



Laserkeilaus vanhojen arvora- kennusten inventointimenetel- mänä

Hämeenlinnan kirkon laserkeilaus

Lauri Paavola

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2021

Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

PAAVOLA, LAURI:

Laserkeilaus vanhojen arvorakennusten inventointimenetelmänä
Hämeenlinnan kirkon laserkeilaus

Opinnäytetyö 41 sivua
Joulukuu 2021

Opinnäytetyössä tarkasteltiin laserkeilauksen mahdollisuuksia vanhojen arvorakennusten inventoinnissa. Esimerkkikohteena oli Hämeenlinnan kirkko, jonka laserkeilaus ja syntyneen pistepilviaineiston käsittely muodostivat työn rungon. Työn tilaajana oli Hämeenlinna-Vanajan seurakunta.

Työn tarkoituksena oli koota yhteen teoriatietoa laserkeilauksesta ja pistepilvestä, luoda tarkka kolmiulotteinen pistepilvimalli Hämeenlinnan kirkosta sekä tarkastella pistepilvimallin käyttöä arvorakennusten inventoinnissa. Pistepilvimalli tehtiin tekeillä olleen rakennushistoriallisen selvityksen ja mahdollisten tulevien korjaus- ja muutostöiden lähtötiedoksi.

Teoriakatsauksen perusteella laserkeilaus on tehokas työtapo fyysisen kohteen tarkkaan mitoittamiseen ja dokumentointiin. Laserkeilauksen edut korostuvat, kun kohde on monimuotoinen, mitoiltaan epätäsmällinen tai muuten perinteisillä mittausavoilla vaikeasti käsiteltävä. Tällaisia kohteita ovat tyypillisesti esimerkiksi vanhat kirkot.

Hämeenlinnan kirkosta saatiin muodostettua sekä sisä- että ulkotilat kattava pistepilvimalli. Pistepilvi tuotettiin pääasiassa laserkeilaamalla, mutta katon katvealueiden osalta mallia täydennettiin fotogrammetrisesti dronella suoritettulla ilmakuvauksella. Malli on tarkka ja havainnollinen dokumentti kirkon senhetkisestä näkyvästä geometriasta. Pistepilven pohjalta rakennus voidaan tarvittaessa mallintaa 3D-suunnitteluohjelmilla. Pistepilvimalli on jo itsessään dokumentaarisesti arvokas rakennuksen ”digitaalisena varmuuskopiona”.

Laserkeilausmenetelmän todettiin sopivan hyvin osaksi vanhojen arvorakennusten inventointia. Menetelmän etuja ovat tarkkuus ja nopeus sekä mahdollisuus tallentaa esimerkiksi vinoja ja epätäsmällisiä rakenteita. Laserkeilauksen huolellinen suunnittelu ja eri toimijoiden välinen kommunikointi on tärkeää, sillä laserkeilaus voidaan siten kohdistaa erityisesti kohteen kannalta olennaisimpiin tiloihin ja yksityiskohtiin.

Asiasanat: laserkeilaus, pistepilvi, rakennusinventointi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Architecture

PAAVOLA, LAURI:
Laser Scanning as an Inventory Method of Old Cultural Buildings
Laser Scanning of Hämeenlinna Church

Bachelor's thesis 41 pages
December 2021

The purpose of the thesis was to examine laser scanning and point cloud as a building inventory method. The main objective of the study was to laser scan Hämeenlinna church and produce an accurate three-dimensional point cloud model of it. Further, the purpose was to support a historic building survey of the church.

The study was carried out as a project. The church was completely laser scanned, both inside and out. To record the roof, the point cloud was supplemented photogrammetrically. The photogrammetric data was produced using a camera drone. The theoretical section of the thesis explored possibilities of laser scanning especially from the point of view of old cultural buildings.

As a result of the thesis a three-dimensional point cloud model of Hämeenlinna church was produced. The model is an accurate and illustrative document of visible geometry of the building.

Based on the project and theoretical review, laser scanning is an effective way to accurately measure and document a physical object. The benefits of laser scanning are accentuated when the object is diverse, dimensionally inaccurate, or otherwise difficult to measure with traditional methods. The laser scanning method was found to be well suited as part of the inventory of old value buildings.

Key words: laser scanning, point cloud, inventory model

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	LASERKEILAUS	7
3	PISTEPILVI.....	10
	3.1 Pistepilven rekisteröinti	11
	3.2 Georeferointi	12
	3.3 Pistepilven käyttö	12
	3.3.1 Käyttö sellaisenaan	12
	3.3.2 Käyttö lähtötietona.....	12
	3.3.3 Yhdistelmämalli	13
4	FOTOGRAMMETRIA.....	14
5	RAKENNETUN YMPÄRISTÖN INVENTOINTI.....	15
	5.1 Rakennushistoriallinen selvitys	16
	5.2 Laserkeilaus osana rakennuksen inventointia.....	18
6	CASE HÄMEENLINNAN KIRKKO	20
	6.1 Kohde.....	20
	6.2 Välineet	21
	6.3 Keilaussuunnitelma	22
	6.3.1 Sisätilat.....	22
	6.3.2 Ulkotilat.....	24
	6.4 Työskentely kohteessa.....	25
	6.5 Pistepilviaineiston käsittely.....	27
7	HÄMEENLINNAN KIRKON PISTEPILVIMALLI JA SEN HYÖDYNTÄMINEN	30
8	POHDINTA	37
	LÄHTEET.....	39

ERITYISSANASTO

BIM	Building Information Model, rakennuksen digitaalinen todellisuutta vastaava tietomalli.
Fotogrammetria	Menetelmä, jossa tehdään kolmiulotteisia mittauksia kohteesta otettujen valokuvien pohjalta.
GCP	Ground Control Point, maasignaali-merkki. Käytetään esimerkiksi drone-pohjaisessa kartoitustyössä georeferoinnin apuvälineenä.
Georeferointi	Kartan tai muun aineiston kiinnittäminen todelliseen paikkaan, eli osaksi tunnettua koordinaattijärjestelmää.
GNSS	Global Navigation Satellite System, maailmanlaajuisen satelliittipaikannusjärjestelmän yleisnimitys.
Inventointimalli	Kolmiulotteinen mallinnus kohteen lähtötilanteesta.
Laserkeilaus	Lasersäteeseen perustuva kolmiulotteinen mittaustapa, joka tuottaa pistepilvitietoa.
Pistepilvitieto	Tiheä pisteisiin perustuva kolmiulotteinen mittatieto kohteen geometriasta.
RGB-värit	Päävärien, eli punaisen, vihreän ja sinisen välisiin suhteisiin perustuva värimalli. Nimitys on johdettu värien englanninkielisistä nimistä.
Verkko-RTK	RTK eli Real Time Kinematic, reaaliaikainen kinemaattinen mittaustapa. Satelliittipaikannus, jossa paikannustulosta tarkennetaan kiinteästä tukiasemaverkosta tietoliikenne yhteydellä saatavalla korjausdatalla.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä luodaan laserkeilaamalla pistepilvimalli Hämeenlinnan kirkosta ja perehdytään laserkeilaukseen vanhojen arvorakennusten inventointimenetelmänä. Työ tehdään Hämeenlinna-Vanajan seurakunnan tilauksesta kirkon tekeillä olevan rakennushistoriallisen selvityksen tueksi sekä mahdollisten tulevien korjaus- ja muutostöiden lähtötiedoksi. Pistepilvimalli on myös sellaisenaan arvokas dokumentti vanhasta ja arvokkaasta kirkkorakennuksesta. Rakennushistoriallista selvitystä tekee tamperelainen BST-arkkitehdit Oy.

Pariisin Notre-Damen katedraalin tulipalo huhtikuussa 2019 järkytti ihmisiä kautta maailman. 1300-luvulla valmistunut goottilaisen arkkitehtuurin ikoni ja ranskalainen kansallissymboli vaurioitui tulipalossa pahoin. Kaikeksi onneksi yhdysvaltalaisprofessori Andrew Tallon oli laserkeilannut rakennuksen vuonna 2010. Katedraalin todellinen senhetkinen näkyvä geometria oli yksityiskohtineen tallella professori Tallonin pistepilviaineistossa. Pistepilviaineisto antoi jälleenrakennustyölle hyvät lähtökohdat. (Dollard 2019.)

Esimerkki Notre-Damen katedraalista osoittaa, miten tärkeää erityisesti kulttuurihistoriallisesti arvokkaiden rakennuskohteiden inventointi on. Arvorakennuksen ”digitaalinen varmuuskopio” voi nousta tällaisessa traagisessa tapauksessa suureen arvoon, mutta on joka tapauksessa monin eri tavoin hyödyllinen dokumentti.

Työn tavoitteena on saada aikaan tarkka ja mahdollisimman kattava pistepilviaineisto Hämeenlinnan kirkosta. Tavoitteena on myös koota yhteen teorian tietoa työn aihepiiristä, eli laserkeilauksesta, pistepilvitiedosta ja rakennetun ympäristön inventoinnista.

Opinnäytetyön aihe on rajattu vanhojen arvorakennusten inventointiin paitsi case-kohteen ohjaamana, myös siksi että laserkeilaus voi olla vanhoissa epätas-
mällisissä ja usein kieroissakin rakenteissa yksi harvoista keinoista hankkia täsmällistä ja kattavaa mittatietoa. Kulttuurihistoriallisesti arvokkaat, mahdollisesti suojellut rakennukset ovat tärkeitä ja mielekkäitä sekä samaan aikaan tyypillisimpiä rakennusinventoinnin kohteita.

2 LASERKEILAUUS

Laserkeilaus eli toiselta nimeltään 3D-laserskannaus on mittausmenetelmä, joka perustuu lasersäteiden käyttöön. Laserkeilain lähettää lasersädepulsseja kohteeseen ja tallentaa takaisin heijastuvan säteen sekä vaaka- ja pystykulma-arvojen perusteella kohteen sijainnin xyz-koordinaattipisteinä. Tiedot tallennetaan tiheäksi kolmiulotteiseksi pistejoukoksi eli pistepilveksi, jolloin saadaan esiin myös kohteen muoto. Laite tallentaa myös takaisinheijastumisen voimakkuuden eli intensiteetin. Useissa maalaserkeilaimissa on lisäksi sisäänrakennettu digitaalinen kamera. Laitteen kuvista koostuu jälkikäsitellyssä panoraaminen värikuva ympäristöstä. (BIM Task Group 2013, 4.) Valokuvien pohjalta pistepilven eri pisteille muodostetaan omat RGB-värikoodinsa. Näin laserkeilaamalla tuotetusta pistepilvimallista saadaan visuaalisesti melko hyvin todellisuutta vastaava. (BIM Task Group 2013, 27.)



Kuva 1. Faro Focus3D X 330 – maalaserkeilain.

Maalaserkeilainten lisäksi muita laserkeilaintyyppöjä ovat ilmalaserkeilaimet eli lentokone- tai dronepohjaiset laserkeilauslaitteet sekä ajoneuvopohjaiset mobiilikeilaimet ja käsikäyttöiset laserkeilaimet.

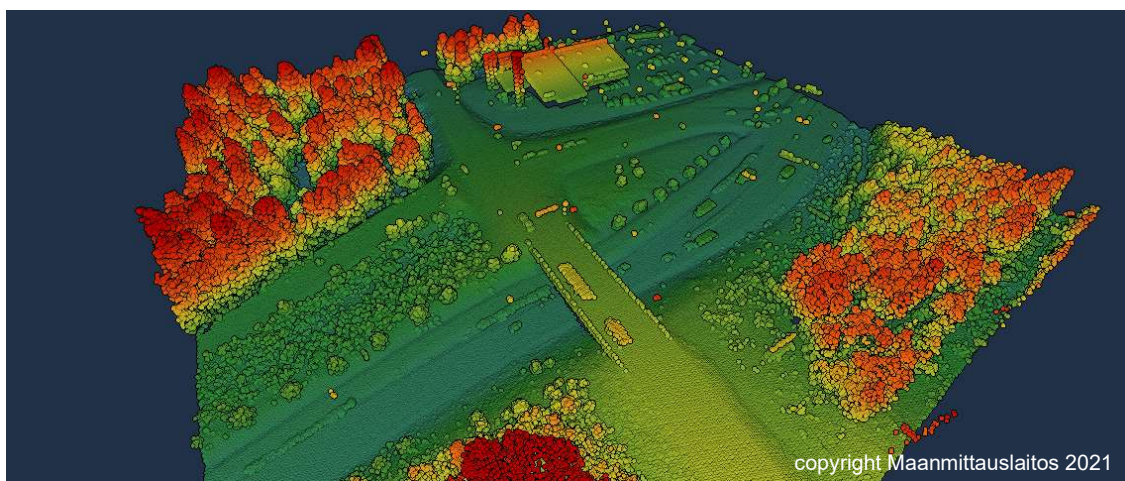
Laserkeilaamalla voidaan kerätä tietoa ympäristöstä perinteisiä mittausmenetelmiä nopeammin ja yksityiskohtaisemmin, eikä itse mittalaitteella tarvitse yltää mittaamaan kohteeseen (Joala 2006). Laserkeilauksessa kohteen näkyvä geometria tallennetaan sähköiseen muotoon. Tallennetusta tiedostosta on mahdollista tarkistaa esimerkiksi rakennuksen mittatietoja. Menetelmä sopii erityisesti kohteisiin, joiden alkuperäistilanne halutaan dokumentoida tarkasti. Syntynyt pistepilvi kuvaa kohdetta hyvin tarkasti, sillä laserkeilaimen sisäinen mittatarkkuus on rakennuksia keilatessa useimmiten alle ± 5 mm ja mittapisteiden välinen etäisyys pinnoilla tyypillisesti 5–20 mm (RT 103133 2019). Esimerkiksi tässä opinnäytetyössä käytetyn Faro Focus3D X 330 –laserkeilaimen valmistaja ilmoittaa 10 – 25 metrin etäisyydellä laitteen tarkkuusvirheeksi ± 2 mm (Faro 2016).

Laserkeilausmenetelmää voidaan hyödyntää paitsi valmiissa rakennuksissa, myös rakenteilla olevien kohteiden analysoinnissa. Työmaavaiheessa hankkeen etenemistä on mahdollista seurata vertaamalla ajantasaista laserkeilausdataa suunnitelmiin. Toimenpiteen perusteella saadaan tietoa hankkeen toteutumisesta suunnitellulla tavalla ja oikeassa aikataulussa.

Laserkeilausta voidaan hyödyntää myös rakenteiden muodonmuutosten havainnoinnissa. Esimerkiksi Bourgesin katedraalin rakenteita laserkeilattiin Ranskassa vuonna 2008. Rakenteissa havaittiin ei-toivottuja muodonmuutoksia, joten niitä päätettiin vahvistaa. Nämä ihmissilmälle näkymättömät rakenteelliset poikkeamat pystyttiin analysoimaan pistepilven avulla millimetrien tarkkuudella ja päättämään näin tarvittavat toimenpiteet. (Rondeau 2013.)

Yksittäisten rakennuskohteiden lisäksi laserkeilaamalla voidaan tehdä pistepilville kokonaisista kaupungeista tai kaupunginosista sekä infrastruktuurikohteista kuten liikennetunneleista. Laserkeilauksen tuottamaa tarkkaa mittatietoa voidaan käyttää myös erilaisissa analyyseissä ja riskikartoituksissa. Esimerkiksi tulvien ennustamisessa on apua ilmasta käsin tallennetusta laserkeilausaineistosta. (BIM Task Group 2013, 9–11.) Maanmittauslaitos on koordinoanut valtakunnallisen laserkeilausaineiston keruun lentokonekeilauksella vuosina 2008–2019. Vuodesta 2020 alkaen uuden valtakunnallisen keilausohjelman puitteissa

koko Suomesta koostetaan uusi entistä tarkempi pistepilviaineisto. Laserkeilausohjelman tuottamaa dataa käytetään muun muassa metsävaratietojen keräämiseen ja korkeusmallien valmistamiseen. (Maanmittauslaitos 2019.)



Kuva 2. Valtakunnallisen laserkeilausohjelman koeaineistoa syksyiltä 2019 (Maanmittauslaitos 2019).

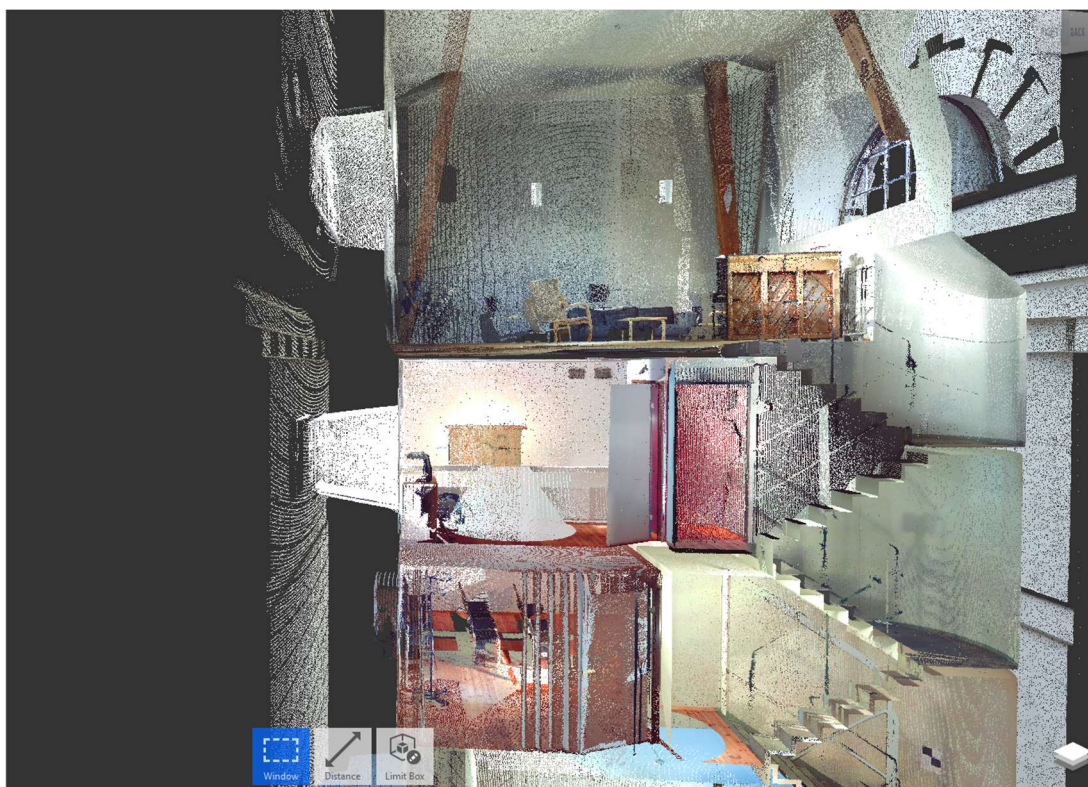
Laserkeilaus on nopea ja tehokas menetelmä, mutta silläkin on heikkoutensa. Pistepilvien tiedostokoot ovat suuria, mikä saattaa aiheuttaa haasteita tiedonsiirrossa. Laserkeilaamalla saadaan tallennettua vain kohteen näkyvä geometria, joten esimerkiksi koteloidut rakenteet eivät näy keilaustuloksessa. Tyypillinen katvealue on vesikatto, joka jää maantasosta keilatessa helposti räystäään taakse näkymättömiin. Myös muun muassa kiintokalusteet aiheuttavat katveja. Keilaustulosta täytyy siis osata tulkita kriittisesti.

Katveiden lisäksi keilaustulokseen tallentuu usein ylimääräisiä pisteitä. Esimerkiksi sisätilan laserkeilauksessa saattaa tulla mukaan pisteitä rakennuksen ulkopuolelta, kun lasersäteitä pääsee ikkuna-aukoista ulos. Laserkeilattavassa tilassa olevat peilit voivat myös aiheuttaa erikoisia lisäpisteitä, kun osa tilasta toistuu peilikuvana keskelle pistepilveä. Peilit ja joskus myös ikkunat onkin hyvä peittää esimerkiksi jätessäkillä ennen keilausta. Laserkeilausta ei voida toteuttaa ulkona saateisella tai sumuisella säällä, sillä vesipisarot aiheuttavat ylimääräisiä pisteitä pistepilveen. Laitteen linssi voi myös kastua, jolloin se ei toimi oikein. Laserkeilain ei ole myöskään yleensä vesitiivis.

3 PISTEPILVI

Pistepilvitiedolla tarkoitetaan tiheää pisteisiin perustuvaa kolmiulotteisessa xyz-koordinaatistossa sijaitsevaa mittatietoa kohteen geometriasta. Pistepilvitietoa voidaan tuottaa laserkeilauksen lisäksi fotogrammetrialla, takymetrimittauksilla tai manuaalisella taulukoinnilla. Pistepilvi on pistepilvitiedon eräs esitystapa. Pistepilvessä tieto esitetään yksittäisillä pisteillä, joilla ei ole tilavuutta, pituutta eikä pinta-alaa. (Savisaari 2017.) Pistepilvi voi koostua jopa miljardeista pisteistä (RT 103133 2019). Pistepilvitietoa voidaan esittää pistepilven lisäksi myös kolmioverkkona, pintamallina, tekstinä tai taulukkona (Savisaari 2017).

Pistetiheys eli pistepilven resoluutio on yksi tärkeimmistä pistepilven laatuun vaikuttavista tekijöistä. Pistetiheys tarkoittaa pistepilvessä olevan tiedon määrää suhteessa sen laajuuteen. (Savisaari 2017.) Mitä tiheämpi pistepilvi on, sitä yksityiskohtaisempaa tietoa kohteesta se pitää sisällään. Samalla pistepilven tiedostokoko kuitenkin kasvaa. (RT 103133 2019.) Muita tekijöitä, joista pistepilven laatu koostuu, ovat erillisistä kojeasemista tallennettujen pistepilvien yhdistämisen tarkkuus ja yksittäisen pisteen laatu (Joala 2006).



Kuva 3. Leikkausote Hämeenlinnan kirkon tornia kuvaavasta pistepilvestä ReCap-pistepilviohjelmassa.

3.1 Pistepilven rekisteröinti

Laserkeilattavan kohteen kattavaan dokumentointiin tarvitaan lähes poikkeuksetta enemmän kuin yksi kojeasema, sillä kohteet ovat usein suuria ja monimuotoisia ja yksittäiseen keilaukseen jää herkästi katvealueita. Jokaisesta eri kojeasemasta otetusta laserkeilauksesta saadaan pistepilvi. Jälkeenpäin eri asemista tallennetut pistepilvet voidaan yhdistää tietokoneohjelmalla suuremmaksi kokonaisuudeksi. (Tammi 2015).

Erilliset pistepilvet koostetaan toistensa suhteen oikeaan sijaintiin koordinaatistossa rekisteröimällä (Rajala 2009). Mikäli eri laserkeilauksissa on riittävästi päällekkäisyyttä eli yhteisiä pisteitä, ohjelmat pystyvät suorittamaan rekisteröinnin automaattisesti (Tammi 2015). Rekisteröinnin laadun varmistamiseksi keilauksissa käytetään usein keinotekoisia kohdennuspisteitä eli tähyksiä. Yleisimpiä tähystyyppisiä ovat pallo- ja shakkiruututähykset.



Kuva 4. Pallotähyksiä käytössä ulkoskannauksissa.

3.2 Georeferointi

Georeferoinnilla tarkoitetaan pistepilven tuomista tunnettuun koordinaattijärjestelmään. Pistepilvimallille luodaan rekisteröimällä oma yhtenäinen koordinaatisto. Jotta tämä koordinaatisto saadaan muunnettua vastaamaan yleisesti tunnettua, esimerkiksi valtakunnallista koordinaatistoa, tarvitaan referenssipisteitä. Yleensä referenssipisteinä käytetään tähyksiä, joiden sijainti halutussa järjestelmässä selvitetään esimerkiksi tarkkuuskorjatulla satelliittipaikannuksella. Pistepilviohjelma pystyy määrittämään referenssipisteiden perusteella pistepilven jokaiselle yksittäiselle pisteelle halutun järjestelmän mukaiset koordinaatit. (RT 103133 2019; Tammi 2015.)

3.3 Pistepilven käyttö

3.3.1 Käyttö sellaisenaan

Pistepilveä voidaan hyödyntää jo pelkällä pistepilviohjelmalla tarkasteltuna usealla tavalla. Pistepilveä tarkastelemalla saadaan tietoa etäisyyksistä ja rakenteiden mitoista. Rakennusta voidaan pistepilven avulla tarkastella juuri sellaisena, millaiseksi se on rakennettu. Sen sijaan esimerkiksi rakennuspiirustukset kertovat vain siitä, millaiseksi rakennus on suunniteltu. Erilaisten tilojen ja kappaleiden pinta-aloja ja tilavuuksia voidaan tarkastella pistepilvestä muodostetun pintamallin (mesh-malli) avulla. Rakennusosien muodonmuutoksia voidaan havaita vertaamalla laserkeilausaineistoa rakennuksen suunnitelmiin tai tietomalliin. Pistepilvestä voidaan jalostaa myös leikkauskuvia ja mittatarkkoja, valokuvamaisia julkisivukuvia. (ProDigiOUs 2018.)

3.3.2 Käyttö lähtötietona

Käytettäessä pistepilvitietoa lähtöaineistona pistepilvi korvataan uudella tiedolla, kuten mallinnusohjelmalla tuotetulla 3D-inventointimallilla. Pistepilvi toimii viit-

teenä, jonka mittatietoa ja esimerkiksi pintojen värejä tulkitsemalla pyritään totuuden mukaiseen lopputulokseen. Itse pistepilvi ei näy enää lopullisessa tuotoksessa. (Savisaari 2017.)

Vaikka pistepilvi vaatii lähtötietona tulkintaa, se vähentää silti lähtötietojen tulkinanvaraisuutta verrattuna kaksiulotteisten rakennuspiirustusten tarkasteluun. Pistepilven avulla monimutkaiset rakenteet on helpompi hahmottaa. Sitä voidaan myös käyttää luonnostelun apuna sekä erilaisiin tarkasteluihin ja mittatarkistuksiin. (Poutanen 2017.)

Harventamaton, eli kaikki alkuperäiset pisteet sisältävä pistepilvi on yleensä turhan raskas käytettäväksi suoraan suunnittelun lähtötietona. Pistepilvestä voidaan muokata tähän käyttötarkoitukseen harvennettu pistepilvi, joka on kevyempi käsitellä suunnitteluohjelmistoissa. Harvennuksen yhteydessä pienenee myös tiedoston koko, mikä helpottaa tiedonsiirtoa. (RT 103375 2021.)

3.3.3 Yhdistelmämalli

Yhdistelmämallissa pistepilviaineisto tuodaan suunnittelijoiden tietomallin osaksi. Pistepilvi kuvaa mallissa rakennuksen tilannetta laserkeilaushetkellä. Pistepilven perusteella voidaan tarkastella inventointimallin paikkansapitävyyttä. Pistepilveä hyödyntäen voidaan usein jättää tekemättä osa inventointimallista tai joskus jopa koko malli. Rakennuksesta voidaan ajan säästämiseksi mallintaa vain hankkeelle oleelliset osat. (RT 103375 2021)

4 FOTOGRAMMETRIA

Fotogrammetrialla tarkoitetaan mittausopin osa-aluetta, jossa tehdään kolmiulotteisia mittauksia kohteesta otettujen valokuvien pohjalta. Fotogrammetriaa hyödynnetään yleisimmin miehitetyillä tai miehittämättömillä ilma-aluksilla tehdyissä mallinnus- ja kartoitustöissä. Toinen yleinen fotogrammetrian osa-alue on lähifotogrammetria, jossa pyritään tallentamaan esimerkiksi rakennus mahdollisimman yksityiskohtaisesti ja kattavasti. Menetelmää voidaan siis käyttää samankaltaisiin tarkoituksiin kuin laserkeilausta, tai sillä voidaan täydentää laserkeilausaineistoa esimerkiksi sen katvealueilta. Fotogrammetrisesti tuotettu aineisto näyttää usein ihmissilmään tarkemmalta ja paremmalta, mutta siitä muodostuva pistepilvi on kuitenkin yleensä tarkkuudeltaan laserkeilaamalla tuotettua heikompaa. (RT 103132 2019.)



Kuva 5. Lahden kaupungintalon julkisivu tallennettuna laserkeilaamalla (vas.) ja fotogrammetrisesti. (RT 103132 2019.)

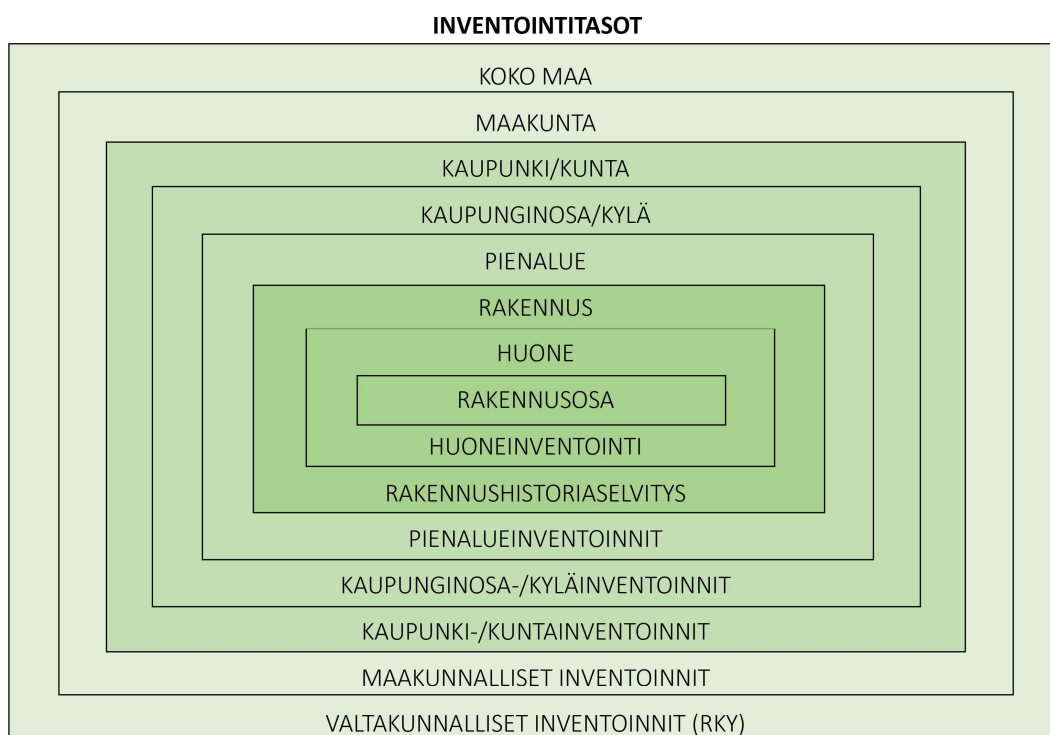
Fotogrammetriaa käytetään rakennusten ja maanpinnan mallinnustöiden lisäksi esimerkiksi toteumatiedon keräämiseen rakennushankkeen eri vaiheissa, kiinteistöjen myyntiesittelyihin, onnettomuuspaikkojen dokumentointiin ja kolmiulotteisiin tuote-esittelyihin (RT 103132 2019). Menetelmän perusteet on keksitty jo 1850-luvulla ja sitä on käytetty laajalti jo ensimmäistä maailmansotaa edeltäneen vuosikymmenen aikana (Encyclopaedia Britannica 2016).

5 RAKENNETUN YMPÄRISTÖN INVENTOINTI

Inventointi tarkoittaa tiedon järjestelmällistä hankkimista ja jäsentämistä. Rakennetun ympäristön inventoinnissa tutkitaan rakennuksia ja rakennettuja alueita. Tietoa voidaan hankkia esimerkiksi arkistoista, rekistereistä ja kirjallisuudesta. Kirjallista lähdetietoa täydennetään maastotarkastuksilla. (Ympäristöministeriö & Museovirasto 2010.)

Rakennettu ympäristö muuttuu ja uudistuu jatkuvasti. Rakennustavat ja arkkitehtuuri muuttuvat ja vanhoja rakennuksia puretaan uusien tieltä. Puolueettoman ja ajantasaisen tiedon kerääminen olemassa olevasta rakennuskannasta on tärkeää, jotta voidaan tunnistaa sen arvo ja ominaispiirteet (Hakkarainen 2011). Eri-tyisen tärkeää on löytää ja dokumentoida rakennustaiteellisesti tai kulttuurihistoriallisesti arvokkaat kohteet.

Rakennetusta ympäristöstä tehdään inventointeja monessa eri mittakaavassa. Kuviossa 1 havainnollistetaan inventointitasoja maanlaajuisesta tarkastelusta rakennusosakohtaiseen tarkasteluun.



Kuvio 1. Inventointitasot *Talon tarinat – Rakennushistorian selvitysopas* mukaan (Sahlberg 2010, 12).

Laserkeilausta voidaan hyödyntää inventointiin kuuluvassa dokumentaatiossa useilla tasoilla. Pistepilvipohjaisia 3D-malleja onkin tehty yksittäisten rakennusosien ja rakennusten lisäksi myös kokonaisista kaupungeista. Esimerkiksi Helsingillä on ollut jo vuosia koko kaupungin kattava 3D-kaupunkimalli, jonka rakentamiseen on käytetty laserkeilaamalla tuotettua pistepilviaineistoa (Isotalo 2017). Helsingin lisäksi omia kaupunkimallejaan on myös muilla suomalaiskaupungeilla, kuten Tampereella, Oululla ja Turulla.

5.1 Rakennushistoriallinen selvitys

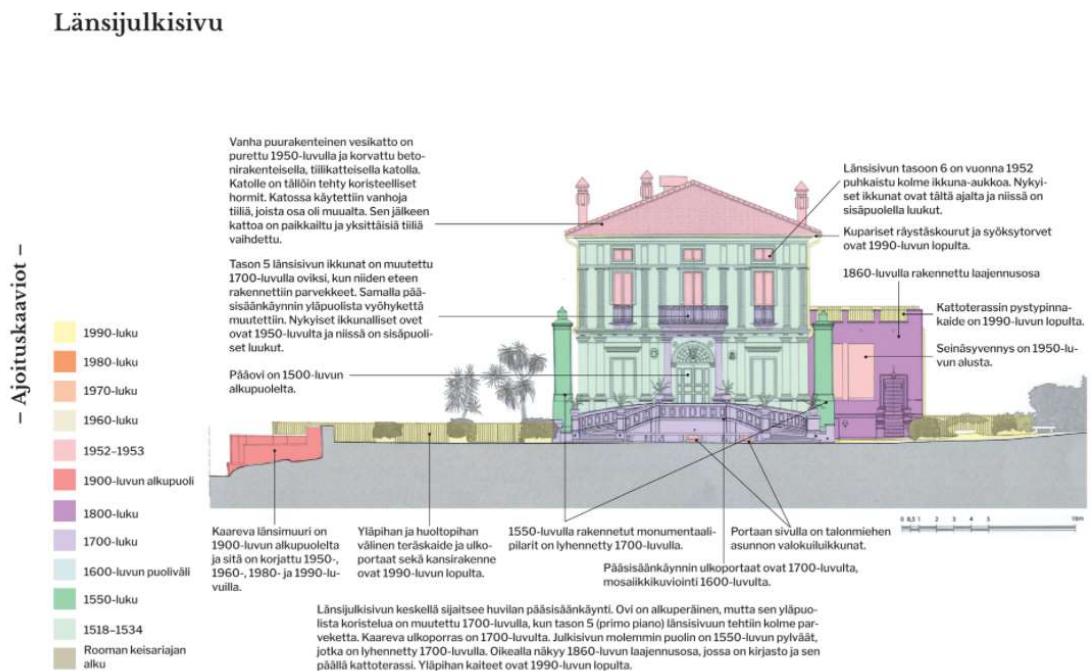
Rakennushistoriallinen selvitys (RHS) eli rakennushistoriaselvitys on ”talon elämäkerta”. Siinä kootaan rakennuksen tai rakennusryhmän historia, suunnittelu- ja muutosvaiheet sekä nykytila innostavaksi, havainnolliseksi ja helposti ymmärrettäväksi kokonaisuudeksi. (Saatsi 2017.)

Rakennushistoriallinen selvitys on rakennusinventointia laajempi työ. Selvityksessä paitsi dokumentoidaan, myös analysoidaan, ryhmitellään ja havainnollistetaan tietoa. Rakennushistoriallisessa selvityksessä rakennuksesta tai rakennusryhmästä koostetaan yleiskuva. Tavoitteena on selvittää, millainen rakennus on tutkimushetkellä ja miksi se on muodostunut sellaiseksi. Tuloksista kootaan raportti, jonka sisällössä kuvallisella aineistolla on tekstin ohessa suuri merkitys. (Sahlberg 2010.) Laserkeilaamalla tuotetun kolmiulotteisen pistepilviaineiston voikin olettaa olevan hyödyllinen rakennushistoriallisen lähtötietona. Aineiston pohjalta voi tehdä esimerkiksi mittatarkkoja pohjapiirroksia sekä julkisivu- ja leikkauksuvia.

Rakennushistoriallisen selvityksen kohde on tyypillisesti suojeltu rakennus, johon suunnitellaan korjaus- tai muutostöitä. Selvityksiä tehdään myös korttelitasolla asemakaavoituksen lähtötiedoiksi. Rakennushistoriallisesta selvityksestä hyötyvät niin rakennuksen omistaja kuin myös rakennus- tai muutostöiden tekijät. Myös lupaviranomaiset ja kulttuuriperinnön tutkijat voivat hyödyntää selvityksen tietoja. (Sahlberg 2010.)

Museoviraston kustantamassa Talon tarinat – Rakennushistorian selvitysopas -ohjekirjassa (Sahlberg 2010) määritellään rakennushistoriallisen selvityksen työvaiheet. Kirjan ohjeet on tarkoitettu lähinnä suuntaa antaviksi, sillä selvityksen kohteita on hyvin erilaisia. Selvitystyön aluksi luodaan yleiskatsaus kohteeseen kohdekäynnillä ja tutustutaan sen tärkeimpiin vaiheisiin. Tämän jälkeen aloitetaan tarkempi arkistotutkimus. Tietoa hankitaan muun muassa rakennuksen eri rakennus- ja käyttövaiheista. Arkistotyön jälkeen on kenttätutkimuksen vuoro. Sen pohjaksi arkistolähteistä etsitään esimerkiksi vanhoja rakennuspiirustuksia ja valokuvia. Kenttätutkimuksessa kohteen nykytilannetta inventoidaan ja peilataan arkistolähteisiin. Tarvittaessa kenttätutkimuksen jälkeen palataan vielä arkistotyöhön etsimään vastauksia heränneisiin kysymyksiin. Tutkimuksissa selville saadut asiat kootaan yhteen havainnolliseksi ja selkeäksi raportiksi.

Arkkitehtitoimisto Livadyn tekemä rakennushistoriallinen selvitys renessanssihuvila Villa Lante al Gianicolosta on esimerkki kattavasta ja havainnollisesta selvitystyöstä rakennuksen arkkitehtuuriin, rakentamiseen ja muutosvaiheisiin liittyen (Kolhonen ym. 2020). Villa Lante on Suomen valtion omistama lähetystörakennus Roomassa. Rakennuksen muutosvaiheita on koottu kuvan 6 ajoituskaavioon. Kaavioon on merkitty värein eri aikoina tehdyt muutokset ja selitetty niitä tekstein.



Kuva 6. Arkkitehtitoimisto Livadyn tekemä ajoituskaavio renessanssihuvila Villa Lante al Gianicolon muutosvaiheista (Kolhonen ym. 2020).

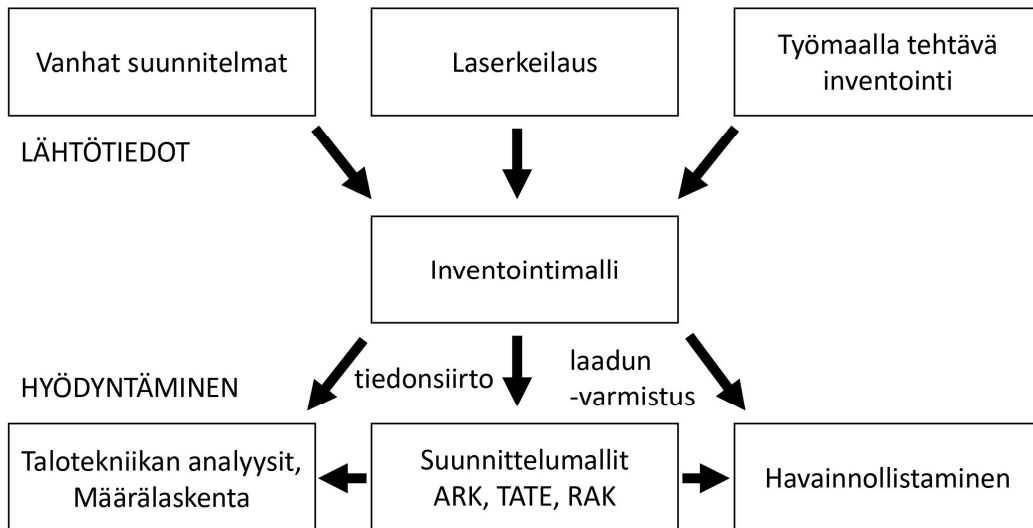
5.2 Laserkeilaus osana rakennuksen inventointia

Laserkeilaus on hyvä menetelmä hankkia ajantasaista ja tarkkaa mittatietoa rakennuksesta. Laserkeilaus saattaa tulla ajankohtaiseksi ennen rakennuksen korjaus- tai muutostöitä tai rakennushistoriallisen selvityksen yhteydessä. Laserkeilausmenetelmää sovelletaankin kaikkein eniten rakennuksen geometriaa kuvaavan pistepilvitiedon tuottamiseen suunnittelutyötä tai inventointimallintamista varten (RT 103133 2019).

Vanhojen rakennuskohteiden piirustukset ja muut kirjalliset rakennusdokumentit ovat usein puutteellisia tai niitä ei ole lainkaan saatavilla. Tällaisessa tilanteessa pistepilviaineiston hyödyt korostuvat. Vanhat rakennukset ovat myös usein rakennusosiltaan ja muodoiltaan epätäsmällisiä. Epätäsmällisten muotojen ja satunnaisten mittojen mitoittaminen ja tallentaminen on perinteisillä mittaustekniikoilla erittäin vaikeaa. Laserkeilauksella rakennuksen geometria ja mitat voidaan tallentaa tarkasti epätäsmällisyyksistä huolimatta.

Scan to BIM eli laserkeilauksesta tietomalliksi -prosessi tarkoittaa rakennuksen inventointiin liittyvää työvaihetta, jossa olemassa olevasta rakennuksesta luodaan laserkeilausta hyödyntämällä tietomalli hankkeen lähtötietoaineistoksi. Kohteen mitat ja geometria tuodaan digitaaliseen muotoon, jolloin tietoa voidaan hyödyntää sujuvammin nykyaikaisessa suunnitteluprosessissa. (Tammi & Tasanen, 2017.)

Kuvio 2 havainnollistaa laserkeilauksen roolia osana rakennuksen inventointia. Laserkeilaus muodostaa yhdessä olemassa olevien suunnitelmien ja työmaalla tehtävien havaintojen kanssa lähtötiedot, joiden pohjalta kohteesta voidaan tehdä kolmiulotteinen inventointimalli. Inventointimallia voidaan hyödyntää rakennuksen havainnollistamisessa, eri alojen suunnittelumallien tekemisessä, taloteknisissä analyyseissä ja määrälaskennassa. (Rajala 2009).



Kuvio 2. Inventointitasot mukailien Rajalan (2009) kaaviota.

Laserkeilausaineiston kuvatessa ainoastaan rakennuksen näkyviä muotoja ja rakenteita tarvitaan kattavan inventointimallin luomiseksi myös muita lähtötietoja. Vanhat rakennus-, rakenne- ja talotekniset suunnitelmat sekä tarpeenmukaiset työmaalla tehtävät lisätutkimukset, kuten rakenteiden tarkastelu ja kuntotutkimukset, muodostavat laserkeilauksen kanssa kattavan kokonaistietopakettin rakennuksesta. (RT 103133 2019.)

Kun rakennusinventoinnin yhteydessä suunnitellaan laserkeilaustyötä, on tärkeää ottaa selvää hankkeen ja kohteen luonteesta. Erilaisten kohteiden laserkeilauksessa on olennaisinta eri asiat. Laserkeilaajan yhteistyö ja kommunikointi suunnittelijoiden ja tilaajan kanssa on olennainen osa onnistunutta laserkeilausprosessia. Jos esimerkiksi selvitetään rakennuksen ullakon muuttamista uuteen käyttötarkoitukseen, ovat kattorakenteet ja mahdolliset ullakolla sijaitsevat talotekniset järjestelmät erityisen huomion kohteena. (RT 103133 2019.)

6 CASE HÄMEENLINNAN KIRKKO

Tämän opinnäytetyön case-osuus oli Hämeenlinnan kirkon laserkeilaus. Kirkko laserkeilattiin kauttaaltaan, sekä sisältä että ulkoa. Opinnäytetyön tilaaja oli Hämeenlinna-Vanajan seurakunta. Tuotettu pistepilviaineisto jäi seurakunnalle dokumentaatioksi rakennushistoriallisesti arvokkaasta kirkkorakennuksesta. Työ tehtiin BST-arkkitehdit Oy:n aloitteesta kirkon rakennushistoriallisen selvityksen tueksi. Rakennushistoriallista selvitystä ovat olleet tekemässä BST-arkkitehdeilta arkkitehdit Jermu Sannikka, Jon Thureson ja Sergej von Bagh. Aineistoa voidaan hyödyntää tulevaisuudessa lähtötietona myös muissa kirkon ylläpito- ja kunnostustöissä.

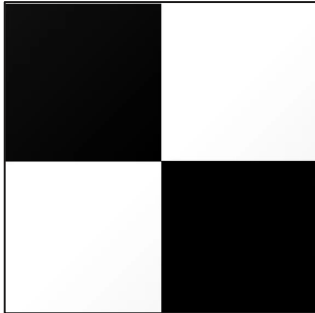
6.1 Kohde

Vuonna 1798 valmistunut Hämeenlinnan kirkko on Kustaa III:n palveluksessa olleen ranskalaisen taidemaalari Louis Jean Desprezin suunnittelema kirkkorakennus. Sen arkkitehtuuri mukailee oletettavasti Rooman Pantheon-temppeliä. Rakennus on eräs Suomen merkittävimmistä kustavilaisen klassismin edustajista. Kirkko oli alun perin ympyränmuotoinen, mutta se laajennettiin ristikirkoksi vuonna 1892. Muutostyön suunnitteli suomalainen arkkitehti Josef Stenbäck. Kirkko sijaitsee Hämeenlinnan keskustassa kauppatorin itäreunalla. (Hämeenlinna – Vanajan seurakunta 2021.) Se on Hämeenlinnan ensimmäisen, 1700-luvun lopulla laaditun asemakaavan mukaisesti kaupungin symmetrinen kiintopiste (Lyyra-Seppänen & Heiskanen 2014).

Hämeenlinnan kirkko on suojeltu kirkkolain nojalla, kuten kaikki ennen vuotta 1917 rakennetut evankelisluterilaiset kirkot Suomessa. Suojelun piiriin kuuluvat myös kirkon kiinteä sisustus taideteoksineen ja maalauksineen sekä rakennuksen pihapiiri. ”Suojelun tavoitteena on turvata kirkollinen rakennettu kulttuuriympäristö osana kulttuuriperintöä, vaalia sen ominaisluonnetta ja erityispiirteitä sekä edistää sen kulttuurisesti kestävää hoitoa ja käyttöä.” (Kirkkolaki 1993/1054)

6.2 Välineet

Laserkeilaus toteutettiin Tampereen ammattikorkeakoulun omistamilla välineillä. Laserkeilaimena oli Faro Focus3D X 330 – maalaserkeilain. Pistepilven tarkkuuden varmistamiseksi ja rekisteröinnin tueksi laserkeilatessa käytettiin tähyksiä. Jalallisten pallotähysten lisäksi sisätilojen portaikoissa käytettiin paperille tulostettuja shakkiruututähyksiä (kuva 7).



Kuva 7. Shakkiruutukuvio, jota voidaan käyttää tähyksenä paperille tulostettuna.

Kirkon ulkopuolen keilausten yhteydessä muutamia tähyksiä paikannettiin tarkkuuskorjatulla verkko-RTK-satelliittipaikannuksella georeferointia varten. Käytössä oli CHC Navigationin LT700H RTK GNSS -tabletti antennisauvalla (kuva 8). Tabletissa paikannukseen käytettiin Landstar-ohjelmaa.



Kuva 8. Paikannuksessa käytetty verkko-RTK-paikannin.

Kirkon katto jäi maantasosta käsin keilatessa osittain räystäään katveeseen, joten mitta-aineistoa täydennettiin ilmakuvauksella. Ilmakuvaus tehtiin Tampereen Ammattikorkeakoulun omistamalla Mavic Air- dronella. Ilmakuvasta saatiin fotogrammisesti koostettu pistepilvi myös kirkon katosta. Osana drone-lennon valmisteluja kirkon ympärille maahan paikannettiin satelliittipaikantimella tukipisteitä, eli käytännössä sadevesikaivojen kansia ja valkoisia maasignaali-merkkejä (GCP).

6.3 Keilaussuunnitelma

Laserkeilaus on nopea ja kustannustehokas tapa kerätä lähtötietoa rakennuskohteesta. Työn sujuminen kohteessa ja kustannustehokkuuden toteutuminen vaatii kuitenkin laserkeilaustyön huolellista suunnittelua. Mittaustarkkuus määritellään tilaajan vaatimusten mukaiseksi. Suunnitteluvaiheessa päätetään myös, otetaanko keilaukseen mukaan värikuvaus. Pistetiheyden kasvattaminen ja värikuvaus kasvattavat keilausaikaa ja tiedostokokoa. Joskus tarkastelun kohteena on erityisesti jokin osa rakennuksesta ja kohteen eri osissa käytetään eri mittaustarkkuutta. (ProDigiOUs 2018.)

Laserkeilauksen suunnittelun tueksi kohteesta hankitaan tietoa, kuten valokuvia ja rakennuspiirustuksia. Niiden perusteella voidaan määritellä mittausten määrä ja sijoittelu sekä työn kulku. Laserkeilattavien tilojen haltijan kanssa sovitaan käytännön järjestelyistä, kuten työn suorittamisen aikatauluista ja lukittujen ovien avaamisesta.

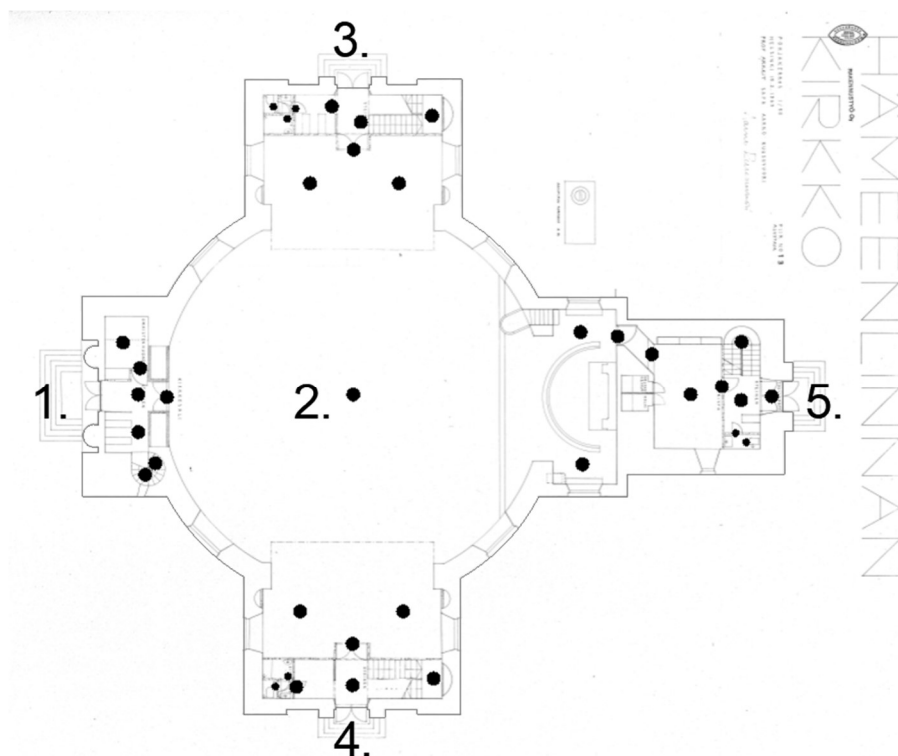
6.3.1 Sisätilat

Hämeenlinnan kirkon laserkeilauksen suunnittelun pohjatiedoksi saatiin kirkon vanhat pohjapiirustukset ja leikkaukset. Piirustusten perusteella kojeasemat pyrittiin määrittelemään valmiiksi siten, että keilaustyö kohteella sujuisi suunnitellusti.

Sisätilojen laserkeilaus suunniteltiin siten, että kirkon eri osien pistepilvet olisi myöhemmin mahdollista rekisteröidä toistensa suhteen oikeaan sijaintiin. Kirkkosalin keskelle päätettiin sijoittaa ryhmä pallotähyksiä, jotka näkyivät jokaisen siiven joistakin kojeasemista. Peruseriaatteena sisätilojen laserkeilauksessa oli se, että peräkkäisillä keilauksilla olisi aina riittävästi yhteisiä pisteitä pistepilven rekisteröintiä varten. Esimerkiksi kahden huoneen väliselle ovelle suunniteltiin huoneiden pistepilvet yhdistävä kojeasema.

Sisätilojen keilausten asetuksiksi määriteltiin resoluutio 1/8 ja laatu 3x. Parempi resoluutio tarkoittaa suurempaa pistetiheyttä tietyllä etäisyydellä laserkeilaimesta. Suuri kirkkosali päätettiin keilata paremmalla resoluutiolla (1/4). Värikuvausominaisuutta käytettiin niin sisä- kuin ulkotiloissa.

Hämeenlinnan kirkko varattiin laserkeilausta varten kahdeksi arkipäiväksi loka-kuun viimeisellä viikolla. Samalla sovittiin myös sisäovien pitämisestä auki keilauspäivinä. Paikalla oli molempina työskentelypäivinä avulias vahtimestari.

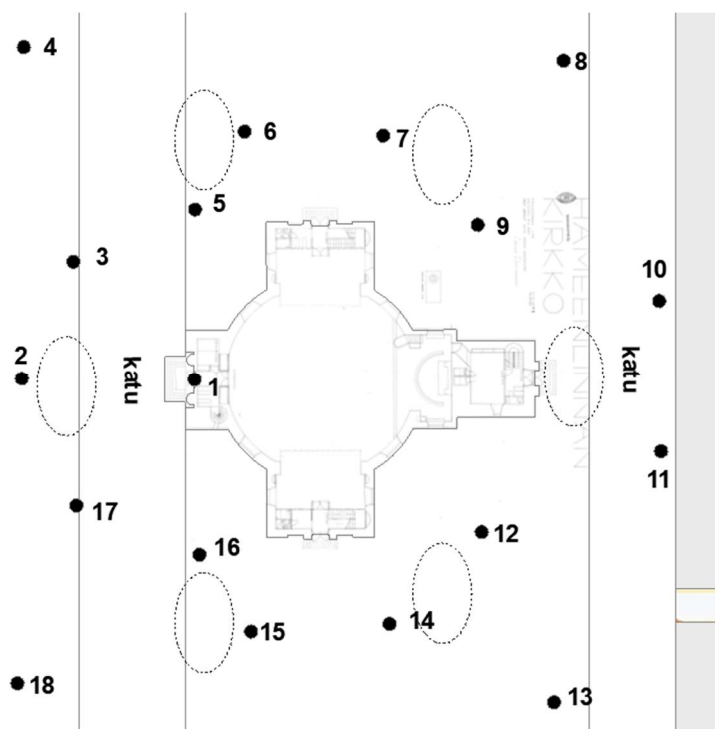


Kuva 9. Suunnitelma Hämeenlinnan kirkon maantasokerroksen laserkeilauksen kojeasemista. Tavoitteelliset kojeasemat on merkitty kuvaan mustilla pisteillä. Numerot kuvaavat keilaustyön etenemistä kirkon eri osissa.

6.3.2 Ulkotilat

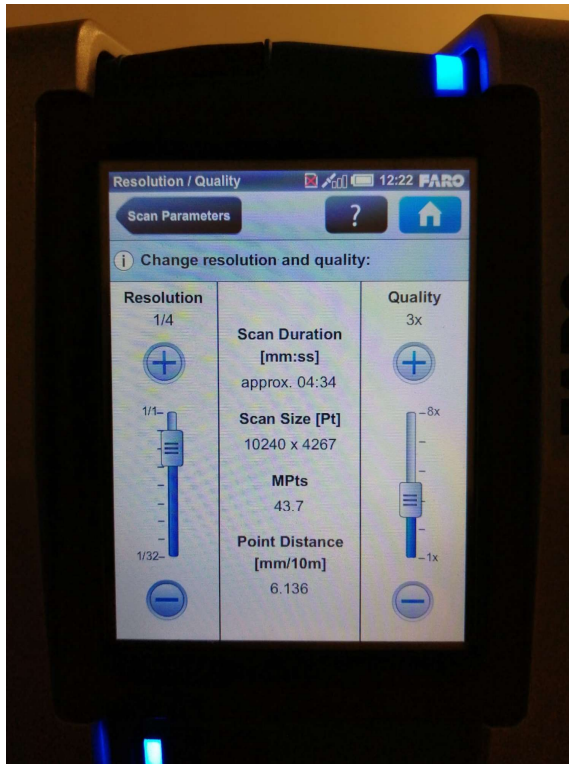
Ulkotilojen laserkeilauksen suunnittelu perustui Google Maps -karttapalveluun ja erityisesti sen Street View -ominaisuuden hyödyntämiseen. Street View -näky-
mässä voi tarkastella Googlen kuvausauton ottamia 360°-kuvia ympäristöstä. Keilaustyön etenemisen pystyi suunnittelemaan peruseriaatteiltaan ilmakuvan perusteella, mutta ympäristön hahmottamisessa kuvausauton kuvat olivat kor-
vaamaton apu. Esimerkiksi käsitys kirkkoa ympäröivän puiston puista olisi jäänyt ilmakuvien perusteella hataraksi. Kirkon ympärillä oleva puusto todettiin kuvien perusteella niin suureksi ja peittäväksi, että keilaustyö päätettiin toteuttaa vasta puiden pudotettua lehtensä.

Kirkon ulkopuolen kojeasemien tavoitteelliset sijainnit merkittiin etukäteen muis-
tiin, mutta niitä päätettiin tarkentaa paikan päällä todellisuutta vastaavaksi. Kirkon ympäristö on elävä kaupunkitila ja esimerkiksi kadun varteen pysäköity suuriko-
koinen auto voisi estää tietyn kojeaseman suunnitellun käytön. Myös tähysten sijainnin määrittäminen etukäteen osoittautui mahdottomaksi, joten niillekin mer-
kittiin tähysten tavoitteellinen sijainti.



Kuva 10. Suunnitelma Hämeenlinnan kirkon ulkopuolen laserkeilauksesta. Nu-
meroidut pisteet kuvaavat kojeasemia. Tähysten tavoitteelliset sijainnit on mer-
kitty kuvaan ellipseillä.

Ulkopuolen laserkeilausten resoluutioksi valittiin 1/4 ja laaduksi 3x. Ulos valittiin sisätiloja parempi resoluutio, koska kojeasemat olivat keskimäärin kauempana kohteesta. Lasersäteiden väliset etäisyydet kasvavat matkan lisääntyessä, joten halutun pistetiheyden saavuttamiseksi säteitä tarvitaan enemmän. Värikuvaus oli käytössä myös ulkona.



Kuva 11. Laserkeilaimen valikko resoluutio- ja laatuasetuksista. Resoluution ollessa 1/4 ja laadun 3x, pistepilven pisteväli on kymmenen metrin etäisyydellä laitteesta 6,136 mm ja yksittäisen laserkeilauksen kesto 4 minuuttia ja 34 sekuntia.

6.4 Työskentely kohteessa

Hämeenlinnan kirkko laserkeilattiin kahtena päivänä lokakuun loppupuolella. Ajankohta oli työlle sikäli otollinen, että lehdet olivat jo tippuneet puista kirkkoa ympäröivässä puistossa, mutta pakkasta ei vielä ollut. Kirkon ulkopuolen laserkeilaus eteni työsuunnitelman mukaisesti kojeasema kerrallaan kirkon pääovelta alkaen. Kohteesta tallennettiin pistepilvi yhteensä 84 kojeasemasta. Kojeeasemien määrä kasvoi melko suureksi, sillä kirkon sisätiloissa oli paljon pieniä tiloja, jotka kaikki piti laserkeilata erikseen.

Ensimmäinen kojeasema oli kirkon avattujen pääovien kynnyksellä. Eteisaulan sisätilat ja pääovien ulkopuolelle asetetut tähykset tallentuivat näin samaan pistepilveen. Tämän pistepilven avulla saatiin myöhemmin rekisteröityä sisä- ja ulkopuolien pistepilvet samaan koordinaatistoon. Kirkon ulkopuolen laserkeilauksessa oli tärkeää huomioida, että tulevilla kojeasemilla oli aina vähintään kolme yhteistä pallotähyistä edellisten kojeasemien kanssa. Neljä pallotähyistä paikannettiin satelliittipaikantimella laserkeilausaineiston georeferointia varten. Kojeasemista neljä oli sijoitettu muita kojeasemia kauemmas kirkon seinälinjasta, jotta rakennuksen vesikattoa saataisiin edes hiukan mukaan keilaustulokseen. Pääasiallisista kojeasemista tarkasteltuna vesikatto jäi suurilta osin räystäään taakse katveeseen.

Kirkon sisäosien laserkeilaus aloitettiin pääoven eteisaulasta. Sisätiloissa tähyksiä ei pääosin ollut tarpeen käyttää, sillä pistepilviin tallentui riittävästi päällekkäisyyttä rekisteröintiä varten. Pääsalin keskiosaan sijoitettiin kuitenkin ryhmä pallotähyksiä, jotta eri siivistä ja parvilta otetut laserkeilaukset yhdistyisivät varmasti toisiinsa. Lisäksi tornin eri kerroksissa toistuviin samankaltaisiin portaikkoihin sijoitettiin paperisia shakkiruututähyksiä, jotta automaattirekisteröinti ei sekoittaisi eri kerroksia toisiinsa. Tiloissa oli muutamia peilejä, jotka peitettiin sanomalehtipaperilla heijastusten eli ylimääräisten pisteiden välttämiseksi.

Katto tallennettiin ilmakeuviin dronelennolla. Lento oli automatisoitu, eli se suunniteltiin etukäteen älypuhelimella Pix4Dcapture-sovelluksella. Älypuhelin yhdistettiin usb-kaapelilla dronen ohjaimen. Drone lensi suunnitellun reitin halutussa lentokorkeudessa ja otti kuvia kohteesta vaakasuorasta alaspäin 70 asteen kulmassa. Jälkeenpäin selvisi, että jonkin tapahtuneen virheen johdosta kuvia oli vain lennon alkupuolelta kirkon puoliväliin asti. Lento suoritettiin uudestaan seuraavalla viikolla, jolloin sää vaikutti otollisen aurinkoiselta. Tällä kertaa ongelmaksi muodostui kuitenkin se, että kirkon katto heijasti aamuauringon valoa liian voimakkaasti. Osa katosta ylivalottui pahasti ja lento piti suorittaa uudestaan vielä seuraavana päivänä. Kolmas kuvauslento onnistui hyvin.

6.5 Pistepilviaineiston käsittely

Laserkeilausaineiston käsittely tehtiin Faron Scene -ohjelmalla. Laserkeilausaineiston lisäksi käytössä oli myös dronella tallennettu aineisto kirkon katosta. Dronen kuvaama ilmakuva-aineisto käsiteltiin Pix4Dmapper -ohjelmalla ennen Sceneen tuontia.

Laserkeilausaineiston käsittelyn aluksi pistepilvitiedostot siirrettiin laserkeilaimen muistikortilta tietokoneelle ja Scene-ohjelmaan. Ohjelmassa yksittäisistä kojeasemista laserkeilatut pistepilvet jaoteltiin kirkon eri osia kattaviksi ryhmiksi. Esimerkiksi länsisiipi eteisineen ja parvineen muodosti yhden ryhmän. Ryhmäjaossa oli tärkeää, että jokainen ryhmä sisälsi vähintään yhden pallotähyksiä sisältävän laserkeilauksen. Tällöin jokainen ryhmä voitiin myöhemmin yhdistää toisiin ryhmiin tähyksiin perustuvalla rekisteröinnillä. Aineiston jako ryhmiin oli tarpeen, koska koko aineisto oli tiedostokooltaan suuri (8,41Gt) ja pistepilviohjelmalle liian raskas prosessoitavaksi kerralla. Ryhmät prosessoitiin yksi kerrallaan ja niihin kuuluvat yksittäiset pistepilvet yhdistettiin toisiinsa eli rekisteröitiin omiksi yhtenäisiksi kokonaisuuksikseen. Kirkon tornihuoneiden osalta rekisteröinti vaati melko paljon käsin tehtyä avustamista, sillä automaattirekisteröinti meni sekaisin toistuvasta portaikosta. Paperisia shakkiruututähyksiä olisi siis kannattanut käyttää portaikossa enemmän.



Kuva 12. Ote leikatusta näkymästä pistepilveen. Kuvassa näkyy tornin kappeli-huone ja portaikko. Portaikon seinällä on yksittäinen paperinen shakkiruututähyys.

Erikseen rekisteröidyt osaryhmät rekisteröitiin lopulta koko kirkon kattavaksi pistepilvimalliksi. Erillisistä kojeasemista peräisin olevista 84 pistepilvestä käytettiin lopullisessa mallissa 82. Kaksi ulkopuolen kojeasemista laserkeilattua pistepilveä hylättiin, sillä ne aiheuttivat tarkkuuden huononemista rekisteröinnissä eivätkä tuoneet uutta informaatiota koko kirkkoa kuvaavaan pistepilveen. Koko kirkon käsittävistä pistepilvimallista puuttui laserkeilausaineiston rekisteröinnin jälkeen enää yhtenäinen vesikatto. Katto taltioitiin osittain laserkeilausaineistoon, mutta siihen jäi katvealueiden vuoksi suuria aukkoja. Pistepilvimallin vesikatto täydentyi ehjäksi, kun dronelentoon pohjautuva Pix4Dmapper-ohjelmalla käsitelty pistepilvi yhdistettiin Scene-projektiin.

Pistepilviaineisto yritettiin vielä georeferoida eli tuoda tunnettuun koordinaattijärjestelmään todelliseen sijaintiinsa. Kirkon ulkopuolen laserkeilauksen yhteydessä tehty neljän tähyksen paikannus osoittautui kuitenkin liian epätarkaksi, eikä sijainnin yhdistäminen onnistunut. Aineisto päätettiin lopulta pitää omassa koordinaatistossaan, sillä georeferoinnista ei ollut sovittu erikseen tilaajan kanssa. Georeferointi ei ole itsestään selvä osa pistepilviaineiston käsittelyä, vaan erikseen sovittava lisätyö (RT 103133 2019).

Pistepilvimallista poistettiin ylimääräiset pisteet pistepilviohjelman valintatyökalun avulla. Ylimääräisiä pisteitä tallentui esimerkiksi ikkunoiden kautta. Kirkossa oli pääosin kuvioitua, vain osittain läpinäkyvät ikkunat, joten poistettavaa oli melko vähän. Peilit oli peitetty sanomalehdillä keilaustyön yhteydessä, joten varsinaisia peilautuneita tiloja ei syntynyt. Pistepilvimalli rajattiin lisäksi siten, että kaikki kirkon korttelin ulkopuoliset pisteet poistettiin (kuva 13).

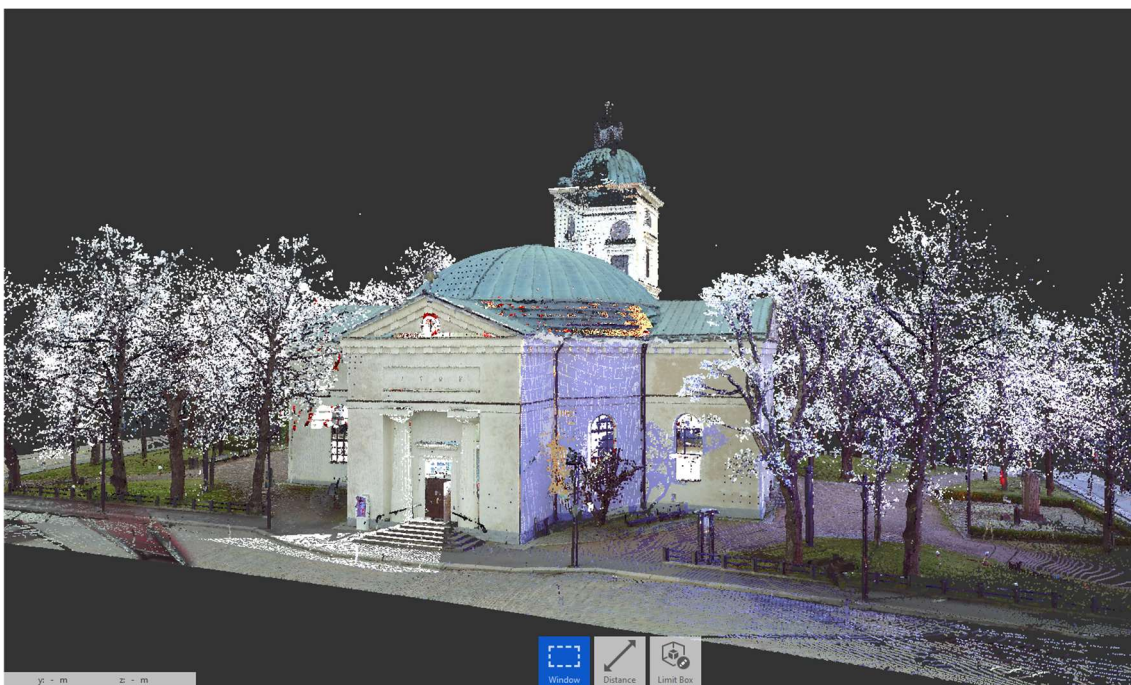


Kuva 13. Valmis rajattu pistepilviaineisto Faron Scene-pistepilviohjelmassa.

Aineiston käsittelyn päätteeksi pistepilvimalli konvertoitiin sovitusti Recap-muotoon. Aineisto toimitettiin BST-arkkitehdit Oy:lle pilvipalvelun välityksellä ja Hämeenlinna-Vanajan seurakunnalle muistitikulla. Muistitikulle tallennettiin recap-tiedoston lisäksi kaikki raakadata projektista sekä dronella taltioitu kuva-aineisto. Opinnäytetyön raportin esimerkkileikkauksia ja -julkisivuja varten pistepilvimallista tallennettiin vielä harvennettu versio 10 mm pistevälillä. Harvennettu recap-tiedosto konvertoitiin e57-tiedostomuotoon, jotta sitä voitiin käsitellä Archicad-suunnitteluohjelmassa. Pistepilven harventaminen oli välttämätöntä, sillä Archicad-ohjelmaan ei voi tuoda kovin raskaita pistepilvitiedostoja.

7 HÄMEENLINNAN KIRKON PISTEPILVIMALLI JA SEN HYÖDYNTÄMINEN

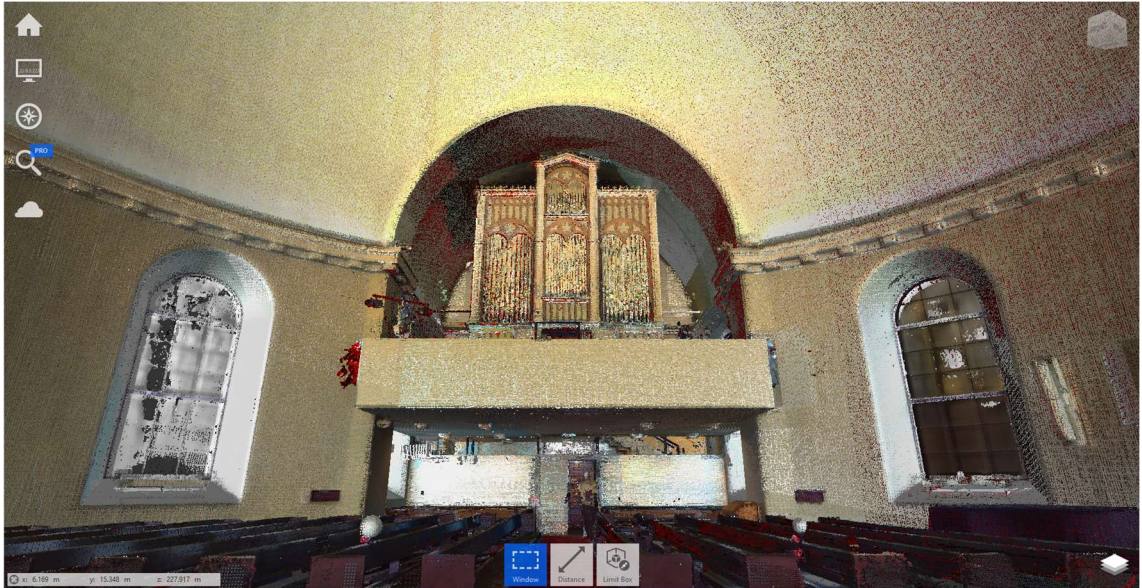
Opinnäytetyön tuloksena syntyi kolmiulotteinen pistepilvimalli Hämeenlinnan kirkosta. Pistepilvimallista saatiin muodostettua kattava kokonaisuus. Aineistoon jäi jonkin verran katveja, mutta niitä onkin laserkeilausmenetelmällä lähes mahdollonta välttää kokonaan. Merkittävin katvealue on kirkon tornin länsiseinä, josta tallentui räystäiden katveiden vuoksi vain satunnaisia pisteitä (kuva 14). Seinässä on pisteitä kuitenkin sen verran, että tarkan inventointimallin tekeminen on sen perusteella luultavasti mahdollista.



Kuva 14. Näkymä pistepilviaineistoon kirkon pääoven suunnasta ReCap-ohjelmassa. Tornin länsiseinä eli kirkon pääkupolin puoleinen seinä on jäänyt suurilta osin katveeseen.

Värillinen laserkeilausaineisto osoittautui visuaalisesti odotetun näyttäväksi. Kauempaa tarkasteltuna pistepilvi näyttää lähes fotorealistiselta (kuva 15). Kirkkorakennus tilaratkaisuineen ja jopa rakennuksen yksityiskohdat hahmottuvat pistepilvimallia tarkastelemalla hyvin. Pistepilvimalli on siis jo tällaisenaan, ilman varsinaisen 3D-mallinnuksella luodun inventointimallin tekoa, toimiva väline rakennuksen kolmiulotteiseen tarkasteluun. Lähietäisyydeltä tarkasteltuna pistepilvi on kuitenkin harvan näköinen ja vaikeasti hahmotettava. Lisäksi pistepilvitiedostojen

suuri koko tekee niiden käsittelystä melko kömpelöä ja hidasta. Varsinaisen inventointimallin tekeminen on siis laserkeilaustyöstä huolimatta usein perusteltua.

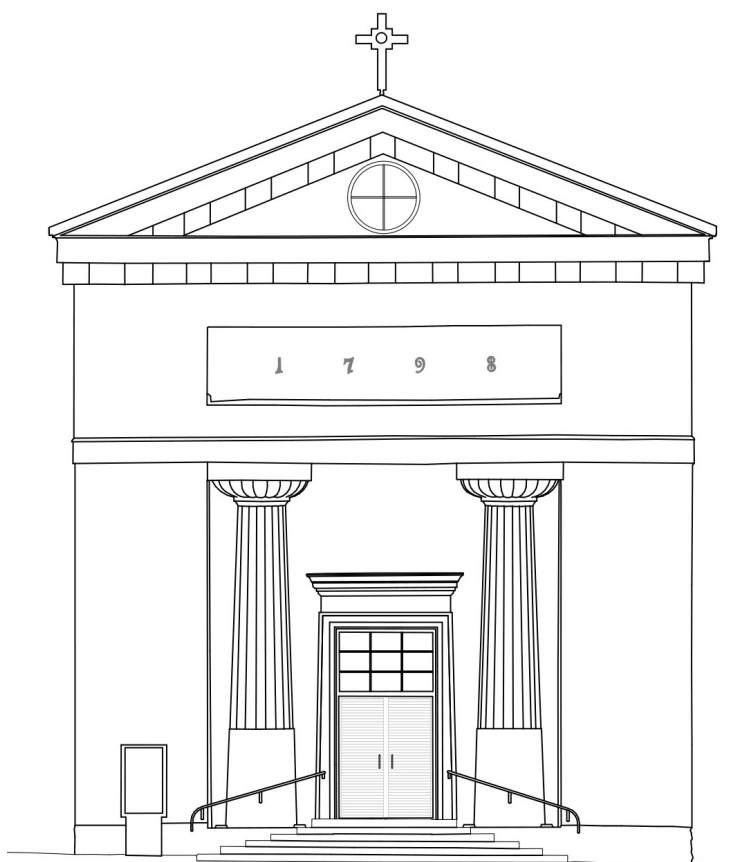


Kuva 15. Näkymä kirkon urkuparvelle ReCap-pistepilviohjelmassa.

Toisin kuin valokuvan, pistepilven voi projisoida suunnitteluohjelmassa kaksiulotteiseksi näkymäksi, jolloin siitä poistuu perspektiivin aiheuttama vääristymä. Tällöin pistepilvinäkymän päälle voidaan piirtää mittatarkasti viivapiirroksia. Kuvassa 16a on pistepilvestä tallennettu julkisivunäkymä kirkon länsipäädystä eli pää-ovelta. Kuvan 16b viivapiirros on piirretty julkisivunäkymän päälle Archicad 25 -suunnitteluohjelmalla. Julkisivupiirroksen tekeminen oli tällä tekniikalla hyvin mekaanista ja suoraviivaista työtä. Mikäli rakennuksesta mallinnettaisiin kolmiulotteinen inventointimalli, suunnitteluohjelmalla voitaisiin luoda julkisivupiirustuksia ilman varsinaista viivapiirtämistä. Julkisivukuvien ja muidenkin yksittäisten rakennuspiirustusten tekeminen on siis kuitenkin mahdollista myös suoraan pistepilvineistön pohjalta.

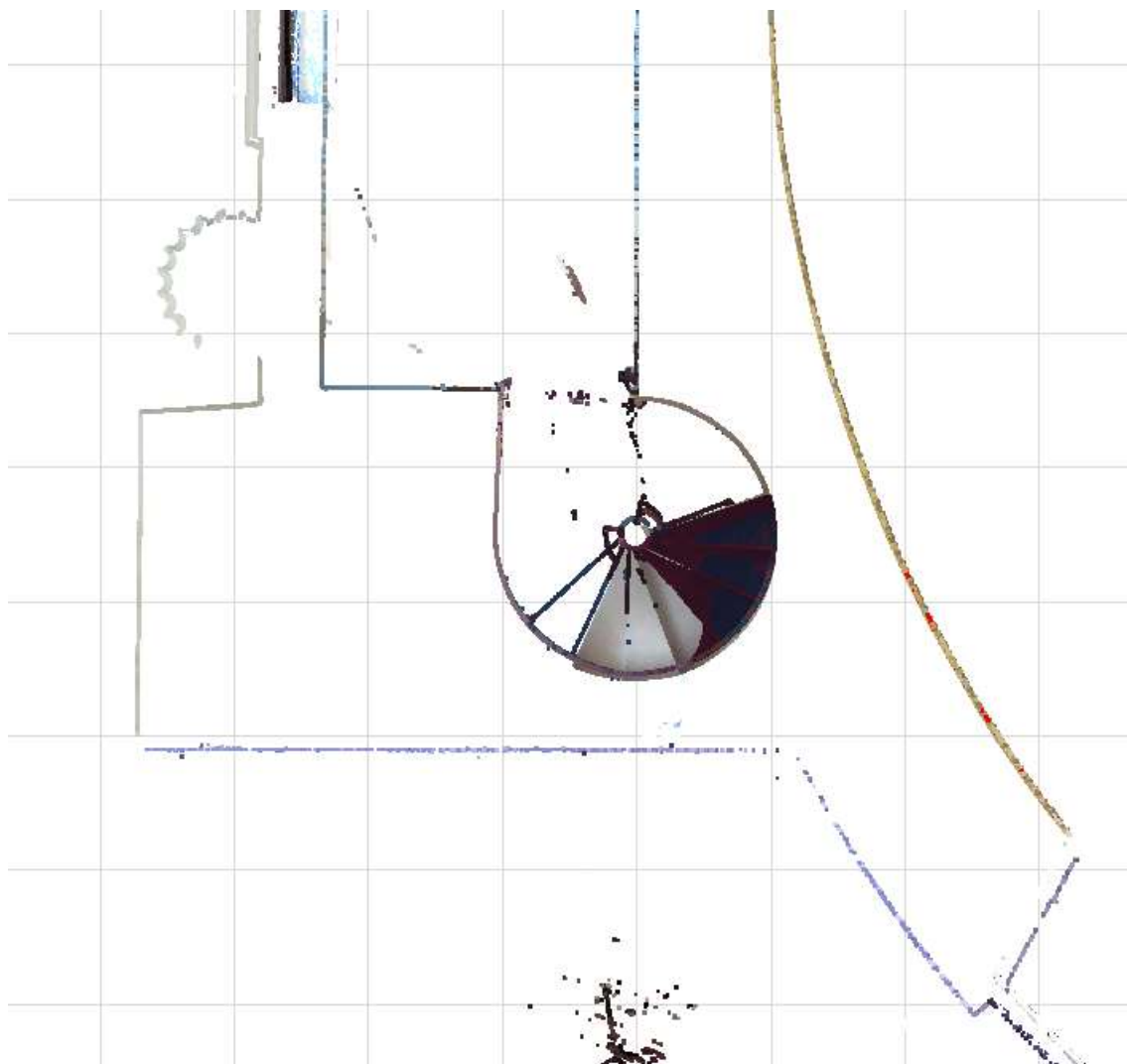


Kuva 16a. Pistepilvinäkymä kirkon länsipäädystä.



Kuva 16b. Pistepilvinäkymän pohjalta Archicad 25 -ohjelmassa piirretty tarkka viivapiirros.

Vanhan kirkkorakennuksen epätäsmällisyys tulee havainnollisesti esiin kuvan 17 leikkauksessa. Kulmat eivät ole täsmällisen suoria eivätkä rakenteet kauttaaltaan saman paksuisia. Kuvan pohjalle on sijoitettu muotojen hahmottamista helpottava apuruudukko 1 metrin ruutukoolla. Leikkaus havainnollistaa myös sitä, miten laserkeilausaineisto kuvaa rakenteita ainoastaan pintapuolisesti, eikä anna lainkaan tietoa rakenteiden sisästä tai materiaaleista.



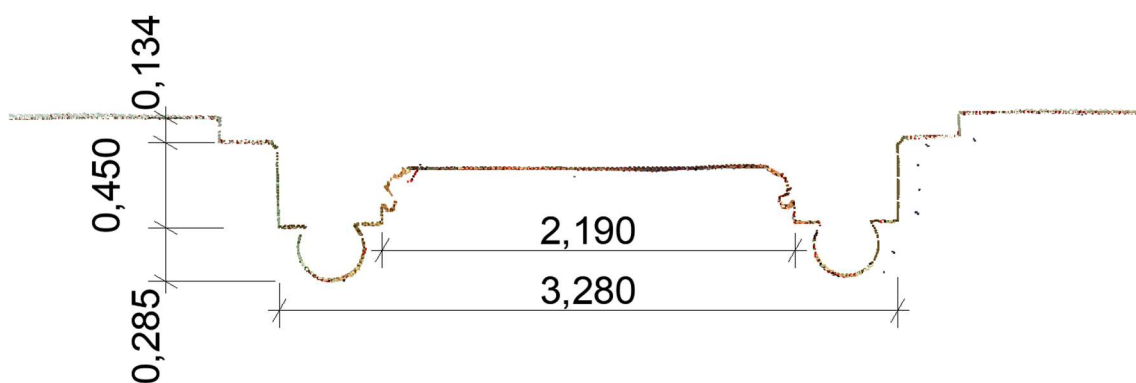
Kuva 17. Archicad 25 -suunnitteluohjelmalla tehty vaakaleikkaus pistepilvestä kirkon länsipuolen seinästä läheltä pääovea. Kuvan vasemmassa yläreunassa näkyy pääovea reunustava pylväs. Kuvan keskellä ovat kirkon parvelle johtavat kierreportaat. Pyöreä kirkkosali avautuu kuvassa oikealle.

Koristeellisten yksityiskohtien ja monimutkaisten muotojen tallentaminen laserkeilaamalla oli haasteellista katvealueiden vuoksi. Esimerkiksi kuvan 18 pylvästä puuttuvat aaltokuvion katveeseen jääneet osat. Tässä tapauksessa

muoto olisi kuitenkin mahdollista täydentää mallinnustyön yhteydessä suunnitteen todellisuutta vastaavaksi. Kuvassa 19 on vaakaleikkaus kirkon alttaritaulun reunoja kiertävästä pylväikkökehyksestä, jonka muoto tallentui pistepilveen erityisen yksityiskohtaisesti. Kehys onkin mahdollista mitoittaa aineiston perusteella tarkasti. Alttaritaulun kehysten tarkkuus johtunee siitä, että se tallentui useaan eri puolilta kirkkosalia tallennettuun pistepilveen, jotka täydentävät lopullisessa pistepilvimallissa toistensa katvealueet.

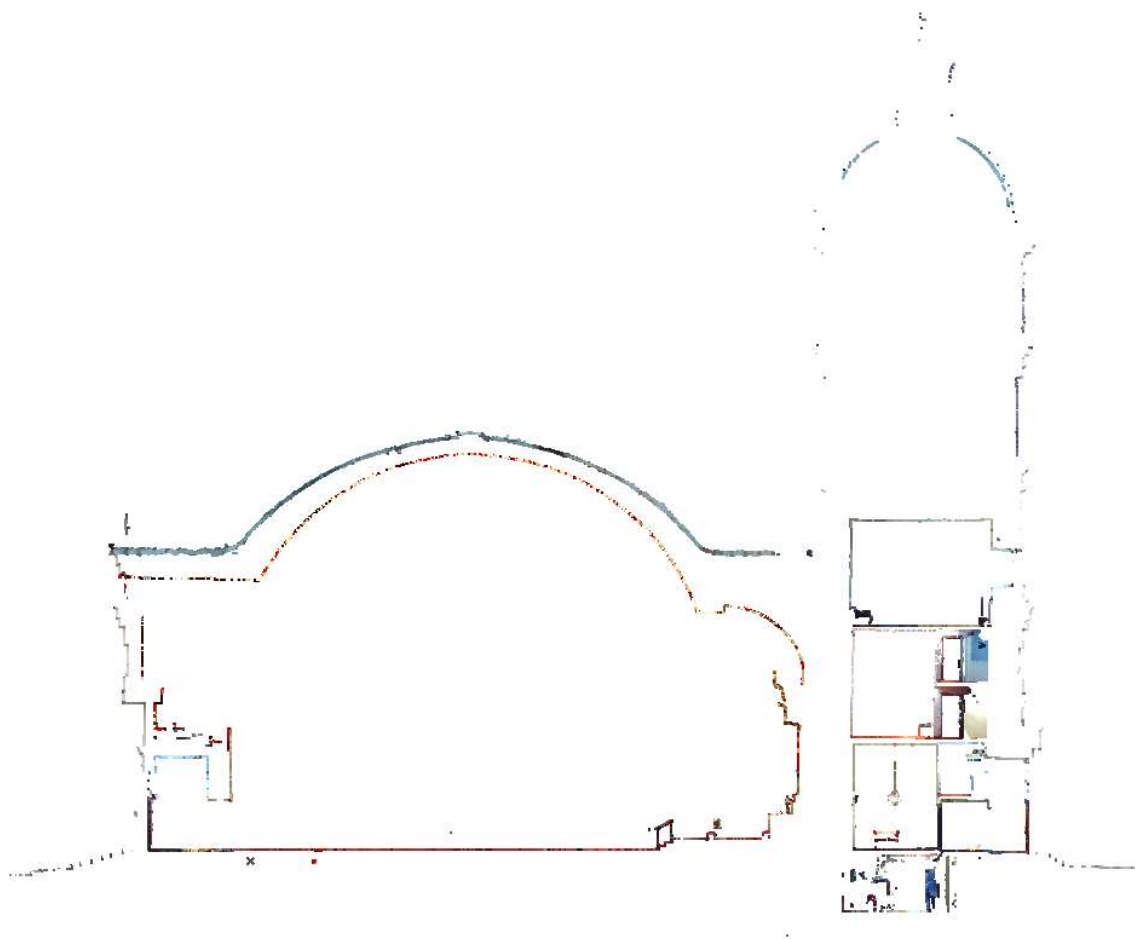


Kuva 18. Vaakaleikkaus kirkon pääovella olevasta pylvästä. Leikkaus on tehty Archicad 25 -suunnitteluohjelmalla.



Kuva 19. Vaakaleikkaus kirkon alttaritaulun reunoja kiertävästä pylväikkökehyksestä. Leikkaus ja siihen lisätyt mittaviivat on tehty Archicad 25 -suunnitteluohjelmalla.

Kuvassa 20 on pituussuuntainen pystyleikkausnäkökulma Hämeenlinnan kirkon pistepilvimallista. Näkökulma esittää kirkon muodon leikkauskohdassa havainnollisesti. Leikkauksen vasemmassa reunassa on kirkon pääoven eteinen ja sen päällä oleva parvi. Kirkkosalin toisessa reunassa erottuu alttarisyvennys. Kirkkosalin kupolikatkon ulko- ja sisäpinnat on mahdollista mitoittaa leikkauksen perusteella melko tarkasti. Ylöspäin oheneva kupolimuuraus hahmottuu kuvasta selvästi. Leikkauksen oikeassa reunassa on kirkon torni huoneineen. Torni erottuu yläosistaan leikkauksessa melko huonosti, mutta on kuitenkin mitoitettavissa katvealueiltaankin, kun tarkastelee useampaa eri kohdista seinälinjaa otettua leikkausta.



Kuva 20. Hämeenlinnan kirkon pistepilvimallin pituusleikkaus. Leikkaus on tehty Archicad 25 -suunnitteluohjelmalla.

Laserkeilausaineisto lähetettiin jatkokäsittelyyn BST-arkkitehdit Oy:lle Hämeenlinnan kirkon rakennushistoriallista selvitystä varten. Arkkitehti Jermu Sannikka

kertoi sähköpostihaastattelussa, että he tulevat hyödyntämään aineistoa ajoituskaavioiden teossa ottamalla siitä Revit-suunnitteluohjelmassa leikkauksen ja piirtämällä sen päälle tietoja kirkon rakenteista ja pintamateriaaleista sekä niiden ajoituksista. Ajoituskaaviota voi myös verrata kirkon vanhoihin piirustuksiin ja löytää siten mahdollisia poikkeamia suunnitelmien ja toteutuksen välillä. Mahdollisten tulevien muutossuunnitelmien teossa pistepilviaineisto on arkkitehti Sannikan mukaan erittäin hyödyllinen, sillä kirkon voi mallintaa sen pohjalta mittatarkasti. Hän totesi suunnittelun nopeutuvan ja työmaavaiheen ongelmien vähenevän tarkkojen ja todenmukaisten lähtötietojen myötä. (Sannikka 2021.)

8 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin laserkeilausta vanhojen arvorakennusten inventointimenetelmänä. Opinnäytetyö rakentui Hämeenlinnan kirkon laserkeilaamisen ja pistepilviaineiston käsittelyn ympärille. Laserkeilausmenetelmän todettiin sopivan hyvin tämän kaltaisten vanhojen arvorakennusten inventoinnin osaksi.

Hämeenlinnan kirkosta saatiin muodostettua tarkka ja kattava kolmiulotteinen pistepilvimalli. Pistepilvimalliin jäi jonkin verran katveita, mutta katveet ovat toisaalta laserkeilausmenetelmään liittyvä heikkous, joita ei voi kokonaan välttää edes huolellisella suunnittelulla ja työskentelyllä. Pistepilvimalli on kattavuudeltaan kuitenkin sellainen, että kirkkorakennus on tarvittaessa mahdollista mallintaa sen perusteella tarkemmaksi inventointimalliksi.

Maalaserkeilauksen suurimmaksi heikkoudeksi osoittautui tässä projektissa sen kyvyttömyys tallentaa kirkkorakennuksen vesikattoa. Vesikatto jäi kaukaisistakin kojeasemista tarkasteltuna joko katveeseen tai niin loivaan kulmaan, ettei siitä muodostunut käytännössä lainkaan pistepilveä. Laserkeilausta tarvinneekin useimmiten täydentää esimerkiksi fotogrammetrisesti dronekuvauksella, mikäli vesikaton mukanaolo pistepilvessä on oleellista. Dronelento tulee kyseeseen erityisesti, jos kohteena oleva rakennus on suuri, eikä vesikatto ole erityisen jyrkkä. Katon voi saada tallennettua maalaserkeilaimellakin, jos kohteen vieressä on korkeita rakennuksia, joihin laserkeilaustyön tekijällä on mahdollisuus päästä.

Laserkeilauksen huolellinen suunnittelu ja eri toimijoiden välinen kommunikointi on tärkeää, sillä laserkeilaus voidaan kohdistaa siten erityisesti kohteen kannalta olennaisimpiin tiloihin ja yksityiskohtiin. Tässä projektissa tavoitteena oli tallentaa koko kirkko värilliseksi pistepilviaineistoksi, mutta joissain tapauksissa voi olla oleellisinta keskittyä esimerkiksi pelkkään ullakon kattopalkistoon.

Eräs aineiston käsittelyssä haasteeksi noussut asia oli pistepilvitiedostojen tunnettu haittapuoli eli suuri tiedostokoko. Erityisesti ongelmia aiheutti pistepilvi ohjelma Scenen ominaisuus jättää välitallennukset kuormittamaan käsittelyssä ole-

vaa projektia. Vasta projektin loppumetreillä selvisi, miten pistepilvitiedoston välimuisti kannattaa tyhjentää. Suurten tiedostokokojen myötä aineiston käsittely sisälsi paljon latauksien odottelua. Raskaiden pistepilviaineistojen käsittelyssä käytettävissä onkin oltava tehokas tietokone.

Opinnäytetyössä olisi ollut kiinnostavaa perehtyä vielä tarkemmin pistepilviaineiston jatkokäyttöön ja esimerkiksi siihen, miten tätä aineistoa hyödynnettiin osana rakennushistoriallista selvitystä. Tämä ei kuitenkaan ollut aikataulullisesti mahdollista.

Laserkeilaus osoittautui käytännössä melko helposti omaksuttavaksi menetelmäksi. Sujuvaa työskentelyä edesauttoi työn huolellinen suunnittelu. Pistepilviaineiston käsittely pistepilviohjelmalla vaati puolestaan enemmän perehtymistä, vaikka onkin periaatteessa melko automatisoitua. Kokonaisuudessaan aineiston käsittelyyn kului projektissa huomattavasti enemmän aikaa kuin itse laserkeilaukseen.

LÄHTEET

BIM Task Group 2013. Client Guide to 3D Scanning and Data Capture, The Building Information Modelling (BIM) Task Group, 2013.

Cronvall, T., Kråknäs, P. ja Turkka, T. 2012. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2012, Liikennevirasto. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf

Dollard, C. 2019. Precision Laser Scans of Notre Dame Cathedral Can Help to Preserve, Restore, and Rebuild. Leica Geosystems. Luettu 18.11.2021. <https://shop.leica-geosystems.com/blog/precision-laser-scans-notre-dame-cathedral-can-help-preserve-restore-and-rebuild>

Encyclopaedia Britannica. 2016. Photogrammetry. Luettu 4.12.2021. <https://www.britannica.com/science/photogrammetry>

Faro. 2016. Technical Specification Sheet for the Focus3D X330. Luettu 3.12.2021. <https://downloads.faro.com/index.php/s/z6nEwtBPDpGPmYW?dir=undefined&openfile=42057>

Hakkarainen, L. 2011. Rakennetun ympäristön inventointi, Tampereen Kaleva. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Miljösuunnittelu. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/32870/Hakkarainen_Linda.pdf;jsessionid=BDEC4681C1361F1EFD056AABAE5232C9?sequence=1

Hämeenlinna – Vanajan seurakunta. Hämeenlinnan kirkko. 2021. Luettu 16.9.2021. <https://www.hameenlinna-vanajanseurakunta.fi/hameenlinnankirkko>

Isotalo, K. 2017. Semantiikka mullistaa 3D-kaupunkimallin käyttömahdollisuudet. Positio 1/2017, 8–11. https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2017/06/Semantiikka_mullistaa_3D-kaupunkimallin_kayttomahdollisuudet.pdf

Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Nilomark Oy. Luettu 5.10.2021. <https://drive.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowlN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUtNTQzMDIwZTI3NDVm/view?resourcekey=0-oQ0IKbaqU1tAsVfnZXWibq>

Kirkkolaki 26.11.1993/1054. Luettu 4.12.2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931054#O3L14>

Kolhonen, P., Savolainen, P., Saarinen, L., Puranen, M., Böök, N. & Salonen, K. 2020. Villa Lante al Gianicolo, Rakennushistoriaselvitys. Arkkitehtitoimisto Livady. <https://livady.fi/wp-content/uploads/Villa-Lante-RHS-Livady-low-res.pdf>

Lyyra-Seppänen, A. & Heiskanen, J. 2014. Hämeenlinnan rakennushistoriallinen selvitys. Kulttuuriympäristöpalvelut Heiskanen & Luoto Oy.
<https://www.hameenlinna.fi/wp-content/uploads/2019/01/Hameenlinnan-rakennushistoriallinen-selvitys-B-Yleisesitys.pdf>

Maanmittauslaitos. 2019. Kansalliset laserkeilaus- ja ilmakuvausohjelmat. Luettu 4.12.2021. <https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/laserkeilausaineistoja-ja-ilmakuvia-paivitetaan-jatkossa-tiheammin>

Poutanen, P. 2017. Laserkeilaus arkkitehtisuunnittelussa. BST-arkkitehdit Oy.
<https://prodigious.tamk.fi/files/2017/05/Laserkeilaus-arkkitehtisuunnittelussa-Pietari-Poutanen.pdf>

ProDigiOUs. 2018a. Laserkeilauksen ja pistepilvien hyödyt. Luettu 17.9.2021.
<http://prodigious.tamk.fi/laserkeilaus-ja-tietomallinnus-korjaushankkeissa/laserkeilauksen-ja-pistepilvien-hyodyt/>

ProDigiOUs, 2018b. Laserkeilauksen suunnittelu ja toteutus, Luettu 8.10.2021.
<https://prodigious.tamk.fi/laserkeilaus-ja-tietomallinnus-korjaushankkeissa/laserkeilauksen-suunnittelu-ja-toteutus/>

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

Rondeau, M. 2013. Laser Light on Gothic Architecture. The Global Magazine of Leica Geosystems 68, 3-6. [https://w3.leica-geosystems.com/downloads/123/zz/general/scanstation%20c10/trustories/laser light on gothic architecture tru en.pdf](https://w3.leica-geosystems.com/downloads/123/zz/general/scanstation%20c10/trustories/laser%20light%20on%20gothic%20architecture%20tru%20en.pdf)

RT 103132 2019. Fotogrammetrian käyttö rakennushankkeessa. RT-ohjekortti. Rakennustieto.

RT 103133 2019. Rakennuksen laserkeilaus. RT-ohjekortti. Rakennustieto.

RT 103375 2021. Pistepilviaineisto suunnittelun lähtötietona ja inventointimallintaminen. RT-ohjekortti. Rakennustieto.

Saatsi, E. 2017. Rakennushistoriaselvitys – talon elämäkerta.
<http://www.saatsi.fi/blogi/rakennushistoriaselvitys-talon-elamakerta/>

Sahlberg, M. 2010. Talon tarinat – Rakennushistorian selvitysoapas. Helsinki: Museovirasto. <https://www.museovirasto.fi/uploads/Arkisto-ja-kokoelmapalvelut/Julkaisut/talon-tarinat-opas.pdf>

Sannikka, J. 2021. Arkkitehti Jeremu Sannikan haastattelu sähköpostitse 30.11.2021. BST-arkkitehdit Oy.

Savisaari, A. 2017. Pistepilvitiedon hyödyntäminen korjausrakennushankkeen arkkitehtisuunnittelussa. Arkkitehtuurin tutkinto-ohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. <https://cris.tuni.fi/ws/portalfiles/portal/10992543/Savisaari.pdf>

Tammi, K. 2015. 3D-Laserskannaus korjaushankkeen lähtötietojen hankintakeinona. Rakennusalan työjohto. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/103436/Tammi_Kalle.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tammi, K., Tasanen, I. 2017. Pistepilvessä on pointtia! RIA 4/2017, 47–50 <https://edockerfiles.com/ae08ac5a-bfbc-11e7-adbc-00155d64030a/?#/article/48/page/1-1>

Ympäristöministeriö & Museovirasto. 2010. Kulttuuriympäristön ja korjausrakentamisen käsitteitä. Luettu 17.9.2021. https://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Tutki_ja_tutustu/Kasitteita