



# Pistepilvitiedon tuottamistavat ja hyödyntäminen inventointi- mallintamisessa

Henna Pajunen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2019

Rakennusarkkitehdin koulutus

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennusarkkitehdin koulutus

PAJUNEN, HENNA

Pistepilvitiedon tuottamistavat ja hyödyntäminen inventointimallintamisessa

Opinnäytetyö 48 sivua  
Toukokuu 2019

---

Korjausrakentamisessa kohteen nykytilannetta vastaavien tietomallien eli inventointimallien kysyntä on lisääntynyt. Inventointimalleissa on tarkoitus käyttää lähtötietoja, jotka kuvaavat kohteen nykytilannetta mahdollisimman tarkasti. Vanhat rakennuspiirustukset yleisenä lähtötietona osoittautuvat usein epäluotettaviksi, sillä niistä voi puuttua tärkeää informaatiota, niissä voi olla virheellistä tietoa tai niitä ei ole ollenkaan. Pistepilvitieto soveltuu ominaisuuksiltaan hyvin inventointimallin lähtötiedoksi.

Pistepilvitieto on luotettavaa kolmiulotteista mittatietoa, joka kuvaa kohteen geometriaa tiheänä pistejoukkona. Pistepilvitieto on kohteelle soveltuvalla tavalla tuotettuna tarkkaa. Sen käyttäminen rakennusalalla lisääntyy koko ajan, mutta silti sen ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet ovat vielä yleisesti epäselviä. Työn tavoitteena oli selvittää pistepilvitiedon ominaisuuksia sekä sen tuottamista ja hyödyntämistä inventointimallien lähtötietona mahdollisimman selkeästi.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään pistepilvitiedon tuottamista laserkeilauksen, fotogrammetrian ja syvyyskameran avulla. Jokaisen tuottamistavan teknologiaa tutkittiin pääpiirteisesti ja niistä tarkasteltiin yksittäisiä laitteita; laserkeilausta hyödyntävät maalaserkeilain ja ZEB-REVO-käsiskanneri, fotogrammetriaa hyödyntävä UAV-laite ja infrapunaa hyödyntävä Matterport-syvyyskamera.

Pistepilvitiedon tuottamiseen käytettävien laitteiden ominaisuuksia verrattiin toisiinsa ja sitä kautta selvitettiin laitteille soveltuvia käyttökohteita. Lisäksi selvitettiin laiteyhdistelmien käyttämistä. Käyttökohteita havainnollistetaan kohde- ja rakennusosaesimerkkien avulla ja laiteyhdistelmiä kohde-esimerkkien avulla.

## **ABSTRACT**

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

PAJUNEN, HENNA:

The Production Methods and Utilization of Point Cloud Data in Inventory Modeling

Bachelor's thesis 48 pages  
May 2019

---

In the field of repair construction the demand for three-dimensional inventory models has been on the rise. An inventory model represents the current state of an existing building. When producing inventory models, the aim is to use initial data that is as accurate as possible. Old construction plans are commonly used as initial data, but they are often unreliable as the information in them may be incomplete or no such document even exists. Point cloud data is very suitable as initial data for inventory modeling.

Point cloud data is reliable three-dimensional measurement data which displays the geometry of a subject with a dense group of points. Point cloud data is accurate when it is produced in an appropriate way. The use of point cloud data has increased but its properties and utilization potential are still quite unclear in the field of construction. The purpose of this thesis was to clarify the properties of point cloud data, the ways of producing point cloud data, and using it as initial data for inventory models.

In this thesis the different ways of producing point cloud data were examined and compared: laser scanning, photogrammetry and depth sensing cameras. The technology associated with each method was outlined, and individual measurement devices were investigated in more detail: a terrestrial laser scanner, a handheld laser scanner, a drone, and a depth camera.

The devices and their properties were compared with each other and the suitable use for each device was defined by using comparison analysis. The use of different device combinations was also studied. The results of this thesis are represented in charts and by various examples.

---

Key words: point cloud data, laser scanning, photogrammetry, depth camera

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Työn tausta .....	7
1.2	Työn tavoitteet.....	7
1.3	Tutkimusmenetelmät .....	7
1.4	Työn rajaus .....	8
2	PISTEPILVITIETO .....	9
2.1	Yleistä .....	9
2.2	Esitystavat.....	9
2.3	Ominaisuudet.....	12
3	PISTEPILVITIEDON TUOTTAMISTAVAT .....	13
3.1	Laserkeilaus .....	13
3.1.1	Maalaserkeilain.....	14
3.1.2	Samanaikaisesti paikantava ja kartoittava käsiskanneri .....	17
3.2	Fotogrammetria.....	20
3.3	Syvyyskamera.....	24
3.4	Yhteenveto tuottamistavoista ja laitteista .....	26
4	PISTEPILVITIEDON HYÖDYNTÄMINEN INVENTOINTIMALLINTAMIS- SESSA .....	31
4.1	Inventointimalli ja yleiset tietomallivaatimukset .....	31
4.2	Pistepilvitieto lähtötietona.....	34
4.2.1	Tuottamistavan valinta kohteen mukaan .....	35
4.2.2	Tuottamistavan valinta rakennusosan mukaan.....	38
4.2.3	Laiteyhdistelmät.....	41
5	POHDINTA .....	44
	LÄHTEET .....	46

## LYHENTEET JA TERMIT

2D	eng. <i>Two Dimensional</i> – Kaksiulotteinen.
3D	eng. <i>Three Dimensional</i> – Kolmiulotteinen.
Drone	eng. <i>Drone</i> . Englannin kielestä johdettu puhekielinen sana miehittämättömästä ilma-aluksesta.
e57	Standardisoitu pistepilvitiedon tiedostomuoto.
Fotogrammetria	Tieteenala, joka tutkii kolmiulotteista mittausta valokuvista.
Georeferointi	Pistepilvitiedon yhdistäminen valittuun koordinaatistoon.
GNSS	eng. <i>Global Navigation Satellite System</i> – Globaali satelliittipaikannusjärjestelmä.
GPS	eng. <i>Global Positioning System</i> – Globaali paikannusjärjestelmä.
Inventointimalli	Tietomalli, joka vastaa olemassa olevan kohteen nykytilannetta.
IMU	eng. <i>Inertial Measurement unit</i> – Inertiaalinen mittausyksikkö.
Kinect	Microsoftin kehittämä etäisyyttä ja liikettä kartoittava sensori.
Kolmioverkko	Pistepilvitiedon esitystapa, jossa pisteiden väleillä olevat viivat muodostavat kolmioita (Kari, 2011).
Käsiskanneri	Kädessä pidettävä laserkeilain.
Laseretäisyysmittaus	Mittautapa, jossa lasersäde mittaa kahden pisteen välisen etäisyyden.
Laserkeilain	Laite, joka mittaa pisteitä ympäristöstään lasersäteen avulla.
Laserkeilaus	Mittaus, joka tapahtuu laserkeilaimella.
Matterport	Kaupallinen syvyyskamerajärjestelmä.
Mesh-malli	Ks. Pintamalli.
Pintamalli	Pistepilvitiedon esitystapa, jossa venytetyt viivat muodostavat yhtenäisen pinnan (Kari, 2011).

Pistepilvi	Pistepilvitiedon esitystapa, joka muodostuu yksittäisistä pisteistä (Savisaari, 2017).
Pistepilvitieto	Kolmiulotteista pistemuotoista mittatietoa (Savisaari, 2017).
RGB	Lyhenne sanoista <i>Red Green Blue</i> . Värimalli, jossa värit muodostetaan yhdistämällä punaista, vihreää ja sinistä.
RGB-D	eng. <i>Red-Green-Blue-Depth</i> . Ks. Syvyyskamera
SLAM	eng. <i>Simultaneous Localisation and Mapping</i> – Samanaikaisesti paikantava ja kartoittava teknologia.
Syvyyskamera	Kamera, joka kerää väritiedon lisäksi syvyystietoa.
Takymetrimittaus	Mittaustapa, jonka avulla voidaan muodostaa pisteelle koordinaatit.
Tähys	Laserkeilauksessa erillisten keilausten yhdistämiseen ja georeferointiin käytetty apuväline.
UAV	eng. <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> – Miehittämätön ilma-alus.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Tämä työ tehdään A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle **inventointimallien** ja niissä käytettävän **pistepilvitiedon** tuottamistapojen kartoittamiseksi. Korjausrakentamisen lisääntyessä tarkempien lähtötietojen ja nykytilannetta kuvaavien inventointimallien kysyntä on lisääntynyt. Inventointimalleissa on tarkoitus käyttää kohdekohtaisia, mahdollisimman paljon nykytilannetta vastaavia lähtötietoja. Oikein ja kohteelle soveltuvalla menetelmällä tuotettu pistepilvitieto on monipuolista, tarkkaa ja luotettavaa mittatietoa kohteen geometriasta. Pistepilvitiedosta saadaan nopeasti ja kattavasti hyvä yleiskuva kohteesta. Pistepilvitiedon käyttö on selkeästi lisääntynyt rakennusalalla, mutta se ei ole vielä täysin vakiintunut.

## 1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on käydä mahdollisimman selkeästi läpi mitä pistepilvitieto on, miten sitä voidaan tuottaa sekä miksi ja mihin sitä voidaan käyttää. Työssä esiteltäviä tuottamistapoja vertaillaan keskenään ja niiden käyttöä sovelletaan erilaisten kohteiden, rakennusosien ja esimerkkien avulla. Tavoitteena on myös lisätä yleistä ymmärrystä pistepilvitiedosta, sen tuottamiseen käytettävistä laitteista ja mahdollisuudesta käyttää laiteyhdistelmiä.

## 1.3 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö pohjautuu teoreettiseen tutkimukseen. Teoreettisella tutkimuksella tarkoitetaan tutkimusta, jossa kohteesta hahmotellaan aiemman tutkimuskirjallisuuden perusteella käsitteellisiä selityksiä, malleja ja rakenteita (Jyväskylän yliopisto, 2015). Opinnäytetyössä eri tuottamistavat ja laitteet sekä inventointimallin tuottaminen käydään teoreettisesti läpi, minkä jälkeen tietojen avulla havainnollistetaan eri mittalaitteille soveltuvia käyttökohteita ja laiteyhdistelmiä.

## 1.4 Työn rajaus

Työ rajautuu eri tuottamistapojen osalta yksittäisiin laitteisiin tarkastelun selkeyttämiseksi. Työssä käsitellään kolmea eri teknologiaa, joilla voidaan tuottaa pistepilvitietoa: **laserkeilaus**, **fotogrammetria** ja **syvyyskamerat**. Laitteista tarkastellaan laserkeilausta hyödyntävät maalaserkeilain ja **käsiskanneri**, fotogrammetriaa hyödyntävä **UAV-laite** (eng. *Unmanned Aerial Vehicle*) ja infrapunakuvia hyödyntävä syvyyskamera. Laitteista käydään läpi mittausprosessia, siitä syntyvää pistepilvitietoa ja sen ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä. Eri tuottamistapojen aineiston jälkikäsitteily ja erilaiset tiedostomuodot on jätetty työn ulkopuolelle suuren kokonaisuuden vuoksi.



## 2 PISTEPILVITIETO

### 2.1 Yleistä

Pistepilvitiedolla tarkoitetaan kolmiulotteista mittatietoa, joka muodostuu pisteistä. Sen avulla voidaan kartoittaa erilaisten kohteiden geometriaa. Sitä hyödynnetään monialaisesti esimerkiksi maaston kartoittamisessa, arkeologiassa, elokuva-, peli- ja rakennusteollisuudessa. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pistepilvitiedon hyödyntämiseen olemassa olevien rakennusten kolmiulotteisessa (**3D**) mallintamisessa.

Pistepilvitietoa voidaan tuottaa ja esittää usealla eri tavalla. Alalla käytetyt termit eivät ole vakiintuneita ja jokin termi saatetaan mieltää moneksi eri asiaksi. Tässä työssä käytetään seuraavia määritelmiä (Savisaari, 2017):

Pistepilvitieto on tiheää kolmiulotteista pistemuotoista mittatietoa kohteen geometriasta. Pistepilvitietoa voidaan tuottaa ja esittää usealla eri tavalla.

**Pistepilvi** on pistepilvitiedon esitystapa, jossa tieto sisältyy yksittäisiin pisteisiin, joilla ei ole pituutta, pinta-alaa eikä tilavuutta.

Pistepilvitieto käsitetään usein laserkeilauksen, tarkemmin vielä maalaserkeilaimen lopputuotteeksi. Tuottamistapoja on kuitenkin lukuisia. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi pistepilvitiedon tuottamista laserkeilauksen, fotogrammetrian ja syvyyskameroiden avulla.

### 2.2 Esitystavat

Pistepilvitietoa voidaan esittää monella tavalla. Yleisin esitystapa on pistepilvi, jonka lisäksi esitystapoja ovat **kolmioverkko** ja **pintamalli**. Yksinkertaisimmillaan pistepilvitieto voidaan esittää tekstinä tai taulukkona. (Savisaari, 2017.)

Pistepilvi muodostuu yksittäisistä pisteistä, joilla on sijaintitieto eli xyz-koordinaatti. Pistepilvenä esitetyssä aineistossa pisteillä on keinotekoisesti esitetty

pinta-ala. Ilman keinotekoista pinta-alaa pisteet eivät olisi visuaalisesti havaittavissa, koska pisteillä ei ole ulottuvuutta. (Savisaari, 2017.) Pistepilvi on käytetyin esitystapa 3D-mallinnuksen lähtötietona.



**Kuva 1.** Pistepilvi (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2019)



**Kuva 2.** Pisteiden keinotekoisien pinta-alan lisäämisen vaikutus pistepilven visuaalisuuteen (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2019)

Kolmioverkko muodostuu toisiinsa nähden lähellä olevien pisteiden välille viivoina piirretyistä kolmioista, joista muodostuu yhtenäinen verkko. Kolmioverkon avulla pystytään muodostamaan pintamalli (ts. kuorimalli, mesh-malli), jossa kolmioiden välit on täytetty tasopinnoilla. Tasopintojen väritieto on poimittu yksittäisistä pisteistä. Pintamalli on kolmioverkkoa havainnollisempi sen yhtenäisen, valokuvamaisen pinnan vuoksi. (Kari, 2011; Savisaari, 2017.)



**Kuva 3.** Kolmioverkko (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2019)



**Kuva 4.** Pintamalli (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2019)

## 2.3 Ominaisuudet

Pistepilvitiedon ominaisuuksiin vaikuttavat monet tekijät, joista yksi olennaisimmista on pistetiheys. Se ilmaisee aineiston sisältämän tiedon määrän suhteutettuna sen laajuuteen. Mitä suurempi pistetiheys eli tiedon määrä on, sitä yksityiskohtaisempaa tietoa aineisto sisältää. Pistetiheyden kasvattaminen kasvattaa tiedostokokoa. Pistetiheyttä voidaan jälkikäsitellyssä harventaa ja se on usein tiedostokokoa ajatellen kannattavaa. (Savisaari, 2017.)

Pistepilvitietoon voidaan liittää **RGB**-muotoista väritietoa. Sen tallennustapa mitauspisteisiin riippuu tiedon tuottamistavasta. Yleisesti väritiedon lisääminen pisteisiin on valokuvapohjaista ja valokuvista saatava tieto ei ole absoluuttista, minkä vuoksi väritietoa tulee tulkita viitteellisesti. (Savisaari, 2017.)

Lisäksi pistepilvitieto voidaan **georeferoida** eli viedä valittuun koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään, joita on käytössä useita erilaisia. Suomessa tällä hetkellä yleisesti käytettyjä koordinaattijärjestelmiä ovat koko Suomen tasolla toimiva ETRS-TM35FIN ja paikallisemmalla tasolla toimiva ETRS-GKn. Korkeusjärjestelmistä yleisesti käytetty on N2000. Georeferoidussa pistepilvitiedossa jokaisella pisteellä on valitun koordinaatiston mukainen koordinaatti eli sen sijaintitieto tunnetaan. (Maanmittauslaitos, n.d.; Tammi, 2015.) Georeferointimenetelmät riippuvat pistepilvitiedon tuottamistavasta ja ne käydään läpi eri laitteiden yhteydessä.

Pistepilvitiedon tiedostomuotoja ja niitä käsitteleviä ohjelmistoja on useita. Kaikki ohjelmistot eivät tue kaikkia tiedostomuotoja. Pistepilvitiedon hyödyntäminen saatetaan kokea hankalaksi, koska toisinaan pistepilvitiedon vieminen haluttuun ohjelmistoon voi vaatia vielä kolmannen ohjelmiston. Tällä hetkellä **e57**-tiedostomuoto vaikuttaisi olevan sopiva suurimpaan osaan suunnitteluohjelmistoista (Savisaari, 2017).

### 3 PISTEPILVITIEDON TUOTTAMISTAVAT

#### 3.1 Laserkeilaus

Laserkeilaus (ts. 3D-laserskannaus) on yksi tunnetuimmista pistepilvitiedon tuottamistavoista. **Laserkeilain** on laite, jonka avulla voidaan mitata kohteesta pisteitä koskematta mitattavaan kohtaan. Laite tallentaa pisteille xyz-koordinaatin sekä intensiteettiä, johon vaikuttavat pinnan ominaisuudet.

Laserkeilaimissa on kahdenlaisia etäisyysmittausmenetelmiä; jatkuva-aaltoiset laserkeilaimet, joiden toiminta perustuu vaihe-eroon ja pulssilaserkeilaimet, joiden toiminta perustuu valon kulku-aikaan. Verrattuna toisiinsa vaihe-erolaser on tarkempi ja pulssilaserkeilaimissa on pidempi kantama. (Joala, 2006; Tammi 2015.)

Jatkuva-aaltoiset keilaimet nimensä mukaisesti lähettävät jatkuvaa aaltomuotoista lasersädettä. Laitteen lähettämästä ja pinnan heijastuksesta vastaanotetusta signaalista määritetään signaalien vaihe-ero, jonka avulla ratkaistaan pisteen koordinaatit. (Kukko, 2005.)

Pulssilaserkeilain lähettää energiapulssin, joka heijastuu mitattavasta pinnasta takaisin. Pulssin edestakainen kulku-aika mitataan ja matkan sekä lähtökulmien avulla pystytään laskemaan pisteelle koordinaatit. (Kari, 2011; Kukko, 2005.)

Laserkeilaustyyppinä on erilaisia ja ne voidaan jakaa taulukon 1. mukaisesti. Taulukossa esitetyt mittausetäisyydet ja mittatarkkuudet ovat suuntaa-antavia. Laittevalmistajien ilmoittamat etäisyydet ja tarkkuudet vaihtelevat runsaasti eri laitteiden välillä.

**Taulukko 1. Laserkeilaustyyppejä (Pekkala, 2015)**

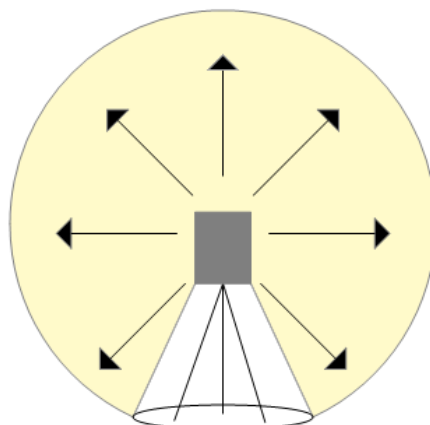
Tyyppi	Miten	Mittausetäisyys	Mittatarkkuus
Lento-laserkeilaus	Kiinnitettynä lentokoneeseen tai helikopteriin	50-5000 m	~ 10 cm
Ajoneuvolaserkeilaus (mobiililaserkeilaus)	Kiinnitettynä ajoneuvoon	1-100 m	~ 2-5 cm
Maalaserkeilaus (terrestriaalinen laserkeilaus)	Yleisimmin kolmijalalle pystytettynä	0,5-300 m	< 1 cm
Teollisuuslaserkeilaus (lähilaserkeilaus, 3D-esineskannaus)	Kohteen lähietäisyydeltä laserjuovan avulla	< 30 m	< 0,1 cm

### 3.1.1 Maalaserkeilain

Tässä opinnäytetyössä keskitytään maalaserkeilaukseen, joka edellisessä luvussa mainituista tyypeistä soveltuu parhaiten rakennusten mittaamiseen. Maalaserkeilaimissa on erilaisia mittaustapoja: kupolimainen, panoraaminen, keilamainen ja optinen kolmiomittaus (Joala, 2006). Nykyisin lähes kaikissa laitteissa on kupolimainen mittaustapa, jossa katvealueeksi jää pieni alue laitteen alapuolelle (kuva 6). Maalaserkeilaimilla voidaan mitata jopa miljoona pistettä sekunnissa (Pekkala, 2015). Yhden keilauksen kesto riippuu laitteen asetuksista, mutta keskimääräinen keilaus värillisen pistepilvitiedon tuottamiseen on ajallisesti noin 5-10 minuuttia.



**Kuva 5.** Trimble TX6 maalaserkeilain (Geotrim.fi)



**Kuva 6.** Kupolimainen mittaustapa (Henna Pajunen 2019)

Maalaserkeilaus mittausprosessina alkaa kohdekohtaisesta suunnittelusta. Kohteen tyyppi (esim. sisätila, ulkotila, julkinen tila) vaikuttaa mittauksen etenemiseen, keston ja laitteen ominaisuuksiin sekä asetuksiin. Keilaus tapahtuu paikallaan ja useimmiten yhdellä keilauksella ei saada tarpeeksi kattavaa mittatietoa koko kohteesta, jolloin tarvitaan useampi keilaus katvealueiden välttämiseksi. Esimerkiksi sisätiloissa tilasta toiseen siirtymiseen ja ulkotiloissa pinta-alaltaan suuren kohteen mittaamiseen tarvitaan useampi keilaus. Erilliset keilaukset yh-

distetään eli rekisteröidään jälkikäteen. Rekisteröinnissä voidaan käyttää ohjelmistojen automaattisesti samoja pisteitä tunnistavaa toimintoa tai mittauspaikalle voidaan asettaa **tähyksiä**, joiden tulee sijoittua niin, että useampi tähy näkyy eri keilauksissa. Myös rekisteröintimenetelmiä on useita ja tarkkuudet menetelmien välillä vaihtelevat. (Kupila, et al. 2018; Pekkala, 2015; Tammi, 2015.)



*Kuva 7. Pallotähy ja shakkiruututähy (Henna Pajunen 2019)*

Maalaserkeilaimella pistetiheyteen voidaan vaikuttaa vaihtamalla laitteen asetuksia ja säätämällä mittausetäisyyttä eli lasersäteen kulmaa suhteessa kohteeseen. Jos laserkeilain on lähellä kohdetta, kuvattava pinta-ala pienenee ja pistetiheys kasvaa. Maksimietiheyden vaihtelee eri laitteiden välillä. (Savisaari, 2017.)

Mittausolosuhteet vaikuttavat tuotettavan aineiston laatuun. Laatu heikentäviä tekijöitä ovat esimerkiksi pöly, lumi ja vesisade. Laatuun vaikuttaa myös kohteen ominaisuudet; kohteen muoto, pintamateriaali, väri ja asento ovat merkittäviä tekijöitä. Mittausvirheitä esiintyy, jos lasersäde heijastuu ennen aikaisesti, absorboituu tai poikkeutuu mitattavalta pinnalta. (Pekkala, 2015.) Lasersäde ei esimerkiksi tunnista läpinäkyviä pintoja, kuten vettä tai lasia ja se poikkeutuu vääristyksen peilipinnoista.

Valaistusolosuhteet eivät vaikuta laserkeilaimen toimintaan, koska keilain on aktiivinen sensori eli keilain itsessään tuottaa energian, jonka avulla se havaitsee ja mittaa kohteen. (Pekkala, 2015.) Valaistusta tarvitaan, jos pistepilvitieta halutaan



värillisenä. Useimmilla maalaserkeilaimilla on mahdollista ottaa panoraamakuvia, joiden avulla jälkikäsitellyssä pisteisiin saadaan lisättyä väritietoa (Tammi, 2015).

Paluusignaalin voimakkuuden avulla lasersäde tallentaa intensiteettiä eli pinnan heijastusvoimakkuuden, jonka avulla jokaiselle pisteelle määritetään sävyarvo. Intensiteettiä vaikuttavaa mm. kohteen materiaali, pinnan tasaisuus, väri ja säteen osumiskulma. Ohjelmistot muuttavat intensiteettiä sävyarvoiksi ja näin pistepilvitietoa pystytään tarkastelemaan mm. harmaasävyisenä. Esimerkiksi pinnan eri muodot on helpompi erottaa pistepilvitiedosta harmaasävyisenä kuin täysin valkoisena. (Pekkala, 2015.)

Georeferointi laserkeilauksessa voidaan tehdä tähyksien tai **GNSS**-järjestelmän (eng. *Global Navigation Satellite System*) eli satelliittipaikannuksen avulla. Tähyksiin voidaan mitata esimerkiksi perinteisellä **takymetrimittauksella** tarkat koordinaattitiedot referenssipisteiksi, joita riittävästi yhdistämällä rekisteröityyn pistepilvitietoon saadaan koko aineisto haluttuun koordinaatistoon. Mittalaitteissa oleva **GPS**-järjestelmä pystyy sijoittamaan tuotetun pistepilvitiedon karkeasti paikkatietokoordinaatistoon. (Tammi, 2015.)

### 3.1.2 Samanaikaisesti paikantava ja kartoittava käsiskanneri

**SLAM** (eng. *Simultaneous Localisation and Mapping*) tarkoittaa samanaikaisesti paikantavaa ja kartoittavaa teknologiaa. SLAM-teknologiaa hyödyntävät laserkeilaimet ovat yksi mobiililaserkeilauksen sovellus. Erona maalaserkeilaimiin niissä on mittauksen suorittaminen liikkeessä. Liikuteltavuuden ansiosta mittaus onnistuu moninkertaisesti nopeammin kuin maalaserkeilaimella. Teknologiaa hyödyntävät laitteet pystyvät muodostamaan karttaa ympäristöstään ja samanaikaisesti paikantamaan itsensä muodostamalleen kartalle erilaisten avainpiirteiden avulla. Teknologia mahdollistaa kartoituksen sisätiloissa, joissa rakenteet haittaavat satelliitteihin perustuvaa paikannusta. (Geotrim, 2019; Keitaanniemi, 2017.)

Eri valmistajat ovat julkaisseet SLAM-algoritmia hyödyntäviä käsiskannereita. Vaikka niiden toiminta perustuu samaan teknologiaan, niissä käytetyt algoritmit

eivät ole samanlaisia. (Keitaanniemi, 2017.) Monien laitesovelluksien ja tarkastelun yksinkertaistamiseksi tähän opinnäytetyöhön valikoitui tarkasteltavaksi GeoSLAM ZEB-REVO-käsiskanneri.

ZEB-REVO-käsiskanneri on kevyt laite, joka koostuu laserkeilaimesta ja aineiston keräimestä. Se voidaan kiinnittää reppuun, sauvaan, ajoneuvoon, kärryyn tai miehittämättömään ilma-alukseen. Siinä on **2D**-laserkeilain ja laitteen asentoa ja paikkaa mittaava **IMU**-sensori (eng. *Inertial Measurement Unit*). 2D-laserkeilaimesta tuotetaan kolmiulotteista pistepilvitietoa yhdistämällä keilain pyörivään alustaan. (Keitaanniemi, 2017.)



**Kuva 8.** ZEB-REVO-käsiskanneri (Geotrim.fi)

ZEB-REVO käsiskannerin käyttö on helppoa, koska se on suurilta osin automatisoitua. Mittaus alkaa ja päättyy laitteen alustukseen ja parhaimman lopputuloksen saavuttamiseksi mittaus olisi hyvä aloittaa ja lopettaa samassa kohdassa, koska virheiden määrä laskee ja pistepilvitiedon tarkkuus paranee, kun mittarata muodostaa suljetun kierroksen. Suljettuja kierroksia on suositeltavaa olla enemmän kuin yksi. Aineisto jälkikäsitellään SLAM-algoritmillä GeoSLAM-ohjelmistossa. Jälkikäsitely ja rekisteröinti on suurilta osin automaattista ja se voidaan

toteuttaa joko pilvipohjaisella laskennalla tai työpöytäohjelmistolla. (Keitaanniemi, 2017.)

SLAM-algoritmi toimii parhaiten, kun mitattavalla alueella on selkeitä avainpiirteitä eli ”maamerkkejä”, joita se pystyy hyödyntämään kartan muodostamisessa. Avainpiirteiden suositeltu koko on 1:10, eli 1 metri 10 metrin mittausetäisyydellä. Mittaus on hyvä suunnitella etukäteen, sillä ongelmakohtia syntyy tiloissa, joissa on vähäisesti yksityiskohtia, kuten tasaisissa käytävissä ja avoimissa tiloissa. Myös tilasta toiseen siirtymiseen on kiinnitettävä huomiota, jotta laite havaitsee avainpiirteitä molemmista tiloista. (Keitaanniemi, 2017.)

ZEB-REVO on pääasiallisesti tarkoitettu sisätilojen kartoittamiseen, mutta sitä voidaan käyttää myös ulkona. Laitteen maksimikantama on sisätiloissa 30 metriä ja ulkotiloissa 15-20 metriä. Suositeltu mittausetäisyys on kuitenkin alle 10 metriä. Keilain pystyy tuottamaan 43 200 pistettä sekunnissa ja sen mittatarkkuus on 2-3 cm. (Keitaanniemi, 2017.)

ZEB-REVO:lla tuotetun pistepilvitiedon tiheys riippuu laitteen kulkunopeudesta ja laserkeilaimen mittaustiheydestä. Käsiskannerin mittauksessa suositellaan hidasta kävelynopeutta. Lisäksi suositellaan, että yhden mittauksen kesto olisi maksimissaan 30 minuuttia. Suurien kohteiden mittaus olisi hyvä jakaa osiin. (Keitaanniemi, 2017.)

ZEB-REVO:n on mahdollista liittää kamera, jonka avulla pystytään tallentamaan videokuva. Videokuva pystytään synkronoimaan pistepilvitietoon ja näin pistepilvitieto on mahdollista värjätä. Kameran kuvakulma on kuitenkin pienempi kuin keilaimen mittauskulma, joten vain osalle pisteistä saadaan liitettyä väritietoa. Kuten valokuvaan, myös videokuvaan perustuvaa väritietoa tulee tulkita suuntaa antavana. (Mäenpää, 2019.)

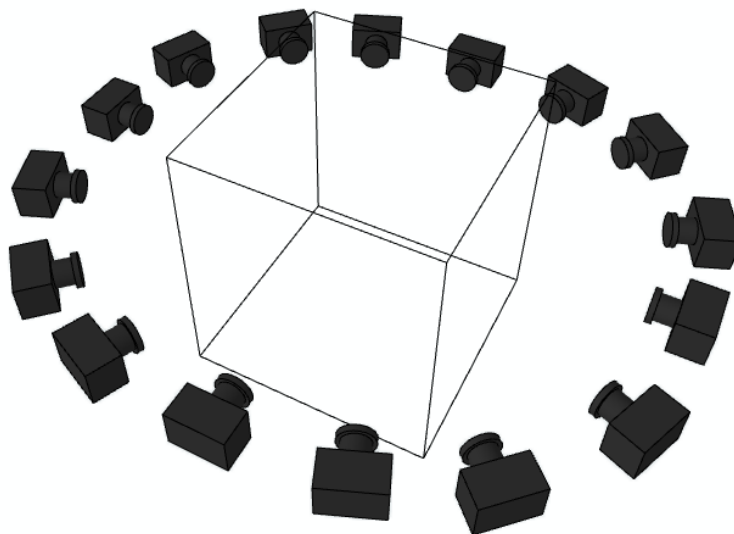
Pistepilvitieto voidaan georeferoida tähysten tai jonkin muun pistepilvitiedossa näkyvän selkeän piirteen avulla. ZEB-REVO:ssa on myös toiminto, joka tallentaa

koordinaatit automaattisesti, kun laite jätetään hetkeksi paikalleen mittauksen aikana. Tätä toimintoa varten käsiskannerin kahvaan voidaan kiinnittää levy, jonka avulla laite voidaan kohdistaa tunnettuun pisteeseen. (Mäenpää, 2019.)

### 3.2 Fotogrammetria

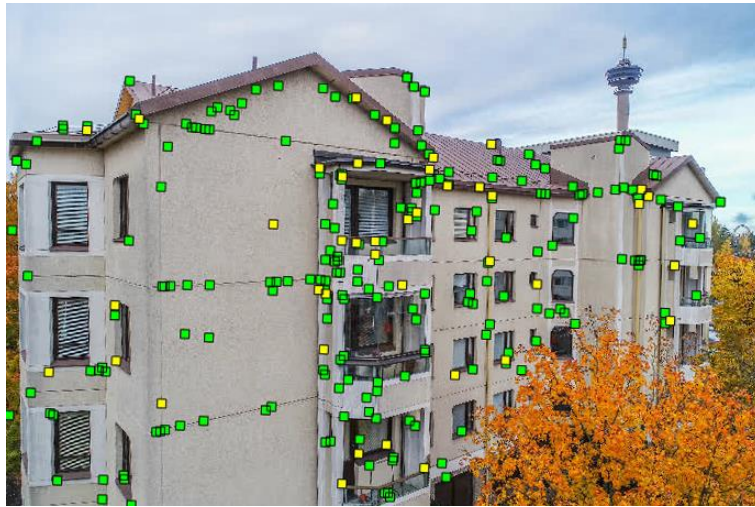
Fotogrammetria (eng. *photogrammetry*) voidaan kääntää sanaksi kuvamittaus, ja tieteenalana perustuu nimensä mukaisesti kuvista tehtävään kolmiulotteiseen mittaukseen. Kuvien avulla pystytään määrittämään kohteen sijainti, muoto ja koko. Ensimmäisiä sovelluksia fotogrammetriasta tehtiin jo 1850-luvulla, hieman valokuvauksen keksimisen jälkeen. Digitaalisuuden kehitys on johtanut fotogrammetristen sovelluksien nopeaan kehittymiseen. (Korhonen, 2017; Vinni, 2003.)

Fotogrammetriassa, kuten myös laserkeilauksessa, etuna on tiedon saaminen kohteen geometriasta koskematta siihen. Kuvat, joita käytetään fotogrammetriassa, voidaan ottaa millä tahansa kuvauslaitteella käsikamerasta maata kiertävään satelliittiin. Kun halutusta kohteesta otetaan kuvia eri suunnista, kohteesta pystytään tuottamaan kolmiulotteista mittaustietoa fotogrammetristen ohjelmistojen avulla. Ohjelmistot määrittävät geometrisen suhteen kohteen ja kuvan välille fotogrammetrisen laskennan avulla. Kameran ominaisuutena valokuvien sijaintitiedon tallennus helpottaa laskentaa. (Hirvonen, 2015; Savisaari 2017; Vinni, 2003.)



**Kuva 9.** Fotogrammetrian kuvausperiaate (Henna Pajunen 2019)

Ohjelmistojen laskentaperiaate perustuu vastinpisteisiin eli samojen kohtien tunnistamiseen kuvista, jotka on otettu eri suunnista. Kehittyneimmät ohjelmistot tunnistavat vastinpisteet automaattisesti, mutta vastinpisteitä voi sijoittaa myös manuaalisesti. Valokuvat tulee kuvata osittain päällekkäin, jotta tunnistettavia vastinpisteitä on riittävästi. Ilmakuvauksessa lentosuunnan pituuspeiton olisi hyvä olla 60% ja kuvajonojen sivupeiton noin 30%. (Hirvonen, 2015; Savisaari, 2017.)



**Kuva 10.** Fotogrammetrisen ohjelmiston tunnistamia vastinpisteitä (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2019)

Fotogrammetrisen pistepilvitiedon laatuun vaikuttavat merkittävästi kameran ominaisuudet. Kamerakennon suuri resoluutio eli hyvä erotuskyky auttaa ohjelmaa löytämään ja sijoittamaan vastinpisteitä tarkemmin. Mahdollisimman laajakulmainen objektiivi kuvaa kohdetta laajasti ja helpottaa kohteen kattavassa kuvaamisessa. (Hirvonen, 2015.) Jotkin laajakulmaiset objektiivit saattavat aiheuttaa vääristymiä kuvien reunoille, mutta markkinoilta löytyy myös laajakulmaisia objektiiveja, jotka poistavat vääristymän. Lisäksi fotogrammetristen ohjelmistojen vastinpisteiden tunnistusta helpottaa, jos kameran objektiivin polttoväli, eli kuvakulman laajuus, pysyy samassa laskennassa käytettävissä kuvissa samana.

Myös valaistusolosuhteet vaikuttavat merkittävästi pistepilvitiedon laatuun. Ylivalottuneet tai pimeät kuvat aiheuttavat vääristymiä laskennassa ja saattavat jopa

estää vastinpisteiden tunnistamista. Lisäksi, jos samassa laskennassa käytettävien kuvien valotusero on suuri ja kohteen väri vaihtelee kuvissa, tuloksena saattaa olla läikikäs malli, koska ohjelmistot poimivat kuvista väritietoa.

Fotogrammetrisesti tuotettu pistepilvi on syytä erottaa laserkeilatusta pistepilvitiedosta. Tuottamistapa on eri ja myös ominaisuudet ovat erilaiset. On huomattava, että fotogrammetrisen aineiston mittakaava ja tarkkuus eivät ole yhtä tarkkoja kuin laserkeilauksessa, sillä mittaustapa perustuu tietokoneohjelmistojen suorittamaan kuvamittaukseen. Pistepilvitiedon mittakaava voidaan tarkistaa kohteella otettavien mittausten avulla tai kohteeseen voidaan sijoittaa kuvaushetkellä esimerkiksi mittatikku, jonka mitta voidaan tarkistaa jälkikäteen. (Savisaari, 2017.)

Fotogrammetrisesti tuotetun pistepilvitiedon pistetiheys määrittyy valokuvien pikselitiheydestä. Mitä suurempi kuvien pikselitiheys on, sitä suurempi pistepilvitiedon pistetiheys voi olla. Pikselitiheyden lisäksi fotogrammetristen laskentaohjelmistojen säädöt vaikuttavat pistetiheyteen. (Savisaari, 2017.) Pistepilvitietao on automaattisesti värillistä, koska laskenta perustuu RGB-tietoa sisältäviin valokuviiin.

Fotogrammetria voidaan jakaa kahteen pääryhmään mittausetäisyyden avulla; ilma- (eng. *aerial photogrammetry*) ja lähifotogrammetriaan (eng. *close-range photogrammetry*). Pääasiallisesti lähifotogrammetrian kuvausetäisyys on alle 300 metriä. Nykyisin jako ei ole niin selkeä markkinoilla yleistyneiden UAV-laitteiden eli miehittämättömien ilma-alusten myötä, jotka luovat jakoon päällekkäisyyksiä. (Korhonen, 2017.) Tässä opinnäytetyössä keskitytään UAV-laitteella kuvattuun materiaaliin, sillä sen avulla saadaan kuvattua kattavaa aineistoa olemassa olevien rakennusten ulkokuorista. Fotogrammetrisillä keinoilla pystytään kartoittamaan myös sisätiloja, mutta tässä työssä rajataan fotogrammetrian hyödyntäminen vain rakennusten ulkokuoriin, sillä muut tarkasteltavat laitteet soveltuvat paremmin sisätilojen kartoittamiseen.



**Kuva 11.** *Miehittämätön ilma-alus (Jyrki Männistö 2019)*

UAV-laite, puhekielellä **drone**, on ilmassa lentävä miehittämätön laite. Sitä voidaan kauko-ohjata maasta käsin tai sille voidaan määrittää automaattinen lento-reitti etukäteen. Automaattinen ohjaus tapahtuu satelliittipaikannuksen avulla. Laitteeseen voidaan kiinnittää kamera, jonka avulla pystytään ottamaan kuvia kohteesta. UAV-laitetta käytetään lukuisiin eri tarkoituksiin, esimerkiksi maaston kartoitukseen. (Ostromap, n.d.). Laitteiden yleistymisen myötä myös fotogrammetrisesti tuotetun pistepilvitiedon käyttö rakennusalalla on yleistynyt; se mahdollistaa esimerkiksi korkeiden ja pinta-alaltaan suurten rakennusten vesikattojen ja julkisivujen kuvauksen helpommin kuin laserkeilaus (Savisaari, 2017).

UAV-laitteen toimintaa ohjaa ilmailulaki ja Trafín määräys OPS M1-32. UAV-laitteen harrastekäyttö eroaa ammattikäytöstä. Harrastekäytössä UAV-laitteen lennättämisestä puhutaan lennokin lennättämisenä ja ammattikäytössä kauko-ohjattun ilma-aluksen käyttämisestä ilmailuun. Ammattikäytössä tulee esimerkiksi ilmoittaa käyttäjä ja käyttötarkoitus Trafille, hankkia asianmukaiset vakuutukset, kirjata lentotiedot sekä tiedottaa kiinteistön omistajaa selkeästi tulevasta lentotoiminnasta. (Trafi OPS M1-32, 2018.)

Pistepilvitiedolle, joka on tuotettu fotogrammetrian avulla, ei ole määritelty virallista mittatarkkuutta. Mittatarkkuuteen vaikuttavat kameran ja kohteen ominaisuudet sekä kuvaolosuhteet, kuvien määrä suhteessa kuvattavaan kohteeseen ja kuvauksen yleinen onnistuminen. palveluntuottajien ilmoittamat mittatarkkuudet

ovat noin 5 cm luokkaa. Aineisto voi olla tarkempaakin riippuen ominaisuuksista ja olosuhteista.

Sääolosuhteet vaikuttavat UAV-laitteella suoritettavaan kartoitukseen. Laitetta ei tulisi käyttää sateella, ukkosella tai liian kovalla tuulella. Kuvausta vaikeuttaa lähellä olevat rakennukset, kasvusto, sähkölinjat sekä liikenneväylät. (Kalliomäki, 2017.) Edellä mainitut aiheuttavat pistepilvitietoon katvealueita, jotka esiintyvät aineistossa venyminä. Katvealueita syntyy tyypillisesti myös ulokkeiden, kuten parvekkeiden, alapintoihin. (Savisaari, 2017.)

UAV-laitteella kuvattu pistepilvitieto voidaan georeferoida samoilla periaatteilla kuin laserkeilattu aineisto; aineisto voidaan kuvata GPS-järjestelmää hyödyntävällä kameralla tai aineistoon voidaan sijoittaa tavoitekoordinaatistossa olevia referenssipisteitä. Referenssipisteinä voidaan käyttää esimerkiksi tähyksiä tai takymetrimitattuja rakennuksen nurkkapisteitä. (Savisaari, 2017.)

### 3.3 Syvyyskamera

Syvyyskameralla (ts. **RGB-D-kamerat**) kuvataan väritiedon lisäksi etäisyystietoa ja ne toimivat useimmiten infrapunaa hyödyntämällä. Syvyyttä kartoittavien teknologioiden sovelluksia ovat esimerkiksi Microsoftin **Kinect**, Applen PrimeSense ja Googlen Project Tango (Reddy, 2015). Edellä mainittuja käytetään paljon peliteollisuudessa ja monille kuluttajille tunnetuissa laitteissa, esimerkiksi puhelinten ominaisuus tunnistaa kasvoja perustuu syvyyskameraan. (Zhang, 2012.)

Useiden sovelluksien vuoksi tähän opinnäytetyöhön on valittu tarkasteltavaksi Matterport-kamerajärjestelmä, joka toimii RGB-kuvien ja Kinect-sensorien avulla. Kinect tunnistaa etäisyyksiä infrapunaprojektorin ja infrapunakameran avulla. Projektori lähettää kuvion infrapunasäteitä, jotka muodostavat kohdealueelle pisteitä ja ne heijastuvat pinnasta takaisin infrapunakameraan. Projektorin lähettämiä säteitä ja infrapunakameran tulkitsemia pisteitä sekä niiden välisiä etäisyyksiä vertaamalla toisiinsa pystytään laskemaan pisteiden syvyys- eli etäisyystieto.



Edullisuutensa vuoksi Kinect-pohjaiset mittalaitteet ovat paljon käytettyjä robotiikassa ja tuotteissa, jotka on suunnattu kuluttajille. (Ahlavuo, Hyyppä & Ylikoski, 2016; Geotrim / Matterport 3D, 2019; Zhang, 2012.)



**Kuva 12.** Matterport Pro2 3D-kamerajärjestelmä (Geotrim.fi)

Matterportin hyödyntäminen on pitkälle automatisoitua eikä sen käyttö vaadi aiempaa kokemusta. Kuvaamiseen ja aineiston käsittelyyn liittyvät ohjeet löytyvät jälleenmyyjän nettisivuilta. Kameralla tehtävää kuvausta hallinnoidaan tabletin avulla. Applikaation avulla voidaan seurata, onko kuvien liittäminen toisiinsa onnistunut. Kuvauksen jälkeen seinien sekä peilien ja ikkunoiden paikat merkitään applikaatioon, jotta ylimääräisten heijastusten määrää pystytään karsimaan. Kuvauksen jälkeen aineisto lähetetään laskettavaksi Matterportin pilvipalveluun ja asiakkaan haluamat lopputuotteet toimitetaan vuorokauden sisällä. (Geotrim / Matterport 3D, 2019.)

Tällä hetkellä Matterportia käytetään tuottamaan kiinteistövalityksessä hyödynnettäviä 3D-tilaesittelyjä, jotka koostuvat 360 asteen kuvista. Niiden lisäksi Matterportin avulla pystytään tuottamaan perinteisiä 2D-valokuvia, 360 asteen kuvia, pohjapiirustuksia, kattosuunnitelmia, pintamalleja sekä värillisiä pistepilviä. (Geotrim / Matterport 3D, 2019.)

Matterportin maksimikantama on 4,5 metriä ja skannauksia suositellaan ottamaan 1,5-2,5 metrin välein. Yhden skannauksen mittausnopeus on noin 30 sekuntia ja mittatarkkuus 99% kantaman alueelta eli 4,5 metrin matkalla mittatarkkuus on 4,5 cm luokkaa. Lisäksi laitteen tulee olla vaakatasossa skannauksen aikana. (Geotrim / Matterport 3D, 2019). Muut infrapunälähteet, kuten auringon valo, häiritsevät sensorin toimintaa ja tästä syystä Matterport toimii vain sisätiloissa. Myös sisätiloissa tulee ottaa huomioon ikkunoiden kautta kulkeutuvan auringonvalon määrä. (Virtanen, et al. 2018). Eräässä tutkimuksessa (Honkavaara, et al. 2016) Matterportia ja sen suorituskykyä testattiin Paikkatietokeskuksen tiloissa. Testauksen tuloksena todetaan, että Matterport toimii parhaiten, kun tiloissa ei ole kuvaushetkellä muuta toimintaa. Toisen tutkimuksen (Virtanen, et al. 2018) tuloksena todetaan, että mitattavan alueen pinta-alan kasvaessa, yksityiskohtien ja mallin tarkkuus heikkenee. Laitteen kantaman ja mallin tarkkuuden kannalta Matterport soveltuu parhaiten pinta-alaltaan melko pienten tilojen, esimerkiksi asuntojen, mittaamiseen.

Matterportilla tuotetun pistepilvitiedon pistetiheyteen pystyy vaikuttamaan muuttamalla etäisyyttä kohteeseen. Mitä lähempänä kohde on, sitä pienemmälle alueelle infrapunasäteet sijoittuvat ja pistetiheys on suurempi. Pistepilvitieto voidaan georeferoida samalla tavalla kuin käsiskannerilla, eli tähysten tai pistepilvitiedossa sijaitsevan selkeän piirteen avulla. (Mäenpää, 2019.)

### **3.4 Yhteenveto tuottamistavoista ja laitteista**

Pistepilvitiedon tuottamistavat ovat eri teknologioihin perustuvia ja niillä tuotetun pistepilvitiedon ominaisuudet eroavat toisistaan. Tässä luvussa kootaan tietoa laitteiden ominaisuuksista ja mittausprosessista, joita vertaillaan keskenään. Lisäksi laitteiden ominaisuuksien kautta listataan kullekin laitteelle parhaiten soveltuvia käyttökohteita. Merkittävimmät tuottamistavan valintaan vaikuttavat tekijät ovat pistepilvitiedon käyttötarkoitus, vaadittu mittatarkkuus ja kustannukset.

**Taulukko 2. Eri laitteilla tuotetun pistepilvitiedon suuntaa antava mittatarkkuus**

Laite	Maalaserkeilain	Käsiskanneri	UAV-laite	Syvyyskamera
Mittatarkkuus	< 1 cm	2-3 cm	5 cm	4,5 cm*

\* 4,5 metrin kantaman sisällä

**Taulukko 3. Eri laitteiden suuntaa antava maksimikantama**

Laite	Maalaserkeilain	Käsiskanneri	UAV-laite	Syvyyskamera
Kantama	300 m	Ulkotiloissa 20 m Sisätiloissa 30 m	150 m*	4,5 m

\*UAV-laitteen lennättämisen sallittu maksimikorkeus

Taulukossa 3. on lueteltu laitteiden maksimikantamat. Suositeltu mittausetäisyys ZEB-REVO-käsiskannerilla on 10 metriä ja Matterport-syvyyskameralla 1,5-2,5 metriä. Maalaserkeilaimen kantama riippuu laitteesta.

**Taulukko 4. Laitteiden hintatietoja**

Laite	Maalaserkeilain	Käsiskanneri	UAV-laite	Matterport
Hinta	45 000- 100 000€	35 000- 50 000€	1000- 10 000€	3200 €

Taulukossa 4. on esitetty eri laitteiden suurpiirteisiä hintatietoja. Hinnat vaihtelevat laitteiden ominaisuuksien vuoksi. Esimerkiksi hyvän UAV-laitteen, jota käytetään rakennusten kartoittamiseen, saa jo 1000 eurolla. Matterport-syvyyskamerasta on esitetty tarkempi hintatieto, koska sillä on tällä hetkellä vain yksi jälleenmyyjä Suomessa. Hintatiedot kattavat vain laitehankinnan, eivät mittausprosessia tai jälkikäsitteilyn vaatimia ohjelmistoja.

Maalaserkeilainta voidaan käyttää sisä- ja ulkotiloissa ja sen käyttökohteet ovat yleisesti monipuolisia. Maalaserkeilaimella tuotettu pistepilvitieto on tarkkuudeltaan korkealaatuista ja mittatarkkuuden ansiosta se soveltuu laitteista parhaiten kohteisiin, joiden geometria on hyvin monimuotoista. Verrattuna manuaalisempiin mittausten menetelmiin, kuten **laseretäisyysmittaukseen**, maalaserkeilaimella saadaan tuotettua mittatietoa kohteesta nopeasti. Laitteen käyttö ja aineiston jälkikäsittely vaativat ammattitaitoa. Maalaserkeilaimella suoritettava mittaus on staattista ja yhden skannauksen kesto on noin 5-10 minuuttia, minkä vuoksi sen mittausprosessi on hidas verrattuna muiden tarkasteltavien laitteiden mittausprosessiin. Laittehankinta ja mittausprosessi tekevät siitä myös kalleimman. Maalaserkeilaimen käyttö ja jälkikäsittely ovat kuitenkin vakiintuneimpia ja sitä osataan hyödyntää monipuolisesti. Hyvä esimerkki maalaserkeilaimelle soveltuvasta kohteesta on rakennushistoriallisesti merkittävä kirkkorakennus.

Käsiskanneri on pääasiallisesti tarkoitettu sisätilojen kartoittamiseen, mutta se toimii myös ulkotiloissa. Liikkuvan kartoituksen vuoksi mittatarkkuus ei ole yhtä hyvä kuin maalaserkeilaimella, mutta mittausnopeuteen suhteutettuna sen tarkkuus on hyvä ja moniin kohteisiin riittävä. Laitteen käyttö ei vaadi juurikaan aiempaa kokemusta. Laittehankintana käsiskanneri ylittää melkein maalaserkeilaimen hintaluokkaan, mutta sen mittausprosessi on noin kymmenen kertaa nopeampi. Suurilta osin automatisoitu jälkikäsittely ja helppokäyttöisyys tekevät laitteesta käyttäjäystävällisen. Liikkuvan kartoituksen ansiosta käsiskannerilla pystyy mittaamaan esimerkiksi ahtaita sisätiloja paremmin kuin muilla laitteilla.

UAV-laitteella suoritettava kuvaus soveltuu parhaiten pinta-alaltaan suurten rakennusten ulkokuorien (julkisivut ja vesikatot) kartoittamiseen. Sen mittatarkkuus on huonompaa kuin maalaserkeilaimen tai käsiskannerin, mutta sillä suoritettava mittausprosessi on nopea ja turvallinen. Suuria ja korkeita julkisivupintoja voidaan kuvata myös maalaserkeilaimella, mutta se on hitaampaa kuin UAV-laitteella. Vesikattoja voidaan kuvata sekä maalaserkeilaimella että käsiskannerilla, mutta varsinkin korkeiden rakennusten vesikattojen kuvaus on turvallista UAV-laitteella. Laittehankintana UAV-laite on edullinen eikä laitteen käyttö itsessään ole kovin vaikeaa. Kuvauksen onnistumisen kannalta on kuitenkin tärkeää, että kuvaajalla on kokemusta varsinkin, jos kuvausta ei tehdä tietokoneavusteisesti.

Lisäksi ammattikäytössä tulee ottaa huomioon UAV-laitetta koskevat lait ja määräykset. Fotogrammetrisen aineiston jälkikäsittely on suurilta osin automatisoitua. Aineiston käsittelyssä kuva-aineiston määrä kasvaa usein suureksi, mikä vaatii käsittelyyn tehokkaan tietokoneen.

Syvyyskameraa pystyy käyttämään ainoastaan sisätiloissa, koska infrapunaan perustuva mittaus häiriintyy auringonvalosta. Myös sisätiloissa oikeaan valaistukseen ja ikkunoiden läpi kulkeutuvaan auringonvaloon tulee kiinnittää huomiota. Mittausprosessi syvyyskameralla on yksinkertainen ja yhden skannauksen ottaminen on nopeaa. Lyhyt kantama kuitenkin hidastaa mittausprosessia kokonaisuudessaan. Laitehankintana syvyyskamera on melko edullinen ja sen jälkikäsittely tapahtuu kolmannen osapuolen toimesta, mikä tekee siitä laitteena helposti lähestyttävän. Syvyyskameran käyttökohteet ovat rajoittuneita, mutta sillä pystyy tuottamaan aineistoa moneen eri tarkoitukseen. Parhaiten syvyyskameralle soveltuvia käyttökohteita ovat esimerkiksi asuntojen sisätilat.

**Taulukko 5. Yhteenveto laitteiden eduista ja heikkouksista**

<b>Laite</b>	<b>Edut</b>	<b>Heikkoudet</b>
Maalaserkeilain	+ Monipuoliset käyttökohteet + Mittatarkkuus + Vakiintunut käyttö + Aineiston muokattavuus	- Käyttö vaatii ammattitaitoa - Mittausnopeus - Hinta - Jälkikäsitteily vaatii ammattitaitoa - Suuret aineistomäärät
Käsiskanneri	+ Melko monipuoliset käyttökohteet + Tarkkuus suhteutettuna nopeuteen + Mittausnopeus + Helppokäyttöisyys + Suurilta osin automatisoitu jälkikäsitteily	- Hinta - Vain osittainen väritieto
UAV-laite	+ Käyttökohteet + Mittausnopeus + Helppokäyttöisyys + Hinta + Suurilta osin automatisoitu jälkikäsitteily	- Tarkkuus - Suuret aineistomäärät
Syvyyskamera	+ Helppokäyttöisyys + Hinta + Monipuoliset lopputuotteet + Automatisoitu jälkikäsitteily	- Rajoittuneet käyttökohteet - Tarkkuus

## 4 PISTEPILVITIEDON HYÖDYNTÄMINEN INVENTOINTIMALLINTAMISSESSA

### 4.1 Inventointimalli ja yleiset tietomallivaatimukset

Inventointimalli on kohteen nykytilannetta kuvaava tietomalli, joka on tehty kohteelle tarkoituksenmukaisten lähtötietojen avulla. Terminä inventointimalli ja -mallintaminen eivät ole vakiintuneet rakennusalalla, ja niillä saatetaan tarkoittaa esimerkiksi yksittäisestä kohteesta tehtyä lähtötilanteen mallinnusta tai kokonaista palvelukokonaisuutta, johon sisältyy mittaus-, tutkimus- ja mallinnuspalvelut (Savisaari, 2017). Inventointimallia voidaan käyttää eri tarkoituksiin, esimerkiksi rakennuksen ylläpitoon, elinkaaren seurantaan, tilojen hallintaan tai korjaussuunnittelun lähtötietona (Rajala, 2009).

Inventointimallien tuottamista alalla ohjaa Yleiset tietomallivaatimukset 2012 Osa 2 Lähtötilanteen mallinnus -dokumentti. Se on osa BuildingSMART Finlandin tekemää julkaisusarjaa, jossa käsitellään laajasti tietomallien toteuttamista.

Inventointimallintamisessa voidaan käyttää monia eri lähtötietoja, joiden saatavuus ja käyttö tulee määritellä kohdekohtaisesti kokonaisuus huomioon ottaen. YTV määrittelee inventointimallinnuksen seuraavasti: ”Inventointimallinnus tehdään paikalla tehtävien mittausten, inventointien ja tutkimuksien perusteella. Näitä tietoja täydennetään vanhojen piirustusten ja muiden dokumenttien pohjalta.” Lähtötietojen käytössä tulee asettaa ensisijaisiksi sellaiset saatavilla olevat lähtötiedot, jotka vastaavat parhaiten kohteen nykytilannetta. Muita lähtötietoja voidaan tällöin käyttää täydentävinä ja varmistavina tietoina. Lähtötietoja ovat esimerkiksi (Savisaari, 2017):

- vanhat rakennuspiirustukset
- valokuvat
- kirjallinen aineisto: rakennushistoriaselvitys, haitta-ainetutkimus, kuntotutkimus, huoneseloste
- erilaiset mittaukset: takymetrimittaus, laseretäisyysmittaus
- pistepilvitieto

Ennen inventointimallinnukseen ryhtymistä tulisi tehdä tuotettavien mittausten ja mallinnuksen osalta selvitys, jossa ilmenee tarkkuus, rakennusosat ja alueet, tietosisällölliset tarpeet ja inventoinnin laajuus sekä toimintaympäristöihin ja tiedon- siirtoon liittyvät vaatimukset. (Rajala, 2009.)

Inventointimalliin voidaan sisällyttää rakennusosien tietosisältöä, alueosia, talo- osia, tilaosia sekä talotekniikkaosia. Mallin tietosisällön sekä tarkkuuden määrit- tämiseen käytetään Yleiset tietomallivaatimukset 2012 osa 2 Lähtötilanteen mal- linnus -dokumenttia. Inventointimallin oleellisena osana on tietomalliselostus, jo- hon sisällytetään mallin perustiedot, mallinnusperiaatteet ja mahdolliset poik- keamat. Suurin hyöty inventointimallista saadaan kolmiulotteisena tietomallina, mutta joskus inventointitietojen riittävä esitystapa on tasopiirustusten tai huone- korttien muodossa. (YTV, 2012; Rajala, 2009.)

Yleisissä tietomallivaatimuksissa on asetettu vaatimustasot mittauksille sekä sel- vityksille, tutkimuksille ja inventoinneille ja inventointimallin toteutukselle. Lisäksi inventointimallin sallituiksi mittapoikkeamiksi on asetettu seuraavat suuret:

- rakennusosien nurkkapisteet 10 mm
- pinnat, esim. seinä ja lattiat 25 mm
- vanhat epäsäännölliset rakenteet, esim. vesikattorakenteet 50 mm

**Taulukko 6. Tasot mittauksille (YTV, 2012)**

	Mittaustapa	Vaatus
<b>Taso 1</b>	Laseretäisyysmittaus	-
<b>Taso 2</b>	Takymetrimittaus	Mittapisteiden poikkeama alle 5 mm
<b>Taso 3</b>	Laserkeilausmittaus	Virhe max ± 10 mm Mittapisteet 5 mm välein



**Taulukko 7. Tasot selvityksille, tutkimuksille ja inventoinneille (YTV, 2012).**

	<b>Inventointimallin sisältö</b>
<b>Taso 1</b>	Tilatunnisteet Rakennusosien tyypitys
<b>Taso 2</b>	Taso 1 + Huoneselostustasoiset tilatiedot
<b>Taso 3</b>	Inventointitietoja rakennushistoriaselvityksistä ja tutkimuksista, esim. haitta-aine- ja kuntotutkimuksista

**Taulukko 8. Tasot inventointimallin toteutukselle (YTV, 2012)**

	<b>Inventointimallin taso</b>	<b>Piirustusten taso</b>
<b>Taso 1</b>	Tilamalli	Luonnos
<b>Taso 2</b>	Rakennusosamalli	Pääpiirustus
<b>Taso 3</b>	Rakennusosamalli	Yksityiskohtaiset

Lähtötilanteen mallinnus -dokumentti toimii hyvänä lähtökohtana inventointimallintamiselle, mutta siinä on myös puutteita, esimerkiksi se ottaa huomioon ainoastaan laserkeilatun pistepilvitiedon inventointimallin lähtötietona. Savisaaren diplomityössä (2017) tehdyssä haastattelututkimuksessa käy ilmi, että YTV:n vaatimukset koetaan tiukoiksi ja yleisesti lisäohjeistus olisi paikallaan. Lisäohjeistuksen tarpeeseen on havahduttu, sillä tarveselvitys päivitysten tekemisestä on käynnistetty syksyllä 2018. Tarveselvityksen saama palaute on tuonut esiin sen, että tietomallivaatimusten päivittäminen on paikallaan ja se vaikuttaa merkittävästi rakennusalan tuottavuuteen ja kilpailukykyyn. (buildingSMART Finland, 2019.)

Inventointimallin tarkoituksena on palvella mahdollisimman hyvin kohdekohtaista käyttötarkoitusta. Inventointimallin tarkkuus- ja sisältövaatimukset määritellään käyttötarkoituksen mukaan. YTV:n määrittämät ohjeistukset eivät ole sitovia ja niistä voidaan poiketa tilaajan kanssa sovittaessa.

## 4.2 Pistepilvitieto lähtötietona

Lähtötietona pistepilvitieto on kattavaa ja luotettavaa, kun kohteelle on valittu parhaiten soveltuva tuottamistapa ja tuottaminen on tehty oikein. Verrattuna muihin lähtötietoihin pistepilvitieto antaa monipuolisen kuvan kohteesta nopealla aikataululla.

Pistepilvitiedon mittaamisessa etuna on se, että kohteeseen ei tarvitse koskea, mikä tekee siitä useissa tilanteissa turvallisimman tavan mitata kohdetta. Esimerkiksi korkeiden rakennusten mittaaminen laseretäisyysmittauksella aiheuttaa väistämättä vaaratilanteita.

Pistepilvitiedossa täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että se kuvaa vain kohteen pintaa. Tästä syystä esimerkiksi vanhat rakennuspiirustukset ovat tärkeässä roolissa, kun inventointimalliin halutaan lisätä tietoa rakenneosista. Vanhojen rakennuspiirustusten luotettavuus ei ole sataprosenttista ja varmin tulos saadaan vain rakenneavausten ja rakenneselvitysten avulla. Jokaisella lähtötietomuodolla on hyötynsä ja luotettavuuteen heikentävästi vaikuttavat tekijät. Inventointimallintamisessa päästään parhaimpaan tulokseen yhdistämällä erilaisia lähtötietoja.

Pistepilvitiedon käyttäminen värillisenä helpottaa inventointimallinnusta erityisesti erilaisten materiaalien ja pintojen rajojen tunnistamisessa (Savisaari, 2017). Laserkeilatussa pistepilvitiedossa intensiteetin avulla määritetty harmaasävyisyys auttaa myös erilaisten rajapintojen tunnistamista. Täysin valkoisen pistepilvitiedon käyttäminen on mahdollista, mutta hankalaa ja tärkeää informaatiota saattaa kadota 3D-mallinnuksen yhteydessä.

Vaikka pistepilvitiedon käyttäminen lähtötietona kuulostaa kalliilta, voi kyseessä olla enemmänkin säästö. Kun inventointimallin lähtötietona käytetään luotettavaa

pistepilvitietoa, esimerkiksi korjausrakentamisessa tyypillinen työnaikainen suunnittelu vähenee ja näin kokonaiskustannukset laskevat. Lisäksi inventointimallin laajoissa jatkohyödyntämismahdollisuuksissa on etuna se, että se on tehty tarkasti ja nykytilannetta hyvin vastaavaksi.

#### **4.2.1 Tuottamistavan valinta kohteen mukaan**

Pistepilvitiedon tuottamistavan valintaan vaikuttavat kohteen ominaisuudet ja kohteen lähtötiedoilta vaadittava mittatarkkuus. Tuottamistapa tulee määritellä aina kohdekohtaisesti. Tässä luvussa käydään läpi karkeasti jaoteltuja kohdetyyppejä, niiden ominaisuuksia ja sitä kautta niille soveltuvaa mittaustapaa. Mittatarkkuudet on määriteltävä kohteen ominaisuuksien, kuten arvon, monimuotoisten rakenteiden ja yksityiskohtien määrän avulla.

##### Kirkot

Lähtötiedolta vaadittava tarkkuus: erittäin tarkka

Tyypilliset ominaisuudet: rakennushistoriallisesti merkittävä rakennus, monimuotoinen geometria ja kattomaailma, yksityiskohdat, pinta-alaltaan keskikokoisia, korkeita rakennuksia.

##### Hallintorakennus, esim. virastotalo

Lähtötiedolta vaadittava tarkkuus: erittäin tarkka

Tyypilliset ominaisuudet: arvorakennus, monimuotoiset rakenteet, yksityiskohdat, pinta-alaltaan suuria, monikerroksisia rakennuksia.

##### Kirjasto / Kauppakeskus

Lähtötiedolta vaadittava tarkkuus: tarkka.

Tyypilliset ominaisuudet: monimuotoisia rakenteita, vaihtelevan kokoisia tiloja, pinta-alaltaan suuria, monikerroksisia rakennuksia.

##### Sairaala / Toimistorakennus / Hotelli

Lähtötiedolta vaadittava tarkkuus: tarkka

Tyypilliset ominaisuudet: vaihtelevan kokoisia tiloja, paljon pienehköjä huoneita, pitkiä käytäviä, pinta-alaltaan suuria, monikerroksisia rakennuksia.

### Asuinkerrostalo

Lähtötiedolta vaadittava tarkkuus: melko tarkka

Tyypilliset ominaisuudet: yksinkertaiset rakenteet, säännöllisen kokoisia tiloja, pinta-alaltaan keskikokoisia, monikerroksisia rakennuksia.

### Rivi- / omakotitalo

Lähtötiedolta vaadittava tarkkuus: melko tarkka

Tyypilliset ominaisuudet: yksinkertaiset rakenteet, säännöllisen kokoiset tilat, pinta-alaltaan pieniä, 1-3 kerroksisia rakennuksia.

### Teollisuusrakennus

Lähtötiedolta vaadittava tarkkuus: tarkka

Tyypilliset ominaisuudet: yksinkertaiset rakenteet, tilat avoimia ja suuria, pinta-alaltaan suuria, 1-3 kerroksisia rakennuksia.

### Tornirakenteet / piiput

Lähtötiedolta vaadittava tarkkuus: tarkka

Tyypilliset ominaisuudet: melko yksinkertaiset rakenteet, erittäin korkeita.

### Sillat

Lähtötiedolta vaadittava tarkkuus: tarkka

Tyypilliset ominaisuudet: melko yksinkertaisia rakenteet, melko korkeita, vaikeasti saavutettavissa paikoissa.

Laitteen soveltuminen kohteen mittaukseen on jaoteltu seuraavasti:

- Soveltuu parhaiten
- Soveltuu
- Soveltuu esimerkiksi täydentävä mittaustapana
- Ei sovellu

**Taulukko 9. Tuottamistavan valinta kohteen mukaan**

Kohde	Maalaser- keilain	UAV- laite	Käsi- skanneri	Syvyys- kamerat
Kirkko	●●●	●●	●	-
Hallintorakennus	●●●	●●●	●●	-
Kirjasto / Kauppakeskus	●●●	●●●	●●	-
Sairaala / Toimistora- kennus / Hotelli	●●	●●●	●●●	●●
Asuinkerrostalo	●●	●●●	●●●	●●
Rivi- / omakotitalo	●●	●●●	●●●	●●●
Teollisuusrakennus	●●●	●●●	●●	-
Tornirakenteet, piiput	●●	●●●	-	-
Sillat	●●	●●	●	-

## 4.2.2 Tuottamistavan valinta rakennusosan mukaan

Tässä luvussa tehdään koonti eri rakenneosista ja niihin parhaiten soveltuvista mittauksista. Soveltuvuudet ovat suuntaa antavia ja jokaisen kohteen mittaukset ja lähtötiedot tulee määrittää aina hankekohtaisesti. Rakennusosien ominaisuuksien jälkeen on taulukko, johon on koottu eri mittalaitteiden soveltuvuudet rakennusosiin.

### Vesikatto

Vesikaton mittaustavan valintaan vaikuttaa sen korkeusasema, saavutettavuus ja kaltevuus. Yleisesti ottaen vesikaton mittaaminen on turvallisinta ja nopeinta UAV-laitteella. Tasakattojen mittaus on melko turvallista myös maalaserkeilaimella ja käsiskannerilla.

### Julkisivut

Julkisivujen mittaukseen vaikuttaa rakennuksen koko ja korkeus. Pinta-alaltaan suuret ja 3-6 kerroksiset tai korkeammat rakennukset on nopein ja helpoin mitata UAV-laitteella, mutta maalaserkeilain on myös hyvä vaihtoehto, riippuen kohteesta. 1-3 kerroksissa rakennuksissa käsiskannerin mittausvaihtoehto on riittävä.

### Maantasokerros ja sokkelilinjat

Useimmissa rakennuksissa maantasokerros sisältää enemmän yksityiskohtia kuin ylemmät kerrokset ja usein sokkelilinjat halutaan mitata tarkasti. UAV-kuvauksessa maantasokerroksen katokset ja ulokkeet sekä kasvillisuus luovat helposti katvealueita. Maan tasolta suoritettava mittaus maalaserkeilaimella tai käsiskannerilla on tässä tapauksessa soveltuvin mittausvaihtoehto.

### Parvekkeiden sisäpuoli ja katetut terassit

Parvekkeet ja terassit ovat usein kooltaan pieniä eivätkä sisällä paljoa yksityiskohtia. Maalaserkeilaimella ja käsiskannerilla suoritettu mittaus soveltuu hyvin riippuen kohteesta. Kartoitus onnistuu osittain UAV-laitteella, jos parveke ei ole katettu.

### Sisätilat

Sisätilojen koko ja yksityiskohtien määrä ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat niihin soveltuvaan mittaustapaan. Pinta-alaltaan melko pienten tilojen kartoittaminen onnistuu kaikilla sisätiloihin soveltuvalla mittalaitteella, mutta tilojen suurentuessa syvyyskameran kantama ja käsiskannerin vaatimat avainpiirteet tekevät maalaserkeilaimesta soveltuvimman. Suurissa (yli 150 m<sup>2</sup>) tiloissa käsiskannerin soveltuvuus riippuu tilan ominaisuuksista: piirteettömät avoimet tilat eivät sovellu käsiskannerilla mitattavaksi.

Tuottamistapojen soveltuminen kohteen mittaukseen on jaoteltu seuraavasti:

- Soveltuu parhaiten
- Soveltuu
- Soveltuu osittain
- Ei sovellu

**Taulukko 10. Tuottamistavan valinta rakennusosan mukaan**

Rakennusosa	Ominaisuudet	Maalaser-keilain	UAV-laite	Käsi-skanneri	Syvyyskamera
Vesikatto	jyrkkä	-	●●●	-	-
	loiva	●	●●●	●	-
	tasakatto	●●●	●●●	●●	-
Julkisivut	> 6 kerrosta	●●	●●●	-	-
	3-6 kerrosta	●●●	●●●	●	-
	1-3 kerrosta	●●●	●●●	●●	-
Maantasokerros ja sokkelilinjat	paljon yksityiskohtia	●●●	●	●●●	-
Parvekkeet, terassit	kooltaan pieniä	●●●	●	●●●	-
Sisätilat	> 150 m <sup>2</sup>	●●●	-	●●	-
	50-150 m <sup>2</sup>	●●●	-	●●●	●
	< 50 m <sup>2</sup>	●●●	-	●●●	●●●



### 4.2.3 Laiteyhdistelmät

Yleinen käsitys on, että tarvittaessa tarkempaa mittatietoa kohteesta, koko kohteesta on otettava mittaukset maalaserkeilaimella. Mittaukset maalaserkeilaimella vievät kuitenkin paljon aikaa ja joissain kohteissa ei ole tarkoituksenmukaista kartoittaa koko kohdetta suurella mittatarkkuudella. Monissa tapauksissa eri laitteilla eri osista tuotettu pistepilvitieto palvelee käyttötarkoitusta parhaiten. Laiteyhdistelmiä käyttäessä tulee kiinnittää huomiota siihen, että eri laitteilla tuotetut pistepilvitiedot rekisteröidään samaan tavoitekoordinaatistoon käytön helpottamiseksi. Laiteyhdistelmissä tulee myös huomioida eri laitteiden mittatarkkuudet.

Seuraavaksi on listattu asian havainnollistamiseksi kuvitteellisia tilanteita, joissa laiteyhdistelmien käyttö olisi kokonaisuudeltaan paras tapa tuottaa pistepilvitietoa inventointimallin lähtötiedoksi.

#### **Kohde 1**

Kolme kerrostaloa, joihin kaikkiin suunnitteilla julkisivukorjaukset ja yhden kerrostalon yhteyteen rakennetaan uudisrakennus.

#### **Julkisivukorjaukset**

Lähtötiedon mittatarkkuudelle ei ole suuria vaatimuksia, sillä korjauksessa tarvittavat tarkemmat mittatiedot suhteutetaan olemassa oleviin rakenteisiin

- UAV-laite

#### **Uudisrakennuksen liittymä**

Vaatii tarkkaa mittatietoa, jotta uudisrakennus saadaan mitoitettua mahdollisimman tarkasti olemassa olevaan rakennukseen

- Maalaserkeilain

**Kohde 2**

Kerrostalo, johon suunnitteilla julkisivukorjaukset ja muutoksia sisätiloihin. Kohdeesta on olemassa tarkat pohjapiirustukset, mutta osaan tiloista (n. 10-50 m<sup>2</sup>) on tehty muutoksia, joita ei ole dokumentoitu.

**Julkisivukorjaukset**

Lähtötiedon mittatarkkuudelle ei ole suuria vaatimuksia, sillä korjauksessa tarvittavat tarkemmat mittatiedot suhteutetaan olemassa oleviin rakenteisiin

- UAV-laite

**Dokumentoimattomat tilat**

Muutoksien yleisen kartoittamisen ei välttämättä tarvitse olla niin tarkkaa

- Käsiskanneri tai syvyyskamera

**Muut sisätilat**

Mittalaitteiden käyttö tarpeetonta, koska löytyy tarkat pohjapiirustukset

**Kohde 3**

Pinta-alaltaan suuri julkinen rakennus, josta ei ole pohjapiirustuksia. Kohteen sisätilat halutaan kartoittaa pääpiirteittäin eikä mittatarkkuudelle ole annettu merkittäviä vaatimuksia. Kohteessa on kolme suurta (n. 120 m<sup>2</sup>) auditoriotilaa.

**Auditoriot**

Syvyyskameran mittausetäisyys ei riitä suuren ja korkean tilan kartoittamiseen. Jos auditoriossa on käsiskannerille soveltuvia avainpiirteitä riittävästi, myös se soveltuu. Jos ei ole, maalaserkeilain on soveltuvim.

- Käsiskanneri tai maalaserkeilain

**Muut sisätilat**

Pääpiirteittäisen kartoituksen mittatarkkuudelle ei ole tässä kohteessa määritelty vaatimuksia

- Käsiskanneri

**Kohde 4**

Kerrostalokohde, jonka vesikate halutaan uusida. Ullakkotilasta halutaan kartoittaa kattotuolit ja nykyisten putkien paikat, jotta voidaan suunnitella uudet iv-putket. Ullakkotilat ovat ahtaat, mutta siellä kulkeminen on mahdollista.

**Vesikatto**

Rakennuksen korkeuden vuoksi UAV-laite on turvallisin

- UAV-laite

**Ullakkotilat**

Ahtaiden tilojen kartoittaminen maalaserkeilaimella tai syvyyskameralla olisi hankalaa monien katvealueiden vuoksi

- Käsiskanneri

## 5 POHDINTA

Tämän työn tavoite selvittää mitä pistepilvitieto on, miten sitä voidaan tuottaa sekä miksi ja mihin pistepilvitietoa voidaan käyttää, onnistui hyvin. Myös tavoite käsitellä erilaisia pistepilvitiedon tuottamistapoja mahdollisimman selkeästi onnistui. Tuottamistapojen yhdenvertainen tarkastelu tuotti toisinaan hankaluuksia useiden laitesovelluksien ja niiden nopean kehittymisen vuoksi. Havainnollistaminen taulukoin ja kohde-esimerkein kokosi opinnäytetyön tietosisällön selkeästi yhteen ja helpottaa kokonaisuuden ymmärtämistä.

Opinnäytetyössä ei ole otettu huomioon tuottamistapojen vakiintuneisuutta, koska tarkoituksena oli verrata laitteiden ominaisuuksia yhdenvertaisesti. Palvelun vakiintuneisuus ja saatavuus kuitenkin vaikuttavat paljon tuottamistavan valintaan. Maalaserkeilaimen käyttö on tällä hetkellä selkeästi vakiintuneinta, UAV-laitteen käyttö on yleistymässä nopeasti ja käsiskanneri ja syvyyskamera ovat alalla melko uusia. Suurilta osin ja täysin automatisoidut jälkikäsitellyt varmasti nopeuttavat laitteiden vakiintumista.

Pistepilvitiedon tuottamisen oleellinen osa, jälkikäsitely, rajattiin työn ulkopuolelle suuren kokonaisuuden vuoksi. Tuottamistapojen jälkikäsitelyn vertailu ja se, kuinka paljon automatisoitu jälkikäsitely rajoittaa aineiston hyödyntämistä, ovat hyvä jatkotutkimusaihe.

Työtä tehdessä oli havaittavissa, että laitteiden käyttöä kehitetään koko ajan helpommaksi, mikä varmasti lisää laitteiden ja sitä myötä myös pistepilvitiedon hyödyntämistä. Laitteiden nopea kehitys saattaa osaltaan myös vaikeuttaa niiden vakiintunutta käyttöä; kun yhden laitteen käyttöön ja hyödyntämiseen alkaa muodostua vakiintuneita käytäntöjä, markkinoille saapuu uusi edeltäjänsä parempi laite.

Työn edetessä oli havaittavissa myös se, että käsiskanneria koskevissa tutkimuksissa maalaserkeilainta pidetään jopa hieman vanhanaikaisena, vaikka sen käyttökohteet ovat tällä hetkellä laitteista monipuolisimmat. Käsiskannerit kuitenkin kehittyvät koko ajan ja tulevaisuudessa päästään varmasti siihen tilanteeseen,

että käsiskannereilla tuotetun pistepilvitiedon ominaisuudet vastaavat maalaserkeilaimella tuotettua. Syvyyskameralle soveltuvat käyttökohteet tuntuvat tällä hetkellä melko yksipuolisilta, mutta myös niitä kehitetään koko ajan eteenpäin ja voi hyvin olla, että jossain vaiheessa sen käyttökohteet ovat monipuolisempia.

Pistepilvitiedon hyödyntäminen ja tietoisuus ovat selvästi lisääntyneet tämän vuosikymmenen aikana, mutta ajatellen pistepilvitiedon hyötyjä ja mahdollisuuksia rakennusosalalla, pistepilvitiedon käyttö on vielä hyvin vähäistä ja sen käyttöä jopa hieman vieroksutaan. Se, että pistepilvitiedon hyödyntäminen on vakiintunut hitaasti, ja että teknologiat sekä laitteet kehittyvät koko ajan, herättää kysymyksen: millä saamme rakennusalan pysymään kehityksen perässä?

## LÄHTEET

Ahlavuo, M., Hyyppä H., Ylikoski, E. 2016. Digitaalista tulevaisuutta – Huippuosaamisella vaikuttavuutta ja vuorovaikutusta. Humanistinen ammattikorkeakoulu. Haettu 20.3.2019.

Geotrim / Matterport 3D. Tilaesittelyt uudella tavalla. Haettu 19.3.2019. <https://www.3d-malli.fi/>

Geotrim. Mihin SLAM-teknologia perustuu. Haettu 19.2.2019. <https://www.geotrim.fi/ratkaisuja-lennokkikartoitus/item/434-slam-teknologia>

Hirvonen, J. 2015. Rakennuksen vesikaton mittaus multikopterikuvausta käytäen. Maanmittaustekniikan tutkinto-ohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Haettu 14.2.2019. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90511/Hirvonen\\_Janne.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90511/Hirvonen_Janne.pdf?sequence=1)

Honkavaara, E., Litkey P., Rosnell, T., Zhu, L. 2016. Sisätilojen mallintaminen on pian arkipäivää. Positio 1/2016. Haettu 18.3.2019. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/224984/103MML16.pdf?sequence=1>

Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Nilomark Oy. Haettu 20.1.2019. <https://drive.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUtNTQzMDIwZTI3NDVm/view>

Jyväskylän yliopisto, 2015. Tutkimusstrategiat. Teoreettinen tutkimus. Haettu 6.4.2019. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/teoreettinen-tutkimus>

Kalliomäki, M. 2017. Kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttö betonirakenteisen asuinkerrostalon kuntotutkimuksen apuna. Rakennustekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Haettu 12.1.2019. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127808/Kalliomaki\\_Mika.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127808/Kalliomaki_Mika.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Kari, V. 2011. Laserkeilaus ja pistepilven käsittely ydinvoimarakentamisessa. Rakennustekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Haettu 10.2.2019. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26876/Kari\\_Veera.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26876/Kari_Veera.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Keitaanniemi, A. 2017. Samanaikaisesti paikantavien ja kartoittavien käsiskannerien soveltuvuus rakennuksen geometrian mallintamiseen. Aalto-yliopisto. Rakennetun ympäristön laitos. Diplomityö. Haettu 15.3.2019. [https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/29204/master\\_Keitaanniemi\\_Aino\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/29204/master_Keitaanniemi_Aino_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Korhonen, V-M. 2017. Fotogrammetria peliassettien luonnissa. Tradenomi, tietojen käsittely. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Haettu 17.2.2019. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/123576/Veli-Matti\\_Korhonen\\_Fotogrammetria\\_peliassettien\\_luonnissa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/123576/Veli-Matti_Korhonen_Fotogrammetria_peliassettien_luonnissa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetriin mittaustehtäviin. Maa-57.290. Aalto-yliopisto. Teknillinen korkeakoulu. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio. Fotogrammetrian erikoistyö. Haettu 9.2.2019. [https://foto.aalto.fi/opetus/290/julkaisut/Antero\\_Kukko/Laserkeilaimen\\_valinta\\_lahifotogrammetriin\\_mittauksiin.pdf](https://foto.aalto.fi/opetus/290/julkaisut/Antero_Kukko/Laserkeilaimen_valinta_lahifotogrammetriin_mittauksiin.pdf)

Kupila, H., Markkanen, T., Mäkinen, J., Tammi, K., Teittinen, T. 2018. Pistepilvestä virtuaalimalliksi työpolku. ProDigiOus-hanke: Osallistava Virtuaaliodellisuus – työpaja. Haettu 20.2.2019. [http://prodigious.tamk.fi/files/2018/02/scan\\_and\\_bim\\_to\\_vr\\_workflow.pdf](http://prodigious.tamk.fi/files/2018/02/scan_and_bim_to_vr_workflow.pdf)

Maanmittauslaitos. N.d. Tutkimus. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. Haettu 29.3.2019. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/tutkimustoiminta/tutkimusryhmat/paattyneet-tutkimusryhmat/koordinaattijarjestelmat-ja-0>

Maanmittauslaitos. 2018. Rakennuksen energiakulutus kuriin 3D-mallin avulla. Uutiset ja blogit. Haettu 20.1.2019. <https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohdistusta/rakennuksen-energiakulutus-kuriin-3d-mallin-avulla>

Mäenpää, S. 2019. Geotrim. Sähköpostikeskustelu.

Ostromap. N.d. Palvelut. Laserkeilaus/UAV. Haettu 20.2.2019. <https://ostromap.fi/fi/laserkeilaus-uav/>

Pekkala, J. 2015. 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmistaminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Haettu 27.2.2019. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/its\\_2015-58\\_3d-laserkeilausaineiston\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/its_2015-58_3d-laserkeilausaineiston_web.pdf)

Rajala, M. 2009. Laserkeilausmittaus ja rakennuksen inventointimalli. Tietoa Finland Oy. Haettu 28.1.2019. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090701.pdf>

Reddy, V. 2015. Understanding how depth sensing cameras work. Blogikirjoitus. Haettu 4.3.2019. Saatavilla <http://www.vivekc.com/understanding-how-depth-sensing-cameras-work/>

Savisaari, A. 2017. Pistepilviedon hyödyntäminen korjausrakennushankkeen arkkitehtisuunnittelussa. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laboratorio. Muuttuva rakennettu ympäristö. Julkaisu; vuosikerta 3. Tampereen teknillinen yliopisto. Haettu 11.12.2018. <https://tutcris.tut.fi/portal/files/10992543/Savisaari.pdf>

Tammi, K. 2015. 3D-laserskannaus korjaushankkeen lähtötietojen hankintakeinona. Rakennusalan työjohto. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Haettu 8.2.2019. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/103436/Tammi\\_Kalle.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/103436/Tammi_Kalle.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Trafi OPS M1-32, 2018. Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun. Määräys. Haettu 15.4.2019. [https://arkisto.trafi.fi/file-bank/a/1543326521/514c2766eb6f8413b2b0d71032cb4337/32598-OPS\\_M1-32\\_2018\\_fi.pdf](https://arkisto.trafi.fi/file-bank/a/1543326521/514c2766eb6f8413b2b0d71032cb4337/32598-OPS_M1-32_2018_fi.pdf)

Vinni, P. 2003. Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa – Mitä on fotogrammetria? Haettu 15.2.2019. <http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm>

Virtanen, J-P., Kurkela, M., Turppa, T., Vaaja, M., Julin, A., Kukko, A., Hyypä, H., Ahlavuo, J., Edén von Numers, M., Haggren, H., Hyypä, H. 2018. Depth camera indoor mapping for 3D virtual radio play. PHOTOGRAMMETRIC RECORD, 33(162), 171-195. <https://doi.org/10.1111/phor.12239>

Yleiset tietomallivaatimukset (YTV) 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012 osa 2 Lähtötilanteen mallinnus. BuildingSMART Finland. Haettu 26.1.2019. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_2\\_lahtotilanne.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_2_lahtotilanne.pdf)

Zhang, Z. 2012. Microsoft Kinect Sensor and Its Effect. IEEE Multimedia vol. 19 nro 2. Haettu 17.4.2019. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6190806>