



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Sami Paavilainen

# Laserkeilain työkaluna lasitusten mit- tauksissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

4.6.2020

Tekijä Otsikko	Sami Paavilainen Laserkeilain työkaluna lasitusten mittauksissa
Sivumäärä Aika	23 sivua 4.6.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Tuotteen valmistus- ja tuotannon suunnittelu
Ohjaajat	Lehtori Pekka Salonen Toimitusjohtaja Eero Virros
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä erilaisiin lasituksen mittauksissa käytettäviin mitausmenetelmiin, keskittyen yrityksen jo käytössä olevaan mittaustapaan eli rullamitta-tasolasermittaukseen ja verrata kyseistä tekniikkaa 3D-skannaustekniikkaan perustuviin laitteisiin. Tavoitteena työssä oli selvittää, olisiko Yritys X:lle kannattavaa hankkia 3D-skannauslaitetta eli laserkeilainta mittausten tueksi, ottaen huomioon mm. mittauksiin käytettävä aika, suunnittelutyön sujuvuus ja laitteiden hankintakustannukset sekä käytettävyys.</p> <p>Vertailua tehtiin rullamitta-tasolaserimenetelmän ja laserkeilainten välillä. Laserkeilaimista tarkasteluun otettiin kaksi eri mallia, mutta näiden laitteiden vertailun osalta ei keskitytty niinkään kahden eri laitteen paremmuusjärjestykseen asettelemiseen, vaan pikemminkin niitä pyrittiin käyttämään vertailukohteena nykyiseen mittausten menetelmään verraten ja tällä tavoin arvioimaan ylipäätään 3D-skannausmenetelmään perustuvan laitteiden hyötyjä ja heikkouksia.</p> <p>Voidaan päätellä, että 3D-skannauslaite olisi hyödyllinen monessakin suhteessa; se mm. nopeuttaisi mittauksia ja vähentäisi mittavirheiden riskiä. Kuitenkaan aivan yksioikoinen valinta se ei välttämättä olisi; projektien loppuun asti vieminen ei todennäköisesti tulisi olemaan merkittävästi nopeampaa kuin tällä hetkellä rullamitta-tasolaserimenetelmän avulla. Laserkeilaimen hankintahinta tulisi sijoittumaan kymmenien tuhansien ja sadantuhannen euron välille laitteen mallista riippuen. Kyseessä olisi siis melko mittava investointi, jonka perusteet tulisi olla melko painavat. Tämänhetkisten tietojen ja arvioiden perusteella investointi kyseiseen laitteeseen ei vaikuttaisi niin merkittävästi projektien etenemiseen, että siitä olisi välttämättä merkittäviä taloudellisia hyötyjä yritykselle, ainakaan lyhyellä aikavälillä. Pidemmällä aikavälillä ja mahdollisesti mittausten määrien kasvaessa laitteen hyödyt pääsisivät paremmin esille.</p>	
Avainsanat	laserkeilaus, 3D-skanneri, 2D, lidar, dwg, pistepilvi

Author Title	Sami Paavilainen Laser Scanner as a Tool for Glazing Measurements
Number of Pages Date	23 pages 4 June 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Manufacturing and Production Engineering
Instructors	Pekka Salonen, Senior Lecturer Eero Virros, CEO
<p>The purpose of the thesis is to get acquainted with laser scanning measurement methods, focusing on the measurement method already used by the company Company X. To measure with tap-cross line laser measurement and to compare this technology with devices based on 3D scanning technology are now techniques by Company X. The main goal of the work is to clarify whether it would be profitable for Company X to acquire a 3D scanning device, i.e. a laser scanner, to support the measurements, taking into account e.g. time spent on measurements, fluency in designing and equipment acquisition costs, as well as usability of the devices.</p> <p>A comparison was made between the measuring tap-cross line laser measurement method and laser scanner. Two different models of laser scanners were considered, but the comparison of these devices did not focus so much on ranking these two different devices, but rather used them as a benchmark against the current measurement method and thus assess the benefits and weaknesses of 3D scanning devices in general.</p> <p>It can be concluded that a 3D scanning device would be useful in many ways; it would for example speed up measurements and reduce the risk of measurement errors. However, it would not necessarily be a very straightforward choice; the completion of the projects is unlikely to be significantly faster than at present using measuring tap-cross line laser measurement method. The purchase price of a device based on the 3D scanning method is between tens of thousands and one hundred thousand euros, depending on the model of the device. It would therefore be a quite noteworthy investment. Based on the current information and estimates, the investment in the equipment in question would not have such a significant effect on the progress of the projects that it would necessarily bring significant financial benefits for the company, at least not in the short term. In the longer term, and possibly as the number of measurements increases, the benefits of the device would become more apparent.</p>	
Keywords	laser scanning, 3D-scanner, 2D, lidar, dwg, point cloud

## Sisällys

Sanasto	
1 Johdanto	1
2 Yritysesittely	3
3 3D-skannausmenetelmiä	4
3.1 Laserkeilaus	4
3.2 Takymetrimittaus	5
3.3 Syvyyskameramittaus	6
4 3D-skannaus ja pistepilvi	7
4.1 3D-skannaus eli laserkeilaus	7
4.2 Pistepilvi	9
5 Mittaustavat	12
5.1 Nykyinen mittaustapa	12
5.1.1 Hyödyt	13
5.1.2 Haitat	13
5.2 Laserkeilaus mittaustapana	13
5.2.1 Hyödyt	13
5.2.2 Haitat	14
6 3D-skannerien vertailu	16
6.1 Kannattaisiko laitetta hankkia Yritys X:lle?	16
6.2 Laitteen käytettävyys	17
7 Laittevertailu	18
8 Yhteenveto	21
Lähteet	24

## Sanasto

TOF	Time Of Flight. Valon kulkuaikaan perustuva mittaustapa
3D	Three-Dimensional; kolmiulotteinen
2D	Two-Dimensional; kaksiulotteinen
CAD	Computer Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
DWG	Autocad-ohjelmiston alkuperäinen tiedostomuoto.
Tähypiste	Kiintopiste, joiden avulla useita pistepilviä yhdistetään toisiinsa yhdeksi pilveksi.
Lidar	Light detection and ranging. Tarkoittaa Suomeksi laserkeilausta.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on esitellä ja vertailla erilaisia mittausmenetelmiä, joita käytetään suunnittelutyön pohjana erityisesti lasitusten mittauksissa. Kun vertaillaan erilaisia mittaustarkoitukseen käytettäviä laitteita ja käytäntöjä, on tärkeää ottaa huomioon myös asianosaisen tarpeet, etenkin kun halutaan arvioida erilaisten tekniikoiden hyödyllisyyttä ja kannattavuutta.

Tutkimuksessa tullaan käsittelemään erilaisia mittaustapoja, joista tarkempaan tarkasteluun on valikoitunut perinteinen mittausmenetelmä, joka sisältää mm. mittanauhan ja linjalaserin käyttöä ja tämän lisäksi tutkitaan myös 3D-laserkeilausmenetelmän käyttöä. Jälkimmäiseksi mainitun osalta esitellään kahta eri kyseistä mittaustekniikkaa tukevaa laitetta ja sivutaan myös näiden eroavaisuuksia. Tutkimuksessa esitellään lyhyesti erilaisia mittausmenetelmiä.

Tärkeimpänä seikkana opinnäytetyön osalta ei kuitenkaan ole niinkään perehtyä yksityiskohtaisesti eri laitteisiin ja niiden ja tekniikoihin, jotka nekin kuitenkin ovat tärkeitä seikkoja kokonaisuuden ymmärtämisen kannalta, mutta hahmottaa ja tehdä päätelmiä näiden laitteiden ja mittaustekniikoiden hyödyllisyyden ja käytännöllisyyden osalta, ottaen huomioon käyttötarkoitus ja yrityksen asettamat vaatimukset ja tarpeet.

Asiaan on perehdytty yrityksen näkökulmasta; on otettava huomioon mm. yrityksen tarpeet, resurssit ja kohteet, joissa mittauksia suoritetaan. Huomioitavien seikkojen kirjo on moninainen. Mittausvälineiden käytettävyys, henkilöstön perehtyneisyys sekä esimerkiksi ajankäytön hallinnointi ovat tärkeitä seikkoja, etenkin projektiluonteinen työ huomioon ottaen. Yritys, jonka näkökulmasta asiaan perehdytään, on espoolainen yhtiö Yritys X, jonka pääasiallisena toimialana on tolpattomien lasikaiteiden, portaiden ja lasiseinien suunnittelu ja toteutus. Yritystä ja sen toimintaa käsitellään lisää myöhemmissä luvuissa.

Pääasiallisena tarkoituksena on tutkia ja perehtyä 3D-laserkeilaimen tuomiin hyötyihin, haittoihin sekä muutamaaan laitteistoon ja laitevalmistajien ohjelmiin, joilla laserkeilaimen tuottama pistepilvi siivotaan ja rekisteröidään ennen kuin siitä saadaan tarkka 3D-mallinnusohjelmaan yhteensopiva tiedosto.

Yrityksessä on mietitty jo pidemmän aikaa laserkeilaimen hankintaa ja tässä opinnäytetyössä tutkitaan ja vertaillaan, olisiko laitteen hankinta järkevää. Onkin tärkeää punnita, voisiko laitteen hankkiminen Yritys X:lle parantaa ja mm. nopeuttaa mittausta ja poistaa inhimillisiä mittausvirheitä. Tarkoitus on vertailla laserkeilauksen ja nykyisin käytettävän mittaustavan eli rullamitta-linjalaser-mittaustavan eroja ja tällä tavoin myös miettiä, olisiko laserkeilauslaitteen hankinta yritykselle ajankohtaista tai tarpeellista.

Alun perin työssä oli tarkoitus päästä kokeilemaan laserkeilausta ja keilaamaan laitteella kohde ja tekemään pistepilvestä 3D-malli. Tätä ei kuitenkaan päästy työn aikana tekemään laajoja rajoitustoimia aiheuttaneen covid-19 -pandemian vuoksi. Opinnäytetyölle alkuperäisten suunnitelmien kannalta merkittävät tapaamiset ja laitteiden käytännön testaukset suurimmalta osin peruuntuivat taudin leviämisen estämiseksi asetettujen rajoitusten vuoksi ja tämän takia suunnitelmia työn toteuttamiseksi jouduttiin muuttamaan työn loppumetreillä. Sen vuoksi työtä lähdettiin suunnittelemaan uudestaan ja toteuttamaan tutustumalla teoriassa 3D-laserkeilaukseen, ympäristön mallintamiseen ja mittauksen tapoihin ja tekniikoihin. Laitte-esittelyt laitteen edustajien kanssa ja laitteiden mahdolliset opastukset ja lainaukset unohdettiin ja päätettiin että vertailut ja tutkimukset tehdään pääasiallisesti kirjallisuuden pohjalta.

Tekstin tarkoituksena on perehdyttää lukijaa erilaisten lasituksien mittauksissa apuna käytettäviin tekniikoihin ja eri mittaustapojen erityispiirteisiin. Näiden seikkojen avulla voidaan arvioida, olisiko 3D-skannausmenetelmän eli laserkeilausmenetelmän käyttöönotto kannattavaa Yritys X:ssä suunnittelu- ja mittaustyön helpottamiseksi, vai sopiiko nykyisin käytettävä mittanauha-linjalasermittaus yrityksen tarpeisiin edelleen paremmin.

## 2 Yritysesittely

Yritys X on vuonna 2011 perustettu pieni sisustus- ja rakennusalan yritys. Toimialaan kuuluvat pääasiassa lasikaiteet, portaat, sekä erilaiset sisustuslasit ja lasiovet. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2019 n. 0,7 M€. Yrityksessä työskentelee kirjoitushetkellä kolme työntekijää, toimitusjohtaja/myyjä, suunnittelija ja talous-/monitoimihenkilö. Lasikaiteissa toiminta on keskittynyt tolpatomiin lasikaiteisiin, lasiseiniin, oviin ja erilaisiin porrasmalleihin, joita on kirjoitushetkellä neljä kappaletta. Yritys X:lla ei ole omaa tuotantoa, vaan kaikki kaiteiden ja portaiden osat teetätetään alihankkijoilla. Yritys X tekee ja vastaa itse kaikesta lasikaiteisiin, lasitusratkaisuihin sekä portaisiin liittyvästä suunnittelutyöstä.

Yrityksen tuotteista on saatavilla räätälöityjä malleja ja yleensä kaikki tuotteet ovatkin kohteeseen sopivaksi toteutettuja mittatilauksena tehtyjä malleja. Kun kaupat ovat syntyneet asiakkaan kanssa suunnittelija sopii asiakkaan kanssa mittauskäynnin kohteessa, jossa katsotaan kaikki positiot läpi ja sovitaan toteutus. Tämän jälkeen suunnittelija mittoittaa positiot ja suunnittelee 3D-mallinnusohjelmalla ratkaisut. Yritys käyttää 3D-mallintamiseen Trimble Inc:in SketchUp ohjelmistoa. Ohjelma on hyväksi todettu yrityksen käyttötarpeisiin.

Toimitukset myydään yleensä asennuksen kanssa tai materiaalitoimituksena asiakkaalle, jolloin asiakas itse asentaa toimituksen Yritys X:n laatimilla asennusohjeilla. Yritys X ostaa asennukset alihankintana aikaisemmin yrityksen palkkalistoilla olleilta asentajilta, jotka perustivat vuonna 2017 oman rakennusalan yrityksen.

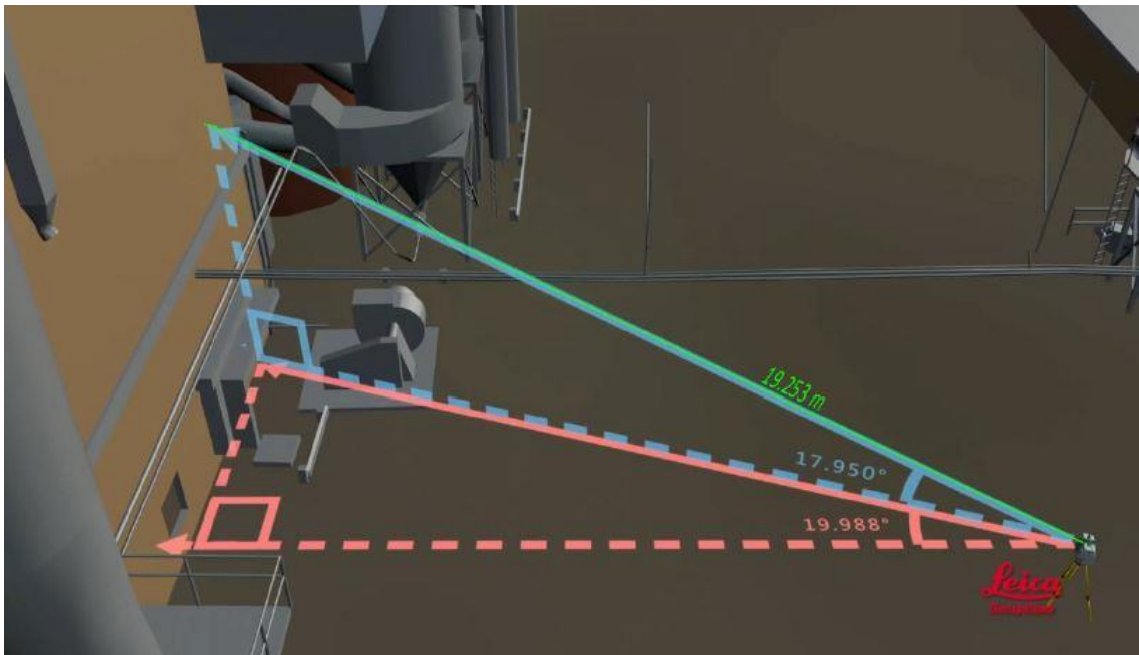


### 3 3D-skannausmenetelmiä

3D-skannausmenetelmät voidaan karkeasti jakaa kahteen pääryhmään: koskettaviin eli kontaktiskannereihin ja ei-koskettaviin eli kontaktittomiin skannereihin (Santaluoto, Olli. 2012). Tässä työssä esitellään lyhyesti ei-koskettavia skannausmenetelmiä, koska aiemmin tiedetään jo, etteivät ei-koskettavat skannerit ole hyvä vaihtoehto tämän yrityksen projekteihin käytettäviksi mittauslaitteiksi.

#### 3.1 Laserkeilaus

Laserkeilain eli Englannin kielessä LIDAR on nopea mittauslaite, joka mittaa lasersäteiden avulla etäisyyksiä tietyllä aallonpituudella, joita ihminen ei näe. Menetelmä tuottaa pistepistepilviä miljoonista eri pisteistä kolmiulotteisessa avaruudessa. Mittausperiaate ja laitteen rekisteröimä data on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. Laserkeilaimen toimintaperiaate (Leica Geosystems, 2012)

### 3.2 Takymetrimittaus

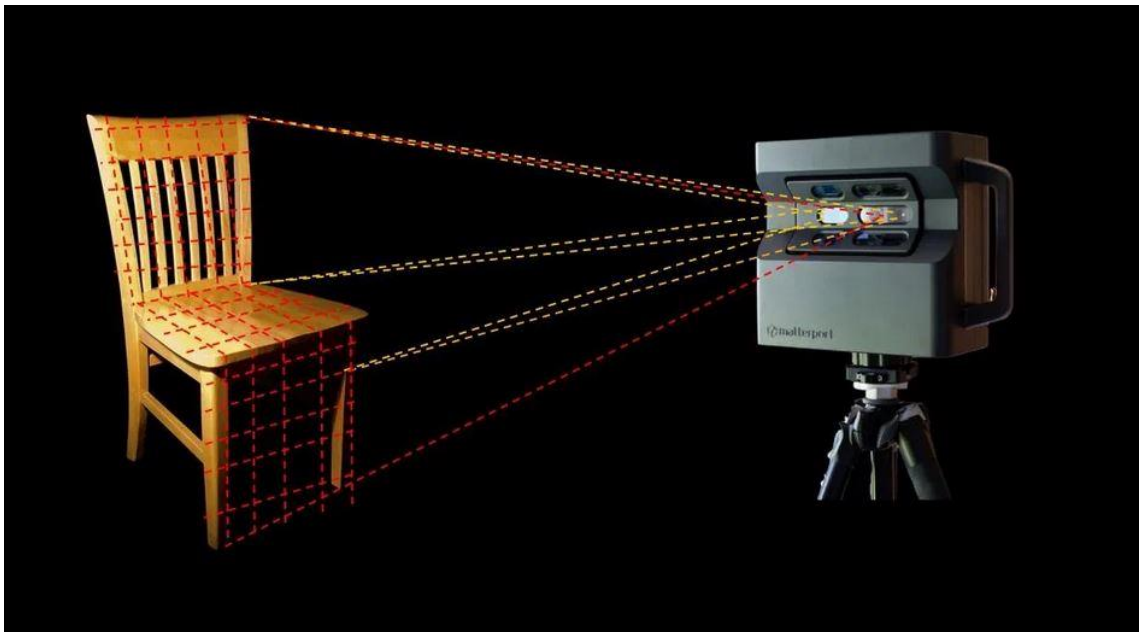
Takymetrilla tehdään mittaus määritellyistä pisteistä. Sillä mitataan säteittäisesti eli polaarisesti pisteiden sijainteja kojeeseen nähden. Pisteistä muodostuu samassa koordinaatistossa olevia pisteitä, viivoja ja symboleja. Menetelmää käytetään piha-alueiden kartoitukseen ja täydentämään laserkeilausmittauksia (RT 10-11067. 2012.). Yhdessä takymetrin kanssa käytetään usein maastotallenninta ja kartoitussauvaa (kuva 2.). Kartoitussauvan päähän asetetaan prisma johon takymetri lähettää infrapunäsäteen ja se heijastuu prismasta takaisin kojeeseen. Laite mittaa signaalista vaihe-eron ja sen avulla se laskee pisteiden välisen etäisyyden (Laurila, Pasi. 2012.).



Kuva 2. Takymetri kiinnitettynä kolmijalan päälle, maastotallennin ja kartoitussauvan päässä kartoitusprisma (8).

### 3.3 Syvyyskameramittaus

Menetelmä tuottaa pistepilveä, joka muodostuu miljoonista kolmiulotteisen avaruuden pisteistä. Laitteella saadaan otettu myös valokuvat tilasta, joista saadaan 3D-tilanäkymä värillisenä. Kameran eivät ole niin mittatarkkoja kuin laserkeilaimet, puhutaan senttimetreistä, kun taas laserkeilaimissa millimetreistä. Syvyyskameran hankintahinta on noin kymmenesosa laserkeilaimen hinnasta, ja tämä houkuttelee monia laitteen hankkimiseen. Laitte soveltuu eri käyttötarkoitukseen kuin laserkeilain. Laitteen käyttö ulkona on hankalaa, koska auringon valon ja laitteen lähetetyn valokuvio ovat samalla aallonpituudella. Näitä käytetään esimerkiksi kiinteistövälittäjien kohteiden kuvaamiseen. Kuvassa 3 on yksinkertaistettu piirros kohteeseen heijastetusta kuvioista (Keitaanniemi, Aino. 2019).



Kuva 3. Punaiset katkoviivat kuvastavat lähetettyä valokuviota, jota Matterport Pro 2 3D-kamera havainnoi sensorilla ja kameralla (oranssit katkoviivat) (Geotrim, Inc. 2020.).

## 4 3D-skannaus ja pistepilvi

### 4.1 3D-skannaus eli laserkeilaus

3D-laserskannauksessa voidaan puhua tietyn valon aallonpituuden hyödyntämisestä kuvattavassa ympäristössä. Valo peilataan kuvattavaan kohteeseen, josta se heijastuu takaisin itse kuvauslaitteeseen. Laserkeilain laskee etäisyyden millimetritarkkuudella analysoimalla lähtevän ja palaavan signaalin vaihe-eroa. Tästä voidaankin karkeasti todeta, että 3D-laserskannaus perustuu samaan peruseriaatteeseen kuin normaali digi- tai järjestelmäkameran perustekniikka. Näissä kameroissakin kuvattavasta kohteesta heijastuva valo kulkee optiikan läpi, jossa itse laite muodostaa kuvattavasta kohteesta valokuvan. Tosin, itse digitaalikamera ei lähetä aktiivisesti mitään valonlähdettä kuvattavaan kohteeseen, vaan digitaalikamera hyödyntää ympäröivää valaistusta sekä luonnonvalon heijastumista erilaisilta pinnoilta (Santaluoto, Olli. 2012. s. 2-4) (Jääskeläinen, Ari. 2011.).

Keilauksesta syntyy pistepilvi, jossa on kohteen tarkat tiedot. Laite tallentaa miljoonista pisteistä eli lasersäteiden osumista kolmiulotteisen mallin, jossa jokaisella pisteellä on omat x-, y- ja z-koordinaatit. Mallia voi jatkokäsittelyohjelmalla siivota tai käyttää sellaisenaan ja tämän jälkeen siitä voi tehdä tietokoneella 3D-mallin, dwg-kuvat tai jonkin muun digitaalisen suunnitteluaineiston (Atlastica. 2020).

Niillä voidaan mitata hyvin lähellä olevia kohteita ja myös hyvin pitkällekin. Niillä voidaan tallentaa ympäristöstä hyvin tarkkoja kolmiulotteisia pisteistöjä ja niillä voi kerätä kolmiulotteisia pistetietoja lähes millaisesta ympäristöstä tahansa. Keilattavasta kohteesta saatava pistedata kuvaa niin rakennuksien, maaston kuin kasvillisuudenkin yksityiskoh- tia millimetritarkkuudella (Tähtinen, Suvi. 2015.).

Laitteissa on usein myös kamera, jolla pystytään valokuvaan kohde ja silloin pystytään näkemään, jälkeenpäin millainen kohde on ollut oikeasti. Laserkeilausta käytetään myös hyödyksi autonomisten autojen toiminnassa ja pelinkehitysympäristöissä. Amerikassa New Mexicon piirikunnassa poliisi käyttää tutkimuksissa laserkeilausta rikoksien ja onnettomuuksien dokumentoinnissa. (US police deploy 3D scanner to capture accidents

and crime scenes. 2014). Kuvassa 4 näkyy mitattu silta valokuvana, jonka päälle on sovitettu pistepilvi sillasta.

Nykyään keilaimia on olemassa sekä analogisia että digitaalisia. Analogisilla saadaan yksi tai useampi mittaustulos lähtevää pulssia kohden. Täyden aallon muodon eli palautuvan signaalin täyden aallonmuodon analysointi tekniikassa, jossa palautuva laserkaipun muoto digitoidaan ja skannerin sisällä on kymmenien tuhansien kaiunmuodon muodostama kirjasto. Se vertaa palautuvaan signaalin kaikua kirjastoon, että mikä kohta kirjastossa vastaa parhaiten sitä ja siitä sitten kirjasto määrittää laskenta algoritmillä, että mistä kohtaa kaiku otetaan. Tällä poistetaan se, että materiaalin värillä, kovuudella eikä kohtauskulmalla ole mitään merkitystä toisinkuin analogisilla keilaimilla. Tämä lasketaan aina eri tavalla riippuen siitä minkä muotoisena kaiku tulee sieltä takaisinpäin. Näin ei tarvita toistomittauksia tehdä vaan, kun se kerran mitataan, niin tarkkuus tulee siitä suoraan (Nordic Geo Center Oy, 2020).

Uusimmissa laitteissa aineistoa voidaan tiedonsiirtoyhteyksien avulla laittaa siirtymään pilvipalveluihin prosessoitavaksi keilauksen aikana tai sen jälkeen. Tällä säästää työaikaa, kun mittaja siirtyy työmaalta toimistolle (RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, 2020).



**Kuva 4. Laserkeilauksella saatu pistepilvi suhteutettuna todelliseen kohteeseensa**

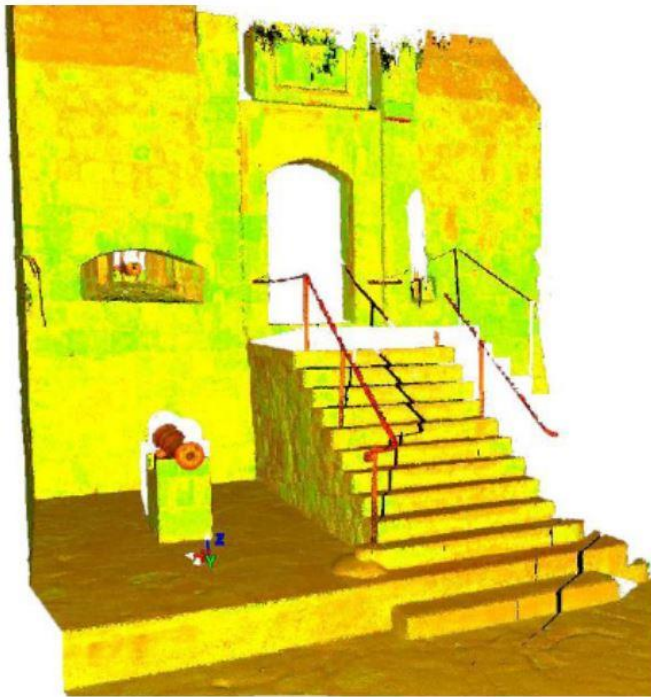
Riippuen siitä millainen kohde on, mittaaja päättää tarvitaanko kohteesta useita mittauspisteitä, kojeasemia. Tällöin laitetta siirretään ja skannaus tehdään uudesta mittauspisteestä, jottei kohteeseen jää katvealueita ja kaikki tarvittava saadaan mitattua. Laserkeilain tallentaa kaikki havaitut pisteet omaan sisäiseen koordinaatistoonsa. Jos pistepilvet halutaan siirtää tiettyyn koordinaattijärjestelmään, niin apuna täytyy käyttää takymetri-mittausta ja tähyspisteitä, paitsi kalliimmissa keilaimissa tätä ei tarvitse tehdä (Koski, Jarkko. 2001.).

#### 4.2 Pistepilvi

Laserkeilaus tallentaa isot kohteet mittatarkasti digitaaliseen muotoon pistepilveksi, jonka jälkeen se täytyy jälki käsitellä (rekonstruktoida) ja tallentaa sellaiseen tiedostomuotoon, jota käytettävä 3D-mallinnusohjelma tukee. Pistepilvestä voidaan tuottaa esimerkiksi rakennuksen 2D-pohjapiirustuksia ja 3D-pintamalleja, jotka ovat geometrisia CAD-malleja. Pistepilven tiheyttä voi säätää laitteesta ennen keilauksen aloittamista. Mitä tiheämpää pistepilvestä saa sen tarkempi tulos syntyy ja näin on helpompi mallintaa esim. putkistoja tai pintojen reunoja (Järvinen, Jaakko. 2007.).

Laserkeilaimella tuotettua pistepilveä voidaan käsitellä erilaisilla ohjelmilla. Ohjelmien avulla skannattua materiaalia voidaan prosessoida, rekisteröidä, käsitellä ja siirtää haluttuun koordinaatistoon. Yleensä joka laitteen valmistajalla on omat ohjelmansa, jotka käyttävät omaa tiedostomuotoa ja ovat näin yhteensopivia oman laitteen tuottamaan pistepilven dataan. Joitain tiedostoja voi käyttää eri ohjelmilla ristiin tai muuttaa tiedostomuodot eri ohjelmiin sopiviksi. Jokaisella laserskannerivalmistajalla on myös omat ohjelmistonsa pistepilvien käsittelyyn. Näitä ovat esimerkiksi Leican Cyclone, Trimblen RealWorks ja FAROn Scene (3D Laser Scanning Technology; 12, s. 21.).

Kuvassa 5. näkyy rakennuksen sisääntulo laserkeilattuna yhdestä asemasta, valkealla näkyy kohdat, joita keilain ei nähnyt yhdestä asemasta keilattuna. Tämän takia on tärkeää skannata kohde useasta asemasta.



**Kuva 5. Laserkeilaimen tuottama pistepilvi rakennuksen sisääntulosta yhdestä asemasta keilattuna.**

Aluksi pistepilveä täytyy siivota ja siitä poistetaan ylimääräisiä pisteitä, joiden tietoa ei tarvita sekä pistepilvestä poistetaan kohinaa. Kaikki ylimääräinen pistetieto hankaloittaa pistepilven käsittelyä ja se myös kasvattaa tiedostokokoa. Jos kohdetta on skannattu useammasta asemapistestä, täytyy pistepilvet yhdistää yhdeksi kokonaiseksi kohdetta

kuvaavaksi pistepilvikokonaisuudeksi, jolloin katvealueita ei ole. Tätä kutsutaan pistepilvien rekisteröimiseksi. Pistepilvien rekisteröintiin tulee suhtautua vakavasti ja se on suoritettava huolellisesti, sillä tässä vaiheessa tehdyt virheet vaikuttavat suuresti lopputuloksen tarkkuuteen (6. Joala, Vahur. 2006.). Rekisteröinti tapahtuu usein pistepilvien yhteisten tähysten tai vastinpisteiden avulla, jotka voidaan osoittaa manuaalisesti pistepilvestä tai ohjelma voi tunnistaa ne automaattisesti. Pistepilvi voidaan georeferoida eli kiinnittää haluttuun koordinaatistoon samojen tähysten avulla. Tämä vaatii tähysten sijainnin tarkkaa määrittämistä esimerkiksi takymetrimittauksen avulla. Nykyään uudet laitteet tekevät tämän ilman erillisiä tähyksiä (Ilvonen, Katri. 2008. s. 22—23.) (Kärkkäinen, Tapio. 2020. Geotrim Oy).

Kun pistepilvet on siivottu ja käsitelty pistepilvenkäsittelyohjelmistolla ja tehty muut tarvittavat toimenpiteet, voidaan data siirtää suunnitteluohjelmistoihin ja aloittaa jatkokäsittely esimerkiksi kaiteiden suunnittelu kuvattuun kohteeseen tai käyttää dataa hyväksi sellaisenaan.



## 5 Mittaustavat

Menetelmänä ja mittaustyökaluna laserkeilaus on nopeampi kuin perinteinen mittanauhalla, laseretäisyysmittarilla ja linjalaserilla mittaaminen ja sen tuottama pistepilvi on mittatarkkaa. Samalla kertaa, kun kohdetta skannataan, saadaan siltä kohtaa skannerin ympäriltä muutakin mittatietoja kuin vain kuvattava kohde. On hyvä ottaa huomioon, että laserkeilain ei keskity vain edessä olevaan kohteeseen, vaan kuvaa 360° ympäriltään, jolloin myös seinät, aukot, tasot ja muut osat ympäristöstä saadaan skannattua samalla kertaa.

Manuaalisessa mittauksessa mittaa täytyy tulkita ja mukana on aina inhimillinen tekijä, ihminen, jolloin mittausvirheen todennäköisyys kasvaa. Tällöin mallikaan ei ole täysin mittatarkka. Laserkeilaamisella vältetään manuaalinen mittaaminen sekä mallintaminen, koska mallit tehdään automaattisesti pistepilven pohjalta (Väätäinen, Eemeli. 2019.).

### 5.1 Nykyinen mittaustapa

Mittaukset suoritetaan rullamitan, laseretäisyysmittarin ja tasolaserin avulla. Kohde mitataan em. mittatyökalujen avulla ja mitat kirjataan ylös puhelimella otettuihin kuviin tai kirjoitetaan ja piirretään kynällä paperille. Mittauskohteista ja sen ympäristöstä otetaan työmaalla valokuvia ja niihin voidaan kirjoittaa muistiin asioita, jotka ovat tärkeitä ottaa huomioon suunnittelussa, ja ne helpottavat myös muistamaan asioita kohteesta ja sen yksityiskohdista jälkeenpäin. Laitteistoina käytetään Bosch GLL 3-50 tasolaseria ja Hilti PM 2-LG tasolaseria, joiden mittaustarkkuus on  $\pm 0,3$  mm/m. Laseretäisyysmittarina käytetään Bosch GLM 100 C Professional mittalaitetta, jonka mittaustarkkuus on  $\pm 1,5$  mm ja jonka mitta-alueena on 0,05 - 100 m. Tasolaserin kolmijalka ja mahdolliset pitkä suorakulmat ja muut mitta-apulaitteet kulkevat mittaajan mukana kohteiden mittauskäyneillä. Nykyiset laitteet kulkevat hyvin mittaajan mukana mittauskeikalla tavanomaisessa työkalupakissa, joka mahtuu esimerkiksi henkilöauton jalkatilaan.

### 5.1.1 Hyödyt

Tietyissä kohteissa nykyinen mittaustapa on hyvin helppo ja nopea tapa suorittaa. Mittanauhan ja tasolaserien käyttäminen on helppoa, kunhan mittaaja tietää mitä tekee. Laitteet ovat sopivan kokoisia käyttää ja kantaa mukanaan. Laitteiden paristoiden ja akkujen kesto ovat sopivat ja täytenä niitä voidaan käyttää useammankin kohteen mittauksiin. Laitteiden käyttäminen on myöskin edullista. Nykyisten laitteiden mittaustarkkuus on tarpeeksi hyvä yrityksen suunnittelujen tarpeisiin.

### 5.1.2 Haitat

Varsinkin kun mittaamiseen käytetään useampaa eri laitetta niin niiden lukemiseen ja tulkittamiseen liittyy virheitä. Ja kun ihminen tekee ne, siinä on aina inhimillinen tekijä. Mittauksissa voi joskus tulla epävarmuus mittojen pitämisestä tai luottamisen puuttuminen mittaajaan itseensä tai mittalaitteeseen. Hankalan kohteen mittaamisessa täytyy muistaa ottaa mitat kaikista mahdollisista kohdista, jotka mahdollisesti vaikuttavat myöhemmin suunnitteluun. Iso vaikuttava haitta on yhden tai useamman suunnittelun kannalta tärkeän mitan puuttuminen, jolloin työmaalle täytyy lähteä mittaamaan uudestaan ja tästä syntyy ylimääräisiä kustannuksia. Mittaustuloksiin voi vaikuttaa mittalaitteiden toleranssit sekä mittaajan näköaisti ja huolellisuus. Myös mittaajan kirjoitusvirheet tai yksinkertaisesti mitan väärin lukeminen ovat haittoja mitä mitattaessa voi tapahtua.

## 5.2 Laserkeilaus mittaustapana

### 5.2.1 Hyödyt

Laitteen nopeus on isossa roolissa ja kohteesta saatavat muut tiedot ympäristöstä samalla kertaa, kun kohdetta on skannattu. Ympäristöstä ei pitäisi jäädä ottamatta mitään mittoja, jos mittaaja on mitannut kohteen useasta eri kojeasemasta tähypisteiden kanssa. Halvemmilla keilaimilla täytyy käyttää tähypisteitä, mutta uusimmissa ja kalteimmissa malleissa erillisiä tähypisteitä ei tarvita ja näin mittaaminen nopeutuu. Hyötyinä on myös mittaustarkkuus, joillakin laitteilla voidaan kohdetta mitata jopa 300 metrin päästä alle 5 mm:n tarkkuudella. Laitteella voi myös mitata kohteita, joita on hankala tai vaarallista mitata perinteisin menetelmin ja näin laserkeilain tuo lisää työturvallisuutta.

Useimpia keilaimia on myös mahdollista käyttää julkisilla paikoilla turvallisen laserluokituksen takia.

Jos laserkeilausta suoritettaisiin esimerkiksi tuotantolaitoksessa, niin mittauksen ajaksi tuotantoa siellä ei tarvitsisi pysäyttää keilauksen ajaksi. Mittaustapa on myös asiakasystävällinen, koska mittaus kestää vain muutamia minuutteja ja näin ollen asiakkaan tai muiden urakoitsijoiden ei tarvitse olla kauan pois tilasta, jota mitataan. Mittaustapa on kattava, koska laite näkee yhdellä keilauksella 360° ympärilleen. Tällöin voidaan suunnitella samaan tilaan jälkeempään jotain muuta ilman että täytyy käydä erikseen työmaalla uudelleen mittaamassa sama paikka.

Laitteen tuomia hyötyjä on myös unohdettujen mittojen saaminen pistepilvestä myöhemmin ilman, että tarvitsee käydä työmaalla erikseen mittaamassa. Tai jonkin muun asian tarkistaminen jälkeempään. Yksi mittauskerta palvelee monia käyttötarpeita esimerkiksi samasta keilatusta aineistosta voi hyötyä työmaalla toinen urakoitsija. Näiden asioiden takia on mahdollista, että suunnittelun laatu ja tehokkuus kasvavat ja näin tuo etuja liiketoiminnalle.

Keilaus on kustannustehokasta sen nopeuden takia, mutta hyöty menetetään pistepilven käsittelyyn käytetyllä ajalla.

Laserkeilaamalla saadaan iso hyöty esimerkiksi suuren teollisuuslaitoksen mittauksissa koska siellä voi olla paljon esimerkiksi putkistoja ja laitteita yms., joiden sijainnit ja muodot saadaan nopeasti keilaamalla (Kärkkäinen, Tapio. 2020).

### 5.2.2 Haitat

Laitteen käyttäminen aluksi on hidasta, kunnes käyttäjä oppii laitteen käyttämisen ja pistepilven datan käsittelyn ja ohjelmiston käytön. Valaistus täytyy olla tasainen mittauksen aikana ja suoraa auringonvaloa täytyy välttää, koska se voi häiritä keilainta. Pinnat, jotka peilaavat saattavat vääristää mittaustulosta koska lasersäde taittuu siitä eri lailla takaisin keilaimeen eli lasi, peilit ja vesi ja muut kiiltävät pinnat voivat väärentää mittaustulosta. Myös märät pinnat ovat haittoina keilauksessa, koska pinnat ovat peilaavat ja silloin mit-

taustulos voi olla väärää. Laitteet ja ohjelmistot ovat todella arvokkaita ja niiden hankintahinnat ovat haittoja. Pistepilven käsittelyohjelmiston käyttämisen opettelu ja ymmärtäminen ovat hidasta. Eri ohjelmien ja 3D-mallinnusohjelmien yhteensopivuus ja tiedostomuodot saattavat mennä sekaisin eikä kaikki ole yhteensopivia keskenään.

## 6 3D-skannerien vertailu

### 6.1 Kannattaisiko laitetta hankkia Yritys X:lle?

Kun arvioidaan sitä, kannattaisiko laserkeilausmenetelmään perustuvaa laitetta hankkia käytettäväksi Yritys X:n käyttöön mittausten tekemisen tueksi, tulee ottaa huomioon lukuisia seikkoja. Huomioon tulee ottaa laitteen hankinnan hyödyllisyyttä punnittaessa mm. ajankäyttöön, tehokkuuteen ja laitteen käytettävyyteen liittyvät tekijät. Näitä seikkoja verrataan tällä hetkellä käytössä olevaan mittaustekniikkaan eli mittanauha- ja linjalasermittaukseen ja tähän liittyviin keinoihin. Tuleekin pohtia sitä, tulisiko laserkeilauslaitteen mahdollinen käyttöönotto olemaan esimerkiksi taloudellisesti kannattavaa pidemmällä aikavälillä huomioon ottaen esimerkiksi laitteen hankintakustannukset.

Laserkeilaimen hankintaa yritykseen on harkittu usean vuoden ajan, mutta sitä on lykätty laitteiden korkeiden hintojen takia, eikä asiaan ole perehdytty sen paremmin. Näin ollen on jäänyt tarkemmin ottamatta selvää siitä, että olisiko laitteen hankinnasta oikeasti tarpeeksi hyötyä.

Yksi laserkeilaus kestää keskimäärin 0,5-8 minuuttia riippuen kohteen monimutkaisuudesta ja koosta ja niitä tehdään kohteesta riippuen yksi tai useampi. Pistepilvissä on niin suuri määrä dataa, että tiedostokoossa puhutaan useista gigatavuista per kohde. Tiedostojen siirtoon ja pistepilven käsittelyyn saattaa kulua aikaa noin 1-3 tuntia pienissä kohteissa ja kokoneelta käyttäjältä. Pistepilvenkäsitteluohjelmien hinnat saattavat nousta lähemmäs 100 000 € jos ne sisältävät kaikki saatavilla olevat parhaat ominaisuudet.

Virtasen (2015: 37-39) mukaan 100 pistepilven avaaminen kestäisi RealWorksilla (Trimble) 2:48 tuntia ja Cyclonella (Leica) 4:13 tuntia. Pistepilven rekisteröinti kestää noin 1 minuutin, riippuen miten paljon pistepilviä on ja miten paljon niissä on dataa. Lataaminen eri tiedostoformaattiin e57 ja PTS noin 1-10 minuuttia. Yhden noin 10 neliömetrin huoneen mittaus laserkeilaimella kestää noin 1 h, koska mittausta täytyy suunnitella paikan päällä huolellisesti ja keilauksia saattaa joutua tekemään useasta kojeasemasta. Ajallisesti verrattuna työn kesto on hyvin lähellä samaa kuin nykyisellä mittaustavalla mitattaessa. Pistepilven käsittelyyn menevällä ajalla hävitään laserkeilauksen nopeamittaus ja näin ollen nykyinen mittaustapa ja laserkeilaus ja pistepilven käsittelyyn menevä aika

ovat hyvin lähellä samaa, voi olla, että jopa pidempi aika menee pistepilven käsittelyyn ennen kuin päästää 3D-mallintamaan.

Pistepilven muokkausohjelmissa on eroja ja mikään ohjelma ei sovi täydellisesti kaikkiin tarkoituksiin. Ennen investointia täytyy hyvin perehtyä eri valmistajien ohjelmiin, että millaiseen työntekoon sitä tullaan käyttämään ja onko se hyvä siihen sekä onko siinä riittävät ominaisuudet mitä työn tekoon tarvitaan. Huomioon täytyy myös ottaa missä ohjelmassa pistepilveä jatko käytetään sekä ohjelmistoa käyttävän tietokoneen tarvittavat laitteistovaatimukset.

Mikäli mittauksia olisi tulevaisuudessa niin paljon, että tehtävään voisi palkata jopa yhden työntekijän tekemään pelkästään mittauksia laserkeilaimella, niin tämän henkilön ei tarvitsisi olla koulutukseltaan insinööritasoa.

## 6.2 Laitteen käytettävyys

Laserkeilaimet ovat käytettävyydeltään hyviä ja nopeita. Niissä on selkeät kosketusnäytöt ja uusimpia laitteita voidaan käyttää etänä tableteilla ja älypuhelimilla. Näin ollen uuden käyttäjän perehdyttämiseen ei mene paljoa aikaa. Laitteen käytöstä täytyy tietää mitä sillä voidaan tehdä ja mitä laitteen ominaisuuksia muuttamalla tapahtuu ja miten se vaikuttaa pistepilveen. Keilaimia on kätevä kuljettaa mukana omissa suojasalkuissaan, kun laitteet painavat muutamasta kilosta kymmeneen kiloon ja ne ovat pienikokoisia. Ajankäytöllisesti itse keilaus vie aikaa muutamia minuutteja, mutta mittauksissa täytyy olla huolellinen ja miettiä kohdetta skannatessa, että mitään ei jää kuvaamatta.

## 7 Laitevertailu

Vertailuun valittiin kaksi eri valmistajan laitetta, jotka valittiin valmistajien sivuilta vertailemalla mihin käyttöön ne olisivat sopivat. Laitteiden käyttötarkoituksista etsittiin myös tietoa erilaisista artikkeleista ja muista vastaavista opinnäyte- ja diplomitöistä. Laserkeilain on kallis laite ja niiden hinnat vaihtelevat ~30 000 € ja ~100 000 € välillä. Yhtenä valintakriteerinä oli mittaustarkkuus läheltä mitattuna. Taulukossa 1. näkyy vertailtavien laitteiden teknisiä tietoja. Yksi seikka mikä tutkimusta tehdessä kävi ilmi, oli laitevalmistajien ilmoittamien absoluuttisten mittaustarkkuuksien ja toistotarkkuuksien epäselvyys. Laitteiden teknisissä tiedoissa oli ilmoitettu toistotarkkuus mikä ei ole sama asia kuin absoluuttinen mittaustarkkuus.

**Taulukko 1. Laitteiden tekniset tiedot (Faro Technologies, Inc. ja Trimble Inc.).**

Valmistaja/malli	Faro Focus S-70	Trimble TX6
Mittausetäisyys [m]	0,6-70	0,6-80
Mittaustarkkuus 10 m matkalla [mm]	1	2
Mittaustapa	vaihe-eroon perustuva	valon kulku-aikaan perustuva
Keilausnopeus [piste/s]	976 000	500 000
Näkökenttä [°]	300/360	317/360
Suojausluokitus [IP]	54	54
Käyttölämpötila [C]	-22-55	0-40
Laser luokka	1	1
Akun kesto [h]	4,5	2
Paino akun kanssa [kg]	4,2	11,1
Koko [mm]	230x183x103	335x338x242
Hinta	~35 000€	~45 000€

Laitteen ei tarvitse pystyä mittaamaan satojen metrien päästä, koska mittaukset, joita laitteella tehtäisiin, olisi pääosin omakotitalojen sisätiloissa tai talon ulkopuolella olevia terasseja ja portaita. Mittausnopeus on totta kai tärkeä ominaisuus, kun puhutaan tyotehokkuudesta, mutta siihen ei kiinnitetty paljon huomiota, koska nykypäivän laitteiden tiedettiin olevan nopeita. Laitevalinnoissa otettiin huomioon myös, että Suomessa olisi laitteen maahantuonti ja huolto sekä että laitetta voitaisiin käyttää ulkonakin. Laitteiden edustajilta on mahdollista saada demo kohteen skannauksesta valmiiseen 3D-malliin ja tätä pääsee silloin itse kokeilemaan ja näkemään mihin laitteella pystyy ja näin auttaa investoinnin päätöksessä. Tämä kannattaa myös ehdottomasti tehdä, koska kyseessä

on todella iso investointi. Kalleimmissa laitteissa tarkkuus ja nopeus nousevat esiin, yhden skannauksen voi tehdä jopa ~12 sekunnissa. Ne voivat liittää kaksi asemaa toisiinsa automaattisesti skannauksen aikana eikä tähyksiä tarvita. Niissä voi olla myös aineistot valmiina yhdessä eikä pistepilvien rekisteröintiä tarvitse tehdä ja näin ollen säästetään aikaa pc-työskentelyssä. Paremmissa laitteissa on inertia laitteen sisällä, jolloin laitetta ei tarvitse tasata mitenkään ja kaikki pistepilvet, jotka on skannattu ovat vaakatasossa, vaikka skanneri olisi ollut vinossa tai ylösalaisin (RIEGL Laser Measurement Systems GmbH. 2020.).

Laitteen hankinnan lisäksi täytyy ottaa huomioon, että itse ohjelma, jolla pistepilveä käsitellään, täytyy hankkia vielä erikseen. Ohjelmien hinnat ovat 2000 € ja 100 000 € väliltä ominaisuuksien mukaan. Ohjelmia saa myös kevyinä ilmaisversioina. Laadukkaat ja tarkkuutta vaativiin ja muutenkin ammattikäyttöön suositeltavien ohjelmien hinnat ovat 10 000 – 30 000 € välillä, joissa on jo hyvää automaatiota ja mahdollisuus käyttäjän antaa joitain parametrejäkin (Immonen, Kari. 2020.) (RIEGL Laser Measurement Systems GmbH. 2020.).

Laitteiksi valittiin kuvassa 6. näkyvä yhdysvaltalaisen valmistajan Faron S-70-malli.



Kuva 6. Faro Focus S-70 laserkeilain. (Faro Technologies, Inc. 2020)



Toiseksi laitteeksi vertailuun valittiin Yhdysvaltalaisen Trimblen TX6-malli (kuva 7.) jota maahantuo ja jälleenmyy Suomessa Geotrim Oy. He järjestävät laitteiden ja ohjelmien koulutusta Suomessa sekä heiltä saa myös tuki ja huoltopalvelut (Immonen, Kari. 2020.).



Kuva 7. Trimble TX6-laserkeilain (Trimble, Inc. 2020.).

## 8 Yhteenveto

Opinnäytetyöhön asetettiin aluksi tiukka aikataulu, vaikka tiedettiin että kyseessä oli haastava projekti, koska tutkimuksen tekijällä ei ollut juuri ollenkaan kokemusta eikä tietoa laserskannereista eikä pistepilven käsittelyprosessista. Tiedossa oli, että datan käsittelyyn menee moninkertaisesti pidempi aika kuin itse skannaukseen.

Työn tarkoituksena oli tutkia eri mittaustapojen etuja ja haittoja erityisesti lasitusten mittauksissa ottaen huomioon työn luonne, yrityksen tarpeet ja resurssit sekä suunnittelu-työn sujuvuus.

Nykyisin Yritys X:n käytössä oleva mittaustapa on rullamitta-tasolasermenetelmä. Tätä menetelmää on siis käytännössä hyödynnetty paljon ja tämän vastineeksi opinnäytetyön pääasiallisena aiheena oli vertailla tämän menetelmän eroavaisuuksia, heikkouksia ja vahvuuksia laitteella suoritettavaan 3D-skannausmenetelmän käyttöön. Toisin kuin rullamitta-tasolasermenetelmän osalta, 3D-skannausmenetelmää ei päästy yrityksessä käytännössä testaamaan, vaan asiaa tutkittiin teoreettisesti tutustuen mm. erilaisiin laitteisiin ja niiden ominaisuuksiin ja arvioiden näiden käytettävyyttä myöskin tosiasiallisesti. Tutkimuksessa käytettiin myös laite-edustajia puhelinhaastattelujen pohjalta.

Kun erilaisia ominaisuuksia mittaustekniikoiden ja kahden erilaisen laserkeilausmenetelmään perustuvan laitteen välillä vertailtiin ja arvioitiin, ottaen huomioon mm. hankintahinta, käyttökustannukset, ohjelmiston käytettävyys, mittausten sujuvuus ja nopeus, suunnitteluun käytettävä aika ja suunnittelutyöhön vaikuttavat muut tekijät, voitiin tehdä arvioita siitä, olisiko 3D-skannausmenetelmään perustuvan mittauslaitteen hankinta kannattava investointi Yritys X:lle. Arviointia ja vertailua tehtiin kahden eri 3D-skannausmenetelmään perustuvan laitteen välillä. Näiden laitteiden vertailun osalta ei keskitytty niinkään kahden eri laitteen paremmuusjärjestykseen asettelemiseen, vaan pikemminkin näitä kahta laitetta pyrittiin käyttämään vertailukohteena nykyiseen mittausmenetelmään verraten ja tällä tavoin arvioimaan ylipäätään 3D-skannausmenetelmään perustuvan laitteiden hyötyjä ja heikkouksia.

Kun erilaisia 3D-skannaukseen perustuvia laitteita ja niiden käytettävyyttä tutkittiin, huomattiin, että mittausten tekeminen on huomattavasti nopeampaa kuin tällä hetkellä käytössä olevalla rullamitta-tasolaserimenetelmällä. Laitemallista riippuen itse skannaukseen käytettävä aika vaihtelisi muutamasta sekunnista muutama minuuttiin. Kuitenkaan tämä ei automaattisesti tarkoita sitä, että tämä säästäisi aikaa mittausten jälkeen tehtävältä jälkikäsittelyltä, vaan vaikutus voi olla päinvastainen. Pistepilvien käsittely ennen varsinaisen suunnittelutyön aloittamista on aikaa vievää ja suunnittelun aloittamiseen voi laserkeilaimella tehdyn mittauksen jälkeen näin ollen kulua jopa enemmän aikaa kuin tällä hetkellä käytössä olevalla rullamitta-tasolasermittauksen avulla. Kun siis arvioidaan kokonaisuudessaan mittaukseen, mittojen jälkikäsittelyyn ja itse suunnitteluun kuluva aikaa, ei laserkeilaimen hankinnan ja käytön voida katsoa merkittävästi nopeuttavan prosessia.

Mittaukseen kuluva aika kuitenkin laserkeilaimen avulla on lyhyempi, joten tämä säästäisi aikaa asiakaskäynneillä, jolloin mittausaikoja voisi olla vieläkin helpompaa sopia ja toteuttaa ja ajankäyttö painottuisi enemmän toimistolla suoritettavaan tiedon jälkikäsittelyyn. Tämä voisi olla siis asiakasystävällisempi keino toteuttaa mittaukset, sillä nykyisellään yhdessä haastavammassa mittauskohteessa kuluva aika voi olla jopa useiden tuntien mittainen. Lisäksi 3D-skannausmenetelmään perustuva laite voisi poistaa mahdolliset mittavirheet, eikä lisäkäyntejä kohteessa tarvitsisi niiden vuoksi toteuttaa. Tämä osaltaan voi säästää huomattavasti aikaa, mutta ei kuitenkaan poista riskiä suunnittelun osalta tapahtuviin virheisiin. Laserkeilaimen käytön vuoksi mittavirheiden riski voisi siis vähentyä ja se voisi olla kustannustehokasta sekä siinä mielessä, ettei tarkistusmittauksia erikseen tarvitsisi tehdä eikä mittavirheiden seurauksena vääränkokoisia tuotteita tulisi suunnitelluksi eikä tilatuksi, sillä kyseisten virheiden korjaaminen jälkikäteen on sekä kallista että aikaa vievää.

Kun laitteen hankinnan kannattavuutta arvioidaan, tulee ottaa huomioon myöskin tehtävien mittausten määrä. Kun tarkastellaan projektikohtaisesti ajankäytön jakautumista, on mittauksen tekeminen tämänhetkiseläkin menetelmällä pienehkö osa verrattuna kokonaisuudessaan projektin loppuun viemiseen käytettävissä olevaa aikaa (sis. esim. mallinnus, suunnittelu, materiaalien tilaaminen, asennusohjeiden laatiminen ja asennusten ohjaus). Vaikka siis mittaukseen käytettävä aika vähenisi, ei se pistepilven jälkikäsittelyyn käytettävä lisääntyvä aika huomioon ottaen välttämättä lyhentäisi automaattisesti projektiin käytettävää kokonaisaikaa. Laitteen hankinnan hyödyt voisivat päästä

paremmin esille, mikäli mittausten määrä olennaisesti lisääntyisi, jolloin hankinnasta voisi tulla taloudellisesti kannattavampi. Tällöin kannattavuutta voisi mahdollisesti lisätä esimerkiksi käyttämällä laitetta myöskin muihin tarkoituksiin kuin pelkkien lasitusten tilauksia varten. Pelkästään lasitusten mittauksiin käytettäessä laitteen hyöty-kustannussuhde ei todennäköisesti ole kyseessä olevan yrityksen osalta paras mahdollinen, mutta mikäli laite päätettäisiin hankkia, voisi laitetta olla mahdollista käyttää palveluita laajentaessa myöskin muissa yhteyksissä, esimerkiksi tarjoamalla mittauksia myöskin ulkopuolisille tahoille jotka voisivat käyttää saamiaan tietoja muissa projekteissa hyväksi.

Voidaan päätellä, että 3D-skannauslaite olisi hyödyllinen monessakin suhteessa; se mm. nopeuttaisi mittauksia ja vähentäisi mittavirheiden riskiä. Kuitenkaan aivan yksioikoinen valinta se ei välttämättä olisi; projektien loppuun asti vieminen ei todennäköisesti tulisi olemaan merkittävästi nopeampaa kuin tällä hetkellä rullamitta-tasolasermetelmän avulla. 3D-skannausmenetelmään perustuvan laitteen hankintahinta tulisi sijoittumaan kymmenien tuhansien ja sadantuhannen euron välille laitteen mallista riippuen. Sekä todennäköisesti tietokone täytyisi päivittää sille tasolle, että sillä pistepilviaineiston käsittely olisi sujuvaa. Kyseessä olisi siis melko mittava investointi, jonka perusteet tulisi olla melko painavat. Tämänhetkisten tietojen ja arvioiden perusteella investointi kyseiseen laitteeseen ei vaikuttaisi niin merkittävästi projektien etenemiseen, että siitä olisi välttämättä merkittäviä taloudellisia hyötyjä yritykselle, ainakaan lyhyellä aikavälillä. Pidemmällä aikavälillä ja mahdollisesti mittausten määrien kasvaessa laitteen hyödyt pääsisivät paremmin esille.

Jos yritykseen laite aiotaan hankkia, niin tulevaisuudessa voisikin miettiä, että haluaisiko yritys tarjota laitteen hankinnan myötä muita palveluja mitä laserkeilaimella pystyy tekemään, kun laite on niin monikäyttöinen esimerkiksi vanhojen rakennusten pohjapiirustusten teko, joita ei enää löydy mistään tai niitä ei ole koskaan ollutkaan olemassa.

## Lähteet

1. Koski, Jarkko. 2001. Laserkeilaus – uusi ulottuvuus paikkatiedon keräämiseen. Maankäyttö 4. Luettu 3.1.2020.
2. Santaluoto, Olli. 2012. 3D-skannaukseen perehtyminen. Insinööriyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikka. Luettu 19.4.2020. Luettavissa: <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012060111232>>
3. Väätäinen, Eemeli. 2019. Pakkaamon layout suunnittelu. Insinööriyö, Savonia Ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikka. Luettu 10.5.2020. Luettavissa: <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201904155022>>
4. Tähtinen, Suvi. 2015. Sisätilan mallinnus – Case Startup Sauna. Diplomityö, Aalto-yliopisto Diplomi-insinööri, Geomatiikka. Luettu 26.12.2019.
5. Järvinen, Jaakko. 2007. Laserkeilaimilla tuotettujen keilausaineistojen yhdistäminen. Diplomityö. TKK. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio. Luettu 28.12.2019.
6. Joala, Vahur. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Verkoaineisto. <<http://docplayer.fi/7209674-Laserkeilauksen-perusteita-ja-mittauksen-suunnittelu.html>>. Luettu 26.12.2019.
7. Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitusmittauksen perusteet. 4. uudistettu painos. Rovaniemen Ammattikorkeakoulun julkaisusarja D. Luettu 9.5.2020.
8. Leica Geosystems. 2020. Verkkosivu. <<https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/total-stations/accessories/poles>>. Luettu 3.5.2020.
9. US police deploy 3D scanner to capture accidents and crime scenes, 2014. <<https://www.3ders.org/articles/20140124-us-police-deploy-3d-laser-scanner-to-capture-crime-scenes.html>>. Luettu 21.3.2020.
10. Ilvonen, Katri. 2008. Laserkeilauksen hyödyntäminen infrarakentamisessa. Insinööriyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK), Rakennustekniikka. Luettu 19.2.2020.
11. RT 10-11067. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 2. Lähtötilanteen mallinnus. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <<https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/108094.html.stx>>. Hakupäivä 10.1.2019.
12. 3D Laser Scanning Technology: New Possibilities for Civil Engineering, Architecture and Heritage. 2010. FARO Technologies Inc.

13. Keitaanniemi, Aino. 2019. Mikä erottaa laserkeilaimen syvyyskamerasta? Verkkosivusto. <https://geotrim.fi/yritys/blogi/blog-tima/mika-erottaa-laserkeilaimen-syvyyskamerasta/>. Luettu 13.4.2020.
14. Immonen, Kari. 2020. Tuki- ja koulutuspäällikkö. Geotrim Oy. Espoo. Keskustelu 19.5.2020.
15. Kärkkäinen, Tapio. 2020. Tekninen asiantuntija. Geotrim Oy. Espoo. Keskustelu 20.5.2020.
16. RIEGL Laser Measurement Systems GmbH. 2020. Verkkosivu. <http://www.riegl.com/>. Luettu 16.5.2020.
17. Atlastica. 2020. Verkkosivu. <https://atlastica.fi/laserkeilaus/>. Luettu 20.5.2020.
18. Ahonen, Pauli. 2015. Laserkeilaus, laserkeilausmittauksen suorittaminen ja piste-pilven käsittelyohjelmien vertailu. Insinöörityö, Saimaan Ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK), Rakennustekniikka. Luettu 22.5.2020.
19. Jääskeläinen, Ari. 2011. FARO Focus 3D -laserskannerin käyttöönotto ja testaus. Insinöörityö, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK), Maanmittaustekniikan koulutusohjelma. Luettu 22.5.2020.