

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# LASERKEILAUS METALLIKAITEIDEN SUUNNITTELUSSA

Kymppikaide Oy

TEKIJÄ Joel Klasila

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Joel Klasila	
Työn nimi Laserkeilaus metallikaiteiden suunnittelussa	
Päiväys 22.04.2024	Sivumäärä/Liitteet 25/2
Toimeksiantaja Kymppikaide Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää laserkeilauksen mahdollisuuksia metallikaiteiden suunnittelussa. Lisäksi tavoitteena oli vertailla kahden eri laserkeilaimen eroja ja käytettävyyttä suunnittelussa. Aihe valittiin, koska Kymppikaide Oy on kasvava yritys, jonka tarkoituksena on pysyä kehityksen mukana ja laserkeilauksen käyttö on tällä hetkellä vahvassa kasvussa rakennusteollisuudessa.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin laserkeilaukseen sekä laserkeilauksesta saadun pistepilven käsittelyyn ja 3D-suunnitteluun. Päätavoitteena oli tutkia laserkeilauksen tehokkuutta, tarkkuutta ja kannattavuutta metallikaidesuunnittelussa. Laserkeilauksia tutkittaessa käytettiin paikaltaan mittaavaa Leica BLK360 G1 - laserkeilainta sekä liikkeessä mittaavaa GeoSLAM ZEB Horizon -käsikeilainta. Ohjelmistoina käytettiin Leican 360 Register -sovellusta sekä Leica Cyclone 3DR -sovellusta. Käytettyjen laserkeilaimien vertailua varten keilaukset toteutettiin Kymppikaide Oy:n asiakkaan porraskäytävään. Keilauksista saatujen pistepilvitiedostojen tarkkuutta tarkasteltiin SolidWorks-suunnitteluohjelmassa.</p> <p>Tutkimustuloksena saatiin arvokasta tietoa kahden erilaisen laserkeilaimen tarkkuudesta ja tehokkuudesta. Lisäksi opittiin, miten keilauksia olisi parasta toteuttaa, jotta pistepilvien jälkikäsitteily sujuisi parhaiten ja saataisiin mahdollisimman tarkkaa tietoa kohteesta. Opinnäytetyön tuloksena onnistuttiin tuomaan sopiva pistepilvimalli SolidWorks-suunnitteluohjelmaan. Nämä tulokset olivat tärkeitä, koska ne tarjoavat vankan perustan suunnittelun lähtökohdille.</p>	
Avainsanat laserkeilaus, metallikaide, 3D-suunnittelu, pistepilven käsittely	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author(s) Joel Klasila	
Title of Thesis Laser Scanning in Metal Railing Design	
Date April 22, 2024	Pages/Appendices 25/2
Client Organisation Kymppikaide Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The purpose of the thesis was to investigate the possibilities of laser scanning in the design of metal railings. Additionally, the differences and usability of two different laser scanners in the design process were compared. The topic was chosen because Kymppikaide Oy is a growing company aiming to stay up to date with developments, and the use of laser scanning was currently on the rise in the construction industry.</p> <p>Laser scanning, as well as the processing of the point clouds obtained from laser scanning and 3D design, were being delved into in the thesis. The main objective was to examine the efficiency, accuracy and profitability of laser scanning in metal railing design. In studying laser scanning, the stationary Leica BLK360 G1 laser scanner and the handheld GeoSLAM ZEB Horizon laser scanner were used. The software used was the Leica Register 360 application and the Leica Cyclone 3DR application. To compare the laser scanners used, scans were carried out in the stairwell of Kymppikaide Oy's customer. The accuracy of the point cloud data obtained from the scans was being assessed in the SolidWorks design software.</p> <p>Valuable information regarding the accuracy and efficiency of two laser scanners was being obtained as a research result. Additionally, insights were being gained into how laser scanning should be conducted to facilitate the post-processing of point clouds and achieve the most accurate data possible. As a result of thesis, a suitable point cloud model was successfully imported into the SolidWorks design software. These results were significant as they provided a solid foundation of the design process.</p>	
<p><b>Keywords</b></p> <p>laser scanning, metal railing, 3D-design, point cloud processing</p>	

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Tavoite.....	6
1.2	Metallikaiteiden suunnittelu .....	6
1.3	Kymppikaide Oy.....	7
2	LASERKEILAUUS.....	8
2.1	Perinteinen mittaustapa.....	8
2.2	Leica BLK360 G1.....	8
2.3	GeoSLAM ZEB Horizon.....	9
2.4	Mittaustapojen hyvät ja huonot puolet .....	9
2.5	SolidWorks .....	9
3	LASERKEILAUUSPROSESSIN KUVAUS .....	10
3.1	Laserkeilausaineiston hyödyntäminen .....	10
3.2	Laserkeilausaineiston käsittely tuotantokoneelle.....	10
4	TUTKIMUSKOHTTEEN KUVAUS.....	11
4.1	Tutkimuskohde .....	11
4.2	Laserkeilaimet.....	11
4.3	Leica suunnitteluaineisto .....	12
4.3.1	Register 360.....	12
4.3.2	Cyclone 3DR.....	15
4.4	GeoSLAM-suunnitteluaineisto .....	17
4.5	Laserkeilausaineistojen vertailu .....	20
5	YHTEENVETO.....	21
6	POHDINTA.....	24
	LÄHTEET .....	25
	LIITE 1: LEICA BLK360 G1 .....	26
	LIITE 2: GEOSLAM ZEB HORIZON.....	27

## KUVALUETTELO

KUVA 1. Havainne kuva määräysten mukaisista suojakaiteen vaatimuksista. (RT 103569 Kaiteet ja käsijohteet 02.2023) .....	7
KUVA 2. Kuvakaappaus Register 360 -ohjelmasta. (Joel Klasila 08.03.2024) .....	12
KUVA 3. Kahden keilausaseman linkityksen virhemarginaali. (Joel 08.03.2024) .....	13
KUVA 4. Keilausasemat ja niiden väliset linkit. (Joel 08.03.2024) .....	13
KUVA 5. Yhdistettyjen pistepilvien onnistumisen raportti. (Joel 08.03.2024) .....	14
KUVA 6. Määritellyt pisteet ja niiden värit. (Joel 12.03.2024) .....	15
KUVA 7. Building extractor -komento. (Joel 15.03.2024) .....	16
KUVA 8. Lähtötilanne GeoSLAM ZEB Horizon -pistepilviaineistosta. (Joel 22.04.2024) .....	17
KUVA 9. Rajattu pistepilvi. (Joel 22.04.2024) .....	18
KUVA 10. Pisteiden automaattinen kategoriointi. (Joel 22.04.2024) .....	19
KUVA 11. Porrastasanteen mitta (Kaapro Saukonoja 13.02.2024) .....	22
KUVA 12. Porrastasanteen mittatarkkuuden vertailu BLK360-pistepilven ja ZEB Horizon -pistepilven välillä. (Joel 30.04.2024) .....	22
KUVA 13. Portaiden mitta. (Kaapro 13.02.2024) .....	23
KUVA 14. Portaiden mittatarkkuuden vertailu BLK360-pistepilven ja ZEB Horizon -pistepilven mittauksen välillä. (Joel 30.04.2024) .....	23

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä laserkeilausmenetelmien mahdollisuuksiin metallikaidesuunnittelussa ja vertailla kahden erilaisen laserkeilaimen ominaisuuksia. Tutkimuksen keskiössä olivat mittausmenetelmien tarkkuus, kannattavuus ja toimivuus, erityisesti porraskäytävien mittauksissa ja niiden 3D-mallinnuksessa. Porraskäytävien metallikaiteet ovat merkittäviä turvallisuuden ja esteettisyyden kannalta, joten tarkka mittaus ja suunnittelu on avainasemassa.

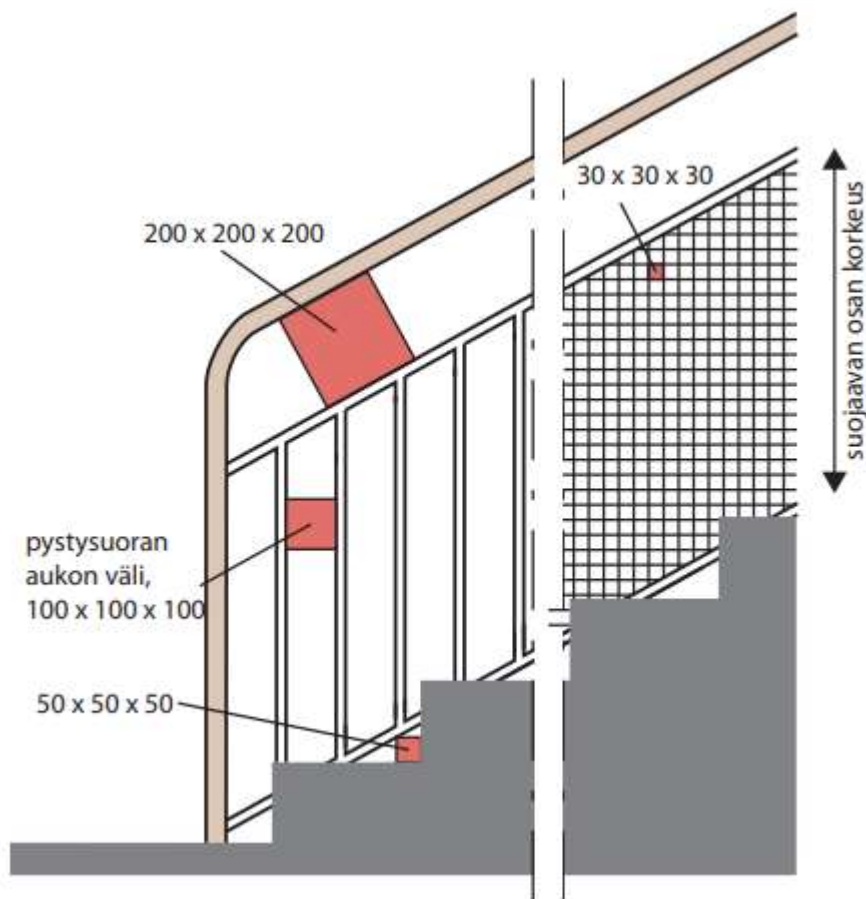
Vertailemalla laserkeilausta perinteiseen käsin tapahtuvaan mittaukseen pyrittiin selvittämään laserkeilauksen mahdollisia etuja ja haittoja. Laserkeilauksen avulla saavutetaan usein nopeampaa ja tarkempaa mittausdataa, mikä voi säästää aikaa ja työvoimaa. Opinnäytetyön tavoitteena oli antaa kattava käsitys laserkeilauksen hyödyistä ja haasteista metallikaidesuunnittelussa.

## 1.2 Metallikaiteiden suunnittelu

Metallikaiteiden suunnittelun lähtökohtana on ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta (1007/2017), sekä RT-kortissa 103569. Metallikaiteiden suunnittelun vaatimukset määräytyvät käyttökohteen ja suunnittelun vaatimusten perusteella, ja se voi vaihdella tavanomaisen luokan ja vaativan luokan välillä. Molemmat näistä luokista vaativat työkokemusta suunnittelijalta.

Rakennuksessa tai sen lähiympäristössä tarvitaan kaidetta, kun putoamiskorkeus on yli 0,5 metriä tai on vaara astua harhaan. Kaide voi olla suojakaide tai avokaide, mutta sen on oltava turvallinen. Avokaide eroaa suojakaiteesta, siten että se ei esimerkiksi estä lapsen läpipääsyä. Suojakaidetta on käytettävä silloin kun tasoero on yli 0,7 metriä ja lapsilla on pääsy alueelle. Avokaidetta voidaan käyttää vain kohteissa, joihin lapsilla ei ole pääsyä tai ei ole putoamisvaaraa, esimerkiksi portaiden keskikaide. Korkeuseron ollessa alle yhden metrin voidaan kaiteen sijasta käyttää muuta järjestelyä putoamisen estämiseksi tai saavuttaa muuten vaadittu turvallisuustaso. (RT-103569 Kaiteet ja käsijohteet 02.2023)

Piha-alueilla yli 0,7 metrin tasoerot ja jyrkänteet on osoitettava tarkoituksenmukaisin kaitein tai istu-  
tuksin tai varustettava putoamisen vaimentavalla alustalla. Velvoite ei kuitenkaan koske enintään kaksiasuntoisten asuinrakennusten oleskelu- ja leikkialueita. Kuitenkin kaiteen kokonaiskorkeuden on oltava yksi metri, kun putoamiskorkeus on enintään kuusi metriä. Tämän korkeuden ylittyessä kokonaiskorkeuden on oltava vähintään 1,2 metriä. Yhden asunnon parvekkeella riittää kuitenkin yhden metrin korkuinen kaide, riippumatta putoamiskorkeudesta. Asunnon sisätiloissa kaiteen korkeus voi olla vähintään 0,9 metriä, kun putoamiskorkeus on alle kolme metriä. (RT-103569 Kaiteet ja käsijohteet 02.2023)



KUVA 1. Havainne kuva määräysten mukaisista suojakaiteen vaatimuksista. (RT 103569 Kaiteet ja käsijohteet 02.2023)

### 1.3 Kymppikaide Oy

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Kymppikaide Oy, jonka päätoimipaikka sijaitsee Keravalla. Yritys on perustettu vuonna 2021, ja sen keskeisenä tavoitteena on toteuttaa metallikaiteiden suunnittelu, tuotanto sekä asennus saman katon alta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää yrityksen suunnittelutyötä tutkimalla laserkeilaamisen mahdollisuuksia osana suunnitteluprosessia. Tämän tarkoituksena oli vähentää työmaakäyntejä sekä inhimillisiä mittavirheitä.

## 2 LASERKEILAUS

Laserkeilaus on etäisyysmittaustekniikka, jolla pystytään keräämään mittatarkkaa kolmiulotteista tietoa kohteesta ja ympäristöstä. Laserkeilaimen mittausten menetelmä muistuttaa prismattoman takymetrin mittausta. Laserkeilaimessa on nollapiste, josta lähtee lasersäde, jonka avulla mitataan kohteen etäisyys laserkeilaimesta. Laserkeilain mittaa etäisyyden valon kulkuajan perusteella, kauanko lasersäteellä menee aikaa kohteeseen ja takaisin. Laserkeilain laskee lasersäteen lähtökulmat sekä matkan, jolloin voidaan laskea jokaiselle mitatulle pisteelle koordinaatit, järjestelmä tallentaa myös jokaiselle pisteelle intensiteettiä paluusihtin voimakkuuden perusteella, sekä laskee jokaiselle mitatulle pisteelle XYZ koordinaatin. Laserkeilaimia voidaan luokitella kolmeen eri pääluokkaan:

- Kaukokartoitus-laserkeilaimet, joita käytetään erilaisista lentoalustoista, näiden laitteiden mittaustarkkuus on 0,1–100 kilometriä ja mitatun pisteen tarkkuus on tyypillisesti yli 10 cm
- Maalaserkeilaimet, joita käytetään yleensä mittauksiin 1–300 metrin päähän ja näiden tarkkuus voi olla alle 2 cm
- Teollisuuslaserkeilaimet, joilla mitataan pieniä kohteita n. 30 metrin päähän ja näiden tarkkuus voi olla alle millimetrin (Joala, 2006)

### 2.1 Perinteinen mittaustapa

Perinteisiä mittaustapoja ovat rullamitta, takymetri, tasolaser, ristiviivalaser ja laseretäisyysmittari, jotka vaativat jokainen mittauksen erikseen ja manuaalisen kirjaamisen muistiin, mikä saattaa aiheuttaa haasteita kriittisten mittojen puuttuessa tai muistin pettäessä mittauspisteiden sijainnin suhteen. Toisaalta perinteisiä mittausten menetelmiä pidetään yleensä luotettavina, kun tiedetään mistä ja miten mitta on otettu.

Perinteisiä mittausten menetelmiä voidaan soveltaa erilaisissa talokohteissa, mutta niiden kannattavuus heikkenee kohteen koon kasvaessa. Mitä suurempi kohde on, sitä enemmän työtä ja aikaa vaaditaan manuaaliseen mittaukseen, mikä voi lisätä kustannuksia ja työmäärää.

### 2.2 Leica BLK360 G1

Leica BLK360 G1 on maalaserkeilainten kategoriaan kuuluva laserkeilain. Keilain on suunniteltu helpottamaan nopeaa ja tarkkaa laserkeilausta sisä- ja ulkotiloissa. Se mittaa laseretäisyystekniikkaan perustuvalla menetelmällä noin 360 000 pistettä sekunnissa. Laitteen maksimietäisyys on 60 metriä. (Leica Geosystems 2020)

Tarkkuus keilaimessa on 6 millimetriä 10 metrin etäisyydellä ja 8 millimetriä 20 metrin etäisyydellä laitteesta. Laserkeilainta ohjataan Cyclone FIELD 360 -sovelluksella puhelimen tai tabletin kautta. Sovelluksessa keilausasemat voidaan ennakkoon rekisteröidä oikeaan sijaintiin ja linkittää toisiinsa. (Leica Geosystems 2020)



### 2.3 GeoSLAM ZEB Horizon

GeoSLAM ZEB Horizon on kannettava laserkeilain, joka kuuluu maalaserkeilaimien kategoriaan. Se on suunniteltu erityisesti helpottamaan nopeaa ja tehokasta laserkeilausta, sekä sisä- että ulkotiiloissa ilman tarvetta monimutkaisille tai ammattimaisille koulutuksille. (Geotrim 2023)

Tämä kädessä pidettävä laserkeilain mittaa laseretäisyystekniikkaan perustuvalla järjestelmällä noin 300 000 pistettä sekunnissa. Sen maksimietäisyys on 100 metriä, ja tarkkuus on n. 6 millimetriä riippuen ympäristöstään. Laite on helppokäyttöinen: sen saa päälle yksinkertaisesti virtanapista ja mitauksen voi lopettaa samasta napista. (GeoSLAM 2023)

### 2.4 Mittaustapojen hyvät ja huonot puolet

Käsin mitausten hyviä puolia on manuaalisten mittojen luotettavuus sekä niiden havainnollistaminen. Manuaalisesti otettuja mittoja ei tarvitse varmistaa jälkeenpäin. Huonona puolena on mittauksiin kuluva aika, kun jokainen mitta täytyy ottaa erikseen sekä kirjata ylös. Ongelmia saattaa tuottaa myös kriittisten mittojen puuttuminen sekä muistin pettäessä mitattujen pisteiden sijainnin suhteen. Käsin mitatessa mahdollisia työmaakäyntejä on enemmän.

Laserkeilauksen etuna on nopeampi mittaaminen, ympäristön hahmottaminen sekä mittojen varmuus. Näiden ansiosta työmaakäyntejä ei tarvita jälkeenpäin, kun kaikki tarvittavat mitat löytyvät pistepilvitiedostoista, sekä kohteen hahmottaminen helpottuu 3D -pistepilven ansiosta.

### 2.5 SolidWorks

SolidWorks on tietokoneavusteiseen suunnitteluun käytettävä 3D-mekaniikkaa hyödyntävä CAD-ohjelmisto. Ohjelmalla on mahdollista mallintaa niin kolmiulotteisia kappaleita, kuin kaksiulotteisia kuviakin. Lisäksi myös kokoonpanojen, ohutlevymallien, profiilirakenteiden ja muottien mallinnus on mahdollista. (SolidWorks)

SolidWorks on tilaajayritykseni käytössä metallikaiteiden suunnittelussa. Opinnäytetyössäni aikaansaadut pistepilvet tuotiin tähän kyseiseen sovellukseen. Tässä opinnäytetyössä käytettyjen laserkeilaimien tuottamia pistepilvien eroja tarkasteltiin SolidWorks-sovelluksessa.

### 3 LASERKEILAUSPROSESSIN KUVAUS

#### 3.1 Laserkeilausaineiston hyödyntäminen

Laserkeilaamisesta saadut tiedostot toimivat olennaisena lähteenä suunnitteluprosessissa, kun metallikaiteita suunnitellaan ja mallinnetaan suunnitteluovelluksessa. Tämä tarkoittaa, että keilauksen tuottama kolmiulotteinen tarkka aineisto tarjoaa arvokasta informaatiota suunnittelijoille heidän suunnitellessaan ja muotoillessaan kaiteita.

Laserkeilaamisesta saadut tiedostot viedään lopulta suunnitteluohjelmistoon, jossa suunnittelijat voivat suunnitella ja mallintaa metallikaiteet. Keilausaineistoa hyödynnetään havainnollistamaan ympäristöä, minne ollaan suunnittelemassa metallikaiteita. Aineistoja hyödynnetään myös asennuskuvien havainnollistamiseen työmiehille.

#### 3.2 Laserkeilausaineiston käsittely tuotantokoneelle

Laserkeilaamista saadut aineistot ovat käsittelemättömänä todella suuria ja raskaita pyöriteltäväksi suunnitteluohjelmistoissa. Nämä aineistot on siis erillisen sovelluksen avulla käsiteltävä, jotta saadaan ylimääräiset ja tarpeettomat pisteet ja tiedot poistettua. Laserkeilain mittaa pisteitä ympäriltään lähettämällä lasersäteitä kohteeseen, tämän vuoksi muokkaamattomassa mittausaineistossa on paljon ikkunoista ja heijastavista pinnoista kimmahavia säteitä, joista jää ns. haamupisteitä, jotka poistetaan sovelluksessa. Laserkeilaamisen aikana on myös paljon liikkuvia objekteja ympärillä, joista jää pistepilvitiedostoon ylimääräisiä ja tarpeettomia pisteitä.

## 4 TUTKIMUSKOHTTEEN KUVAUS

Opinnäytetyön tutkimuskohteena oli 8. kerroksinen porraskäytävä, kyseiseen porraskäytävään piti suunnitella käsijohteet. Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin vain mittaustyyliin, sekä 3D-mallin muodostamisen tehokkaimpaan tapaan. Mittasimme kohteen kolmella eri tavalla, Leica BLK360 G1 laserkeilaimella, GeoSLAM ZEB Horizon -käsikeilaimella, sekä perinteisemmin rullamitalla tasolaseria apuna käyttäen. Laserkeilaimilla luodut pistepilvitiedostot käsiteltiin ja niistä poistettiin ylimääräisiä pisteitä, jotta pistepilvi on helpompi käsitellä. Tämä valmis pistepilvi oli tarkoitus viedä suoraan suunnitteluohjelmaan, jota tilaajayritys käyttää metallikaiteiden ja käsijohteiden suunnitteluun. Käsin mittausten perusteella tehty 3D-malli tehtiin suoraan tässä kyseisessä suunnitteluohjelmassa.

### 4.1 Tutkimuskohde

Tutkimuskohteenamme oli Kymppikaide Oy:n asiakkaan porraskäytävän laserkeilaus. Porraskäytävä on umpinainen käytävä, joka ympäröi hissikuilua. Ensimmäiset portaat nousevat ilman porrastasanteen toiseen kerrokseen muodostaen yhden 90 asteen kulman. Seuraavat portaat nousevat yhden porrastasanteen kautta seuraavaan kerrokseen, porrastasanteelle nousevat portaat ovat keskeltä tuettuja betonilaattaportaita. Tämä rakenne tarjoaa vakaan pohjan portailla liikuttaessa, mutta mahdollistaa ilmavirran, sekä valon kulun porraskäytävässä. Porrastasanteelta nousevat portaat ovat umpinaisia betonilaattaportaita.

### 4.2 Laserkeilaimet

Laserkeilaimia on moniin eri käyttötarkoituksiin, tässä työssä käytettiin kahta erityyppistä laserkeilainta. Leica BLK360 G1 on laserkeilain, jolla mitataan paikallaan. Tätä keilainta käytetään niin laajemmissa kuin pienemmissäkin kohteissa. Laajoissa kohteissa kyseistä mittauslaitetta ei käytetä laitteen hitaamman mittauksen vuoksi.

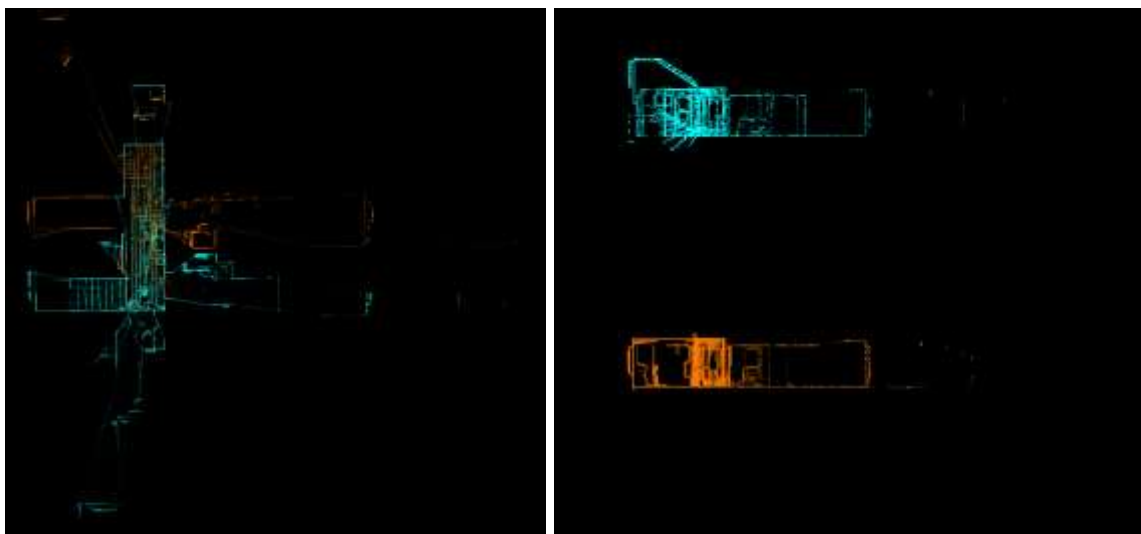
GeoSLAM ZEB Horizon on laserkeilain, jolla voidaan mitata liikkeessä. Tätä laserkeilainta käytetään yleisesti laajemmissa mittauksissa, sen etuna on hyvin nopeat mittaukset. Laitteella pystyy mittaamaan liikkeessä 30 minuuttia kerrallaan, jonka jälkeen keilaaminen on aloitettava uudelleen. Tässä opinnäytetyössä käytettiin molempia näitä laitteita tietojen keräämiseen, jotta saatiin kattavaa tietoa niiden toiminnasta ja soveltuvuudesta.

## 4.3 Leica suunnitteluaineisto

### 4.3.1 Register 360

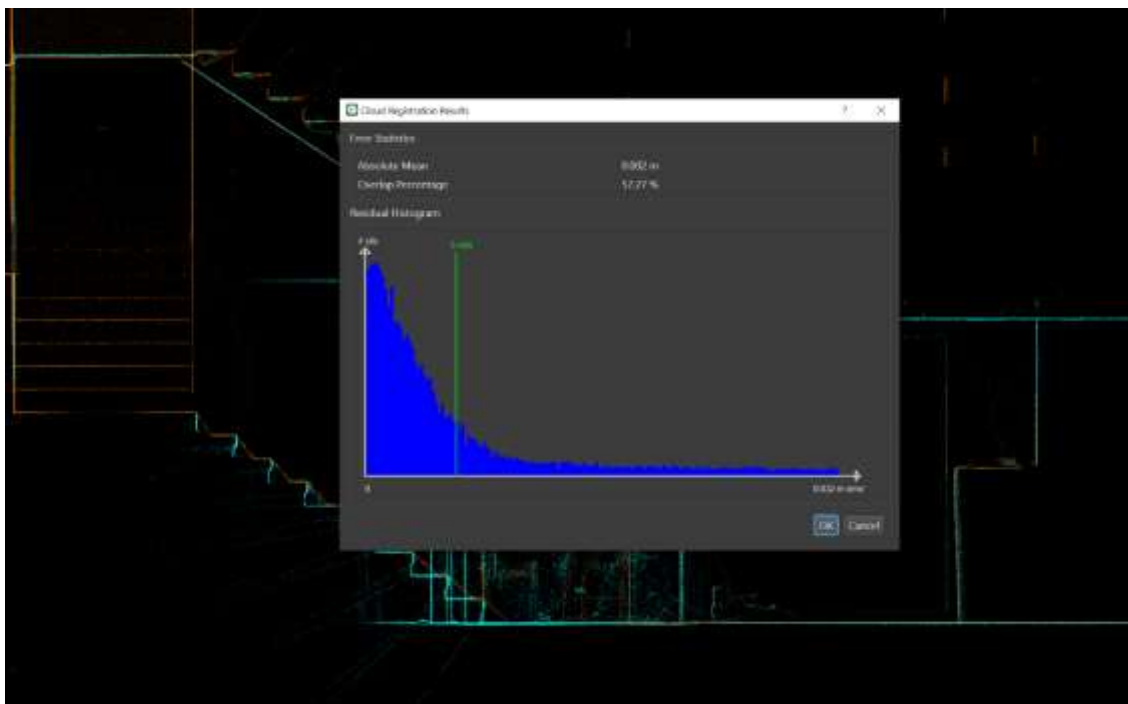
BLK360 G1 -laserkeilaimesta ladataan pistepilvitiedostot wifi-yhteyden kautta tietokoneelle. Nämä tiedostot avataan Register 360 -ohjelmassa, joka on Leican oma sovellus niiden laitteilleen. Tässä sovelluksessa saadaan muunnettua tiedostomuoto niin, että näitä tiedostoja voidaan muokata myös kolmansien osapuolien sovelluksilla, mutta suositeltavaa on vähintään linkittää keilausasemat toisiinsa, jotta saadaan mahdollisimman tarkka ja yhtenäinen pistepilvi aikaiseksi.

Keilausten linkitys tapahtuu kahdesta suunnasta kohdistamalla kaksi keilausaseman tuottamaa pistepilveä niin, että mahdollisimman moni yhteisistä pinnoista olisi samalla kohdalla. Sovellus osaa tästä vielä kohdistaa tarkemmin keilausasemat niiden oikeaan paikkaan.



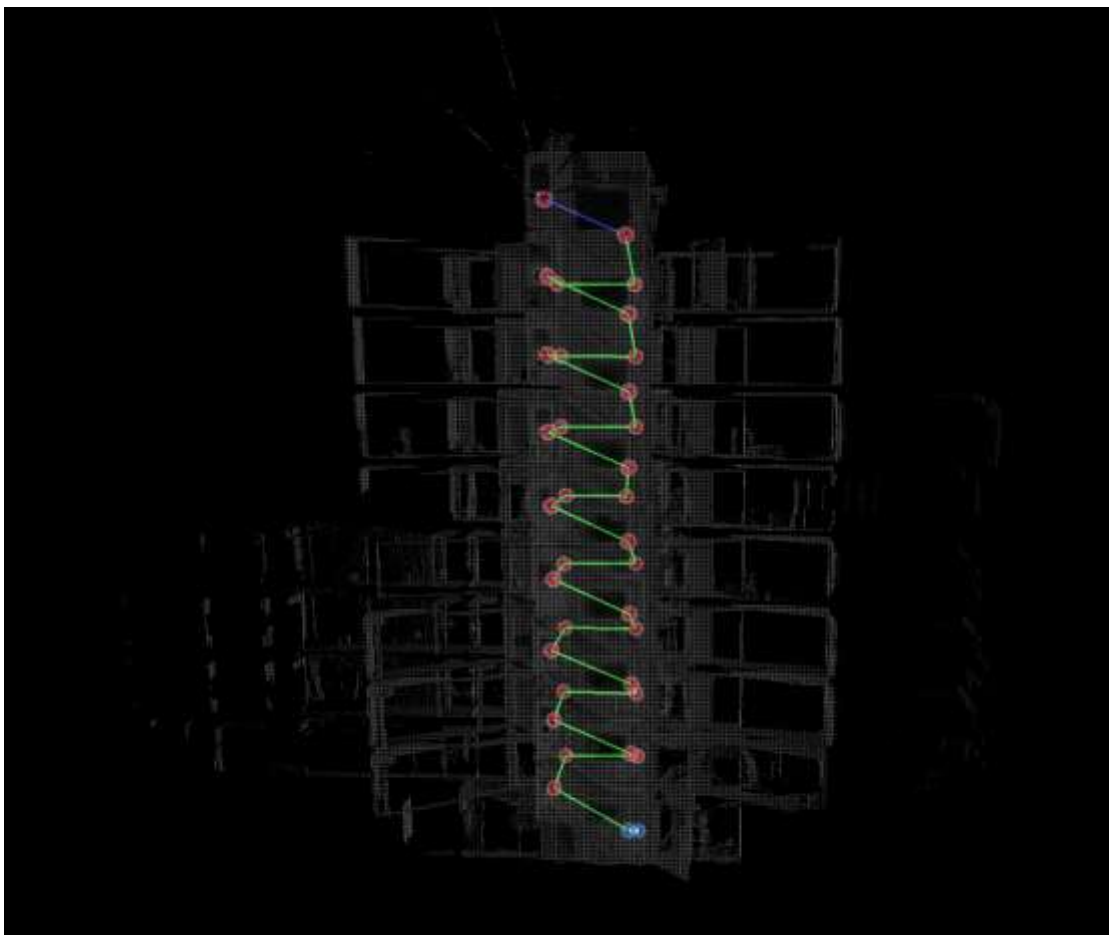
KUVA 2. Kuvakaappaus Register 360 -ohjelmasta. (Joel Klasila 08.03.2024)

Sovellus ilmoittaa yhdistämisen onnistumisesta pisteiden ylityksen prosenteilla sekä mahdollisen virhemarginaalin mitalla, kun yhdistäminen on suoritettu. Kuvassa 3 näkyy esimerkkinä kahden toisiinsa linkitetyn keilausaseman virhemarginaali, sekä yhteisten pisteiden prosentti.



KUVA 3. Kahden keilausaseman linkityksen virhemarginaali. (Joel 08.03.2024)

Kaikkien keilausasemien linkitysten jälkeen ohjelma ilmoittaa keilausten määrän, niiden välisten linkkien, sekä pisteiden määrän. Ohjelma kertoo myös vihreällä värillä (Kuva 5.) paljonko pistepilvimallin virhemarginaali on, sekä paljonko keilausten välillä yhteisiä pintoja on keskimäärin. Ohjeena yhteisten pisteiden prosenttimäärälle on vähintään 40 %.



KUVA 4. Keilausasemat ja niiden väliset linkit. (Joel 08.03.2024)

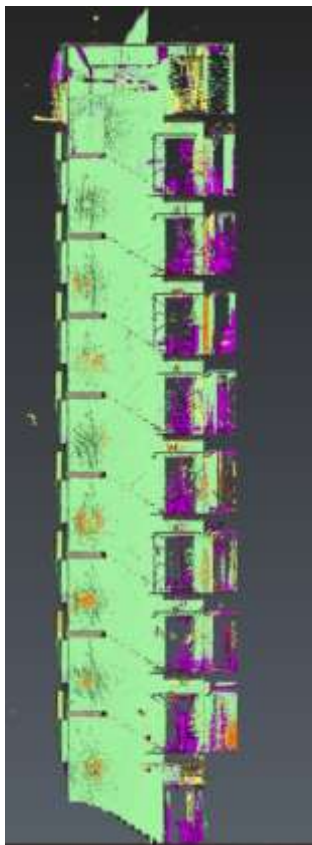


KUVA 5. Yhdistettyjen pistepilvien onnistumisen raportti. (Joel 08.03.2024)

Pistepilvien yhdistelyjen jälkeen pistepilvi on valmis siirrettäväksi sovellukseen, jossa pistepilveä voidaan jatkojalostaa ja karsia ylimääräisiä pisteitä. Tehty pistepilvimalli muunnettiin sovelluksessa .3DR-muotoon, jotta saatiin pistepilvi tiedosto CYCLONE 3DR -sovellukseen.

### 4.3.2 Cyclone 3DR

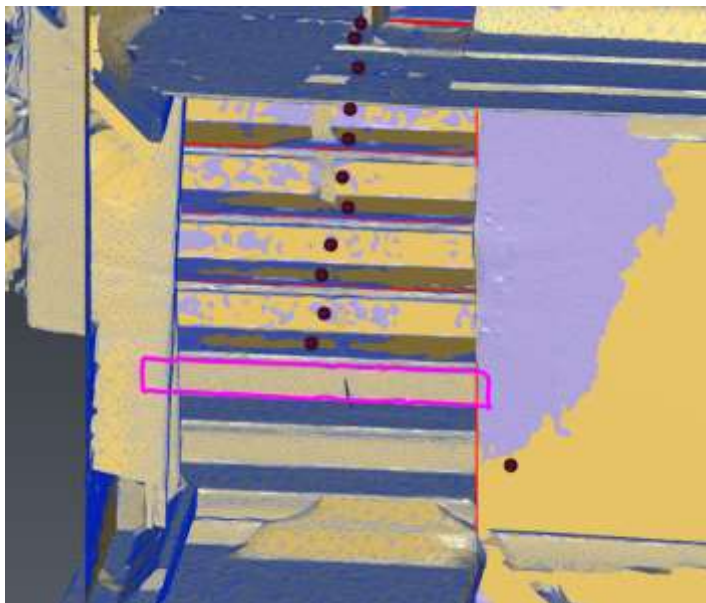
Register 360 -sovelluksesta saatu pistepilvitiedosto tuotiin CYCLONE 3DR -sovellukseen, joka on Leican oma sovellus pistepilvien käsittelyyn. Pistepilvestä rajattiin porraskäytävien ulkopuoliset pisteet pois. Kun pistepilvi oli rajattu, siitä poistettiin liikkuvista objekteista mitatut pisteet, koska näistä aiheutuneet pisteet ovat ylimääräisiä ja olisivat myöhemmässä vaiheessa vaan hankaloittamassa työtä. Tämän jälkeen määriteltiin jokainen piste eri kategorioihin, sovelluksessa löytyvällä komenolla. Pisteet määriteltiin seinä, katto, lattia, ovi, ikkuna, porras ja ulkopuoli kategorioihin. Tämä helpotti jatkon kannalta, kun saatiin seinät ja portaat erillisiksi tiedostoiksi.



KUVA 6. Määritellyt pisteet ja niiden värit. (Joel 12.03.2024)

Portaista ja seinistä tehtiin mesh-malli, eli niin sanottu kolmioverkkomalli. Esimerkiksi jokainen seinäpisteeksi määritelty piste muunnettiin kiinteäksi malliksi. Tämän opinnäytetyön tutkimisen vuoksi rajasin tiedoston vain yhteen kerrokseen, koska tiedostot olivat todella raskaita tietokoneilla muokattavaksi ja jokainen komento kesti todella pitkään.

Building extractor -komennolla jokainen haluttu pinta napsutellaan hiirellä, jonka jälkeen sovellus tekee sen pinnan mukaan ns. paperin ohuen objektin (Kuva 7). Tämä pintamalli voidaan erikseen tehdä IFC-malliksi ja tämä helpottaa tiedostoja avatessa suunnitteluohjelmistoissa. Mesh-malli on suuri tiedosto vaikkakin paljon pienempi kuin alkuperäinen pistepilvi tiedosto. Tämä IFC-malli on n. 10 kertaa pienempi tiedostomuoto mesh-mallista. Tässä opinnäytetyössä emme saaneet building extractor -komennolla toteutettua mallia valmiiksi, kun pistepilviaineistossa oli liiaksi katvealueita sen toteuttamiseen.



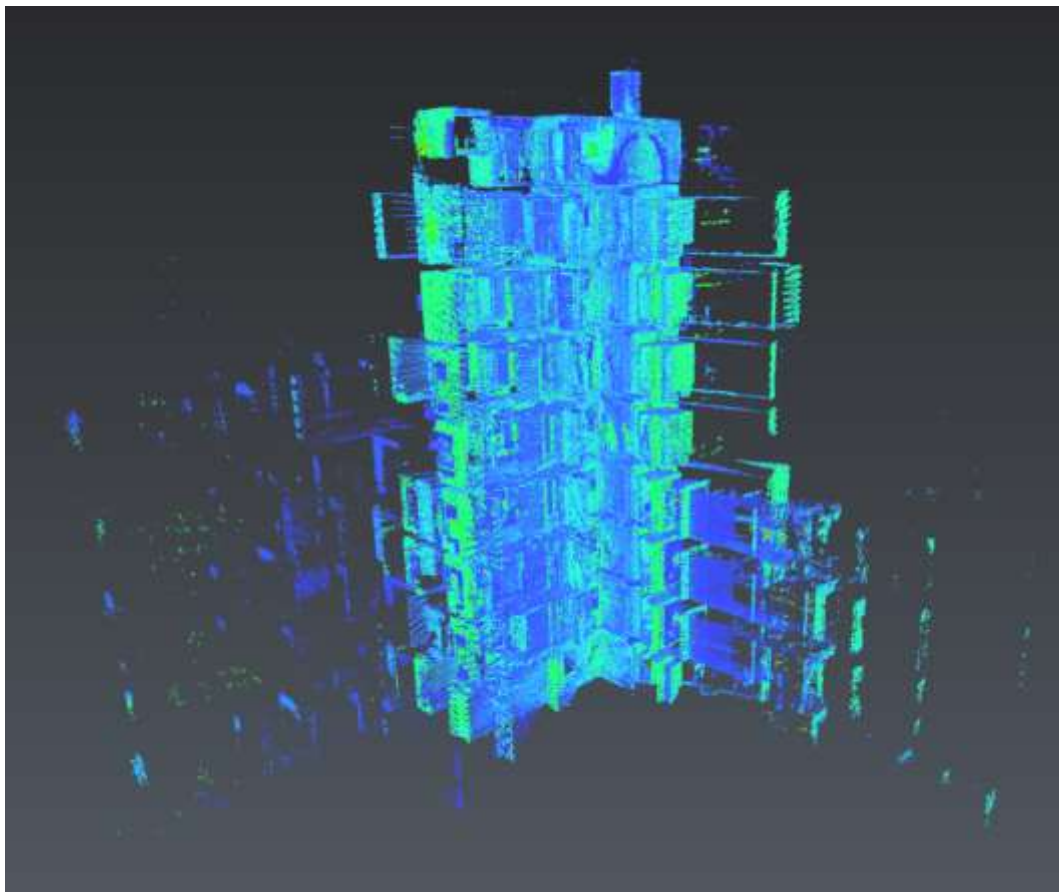
KUVA 7. Building extractor -komento. (Joel 15.03.2024)

Leica BLK360 G1 -laserkeilaimesta saatu aineisto päätettiin lopulta viedä pistepilvitiedostona SolidWorks -suunnitteluohjelmaan, mesh-tiedoston sijasta.



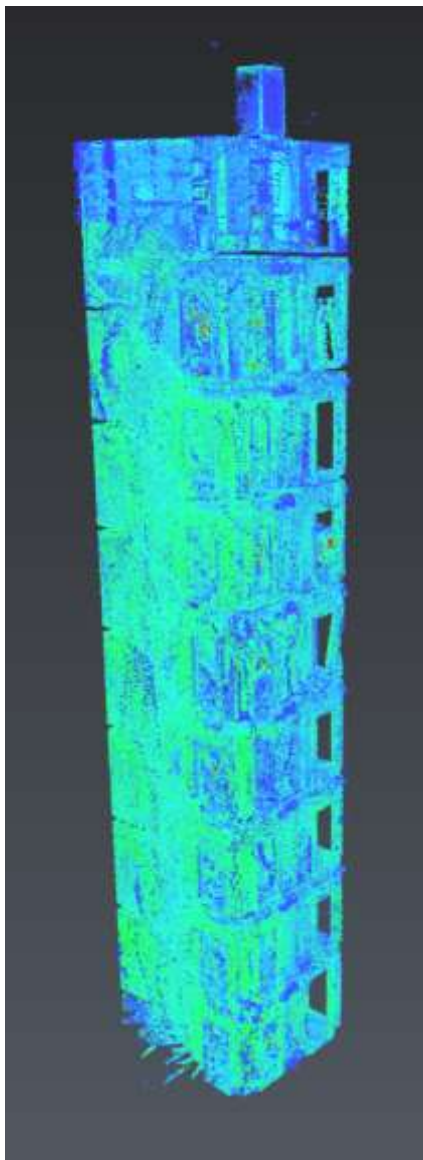
#### 4.4 GeoSLAM-suunnitteluaineisto

GeoSLAM-tiedostot sain kouluni puolesta suoraan rekisteröitynä. Lähtötilanteesta huomattiin, että tämä keilain on mitannut pisteitä huomattavasti kauempaa kuin Leica BLK360 (Kuva 8). Jokainen kerros on todellisuudessa samanlainen pois lukien ylin sekä alin kerros, kuvasta nähdään heijastavien pintojen aiheuttamia virheellisiä pisteitä.



KUVA 8. Lähtötilanne GeoSLAM ZEB Horizon -pistepilviaineistosta. (Joel 22.04.2024)

GeoSLAM ZEB Horizon -laserkeilaimesta saatu aineisto tuotiin Leican Cyclone 3DR -sovellukseen. Tästä aineistosta rajattiin kaikki porraskäytävien ulkopuoliset pisteet pois, pienentääksemme tiedoston kokoa, sekä selkeyttääksemme varsinaista porraskäytävien mittatarkkuuden vertailua.



KUVA 9. Rajattu pistepilvi. (Joel 22.04.2024)

Rajausten ja ylimääräisten pisteiden poistamisen jälkeen kategorisoitiin jokainen piste automaattisella sovelluksen komennolla. Tässä vaiheessa huomattiin, että GeoSLAM:ista saadussa pistepilvimallissa pisteiden määrä on huomattavasti pienempi kuin Leica BLK360 -laserkeilaimessa. GeoSLAM ZEB Horizon -laserkeilaimesta saadun aineiston rekisteröinnissä on kadonnut pisteiden intensiteetti arvoja, joita Leican sovellus tarvitsee pisteiden kategoriointiin. Kuvassa 10. näkyy pisteiden kategoriat. Tästä huomataan, että suurin osa pisteistä on kategoriassa ulkopuoli (Outside). Nämä pisteet voidaan myös manuaalisesti määritellä, mutta näin tehdessä aikaa kuluu huomattavan paljon.



KUVA 10. Pisteiden automaattinen kategoriointi. (Joel 22.04.2024)

Pisteiden automaattinen kategoriointi ei toiminut tässä Cyclone 3DR -sovelluksessa, jonka vuoksi tämän mallin saaminen SolidWorks-suunnitteluohjelmaan hankaloitui huomattavasti. Tuloksena emme saaneet tästä tiedostosta tarpeeksi tarkkaa ja käytettävyydeltään hyvää tiedostoa, joka olisi toiminut suunnittelun lähtökohdana SolidWorks-suunnitteluohjelmassa.

#### 4.5 Laserkeilausaineistojen vertailu

Laserkeilaimista tuoduista ja käsitellyistä pistepilvistä vertaillaan pistepilvien tarkkuutta sekä käytettävyyttä metallikaiteiden suunnittelussa. Pistepilvestä mitataan portaiden mittoja ja vertaillaan niitä manuaalisesti otettuihin mittoihin.

Leica BLK360 G1 -laserkeilaimesta saadun aineiston mittatarkkuus on riittävä metallikaiteiden suunnittelussa, mutta laserkeilaimen mittauspisteitä olisi pitänyt olla enemmän. Pistepilvien käsittely oli haastavaa, kun kaikki portaat sekä niiden kulmat eivät olleet laserkeilauksen alueella. Tämä aiheutti paljon manuaalista lisätyötä, kun tiedostoja jatkojalostettiin suunnitteluohjelmille.

GeoSLAM ZEB Horizon -laserkeilaimen pistepilviaineistosta emme saaneet luotettavia mittaustuloksia. GeoSLAM:in osalta ei päästy käsittelemään pistepilveä GeoSLAM:in omissa sovelluksissa. Saimme rekisteröityä aineiston, mutta Leican sovelluksessa vaikutti puuttuvan osa pisteistä, sekä intensiteetti-arvot puuttuivat. Emme saaneet pistepilven pisteitä kategorisoitua samoin kuin Leican laserkeilaimesta saadusta pistepilvestä.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyötä aloittaessamme harkitsimme laserkeilauksen käyttöä metallikaidesuunnittelussa perinteisten mittaustapojen korvaajana, vaikkakin se ei täysin poista rullamitan tarvetta. Tavoitteenamme oli luoda tarkka malli laserkeilauksen avulla, joka korvaisi perinteiset manuaalisesti mitatut ja mallinnetut versiot. Laserkeilauksella toteutettu malli olisi vähentänyt tarvetta manuaalisille mittauksille työmaalla, tarjoamalla luotettavan ja tarkan digitaalisen kuvauksen kohteesta.

Vertailimme kahta erilaista laserkeilainta niiden käytettävyyden ja tehokkuuden erojen selvittämiseksi. Leica BLK360-laserkeilaimen mittausten suoritus aika ja katvealueet vaikuttivat merkittävästi 3D-mallin luomiseen. Erityisesti katvealueet aiheuttivat haasteita Cyclone 3DR -ohjelmistossa pintamallin muodostamisessa.

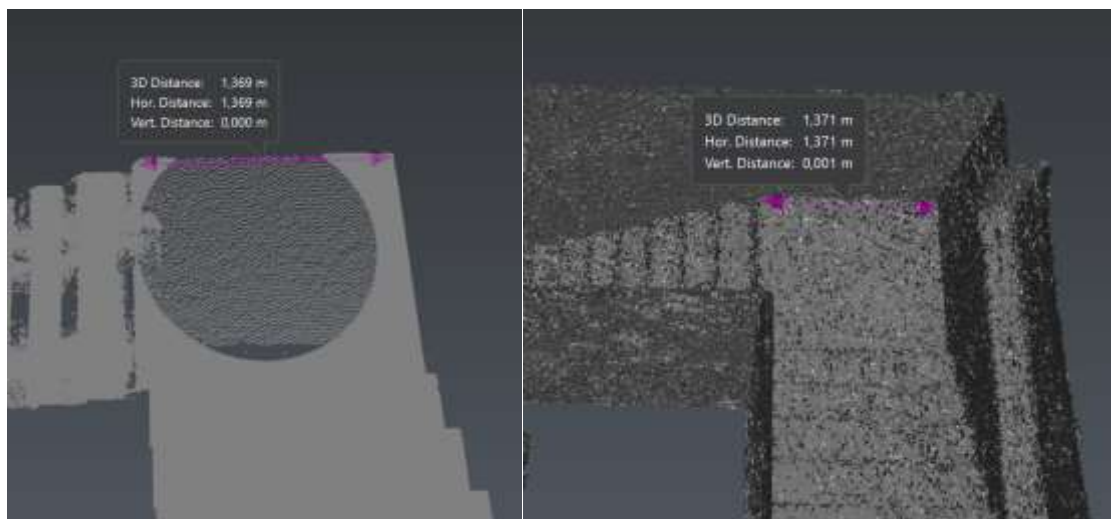
GeoSLAM ZEB Horizon -käsikeilaimen mittausten suoritus aika oli huomattavasti lyhyempi, eikä siinä ilmennyt samoja katvealueita kuin BLK360 -laserkeilaimessa. Kuitenkin GeoSLAM-laitteen tuottama pistepilvitiedosto oli huonompilaatuinen. Puutteellisten GeoSLAM-sovellusten lisenssien vuoksi emme voineet täysin arvioida GeoSLAM ZEB Horizon -laserkeilaimen mahdollisuuksia. GeoSLAM:ista saatujen pistepilvien laatuongelmien todennäköinen syy oli rekisteröinnissä ja siirrossa ilmenevät ongelmat, kun mitattujen pisteiden intensiteettiarvot puuttuivat, joka vaikeutti Leican-sovelluksessa tehtävää pisteiden kategorisointia.

BLK360-laserkeilaimella onnistuttiin tuottamaan pistepilvimalli, kuitenkin ei kyetty luomaan kevyempää pintamallia, jolla olisi ollut merkittävä etu tilaajayritykselle. BLK360-laserkeilaimen tarkkuus on riittävä metallikaiteiden suunnittelussa. Tulevat projektit voisi olla kannattavaa BLK360-laserkeilaimella toteutettuna, vaikka mittauksiin kuluukin enemmän aikaa manuaalisesti mitattuun ja mallinnettuun 3D-malliin verrattuna, sillä se tarjoaisi minimaaliset mittavirheet ja siten vähentäisi tarvetta tehdä ylimääräisiä työmaakäyntejä.

BLK360- sekä ZEB Horizon -laserkeilaimen mittatarkkuudeksi saatiin keskimäärin 1–3 millimetriä riippuen tulkinnasta (kuvat 11–14), mikä riittää metallikaiteiden suunnitteluun. Jatkokehityksen kohteina olisivat uudet mittaukset Leica BLK360 G1 -laserkeilaimella niin, että katvealueita ei jäisi portaiden kulmiin. Lisäksi GeoSLAM ZEB Horizon -laserkeilaimella mittaukset ja niiden jatkokäsittelyt tulisi tehdä GeoSLAM:in omilla sovelluksilla.



KUVA 11. Porrastasanteen mitta (Kaapro Saukonoja 13.02.2024)



KUVA 12. Porrastasanteen mittatarkkuuden vertailu BLK360-pistepilven ja ZEB Horizon -pistepilven välillä. (Joel 30.04.2024)



KUVA 13. Portaiden mitta. (Kaapro 13.02.2024)



KUVA 14. Portaiden mittatarkkuuden vertailu BLK360-pistepilven ja ZEB Horizon -pistepilven mittauksen välillä. (Joel 30.04.2024)

## 6 POHDINTA

Tutkimus laserkeilaimien ja pistepilvien parissa on ollut opettavainen ja ammattitaitoa kohottava kokemus. Se on sopinut hyvin osaamistaustalleni, koska olen perehtynyt suunnitteluun ja rakennusten 3D-mallintamiseen. Ennen opinnäytetyötäni minulla oli vain vähän tietoa laserkeilauksesta ja pistepilvien käsittelystä, mutta olen nyt onnistunut syventymään näihin aiheisiin.

Toimeksiantajalla ei ollut erityisiä vaatimuksia työn toteutuksen suhteen, mikä antoi minulle vapauden toteuttaa tutkimukseni omalla tavallani. Olisin kuitenkin voinut käyttää enemmän aikaa työaika-taulun ja -toteutuksen suunnitteluun, mikä olisi opettanut minua ajankäytönhallinnassa. Opinnäytetyötä tehdessä jouduin välillä pohtimaan töiden järjestystä, mitä missäkin järjestyksessä kannattaa tehdä, mikä opetti minulle arvokasta projektinhallintaa.

Eryityisesti pistepilvien käsittelyprosessi oli opettavainen kokemus. Metallikaiteiden suunnitteluun liittyvät vaatimukset tulivat minulle tutuiksi vertaillessani laserkeilauksesta saatuja aineistoja sekä tavoitetta mihin olisi päästävää, jotta laserkeilaus olisi kannattavaa. Suurin haaste oli pistepilvien hallitseminen. Työn aikana huomasin monia parannusmahdollisuuksia, jotka olisin voinut toteuttaa paremmin.

Jatkossa olisi kiinnostavaa työskennellä suunnittelutoimistossa laserkeilauksen parissa ja oppia muiden tekniikoita pistepilvien käsittelyssä. Haluaisin myös syventyä enemmän itse laserkeilaukseen ja kehittyä pistepilvien jatkojalostuksessa.

Tulevaisuudessa suunnittelisin laserkeilaukset huolellisemmin, kuten suunnitteleamalla keilausasemien sijainnit paremmin. Yhtenä esimerkkinä olisi mitata jokaisen portaan alapäästä kahdelta eri tasolta, jotta katvealueiden määrää saadaan vähennettyä.

Kokonaisuudessaan uskon, että Leica BLK360 G1 -laserkeilain voisi olla hyödyllinen lisä Kymppikaide Oy:n tarpeisiin. Sen avulla voidaan vähentää inhimillisiä mittavirheitä ja tarvetta tehdä ylimääräisiä työmaakäyntejä sekä nopeuttaa suunnittelutyötä.



## LÄHTEET

Joala, V. (2006). Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Haettu 15. Maaliskuu 2024 osoitteesta Espoo: Leica Nilomark Oy: [http://www.tiigi.ee/mm/skanner/jutud/HDS\\_11\\_2006\\_Va-hur\\_Joala.pdf](http://www.tiigi.ee/mm/skanner/jutud/HDS_11_2006_Va-hur_Joala.pdf)

Geotrim Oy. (2024). Haettu 15. Maaliskuu 2024 osoitteesta GeoSLAM ZEB-HORIZON käsiskanneri: <https://geotrim.fi/tuotteet/laserkeilaus/kasikeilaimet/geoslam-zeb-horizon-kasiskanneri/>

GeoSLAM. (2019). Haettu 15. Maaliskuu 2024 osoitteesta ZEB-HORIZON Datasheet: [https://geoslam.com/wp-content/uploads/2021/03/Horizon\\_Spec\\_Sheet.pdf](https://geoslam.com/wp-content/uploads/2021/03/Horizon_Spec_Sheet.pdf)

Leica Geosystems. (2023). Leica BLK360 G1 tuotesivu Haettu 20. Maaliskuu 2024 osoitteesta Leica Geosystems: [https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2023-06/BLK360\\_G1\\_SpecSheet\\_EN.pdf](https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2023-06/BLK360_G1_SpecSheet_EN.pdf)

Leica Geosystems. (2020). Leica BLK360 G1 yleiskatsaus Haettu 20. Maaliskuu 2024 osoitteesta Leica Geosystems: <https://shop.leica-geosystems.com/leica-blk/blk360/blk360-g1-overview>

SolidWorks.com. (2024). Dassault systems. Haettu 25. Maaliskuu 2024 Osoitteesta: <https://www.solidworks.com/support/home>

RT-103569 Kaiteet ja käsijohteet 2023. Viitattu 16. Huhtikuu 2024

## LIITE 1: LEICA BLK360 G1

# LEICA BLK360 G1

## IMAGING LASER SCANNER



### GENERAL

Imaging scanner 3D scanner with integrated spherical imaging system and thermography panorama sensor system

### DESIGN & PHYSICAL

Housing	Black anodized aluminium
Dimensions	Height: 165 mm / Diameter: 100 mm
Weight	1kg
Transport cover	Hood with integrated floorstand
Mounting mechanism	Button-press quick release

### OPERATION

Stand-alone operation	One-button operation
Remote operation	iPad app, Apple iPad Pro® 12.9"/iOS 10 or later
Wireless communication	Integrated wireless LAN (802.11 b/g/n)
Internal memory	Storage for > 100 setups
Instrument orientation	Upright and upside down

### POWER

Battery type	Internal, rechargeable Li-Ion battery (Leica GEB212)
Capacity	Typically >40 setups

### SCANNING

Distance measurement system	High speed time of flight enhanced by Waveform Digitizing (WFD) technology
Laser class	1 (in accordance with IEC 60825-1:2014)
Wavelength	830 nm
Field of view	360° (horizontal) / 300° (vertical)
Range*	min. 0.6 - up to 60 m
Point measurement rate	up to 360'000 pts / sec
Ranging accuracy*	4mm @ 10m / 7mm @ 20m
Measurement modes	3 user selectable resolution settings

### IMAGING

Camera System	15 Mpixel 3-camera system, 150Mpx full dome capture, HDR, LED flash Calibrated spherical image, 360° x 300°
Thermal Camera	FLIR technology based longwave infrared camera Thermal panoramic image, 360° x 70°

### PERFORMANCE

Measurement speed	< 3 min for complete fulldome scan, spherical image & thermal image
3D point accuracy*	6mm @ 10m / 8mm @ 20m

### ENVIRONMENTAL

Robustness	Designed for indoor and outdoor use
Operating temperature	+5 to +40° C
Dust/Humidity	Solid particle/liquid ingress protection IP54 (IEC 60529)

### DATA ACQUISITION

Live image and scanned data streaming
Live data viewing and editing
Automatic tilt measurements

All specifications are subject to change without notice.  
All accuracy specifications are one sigma unless otherwise noted.  
Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2020.

**Leica** BLK  
Geosystems

## LIITE 2: GEOSLAM ZEB HORIZON

# ZEB

## HORIZON

## The ultimate mobile mapping tool

The **ZEB Horizon**, capture and understand the world around you - outdoors, indoors and underground.



### Technical specification

Range	100m
Laser	Class 1 / $\lambda$ 903nm
FOV	360° x 270°
Protection class	IP 54
Processing	Post
Datalogger carrier	Backpack or shoulder strap
Scanner weight	1.45kg
Datalogger weight (incl. battery)	1.4kg
Colourised point cloud	✓ *
Intensity	✓
Real-time processing	✓ **
Scanner points per second	300,000
No. of sensors	16
Vertical angular resolution	2°
Horizontal angular resolution	0.2°
Relative accuracy	Up to 6mm ***
Raw data file size	25 - 50MB / minute

\*With ZEB Vision, purchased separately

\*\*With ZEB Horizon RT, purchased separately

\*\*\*When processing data in GeoSLAM Connect V2



- ✓ Automatic data processing.
- ✓ Single-operation automated workflows including scan alignment and georeferencing.
- ✓ Organise point clouds into projects for simplified data management.
- ✓ Add on Draw software for taking measurements from your data.

### ZEB ACCESSORIES

- ✓ **ZEB Vision** - For colourised point clouds.
- ✓ **ZEB Pano** - Add 360° panoramic photos to scans.
- ✓ **ZEB Pole** - Elevate your device into ceiling voids.
- ✓ **ZEB Cradle** - Lower your device into shafts.
- ✓ **ZEB Guard** - Greater protection for vertical shafts.
- ✓ **Car Mount** - Flexible urban scanning.
- ✓ **UAV Mount** - Flexible airborne integration.