



Karelia-ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma, insinööri
(AMK)

Laserkeilauksen käyttö laadun- varmistuksen työkaluna

Joona Tanskanen

Opinnäytetyö, huhtikuu 2024

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Joonas Tanskanen

Nimeke
Laserkeilauksen käyttö laadunvarmistuksen työkaluna

Toimeksiantaja
Karelia-ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Karelia-ammattikorkeakoululle. Opinnäytetyön päätavoitteena oli selvittää laserkeilauksen soveltuvuus laadunvarmistuksen työkaluksi. Työssä verrattiin laserkeilauksella saatuja tuloksia Joensuun keskustassa sijaitsevan uudiskohteen tietomalleihin.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään laadunvarmistusta rakennusalalla sekä laserkeilauksen soveltuvuutta tähän tarkoitukseen. Laadunvarmistuksen osalta tarkastellaan tietomallien käyttöä rakennushankkeessa, rakentamisen laadun käsitteitä sekä laadunvarmistustoimia työmaalla. Laserkeilauksen osalta työssä käsitellään sen perusteita, käyttökohteita sekä laserkeilaimien tyyppejä. Opinnäytetyön toiminnallisena osana käsitellään laserkeilauksen toteutusta, mukaan lukien laserkeilatun tilan pistepilven hyödyntäminen, keilauksen aloitus ja mahdolliset haasteet työn aikana.

Laserkeilaus osoittautui laadunvarmistuksessa monipuoliseksi työkaluksi poikkeamien havainnointiin, mittaamiseen sekä vertailuun. Opinnäytetyössä kuvatussa uudiskohteen laserkeilaustulosten avulla oli mahdollista onnistuneesti esitellä laserkeilauksen hyötyjä sekä ominaisuuksia. Työssä todettiin, että laserkeilausta voidaan hyödyntää myös esimerkiksi korjausrakentamisen työkaluna.

Kieli
suomi

Sivuja 59
Liitteet 2
Liitesivumäärä 15

Asiasanat
laserkeilaus, pistepilvi, laadunvarmistus, tietomalli



THESIS
April 2024
Degree Programme in Construction Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Joonas Tanskanen

Title
The Use of Laser Scanning as a Tool for Quality Assurance

Commissioned by
Karelia University of Applied Sciences

Abstract

This thesis was commissioned by Karelia University of Applied Sciences. The main objective of the thesis was to investigate the suitability of laser scanning as a tool for quality assurance. In the study, the results obtained from laser scanning were compared with the Building Information Models (BIM) of a new construction project located in the center of Joensuu.

The theory section of the thesis discusses quality assurance in the construction industry and the suitability of laser scanning for this purpose. In terms of quality assurance, the use of information models in construction projects, the concepts of construction quality and the quality assurance measures on construction sites are examined. Regarding laser scanning, the thesis covers its fundamentals, applications and types of laser scanners. As part of the practical aspects of the thesis, the implementation of laser scanning was dealt with, including the utilization of the point cloud from the scanned area, starting the scanning process, and potential challenges encountered during the work.

Laser scanning proved to be a versatile tool for quality assurance in observing, measuring and comparing deviations. With the laser scanning results described in the thesis for the new construction project, it was possible to successfully present the benefits and features of laser scanning. The study concluded that laser scanning can also be utilized as a tool in, for example, renovation construction projects.

Language
Finnish

Pages 59
Appendices 2
Pages of Appendices 15

Keywords
laser scanning, point cloud, quality assurance, information model

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Laadunvarmistus	6
2.1	Rakentamisen laatu käsitteenä	6
2.2	Rakennushankkeen laadunvarmistus	7
2.3	Laadunvarmistustoimet työmaalla	8
2.4	BIM- sekä IFC- tietomallit	9
3	Laserkeilaus	10
3.1	Mitä laserkeilaus on	10
3.2	Laserkeilauksen hyödyntäminen	11
4	Laserkeilaimien tyypit	13
4.1	Laitteisto	13
4.2	Laserkeilaimien luokittelu	13
4.3	Maalaserkeilaimet	14
5	Laserkeilauksen toteutus	15
5.1	Tilojen käyttö, kulkeminen ja turvallisuus	15
5.2	Laserkeilausta haittaavat tekijät	16
5.3	Työn aloitus	17
6	Laserkeilauksen suorittaminen esimerkkikohteessa	17
6.1	Keilauksen lähtötiedot	17
6.2	Mittaussuunnitelma	18
6.3	Keilaukseen tarvittava kalusto sekä ohjelmisto	20
6.4	Leica BLK360	21
6.5	Keilauksen kulku sekä sen aikana tulleet haasteet	22
7	Laserkeilauksen tulosten käsittely sekä hallinta	23
7.1	Leica Register 360 Plus sekä pistepilven rekisteröinti	23
7.2	Varastointi, nimeäminen sekä formaattimuutokset	28
8	Pistepilvimallin hyödyntäminen	28
8.1	Leica Cyclone 3DR	28
8.2	Pistepilven käyttö laadunvarmistuksen työkaluna	29
8.3	Pistepilven vertaaminen tietomalleihin	31
9	Laserkeilauksen tulosten vertailu	35
9.1	Asuinhuoneiston tulokset	35
9.2	Toimitilakerroksen tulokset	44
10	Pohdinta	48
	Lähteet	58

Liitteet

Liite 1 Leica BLK360 -laserkeilaimen tekniset tiedot -dokumentti

Liite 2 Pistepilvien rekisteröintiraportti

Käsitteet

Pistepilvi	Laserkeilauksen tuloksena syntyvä sadoista miljoonista, jopa miljardeista väri- ja intensiteettiä omaavista pisteistä muodostuva joukko kolmiulotteisia koordinaatteja. (RT 103133, 2019, 1–2.)
Tähys	Laserkeilauksessa käytettävät pallotähykset, tarratähykset sekä paperille tulostetut tähysmerkit toimivat kuvattavan kohteen referenssipisteinä. (RT 103133, 2019, 4.)
Rekisteröinti	Laserkeilauksen tuloksena syntyvän pistepilven esikäsittelyvaihe, jossa erilliset keilausasemat rekisteröidään eli sovitetaan yhdeksi pistepilveksi. (Keitaanniemi 2023.)
BIM-tietomalli	Building Information Model, eli BIM on digitaalinen tietomalli, joka sisältää rakennuksen tiedot sekä geometrian. (RT 103133, 2019, 2.)
E57	Yleisesti käytössä oleva, laitevalmistajasta riippumaton tiedostomuoto pistepilvien tallentamiseen. Tiedostomuotoa käytetään pistepilvien tiedonsiirto- ja arkistointiformaattina. (Anttila 2023.)

IFC-formaatti	Industry Foundation Classes, eli IFC on digitaalinen, standardisoitu kuvaus rakennetusta ympäristöstä, sisältäen sen rakennukset sekä infrastruktuurin. Formaatin avoin kansainvälinen standardi mahdollistaa sen käytön monenlaisilla laitteistoilla sekä ohjelmistoalustoilla. (Buildingsmart International 2024.)
Cloud-to-cloud	Pistepilvien rekisteröintitapa, jossa yhdistetään useita pistepilviä hyödyntäen niiden pisteiden koordinaatteja. Rekisteröintitavassa ohjelmisto pyrkii löytämään pilvien väliltä toisiaan vastaavat pisteet, muodostaen visuaalisen suhteen näiden välille. (Leica Geosystems 2024.)
N-points Registration	Leica Geosystems sin ohjelmistoissa käytettävä 3d-objektien kohdistustapa, jossa komento kohdistaa valitut objektit valittuja liikkuvia ja kiinteitä pistepareja hyödyntäen. Komento laskee muunnoksen, minimoiden jokaisen pisteen välisen etäisyyden pienimmän neliösumman periaatteella. (Leica Geosystems 2023.)
Geometric Registration	Leica Geosystems sin ohjelmistoissa käytettävä kohdistustapa, jossa valittu objekti kohdistetaan lähtökoordinaatistoon käyttäjän määrittämiä koordinaatteja hyödyntäen. Kohteena oleva lähtökoordinaatisto määritellään geometrisia elementtejä kuten pisteitä, viivoja ja tasoja hyödyntäen. (Leica Geosystems 2023.)

BIM Alignment	Leica Geosystems'in ohjelmistoissa käytettävä komento, jolla kohdistetaan pistepilven sekä tietomallin 3d-objektit. Kohdistuksessa käyttäjä valitsee molemmista objekteista toisiaan vastaavat referenssipisteet, joiden avulla komento suorittaa objekteille esialustavan kohdistuksen. (Leica Geosystems 2023.)
LAS-formaatti	LAS-tiedostoformaatti on kolmiulotteisen pistepilvidatan vaihtoon kehitetty julkinen tiedostoformaatti. Formaatti on pääasiassa kehitetty lidaaripistepilvidatan vaihtoon tietokäyttäjien välillä, mutta se tukee myös minkä tahansa kolmiulotteisen x, y, z- ryhmän käyttäjien välistä vaihtoa. (Asprs 2024.)
Auto Classification	Leica Cyclone Register 360 Plus ohjelmiston prosessi, jossa ohjelmisto tarkastelee pistepilven jokaista asetusta määrittäen mihin luokkaan kukin piste sijoitetaan. Nämä luokat koostuvat esiasetetuista malleista kuten ikkunoista, katoista sekä lattioista. Prosessi sisältää sekä ulko- että sisämalleja luokittelua varten. (Leica Geosystems 2024.)
FLIR-lämpökuvaus	Käsite FLIR on lyhenne sanoista "Forward Looking Infra Red". FLIR -teknologiaa käyttävät lämpökamerat havaitsevat infrapunasäteilyä, jota ilmenee jokaisessa laitteen näkökentässä olevassa objektissa (Forward Looking). Värispektrissä punaisen värin alapuolelle sijoittuvaa sähkömagneettista säteilyä kuvataan sanalla "Infra Red". (McCarthy 2023.)

1 Johdanto

Opettajatuutori Ville Mertasen kanssa helmikuussa 2023 käydyssä kehityskeskustelussa hän ehdotti opinnäytetyön aihetta, joka käsittäisi koulun vuonna 2022 hankkiman, Leica Geosystems'in valmistaman laserkeilaimen käyttöä rakennustyömaalla sekä keilaustulosten käyttöä laadunvarmistuksen työkaluna.

Opinnäytetyön yksityiskohdat, vaiheet sekä sen tavoitteet ratkesivat pian, sillä tiedossa oli tuleva työnjohtoharjoittelu Joensuun keskustassa rakenteilla olevassa uudiskohteessa, jonka rakennuttajana toimi Rakennustoimisto K. Tervo. Laserkeilaukset suoritettiin työnjohtoharjoittelun aikana kesällä 2023. Keilaukset sisälsivät kokonaisen toimistokerroksen sekä rakennuksen suurimman asuinhuoneiston. Laserkeilatut tilat sisälsivät laadunvarmistuksellisesti erinomaisia rakennustapoja: kevyitä väliseiniä, sandwich- elementtejä, ontelolaattoja sekä pilareita.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, kuinka laserkeilauksen tuloksia voidaan hyödyntää laadunvarmistuksellisessa käytössä. Uudiskohteesta suoritettujen laserkeilausten käsiteltyjä tuloksia verrattiin kohteesta tuotettuihin BIM- sekä IFC- tietomalleihin. Vertailun tuloksia hyödyntäen käsittelemme, kuinka tarkasti 3D-tietomallinnettu kohde vastaa toteutunutta työtä. Opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään myös laserkeilauksen perustietoja sekä eri käyttötarkoituksia kenttäolosuhteissa.

Henkilökohtaisena tavoitteena opinnäytetyön tekijällä oli oppia laserkeilauksen perustietoja, laserkeilaimen käyttöä työmaaolosuhteissa sekä keilaustulosten käsittelyn, hallinnan sekä niiden käytön.

2 Laadunvarmistus

2.1 Rakentamisen laatu käsitteenä

Nykypäivänä käsite rakentamisen laadusta on laajentunut pelkästä lopputuotteen virheettömyydestä kattamaan kokonaisvaltaisen liikkeenjohtamisen. Olipa kyse sitten itse tarkasteltavasta tuotteesta, rakennushankkeen eri vaiheista tai yritysverkostossa toimivista sidosryhmistä, laatuajattelua sovelletaan nykypäivänä kaikilla rakennusalan osa-alueilla. Keskeistä on varmistaa tuotannon resursseissa, rakenteissa sekä ohjauksessa laadukas toiminta, jolloin tavoiteltu lopputuote vastaa tälle asetettuja vaatimuksia sekä tavoitteita. (Ratu KI-6029, 7.)

Tavoitteet muodostuvat rakentamiselle asetetuista säädöksistä sekä projekti-kohtaisista vaatimuksista. Laadukkaan lopputuloksen saavuttamisen edellytyksinä on kaikkien hankkeessa olevien osapuolten, kuten suunnittelijoiden, urakoitsijoiden sekä tilaajien yhteistä sitoutumista sekä ymmärrystä näihin tavoitteisiin. (Ruusunen, 2021.)

Riittävä vuorovaikutus hankkeen osapuolten välillä on laadun varmistamisessa keskeinen tekijä. Hyvään vuorovaikutukseen sisältyy avoin kommunikaatio osapuolten välillä, tehokas yhteistyö sekä kyky ratkaista hankkeessa mahdollisesti ilmenevät konfliktit rakentavasti. Kun hankkeen kaikki osapuolet ovat sitoutuneet yhteiseen tavoitteeseen ja toimivat yhdessä sen saavuttamiseksi, on todennäköisempää saavuttaa tyytyväiset asiakkaat sekä laadukas lopputulos. (Ruusunen, 2021.)

Kuten laatua yleensä, voidaan myös rakentamisen laatua tarkastella useista eri näkökulmista. Joillekin laatu voi merkitä sitä, että työssä tehtävät asiat saadaan määräaikaan mennessä valmiiksi. Toiselle taas laatu voi merkitä sitä, että sovitut työvaiheet saadaan valmiiksi jo ensimmäisellä kerralla. Rakentamisessa käytettävä laatukäsite voidaan jakaa neljään osaan:

- Suunnittelun laadulla rakentamisessa tarkoitetaan, kun rakennushankkeen rakennustoimet sekä suunnitelmat ovat tilaajan toivomusten sekä tarpeiden mukaisia. Rakennustoimien sekä suunnitelmien on noudatettava hyvän rakennustavan sekä viranomaisten asetettuja vaatimuksia.
- Tuotannon laatua rakentamisessa on se, että rakennustyöt suoritetaan suunnitellun aikataulun sekä kustannustavoitteen mukaisesti, työ tehdään turvallisesti ja asetettujen laatutavoitteiden mukaan hyvää rakennustapaa noudattaen.
- Asiakkaan laatua on se, kuinka suoritettuna rakennushankkeen lopullinen tuote vastaa asiakkaan asettamia vaatimuksia. Edellytyksenä asiakkeskeiselle laadulle on toimiva sekä joustava yhteistyö eri osapuolien välillä, jossa tiedotetaan hankkeen aikana tapahtuvista muutoksista sekä kuuluista. Muutos- ja lisätöiden onnistunut hallinta muodostaa tärkeän osan asiakkaan kokemasta laadusta hankkeen aikana.
- Ympäristökeskeinen laatu rakennushankkeessa muodostuu toimintaperiaatteista, joilla pyritään täyttämään toimintaympäristön sekä yhteiskunnan asettamat vaatimukset sekä odotukset rakennushanketta kohtaan. (Ratu KI-6029, 11.)

2.2 Rakennushankkeen laadunvarmistus

Rakennushankkeissa käytettävässä laadunvarmistuksessa pyritään huomioimaan koko hankkeen prosessin, hankevalmistelusta aina luovutusvaiheen jälkeiseen käytön aikaiseen aikaan. Rakennushankkeen laadunvarmistustoimet vaihteittain:

- Tarjous- ja sopimusvaihe sisältää laadunvarmistuksen osalta oleellisia asioita kuten hankkeen tarjouspyynnön, tarjouspyynnön liiteasiakirjojen laatimisen, urakoitsijoiden esivalinnan, tarjouskilpailun järjestämisen, urakoitsijoiden lopullisen valinnan, katselmukset sekä neuvottelut ja

varsinaisten sopimusten allekirjoittamisen. Näissä kaikissa edellä mainituissa työvaiheissa on mahdollisuus valinnoilla vaikuttaa rakentamisen sekä rakennushankkeen laatuun.

- Rakentamisen valmisteluvaiheessa analysoidaan hankkeen mahdolliset riskit, suunnitellaan sekä tarkennetaan hankkeen osapuolien laadunvarmistustoimet sekä järjestetään aloituskokoukset. Vaiheeseen kuuluu myös hankkeen työ- ja suunnittelu-aikataulujen sekä tarkastusasiakirjojen laadinta.
- Rakentamisvaihe sisältää hankkeen rakennustöiden sekä ennalta suunniteltujen laadunvarmistustoimien toteutuksen sekä dokumentoinnin. Hankkeen eri osapuolet tiedottavat työn aikana havaitsemistaan poikkeamista sekä muutoksista. Kaikki rakentamisvaiheen aikana tehdyt toimenpiteet sekä päätökset dokumentoidaan työmaakokousten pöytäkirjoihin sekä hankkeen tarkastusasiakirjaan.
- Viimeistely- ja luovutusvaiheen keskeisimpänä tavoitteena on kohteen luovuttaminen sovitun aikataulun mukaisesti tilaajalle, täyttäen sille asetetut laatuvaatimukset. Tämä vaihe kattaa rakenteille sekä laitteistoille tehtävät tarkastukset, kokeet sekä säätötyöt. Luovutusvaiheen aikataulutus on suunniteltava niin, että viimeistelyvaiheessa ilmenneille muutos- ja korjaustarpeille on riittävästi aikaa ennen kohteen luovutusta. (Ratu KI-6029, 14.)

2.3 Laadunvarmistustoimet työmaalla

Työmaalla suoritettavat laadunvarmistustoimet voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen:

- Työtä edeltävä laadunvarmistus tuo esille mitä ovat ennen työn aloittamista suoritettavat toimenpiteet, kuten kohteen vastaanotto, aikaisemman työvaiheen lopputarkastus, hankintojen logistiikan ja työjärjestyksen

varmistaminen sekä työturvallisuuden tarkastus. Laadunvarmistus koskee kaikkea työhön liittyvää, mukaan lukien materiaalit, kohde, tehtävä, työturvallisuus ja työolosuhteet. Tässä esitetään keskeisimmät ja tärkeimmät asiat, jotka on otettava huomioon ennen työn aloittamista.

- Työnaikainen laadunvarmistus liittyy toimenpiteisiin, jotka suoritetaan työn kuluessa. Ennalta suunnitellun ongelmalistauksen avulla työntekijöiden on helpompi kiinnittää huomiota mahdollisiin riskeihin ja ongelma-kohtiin, mikä puolestaan auttaa vähentämään virheiden mahdollisuutta. Laadunvalvonta tapahtuu myös työn edetessä, mikä mahdollistaa reaaliaikaisen seurannan ja nopean havaitsemisen sekä virheiden paikantamisen, että niiden korjaamisen.
- Työnjälkeinen laadunvarmistus käsittää toimenpiteet, joiden avulla valmistuneen työn laatu voidaan katsoa toteutuneeksi annettujen laatuvaatimusten sekä standardien mukaan. Näihin toimenpiteisiin kuuluu työn tarkastaminen, luovutusprosessi sekä jälkihoito- ja suojatoimenpiteiden järjestäminen. Laadunvalvonnassa keskitytään valmiin työn materiaaleihin, oikeisiin työmenetelmiin sekä lopputuloksen tarkkuuteen ja toimivuuteen. (Ratu KI-6029, 30–31.)

2.4 BIM- sekä IFC- tietomallit

BIM, eli lyhenne käsitteestä ”Building information model”, on rakennuksen digitaaliseen malliin perustuva rakennusalan lähestymistapa. Tähän tietomalliin sisällytetään mahdollisimman kattavasti tietoa rakennuksen toiminnallisista sekä fyysisistä ominaisuuksista, ja tietomalli on suunniteltu hyödynnettäväksi kokosen elinkaaren ajan. (Talsi 2023.)

Tietomallin käytössä korostuu rakennushankkeen kaikkien osapuolten välinen yhteistyö sekä tiedon jakaminen, näitä osapuolia voivat olla esimerkiksi hankkeessa mukana olevat rakennuttajat, suunnittelijat, viranomaiset sekä

urakoitsijat. BIM, eli rakennuksen digitaalinen malli voi pitää sisällään useita eri tiedostostandardeja, joista yleisin käytössä oleva on IFC. (Nordic Bim Group 2024.)

IFC, eli lyhenne sanoista ”Industry Foundation Classes” on digitaalinen, standardisoitu kuvaus rakennetusta ympäristöstä, sisältäen sen rakennukset sekä infrastruktuurin. Formaatin avoin kansainvälinen standardi mahdollistaa sen käytön monenlaisilla laitteistoilla sekä ohjelmistoalustoilla. (Buildingsmart International 2024.) Se mahdollistaa tietomallien siirtämisen, jakamisen sekä yhteiskäytön eri ohjelmistoympäristöissä, ollen keskeinen työkalu tietomallien yhteensopivuudelle eri rakennusalalla käytettävien suunnitteluohjelmien välillä. (Talsi 2023, 11.)

Rakennushankkeessa tietomallin hyödyntämisellä voi olla suuria vaikutuksia hankkeen rakentamisen laatuun. Yhteistyössä hankkeen käyttäjien kanssa toteutettu tietomalli voi toimia laadunvarmistuksen työkaluna hankkeen sääntöpohjaisessa- sekä visuaalisessa tarkastelussa, tietosisällön laadunvarmistuksessa, hankkeen geometrisessa laadunvarmistuksessa sekä oletustyökaluna BIM- hankkeiden tietomallit toimivat kohteen törmäystarkastelussa. Tietomallista on mahdollista tuoda kolmeulotteisen mallin sijaan myös kaksiulotteista aineistoa, jolloin kevyempää mallinnusta hyödyntäviä työvaiheita voidaan tarkastella laadunvarmistuksellisesti. (Utriainen 2023, 7–15.)

3 Laserkeilaus

3.1 Mitä laserkeilaus on

Laserkeilaus on rakennushankkeissa käytettävä optinen mittausmenetelmä, jonka avulla voidaan monipuolisesti kerätä lähtötietoja sekä arvioida ja mallintaa rakennushankkeen edistymistä. Laserkeilauksessa keilain mittaa sen lähettämien, kuvattavan kohteen pintojen heijastamien paluupulssien kulkeman ajan.

Näin syntyy sarja etäisyyshavaintoja, josta järjestelmä muodostaa kolmiulotteisen pistepilven. (RT 103133, 2019, 1.)

Riippuen käytössä olevasta laserkeilaimesta ja sen määritellystä tarkkuudesta, pistepilvet voivat koostua sadoista miljoonista, jopa miljardeista mittapisteistä. Mittapisteiden lukumäärään vaikuttaa myös mitattavan kohteen laajuus sekä toteutettujen mittausten määrä. (RT 103133, 2019, 1.)

Jokaisen lasersäteen muodostamalle sekä mittaamalle pisteelle voidaan laskea xyz-koordinaatit, kun tiedossa on lasersäteen vaaka- että pystysuuntainen lähtökulma sekä mitattu matka kohteeseen. Laserkeilaimen nollapisteellä tarkoitetaan sitä pistettä, josta keilaimen lähettämä valosignaali (lasersäde) kulkee mitattavaan kohteeseen ja takaisin. Laserkeilaimen järjestelmä mittaa kohteesta palaavan paluupulssin voimakkuuden, jonka avulla kaikille pisteille voidaan määrittää sen intensiteetti-arvo. (Joala 2006, 1.)

Laserkeilaus on siis mittaussuunnitelma, jossa laitteisto muodostaa mitatuille pisteille intensiteetti- ja väriarvon sekä koordinaattitiedot. Näiden pisteiden muodostamaa pistepilveä voidaan siis kutsua myös joukoksi kolmiulotteisia koordinaatteja. (RT 103133, 2019, 1.)

3.2 Laserkeilauksen hyödyntäminen

Yleisin sovelluskohde nykypäivänä laserkeilaukselle on tuottaa geometriatietoja suunnittelua sekä inventointimallinnusta varten. Laserkeilauksen perusteella toteutuneita inventointimalleja pääosin hyödynnetään rakennusten korjaus- ja perusparannushankkeissa sekä kiinteistöomaisuuden digitalisointiin. Erinomainen käyttökohte laserkeilaukselle on sen käyttö erinäisissä korjausrakentamishankkeissa, joissa kohteen geometria voidaan dokumentoida mittatarkasti. (RT 103133, 2019, 2.)

Näiden dokumenttien pistepilviaineistoa voidaan hyödyntää jalostamalla se saatavilla olevilla käsittelyohjelmilla mm. pohja-, leikkaus ja julkisivupiirroksiksi sekä määrätiedoiksi hankkeessa mukana oleville osapuolille sekä erityisesti suunnittelijoille. Laserkeilauksella tuotettavaa aineistoa hyödynnetään myös pinta-geometrioiden tuottamisessa erilaisiin 3D- malleihin. (RT 103133, 2019, 2.)

Laserkeilaus mittausmenetelmänä on hyödyllinen rakennuskohteissa, jotka sisältävät rakenteita, tekniikkaa sekä geometriaa ilman ajantasaisia piirustuksia. Toisin kuin fotogrammetria (valokuvien käyttö kolmiulotteisessa mittauksessa), laserkeilaus ei tarvitse valoa, soveltuen näin myös pimeiden tilojen sekä ympäristöjen mittaamiseen. (Uotila 2023.)

Talonrakennusalan uudis-, ja saneerauskohteiden lisäksi laserkeilausta ja sen aineistoa käytetään infra-alalla maastomallien muodostamiseen. Näitä maastomalleja hyödynnetään mm. reittien optimointi- ja tiedonkeruusovelluksissa, tulvakartoitusta eli vesien valuntaa tutkiessa sekä korkeusmallien ajantasaistamisen työkaluna maanpinnan muotoja tutkivissa sovelluksissa. (Maanmittauslaitos 2023.)

Laserkeilauksen avulla on mahdollista kerätä paljon informaatiota kuvattavasta kohteesta sekä ympäristöstä nopeasti ja tehokkaasti. Kuvattu digitaalinen tieto on käytettävissä heti, sekä se voidaan arkistoida mahdollistaen kuvatun paikan analysoinnin myöhemmin menemättä paikan päälle. (Mitta Oy 2023.)

Digitaalista pistepilveä voidaan käsittelyvaiheessa käsitellä erillisenä tuotteena sekä se voi olla osana laajempaa kokonaisuutta. (Mitta Oy 2023). Tässä opin- näytetyössä rakennustyömaalla otettuja pistepilviä hyödynnettiin vertaillen niitä työmaan kolmiulotteisiin tietomalleihin tähän tarkoitetuilla käsittelyohjelmilla.

4 Laserkeilaimien tyypit

4.1 Laitteisto

Yksinkertaistettuna laserkeilain on mittalaite, jonka toimintaperiaate perustuu kolmiulotteisen pistepilven mittaamiseen laserpisteillä koskematta itse kohteeseen. Ulkoisesti mittausmenetelmä muistuttaa prismattomalla täkymetrillä suoritettavaa mittausta. Laserkeilain lähettää mittauksen aikana kohteen etäisyyden mittaavan lasersäteen, jonka lähtöpiste on mittalaitteen nollapiste. (Joala 2006, 1.)

Valon kulkuaikaan perustuvissa keilaimissa kohteen etäisyys mitataan aikana, jossa keilaimen lähettämä valosignaali kulkee kohteeseen ja takaisin. Jokaiselle mitatulle pisteelle keilain laskee tarkat koordinaatit, sillä lasersäteiden eli valosignaalien lähtökulmat (sekä vaaka- että pystysuunnassa) ovat laitteiston muistissa. Näiden koordinaattien lisäksi paluusignaalien voimakkuuden pohjalta laitteisto kerää jokaiselle pisteelle oman intensiteetti-arvon. (Joala 2006, 1.)

4.2 Laserkeilaimien luokittelu

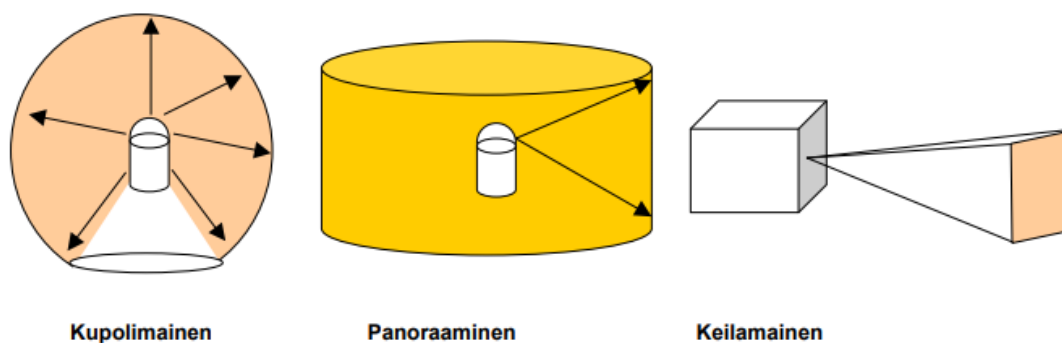
Laserkeilaimet luokitellaan niiden käyttötarkoituksen sekä mittaustarkkuuden mukaan kolmeen eri pääluokkaan:

- Terrestriaaliset- eli puhekielessä maalaserkeilaimet, jotka ovat nimensä mukaisesti maasta käsin käytettäviä mittalaitteita. Näiden keilaimien mittatarkkuus on alle 2 cm ja ovat tarkoitettuja 1–300 metrin etäisyyksille tehtäviin mittauksiin.
- Teollisuuslaserkeilaimet, joilla voidaan mitata erittäin pieniä sekä suuren tarkkuuden vaativia kohteita alle millimetrin tarkkuudella sekä alle 30 metrin etäisyydeltä.

- Kaukokartoitus-laserkeilaimet, joiden käyttökohde on lentokoneista, helikoptereista sekä avaruusaluksista. Näiden laitteiden mittausetäisyydet vaihtelevat kymmenestä metrissä jopa sataan kilometriin, mitatun pisteen tarkkuuden ollessa joitakin senttimetrejä (tyypillisesti alle 10 cm). (Joala 2006, 1.)

4.3 Maalaserkeilaimet

Opinnäytetyössä ja sen toteutuksessa käytettiin Leican valmistamaa BLK360 -maalaserkeilainta. Maalaserkeilaimet, joiden tyyppiä on esitetty kuvassa 1, soveltuvat rakennustyömaan sisällä toteutettavaan mittaukseen niiden siirrettävyyden, pienen tilantarpeen sekä nykyaikaisten keilaimien nopeuden sekä mittatarkkuuden ansiosta.



Kuva 1. Laserkeilaimien tyyppiä. (Joala 2006, 2).

Näiden keilaimien toimintaperiaatteiden pohjalta ne voidaan jakaa neljään eri tyyppiin:

- Kupolimainen mittaustapa (näitä keilaimia kutsutaan myös laserskannereiksi). Nykypäivänä suurin osa käytettävistä keilaimista ovat kupolimaisesti mittaavia. Kupolimaisesti mittaavien laitteiden tekninen rajoite on saatu nykyaikana hyvin pieneksi, jolloin mittaamatta jäävä katvealue laitteen alapuolelta jää hyvin pieneksi.

- Panoraaminen mittaustapa. Tätä mittaustapaa käyttävien laitteiden rajoitteena on mittausrajoitteet ylöspäin. Rajoitteen takia tunneleiden sekä rakennuksien sisätilojen mittaukset eivät ole optimaalisia tälle mittaustavalle.
- Keilamainen mittaustapa
- Optinen kolmiomittaus. Tämä mittausmenetelmä on käytettävissä olevista harvinaisin, sen ollessa pisteenmittauksessa tarkka, mutta rajoituksena muihin verrattaessa sen rajoituksina ovat lyhyt mittausetäisyys sekä isot katvealueet. (Joala 2006, 1).

5 Laserkeilauksen toteutus

5.1 Tilojen käyttö, kulkeminen ja turvallisuus

Ennen työn varsinaista aloittamista keilattavan kohteen käyttäjiä sekä tarvittavia asianomaisia tiedotetaan tapahtuvasta laserkeilauksesta ennakkoon, sillä laserkeilaukseen liittyvistä järjestelyistä sekä itse kuvausprosessista saattaa aiheutua haittaa kohteen sekä tilojen käyttäjille. Tilojen käyttäjiä tiedotetaan sekä tarvittaessa opastetaan ottamaan keilauksen takia aiheutuvat erikoisjärjestelyt huomioon. Erityisesti asuinrakennuskohteissa huolehditaan siitä, että laserkeilauksen aikana tiloissa ei ole vapaana liikkuvia eläimiä tai lapsia. Ennen laserkeilausta tilaajan tulee antaa etukäteisilmoitus mahdollisista esteistä ja teki-joistä, jotka voivat haitata keilausprosessia. Mikäli keilattava kohde tai sen tilat ovat turvaluokiteltuja, keilausta suorittavalla henkilöllä tulee olla asianmukainen turvaselvitys, riittävät tiedot ja pätevyys tiloissa toimimiseen. Lisäksi on noudatettava turvaluokitusten vaatimusten mukaista aineiston säilytys- ja käsittelyprosessia näissä kohteissa. (RT 103133, 2019, 4.)

Arvorakennukset ja suojellut kohteet edellyttävät erityishuomiota laserkeilauksen suunnittelussa ja toteutuksessa. Näissä kohteissa voi olla rajoituksia,

esimerkiksi kielto kiinnittää tähyksiä rakennusten seiniin. Tästä syystä on tarpeen suunnitella erityinen sijoittelu runko- tai referenssipisteistölle ennen mittauksen aloittamista. (RT 103133, 2019, 4.)

Ennen laserkeilaustyön aloittamista on olennaista, että tilaaja ja laserkeilaaja tekevät ennakkojärjestelyt tilojen liikkuvuudesta, mahdollisista rajoituksista tai lukuksista sekä avainten, kulkulupien ja saattajan järjestämisestä. Tavoitteena on varmistaa, että liikkuminen kuvattavissa tiloissa sujuu vaivattomasti ja turvalisesti, eikä häiritse tilan käyttäjiä tai sen normaalia toimintaa. (RT 103133, 2019, 4.)

5.2 Laserkeilausta haittaavat tekijät

Elektroniset laitteet ovat herkkiä tietyille lämpötila-alueille. Kylmät talvipäivät tai mittaukset kylmiöissä ja pakastustiloissa voivat vaikuttaa haitallisesti laitteiston akun kestoon ja toimintaan. Lisäksi on huomioitava, että kaikkia laserkeilaimia ei voida käyttää äärimmäisen kuumissa ympäristöissä. Sateet, kuten vesi- ja lumisade, saattavat estää mittauksen suorittamisen. Vesihöyry, lätäköt, vesialtaat ja vastaavat tekijät voivat tuottaa mittauksissa haasteita, koska yleensä vesi ei heijasta laserpulssia takaisin mittalaitteistoon. Tämä voi johtaa mittausvirheisiin ja katvealueiden syntymiseen mittausaineistoon. (RT 103133, 2019, 4.)

Laserkeilaimen lasersäde ei tarvitse onnistuakseen ympäristön valoa, mutta keilaimien sisäänrakennetut kamerat tarvitsevat kohtuullisen valaistuksen kuvattavia valokuvia varten. On myös keilauksen onnistumisen edellytyksenä tärkeää, että mitattavaksi määritettyjen kohteiden edestä on siirretty mahdolliset kiinteät kohteet, esim. huonekalut pois. Maalaserkeilain tarvitsee myös pystytysvaiheessa tilaa ympärilleen. (RT 103133, 2019, 4.)

5.3 Työn aloitus

Työn aloituksen yhteydessä käytettävä kuvauskalusto ja sen kunto tarkistetaan sekä perustetaan mittauslomake. Tälle mittauslomakkeelle kirjataan mm. mitaajan tiedot, mittausajankohta, kohdeolosuhde ja kalustotiedot. Työn aloituksen toimenpiteisiin kuuluu myös hankekoordinaatiston määrittäminen. Runko- sekä referenssipisteistö rakennetaan sekä mitataan, sekä pisteiden riittävyys kyseiselle hankkeelle varmistetaan, jolloin sitä voidaan täydentää tarpeen mukaan. (RT 103133, 2019, 4.)

Kuvattavassa kohteessa voidaan käyttää myös referenssipisteinä kiinteitä tarra- tähyksiä, paperille tulostettuja mustavalkotähyksiä tai liikuteltavia pallotähyksiä. Osa nykyaikaisista keilaimista sekä ohjelmistoista toimivat kojeasemien rekisteröintivaiheessa ilman erillisiä tähyksiä. (RT 103133, 2019, 4.)

Mittaussuunnitelman ajantasaisuus tarkistetaan ja päivitetään tarvittaessa, mukaan lukien mahdolliset tarkennukset ja erityisvaatimukset. Laserkeilaimen ja muiden käytettävien mittalaitteiden asetukset säädellään niin, että ne vastaavat käytössä olevaa mittaussuunnitelmaa. (RT 103133, 2019, 4.)

6 Laserkeilauksen suorittaminen esimerkkikohteessa

6.1 Keilauksen lähtötiedot

Laserkeilaustyön tarjoamiseen tilaajalle sekä keilauksen suunnitteluun vaaditaan kohteesta tarvittavia lähtötietoja. Tarvittavat lähtötiedot saadaan kohteen suunnitelma-asiakirjoista, kuten kohteen leikkauspiirroksista, pohjapiirroksista, asemapiirroksista sekä teknisistä piirroksista, joita ovat esimerkiksi rakennussuunnitelmat sekä LVI-suunnitelmat. (RT 103133, 2019, 3.)

Tässä opinnäytetyössä laserkeilaus toteutettiin Joensuun keskustassa sijaitsevassa uudisrakennuskohteessa, jonka pääurakoitsijana toimi Rakennustoimisto

K. Tervo Oy. Keilattava uudisrakennuskohde käsitti seitsemänkerroksisen asuin- ja liikerakennuksen, jonka kellarikerros toimii pysäköintihallina. Opinnäytetyössä laserkeilaus suoritettiin rakennuksen kolmannessa kerroksessa sekä seitsemännen kerroksen asuinhuoneistossa. Kohteen kokonaiskerrosala on noin. 9405 ke-m² sekä asuinhuoneistojen huoneistoala noin. 2077 h-m². (Rakennustoimisto K. Tervo, 2022, 42.)

Keilauksen aikana kohteessa suoritettu työnjohtoharjoittelu mahdollisti Sokopro -projektipankin hyödyntämisen kohteen lähtötietojen keräämiseen. Pilvipalvelun avulla oli mahdollisuus tarkastella kohteen suunnitelma-asiakirjoja, kuten kuvattavien kerrosten pohjapiirroksia sekä leikkauspiirroksia.

6.2 Mittaussuunnitelma

Laserkeilauksen suorittava henkilö laatii ennen keilaustyön aloittamista suunnitelman, jossa määritetään tavoitteet työn lopputulokselle, otetaan kohteen erityisominaisuuksiin kantaa, määritetään mitä täytyy ottaa huomioon kohteessa kulkemiseen sekä kuinka työn aikana huomioidaan riittävä työturvallisuus kohteen olosuhteet mukaan lukien. (RT103133, 2019, 3.)

Mittaussuunnitelmassa myös esitetään suunniteltujen kojeasemien paikat sekä määritetään käytettävä koordinaatisto, tarvittaessa myös sijoitetaan kuvattaviin tiloihin runko- ja referenssipisteistö sisältäen niiden mittaustulokset. Jokaiseen kuvauskohteeseen voi sisältyä tiettyjä erityisominaisuuksia, joiden huomiointi ennakkoon on tärkeää, jotta niihin osataan varautua myös aikataulullisesti sekä laserkeilauksen toteutuksen kannalta. (RT103133, 2019, 3.)

Opinnäytetyössä laserkeilattu kohde oli mittaussuunnitelman sisällön kannalta helppo toteuttaa. Keilauksessa käytettävä laitteisto oli Karelia-Ammattikorkeakoulun omaisuutta, jonka käyttöä sekä kuvausmenetelmiä olin harjoitellut niin teorian- että käytännön tasolla koulun tiloissa ennen työn suorittamista. Tavoitteena oleva tarkkuustaso sekä yksityiskohtaisuus laserkeilauksille määritettiin

käytettävän laserkeilaimen esiasetustarkkuuksilla, jotka todettiin riittäviksi koululla suoritettujen harjoituskeilausten sekä niiden käsittelyjen perusteella.

Laserkeilaus suunniteltiin toteutettavaksi arkipäivänä, varsinaisen työajan ulkopuolella, jolloin rakennustyömaan suurin osa henkilöstöstä on jo poistunut työmaalta. Näin tilaa ei tarvinnut sulkea ulkopuolisilta kuvausten ajaksi eikä suoritettavasta kuvauksesta tarvinnut tehdä tiedotusta etukäteen. Aikataulullisesti keilauksia varten kuvattava kohde oli erittäin joustava, sillä ajallisesti esteitä kuvausten suorittamiselle kohteella ei ollut. Laserkeilauksen suorittamiselle kohteessa oli varattu kaksi työpäivää.

Keilauksen etenemisjärjestystä sekä koje- ja tähysasemien sijoittelua ei määritetty ennen keilaustyön aloitusta. Tähän vaikutti kuvauspaikalla olevien rakennustarvikkeiden sekä heijastavien pintojen aiheuttamat katvealueet. Näiden aiheuttamat lisäkeilaukset täytyi suorittaa käytössä olevien tähysten määrällä aina tilakohtaisesti, joten täysin tarkkaa keilausjärjestystä sekä tähysten sijoittelusuunnitelmaa olisi ollut mahdoton toteuttaa.

Keilausten suorittamisen aikana käytössäni oli lähtötiedoista tulostettu, fyysisessä muodossa oleva pohjakuva keilattavasta alueesta, johon merkitsin keilausjärjestyksessä kojeasemien sijainnit numeroituna sekä tähysten sijainnit. Pohjakuvan käyttö helpotti hahmottamaan keilauksen etenemistä sekä seuraavan kojeaseman sekä tähyksen sijoituspaikkaa.

Olosuhteet keilattavassa tilassa olivat työn suorittamisen kannalta optimaaliset, porauksesta tai maan tiivistämisestä aiheutuvaa tärinää ei havaittu, rakennuksen lämpötila oli sekä keilauksessa käytettävälle kalustolle että työn suorittajalle ihanteellinen sekä tilat olivat siistit sekä helpot kulkea. Tiloissa kulkemiseen ei tarvinnut ennakoon sopia tai järjestellä avaimia tai kulkutunnuksia.

6.3 Keilaukseen tarvittava kalusto sekä ohjelmisto

Keilaukset suoritettiin käynnissä olevalla rakennustyömaalla, jonka työturvallisuusmääräyksiensä mukaan oli siellä työskennellessä käytettävä henkilökohtaisia suojausvälineitä, joita ovat pistosuojalla varustetut, vahvistetulla kärjellä varustetut työjalkineet, huomioväriyksellä olevat hyväksytyt työvaatteet, silmäsuojaimet sekä kypärä.

Kalustona keilauksessa käytössä oli Karelia-ammattikorkeakoulun omistama, kuvassa 2 esitelty Leica BLK360 maalaserkeilain, Manfrotto- merkinen kolmijalka sekä A4- kokoon tulostettuja tähyksiä sekä niiden kiinnitykseen tarvittavaa suojausteippiä. Keilaimeen oli käytössä kaksi täyteen ladattua akkua.



Kuva 2. Leica BLK360 keilain asennettuna kolmijalalle sekä seiniin kiinnitettyinä A4- kokoisia tähyksiä.

6.4 Leica BLK360

Opinnäytetyön kuvauksissa käytetty kamera on Sveitsiläisen Leica Geosystemsin valmistama, maalaserkeilaimeksi luokiteltava BLK360, jota valmistaja mainostaa markkinoiden pienimpänä sekä kevyimpänä kuvaavana laserkeilaimena. Laserkeilaimen lisävarusteena käytettiin Manfrotton valmistamaa kolmijalkaa, jolloin kameran kuvauskorkeus saatiin nostettua ja näin vähennettyä mahdollisia esineiden taakse jääviä katvealueita.

Leica BLK360 Keilaimen teknisiä tietoja:

- Runko mustaksi anodisoitua alumiinia, järjestelmän paino 1 kg, korkeus 165 mm sekä halkaisija 100 mm.
- Mahdollisuus suorittaa täysi kuvaus yhtä nappia painamalla, ladattavan puhelinosovelluksen kautta sekä sisäänrakennetun langattoman verkon avulla. Järjestelmän muistiin mahdollisuus tallentaa yli 100 (sata) kappaletta täyttä laserkeilausta.
- Akku nopeasti vaihdettava Li-Ion kenno, jonka kapasiteetti riittää jopa 40 (neljäkymmenen) täyden laserskannauksen suorittamiseen.
- Laserskannaus- optiikan peittoalue horisontaalisessa suunnassa 360 astetta sekä vertikaalisessa suunnassa 300 astetta, kantavuuden ollen 0.6 metristä jopa 60 metriin. Optiikka kykenee suorittamaan 360 000 laserskannausta sekunnissa sen tarkkuuden ollen 4 millimetriä kymmenen metrin etäisyyteen sekä 7 millimetriä 20 metrin etäisyyteen.
- 360 valokuvaukseen kolmesta 15 megapikselin kamerasta koostuva, HDR- valokuvaukseen kykenevä järjestelmä. FLIR- teknologiaan perustuva infrapuna -lämpökamera, joka kykenee muodostamaan lämpöjäljellisiä panoraamakuvia.

- Kamera kykenee suorittamaan täyden kuvauksen noin. 3 minuutissa, joka sisältää laserskannauksen, valokuvauksen sekä kuvauksen lämpökameraa käyttäen.
- Kamera on suunniteltu sekä sisä- että ulkoilmakuvauksiin. Sen IP54-roiskeveesisuojauksen ansiosta kevyt tihkusade sekä työmaan mahdollinen pölyisyys ei pääse vahingoittamaan laitteistoa. Kameran käyttölämpötila ulottuu +5 asteesta +40 asteeseen. (Leica Geosystems 2017.)

Leica BLK360 -laserkeilaimen tekniset tiedot -dokumentti on tämän opinnäytteen liitteenä (liite 1).

6.5 Keilauksen kulku sekä sen aikana tulleet haasteet

Keilaus esimerkkikohteessa aloitettiin ennen varsinaista keilaustyötä esivalmisteluilla. Kohteen työnjohdon kanssa sovittiin keilaustyön suorittamiseksi ajankohta varsinaisen työajan jälkeen, jolloin suurin osa rakennustyömaan henkilöstöstä on poistunut työmaalta ja tällöin kohteessa suoritettavasta keilaustyöstä ei ollut tarvetta tiedottaa laajasti eikä keilattavaa aluetta eristää muilta käyttäjiltä.

Keilauksessa käytettäviä A4- kokoiselle paperille tulostettuja tähyksiä varsin kuvattavaan alueeseen noin kaksikymmentä kappaletta, sekä tähysten- että keilaimen sijoittelun ylös kirjaamiseen tulostin kuvattavan kerroksen pohjakuvan, johon kirjasin ylös muistiinpanot. Kuvattavan kerroksen huoneisto- sekä aulajärjestely mahdollisti keilauksen toteutettavan pohjakuvaan verraten myötä sekä vastapäivään, tässä tapauksessa keilaimen asemointi määräytyi kuvauksen aloitussijainnin mukaan pohjakuvasta katsottuna vastapäivään. Keilauksen aikana pyrin käyttämään mahdollisimman paljon tähyksiä minimoiden tulosten käsittelyssä tarvittavaa manuaalista kohdistamista.

Ensimmäisenä haasteena keilaustyön aloituksessa ilmeni käynnissä olevien työvaiheiden rakennustarvikkeiden säilytys kuvattavalla alueella, sillä kerroksessa oli samanaikaisesti käynnissä toimistohuoneistojen puu- sekä lasiseinien sekä ovien asennustyöt, joten säilytyksessä olleet tarvikkeet ovat suurikokoisia ja aiheuttavat näin katvealueita keilausalueelle.

Viimeiselle kuvattavalle lohkolle siirryttäessä keilain ilmoitti käytössä olevan akun virran loppumisesta, jolloin vaihdoin mukana olleen täyden akun laitteeseen ja suoritin keilauksen loppuun. Tässä vaiheessa en vielä työmaalla ollessani tiennyt, että kaikki edellisen lohkon kuvaustiedostot, jotka olin suorittanut ennen akun loppumista olivat korruptoituneet tuntemattomasta syystä.

Seuraavana päivänä keilaustyö suoritettiin rakennushankkeen suurimmassa asuinhuoneistossa, jossa haasteena oli rakennustarvikkeiden säilytys asunnon kylpyhuoneessa. Tästä aiheutuneesta katvealueesta huolimatta noin yhdeksänkymmenen neliömetrin suuruisen tilan keilaus onnistui hyvin, joskin käytössä ollut Manfrotto- merkinen kolmijalka oli erittäin kömpelö käyttää ahtaissa kylpyhuone- ja saunatiloissa.

7 Laserkeilauksen tulosten käsittely sekä hallinta

7.1 Leica Register 360 Plus sekä pistepilven rekisteröinti

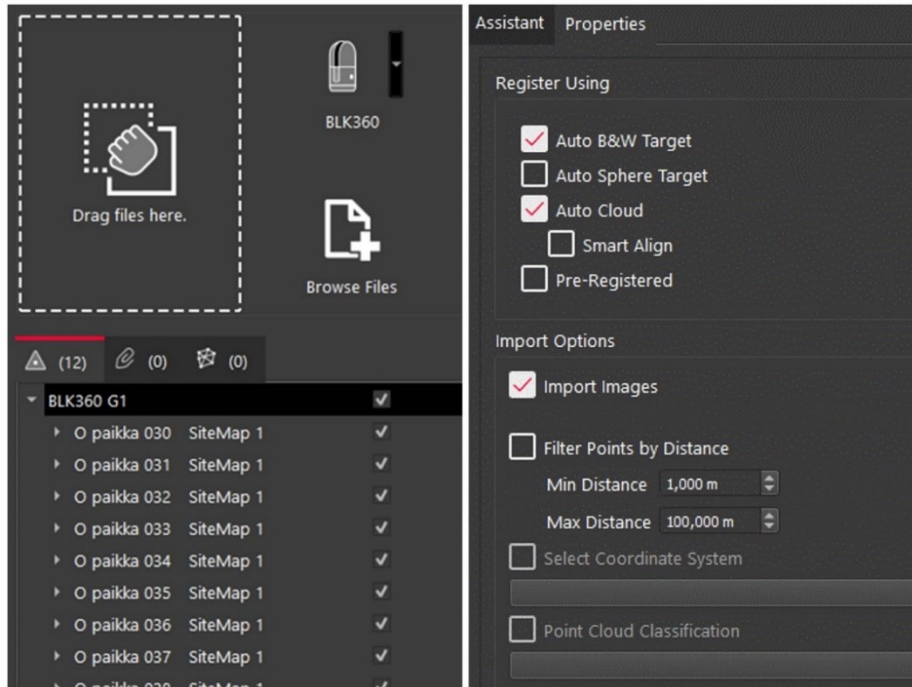
Karelia-ammattikorkeakoulun omistaman Leica BLK360 -maalaserkeilaimen keilaustulosten esikäsittelyyn sekä rekisteröintiin on koululla käytössä lisenssi laitevalmistajan BLK Data Manager sekä Cyclone Register 360 plus- rekisteröintiohjelmistoon. Uudiskohteessa suoritettujen laserkeilausten jälkeen kuvaustiedostot tuotiin laserkeilaimesta ammattikorkeakoulun tietokoneelle käyttäen Leican BLK Data Manager -ohjelmistoa. Tiedostoista tallennettiin kopiot

ulkoiselle kiintolevyille, sillä Leican ohjelmistojen lisenssit olivat voimassa vain koulun IP-osoitetta käyttävissä tietokoneissa, johon ohjelmistot olivat asennettuina.

Pistepilven rekisteröinnillä tarkoitetaan niiden yhdistämistä samaan koordinaatistoon. Leican ohjelmistoilla toteutettavassa rekisteröinnissä on käyttäjällä mahdollisuus käyttää pilvien yhdistämiseen Cloud-to-cloud -menetelmää, keilaustähyksiä käyttävää menetelmää, vastinpisteitä sekä näiden edellä mainittujen menetelmien yhdistelmiä. (Rinne 2023)

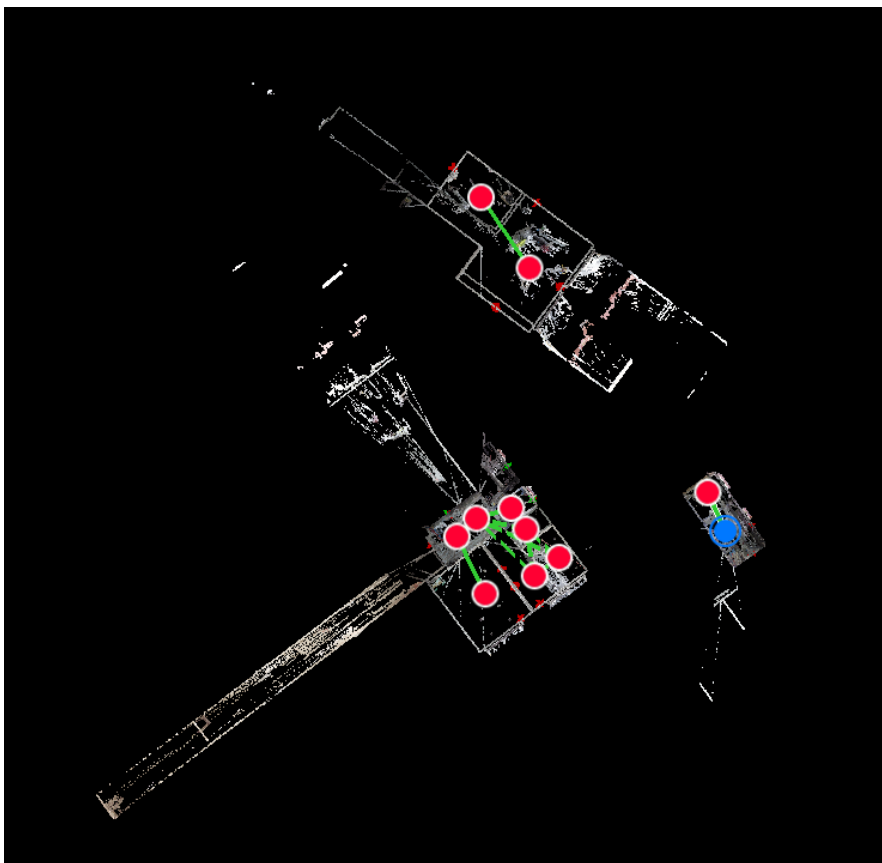
Register 360 Plus -ohjelmistossa pistepilven rekisteröinti aloitetaan tuomalla ohjelmiston Import -osiossa omaan projektikansioon tallennetut pistepilvet, jolloin ohjelmisto luo keilauksista niin sanotun Sitemapin eli näkymätarkastelun. Vielä tässä työvaiheessa voidaan vaikuttaa siihen, mitkä keilaustulokset käyttäjä haluaa valita mukaan rekisteröintiin.

Projektin rekisteröinnissä pilvien yhdistämistapana käytettiin yhdistelmää, joka muodostui käytössä olleiden A4-kokoisten tähysten yhdistämisestä (Auto B&W Target) sekä keilattujen pintojen yhdenmukaisuuksia sekä päällekkäisyyttä käytävästä Cloud-to-cloud -yhdistämistavasta (Auto Cloud). Lisäasetuksista valittiin myös ohjelmiston tuomaan BLK360- kameran mahdollistavat 360- valokuvat (kuva 3).



Kuva 3. Leica Register 360 Plus- ohjelmiston pistepilven tuonti- ja yhdistämistä- van valintasivut.

Keilauspisteiden tuonnin jälkeen rekisteröintiohjelmisto yhdistää pistepilvet valittujen tapojen mukaan yhdeksi tai useammaksi kokonaisuudeksi (Bundle), josta on nähtävissä kunkin kojeaseman sijainti (kuva 4). Kokonaisuuksien yhdistämisessä ohjelmisto hyödyntää pistepilvien yhtäläisyyksiä, luoden mahdollisimman vahvan polun (Link) näiden välille.

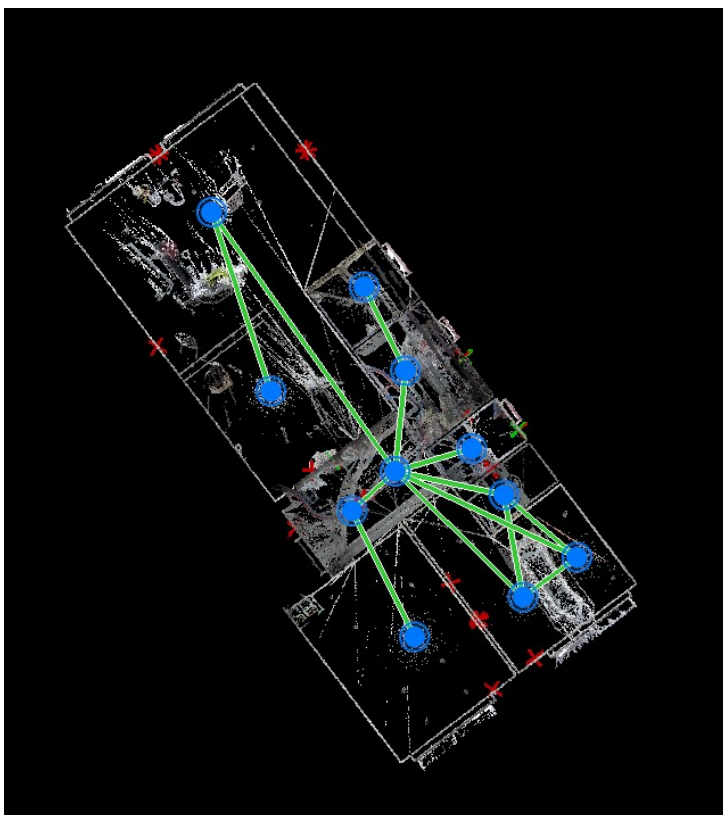


Kuva 4. Näkymätarkastelu pistepilvien tuonnin jälkeen. Punaiset pallot symboloivat kojeasemaa.

Tuonnin jälkeen pistepilvet ovat valmiita optimoinnille. Tyypillisimpinä virheinä pistepilvien tuonnin yhteydessä ovat puutteelliset polut sekä riittämätön päällekkäisyys kojeasemien välillä, jolloin yksittäiset pistepilvet tai useamman pistepilven muodostamat ryhmät ovat näkymätarkastelussa sekä projektissa erillään toisistaan. Tässä projektissa irrallaan olevat pistepilvet kohdistettiin yhtenäiseksi ohjelmiston Visual alignment -toimintoa käyttäen, jossa erilliset pistepilvet sijoitetaan uudelleen sivu- ja korkeusasemassa jakamaan yhteisiä pisteitä silmämääräisesti.

Kun ryhmät ovat sijoitettu todellisuutta vastaaviin asemiin, Join and optimize -toiminnolla ohjelmisto suorittaa automaattisen tasoituslaskennan, ja suorittaa pistepilville uudelleensijoituksen perustuen keilausten päällekkäisyysprosenttiin sekä pisteiden välisiin etäisyyksiin. Pistepilven optimoinnin jälkeen, kuvaustuloksissa havaittiin kohteita, jotka eivät ole merkityksellisiä ja joita ei rekisteröinnissä haluta ottaa huomioon. Näihin kohteisiin kuuluivat huoneistoon johtava

käytävä, rakennuksen ulkopuolelle suunnatut pistepilvet ikkunoiden läpi ja kaikki pistepilvet, jotka sijaitsivat lattian tai katon ulkopuolella. Näiden kohteiden pistepilvet siivottiin pois ohjelmiston rajausominaisuutta käyttäen. Optimoinnin sekä siivouksen jälkeinen näkymätarkastelu on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Näkymätarkastelu pistepilvistä ryhmien uudelleensijoitusten sekä siivouksen jälkeen.

Tässä työssä laserkeilatun, uudiskohteen kolmannessa kerroksessa sijaitsevan toimitilojen pistepilvitiedostojen rekisteröintivaiheessa huomattiin, että suuren, noin kahdensadan neliömetrin kokoisen lohkon pistepilvitiedostot olivat todennäköisesti korruptoituneet. Näiden tiedostojen korruptoitumisen takia ei ohjelmisto tunnistanut niitä rekisteröintiin kelpaaviksi tiedostomuodoiksi.

7.2 Varastointi, nimeäminen sekä formaattimuutokset

Kun rekisteröitävien pistepilvien optimointi sekä siivous on suoritettu, hyväksytään tehdyt muutokset sekä lopullinen tulos ohjelmiston Finalize -valinnalla viimeistelyvaiheessa. Viimeistelyvaiheen jälkeen päästään ohjelmistossa tarkastelemaan sekä vaikuttamaan ohjelman luomaan rekisteröintiraporttiin, joka on tämän opinnäytetyön liitteenä (liite 2), sen sisältöön sekä tallentamiseen haluttussa tiedostomuodossa käyttäjän haluamalla tiedostonimellä sekä haluttuun tallennuskohteeseen.

Opinnäytetyössä käytetyt projektit tallennettiin E57- ja LAS- tiedonsiirtoformaateihin, tallennuskohteena ollen käyttäjän ulkoinen kiintolevy helppoa tietokoneiden välistä varastointia varten. Kun rekisteröinti on suoritettu sekä tallennettu käyttäjille tarvittaviin tiedostoformaateihin, ne voidaan siirtää seuraaviin käsittely-ympäristöihin.

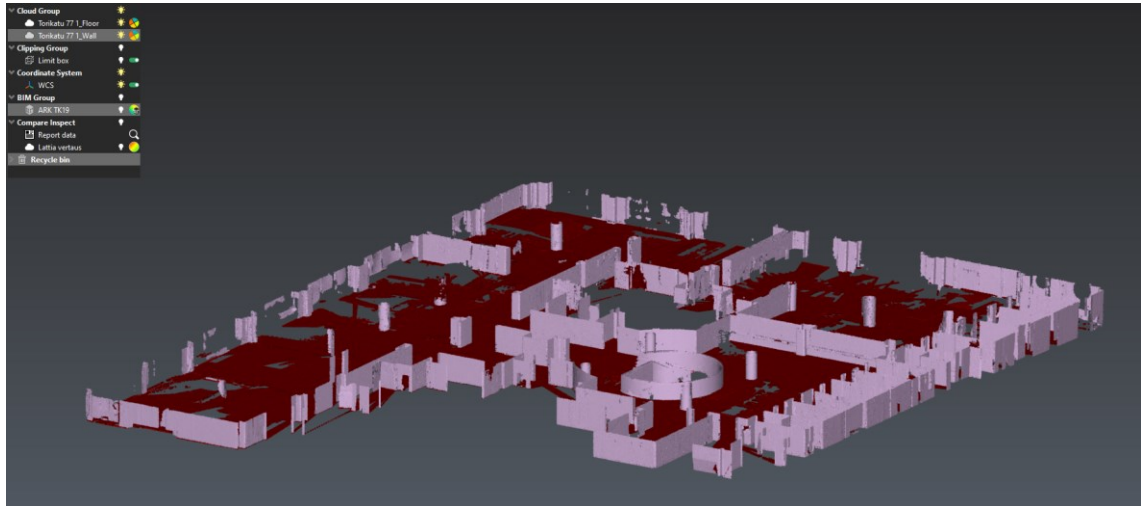
8 Pistepilvimallin hyödyntäminen

8.1 Leica Cyclone 3DR

Opinnäytetyössä keilausten tulosten käsittely-ympäristönä käytettiin Leican Cyclone- tuoteperheeseen kuuluvaa Leica Cyclone 3DR- ohjelmistoa, joka mahdollisti pistepilvien automaattisen luokittelun sekä niiden vertailun rakennuskohteen tietomallin kanssa. Ohjelmistoon tuotiin pistepilven rekisteröintivaiheessa luotu E57 -tiedostoformaatti, josta ohjelmisto muodostaa vapaasti tarkasteltavan, kolmeulotteisen objektin.

Pistepilvitiedostolle suoritettiin Auto Classification -toiminto, eli ohjelmiston automaattinen pistepilven luokittelu, jolloin ohjelmisto loi muokattaviin pistepilviryhmiin luokittelun perusteella eritellyt pistepilvet. Automaattinen luokittelu pystyi kohdetiedostosta luomaan onnistuneesti vain kaksi luokkaa, Floor (Lattia) ja

Wall (Seinä). Luokiteltujen pistepilvien näkymä ohjelmistossa on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Ohjelmistossa esillä luokitellut seinän- sekä lattian pistepilvet.

8.2 Pistepilven käyttö laadunvarmistuksen työkaluna

Laitteistovalmistajan käsittely-ympäristö, Leica Cyclone 3DR, sisältää ohjelmiston sisäisiä työkaluja laadulliselle tarkastelulle, mahdollistaen keilaustulosten vertailun rakennushankkeesta luotuun tietomalliin. Laadunvarmistuksellisen vertailun edellytyksenä on keilaustulosten onnistunut rekisteröinti sekä itse tietomallin ajantasaisuus vastaamaan laserkeilattua toteumaa.

Opinnäytteen laserkeilauskohteen tulosten käytössä laadunvarmistuksen työkaluna on otettava tarkasti huomioon laserkeilauksen tuloksiin vaikuttavat erinäiset muuttujat. Laadunvarmistuksessa tehtävät tulosten sekä tietomallin välinen vertailu ja tuloksissa esiintyviin eroihin on suhtauduttava niin, että näissä on huomioitava laitteistovalmistajan ilmoittamat 3d- tarkkuuden toleranssit sekä olemassa olevat viralliset määräykset tarkasteltavan kohteen asennustoleransseihin liittyen. Näiden lisäksi myös rakennustyömaalla kuvausten aikana vaikuttava ympäristön lämpötila, heijastavat pinnat sekä kuvattavan kohteen etäisyys laitteeseen vaikuttavat lopputulokseen.

Työssä käytetyn Leica Geosystems:n valmistaman BLK360- maalaserkeilaimen ilmoitetut tarkkuudet etäisyydelle sekä 3D- pistetarkkuudelle ovat seuraavat: 4 millimetriä 10 metrille ja 7 millimetriä 20 metrille etäisyyden osalta, sekä 6 millimetriä 10 metrille ja 8 millimetriä 20 metrille 3D- pistetarkkuuden osalta. (Leica Geosystems 2021.)

Tulosten tarkastelussa on myös huomioitava tarkasteltavan kohteen, esimerkiksi seinäelementin viralliset, voimassa olevat rakentamistoleranssit. Seinäelementtien rakentamistoleranssit erikois- ja normaaliluokkaan ovat esitettyinä kuvassa 7.

Seinäelementtien rakentamistoleranssit (Betonielementtien toleranssit 2011)

	Normaaliluokka	Erikoisluokka
Sivusijainti	± 15 mm	± 10 mm
Sivusijainti ylä- tai alapuolisesta seinästä	±10 mm	±5 mm
Vapaaväli	± 15 mm	± 10 mm
Sauman leveys		
- sandwich, elastinen saumaus	± 8 mm	± 5 mm
- sandwich, saumaprofillit	± 5 mm	± 3 mm
- väliseinä	±10 mm	-
Hammastus, kaikissa suunnissa	8 mm	5 mm
Yläreunan korkeusasema vaakarakenteisiin liityttäessä	± 10 mm	± 5 mm
Poikkeama pystysuorasta	h/400	h/400

Kuva 7. Seinäelementtien rakennustoleranssit (Betonielementtien toleranssit 2011).

Laitteistovalmistajan ilmoittama tarkkuus rinnastettuna rakentamistoleransseihin sekä mahdollinen pistepilvien sekä tietomallin kohdistamisessa syntyvä virhe johtaa siihen, että jokaisessa laadunvarmistuksellisessa vertailussa ilmenneeseen huomioon on suhtauduttava varauksellisesti, sekä havaittu mittavirhe on todennettava toisella mittauskeinolla.

8.3 Pistepilven vertaaminen tietomalleihin

Leica Cyclone 3DR- ohjelmistossa suoritettavaa pistepilven sekä tietomallin vertailua varten on tiedostotyyppien 3d- malleille (kuva 8) suoritettava kohdistaminen, jolloin ohjelmiston työkaluja apuna käyttäen 3d- mallit asetetaan päällekkäin keskenään manuaalisesti algoritmia käyttäen, käyttäjän itse määrittämien pisteiden avulla tai samaan koordinaatistoon sitoen.

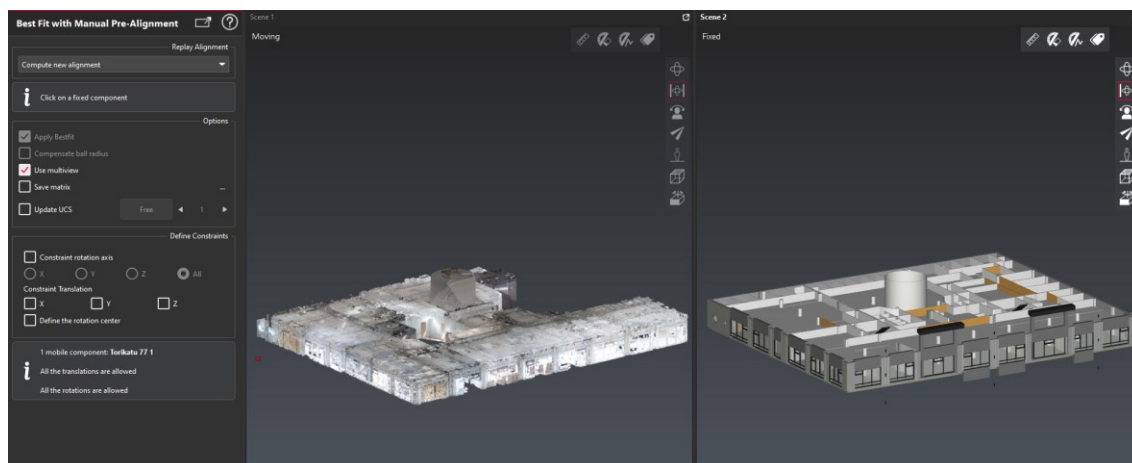


Kuva 8. Uudiskohteen 3. kerroksen kolmiulotteinen tietomalli (Korjonen, 2022a).

Näistä kohdistamisen vaihtoehdoista laadunvarmistuksellisesta näkökulmasta tarkin on sitoa pistepilvitiedosto samaan koordinaatistoon tietomallin kanssa käyttämällä ohjelmiston sisäistä Geometric registration -komentoa. Työkalu yhdistää mallit hyödyntäen niille suoritettua georeferointia, eli tietomallille sekä laserkeilauksen tuloksille suoritettua koordinaatistoon kiinnittämistä.

Edellytyksenä pistepilvitiedoston georeferoinnille, eli laserkeilauksen tulosten kiinnittämiseksi koordinaatistoon on määrittää kuvattavassa kohteessa käytettävien tähytysten pisteiden koordinaatit tämän mahdollistavalla mittalaitteella, yleisimmin takymetrilla. Keilauksen jälkeen pistepilvitiedostojen rekisteröintivaiheessa tähytysten pisteitys sidotaan takymetrimittauksen tulosten avulla samaan koordinaatistoon kuin tietomalli, jolloin mallit voidaan yhdistää tarkastelua varten.

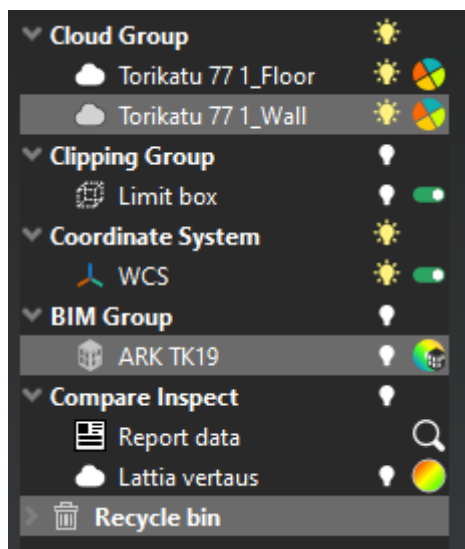
Tässä opinnäytetyössä laserkeilaukset suoritettiin ilman käytössä olleiden tähysten tarkemittausta, jolloin pistepilvitiedoston sekä tietomallin yhdistämisessä vertailuun käytettiin sekä Leica 3DR -ohjelmiston BIM Alignment -työkalua sekä manuaalista N-points Registration -työkalua (kuva 9).



Kuva 9. Leica Cyclone 3DR:n näkymä pistepilvitiedoston ja tietomallin (Korjonen 2022a) manuaalisesta yhdistämisestä.

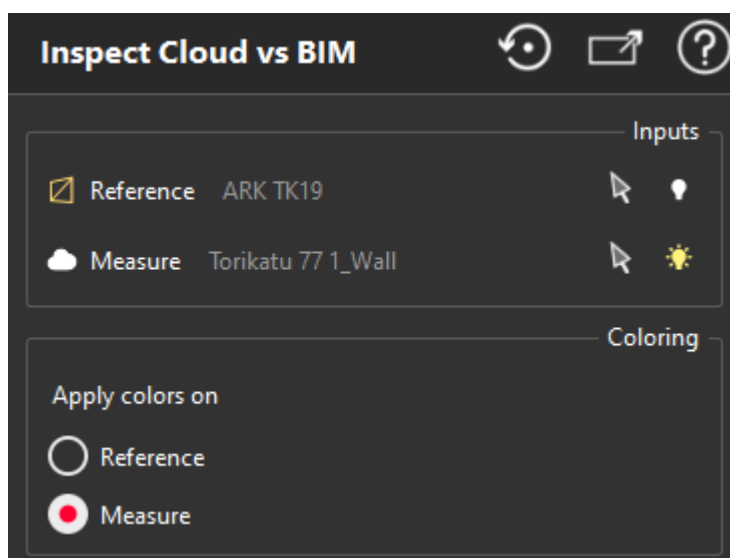
Georeferoimattomien tiedostomuotojen yhdistäminen vertailuun perustuu täysin ohjelmiston kykyyn hyödyntää yhdistettävien objektien muotoja sekä käyttäjän manuaalisesti valitsemiin tarkepisteisiin, jonka huomattiin olevan tulosten kannalta osittain epätarkka sekä mahdollisuus virheisiin, etenkin suurten tietomallien yhdistämisessä oli korkea.

Tiedostomuotojen yhdistämisen jälkeen Leica Cyclone 3DR- ohjelmistossa voidaan aloittaa tulosten vertailu. Tiedostojen vertailun rakentaminen aloitetaan valitsemalla aikaisemmin yhdistetyt pistepilviryhmit sekä tietomallit projektiin tuotujen tiedostojen joukosta, jotka löytyvät ohjelmiston Group (ryhmät) -valikosta (kuva 10).



Kuva 10. Vertailuun on valittuna seinien luokiteltu pistepilvinäkymä sekä Arkkitehtimallin tietomalli.

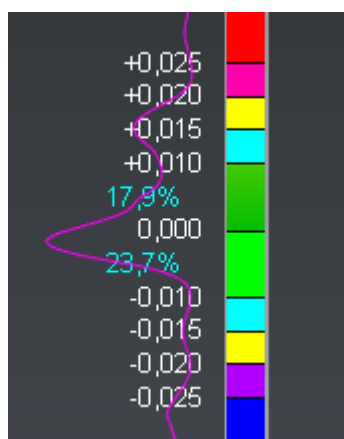
Vertailtavien tiedostojen valinnan jälkeen ohjelmiston Analysis -paneeliin avautuu käytettäväksi Inspect Cloud versus BIM -työkalu, jossa määritetään kumpi valituista tiedostoista toimii vertailussa referenssimallina. Vertailua luodessa vertailukohteeksi, eli referenssimalliksi määrittelemme ARK- tietomallin, sekä vertailussa käytettäväksi toteumaksi määritetään ohjelmiston luoman, luokitellun pistepilviluokan rakennuskohteessa kuvatuista seinistä (kuva 11).



Kuva 11. Kahden tietomallin vertailun määrittelyasetukset.

Tietomallin sekä toteuman epäyhtäläisyydet sekä niiden visualisointi käyttäjälle määritellään luomalla toteumamallille tietyn porrastetun esiasetuksen mukaan muuttuvat väritykset. Näin käyttäjä voi nähdä kuinka esimerkiksi rakennustyömaalla runkovaiheessa asennetun elementtiseinän toteutunut sijainti eroaa tietomallin suunniteltuun sijaintiin.

Tietomallin sekä pistepilvitiedoston 3d-mallin vertailun tulosten analysoinnin aloittaminen alkaa luomalla toteumamallille, tässä tapauksessa valittuna olevalle pistepilvitiedostolle poikkeaman mukaan porrastettu väritys (kuva 12). Tässä opinnäytetyössä värityksen porrastamisessa hyödynnetään Betonielementtien toleranssit 2011 (Rakennustieto 2010) -julkaisussa määriteltyjä seinäelementtien, esijännitettyjen ontelotaattojen ja pilarien rakentamistoleransseja.



Kuva 12. Pistepilvitiedoston sekä tietomallin vertailussa poikkeamaa indikoivan värityksen skaala.

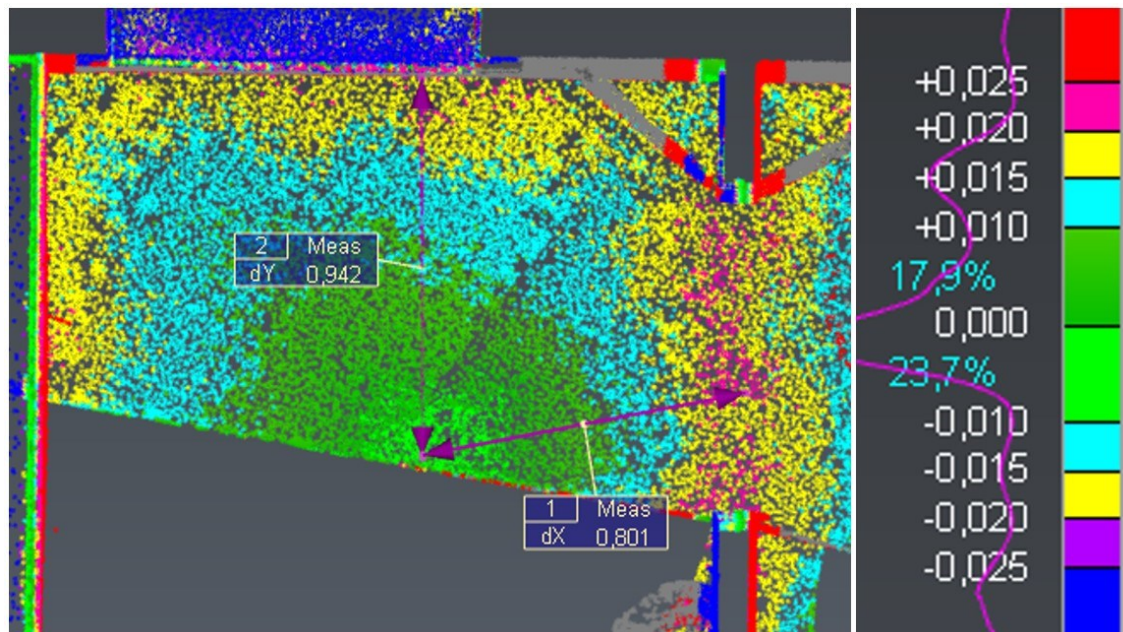
9 Laserkeilauksen tulosten vertailu

9.1 Asuinhuoneiston tulokset

Vertailun tulosten tarkastelu aloitetaan uudiskohteen 7. kerroksessa laserkeilautusta, 92 neliömetrin kokoisesta asuinhuoneistosta. Asuinhuoneiston lattioiden plaanovalu sekä kylpyhuoneiden lattiavalut kaltevuuksineen (kaatoineen) olivat valmistuneet.

Lattiakaivon sijainti märkätilassa on pääsääntöisesti vesirasitetuin alue. Lattiakaivon etäisyys valmiista seinäpinnasta tulisi olla vähintään 500 mm kannen reunoilta mitattuna. Puhekielessä ”kaadon”, eli lattian kaltevuuden täytyy olla märkätiloissa vähintään 1:100. Lattiakaivon vierellä, noin 500 mm säteellä on lattian suositeltu kaato 1:50, tarkoittaen kahta senttimetriä metrin matkalle. (RT 84-11166, 2014, 4.)

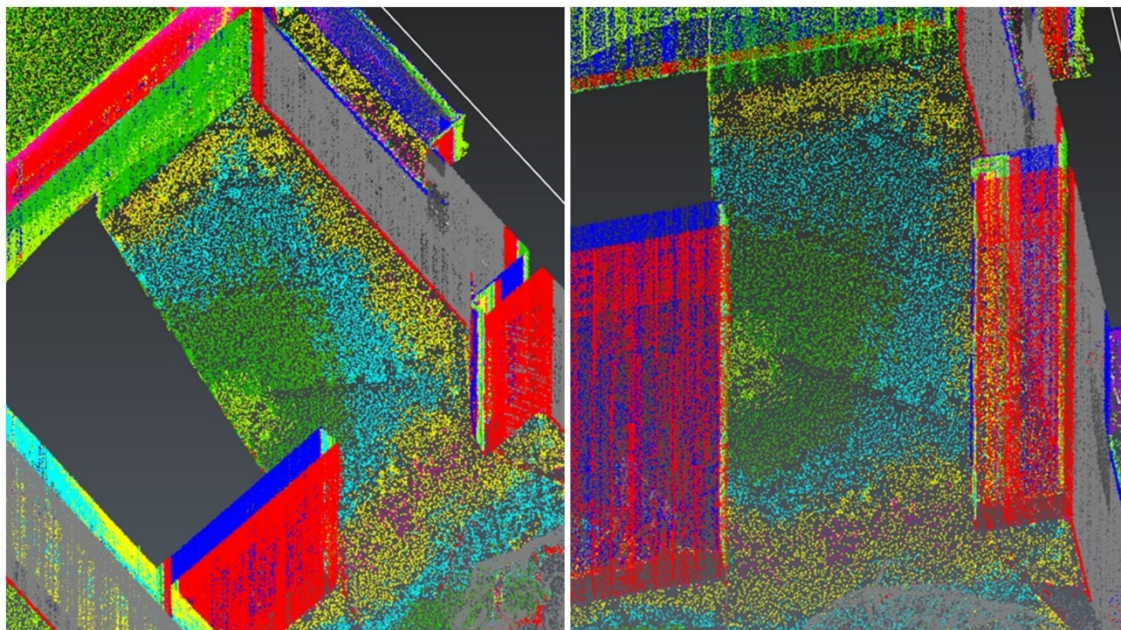
Lattiavalun toteumaa tarkasteltiin luomalla pistepilvitiedoston sekä tietomallin vertailu, jossa pistepilvien topografialle määritettiin sen erotuksesta tietomalliin portaittain muuttuva väritys helpottamaan lattiapinnan muutoksen hahmottamista. Lattiavalun alimman kohdan (lattiakaivo) erotuksen ollessa tietomalliin määriteltynä 0–10 mm, sekä korkeimman kohdan (saunan sekä kylpyhuoneen sisäänkäynnin kynnyks) ollessa + 20–25 mm, voidaan todeta kaadon olevan noin 80 cm matkalla vähintään 2 cm ja enintään 3,5 cm. Pistepilven poikkeamaa sekä mittaustuloksia on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Lattiavalun kaadon tarkastelua Leica Cyclone 3DR -ohjelmistossa.

Ohjeistuksen mukaan lattiavalun toteumaa analysoidessa ohjelmiston mittaus-työkaluilla sekä toteuman porrastettua väritystä hyödyntäen voidaan todeta koh-teen märkätilojen noudattavan voimassa olevia ohjeistuksia ja lattiatyön olevan onnistunut analysoitavalta alueelta, mutta saunan sekä kylpyhuoneen välisen muuratun tiiliseinän aiheuttaman katvealueen takia onnistumista ei voida todeta koko lattiapinnan alueelta.

Toisena tarkasteltavana huomiona asuinhuoneistossa on kylpyhuoneen sekä saunatilan jakavan, muuratun väliseinän sijaintipoikkeama tietomalliin verrat-tuna. Väliseinän sijaintipoikkeama ilmenee vertailussa punaisena sekä sinisenä värinä, joka indikoi yli 25 mm poikkeamaa vertailussa käytettävään tietomalliin (kuva 14).



Kuva 14. Tietomallien vertailu, tarkastelussa kylpyhuoneen sekä saunan välisen muuratun väliseinän toteuma.

On tiedossa, että toteuman sijaintipoikkeaman todennäköinen syy on holvivalun aikana asennettujen sähkösuojaputkien tietomallista poikkeava sijainti. Tässä tapauksessa alimman harkkokerroksen muuraus on aloitettu niin, että suojaputket ovat mahdollista kanavoida väliseinäpontin roiloon.

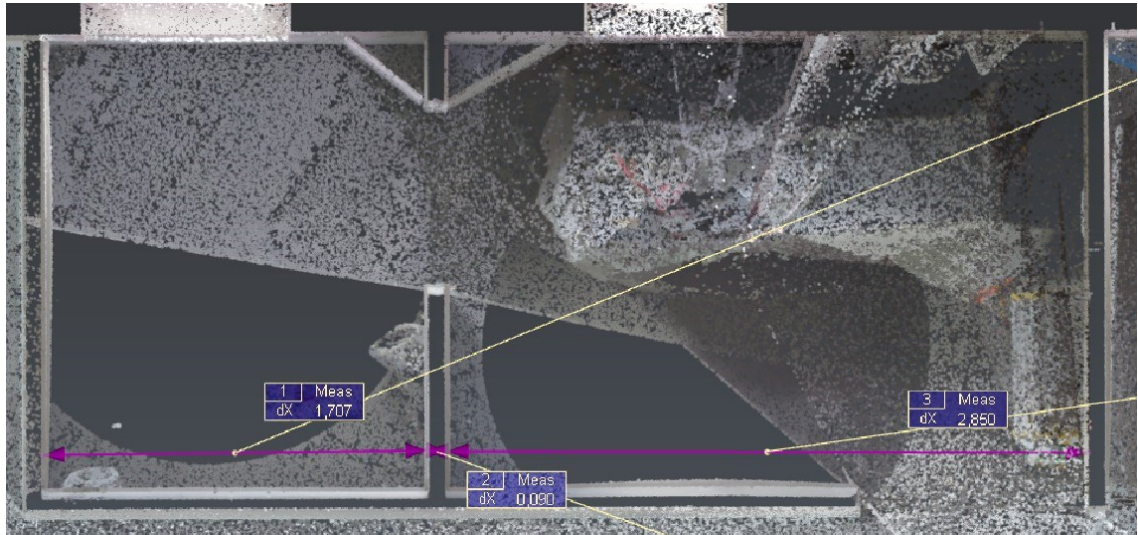
Sijaintipoikkeaman analysointi aloitettiin mittaamalla sekä vertaamalla tietomallin mittoja rakennustyömaan viimeisimpään pohjakuvaan. Mittauksen tuloksista todetaan seinän paksuuden sekä etäisyyksien seiniin olevan ± 1 mm tarkkuudella samat (kuva 15).



Kuva 15. Muuratun väliseinän etäisyys kylpyhuoneen sekä saunan seiniin mitattuna pohjakuvasta (Korjonen 2022b) sekä tietomallista (Korjonen 2022a).

Tietomallin sekä viimeisimmän sokopro -projektipankkiin päivitetyn, 7. kerroksen pohjakuvan mittojen yhtäläisyyden tarkistamisen jälkeen voidaan poissulkea seinän poikkeaman johtuvan tietomallissa olevan seinän väärästä rakennetyypistä tai myöhemmin suunnitteluvaiheessa tapahtuneesta sijaintimuutoksesta.

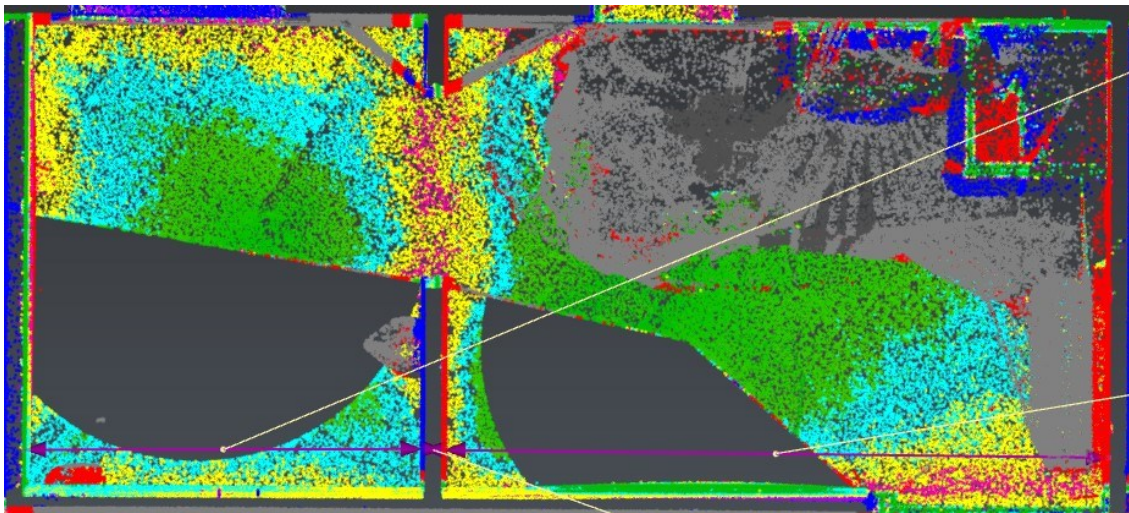
Poikkeaman syyn selvittämistä jatkettiin mittaamalla laserkeilatusta toteumasta, eli pistepilvimallista, ohjelmiston mittatyökaluja käyttäen samat etäisyydet sekä seinän paksuus kuin tietomallista sekä DWG- pohjakuvasta. Ensimmäinen huomio pistepilven mittauksista on, että tietomallissa sekä pohjakuvassa muuratun seinän paksuus on 100 mm, mutta pistepilvitiedostossa mitatun seinän paksuus on n. 90 mm (kuva 16). Tämän selittää väliseinän muurauksessa käytetyn väli-seinäpöytä 85 mm tehdaspaksuus, jonka pinta oli jo tasoitettu märkätilatasoitteella, kun laserkeilaus suoritettiin.



Kuva 16. Pistepilvitiedostosta mitatut etäisyydet muuratusta väliseinästä kylpyhuoneen sekä saunan vastakkaisiin seiniin.

Saunan sekä kylpyhuoneen seinien välinen mitta pidemmässä suunnassa on pohjakuvassa sekä tietomallissa 4 675 mm, toteuman ollessa pistepilvimallista tarkasteltuna 4 647 mm. Mittaustulosten perusteella todettiin märkätilojen seinien välisen mitan olevan pidemmästä suunnasta tarkasteltuna 28 mm lyhyempi kuin pohjakuvassa sekä tietomallissa.

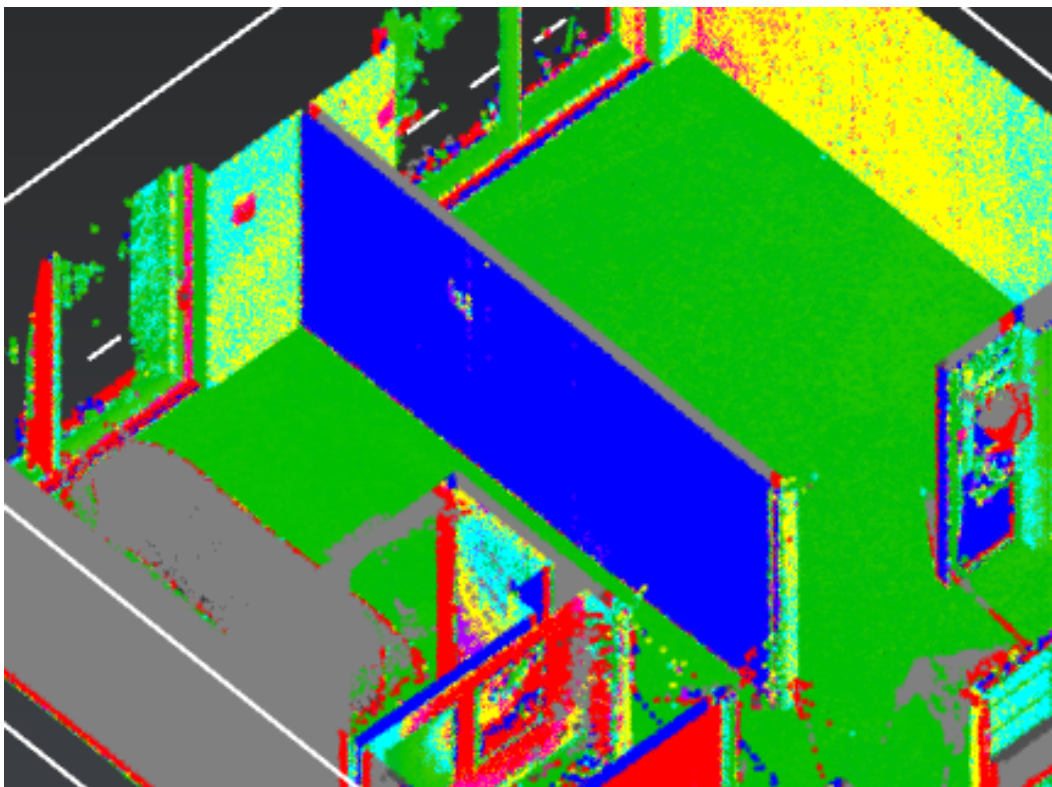
Saunan seinän ollessa vertailussa esitettävässä värissä vihreä (± 10 mm poikkeama tietomalliin) ja kylpyhuoneen seinän ollessa punainen (> 25 mm poikkeama tietomalliin), todettiin kylpyhuoneen seinän olevan 28 mm sisempänä huoneen puolella kuin tietomallissa sekä pohjakuvassa (kuva 17).



Kuva 17. Asuinhuoneiston märkätilan vertailussa todetaan kylpyhuoneen seinän (kuvassa oikealla) olevan 28 mm sisempänä kuin tietomallissa.

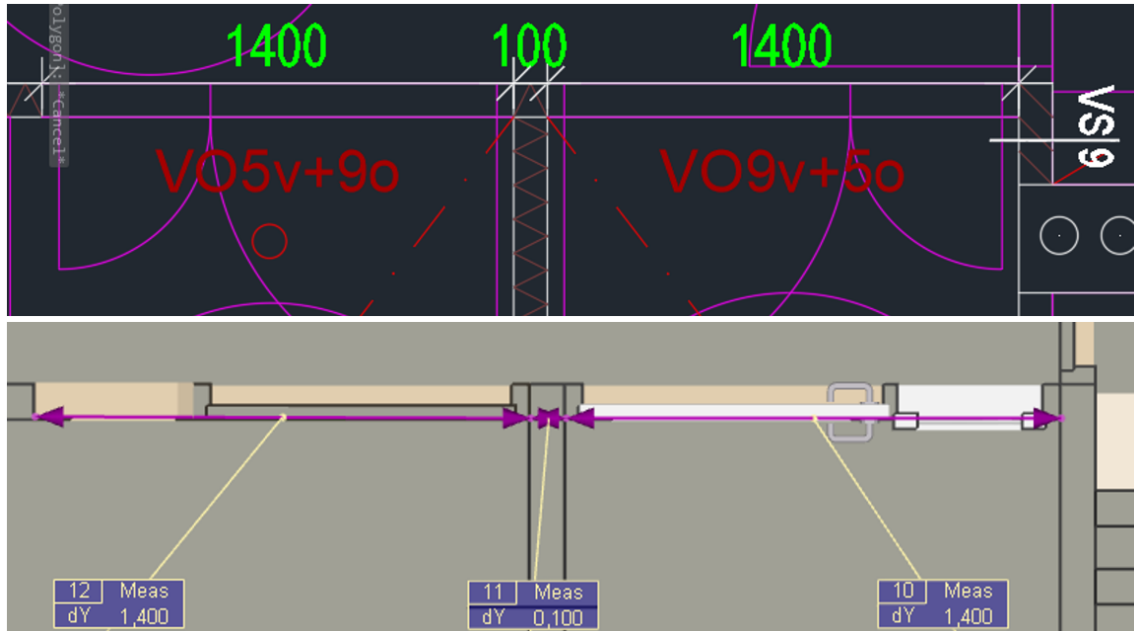
Koska muuratun väliseinän paksuus eroaa tietomallissa pistepilvimallin paksuuteen, lasketaan seinän sijainnin poikkeama muuratun väliseinän keskelle. Ohjelmiston mittaustyökalulla tietomallista mitattu muuratun väliseinän ja vastakkaisen saunan seinän etäisyys on 1 715 mm, ja pistepilvitiedostosta samojen kohteiden etäisyyden ollessa 1 752 mm, voidaan laskea tarkasteltavan väliseinän olevan 37 mm ulompana mitattavasta seinästä kuin tietomallissa.

Kolmantena tarkasteltavana kohteena asuinhuoneistossa on kuvassa 18 esitetty, kahden makuuhuoneen välinen rankarunkoinen väliseinä, jonka sijaintipoikkeama ilmenee >20 millimetrin ja siitä suuremman poikkeaman indikoivana punaisena sekä sinisenä värinä.



Kuva 18. Makuuhuoneiden välinen, rankarunkoinen väliseinä.

Makuuhuoneiden väliseinän poikkeaman voi selittää rakennushankkeen aikainen päätös sen siirtämisestä. Johtuen liian tiukoista, molemmin puolin sijoitetuista pariovista ja näiden painikkeista sekä ovilletoituksesta, on molempiin oviaukkoihin pitänyt varata enemmän tilaa kuin alkuperäisissä suunnitelmissa. Väliseinän poikkeaman analysointi aloitettiin mittaamalla oviaukkojen leveys sekä tietomallista että DWG-pohjakuvasta. Näiden tiedostojen mittaustulokset ovat havainnollistettu kuvassa 19. Tietomalli sekä Sokopro -projektin viimeisin pohjakuva on mitattujen kohteiden osalta yhtäläiset, jolloin väliseinän poikkeaman johtuminen tietomallin vanhentumisesta voidaan sulkea pois.



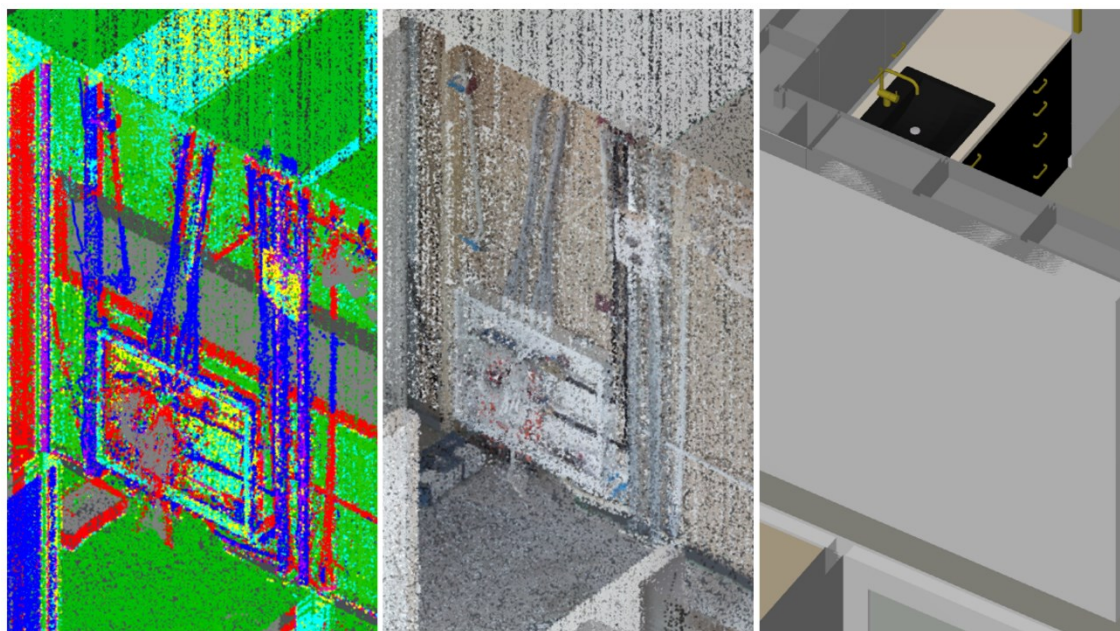
Kuva 19. Oviaukkojen leveydet sekä rankaseinän paksuus mitattuna tietomallista (Korjonen, 2022a) sekä pohjakuvasta (Korjonen, 2022b).

Poikkeaman suuruuden mittaaminen suoritettiin edellisen tarkastelukohteen mukaisesti toteumasta, eli pistepilvimallista ohjelmiston mittaustyökaluja apuna käyttäen. Rankaseinän mitatun paksuuden ollessa 97 mm, on toteutuneiden oviaukkojen leveys pistepilvestä mitattuna 19,5 mm sekä 21,5 mm leveämmät kuin suunnitelmassa. Kuvassa 20 on esitetty, että mittauksen nro. 6 pituus on 1 418 mm, rankaseinän poikkeaman ollessa sivusiirtymänä yhteensä 19,5 mm. Mittauksia toteumamallista tehdessä on huomioitava, että mittauspiste määritetään manuaalisesti pistepilven pisteisiin käyttäjän puolesta. Usean saman nurkkapisteiden uudelleenmittauksien jälkeen manuaalisen mittauksen toleranssiksi voidaan todeta noin ± 3 mm, joka on huomioitava tuloksia tarkastellessa.



Kuva 20. Pariovien aukkoja on kasvatettu toteumassa noin 20 mm. Aukkoja suurentamalla on saatu lisää tilaa ovilistoitukselle sekä painikkeille.

Viimeisenä huomiona asuinhuoneistosta tarkastellaan eteisen sekä keittiön välisen, rankarunkoisen väliseinän sisällä kulkevaa tekniikkaa. Kuvassa 21 esiintyvän, eteisen puoleisen seinän kipsilevyjen puuttuminen mahdollistaa lattialämmityksen jakotukkikaapin, sähkösuojaputkien sekä vesijohtojen taltioinnin mahdollista myöhempää käyttöä varten. Laserkeilaimen taltioimista pistepilvestä, 360-valokuvasta sekä Flir-lämpökuvasta voidaan myöhemmin suorittaa tarpeen mukaan esimerkiksi tarkemittauksia sekä mahdollista vianetsintää.



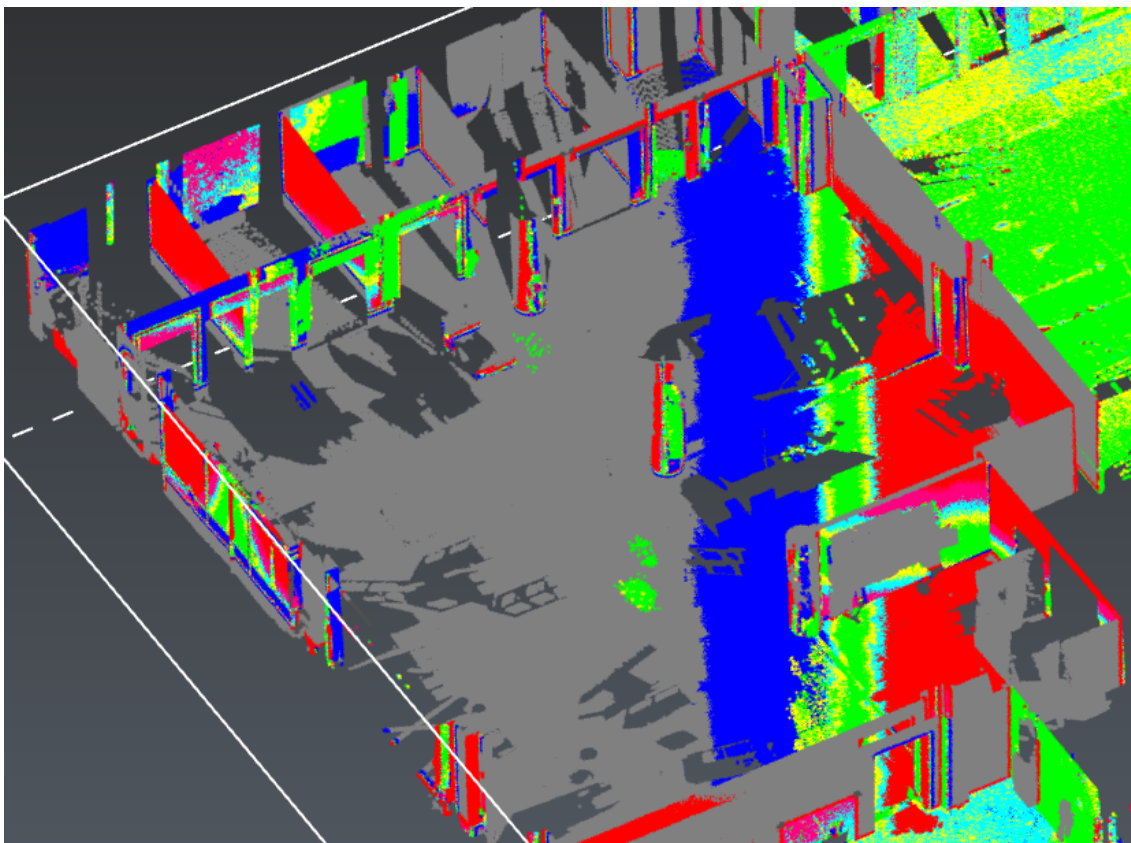
Kuva 21. Oikealta vasemmalle; rankarunkoisen väliseinän sisältämät putkitukset esitettynä tietomallissa, pistepilvitiedostona sekä näiden tiedostomuotojen vertailussa (Korjonen, 2022a).

9.2 Toimitilakerroksen tulokset

Kun laserkeilatun asuinhuoneiston laadunvarmistuksellisessa tarkastelussa käytettiin vertailun työkaluna tietomallin sekä DWG-pohjakuvan tarkemittauksia, keskitytään toimitilakerroksen tuloksissa havainnollistamaan kuvin, minkälaisia huomioita pohjapinta-alaltaan suuri, laserkeilattu tila mahdollisesti sisältää sekä mistä mahdolliset muutokset voivat syntyä. On huomioitava, että vertailuissa käsiteltäviä tuloksia on lähestyttävä varauksin johtuen mahdollisista rekisteröinnin aikana tapahtuneista epätarkkuuksista, pistepilvitiedoston sekä tietomallin kohdistamisen toleransseista sekä itse laserkeilaimen kuvaustarkkuudesta.

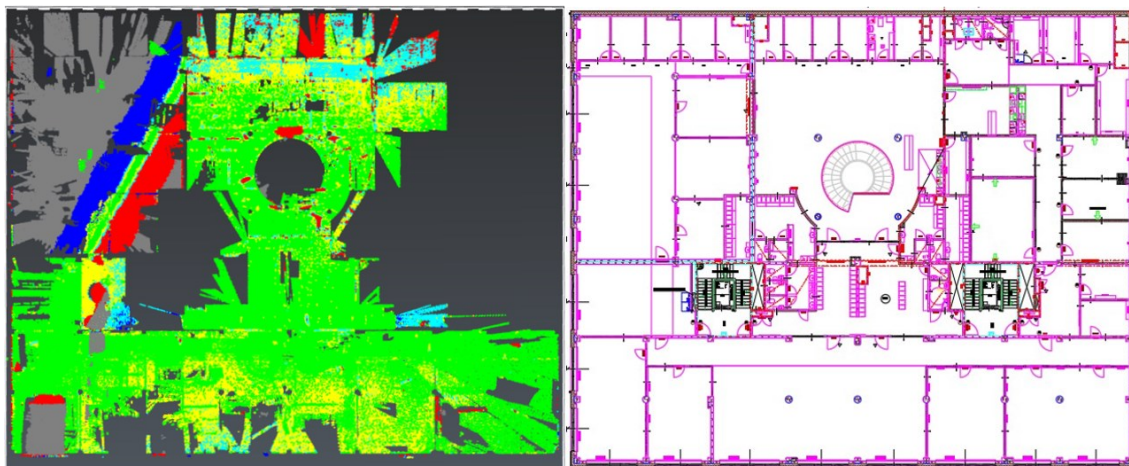
Havaittujen huomioiden avulla on esitetty, kuinka pistepilvitiedostoa voidaan käyttää laadunvarmistuksellisessa käytössä, ja kuinka poikkeamat ilmenevät vertailun aikana. Poikkeamien tarkkuuden mittaamiseen sekä mahdollisen kohteesta tuotettavaan toteumamalliin vaaditaan havaintojen todentaminen kohteessa fyysisesti mittaamalla, esimerkiksi tarkemittauksin takymetrillä tai tasolaserialla tiedettyyn korkopisteeseen verraten.

Toimitilakerroksen tuloksista ensimmäisenä huomiona tarkasteltiin selvästi esiintyvä virhe, joka ilmenee vertailussa käytettävän, havainnollistavan värityksen aktivoinnin jälkeen. Virhe on muodostunut jo pistepilvitiedostojen rekisteröintivaiheessa, jolloin kuvatus lohkon yhdistäminen manuaalisesti on epäonnistunut, johtaen keilatun lohkon kallistumiseen ja näin vertailutuloksia BIM-tietomalliin ei voida saada (kuva 22).



Kuva 22. Pistepilviedostojen epäonnistunut kohdistus rekisteröintivaiheessa näkyy koko lohkon ”kallistumisena”.

Leica Cyclone 3dr -ohjelmistossa suoritettavan pistepilven automaattisen luokittelun suorittamisen jälkeen, on mahdollista tarkastella erikseen kohteen luokiteltuja näkymiä. Seuraavana tuloksista tarkasteltiin luokiteltua Floor -pistepilvinäkymää, eli kohteen lattioiden pistepilviedostoa vertailtiin tietomalliin. Kuvassa 23 nähdään kerros kuvattuna yläpuolelta, jolloin havainnot on helpompi paikantaa. Vertailusta on nähtävissä rekisteröintivaiheessa epäonnistunut alue ylhäällä vasemmalla sekä korruptoituneiden pistepilviedostojen seurauksena puuttuva lohko ylhäällä oikealla.

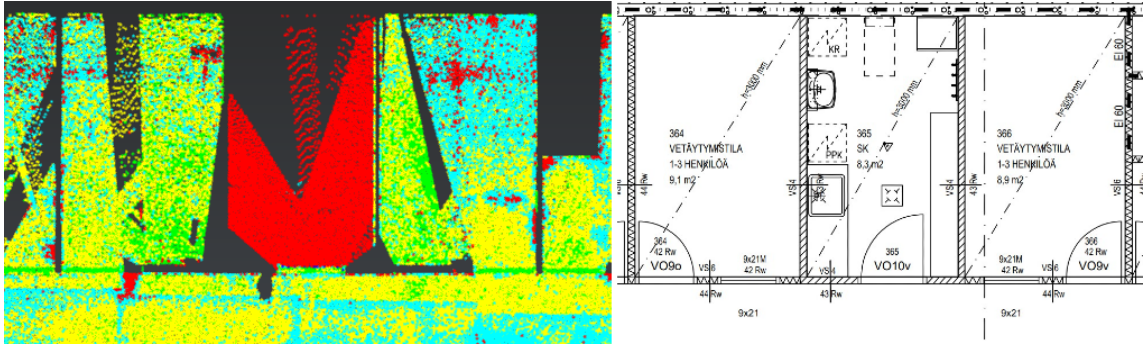


Kuva 23. Lattioiden luokitellut pistepilvet vertailussa tietomalliin sekä pohjakuva dwg-tiedostomuodossa (Korjonen, 2022b).

Lattioiden vertailussa, pistepilvitiedoston alle 10 mm poikkeamaa tietomallista indikoivan vihreän värin avulla voidaan todeta koko kerroksen plaanovalun onnistuneen pääasiallisesti toleranssin sisään. Havaittavia poikkeuksia lattioiden vertailuissa aiheuttivat myös esimerkiksi työmaa-aikaset, liimattavaa lattiamattoa suojaavat kovalevyt sekä säilytyksessä olevat rakennustarvikkeet sekä työkalut.

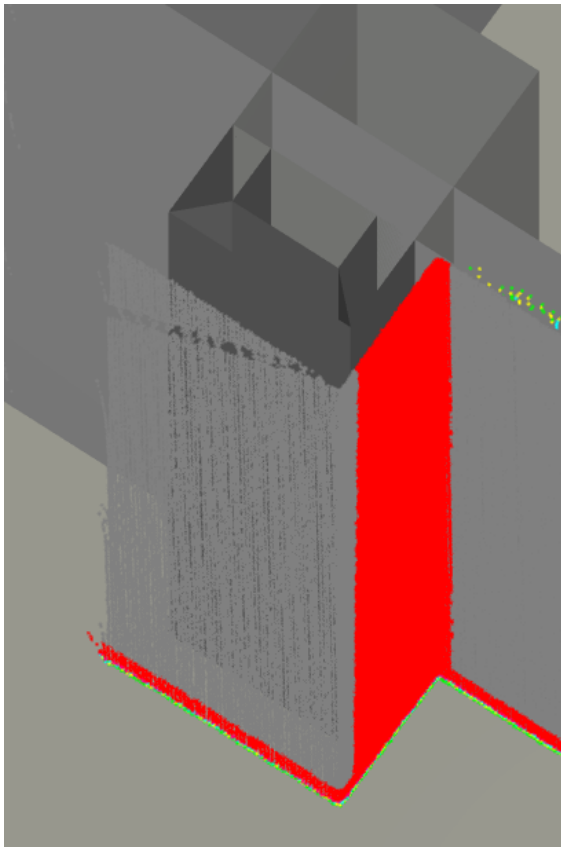
Tarkasteltavana huomiona käsitellään pohjakuvassa näkyvän SK:n, eli siivouskaapin lattiapinnan poikkeamaa. Siivouskaapin pistepilvitiedosto on kahden ohikeilauksen tulos, jolloin keilaustulos ei ole täydellinen, vaan siinä esiintyy katvealue. Siivouskomeron lattiapinnan korkoero näkyy pistepilvimallin sekä tietomallin vertailussa punaisena, yli 25 mm poikkeaman indikoivana värinä.

Syynä poikkeamaan lattiapinnassa on siivouskaapin vaatiman lattiakaivon malli, jonka asennus on toteutettu rakennuksen kantavan välipohjan, kyseisessä kerroksessa ontelolaatan pintavaluun. Kyseistä lattiakaivon asennustapaa sekä sen määrittelemän laatoituksen, eli lattiapinnan tasoa ei ole sisälletty tietomalliin, jolloin vertailussa toteuma esiintyy poikkeamana, joka on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Siivouskaappi vertailussa sekä pohjakuvassa (Korjonen, 2022b).

Esimerkkeinä rakentamisen aikaisista muutoksista sekä osittain välttämättömistä, suunnitelmista poikkeavista ratkaisuista esiintyy pistepilven sekä tietomallin vertailuissa kuvan 25 kaltaisina poikkeamina. Kyseisessä esimerkkitapauksessa on LVI- tekniikkaa sisältävää kotelointia täytynyt suurentaa. Vertailun avulla rakennusaikaiset muutokset voidaan kartoittaa, niiden todellinen koko voidaan mitata ohjelmiston työkaluilla sekä fyysisesti työmaalla, jolloin ne voidaan päivittää esimerkiksi hankkeen toteumamalliin sekä pohjakuviin.



Kuva 25. Tekniikan kotelointi, jonka toteuman koko ei vastaa IFC-tietomallia, näkyen näin poikkeamana vertailussa (Korjonen, 2022a).

10 Pohdinta

Opinnäytetyössä käytetyn, Leica Geosystems'in valmistaman maalaserkeilaimen omistaa työn toimeksiantaja, hankinnan päämäärän ollessa pääasiassa tutkimus- sekä koulutuskäyttöä, jotka täytyy huomioida kun pohditaan keilaimen soveltuvuutta eri käyttötarkoituksiin. Tässä työssä kohteen laserkeilaukset suoritettiin sisätiloissa, ympäristön lämpötilan ollessa optimaalinen. Kuvattavien välimatkojen ollessa lyhyitä sekä tilojen satunnaisen ahtauden takia todettiin käytössä olleen Leica BLK360 -maalaserkeilaimen olevan ominaisuuksiltaan optimaalinen sisätiloissa suoritettaviin laserkeilauksiin.

Ihanteellisessa tilanteessa laitteiston käytettävyyden sekä laserkeilauksen tulosten vertailuun olisi käytössä ollut käytettävissä olleen valmistajan toinen mahdollinen keilainmalli sekä kilpailevan valmistajan vastaavan hinta- sekä kokoluokan keilain. Näin pohdinnassa olisi ollut helpompi eritellä BLK360- keilaimen heikkoudet sekä vahvuudet verrattuna joko kalliimpaan tai kilpailevan valmistajan laserkeilaimeen.

Erityisiä huomioita keilaimen käytöstä työmaalla tuli sen pienestä fyysisestä koosta, ja jalustana toimivaa kolmijalkaa säätämällä oli mahdollista laserkeilata myös työmaan ahtaimmat tilat, joka mahdollisti niiden laadullisen vertailun myöhemmin ohjelmistolla. Suuremmalla katvealueella olevat sekä raskaammat maalaserkeilaimet eivät näin olisi soveltuneet esimerkiksi ahtaissa sauna- ja kylpyhuoneissa käytettäviksi. Toki myös opinnäytetyössä kuvatun rakennustyömaan työvaiheet olivat osassa kuvattavista tiloista tilanteessa, joka vaati rakennustarvikkeiden säilytystä lattioilla sekä seiniin nojaten, joka aiheutti katvealueita tuloksiin ja esti keilaimen kolmijalan turvallisen asennuksen.

Leica BLK360 -laserkeilaimen pienen fyysisen koon takia sen käyttäminen työmaolosuhteissa vaatii erityistä varovaisuutta. Laserkeilaimen kuljetuksen aikana käytettävä, kupolimainen kuljetussuoja sai erityistä kritiikkiä sen huonon suunnittelun takia, jossa suojan pohja kierretään auki sekä keilain altistuu riskille pudota, mahdollisesti rikkoen keilaimen sisältämän herkän optiikan. Myös

keilaimen käyttö pölyisissä olosuhteissa vaatii käyttäjältä huolenpitoa sillä laitteiston linssit sekä peilit pölyntyvät vaikuttaen kuvauksen laatuun.

Opinnäytetyössä kuvatun, 92 neliömetrin kokoisen asuinhuoneiston kuvaustyöhön kului noin tunnin verran mitattavaa työaika, yhden keilauksen pituuden ollessa noin 3 minuuttia. Tämän yhden työtunnin aikana saavutettavan informaation määrä sekä mahdollisuus laaduntarkastelulle viestii kuinka kustannustehokasta laserkeilaus yhdistettynä keilamen luomaan 360- kuvaukseen on.

Laserkeilain luo yhdessä kuvauksessa sekä 360- valokuvauksen, FLIR- lämpökuvauksen sekä pistepilvitiedoston. Näiden ominaisuuksien, sekä käytössä olleen Leican valmistaman BLK360- laserkeilaimen kompaktin koon sekä käytännön kokemuksen perusteella sen helppokäyttöisyyden ansiosta olisi esimerkiksi julkisista museokohteista tilattavat kuvantamiset kannattavampi toteuttaa kompaktilla laserkeilaimella, kuin pelkästään 360- valokuvauksen mahdollistavalla kameralla.

Laserkeilaimen valmistaja ilmoittaa tyypilliseksi akunkestoksi enemmän kuin 40 laserkeilausta, ilmoittamatta tosin on jätetty tähän tulokseen saavuttamiseen vaadittava keilattavan tilan lämpötila, kuvauksen resoluutio sekä tarkkuuden asetusten vaikutus. Uudiskohteessa suoritettavat keilaukset toteutettiin noin kahdenkymmenen asteen lämpötilassa, Medium- resoluutioasetuksella sekä työ aloitettiin täyteen ladatuilla akuilla, joilla saavutettiin 40–50 keilauksen mittainen akunkesto.

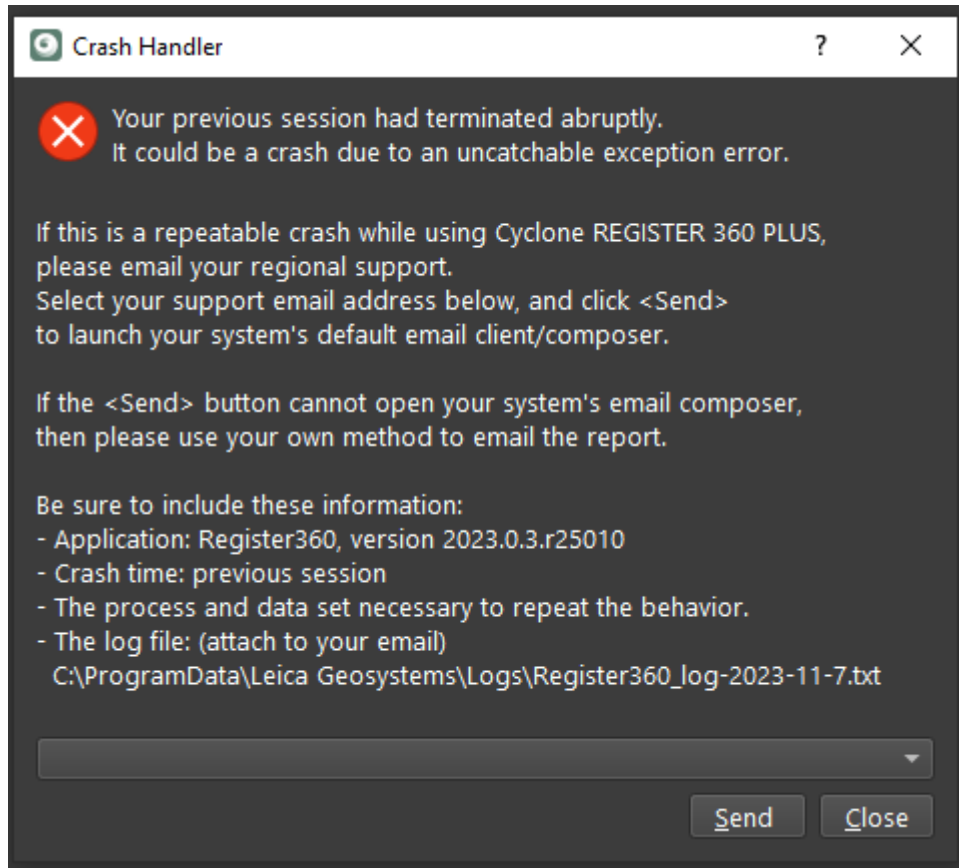
Toimitilakerroksen kuvaustulosten rekisteröintivaiheessa huomattujen pistepilvitiedostojen korruptoituminen sekä puuttuminen on yhdistettävissä keilaimen akun loppumiseen. Kyseisen, tiedostoiltaan puuttuvan lohkon kuvausten jälkeen laserkeilain ilmoitti akun loppumisesta, jolloin laitteeseen vaihdettiin toinen, täyteen ladattu akku. Varmuutta ei ole, minkä takia keilain suoritti työmaalla onnistuneesti lohkon keilaukset, mutta tiedostot eivät säilyneet keilaimen muistissa. Rakennustyömaalla suoritettujen laserkeilausten jälkeen, keilaustulosten tuonti keilaimelta tietokoneelle, tulosten rekisteröinti sekä niiden vertailu suoritettiin aina Karelia-Ammattikorkeakoulun tiloissa olevilla tietokoneilla, joihin oli

asennettu Leican ohjelmistot ja niiden käyttöön tarvittavat lisenssit. Alkuperäisenä suunnitelmana oli opinnäytetyössä käyttää Leican ohjelmistoja omalla tietokoneella kotona, mutta ohjelmistojen käyttöön vaadittava lisenssi sijaitsi koulun palvelimella, jolloin lisenssin tunnistukseen ohjelmistoa käynnistäessä täytyy käyttäjän olla koulun verkossa.

Opinnäytetyön työskentelyn aikana Leica Geosystems'in kouluttaja Mitja Rinne sekä Karelia-ammattikorkeakoulu järjesti päivän mittaisen koulutuspäivän. Koulutuspäivä toteutettiin Teams -ympäristössä, ja koulutuksessa käsiteltiin laserkeilauksen työvaiheita, aina keilaustyön suorittamisesta tulosten analysointiin.

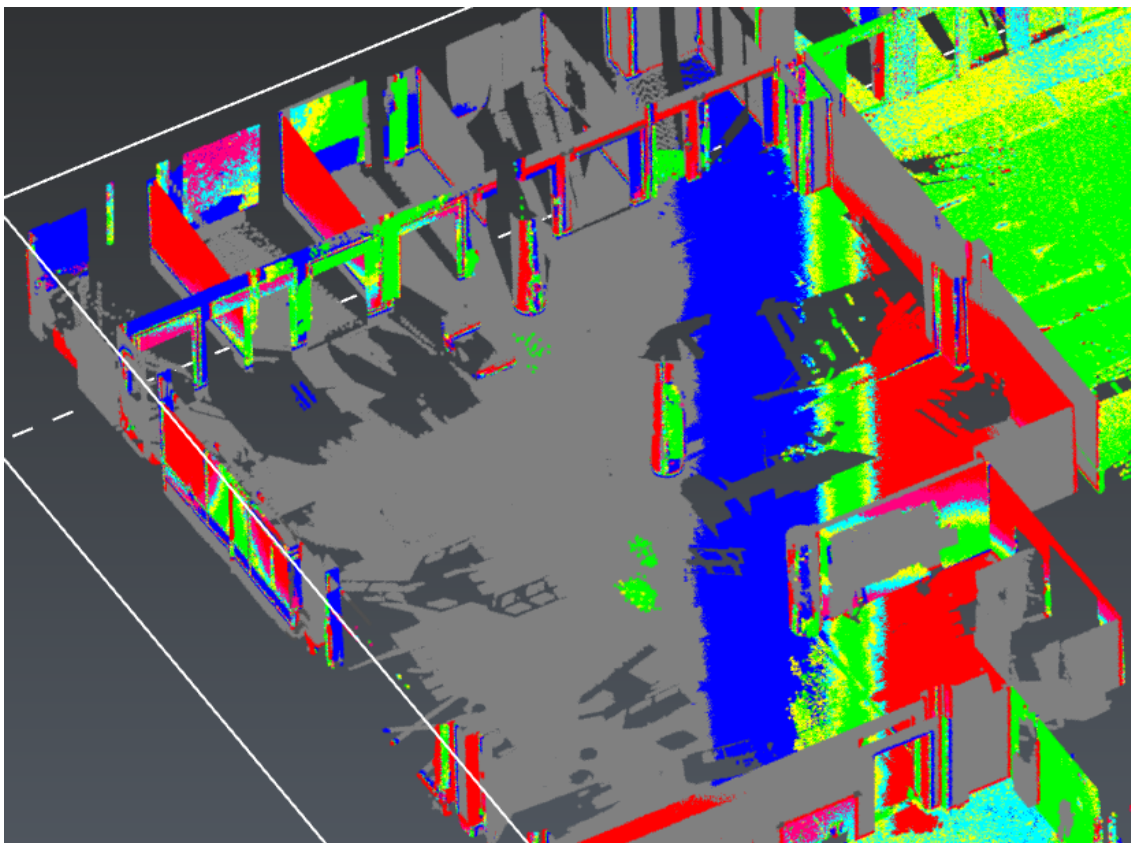
Sain käyttööni koululla sijaitsevaan työtilaan tietokoneen, johon koulun tietoteknisiä ongelmia käsittelevä Helpdesk -palvelu asensi Leica Register 360 sekä Cyclone 3DR -ohjelmistot sekä niiden lisenssit. Yleisesti ohjelmistojen käytössä ei ilmennyt ongelmia, mutta lisenssipalvelimen ongelmien takia Leican ohjelmistoja ei voinut käyttää yhden viikon aikana sekä usein ohjelmisto täytyi käynnistää uudelleen lisenssin rekisteröinnin epäonnistuessa.

Ongelmia ohjelmistojen kanssa ilmeni myös rekisteröinnin yhteydessä esiintyvänä kaatuiluina, jonka jälkeinen virheilmoitus on esitetty kuvassa 26, sekä automaattisen pistepilven luokittelun aikana ilmenevinä tietokoneen jäätyminenä, jolloin tietokoneella ei voinut suorittaa mitään muuta työtä. Ammattikäyttöä ajatellen pistepilvitiedostojen rekisteröinnin sekä automaattisen luokittelun kestäen pisimillään ajallisesti jopa kolmesta viiteen tuntiin, pitäisi mielestäni työajan tehokkuuden lisäämiseksi panostaa tietokoneen laskentatehokkuuteen tai esimerkiksi suorittaa ohjelmistojen laskentatyöt erillisellä tietokoneella.



Kuva 26. Rekisteröinnin aikana tapahtuneen ohjelmiston kaatumisen virheilmoitus.

Pistepilvitiedostojen rekisteröinnin aikana syntyi myöhemmin tulosten käsittelyssä sekä vertailussa huomattava virhe, jossa laserkeilatun lohkon pistepilvet yhdistettiin manuaalisesti toisiinsa ohjelmiston päällekkäisyyttä hyödyntävän työkalun avulla. Kuvassa 27 on havainnollistettu, kuinka yhdistämisen aikana pistepilvitiedoston 3d-malli oli kallistunut tuntemattomasta syystä johtaen siihen, ettei rekisteröinnin tulosta voitu tarkastella laadullisesta näkökulmasta Leica Cyclone 3DR -ohjelmistossa.

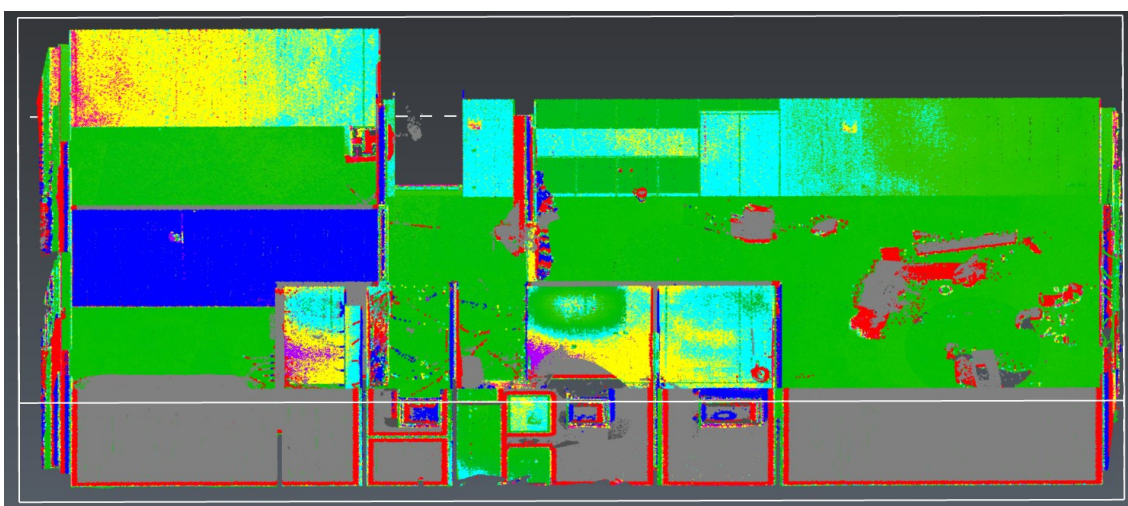


Kuva 27. Pistepilvitiedostojen rekisteröintivaiheessa tapahtuneen virheen näkymä vertailussa.

Työssä tapahtuneen virheen perusteella voidaan todeta, että ohjelmistojen omat, sisäiset yhdistämistyökalut ovat myös alttiita virheille. Virheiden siirtyminen rekisteröintivaiheesta eteenpäin voidaan välttää huolellisella pistepilven tarkastuksella rekisteröintiohjelmassa, mutta myös jo laserkeilauksia toteuttaessa kuvattavassa kohteessa, suorittaen keilauksia järjestelmällisesti edellistä keilausaluetta peitoten sekä riittävällä tähysten määrällä.

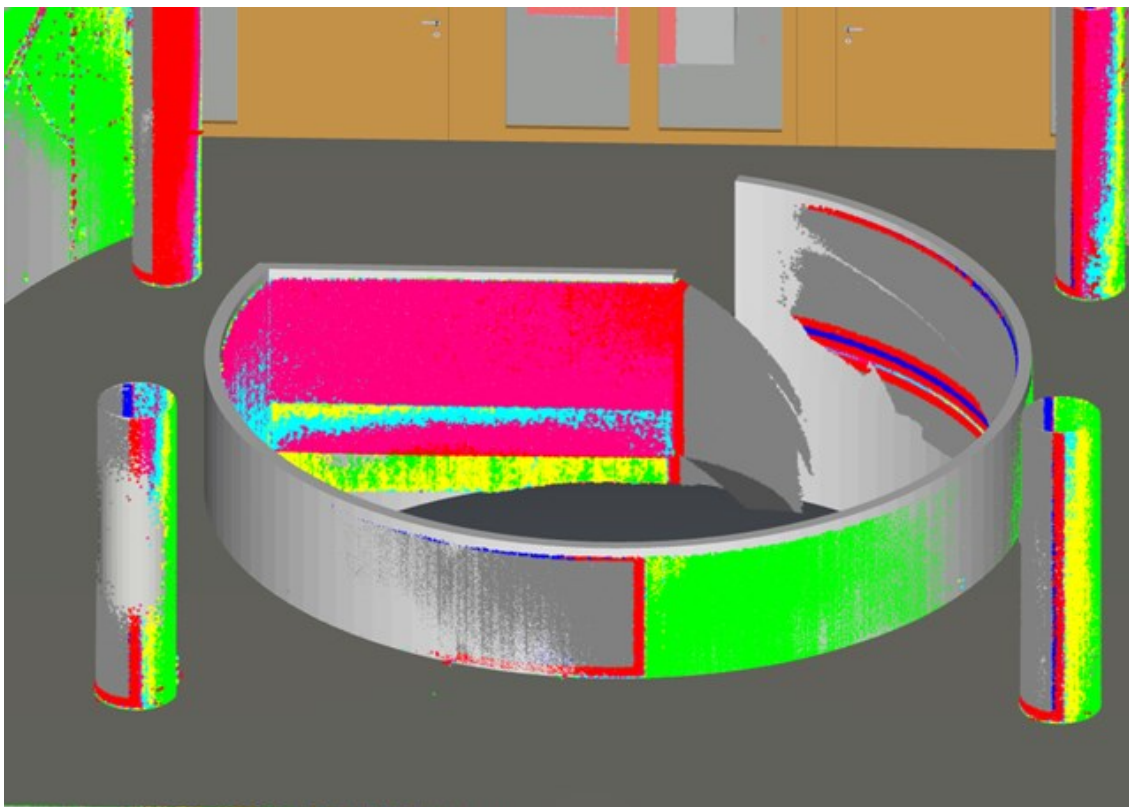
Tämän opinnäytetyön tulosten rekisteröinnissä sekä käsittelyssä käytettävien, Leica Geosystems:n ohjelmistojen käyttäjäystävällisyyden sekä ominaisuuksien vertailun kannalta olisi ollut tutkimuksen kannalta optimaalinen tilanne käsitellä pistepilvimalleja kolmannen osapuolen tarjoamilla ohjelmistoilla. Rajallisen ajan, sekä ammattikäyttöön sovellettavien ohjelmistojen korkeiden lisenssihintojen takia tässä työssä käytettiin vain ohjelmistoja, joihin Karelia-Ammattikorkeakoulu oli olemassa olevat lisenssit.

Opinnäytetyössä suoritettujen, rekisteröidyn pistepilvimallin sekä tietomallin vertailuiden onnistumisen lähtökohtana on näiden kahden tietomallin onnistunut yhdistäminen. Vertailuita tehdessä ilmeni, kuinka vähäinenkin epätarkkuus yhdistämisessä voi kertautua suuremmaksi virheeksi, kuten kuvassa 28 on havainnollistettu kahden, toisistaan sijainniltaan riippumattomien väliseinäelementtien osalta. Kahden väliseinäelementin muodostaman linjan voidaan nähdä lineaarisesti menevän vinoon suhteessa verrattavaan tietomalliin, poikkeamaa indikoivan värin muuttuessa tasaisesti vihreästä (0–10 mm) vaaleanpunaiseen (20–25 mm).



Kuva 28. Asuinhuoneiston kahdessa väliseinäelementissä voidaan havaita tietomallien yhdistämisen epätarkkuutta.

Myös pinta-alaltaan suuren tilan yhdistämisessä ohjelmiston manuaalisia työkaluja käyttäen, tietomallissa esiintyi vertailussa näkyvää epäonnistuneesta kohdistamisesta johtuvaa poikkeamaa. Pistepilvitiedoston sekä tietomallin yhdistämiseen käytettiin sekä käyttäjän määrittelemiin tarkepisteisiin pohjautuvaa N-points -yhdistämistä sekä ohjelmiston automaattista, BIM Alignment -yhdistämistä, mutta lopputuloksena molemmissa yhdistämistavoissa esiintyi kuvassa 29 havaittavaa, virheen aiheuttamaan poikkeamaa.



Kuva 29. Epäonnistuneen kohdistamisen seurauksena luokiteltujen pistepilvien poikkeama esiintyy järjestelmällisesti vertailtavien objektien toiselle puolelle (Korjonen, 2022a).

Tulevaisuutta ajatellen, optimaalinen tilanne olisi hyödyntää laserkeilauksen suorittamisen yhteydessä omaa, tai kolmannen osapuolen tarjoamaa takymetri-mittausta, jolloin keilauksessa käytettävien mustavalkotähyksien keskikohdan koordinaatit voidaan tallentaa sekä osoittaa myöhemmin rekisteröinnin yhteydessä pistepilvitiedostoon. Koordinaatistoon sidotun pistepilvitiedoston sekä BIM-tietomallin yhdistäminen myöhempää vertailua varten poissulkee mahdollisuuden virheille, joita esiintyy manuaalisen yhdistämisen seurauksena, säästäten aikaa käsittelyvaiheessa sekä tehden vertailutuloksista tarkempia.

Työn onnistuneista vertailuista saatiin kattavasti erilaisia, tarkasteltavia poikkeuksia, joita esiintyy usein samankaltaisissa uudisrakennuskohteissa. Näitä esimerkkejä olivat mm. lattian plaanovalun korkoerot, muurattavan- sekä ranka-runkoisen väliseinän sijaintipoikkeamat sekä suunnitelmista mitoiltaan eroavat kotelointien mitat. Vertailuiden tuloksissa BIM-tietomallista eroavat, mitoiltaan pienetkin poikkeamat olivat helposti havaittavissa, sekä näiden poikkeamien

mittaaminen on mahdollista ohjelmiston työkaluilla, jolloin niitä voidaan verrata suunnitelmiin sekä fyysisesti paikan päällä tehtyihin tarkemittauksiin.

Erityisesti kiinnostavin sekä uusia käyttömahdollisuuksia herättävä havainto oli märkätilojen lattiavalujen kaatojen toteuman laadullinen tarkastelu. Pistepilvitiedoston sekä tietomallin vertailussa voidaan mitata kaadon tarkka määrä millimetreissä valitulle matkalle, missä sijaitsee kaadon alin sekä ylin kohta ja onko kaato toteutettu ilman ns. taskuja johon vesi voisi kerääntyä ja näin kuormittaa vesieristystä sekä lattialämmitystä.

Ihanteellinen kohde laserkeilauksen käytölle laadunvarmistuksellisessa näkökulmassa olisi esimerkiksi suuren lattiapinta-alan omaavat tuotanto- /työtilat sekä pysäköintihallit, joissa lattioiden kaadot kaivoille toteutetaan kantavaan laattaan valutyön yhteydessä. Laserkeilaus sekä tulosten vertailu olisi optimaalinen työkalu kyseisten kohteiden toteuman laadunvarmistukseen, mahdolliseen vianetsintään sekä toteumamallin luontiin.

Ammattimaisessa käytössä, laserkeilauksen hyödyn verrattuna työhön kuluvaan aikaan näen olevan tehokasta. Yhden kuvauksen tuloksena saatava, kuvassa 30 esitetty 360- valokuvaus, FLIR-lämpökuvaus ja pistepilvitiedosto sekä näiden käyttömahdollisuudet ovat perinteisiin menetelmiin verrattuna huomattavasti tehokkaampia, ja ne voidaan toteuttaa samalla laitteistolla. Laserkeilauksessa, ja sen tuloksia analysoidessa täytyy kuitenkin aina huomioida mahdolliset mahdollisuudet virheille sekä laitteiston että ohjelmiston toleranssit, joten fyysisesti kohteessa suoritettavaa tarkemittausta tullaan vaatimaan laserkeilauksen hyödyistä huolimatta myös tulevaisuudessa.



Kuva 30. Pistepilvitiedoston lisäksi opinnäytetyössä käytetty laserkeilain tuottaa kuvattavasta tilasta 360-valokuvan. Punaiset ympyrät symboloivat keilauspisteitä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, kuinka laserkeilausta ja sen tuloksia voidaan hyödyntää laadunvarmistuksellisessa käytössä, käsitellä laserkeilauksen perustietoja sekä laserkeilaimen käyttöä työmaolosuhteissa. Näiden lisäksi tavoitteena oli myös syventyä laserkeilauksen tulosten rekisteröintiin, hallintaan sekä käyttöön Karelia-ammattikorkeakoulun ohjelmistoja hyödyntäen.

Yhteenvedon voidaan todeta tuloksissa esiintyneiden poikkeamien havainnointiin, mittaamiseen sekä vertailuun käytetyn Leica Geosystems valmistaman laserkeilaimen ja sen tuottamien pistepilvitiedostojen käyttämisen laadunvarmistuksessa tehokkaaksi työkaluksi niin työn kustannusten, kuin sen tarjoamien muiden etujen, kuten korjausrakentamista tukevana työkaluna.

Mielestäni opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin edellä mainittuja menetelmiä työssä käyttäen. Opinnäytetyössä laserkeilatusta uudiskohteesta ja sen tuloksista onnistuttiin löytämään työn kannalta erinomaisia esimerkkejä

vertailuissa, jolloin keilauksen käyttöä laadunvarmistuksen työkaluna päästiin konkreettisesti esittämään sekä analysoimaan. Opinnäytetyön kannalta oli rikkaus, että laserkeilauksen pistepilvitiedoston vertailussa esiintyi poikkeamia tietomalliin nähden, vaikka kyseiset poikkeamat olivat rakennushankkeen aikana erinäisistä rakennusteknisistä syistä tehtyjä muutoksia ja näin ollen toimihenkilöillä tiedossa.

Opinnäytetyössä pyrin noudattamaan sekä käyttämään hyvää tieteellistä käytäntöä. Pyrin parhaani mukaan työssäni referoimaan lähteitä omin sanoin ja lähdeviittauksia merkitessä noudatin oppilaitokseni ohjeistusta. Vaikeuksia tuotti omalta osaltaan laserkeilauksen olevan vielä suhteellisen uusi ilmiö rakennusalalla, jolloin luotettavia sekä tutkimuspohjaisia lähteitä oli osittain vaikea löytää.

Työn aikainen kommunikointi opinnäytetyön ohjaajieni kanssa oli saumatonta sekä esimerkillistä. Ohjaajani olivat työn alusta loppuun, työn aiheen esittämisestä sen viimeiseen oikolukuun asti tiivistä mukana, ja heidän kanssaan työn aika käsiteltiin ryhmänä keilaimen käyttöä, tulosten rekisteröintiä, tulosten analysointia sekä opinnäytetyön kulkua sekä sen aikataulua. Kommunikointi suoritettiin puhelimitse sekä sähköpostitse ja säännöllisin palaverien etänä Teams -ympäristössä tai koulun tiloissa. Ohjaajani järjestivät myös koulun henkilöstölle sekä opinnäytetyössä laserkeilausta hyödyntäville opiskelijoille Leica Geosystems asiantuntijan, Mitja Rinteen pitämän koulutuspäivän, jossa sain paljon uutta tietoa sekä apua opinnäytetyön tekemiseen.

Opinnäytetyön aihealue oli työtä aloittaessa erittäin laaja, mutta olen tyytyväinen, kuinka opinnäytetyön edetessä ohjaajieni kanssa pidettyjen palaverien tuloksena saimme yhdessä tiivistettyä työn aihealuetta sekä tavoitteita siten, että se vastaa käytössäni olevilla resursseilla sekä tuloksilla sille asetettuja tavoitteita. Työtä tehdessä opin tavoitteiden asettamisen tärkeyden vastaavanlaisissa projekteissa sekä tunnistamaan omia rajojani työn määrän suhteen, kun syksyllä 2023 käynnissä oli useampi ammattikorkeakoulun kurssin harjoitustyö sekä lähestyvät tentit, päätettiin ohjaajieni kanssa yhdessä siirtää työn jatkamista tulevalle keväälle.

Lähteet

- All3D Oy. 2024. Mitä laserkeilaus (laserscanning) on? <https://www.all3d.fi/laser-keilaus>. 18.3.2024.
- Anttila, T. 2023. Pistepilviaineistot suunnittelun lähtötietona. <https://building-pointfinland.fi/pistepilviaineistot-suunnittelun-lahtotietona/>. 6.4.2024.
- Asprs. 2024. Laser (LAS) file format exchange activities. <https://www.asprs.org/divisions-committees/lidar-division/laser-las-file-format-exchange-activities>. 7.4.2024.
- Betonielementtien toleranssit 2011. 2020. Rakennustieto.
- Buildingsmart International. 2024. Industry Foundation Classes (IFC). <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>. 6.4.2024.
- Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. http://www.tiigi.ee/mm/skanner/jutud/HDS_11_2006_Va-hur_Joala.pdf. 18.3.2024.
- Keitaanniemi, A. 2023. Miksi sovittaisin eri menetelmillä kerätyt pistepilviaineistot yhdeksi pistepilveksi? <https://geotrim.fi/yritys/blogi/geoslam/miksi-sovittaisin-eri-menetelmilla-keratyt-pistepilviaineistot-yhdeksi-pistepilveksi/>. 6.4.2024.
- Korjonen, M. 2022a. IFC-malli. Arkkitehtitoimisto Lappalainen & Korjonen Oy.
- Korjonen, M. 2022b. Pohjakuva. Arkkitehtitoimisto Lappalainen & Korjonen Oy.
- Leica Geosystems. 2023. BIM Alignment. <https://cyclone3dr.leica-geosystems.com/help/2023.1/BIMAlignmentC.html>. 7.4.2024.
- Leica Geosystems. 2024. Classification. <https://rcdocs.leica-geosystems.com/cyclone-register-360/latest/classification>. 7.4.2024.
- Leica Geosystems. 2024. Cloud-to-cloud settings. <https://rcdocs.leica-geosystems.com/cyclone-register-360/latest/cloud-to-cloud-settings>. 7.4.2024.
- Leica Geosystems. 2023. Geometric Registration. <https://cyclone3dr.leica-geosystems.com/help/2023.0/GeometricRegistrationC.html>. 7.4.2024.
- Leica Geosystems. 2023. N points Registration. <https://cyclone3dr.leica-geosystems.com/help/2023.0/NPointsRegistrationC.html>. 7.4.2024.
- Maanmittauslaitos. 2023. Laserkeilausaineisto 5 p. <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/aineistot-ja-rajapinnat/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto-5-p>. 5.4.2024.
- McCarthy, R. 2023. FLIR Cameras Review – History, Technology, Software, & More. <https://reductionrevolution.com.au/blogs/review/flir-cameras>. 7.4.2024.
- Mitta Oy. 2023. Laserkeilaus. <https://mitta.fi/palvelut/mittaus/laserkeilaus/>. 18.3.2024.
- Neopoint Oy. 2023. Laserkeilausteknologia. <https://www.neopoint.fi/fi/laserkeilaus>. 18.3.2024.
- Nordic BIM Group. 2024. Tietomallinnuksen ABC. <https://www.nordicbim.com/fi/bim-tietomallinnuksen-abc#>. 18.3.2024.
- Rakennustoimisto K. Tervo Oy. 2022. Rakennustapaselostus. <file:///C:/Users/Joona/Downloads/Tervo-Torikatu19-rakennustapaselostus.pdf>. 18.3.2024.
- Ratu KI-6029. 2016. Rakennustöiden laatu 2017. Rakennustieto Oy. 18.3.2024.

- Rinne, M. 2023. Leica Geosystems, tekninen tuki. Webinaari Teams-ympäristössä 25.10.2023.
- RT 103133. 2019. Rakennuksen laserkeilaus. Rakennustieto. 7.4.2024.
- RT 84-11166. 2014. Märkätilojen rakenteet. Rakennustieto. 8.4.2024.
- Ruusunen, O. 2021. Mitä on Rakentamisen laatu? <https://blog.congrid.fi/mit%C3%A4-on-rakentamisen-laatu>. 18.3.2024.
- Talsi, P. 2023. Tietomallinnuksen tulevaisuus rakennusalalla vuonna 2025. <https://www.cadmatic.com/fi/ajankohtaista/blogi/tietomallinnuksen-tulevaisuus-rakennusalalla-vuonna-2025/>. 18.3.2024.
- Uotila, U. 2023. Laserkeilauksen hyödyt ja haasteet korjausrakentamishankkeissa. Tampereen teknillinen yliopisto. <https://prodigious.tamk.fi/files/2018/02/Laserkeilauksen-hy%C3%B6dyt-ja-haasteet.pdf>. 5.4.2024.
- Utriainen, K. 2023. Tietomallien käyttö työmaatuotannossa. https://rakentaminen.karelia.fi/wp-content/uploads/2023/02/Tietomallien_kaytto_tyomaatuotannossa_Rakentamisen_laadunvarmistus.pdf. 18.3.2024.

Leica BLK360- laserkeilaimen tekniset tiedot



Leica BLK
Geosystems

LEICA BLK360 G1

CAPTURING REALITY AT
THE PUSH OF A BUTTON



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 full dome 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

Pistepilvien rekisteröintiraportti

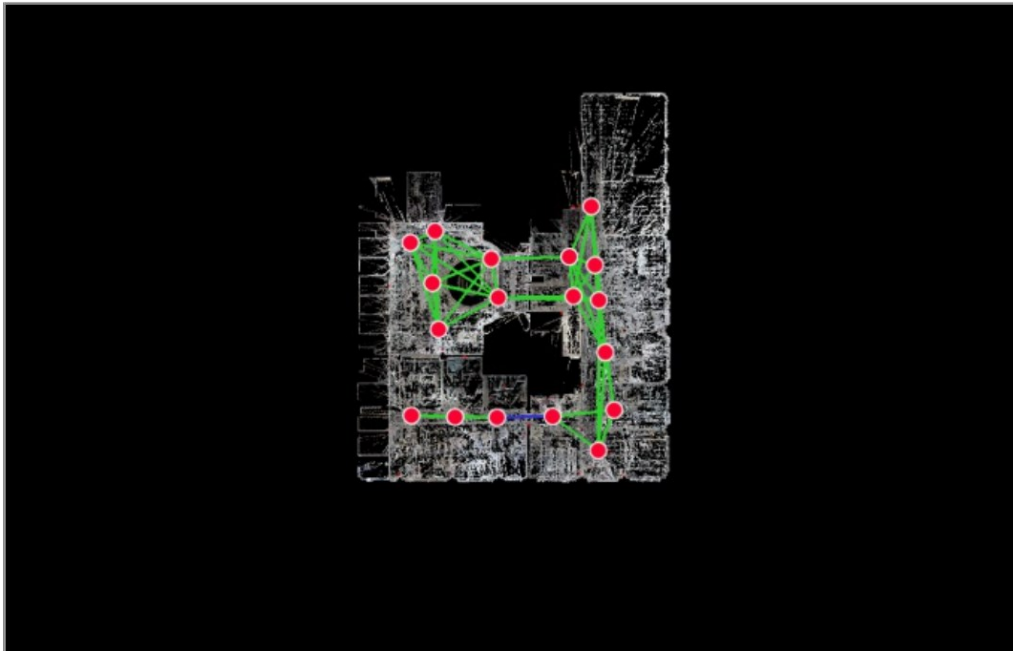
Toimitilakerros

Cyclone REGISTER 360 PLUS Registration Report



syys 13, 2023

Certified by:



SiteMap 1

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 18
Link Count: 44

Strength: 62 %
Overlap: 44 %

Bundle Error 0.006 m ✓	
Overlap 44 % ✓	Strength 62 % ✓
Cloud-to-Cloud	Target Error

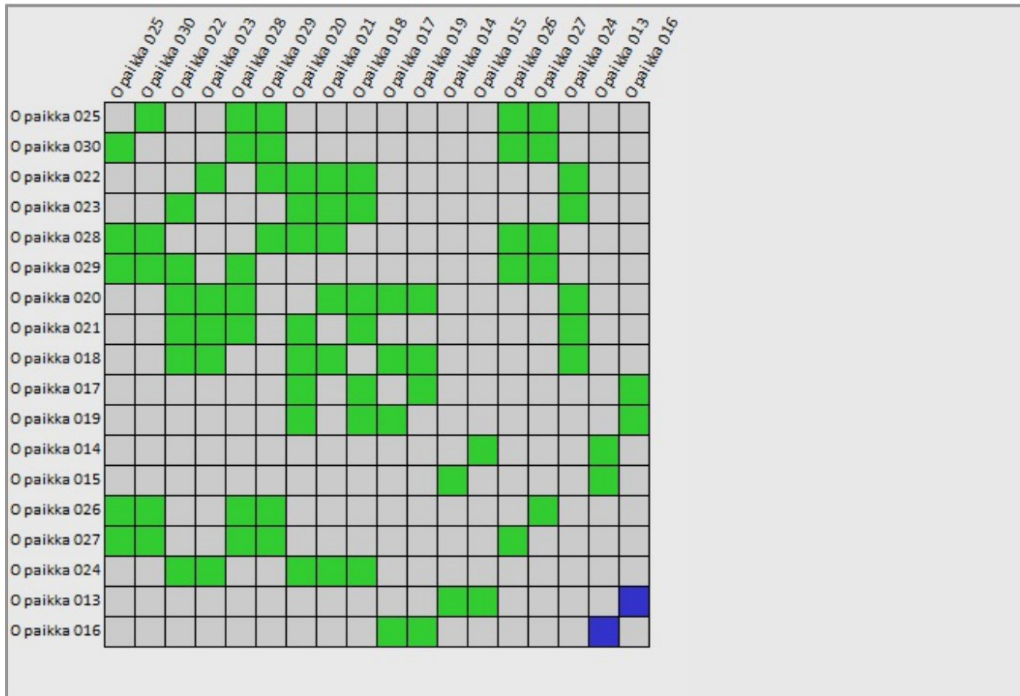
0.006 m ✓ --

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix #1 -



Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 4	O paikka 025	O paikka 030	69 %	0.007 m
Link 5	O paikka 022	O paikka 023	69 %	0.005 m
Link 6	O paikka 028	O paikka 029	58 %	0.006 m
Link 7	O paikka 020	O paikka 021	65 %	0.005 m
Link 8	O paikka 020	O paikka 023	64 %	0.005 m
Link 10	O paikka 018	O paikka 020	67 %	0.005 m
Link 11	O paikka 017	O paikka 019	56 %	0.006 m
Link 12	O paikka 018	O paikka 019	50 %	0.006 m
Link 13	O paikka 014	O paikka 015	65 %	0.005 m
Link 14	O paikka 025	O paikka 026	65 %	0.006 m
Link 16	O paikka 027	O paikka 028	39 %	0.005 m
Link 17	O paikka 023	O paikka 024	56 %	0.006 m
Link 18	O paikka 026	O paikka 030	62 %	0.006 m
Link 19	O paikka 021	O paikka 022	54 %	0.006 m
Link 20	O paikka 013	O paikka 014	55 %	0.006 m
Link 21	O paikka 026	O paikka 027	58 %	0.005 m
Link 22	O paikka 016	O paikka 017	49 %	0.006 m
Link 24	O paikka 021	O paikka 028	29 %	0.005 m
Link 25	O paikka 029	O paikka 030	43 %	0.006 m
Link 26	O paikka 018	O paikka 024	27 %	0.008 m
Link 29	O paikka 020	O paikka 022	47 %	0.005 m
Link 30	O paikka 021	O paikka 023	51 %	0.006 m
Link 31	O paikka 025	O paikka 027	41 %	0.005 m
Link 34	O paikka 021	O paikka 024	27 %	0.008 m
Link 39	O paikka 018	O paikka 023	52 %	0.005 m
Link 40	O paikka 017	O paikka 018	31 %	0.004 m
Link 46	O paikka 025	O paikka 029	40 %	0.005 m
Link 47	O paikka 026	O paikka 029	46 %	0.006 m
Link 48	O paikka 028	O paikka 030	31 %	0.007 m
Link 54	O paikka 026	O paikka 028	40 %	0.007 m
Link 57	O paikka 027	O paikka 029	27 %	0.006 m
Link 58	O paikka 018	O paikka 021	33 %	0.007 m
Link 60	O paikka 020	O paikka 028	23 %	0.007 m
Link 64	O paikka 016	O paikka 019	27 %	0.006 m
Link 69	O paikka 013	O paikka 015	35 %	0.006 m
Link 72	O paikka 022	O paikka 029	23 %	0.009 m
Link 113	O paikka 022	O paikka 024	28 %	0.007 m
Link 150	O paikka 025	O paikka 028	28 %	0.008 m

Link 200	O paikka 018	O paikka 022	29 %	0.006 m
Link 242	O paikka 017	O paikka 020	20 %	0.008 m
Link 245	O paikka 019	O paikka 020	34 %	0.005 m
Link 263	O paikka 020	O paikka 024	57 %	0.006 m
Link 278	O paikka 027	O paikka 030	33 %	0.005 m
Link 341	O paikka 013	O paikka 016	13 %	0.000 m

2 Details

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 4	O paikka 025	O paikka 030	69 %	0.007 m
		Cloud to Cloud		0.007 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 5	O paikka 022	O paikka 023	69 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 6	O paikka 028	O paikka 029	58 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 7	O paikka 020	O paikka 021	65 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 8	O paikka 020	O paikka 023	64 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 10	O paikka 018	O paikka 020	67 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 11	O paikka 017	O paikka 019	56 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 12	O paikka 018	O paikka 019	50 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 13	O paikka 014	O paikka 015	65 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 14	O paikka 025	O paikka 026	65 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 16	O paikka 027	O paikka 028	39 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 17	O paikka 023	O paikka 024	56 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 18	O paikka 026	O paikka 030	62 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 19	O paikka 021	O paikka 022	54 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 20	O paikka 013	O paikka 014	55 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 21	O paikka 026	O paikka 027	58 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 22	O paikka 016	O paikka 017	49 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 24	O paikka 021	O paikka 028	29 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 25	O paikka 029	O paikka 030	43 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 26	O paikka 018	O paikka 024	27 %	0.008 m
		Cloud to Cloud		0.008 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 29	O paikka 020	O paikka 022	47 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 30	O paikka 021	O paikka 023	51 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 31	O paikka 025	O paikka 027	41 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 34	O paikka 021	O paikka 024	27 %	0.008 m
		Cloud to Cloud		0.008 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 39	O paikka 018	O paikka 023	52 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 40	O paikka 017	O paikka 018	31 %	0.004 m
		Cloud to Cloud		0.004 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 46	O paikka 025	O paikka 029	40 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 47	O paikka 026	O paikka 029	46 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 48	O paikka 028	O paikka 030	31 %	0.007 m
		Cloud to Cloud		0.007 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 54	O paikka 026	O paikka 028	40 %	0.007 m
		Cloud to Cloud		0.007 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 57	O paikka 027	O paikka 029	27 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 58	O paikka 018	O paikka 021	33 %	0.007 m
		Cloud to Cloud		0.007 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 60	O paikka 020	O paikka 028	23 %	0.007 m
		Cloud to Cloud		0.007 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 64	O paikka 016	O paikka 019	27 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 69	O paikka 013	O paikka 015	35 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 72	O paikka 022	O paikka 029	23 %	0.009 m
		Cloud to Cloud		0.009 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 113	O paikka 022	O paikka 024	28 %	0.007 m
		Cloud to Cloud		0.007 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 150	O paikka 025	O paikka 028	28 %	0.008 m
		Cloud to Cloud		0.008 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 200	O paikka 018	O paikka 022	29 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 242	O paikka 017	O paikka 020	20 %	0.008 m
		Cloud to Cloud		0.008 m
		Target	Mean Target Error:	--

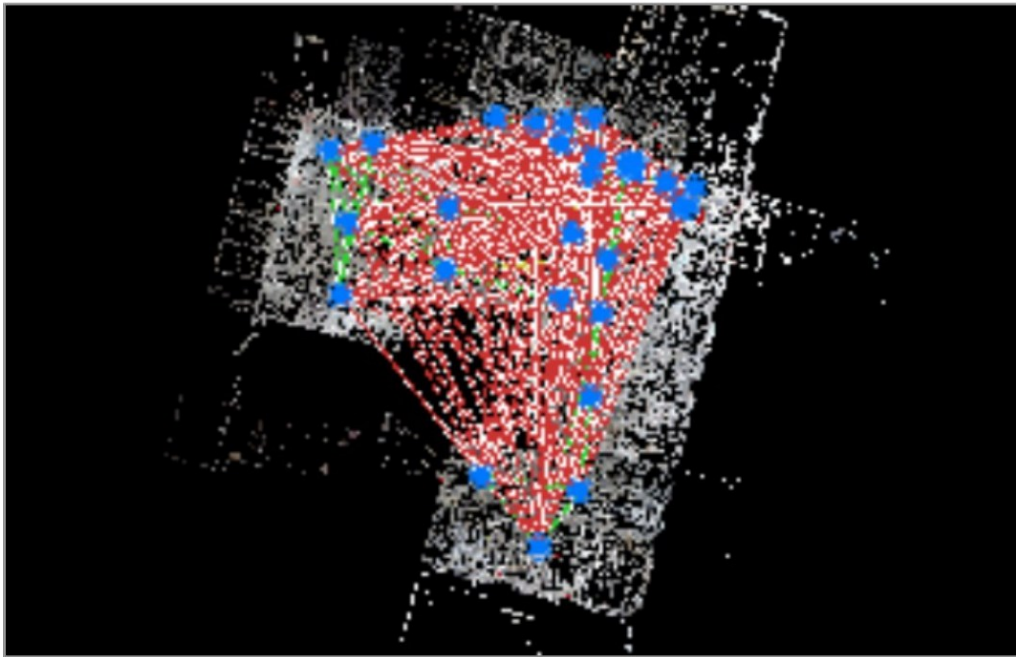
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 245	O paikka 019	O paikka 020	34 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 263	O paikka 020	O paikka 024	57 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 278	O paikka 027	O paikka 030	33 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 341	O paikka 013	O paikka 016	13 %	0.000 m
		Cloud to Cloud		0.000 m
		Target	Mean Target Error:	--

Graphics



Projecticon