistepilven käsittely, mallintaminen ja arkistointi. Työ tulee arvioida huolellisesti, ettei yli- tai alilyöntejä tapahtuisi. Kenttätyö on varsin nopea vaihe projektissa, työmäärään vaikuttaa vaadittu tarkkuus ja keilausasemien määrä. Pistepilven käsittelyssä keilausasemat yhdistetään suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Pistepilven käsittelyyn ja laatuun vaikuttaa suuresti pilven tiheys. Pisteiden suuri määrä hidastaa pilven käsittelyä ohjelmistoissa, jolloin siitä poistetaan ylimääräiset pisteet. Pistepilven avulla voidaan luoda 3D-malli suunnittelun avuksi. Mittauksen raportissa esitetään oleelliset tiedot mittaustyöstä.

### 5.3.3 Laserkeilaus uudisrakentamisessa

Laserkeilaustekniikka soveltuu kaikenlaiseen tiedonkeruuseen, jossa tavoitellaan kolmiulotteisen tiedon hankintaa ja käsittelyä. Tästä syystä laserkeilaustekniikka soveltuu moniin mittauksiin suunnittelusta ylläpitoon uudisrakentamisessa. Laserkeilausten etuja verrattuna muihin mittausmenetelmiin ovat mm. turvallisuus, tarkkuus, nopeus sekä suuri tietomäärä. Laserkeilausmenetelmät vaativat erityisosaamista, jotta keilausprojekti saadaan suoritettua onnistuneesti päätökseen.

Laserkeilaus soveltuu hyvin maaston korkeuskäyrien luomiseen. Kaupungin tehtävänä on pitää kantakartta ajantasaisena. Laserkeilaimesta saadusta pistepilviaineistosta voidaan inventoida puuttuvat, muuttuneet ja puretut rakennukset. Laserkeilausta voidaan käyttää kaavoituksessa. Laserkeilaus on asemakaavassa tarvittavan pohjakartan luomiseen tehokkain tapa.

Laserkeilaintekniikka voidaan käyttää työmaan hallinnassa. Käyttökohteita voivat olla mm. käyttö materiaalivirtojen ohjauksessa sekä työn laadun ja tehokkuuden valvonnassa. Laserkeilaamalla tuotettu aikataulutieto on varmuudella todenmukaista, jolloin saadaan luotettavaa tietoa aikataulun seurantaan ja mahdollisiin tutkimuksiin.

Maalaserkeilaimella voidaan kerätä tietoja tontin pinnanmuodoista. Saatuja tietoja voidaan käyttää mm. rakenteiden suunnittelussa ja määrälaskennassa. Keilaimella voi myös dokumentoida tontin ympärillä sijaitsevat rakennukset.

Rakennuksen kaivannon laserkeilaus ja sen pohjalta tehty pintamalli voi olla arvokasta tietoa tilaajalle. Kaivannon mallia voidaan hyödyntää tuotantotapahtumien mallinnukseen sekä rakentamisen lähtötilanteen dokumentointiin. Laserkeilaimella voidaan mitata kaivetun maa-aineksen ja louhitun kallion kiinto- ja irtotilavuuksia. Myös täytöt, kallistukset ja kaadot voidaan määrittää.

Laserkeilaus vaikuttaa soveltuvan valumuottien tarkastusmittauksiin erinomaisesti. Valumuottien poikkeamat voidaan havaita tarkastusmittauksessa, jolloin mahdolliset

virheet ehditään korjata. Tarkastusmittauksella voidaan selvittää rakenteiden toleranssien ylitykset, jolloin voidaan päättää korjataanko virheet vai huomioidaanko ne suunnitelmissa. Huomioimalla muutokset suunnitelmissa, vähennetään työmaalla tehtäviä korjaustoimenpiteitä.

Rakennuksen valmistuttua laserkeilauksella voidaan päivittää toteumamallia, jota voidaan hyödyntää huollon ja ylläpidon tarpeisiin. Käyttökohteita voi olla mm. korjaus- ja muutossuunnittelu sekä rakennuksen kunnan seuranta.

Laserkeilaus soveltuu hyvin ydinvoimarakentamiseen, erityisesti merivesirakentamisessa. Tunneleiden louhinnassa on laserkeilauksen todettu olevan hyödyllinen aikaa säästävänä menetelmänä. Keilausta voidaan käyttää myös rakenteiden elinkaaren tarkkailuun.

#### **5.3.4 Laserkeilauksen ongelmia ja rajoitteita**

Ongelmia ja rajoittavia asioita laserkeilauksessa on asenne uutta tekniikkaa kohtaan, pistepilven käsittely ja työstö, laserkeilaustekniikan hallitsevien ammattilaisten puute sekä työmaan olosuhteet.

Työmaalla laserkeilaimen käyttöä rajoittavat ilmassa leijuva pöly ja vesisade. Pölyinen ilma haittaa lasersäteen kulkua ja sadevesi taittaa lasersädettä. Myös voimakkaan tuulen aiheuttamat paine-erot vaikuttavat mittaustarkkuuteen, paine-erojen luodessa linssivaikutuksen, jolloin lasersäde taittuu. Katvealueita luovat keilaimen ja kohteen välissä olevat esteet esim. henkilöt, työkoneet ja kasvusto.

#### **5.3.5 Laserkeilauksen tulevaisuus**

Laserkeilaintekniikka kehittyy vauhdilla. Kehityksen kohteina ovat ohjelmistot, laitteen teknisten ominaisuuksien parantaminen sekä uudet laitesovellukset. Ohjelmistojen kohdalla kehitetään mm. pisteiden käsittelykapasiteettia ja pisteiden nopeaa yhdistämistä. Laitteissa kehitetään mm. kestävyyttä, nopeutta ja tarkkuutta. Uusia laitesovelluksia edustavat mm. mobiililaserkeilauslaitteet (auto-, vene- ja reppukeilain) ja kolmiulotteiset virtuaalilasit.

Muualla maailmassa laserkeilaustekniikan käyttö on jo yleistynyt uudisrakentamisessa, joten laserkeilaustekniikan uskotaan yleistyvän myös Suomessa osaksi työmaiden arkea.

## 6. Pohdinta

Opinnäytetyön tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia laserkeilauksen hyödyntämistä uudisrakentamisessa ja löytää laserkeilaukselle käyttökohteita uudisrakentamiseen. Pääpainona pyrittiin löytämään hyödyllisiä käyttökohteita, joita voitaisiin suorittaa nykyisellä laserkeilaustekniikalla.

Opinnäytetyötekijä osallistui laserkeilausprojektiin keväällä 2014 opinnäytteen toimeksiantajalla suoritetun työharjoittelujakson aikana. Jakson aikana tutuksi tuli erityisesti laserkeilauksen kenttätyö sekä kiinteistön mallinnus pistepilven avulla. Opinnäytetyötä aloitettaessa laserkeilaukseen liittyvät perustiedot ja mahdolliset käyttökohteet olivat siten pääosin tiedossa.

### Tavoitteiden täytyminen

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet täyttyivät. Käyttökohteita laserkeilauksen hyödyntämisestä uudisrakentamisessa löytyi useita, kuten valumuottien tarkastusmittaukset, pintojen tasaisuusmittaukset sekä toteumamallin päivitys.

Opinnäytetyön tuloksia voidaan pitää luotettavina. Useimmat kirjallisuus- ja internetlähteet ovat suuria organisaatioita ja tunnettuja koululaitoksia. Myös useat laserkeilausta käsittelevät opinnäytetyöt viittasivat opinnäytetyössäni käyttämiini lähteisiin. Osa lähteistä on useamman vuoden takaa, joten niissä esitettäviin kehittyviin tietoihin tulee olla kriittinen. Laserkeilaustekniikan kehitys on nopeaa ja jo muutamassa vuodessa tekniikka voi olla vanhentunut.

Kyselyn kohderyhminä olivat asiantuntijat, palveluntarjoajat, laitetoimittajat, suunnittelijat ja konsultit sekä suurimmat rakennusyrietykset. Kohderyhmän henkilöt valit-

tiin tehtyjen julkaisujen viittausten, osaamisalueen (tietomallintamisen ja mittauksen sekä laserkeilaukseen liittyvän osaamisen) perusteella. Kysely lähetettiin yhteensä 21 henkilölle (asiantuntijat viisi, palveluntarjoajat ja laitetoimittajat kuusi, suunnittelijat neljä, konsultit kolme ja rakennusyrietykset kolme). Kymmenen henkilöä vastasi kyselyyn, heistä asiantuntijoita oli viisi, palveluntarjoajia ja laitetoimittajia kolme, konsultit ja suunnittelijat kaksi. Näistä neljä vastausta oli, ettei osaa sanoa, ei halua vastata tai siirtää kyselyn toiselle henkilölle.

Jälkikäteen ajatellen muuttaisin opinnäytetyössäni eniten kyselytutkimusta. Muutoksen kohteena olisivat laajuus ja kysymykset. Opinnäytetyön loppuvaiheessa esiin tuli useita nimiä joille kyselyn olisi voinut lähettää, kuitenkin opinnäytetyö oli jo liian pitkällä uuden kyselyn ja kysymysten lähettämiseen. Kysymyksissä muuttaisin kysymysten rakennetta ja joidenkin kysymysten sisältöä. Osalta vastaajista jäi vastaamatta kysymyksissä esitettyihin lisäkysymyksiin, joten pitäisin parempana kysyä yhtä asiaa kysymystä kohden. Kysymyksiin lisäisin kysymyksen vastaajan työkokemusta, tämä toisi tuloksiin suuremman painoarvon.

## **Päätelmät**

Tietomallintaminen on osa nykyaikaista rakentamista. Malleja voidaan hyödyntää moniin eri tarkoituksiin. Mallien käyttö on hyödyllistä kaikille osapuolille koko rakennuksen elinkaaren ajan. Laserkeilaus soveltuu hyvin suunnitelmien lähtötietojen ja mallien toteumatietojen tuottamiseen.

Laserkeilaustekniikka soveltuu kaikenlaiseen tiedonkeruuseen, jossa tavoitellaan kolmiulotteisen tiedon hankintaa ja käsittelyä. Tekniikka kehittyy ja laitteisiin saadaan liitettyä uusia ominaisuuksia, joita voidaan edelleen hyödyntää. Tietenkin laserkeilaustekniikan käytössä on huomioitava, mikä on projektin kannalta järkevää ja hyödyllistä.



Jokaisella menetelmällä on rajoitteensa. Laserkeilauksen perustuessa lasersäteen kulkuun, saatuun mittaustulokseen vaikuttaa kaikki lasersäteen kulkuun vaikuttavat asiat, esim. vesisade, ilmassa leijuva pöly ja ilman linssivaikutus, joka voi syntyä voimakkaan tuulen aiheuttamasta paine-erosta. Laserkeilauksen yleistymiseen vaikuttaa suuresti sitä kohtaan olevat asenteet. Tekniikka mielletään vaikeaksi, monimutkaiseksi ja kalliiksi eikä osata nähdä tekniikan mahdollisia hyötyjä.

Laserkeilaustekniikan käyttö teollisuudessa ja tutkimuskohteena kuvastaa tekniikan laajoja potentiaalisia hyödyntämismahdollisuuksia. Esimerkkinä toimii tekniikan käyttö itseohjautuvissa autoissa ja Geodeettisen laitoksen laserkeilaustutkimuksen huipuksikkö.

Suominen (2007) tutki työssään laserkeilauksen soveltuvuutta lattianpinnan epätasaisuuden, palkin taipuman ja rungon asennustarkkuuden mittaamiseen. Tulokset olivat rohkaisevia, keilauksen tarkkuutta parantamalla voisi hyvin mitata vaikka julkisivuelementtien pintoja ja vastaavien tasaisten pintojen epätasaisuuksia. Laserkeilaimien tarkkuus on parantunut vuodesta 2007, jolloin tutkimus olisi perusteltua toistaa uudelleen nykyaikaisella laitteistolla. (Suominen 2007.)

Opinnäytetyössä esille tulleiden tulosten valossa uskon laserkeilaustekniikan yleistävän tulevaisuudessa merkittävästi. Laserkeilaustekniikka tulee kehittyessään olemaan osa ihmisten jokapäiväistä elämää niin töissä kuin arjessakin. Laserkeilauksen käyttökohteet ja mahdollisuudet ovat kiinni ihmisten mielikuvituksesta.

## Lähteet

- 3D Surveying. 2015. Faro. Verkkosivut. Viitattu 27.3.2015. <http://www.faro.com/en-us/products/3d-surveying>
- Freese, S., Penttilä, H & Rajala, M. 2007. Arvorakennusten korjaushankkeet ja tuotemallintaminen. Viitattu 20.3.2015  
[http://arkit.tkk.fi/senaatti/images/Arvorakennusten\\_korjaushankkeet\\_ja\\_tuotemallintaminen.pdf](http://arkit.tkk.fi/senaatti/images/Arvorakennusten_korjaushankkeet_ja_tuotemallintaminen.pdf)
- General Services Administration. 2009. GSA Building Information Modeling Guide, Series 03. GSA BIM Guide for 3D Imaging, Version 1.0. The National 3D-4D BIM Program. Viitattu 2.5.2015.  
[http://www.gsa.gov/graphics/pbs/GSA\\_BIM\\_Guide\\_Series\\_03.pdf](http://www.gsa.gov/graphics/pbs/GSA_BIM_Guide_Series_03.pdf)
- Heikkilä, R, Karjalainen, A, Pulkkinen, P, Haapa-aho, E, Jokinen, M, Oinonen, A, Jaakkola, J. 2005. Siltojen 3D-suunnittelu- ja mittausprosessin kehittäminen ja käyttöönotto (älykässä). Selvitys. Tiehallinto. Viitattu 11.1.2015.  
<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200924-vsiltujen3dsuunn.pdf>
- Hotakainen, M. 2015. Laser mallintaa maailmaa. Tieteessä tapahtuu, 1, 33-35. Viitattu 30.3.2015. <http://ojs.tsv.fi/index.php/tt/article/view/49426/14598>
- Iivonen, K. 2008. Laserkeilauksen hyödyntäminen infrarakentamisessa. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Viitattu 9.1.2015.  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1707/INSINOORITYO\\_ILVONEN.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1707/INSINOORITYO_ILVONEN.pdf?sequence=1)
- Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Viitattu 9.1.2015. <https://drive.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowlN2Q4MzJlYjktZTA5Ni00ZGM5LTIkOWUtNTQzMdIwZTI3NDVm/view?pli=1>
- Kari, V. 2011. Laserkeilaus ja pistepilven käsittely ydinvoimarakentamisessa. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 9.1.2015. [http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26876/Kari\\_Veera.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26876/Kari_Veera.pdf?sequence=1)
- Karsidag, G, & Alkan, R. 2012. Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements. FIG Working Week 2012. Rome. Viitattu 25.4.2015  
[https://www.fig.net/pub/fig2012/papers/ts07a/TS07A\\_alkan\\_6097.pdf](https://www.fig.net/pub/fig2012/papers/ts07a/TS07A_alkan_6097.pdf)
- Kauppinen, A. 2014. ProSolve Oy. Harjoitteluraportti. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka.
- Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetriin mittaustehtäviin. Erikoistyö. TKK. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio. Viitattu

9.1.2015. [http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/Antero\\_Kukko/Laserkeilaimen\\_valinta\\_lahifotogrammetrisiin\\_mittauksiin.pdf](http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/Antero_Kukko/Laserkeilaimen_valinta_lahifotogrammetrisiin_mittauksiin.pdf)

Lampinen, J. 2011. Laserkeilauksen hyödyntäminen kunnan suunnittelu- ja mittaus-toiminnassa. Opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Viitattu

9.1.2015. <file:///C:/Users/K%C3%A4ytt%C3%A4j%C3%A4/Downloads/Opinnaytetyo%20Lampinen%20J.pdf>

PhD. 2015. Opinnäytetyön kysely 3D-laserkeilaimesta. Sähköpostikysely 14.4.2015

ProSolve. 2015. ProSolve. Verkkosivut. Viitattu 22.4.2015.

<http://www.prosolve.fi/prosolve/>

Roivas, M. 2014. Laserkeilauksen hyödyntäminen inventointimallin valmistuksessa.

Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka. Viitattu 7.1.2014.

<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/75860/Opinnaytetyo.pdf?sequence=1>

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

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

RT 10-11069. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset, osa 4. Talotekninen suunnittelu.

RT 10-11070. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset, osa5. Rakennesuunnittelu.

RT 10-11074. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset, osa9. Mallien käyttö talotekniikan analyyseissä.

RT 10-11076. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset, osa 11. Tietomallipohjaisen projek-tin johtaminen.

RT 10-11077. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset, osa 13. Tietomallien hyödyntämi-nen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana.

RT 10-11078. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset, osa 12. Tietomallien hyödyntämi-nen rakentamisessa.

RT 10-11080. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset. Esittely.

Suominen, A. 2007. Nykyaikaisia 3D-mittausmenetelmiä talonrakentamisen laadun parantamisen apuna. Diplomityö. TKK Espoo.

Zippelt, K & Czerny, R.2010. Collection and Interpretation of Point Clouds of Terres-trial Laserscanning as a Basis for Hydraulic Flow Modelling. FIG Congress 2010. Syd-ney. Viitattu 25.4.2015.

[https://www.fig.net/pub/fig2010/papers/ts03d/ts03d\\_zippelt\\_czerny\\_4374.pdf](https://www.fig.net/pub/fig2010/papers/ts03d/ts03d_zippelt_czerny_4374.pdf)

## Liitteet

### Liite 1. Rakennemallin tietosisältö, toteutussuunnittelu

Rakenne	Rakennusosa	x/(x)	Tarkkuus	
Perustukset	Paalutukset	x	Paalutarkkeet siirretään malliin ja paalut mallinnetaan toteuman mukaan	
	Anturat	x	Mallinnetaan tarkasti geometrialtaan liittymiseen ja valutarvikkeineen	
		(x)	Paikallavahuraidoitteet	
		(x)	Elementit mallinnetaan suunnittelusopimuksen mukaisesti	
	Perusmuurit	x	Mallinnetaan tarkasti geometrialtaan liittymiseen ja valutarvikkeineen	
		(x)	Paikallavahuraidoitteet	
	Peruspilarit	x	Mallinnetaan tarkasti geometrialtaan liittymiseen ja valutarvikkeineen	
		(x)	Paikallavahuraidoitteet	
	Peruspalkit	x	Mallinnetaan tarkasti geometrialtaan liittymiseen ja valutarvikkeineen	
		(x)	Paikallavahuraidoitteet	
Lämmöneristeet	(x)	Mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.		
Alapohjat	Alapohjalaatta	x	Mallinnetaan kantavan rakenteen osalta oikein liittymiseen ja valutarvikkeineen.	
		(x)	Paikallavahuraidoitteet	
		(x)	Elementit mallinnetaan suunnittelusopimuksen mukaisesti	
	Alapohjakanaalit	x	Mallinnetaan kantavan rakenteen osalta oikein liittymiseen ja valutarvikkeineen.	
		(x)	Paikallavahuraidoitteet	
	Erityiset alapohjat	x	Mallinnetaan kantavan rakenteen osalta oikein liittymiseen ja valutarvikkeineen.	
		(x)	Paikallavahuraidoitteet	
	Lämmöneristeet	(x)	Mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.	
	Runko	VSS	x	Paikallavahurakenteet mallinnetaan liittymiseen ja valutarvikkeineen
			(x)	Paikallavahuraidoitteet
Kantavat seinät		x	Paikallavahurakenteet mallinnetaan liittymiseen ja valutarvikkeineen	
		(x)	Paikallavahuraidoitteet	
		(x)	Elementit mallinnetaan suunnittelusopimuksen mukaisesti	
Pilarit		x	Paikallavahurakenteet mallinnetaan liittymiseen ja valutarvikkeineen ja valutarvikkeineen.	
		(x)	Paikallavahuraidoitteet	
		(x)	Elementit ja kokoonpanot mallinnetaan suunnittelusopimuksen mukaisesti	
Palkit		x	Paikallavahurakenteet mallinnetaan liittymiseen ja valutarvikkeineen	
		(x)	Paikallavahuraidoitteet	
	(x)	Elementit ja kokoonpanot mallinnetaan suunnittelusopimuksen mukaisesti		

Rakenne	Rakennusosa	x/(x)	Tarkkuus
Runko	Välipohjat	x	Paikallavalurakenteet mallinnetaan liittymiseen ja valutarvikkeineen
		(x)	Paikallavaluraidoitteet
		(x)	Elementit mallinnetaan suunnittelusopimuksen mukaisesti
	Yläpohja	x	Paikallavalurakenteet mallinnetaan liittymiseen ja valutarvikkeineen
		(x)	Paikallavaluraidoitteet
		(x)	Elementit mallinnetaan suunnittelusopimuksen mukaisesti
	Erityiset runkorakenteet	(x)	Paikallavalurakenteet mallinnetaan liittymiseen ja valutarvikkeineen
Julkisivut	Ulkoseinät	x	Paikallavalurakenteet mallinnetaan liittymiseen ja valutarvikkeineen
		(x)	Paikallavaluraidoitteet
		(x)	Elementit mallinnetaan suunnittelusopimuksen mukaisesti
	Erityiset julkisivurakenteet	(x)	
Ulkotasot	Parvekkeet	x	Paikallavalurakenteet mallinnetaan liittymiseen ja valutarvikkeineen
		(x)	Paikallavaluraidoitteet
		(x)	Elementit mallinnetaan suunnittelusopimuksen mukaisesti
	Katokset	(x)	Suunnittelusopimuksen mukaisesti
	Erityiset ulkotasot	(x)	Suunnittelusopimuksen mukaisesti
Vesikatot	Vesikattorakenteet	(x)	Suunnittelusopimuksen mukaisesti
	Räystäsrakenteet	(x)	
	Lasikattorakenteet	(x)	Suunnittelusopimuksen mukaisesti
Tilan jako-osat	Ei-kantavat betoniset väliseinät	(x)	Elementit mallinnetaan suunnittelusopimuksen mukaisesti
Muut tilaosat	Rakenteisiin kuuluvat tilaa vievät osat esim. palonsuojalevyt	x	Mallinnetaan siten, että TATE suunnittelija näkee mallista käytettävissä olevan tilan.
	Hoitotasot ja kulkureitit	(x)	

(RT 10-11070, 2012)

## Liite 2. Taloteknisen tietomallin mallinnettavat komponentit

Komponentti / tehtävä	Toteutussuunnittelu			
	2D	BIM	Geometrian tarkkuustaso	Tietosisältö pääverkostojen ja -järjestelmien osalta
<b>TATE</b>				
TATE-vaatimusmalli			kts. Tekstiosuuden kappale 3	kts. Tekstiosuuden kappale 3
2D-leikkaukset	x		Putkistojen, kanavien, kaapelihyllyjen, valaisinten jne. komponenttien toleranssi 1cm. Kannakointi esitettävä. Eristyspasuus mukana.	Leikkaukset tehdään vähintään peruskäytävistä, ikkunapenkeistä, kiuilujen ulostuloista, TATE-tekniikkakerroksista (kellarit, putkitunnelit jne.). LVI-suunnittelija koordinoi TATE-leikkaukset
Reikävarausobjektit	x	x	Oikea sijainti, toleranssi 0cm	Mitat, urakoitsijatieto, abs.korkoasema
Näkyvät alakattoasennukset	x	x	Arkkitehdin alakattokuvan mukaisessa paikassa. Mallinnetaan kaikki alakattopintaan asennatavat komponentit (ilmaisimet, valaisimet, kaiuttimet, päätelaitteet jne.).	kts. Taulukon muut kohdat. Onnistuneeseen mallinnukseen tarvitaan arkkitehdin alakatto mallinnettuna sekä alakattoruutujako ja laitesijoitus 2D-alakattopiirustuksessa
Mallihuoneet ja -alueet		x	Toleranssi 5cm.	kts. Taulukon muut kohdat. Onnistuneeseen mallinnukseen tarvitaan arkkitehdin sekä rakennesuunnittelijan malli
Palvelualuekaaviot	x		Tilojen mukaisesti. Jos tilaobjekti pitää jakaa useampaan palvelualueeseen, tekee TATE-suunnittelija sen omana työnä	Palvelualueiden tunniste tilakohtaisesti (esim. "IV-kone 301TK01, Toimistot 1-3. krs")

Komponentti / tehtävä	Toteutussuunnittelu			
	2D	BIM	Geometrian tarkkuustaso	Tietosisältö pääverkostojen ja -järjestelmien osalta
Tietomalliselostus				kts. Tekstiosuuden kappale 2.2
Huoltoluukut rakenteissa (Alakatto, seinät, laatat jne.)	x		Viitteellinen sijainti. Todellinen sijoitus työmaalla ARK-piirustusten mukaisesti huomioiden työmaa-aikaiset muutokset (luukusta päästävä käsiksi huolto- / tarkistuskohteeseen)	
Tuotannon esivalmisteet				kts. Tekstiosuuden kappale 8.5
Sovellusohjelmistojen ulkopuoliset ns. "itsemallinnetut 3D-objektit"	x	x	Ulkomitat suunnittelijan arvion mukaisesti	Tunnus, järjestelmätieto

Komponentti / tehtävä	Toteutus suunnittelu			Tietosisältö pääverkostojen ja -järjestelmien osalta
	2D	BIM	Geometrian tarkkuustaso	
<b>Putkistot</b>				
Runkoputkistot DN20 - DN32 Cu18 - Cu35	x	x	2D-leikkausten mukaisessa paikassa. Oltava asennettavissa kohteeseen yhdistelmämallitarkastelun perusteella	Materiaali, DN-koko, tilavuusvirtaus, painetaso.
Runkoputkistot DN40 -> Cu42 ->	x	x	2D-leikkausten mukaisessa paikassa. Oltava asennettavissa kohteeseen yhdistelmämallitarkastelun perusteella	Materiaali, DN-koko, tilavuusvirtaus, painetaso. 2D-kuvissa absoluuttinen korkoasema (keskilinja) mittaviivassa
Kytentäjohtot	x	x	Oltava asennettavissa kohteeseen yhdistelmämallitarkastelun perusteella. DN10-25 putkistojen risteilyt sallitaan	Materiaali, DN-koko, tilavuusvirta, painetaso
Putkistoeristeet		x	Ei vaadetta erilliselle eristysobjektille putkessa. Putken ulkomitassa oltava eristyspaksuus mukana	Eristyksen tyyppi ja paksuus. Metalliset / selvästi kustannuksiin vaikuttavat pinnoitteet kerrottava mittaviivassa ja tietosisällössä.
Sulkuventtiilit	x	x	Ulkomitat valitun komponentin mukaiset	Malli, DN-koko, painehäviö
Esisäädettävät venttiilit	x	x	Ulkomitat valitun komponentin mukaiset	Malli, DN-koko, tilavuusvirta, painehäviö, esisäätö, tunnus
Moottoriventtiilit	x	x	Ulkomitat valitun komponentin mukaiset	DN-koko, tilavuusvirta, painehäviö, tunnus
Muut venttiilit	x	x	Ulkomitat valitun komponentin mukaiset	DN-koko, painehäviö
Ilmanpoistimet	x	x	Ulkomitat valitun komponentin mukaiset	DN-koko, tunnus (esim. IP1)
Suodattimet	x	x	Ulkomitat valitun komponentin mukaiset	DN-koko, tunnus (esim. SU1)
Joustavat liittimet	x			DN-koko
Varoventtiilit	x			DN-koko, tunnus (esim. VV1)
Paisunta-astiat	x	x	Yli 100 dm3 säiliöt mallinnetaan	Tilavuus
Lämmönsiirtimet	x	x		Teho tai tilavuusvirta, painehäviö
Lämmönjakokeskus	x	x	Ulkomitat valitun komponentin mukaiset	Liittyvien verkostojen teho, tai tilavuusvirtaus ja painehäviö
Vedenjäähdytyskone	x	x	Ulkomitat valitun laitteen mukaiset	Liittyvien verkostojen teho, tai tilavuusvirtaus ja painehäviö
Vesikatolle tai julkisivuun tulevat laitteet ja komponentit	x	x	Ulkomitat valitun laitteen tai komponentin mukaiset	Tunnus
Muut pääkoneikot	x	x		Tunnus
Nestetankit	x	x	Yli 100dm3 tankit mallinnetaan	Tilavuus
Jakotukit	x	x		Tunnus
Lattialämmitysputkistot	x		kts. Kappale 5.4	Materiaali, DN-koko, tilavuusvirtaus, painetaso. Kts. Kappale 5.4
Radiaattorit ja konvektorit	x	x	Ulkomitat valitun laitteen mukaiset	Malli, Teho (kts. myös "Esisäädettävät venttiilit")

Komponentti / tehtävä	Toteutus suunnittelu			Tietosisältö pääverkostojen ja -järjestelmien osalta
	2D	BIM	Geometrian tarkkuustaso	
Kiertoilmakoneet (puhallinkonvektorit, vakioilmastointikoneet, tuulikaappikoneet jne.)	x	x	Ulkomitat valitun laitteen mukaiset	Tehon- tai tilavuusvirtauksen tarve, painehäviö, tunnus (esim. 401PKN01)
IV-kanavistopatterit	x	x		Tehon- tai tilavuusvirtauksen tarve, painehäviö, tunnus
Käyttövesikalusteet	x	x	ARK-kuvan osoittamassa paikassa	Malli, normivirtaus, painehäviö, tunnus (esim. PA1, WC1). Käyttövesikalusteen tunnuksen perusteella kerrotaan erillisessä dokumentissa muut hankintatiedot (WC-istuin-, pesuallastyypit jne.)
Pesualtaat, WC-istuimet yms. kalusteet			ARK-kuvan osoittamassa paikassa	Ei esitystapavaadetta, ARK-suunnitelmien mukaisesti
Pikapalopostit	x	x	ARK-kuvan osoittamassa paikassa, Ulkomitat valitun tuotteen mukaiset	Malli, mitoitusvirtaus, painehäviö, tunnus (esim. PPP1)
Runkoviemärit ilman kaatoa	x	x		Materiaali, DN-koko
Viemärit kappaleen 5.2 mukaisesti	x	x	2D-leikkausten mukaisessa paikassa. Oltava asennettavissa kohteeseen yhdistelmämallitarkastelun perusteella. Kts. Kohta 5.1.3	Materiaali, DN-koko
Palomansetit	x	x		DN-koko, tunnus (esim. PM1)
Putkistojen tarkastus-/puhdistusluukut	x	x		DN-koko, tunnus (esim. PL1)
Lattiakaivot	x	x	ARK-kuvan osoittamassa paikassa	Malli, DN-koko, normivirtaus, tunnus (esim. LK1)
Kattokaivot	x	x	Vesikattokuvan osoittamassa paikassa	DN-koko, tunnus (esim. SVK1)
Piha-alueen sade- ja jätevesikaivot	x		Sijainti pihasuunnitelman mukaisesti	Minimissään 2D-viiteviivalla tunnus (esim. SVK1)
Piha-alueen erotuskaivot (HEK, REK jne)	x	x	Sijainti pihasuunnitelman mukaisesti	Minimissään 2D-viiteviivalla tunnus (esim. HEK1)
Piha-alueen tarkastusputket ja -kaivot	x		Sijainti pihasuunnitelman mukaisesti	Minimissään 2D-viiteviivalla tunnus (esim. TP1)
Perusmuurin sisäiset sade- ja jätevesikaivot / -pumppaamot	x	x		Minimissään 2D-viiteviivalla tunnus (esim. JVP1)
Perusmuurin sisäiset erotuskaivot	x	x		Minimissään 2D-viiteviivalla tunnus (esim. HEK1)
Perusmuurin sisäiset tarkastusputket ja -kaivot	x	x		Minimissään 2D-viiteviivalla tunnus (esim. TP1)
Verkostojen tyhjennykset			Esitetään minimissään kaavioiden	
Putkistojen laipat / liitostavat			Esitetään muissa dokumenteissa	
Anturit (TI, PI, TE, PE, PDE jne.)			Esitetään minimissään kaavioiden	
Anturitaskut			Ei esitystapaa	
Putkistokannakkeet			Esitetään 2D-leikkauksissa	
Sprinklerisuuttimet	x	x	Sijoitus alakattopiirustuksen mukaisesti	K-arvo, DN-koko, tunnus (esim. SPR1)

Komponentti / tehtävä	Toteutus suunnittelu			Tietosisältö pääverkostojen ja -järjestelmien osalta
	2D	BIM	Geometrian tarkkuustaso	
Putkistojen liitostavat (kierteet, laipat jne.)			Ei esitystapavaadetta, esitetään muissa dokumenteissa	
Lämmönjakuhuoneen putkistot	x	x	Mallinnetaan minimissään runkoputkistot	Materiaali, DN-koko, tilavuusvirtaus, painetaso
VJK-huoneen putkistot	x	x	Mallinnetaan minimissään runkoputkistot	Materiaali, DN-koko, tilavuusvirtaus, painetaso
VJK-huoneen pumput	x	x	Mallinnetaan viitteellinen sijoituspaikka	Tunnus
VJK-huoneen sekoitusryhmät ja komponentit	x		Esitetään kaavioiden	
IV-konehuoneen runkoputkistot		x	2D-leikkausten mukaisessa paikassa. Oltava asennettavissa kohteeseen yhdistelmämallitarkastelun perusteella	Materiaali, DN-koko, tilavuusvirtaus, painetaso
IV-konehuoneen kytkentäputkistot		x	2D-leikkausten mukaisessa paikassa. Oltava asennettavissa kohteeseen yhdistelmämallitarkastelun perusteella	Materiaali, DN-koko, tilavuusvirtaus, painetaso
IV-koneiden pumput ja sekoitusryhmät	x		Sisältö esitetään kaavioiden. Arvioitu sijoitus esitetään mallinnettuna esim. laatikko-objekti	Laitetunnukset tasokuivissa mittaviivalla (esim. 301P04, 301FV04)
Muut tekniset tilat	x	x	Mallinnetaan minimissään runkoputkistot	Materiaali, DN-koko, tilavuusvirtaus, painetaso
Muun teknisen tilan sekoitusryhmät ja komponentit		x	Sisältö esitetään kaavioiden. Arvioitu sijoitus esitetään mallinnettuna esim. laatikko-objekti	
Kuilut ja hormit	x	x	Putkistot mallinnetaan kuiluun eristeineen. Oltava asennettavissa kohteeseen yhdistelmämallitarkastelun perusteella	Kuten runkoputkistot.



Komponentti / tehtävä	Toteutus suunnittelu			
	2D	BIM	Geometrian tarkkuustaso	Tietosisältö pääverkostojen ja -järjestelmien osalta
<b>Ilmanvaihto</b>				
Runkokanavistot	x	x	2D-leikkausten mukaisessa paikassa. Oltava asennettavissa kohteeseen yhdistelmämallitarkastelun perusteella	Materiaali, koko, tilavuusvirtaus, painetaso. 2D-kuvissa absoluuttinen korkoasema (keskilinja) mittaviivassa)
Kytkenäkkanavistot	x	x	2D-leikkausten mukaisessa paikassa. Oltava asennettavissa kohteeseen yhdistelmämallitarkastelun perusteella	Materiaali, koko, tilavuusvirtaus, painetaso
Kanavistoeristeet	x	x	Ei vaadetta erilliselle eristysobjektille kanavassa. Kanavan ulkomitassa oltava eristyspaksuus mukana	Eristyksen tyyppi ja paksuus. Metalliset / selvästi kustannuksiin vaikuttavat pinnotteet kerrottava mittaviivassa / tietosisäilyssä.
Koteloidut IV-koneet	x	x	Suunnittelija mitoittaa koneen laitevalmistajan ohjelmistolla ja käyttää ensisijaisesti ohjelmiston tuottamaa koneobjektia	Tunnus, esim. 301TK01
Huippuimurit	x	x	Julkisivukuvan ja vesikattokuvan mukaisessa paikassa, ulkomitat valitun tuotteen mukaiset	Tunnus, esim 301PK02, koko
Kanavapuhaltimet	x	x		Tunnus, esim. 301PK02, koko
Ulospuhallushajottajat	x	x	Julkisivukuvan ja vesikattokuvan mukaisessa paikassa, ulkomitat valitun tuotteen mukaiset	Tunnus, esim. UPH1, koko
Ulkosäleiköt	x	x	Julkisivukuvan mukaisessa paikassa, ulkomitat valitun tuotteen mukaiset	Tunnus, esim. US1, koko
Päätelaitteet	x	x	Alakattokuvan mukaisessa paikassa, ulkomitat valitun tuotteen mukaiset	Malli, koko, tunnus (esim. T1), ilmavirta, painehäviö, äänitaso, esisäätöarvo
Siirtoilmasäleiköt	x	x	Ulkomitat valitun tuotteen mukaiset	Malli, koko, tunnus (esim. S1)
Säätöpellit	x	x	Ulkomitat valitun tuotteen mukaiset	Malli, koko, tunnus (esim SP1), ilmavirta, painehäviö, esisäätö
Ilma- / vakiovirtasäädin	x	x	Ulkomitat valitun tuotteen mukaiset	Malli, koko, ilmavirta, painehäviö, yksilöity tunnus (esim. 301IMS1000.1 (järjestelmä-IMS-sijainti-juokseva nro.)
Palopelti	x	x	Ulkomitat valitun tuotteen mukaiset	Malli, koko, painehäviö, tunnus (esim. PP1)
Mootoroitu palopelti	x	x	Ulkomitat valitun tuotteen mukaiset	Malli, koko, painehäviö, yksilöity tunnus (esim. 301PP1000.1 (järjestelmä-PP-sijainti-juokseva nro.)
Kanaviston äänenvaimentimet	x	x	Ulkomitat valitun tuotteen mukaiset	Malli, koko, ilmavirta, painehäviö, tunnus (esim. ÄV1)
Puhdistusluukut	x	x		Tunnus (esim.PL1)
IV-kanavistopatterit	x	x	Ulkomitat valitun komponentin mukaiset, vaaditun otsapintanopeuden perusteella	Koko, tunnus (esim. 301JLP1)
Ilman laatuun vaikuttavat kanavistokomponentit (suodatus, kostutus jne.)	x	x	Ulkomitat valitun komponentin mukaiset, vaaditun otsapintanopeuden perusteella	Koko, tunnus (esim. SU1)

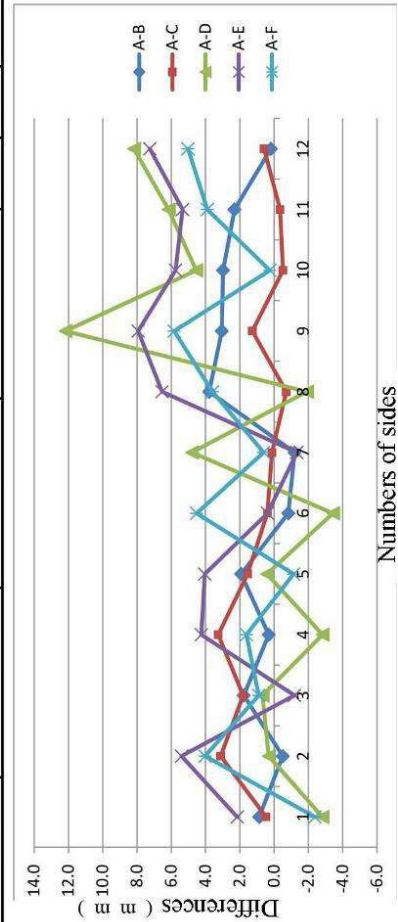
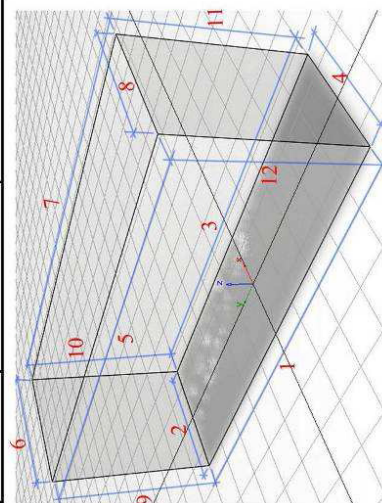
Komponentti / tehtävä	Toteutus suunnittelu			
	2D	BIM	Geometrian tarkkuustaso	Tietosisältö pääverkostojen ja -järjestelmien osalta
Joustavat liittimet	x			Tunnus (esim. JL1)
Kannakkeet			Esitetään 2D-leikkauksissa	LVI-suunnittelija koordinoi TATE-leikkaukset
Anturit			Esitetään minimissään RAU-kaavioissa	
Kanavistojen liitostavat (listaliitos jne.)			Ei esitystapavaadetta, esitetään muissa dokumenteissa	
Kuilut ja hormit	x	x	Kanavat ja komponentit mallinnetaan kuiluun eristeineen.	Komponenttien ja kanavistojen tietosisältö kuten tässä taulukossa mainittu

Komponentti / tehtävä	Toteutussuunnittelu			Tietosisältö pääverkostojen ja -järjestelmien osalta
	2D	BIM	Geometrian tarkkuustaso	
<b>Sähkötekniikka</b>				
Muuntajat	x	x		Tunnus, esim. T1
Kojeistot	x	x		Tunnus, esim. SJK1
Päikesekukset	x	x		Tunnus, esim. PK1
Virtakiskot	x	x		Koko
Kompensointiparistot	x	x		Tunnus, esim. Q1
Akustot	x	x		Tunnus, esim. AK
Jakokeskukset	x	x		Tunnus, esim. JK1
Ristikytkentälineet	x	x		Tunnus, esim. RKT1
Telejärjestelmien keskuslaitteet	x	x		Tunnus, esim. KJ
Turvajärjestelmien keskuslaitteet	x	x		Tunnus, esim. PIK
Kaapelihyllyt ja ripustuskiskot	x	x		Koko, tyyppi (tikas-/levyhyly). 2D-piirustuksissa absoluuttinen korkoasema mittaviivassa (alareuna)
Johtokourut	x	x		Koko
Lattiakanavat ja -rasiat	x	x		Koko
Pystynousut	x	x		Koko
Kannatukset ja ripustukset			Esitetään 2D-leikkauksissa	LVI-suunnittelija koordinoi TATE-leikkaukset
Valaisimet	x	x		Positio
Poistumisvalaisimet	x	x		Positio
Vara- ja turvavalaisimet	x	x		Positio
Kytkimet	x		Mallihuoneissa BIM	Laitetyyppi, esim. 6-kytkin
Pistorasiat	x		Mallihuoneissa BIM	Laitetyyppi, esim. Maadoitettu pistorasia 2-os.
Liike- ja läsnäolotunnistimet	x		Mallihuoneissa BIM	Tunnus, esim. PIR
Turvakytkimet	x		Mallihuoneissa BIM	Laitetyyppi, esim. Turvakytkin
Jako- ja kytkentärasiat	x			
Kaiuttimet	x	x		Laitetyyppi
Kamerat	x		Mallihuoneissa BIM	Laitetyyppi
Paloilmaisimet	x		Mallihuoneissa BIM	Laitetyyppi, osoite
Palopainikkeet	x		Mallihuoneissa BIM	Laitetyyppi, osoite
Merkinantokojeet	x		Mallihuoneissa BIM	Laitetyyppi
Muut telejärjestelmien anturit ja käyttölaitteet	x		Mallihuoneissa BIM	Laitetyyppi
Muut turvajärjestelmien anturit ja käyttölaitteet	x		Mallihuoneissa BIM	Laitetyyppi
Telepistorasiat	x		Mallihuoneissa BIM	Laitetyyppi, tunnus/osoite
Nousujohdot			Esitetään minimissään kaaviossa	
Telurinkojohdot			Esitetään minimissään kaaviossa	
Sähköpisteiden kaapelointi	x			
<b>Rakennusautomaatio</b>				
RAU-keskukset	x	x		Tunnus, esim. VAK1
Anturit tiloissa näkyvillä	x		Mallihuoneissa BIM	Tunnus, esim. TE1
Anturit TATE-verkostoissa, ei näkyvillä	x			Tunnus, esim. TE1
Säätölaite- ja muut kotelot	x		Mallihuoneissa BIM	Tunnus, esim. TC1
Toimilaitteet	x			Tunnus, esim. FG1

(RT 10-11069, 2012)

Liite 3. Suorakulmisen särmiön mittaustulosten vertailua eri tarkkuuksilla ja etäisyyksillä

Rectangular Prism	Base Side Lengths (mm) (A)	SIDE LENGTHS (mm)					DIFFERENCES (mm)				
		High Model (3m) (B)	Superhigh Model (3m) (C)	High Model (10m) (D)	Superhigh Model (10m) (E)	Ultrahigh Model (10m) (F)	A-B	A-C	A-D	A-E	A-F
1	1,002.82	1,001.95	1,002.35	1,005.64	1,000.67	1,005.20	0.9	0.5	-2.8	2.2	-2.4
2	301.70	302.21	298.58	301.39	296.30	297.67	-0.5	3.1	0.3	5.4	4.0
3	1,002.42	1,000.64	1,000.62	1,001.74	1,003.60	1,001.52	1.8	1.8	0.7	-1.2	0.9
4	301.30	300.99	298.04	304.12	297.05	299.69	0.3	3.3	-2.8	4.3	1.6
5	1,002.60	1,000.68	1,001.05	1,002.17	998.55	1,003.73	1.9	1.5	0.4	4.0	-1.1
6	300.20	301.03	299.81	303.64	299.81	295.68	-0.8	0.4	-3.4	0.4	4.5
7	1,003.04	1,004.23	1,002.91	998.24	1,004.36	1,002.42	-1.2	0.1	4.8	-1.3	0.6
8	300.10	296.32	300.81	302.01	293.57	296.51	3.8	-0.7	-1.9	6.5	3.6
9	401.60	398.55	400.33	389.42	393.67	395.77	3.1	1.3	12.2	7.9	5.8
10	399.70	396.72	400.21	395.15	393.95	399.45	3.0	-0.5	4.5	5.7	0.3
11	401.00	398.69	401.35	394.84	395.66	397.10	2.3	-0.3	6.2	5.3	3.9
12	400.90	400.71	400.31	392.72	393.64	395.87	0.2	0.6	8.2	7.3	5.0



(Karsidag, Alkan, 2012)

#### **Liite 4. Sähköpostikyselyn kysymykset**

Kysymyksiä asiantuntijoille

1. Mitä teette laserkeilaimiin liittyen?
2. Mihin mittauksiin laserkeilain soveltuu ja miksi? Mitkä tekijät rajoittavat keilaimen käyttöä?
3. Miten laserkeilainta voisi hyödyntää uudisrakentamisessa?
4. Mitä ongelmia ja kehitettäviä asioita laserkeilaimissa ja ohjelmistoissa on ja on ollut?
5. Missä asioissa olisi eniten kehitettävää liittyen laserkeilaukseen työmaalla?
6. Mitä uutta on tulossa liittyen laserkeilaimiin ja ohjelmistoihin?
7. Uskotteko tulevaisuudessa laserkeilauksen yleistyvän osaksi uudisrakennustyömaan päivittäistä arkea? Miksi?

Kysymyksiä palveluntarjoajille/ laitevalmistajille

1. Miten laserkeilaimia voitaisiin hyödyntää uudisrakentamisessa? (suunnittelu, rakentaminen, kunnossapito)
2. Mitä eri ohjelmistoja on tarjolla laserkeilausmateriaalin hyödyntämiseen? Mihin eri tarkoituksiin? Onko ohjelmia joita voisi hyödyntää suoraan työmaalla?
3. Mitä eri tuotteita voidaan laserkeilaimella saada?
4. Mitkä ovat suurimmat hyödyt käyttäessä laserkeilausaineistoa verrattuna nykyisin käytössä oleviin menetelmiin? Entä ongelmat?
5. Ovatko ohjelmat helppokäyttöisiä? Mitä koulutusta laserkeilaukseen liittyen on tarjolla?
6. Mitkä ovat suurimmat esteet laserkeilauksen yleistymiselle?
7. Mitä uutta on tulossa liittyen laserkeilaimiin ja ohjelmistoihin?

#### Kysymyksiä konsulteille/suunnittelijoille

1. Hyödynnättekö hankkeissanne laserkeilausta?
2. Miten hyödynnätte laserkeilausaineistoa? Minkälaisissa hankkeissa?
3. Mitä etuja on laserkeilauksessa ja siitä saadussa aineistossa verrattuna muihin käytettyihin menetelmiin? Entä mitä ongelmia keilaukseen liittyy/Missä olisi kehitettävää?
4. Miten laserkeilausta voitaisiin hyödyntää uudisrakentamisessa? (suunnittelu, rakentaminen, kunnossapito)
5. Voisiko keilausaineistosta saatava toteumamalli auttaa uudisrakennustyömaalla? Millä tavoin?
6. Oletteko saaneet koulutusta laserkeilaukseen liittyen? Millaista? Onko ilmennyt lisäkoulutuksen tarvetta? Miksi?
7. Uskotteko tulevaisuudessa laserkeilauksen yleistyvän osaksi uudisrakennustyömaan päivittäistä arkea? Miksi?

#### Kysymyksiä rakennusyrityksille

1. Hyödynnättekö laserkeilausta rakennushankkeissanne? Edut/haasteet?
2. Mitä hyviä ja huonoja puolia tai rajoitteita laserkeilaukseen liittyy? Missä on eniten kehitettävää?
3. Onko teillä referenssejä toteutuneista hankkeista, joissa olisi käytetty laserkeilainta? (Korjaus-/ uudisrakentamisessa)?
4. Mihin rakentamisen tilanteisiin haluaisitte laserkeilaustekniikan tarjoavan ratkaisuja? Miksi? (Esim. Laadunvarmistus, dokumentointi, massalaskennat)
5. Miten laserkeilausta voitaisiin hyödyntää uudisrakentamisessa (suunnittelu, rakentaminen, kunnossapito)?
6. Voisiko keilausaineistosta saatava toteumamalli auttaa uudisrakentamisessa? Millä tavoin?
7. Oletteko saaneet koulutusta laserkeilaukseen liittyen? Millaista? Onko ilmennyt lisäkoulutuksen tarvetta? Miksi?
8. Uskotteko tulevaisuudessa laserkeilauksen yleistyvän osaksi uudisrakennustyömaan päivittäistä arkea? Miksi?