



# Laserkeilauksen analyysityökalun käyttötapaukset ja työnkulku rakennuskohteen geometrian laadunvarmistuksessa

Sofia Qawariq

OPINNÄYTETYÖ  
Marraskuu 2023

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Rakennustuotanto

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Rakennustuotanto

QAWARIQ, SOFIA:

Laserkeilauksen analyysityökalun käyttötapaukset ja työnkulku rakennuskohteen geometrian laadunvarmistuksessa

Opinnäytetyö 74 sivua, joista liitteitä 31 sivua  
Marraskuu 2023

---

Opinnäytetyössä tutkittiin, millaisia laadunvarmistukseen liittyviä käyttötapauksia, hyötyjä ja haasteita on avustetusti laatupoikkeamia esiin nostavissa analyysityökaluissa, jotka hyödyntävät laserkeilattuja pistepilviä ja tietomalleja sekä millaisiin hankkeisiin tällainen ratkaisu soveltuu. Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona NCC Suomi Oy:lle.

Tutkimuksessa tehtiin kirjallisuuskatsaus laserkeilaukseen, tietomallintamiseen sekä niiden hyödyntämiseen laadunvarmistuksessa. Haastatteluiden avulla karotettiin tietomallien ja pistepilvien käytön nykytilannetta ja geometrian laadunvarmistuksen ongelmakohtia työmailla. Kolmesta case-kohteesta kerättiin käytännön kokemuksia tekoälypohjaisen, rakentamisessa geometristen vaatimusten tarkistukseen tarkoitetun, ohjelmiston käytöstä. Yhdessä case-kohteista ohjelmisto oli ollut aktiivisesti käytössä rakennusprojektissa. Muissa case-kohteissa tietomalleja verrattiin pistepilviin tätä tutkimusta varten.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi listaus mahdollisista analyysityökalun käyttökohteista työmaalla sekä arvio menetelmän kannattavuudesta haastattelujen, kirjallisuustutkimuksen sekä käytännön testauksen perusteella. Haastatteluilla kerättiin tietoa laadunvarmistuksen ongelmakohdista ja laadunvarmistuksen sekä tietomallinnuksen nykytilanteesta työmailla. Kirjallisuustutkimuksen avulla selvitettiin tietomallinnuksen ja laserkeilauksen rajoitteita sekä kerättiin tietoa aiemmista laserkeilauksista hyödyntäneistä tapaustutkimuksista.

Tutkimuksessa havaittiin laserkeilauksen olevan vakiintuneita laadunvarmistustapoja huomattavasti nopeampi keino tiedon keräämiseen. Aineiston analysointivaiheeseen tyypillisesti kuluu aikaa saadaan myös lyhennettyä sillä, ettei laatupoikkeamia tarvitse etsiä manuaalisesti.

---

Asiasanat: laserkeilaus, tietomallintaminen, laadunvarmistus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Construction Production

QAWARIQ, SOFIA:

Use of Semi-automatic Processes Utilising Laser Scanned Point Clouds and Building Information Models in the Quality Control of a Construction Site Geometry

Bachelor's thesis 74 pages, appendices 31 pages  
November 2023

---

The purpose of this thesis was to collect information on the use cases, advantages, and difficulties associated with semi-automatic processes utilising laser scanned point clouds and building information models in the quality control of a construction project. The thesis was commissioned by NCC Suomi Oy.

The data for this thesis was collected by completing a literature review on laser scanning, building information models, and their application in quality control. In addition, this study involved interviewing professionals in the construction industry in a variety of jobs. The current state of building information model and point cloud utilisation, together with the areas of geometry quality assurance concern, were mapped out using the data collected from the interviews. Three case sites provided first-hand experiences of using software to verify geometric requirements using semi-automatic processes.

The results suggest that compared to traditional quality assurance techniques, laser scanning provides information much more quickly. Eliminating the need to manually search for quality deviations can reduce the amount of time normally spent in the data analysis phase. The thesis produced a list of potential applications for the analysis tool on the building site and evaluation of the method's profitability.

---

Key words: building information model, laser scanning, quality control

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	GEOMETRISEN LAADUNVARMISTUKSEN NYKYTILANNE .....	7
	2.1 Vaatimustenmukaisuuden todentaminen .....	7
	2.2 Laserkeilaus ja pistepilvet .....	7
	2.3 Tietomallintaminen .....	8
	2.4 Tietomallien ja pistepilvien käyttöesimerkkejä työmailta .....	9
	2.5 Pistepilvissä, tietomalleissa ja niiden vertaamisessa huomioitavaa 12	
3	POTENTIAALISET KÄYTTÖKOHTEET .....	15
	3.1 Menetelmän potentiaalisia hyötyjä verrattuna vakiintuneisiin laadunvarmistusmenetelmiin.....	15
	3.2 Laserkeilauksen hyödyntämistapoja haastatteluiden pohjalta.....	16
4	KÄYTTÖKOKEMUKSET JA TESTAUKSET .....	21
	4.1 Case-kohde A .....	21
	4.2 Case-kohde B .....	29
	4.3 Case-kohde C .....	32
	4.4 Case-kohteista yhteisesti .....	37
5	TULOKSET .....	38
6	POHDINTA .....	41
	LÄHTEET .....	42
	LIITTEET .....	44
	Liite 1. Case-kohteen A poikkeamahavainnot.....	44
	Liite 2. Case-kohteen C poikkeamahavainnot.....	65
	Liite 3. Laskelma investoinnin tuotosta (salassa pidettävä liite) .....	74

**LYHENTEET JA TERMIT**

Laserkeilaus	mittaustapa, jossa kohteesta saadaan lasersäteiden avulla mittatarkkaa kolmiulotteista tietoa (RT 103375 Pistepilviaineisto suunnittelun lähtötietona ja inventointimallintaminen 2021)
Pistepilvitieto	kolmiulotteista pistemäistä mittatietoa, joka kuvaa kohteen geometriaa (Savisaari, 2017)
Tietomalli	ominaisuustietoja sisältävä digitaalinen esitys rakennusprojektista (Sampaio, 2017)
BIM	Building Information Model eli rakennuksen tietomalli
Inventointimalli	rakennuksen lähtötilanteesta malli, jota käytetään erityisesti korjausrakentamisen suunnittelun lähtötietona (Tietoa Finland Oy n.d.). Tietomalli tuotetaan vanhojen piirustusten pohjalta tai kohteessa suoritettujen mitausten pohjalta.
Toteumamalli	tietomalli, jossa rakennussuunnitelmat ja erityissuunnitelmat päivitetty vastaamaan työmaalla tehtyä toteutusta eli rakennuskohde dokumentoituna siinä muodossa, missä se on toteutettu.
Tarkemittaus	mittaus, jolla voidaan varmistaa olevien ja asennettujen rakenteiden sijainti. Tarkemittauksien avulla voidaan saada alun inventointimallia luotettavampaa tietoa esimerkiksi puretuista, aiemmin piilossa olleista runkorakenteista (Anttila ym. 2018) sekä varmistaa rakennussuunnitelmien laatu vertaamalla todellista tarkemittattua sijaintia suunnitelmiin.

## 1 JOHDANTO

Tietomallien käytön ja sen myötä myös tietomalliosaamisen lisääntytyä nähdään tietomallien tarkasteluohjelmissa ja muissa sovellutuksissa potentiaalia esimerkiksi työmaan tehokkuuden ja laadun parantamisen apuvälineinä. Laserkeilaamalla pystytään keräämään suuri määrä tarkkaa geometriatietoa nopeasti. Tätä geometriatietoa tietomalliin vertaamalla pystytään löytämään mahdollisia poikkeamia. Aineiston manuaalinen visuaalinen tarkastelu on kuitenkin työlästä ja aikaa vievää.

Työn tavoitteena on selvittää millaisia laadunvarmistukseen liittyviä käytötapauksia, hyötyjä ja haasteita on semi-automaattisissa analyysityökaluissa, jotka hyödyntävät laserkeilattuja pistepilviä ja tietomalleja sekä millaisiin hankkeisiin tällainen ratkaisu soveltuu. Semi-automaattisella analyysityökalulla tässä tarkoitetaan sovellusta, joka ei perustu vain manuaaliseen visuaaliseen tarkasteluun vaan se pystyy avustetusti nostamaan esiinärkevän määrän mahdollisia laatupoikkeamia. Tutkimuksessa keskitytään lähinnä yhteen sovellukseen työn laajuuden rajaamiseksi. Tällä hetkellä kohdeyrityksessä Suomessa vastaavia ratkaisuja ei ole vielä käytössä, vaan laserkeilatut pistepilvet toimivat lähinnä suunnittelussa pohjatietona sekä visuaalisessa vertailussa suunnittelijoiden tietomallien kanssa.

Tämä opinnäytetyö tehdään NCC Suomi Oy:lle osana rakennustekniikan insinööri (AMK) -tutkintoa. NCC on yksi johtavista rakennusalan yrityksistä Pohjoismaissa. NCC Suomi Oy toimii uudis- ja korjausrakentamisen parissa.

## 2 GEOMETRISEN LAADUNVARMISTUKSEN NYKYTILANNE

### 2.1 Vaatimustenmukaisuuden todentaminen

Työsuorituksen vaatimustenmukaisuus todetaan työlajikohtaisilla tarkastuksilla, mittauksilla, testeillä tai kokeilla, jotka suoritetaan työvaiheen aikana. Työvaiheen suunnittelun yhteydessä laaditaan tarkastettavat suureet sekä niiden vaatimustasot ja toleranssit sisältävä tarkastuslista kohdekohtaisesti. Listaa käytetään tarkastuksissa, mittauksissa ja testeissä siten, että geometrian vaatimustenmukaisuuden todentaminen tapahtuu vertaamalla numeerista mittaustulosta vaatimustasoon. Pääsääntöisesti tarkastuksista vastaa työnjohtaja, mutta tietyissä tapauksissa on tarpeen suorittaa tarkemmittauksia eli tyypillisesti työmaan mittaushenkilöstön toimesta tehtyjä mittauksia erillisillä mittalaitteilla. Tarkemmittauksilla varmistetaan rakenteiden tai rakennusosien eli tyypillisesti esimerkiksi perustusten tai rungon mittatarkkuusvaatimusten, sijaintivaatimusten ja asennustoleranssien täytyminen. (NCC Tuotannon ohjaus 2022.)

Tarkastusten, mittausten, testien ja kokeiden suorittamiseen on olemassa monenlaisia mittalaitteita ja välineitä, kuten esimerkiksi vaaituskojeet, teodoliitit, takymetrit sekä taso- ja etäisyyslaserit. Vaatimustenmukaisuuden todentamiseen liittyviä tietoja voidaan myös hallinnoida monilla tavoilla. Laserkeilatut pistepilvet esimerkiksi tarjoavat monipuolisesti mahdollisuuksia jo rakennetun dokumentointiin sekä kohteen ja sen geometrian visualisointiin ja mittaamiseen.

### 2.2 Laserkeilaus ja pistepilvet

Pistepilvitiedolla tarkoitetaan tiheää kolmiulotteista pistemuotoista mittatietoa kohteen geometriasta (Savisaari, 2017). Pistepilviä voidaan tuottaa esimerkiksi laserkeilauksen ja fotogrammetrian avulla. Tässä opinnäytetyössä käsitellään laserkeilaamalla tuotetun pistepilvitiedon vertaamista tietomalliin.

Laserkeilain lähettää jopa miljoonia laserpulsseja sekunnissa. Lasersäteen reitillä olevat kohteet heijastavat säteen takaisin skanneriin ja muodostavat geometrian,

joka tulkitaan 3D-dataksi. Yhden pisteen sijainti mitataan suhteessa pistepilven muihin pisteisiin, jolloin sen tarkkuus voidaan määrittää jopa millimetrien tarkkuudella. Pistepilvi voi sijaita paikallisessa paikkatietojärjestelmässä tai se voidaan linkittää muihin olemassa oleviin koordinaattijärjestelmiin. (Faro n.d.; Mitta Oy n.d.) Monissa laserkeilaimissa on kamera, jonka valokuvista saatu väritieto yhdistetään tietyssä koordinaatissa sijaitsevaan pisteeseen (Savisaari, 2017). Näin 3D-sijainnin lisäksi pisteisiin voidaan saada sisällytettyä tietoa myös kohteen materiaalista ja väristä. Laserkeilauksen etuna on sen tarkkuus sekä kyky kerätä huomattavia määriä tietoa nopeasti.

Laserkeilaamalla tuotettuja pistepilviaineistoja käytetään rakentamisessa tyypillisesti esimerkiksi olemassa olevan rakennuksen inventointimallinnukseen. Pistepilviä voidaan käyttää monin eri tavoin ja eri tarkoituksiin. Tämän vuoksi pistepilvitietojen laatu- ja kattavuusvaatimukset tulee määritellä aina kohdekohtaisesti ja tilausvaiheessa selkeästi, jotta pistepilviaineisto olisi mahdollisimman hyvin aiotuihin käyttötarkoituksiin sopiva.

Pistepilviä voidaan hyödyntää myös esimerkiksi seuraavilla tavoilla (Keitaanniemi 2021):

- visuaalisten dokumenttien toteuttamiseen projektin eri vaiheissa
- suunnittelussa visualisoinnin apuna
- digitaaliseen tarkasteluun lisättävän elementin ja olemassa olevan kohteen välillä
- BIM-malliin vertaamiseen virheiden ajoissa havaitsemiseksi.

Tässä työssä tarkastellaan laserkeilatun pistepilven ja tietomallin vertaamista, siten että, työkalulla ei tarkastella vain visuaalisesti eroja vaan se pystyy avustetusti nostamaan esiin mahdollisia laatupoikkeamia esimerkiksi määritetyn toleranssin mukaan.

### **2.3 Tietomallintaminen**

Rakennuksen tietojen käsittelyssä tietomallit ovat useissa projekteissa hyvin keskeisessä asemassa. Tietomallilla tarkoitetaan ominaisuustietoja sisältävää

digitaalista esitystä rakennusprojektista (Sampaio, 2017). Tietomallista puhutaan yleisesti myös termillä BIM, joka on lyhenne englannin kielen sanoista Building Information Model. Tietomallia voidaan siis pitää rakennuksen digitaalisena esityksenä, kolmiulotteisena mallina ja projektitietojen arkistona, jonka tarkoituksena on helpottaa yhteensovitusta ja tiedonvaihtoa (Sampaio, 2017). Digitaalisesti koostetut mallit sisältävät rakennuksen täsmällistä geometriatietoa sekä tietoja, joita tarvitaan rakentamisen, osien valmistuksen ja hankintatoimen tukena rakennusvaiheessa (Eastman ym. 2011). Tietomallipohjainen suunnittelu lisääntyy jatkuvasti rakennusalalla Suomessa ja myös muualla maailmassa. Tietomalliosaimisen ja tietomallien hyödyntämisen kehittyessä tarve mm. tarkasteluohjelmille ja muille sovelluksille myös lisääntyy.

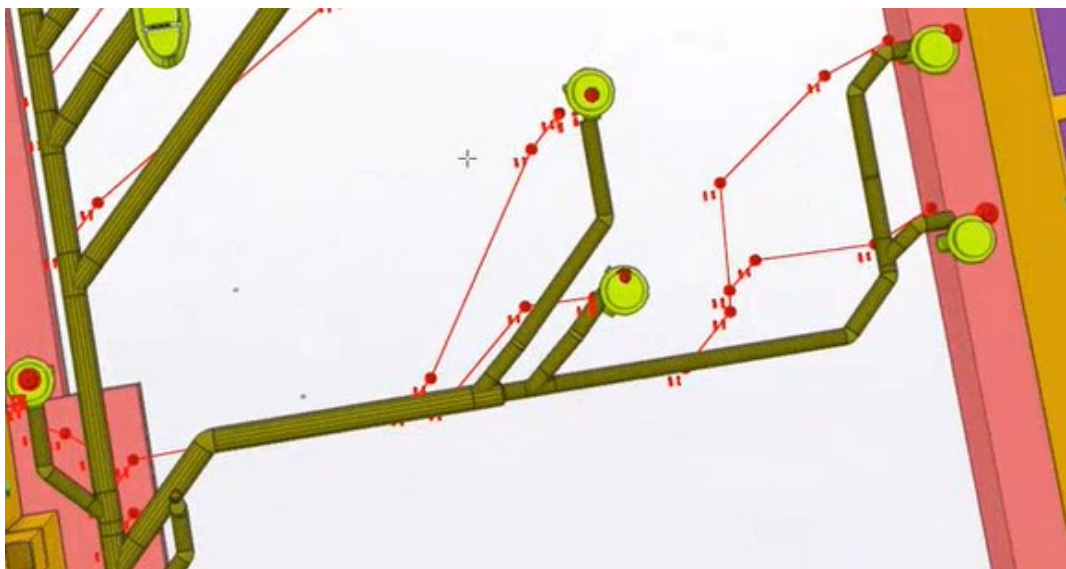
Inventointimalli on yksi tietomallityyppi. Inventointimalli on tarkoitettu erityisesti korjausrakentamisen suunnittelun lähtötiedoksi. (RT 103375 Pistepilviaineisto suunnittelun lähtötietona ja inventointimallintaminen 2021.) Tietomallipohjaisen suunnittelun tavoitteena on vähentää esimerkiksi riittämättömistä lähtötiedoista aiheutuvia suunnitteluvirheitä ja tukea mahdollisten ongelmakohtien ja ristiriitojen löytämisessä jo suunnitteluvaiheessa. (Anttila 2022; Puumalainen 2021). Tämä vähentää tarvetta rakentamisaikaisille muutoksille.

Tietomallintava suunnittelu auttaa eri suunnittelualoja suunnitelmien yhteensovittamisessa havainnollistamalla tehokkaammin kokonaisuutta (Puumalainen 2021). Tietomallinnuksen avulla voidaan saavuttaa lisäksi säästöjä kustannuslaskennassa määrälaskennan nopeutuessa ja tarkentuessa.

## **2.4 Tietomallien ja pistepilvien käyttöesimerkkejä työmailta**

Tietomallien ja pistepilvien käytön nykytilanteen kartoittamiseksi NCC:n työmailta tässä työssä haastateltiin kolmea NCC:llä työskentelevää mittakirvesmiestä. Haastattelu tehtiin 24.03.2023 Teams-palaverissa. Tämän lisäksi muiden haastateltavien joukossa oli mm. NCC:n toimihenkilöitä ja ylempiä toimihenkilöitä. Tässä käsitellyt esimerkit ovat yksittäisiä eivätkä kuvaa luotettavasti koko kokonaisuutta tietomallien ja pistepilvien käytöstä. Haastatellut mittakirvesmiehet hyödyntävät tietomallia tarkemittauksessa esimerkiksi viemällä mitattuja pisteitä

tietomalliin ja vertaamalla siten toteutunutta suunniteltuun. Kuvassa 1 nähdään selkeästi ero DWG-muodossa tallennettujen putkilinjojen ja tietomallin välillä. Tarvittaessa tiedoston saa vietyä myös esimerkiksi suunnittelijalle toteuman mallinnusta varten.



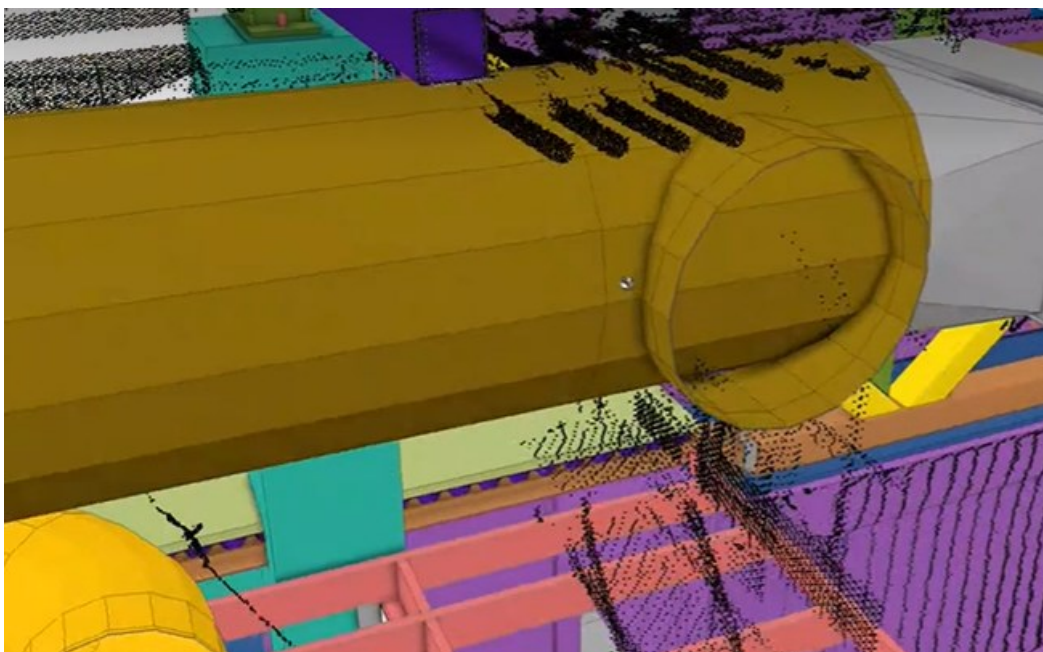
KUVA 1. DWG-muodossa tallennettujen viemäriinjojen vertaamista tietomalliin.

Tavoitteena on, että esimerkiksi talotekniikan kanavia, putkien todellisia sijainteja saataisiin tulevaisuudessa paremmin dokumentoitua esimerkiksi pistepilvien avulla. Laserkeilaus on nopeampi keino suurten tietomäärien keräämisessä ja jos tarkasteluun saataisi tuotua automatiikkaa säästäisi tämä aikaa käytettäväksi muuhun tarkemittaukseen.

Työaika haastatelluilla mittakirvesmiehillä kuluu eniten paikalleen mittaukseen ja siihen liittyviin toimintoihin. Kohteet, joissa toimitaan ovat usein isoja ja haastavia, joten tarkemittaukselle ei löydy paljoa aikaa, sillä pääpaino on töiden käyntiin saamisessa mahdollisimman nopeasti. Takymetrillä mittaaminen on lisäksi melko hidasta, joten kaikkea ei ole mahdollista tarkistaa. Mahdolliset virheet tyyppillisesti selviävät vasta niiden esimerkiksi estäessä myöhemmän työvaiheen. Rutiininomainen tai tiettyihin tärkeiksi koettuihin työvaiheisiin sidottu laserkeilaus ja siitä saadun aineiston vertaaminen tietomalliin voisi tarjota paremmin mahdollisuuksia tarkemittaukseen ja tarkistuksiin. Laserkeilaus menetelmänä on takymetria nopeampi.

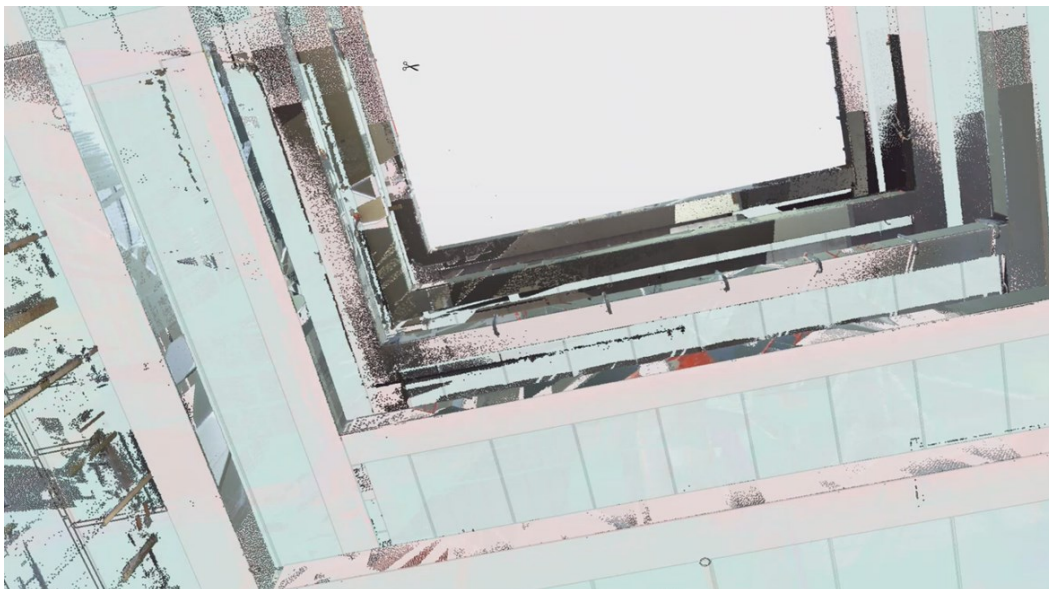
Mittakirvesmiesten mukaan tällä hetkellä mahdolliset laserkeilaukset tapahtuvat muun työn ohessa oman mielenkiinnon ja ajan riittävyyden mukaan. Iso osa työstä on kuitenkin muuta merkitsemistä. Mittamiehet kuitenkin näkevät laserkeilatuissa pistepilvissä selkeitä hyödyntämismahdollisuuksia.

Esimerkiksi kuvassa 2 laserkeilatun pistepilven ja tietomallin visuaalisessa tarkastelussa on havaittu asennettujen LV-putkien törmäävän tietomallin IV-kanavaan. Suhteellisen pienelläkin keilauksella voidaan siis nopeasti saada tietoa potentiaalisista ongelmista ajoissa ja siten vähentää virheiden ja poikkeamien haittavaikutuksia.



KUVA 2. Pistepilven ja tietomallin visuaalisella tarkastelulla nopeasti havaittavissa ristiriitoja suunnitellun ja rakennetun välillä.

Toisessa kohteessa laserkeilaamalla tarkistettiin lasiseinien asennettavuutta kohteeseen ja todettiin, etteivät ne mahdu suunnitellusti. Takymetrilla olisi ollut erittäin haastava mitata kuvassa 3 näkyvät kyseisten seinien asennuksiin liittyvien palkkien sijainnit. Laserkeilaus tarjosi tähän huomattavasti tehokkaamman ratkaisun.



KUVA 3. Laserkeilaamalla tuotettu pistepilvi lasiseinien asennuksiin liittyvistä palkeista tietomallin rinnalla.

Vaatimustenmukaisuuden todentamisen osittainen automatisointi nähdään tervetulleena ajatuksena. Se saattaisi helpottaa ongelmien jakamista vastuuhenkilöille ja ongelmien oikea-aikaisessa havainnoinnissa.

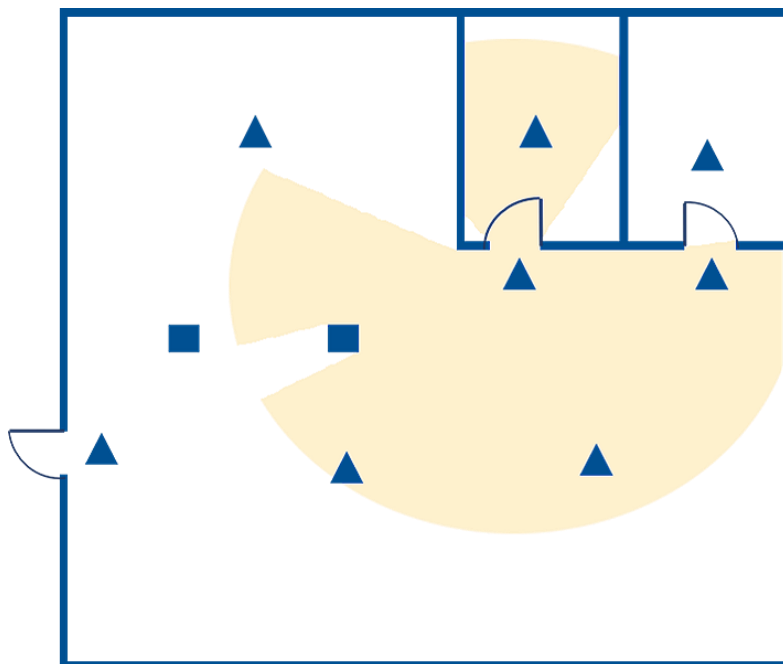
Toimihenkilöiden ja ylempien toimihenkilöiden haastatteluissa kävi ilmi, että työjohtajien osalta tietomallien hyödyntämisen taso vaikuttaa olevan hyvin vaihtelevaa. Työjohtajat käyttävät tietomalleja pitkälti oman osaamisen ja kiinnostuksen mukaan pääasiassa esimerkiksi määrien laskennassa, törmäilytarkasteluissa tai visualisoinnissa.

## 2.5 Pistepilvissä, tietomalleissa ja niiden vertaamisessa huomioitavaa

Tietomallintavassa suunnittelussa on lähtökohtana, että suunnitellaan suoraan malliin ja kun piirustuksia tuotetaan, ne tulostetaan tietomallin tasonäkymien pohjalta. Haastatteluissa kuitenkin ilmeni, että joissain kohteissa malli on esimerkiksi ollut käytössä aktiivisemmin projektin alkuvaiheessa, ja loppuvaiheessa mallia ei ole enää päivitetty, vaan muutokset on tehty vain 2D-suunnitelmiin. Tietomallien hyödyntämistä tuotannossa ja työmaalla ja erityisesti pistepilven ja tietomallin vertaamista varten tietomallin tulisi olla ajan tasalla jatkuvasti. NCC:llä on omat mallinnusohjeet, jotka perustuvat Yleisiin tietomallivaatimuksiin

(YTV 2012). Ohjeissa määritellään tietty perustaso ja kohdekohtaisesti sovitaan, mitä hankkeessa halutaan mallinnettavaksi. Mallin käyttötarkoitus määrittää aina suunnittelijoiden malleilta vaadittavat tietosisällöt sekä tarkkuustasot (Järvä & Lehtoviita 2016). Sovittu tietomallinnuksen taso määrittää, miten tietomalleja on mahdollista hankkeessa hyödyntää. Esimerkiksi lattioiden kaatoja ei perusoletuksena mallinneta ja siten niitä ei olisi mahdollista tietomallia ja pistepilveä vertaamalla tarkastella. Liian tarkka mallintaminen kuitenkin vie turhaan resursseja sekä kasvattaa tiedostokokoa. Tämän vuoksi tarkasteltavat kohteet on tunnistettava etukäteen, jotta jo mallintamisessa voidaan huomioida tarpeet riittävällä tasolla.

Laserkeilaus menetelmänä mahdollistaa hyvin tarkan aineiston keräämisen, mutta siinä on huomioitava hyvin näkyvyyden esteet sekä valittava projektiin ja tehtävään sopiva laserkeilain. Tarkinta mahdollista pistepilveä haettaessa, voidaan käyttää maalaserkeilainta. (Keitaanniemi 2021.) Maalaserkeilaimet soveltuvat esimerkiksi suunnittelun lähtötietojen keräämiseen tai lattian tasaisuuden määrittämiseen pistepilven tarkkuuden ansiosta, mutta maalaserkeilaintenkin välillä on eroja esimerkiksi toimintaperiaatteessa, tarkkuudessa ja mittausetäisyyksissä. (Keitaanniemi 2021; Anttila 2022). Mobiililaserkeilaimilla taas pystytään keräämään pistepilvitietoa esimerkiksi kävellessä kohteessa ja tämän ansiosta ne sopivat esimerkiksi työmaadokumentointiin, jossa ei ole yhtä korkeat mittatarkkuusvaatimukset. (Keitaanniemi 2021.) Mobiililaserkeilainten käyttö on niiden tuottaman tarkkuustason ollessa riittävä tyypillisesti nopeampaa ja siten myös kustannustehokkaampaa. Avarista tiloista on helpompi kerätä pistepilviä, kun taas esimerkiksi yksittäiset pienet tilat vaativat oman keilausasemansa kuvion 1 mukaisesti.



KUVIO 1. Kolmiot kuvaavat laserkeilausasemia ja keltainen alue yksittäisen keilaimen keilausaluetta, kun huomioidaan näkyvyyden esteet (Keitaanniemi 2021).

Keilausta suunniteltaessa on hyvä kiinnittää huomiota myös pistetiheyteen. Liian tiivis pistetiheys kasvattaa tiedostokokoja ja hankaloittaa siten tiedostojen käsittelyä. Liian harva pistetiheys taas ei välttämättä ole mittatarkkuudeltaan riittävää.

Aineiston keräämiseen, prosessointiin ja tarkasteluun on varattava riittävästi resursseja, mutta riittävän pienillä tarkasteltavilla alueilla ja suunnitelmallisuudella hyödyt saadaan maksimoitua. Tarkasteltavat työvaiheet tai rakenteet on tärkeä tunnistaa jo etukäteen ja suunnitella aineiston keräys sen mukaisesti. Prosessointiaika taas saadaan pidettyä järkevänä juuri riittävän pienten tarkasteltavien alueiden avulla. Laitteiden ja ohjelmistojen käyttö vaatii osaamista ja mahdollisesti lisäkoulutuksia, mihin on varauduttava.

Uusi rakentamislaki tulee voimaan 1.1.2025. Uuden lain myötä tulee uusia vaatimuksia esimerkiksi lupaprosessiin. Lupaprosessi tulee muuttumaan tietomallipohjaisemmaksi ja tämän myötä vaaditaan myös toteumamallin toimittamista. (HE 139/2022.) Hyödyllisen ja mahdollisimman hyvin todellisuudessa rakennettua vastaavan toteumamallin laatimiseksi voi semi-automaattisen laserkeilattuja pistepilviä ja tietomallia hyödyntävästä analyysityökalusta olla hyötyä.

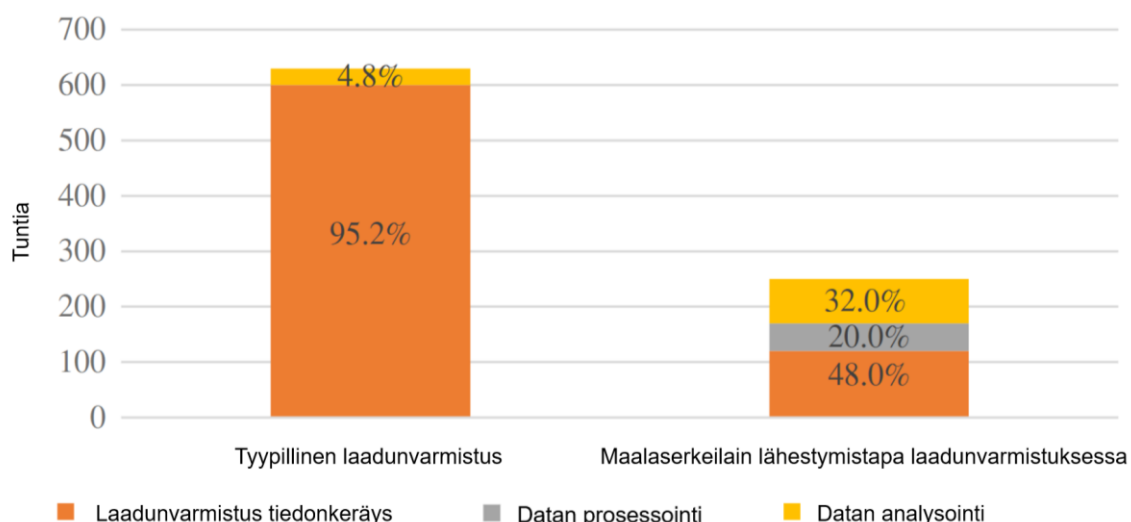
### 3 POTENTIALISET KÄYTTÖKOHTEET

#### 3.1 Menetelmän potentiaalisia hyötyjä verrattuna vakiintuneisiin laadunvarmistusmenetelmiin

Mitta- ja geometrisiin vaihteluihin liittyvät poikkeamat ovat kalleimpia ja toistuvimpia virheitä rakentamisessa (Talebi ym. 2021). Vakiintuneet laadunvarmistusmenetelmät mitta- ja geometrisen suunnitelmien mukaisuuden todentamisessa perustuvat enimmäkseen manuaaliseen tarkastukseen tyypillisillä työkaluilla, kuten esimerkiksi takymetrilla ja mitalla. Todelliseen tarkkuuteen näissä menetelmissä usein vaikuttaa käyttäjän taitotaso. (Guo ym. 2019).

Manuaaliset tarkastukset ovat usein myös aikaa vieviä ja saatujen tietojen järjestelmällinen tallennus ja hallinta on puutteellista (Kim ym. 2016).

Tang ym. (2022) tapaustutkimuksessa todetaan maalaserkeilainten käytön laadunvarmistuksessa rakennustyön valmistuttua olevan vakiintuneita laadunvarmistustapoja tehokkaampi keino tiedon keräämiseen sen nopeuden vuoksi. Kuviossa 2 on esitetty tutkimuksen tuloksia laadunvarmistukseen kuluvan ajan jakautumisesta prosessien kesken vakiintuneilla laadunvarmistustavoilla sekä maalaserkeilainta käyttäen. Suurin ero menetelmien välillä on tiedonkeräykseen kuluva ajassa. Maalaserkeilainta käyttäen datan prosessointi ja analysointi vei lähes puolet ajasta.



KUVIO 2. Laadunvarmistukseen kuluvan ajan jakautuminen prosessien kesken sekä vakiintuneella että maalaserkeilainpohjaisella lähestymistavalla (Tang ym. 2022, muokattu).

Myös Guo ym. (2019) tapaustutkimuksessa pilareiden laadun arvioinnista 3D maalaserkeilaukseen perustuen todettiin maalaserkeilauksen olevan ajallisesti tehokkaampi ratkaisu vakiintuneisiin menetelmiin verrattuna. Datan analysoinnissa puoliautomaattinen tai automaattinen ratkaisu voi vähentää laadunvarmistukseen tarvittavaa työtä ja aikaa, tehostaa rakennustiedon strukturointia ja digitalisointia sekä parantaa projektin kokonaistehokkuutta (Guo ym. 2022) Mitä aiemmassa vaiheessa rakennusprojektia mahdolliset virheet havaitaan ja korjataan, sitä helpompaa ja edullisempää virheiden korjaaminen ja mahdollisesti jopa tulevien virheiden ennaltaehkäisy tyypillisesti on.

### 3.2 Laserkeilauksen hyödyntämistapoja haastatteluiden pohjalta

Laadunvarmistuksen ongelmakohtia selvitettiin haastattelemalla NCC:n henkilöstöä. Haastateltavat on esitetty taulukossa 1. Haastatteluiden kohteena oli työntekijöitä, toimihenkilöitä sekä ylempiä toimihenkilöitä.

TAULUKKO 1. Haastateltavat

nro	Työnkuva	pvm.	kesto	paikka
H1a	Vastaava työnjohtaja	23.3.2023	47 min	Teams
H1b	Työpäällikkö			
H2a	Mittakirvesmies	24.3.2023	46 min	Teams
H2b				
H2c				
H3	Suunnittelupäällikkö	29.3.2023	53 min	Teams
H4	Työnjohtaja	3.4.2023	28 min	Teams
H5	laatuinsinööri	14.4.2023	54 min	Teams
H6	työmaainsinööri	5.4.2023	36 min	Helsinki
H7	Vastaava työnjohtaja	15.5.2023	52 min	Teams
H8	Suunnittelupäällikkö	17.5.2023	31 min	Teams
H9	jälkimarkkinointipäällikkö	5.6.2023	18 min	Teams
H10	jälkimarkkinointivas- taava	5.6.2023	34 min	Teams

Haastateltavien näkemyksissä yhteisenä piirteenä oli se, että jokainen projekti on erilainen, ja moni tekijä vaikuttaa laadunvarmistuksen tasoon ja työmaalla esiintyviin virheisiin. Korjausrakentamisessa esimerkiksi rakennuksen rakennusvuosi on merkittävä tekijä (H1b). Tämän lisäksi projekteilla on myös omat erityispiirteensä ja mahdolliset erityiset vaatimukset laadun osalta. Esimerkiksi eräässä jäähallikohteessa valua ei ollut dokumentoidusti tarkastettu ja tilaaja oli reklamoinut siitä, että jäätä jouduttiin tekemään tavallista enemmän ja pidempään. Pinnat tarkistettiin tasolaseria käyttäen ja dokumentointi (kuva 4) oli luultavasti hyvin keskeisessä asemassa korjausvaatimuksissa aliurakoitsijalle. Tarkastelu tällä tavoin toteutettuna oli kuitenkin työläs ja hidas toteuttaa. (H5.) Vaihtoehtoisesti tässä olisi voitu hyödyntää laserkeilausta, mikä olisi ollut todennäköisesti tässä tapauksessa tehokkain ja kattavampi ratkaisu tarkistukseen ja dokumentointiin.

KUVA 4. Jäähallin tasoerojen dokumentointi. (salassa pidettävä kuva)

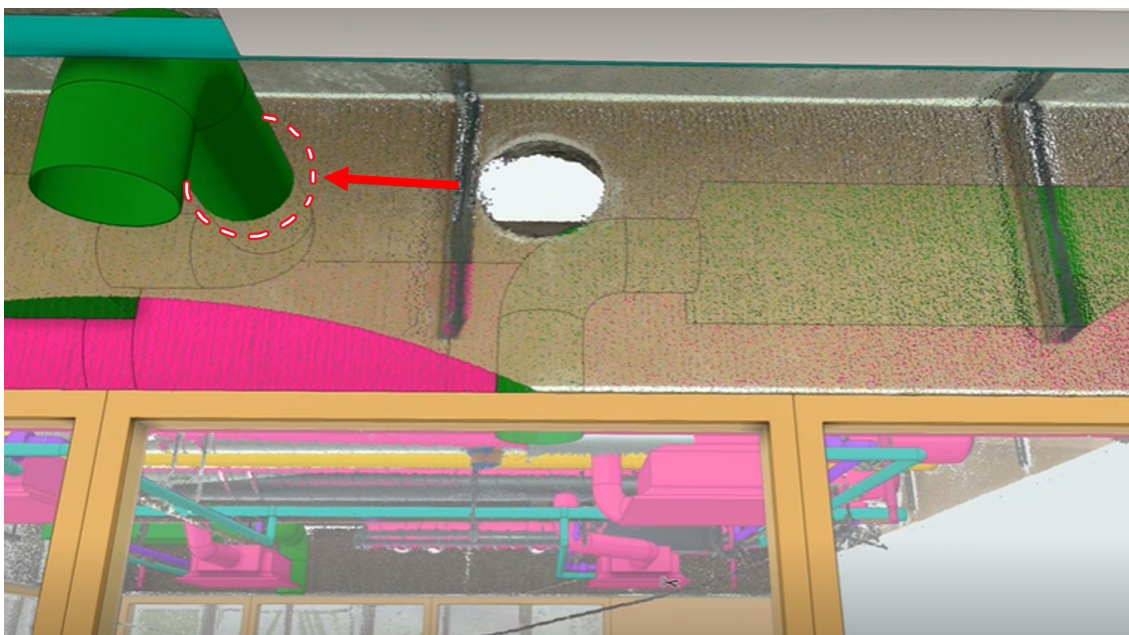
Korjausrakentamisen osalta yleisenä ongelmana korostui olemassaolevien rakenteiden ja uusien rakenteiden liittymissä esiintyvät haasteet (H1a, H1b, H2c, H3, H7). Kun vanhan rakenteen viereen tuodaan uusi mittatarkka rakenne, ei se välttämättä sovi yhteen vanhan kanssa suunnitellusti (H1a, H6). Pienetkin poikkeamat todellisuuden, mallin ja suunnitelmien välillä johtavat yllättäen suhteellisen isoon työmäärään. Erityisesti tekniikka ei usein mahdu kulkemaan suunnitellusti (H2c, H6, H8). Tilat ovat ahtaita ja kaikkia rakenteiden muotoja ei ole

suunnittelussa huomioitu (H8). Kun kaikki vaaditut rakenteet eivät ole suunnitelmien mukaisia, täytyy alkaa tekemään muutoksia ja esimerkiksi yhden putken lisäämisestä voi tulla jopa kolminkertainen hinta alun perin suunniteltuun verrattuna. Erityisesti suojelluissa kohteissa alakattokoron muuttaminen ei ole mahdollista. Laserkeilauksen avulla voitaisiin mahdollisesti varmistaa tekniikan mahtuminen alakattojen ja kuilujen osalta. (H6.) Yhtenä käyttötapauksena hyötyä voisi olla alun inventointimallin tarkistus esimerkiksi purkuvaiheen jälkeen. Näin pystyttäisiin varmistamaan luotettavammin esimerkiksi piilossa olleiden rakenteiden geometriasta (H3).

Suurimmat rakennus- ja taloteknisten töiden kustannuspoikkeamat keskittyvät erityisesti runko- ja vesikattorakenteisiin erityisesti korjausrakentamisessa. Runkorakenteissa esiintyvät poikkeamilla on merkittävä vaikutus myöhempisiin työvaiheisiin ja siten suuri vaikutus projektiin ajallisesti, taloudellisesti sekä laadullisesti. Runkorakenteet voitaisiin tarkistaa laserkeilaamalla ja varmistaa esimerkiksi uusien puupilareiden suunnitelmienmukaisuus. Runkorakenteiden tarkistuksen jälkeen keilauksen hyöty kuitenkin alkaa vähentyä. (H3, H6.) Korjausrakentamisessa pintojen paikkaustarvetta pystyttäisiin myös luultavasti kartoittamaan laserkeilauksen avulla (H6).

Virheiden ja puutteiden havainnointiajankohdissa on suuria eroja. Esimerkiksi työnjohdon kokemuksen määrä vaikuttaa merkittävästi siihen, kuinka ajoissa poikkeamat yleensä huomataan. Valitettavan usein poikkeamat huomataan vasta esimerkiksi seuraavassa asennusvaiheessa ja tämä johtaa kiireessä ongelmiin reagointiin. (H1a, H1b, H2a, H2b, H7.)

Tyypillisiä havaittuja poikkeamia ovat esimerkiksi seinälinjan tai kaivon väärä sijainti. Näitä harvemmin erikseen tarkistetaan. Parhaassa tapauksessa esimerkiksi väliseiniä tehdessä voitaisiin tarkistaa sijainti ennen tekniikan asennusten aloittamista ja taas asennuksien jälkeen tekniikan osalta. Vakiintuneita menetelmiä käyttäen tällaiseen harvoin on aikaa. (H2b). Otsalinjat ovat osa-alue, jolla moni tekee töitä, joten esimerkiksi läpivientien reikien väärät sijainnit (kuva 5) ja sen kaltaisiin virheisiin ja poikkeamiin puuttuminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa olisi hyödyllistä (H2a, H2b.)



KUVA 5. Otsan lävistyksen väärä sijainti havaittuna todellisuutta kuvaavaa pistepilveä ja suunnittelijan tietomallia vertaamalla. Tietomalli ja pistepilvi esitetty yhdistettynä kuvassa.

Osa kokee myös asennuspoikkeamista viestinnän osin puutteelliseksi (H3, H7, H8). Viestintä tapahtuu tällä hetkellä lähestulkoon aina sähköpostitse. Haasteena on viestien selkeys sekä tiedon hallinta. Usein työmaalta tulevissa viesteissä ei esimerkiksi ole selkeitä kuvia ongelmista tai esimerkiksi sijainti voi jäädä epäselväksi (H3). Lopputuloksena tiedonkulku voi olla katkonaista ja osa tiedosta saattaa hukkua sähköposteihin. Eri osapuolille voisi olla selkeämpää, jos esimerkiksi mallia pystyttäisiin kommentoimaan jonkin työkalun avulla, jolloin olisivat tiedot helpommin hallittavissa.

Takuu- ja vastuukorjauspuolella suuria virheitä ja puutteita ei enää yleensä löydy kohteen geometriassa. Poikkeuksena kuitenkin ovat puutteelliset kaadot kaatolattioissa (H9, H10). Pääosin toistuvat ongelmat keskittyvät kuitenkin sellaisiin asioihin, joihin ei pystytä laserkeilauksen avulla vaikuttamaan. Tyypillisempiä ongelmia ovat esimerkiksi puutteelliset palokatkot, julkisivurappaukset, vesivuodot, liikuntasauvojen paikkaukset ja sisäseinien halkeamat. (H10). Vesivuodot kuitenkin johtavat toisinaan rakenteiden avauksiin ja näissä haasteena saattaa olla se, ettei tekniikka kulje suunnitelmien mukaisesti ja putkien etsiminen saattaa aiheuttaa lisäkustannuksia. Keilausaineisto saattaisi olla avuksi tämänkaltaisessa tilanteessa. (H9). Toisinaan rakennetun ja loppukuvien välillä saattaa olla enemmänkin ristiriitoja (H10). Esimerkiksi hormit ja talotekniikan kulkureitit saattavat

muuttua rakennusaikana eikä niitä muisteta laittaa punakynäkuviin (H9). Tietomallin ja laserkeilatun pistepilven vertaaminen saattaisi parantaa muutosten viemistä loppukuviin asti.

## 4 KÄYTTÖKOKEMUKSET JA TESTAUKSET

Tässä osiossa käsitellään Imerson eli tekoälypohjaisen rakentamisen geometrisen vaatimustenmukaisuuden tarkistusohjelmiston käyttökokemuksia haastattelun pohjalta sekä testauksista tehtyjä havaintoja kolmesta eri case-kohteesta.

### 4.1 Case-kohte A

Case-kohte A on peruskorjattava rakennus, jonka sisääntuloon rakennetaan uusi aulatila. Aula (kuva 6) laserkeilattiin ontelolaattojen asennuksen jälkeen ja laserkeilaukseen käytettiin Leica BLK360 G1 laserkeilainta. Laserkeilaimen tarkkuus 10 m etäisyydellä on 6 mm ja sitä voidaan käyttää +5 °C:n ja +40 °C:n välisissä lämpötiloissa. (Punkkinen & Joala 2023).



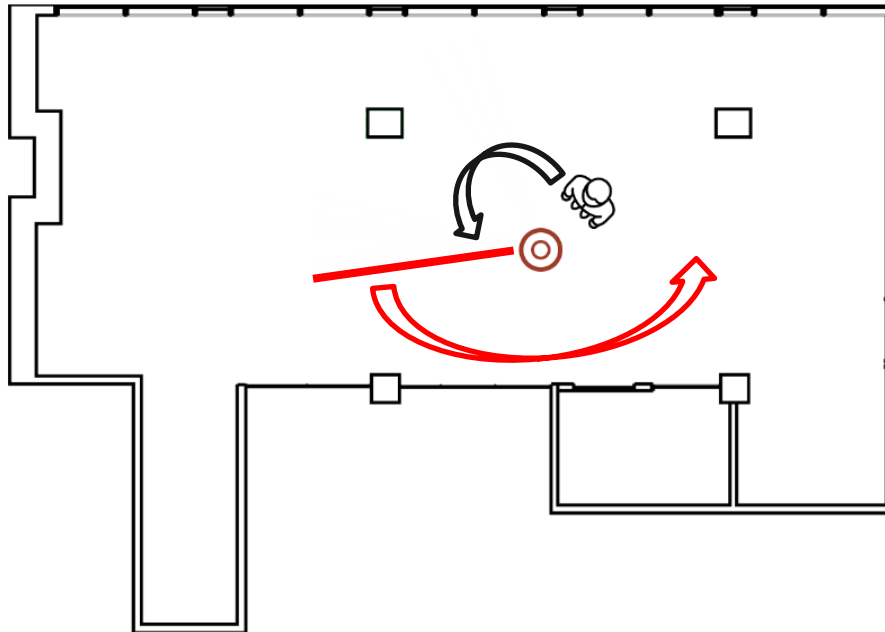
KUVA 6. Case-kohteen A aula (Sofia Qawariq 2023).

Ensimmäisenä ohjelmistoon ladattiin projektin tietomallit, jotka toimivat referenssinä jo rakennetun tarkastelussa. Testauksessa Leican BLK360-skanneria käytettiin yhdessä Imerso Capture -sovelluksen kanssa. Sovelluksella ohjattiin BLK360-skanneria (kuva 7) jolla skannaukset saadaan vietyä ohjelmistoon ilman muita ohjelmia tai laitteita.



KUVA 7. Leica BLK 360 G1 -laserkeilain ja sen ohjaus iPadilla Imerso Capture sovelluksen avulla (Riku Laiho 2023).

Skannausten aloittamiseksi pohjakuvista osoitettiin suuntaa antava laserkeilaimen sijainti ja ohjattiin skannaus alkamaan sovelluksella. Täyskeilaukseen eli panoraamakuvien sekä laserkeilausdatan keräämiseen yhdestä asemapistestä kului noin 3 minuuttia, jonka aikana lasersädettä ja kameraa voitiin välttää kuvion 3 osoittamalla tavalla eli kävelemällä laitteen ympäri pysyen poissa lasersäteen ja kameroiden tieltä laserkeilaimen pyöriessä tai vaihtoehtoisesti pysyttelemällä lähistöllä peittämättä skannattavia alueita.



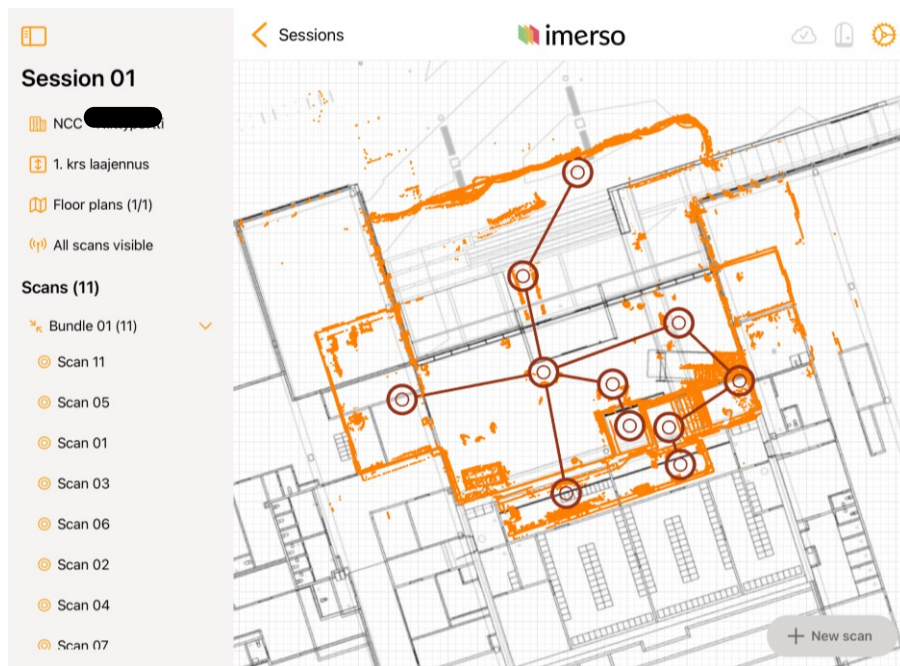
KUVIO 3. Lasersäteen ja kameroiden välttäminen laserkeilainta kiertäen (Imerso n.d., muokattu).

Skannauksen päätyttyä skannaus kohdistettiin arkkitehtimallin pohjalta automaattisesti luotuihin pohjakuviin. Kuvassa 8 näkyviä säätimiä käyttäen skannaus asetettiin siten, että se ja pohjakuva vastasivat mahdollisimman hyvin toisiaan. Kohdistuksen ei täytynyt olla täydellinen, sillä myöhemmin Imerson ohjelmistossa kohdistusalgorithmi huolehti skannausten tarkemmasta kohdistamisesta BIM-malliin. Tässä vaiheessa tehtävä kohdistus vaikutti kuitenkin algoritmilla tehtävän kohdistuksen keston.



KUVA 8. Pistepilven kohdistaminen Imerso Capture sovelluksella (Riku Laiho 2023).

Skannauksia jatkettiin samaan tapaan pyrkien kattamaan haluttu alue mahdollisimman hyvin siten, että keilausasemat olivat maksimissaan 10 metrin päässä toisistaan. Tärkeää oli huomioida myös skannausten välinen näkyvyys. Casekohteen A aulassa on portaat toiseen kerrokseen sekä hissikuilu, mikä vaikutti skannausten sijoitteluun. Jotta esimerkiksi hissikuilusta saatiin oma skannaus, täytyi hissikuilun eteen sijoittaa yksi ylimääräinen keilausasema skannausten välisen näkyvyyden saavuttamiseksi myös hissikuilun sisälle. Kuvassa 9 on esitettyä aulan keilausasemat ja niiden väliset näkyvyydet merkittynä punaisin viivoin.

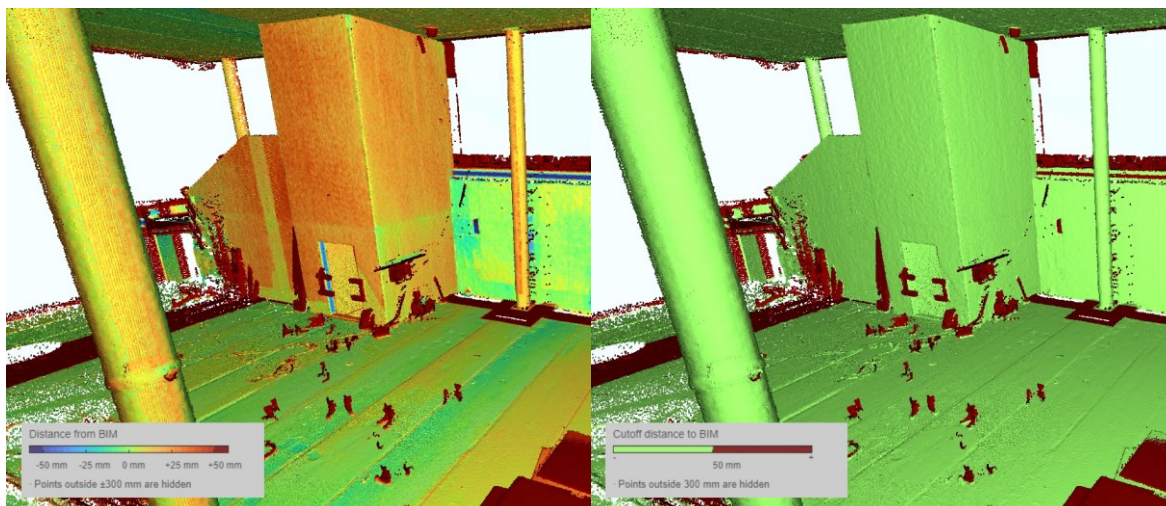


KUVA 9. Case-kohteen A keilausasetat ja niiden väliset näkyyvydet.

Noin 500 m<sup>2</sup> laajuisen aulatilan laserkeilaukseen kului aikaa noin 1,5 h. Testauksen aikana laserkeilaimessa kuitenkin ilmeni vika, mikä pidensi keilausaikaa. Ilman vikaa keilaukseen olisi arviolta kulunut aikaa noin tunti. Tämän jälkeen siirryttiin aineiston prosessointiin, käsittelyyn ja analysointiin. Prosessointi vaati käyttäjältä lähinnä vain sopivien tietomallien ja tarkastelutapojen valinnan. Analysointiin kulunutta aikaa oli haastava luotettavasti arvioida, sillä osa ajasta kului ohjelmiston käytön opetteluun ja eri ominaisuuksien testaukseen. Suurin osa havaituista poikkeamista pystyttiin kuitenkin löytämään automaattitarkastelun avulla ja ei ajankohtaiset ohjelmiston esiin nostamat havainnot esimerkiksi puuttuvista rakenteista oli helppo ohittaa. Voidaan siis arvioida, että tottunut ohjelmiston käyttäjä pystyisi hoitamaan käyttäjää vaativan osan prosessoinnista sekä poimimaan oleelliset havainnot alle tunnissa.

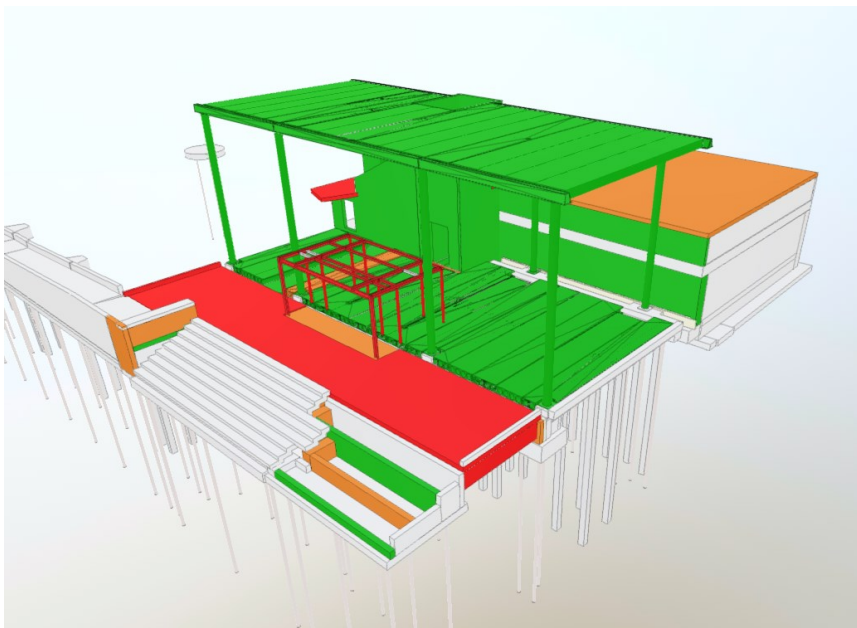
Ohjelmistosta löytyy kolme ominaisuutta aineiston tarkasteluun:

- pistepilven värjääminen määritetyn toleranssin perusteella (kuva 10)
- automaattinen poikkeamien tunnistus
- pistepilven ja tietomallin törmäystarkastelu.



KUVA 10. Pistepilvi värjätty sekä liukuvärein (vas.) että kynnyksarvoa käyttäen (oik.)

Automaattinen poikkeamien tunnistus luo luettelon tietomallielementeistä, jotka on automaattisesti lajiteltu kategorioihin. Kategorioille on omat värinsä. Punainen väri kuvaa kyseisen BIM- elementin puuttumista pistepilvestä, oranssi väri kuvaa BIM-elementin väärää sijaintia ja vihreä väri ilmaisee tietomallin ja pistepilven vastaavan toisiaan määritetyn toleranssin rajoissa. Kuvassa 11 esitetty case-kohteen A rakennemalli, jonka elementit on jaettu yllä kuvattuihin kategorioihin.

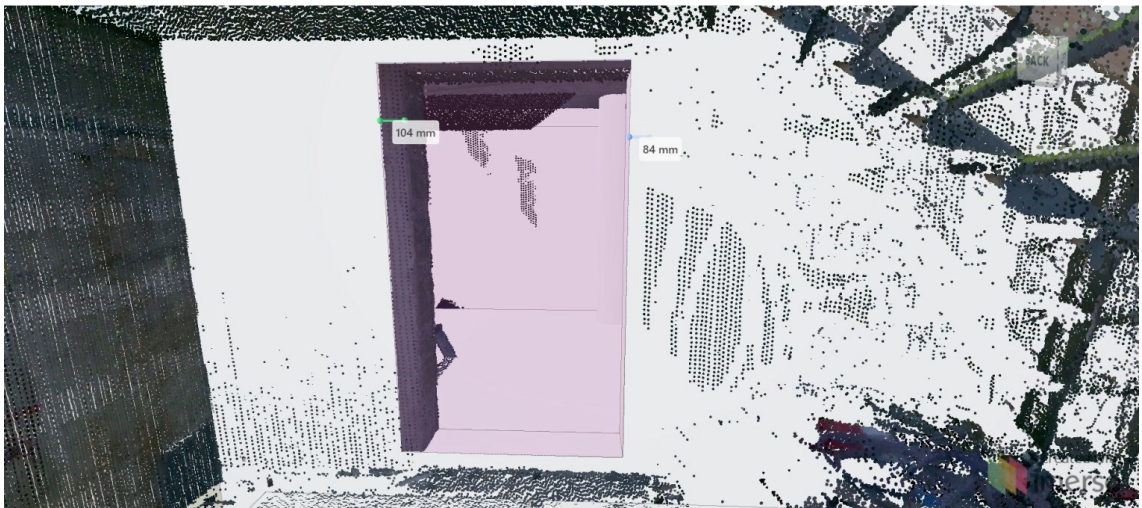


KUVA 11. Rakennemallin BIM-elementit merkittynä värikoodein automaattisen poikkeamien tunnistuksen avulla.

Case-kohteen A aineistossa ei ollut sellaisia elementtejä, joita törmäilytarkastelu analyysityökalulla olisi ollut järkevää tarkistaa.

Case-kohteen A kohdistusta testattiin sekä rakenne- että arkkitehtimallin mukaan, mutta tällä ei ollut vaikutusta aineistosta löytyviin havaintoihin. Liitteessä 1 koottuna case-kohteesta A tehdyt poikkeamahavainnot. Automaattisella poikkeamien tunnistuksella havaittiin kaikki liitteen havainnot lukuun ottamatta havaintoja 1 ja 4.

Automaattinen poikkeamien tunnistus havaitsi hyvin BIM-elementtien sijaintipoikkeamat esimerkiksi laattojen korkojen sekä aukkojen sijaintien osalta (kuva 12 ja kuva 13).

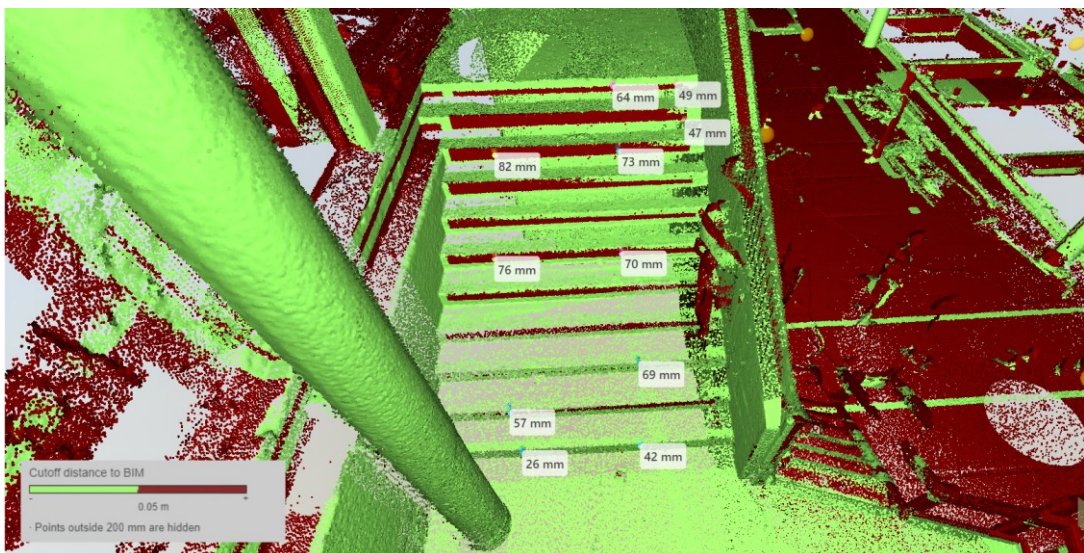


KUVA 12. Oviaukon sijaintipoikkeama havaittuna automaattisen poikkeamien tunnistuksen avulla.



KUVA 13. Laatan korkopoikkeama havaittu automaattisella poikkeamien tunnistuksella.

Kuvan 14 portaan etenemissä olevien poikkeamien havainnointi tapahtui piste-pilven värjäyksen avulla. Nopealla silmäyksellä pystyttiin havaitsemaan mahdollinen poikkeama punaisella värillä ja tämä voitiin varmistaa ohjelmiston mittaus työkaluilla. Automaattinen poikkeamatunnistus ei tunnista kyseistä poikkeamaa, sillä BIM-elementti eli porraskokonaisuus on pääosin paikallaan.



KUVA 14. Case-kohteen A portaan etenemissä poikkeamia

Case-kohteessa A mahdolliseksi säästöiksi arvioitiin noin XXXX € (liite 3). Jos oletetaan, että projektista löytyisi samassa suhteessa poikkeamia koko

rakennuksesta ja niiden havaitsemisella ajoissa saataisiin säästettyä saman verran, voisi säästö koko projektille tällöin olla jopa XXXX € (liite 3). Tässä on kuitenkin huomioitava, että case-kohteen A aula on kyseisessä projektissa haastavampaa aluetta.

## 4.2 Case-kohte B

Case-kohte B on laaja uudiskohde, jossa Imerso on ollut käytössä yli vuoden ajan. Käyttökokemuksista haastateltiin NCC:llä kohteessa laserkeilauksia ja aineiston analysointia suorittanutta henkilöä. Haastattelu tehtiin 7.3.2023 ja 8.5.2023 Teams-palaverissa sekä sähköpostiviestein.

Case-kohteessa B Imerso -alusta on projektin tilaajan hallinnassa, mutta laserkeilauksia ja ohjelmistoa on käytetty yhteistyössä NCC:n kanssa laadunvarmistuksessa. Molemmilla osapuolilla on käytössään Leica BLK360 G1 laserkeilain ja laserkeilaus on toteutettu samalla periaatteella kuin case-kohteen A laserkeilaus.

Kohteessa on pyritty tekemään rutiininomaista laadunvarmistusta edeten rakennuksessa järjestelmällisesti. Tämän lisäksi projektin eri osapuolten on ollut mahdollista tilata laserkeilaus tietyille alueelle ja esimerkiksi erityisesti tiettyihin rakenteisiin keskittyen. Esteenä säännölliselle laserkeilaukselle on ollut toisinaan lumi sekä liian matala lämpötila, sillä Leica BLK360 G1 -laserkeilainta ei voida käyttää alle +5°C:n lämpötiloissa.

Keilausaineiston ja tietomallien vertailun tuloksena syntyvien poikkeamahavaintojen tekijät eivät yleensä ole itse ole mukana havaintojen jatkokäsittelyssä, vaan tilaaja käsittelee havainnot, joten suoraa tietoa siitä, mitä jatkotoimenpiteitä havainnoista seuraa tai niiden aiheuttamista kustannuksista ei ollut saatavilla. NCC:llä on kuitenkin koettu ohjelmiston käyttö hyödyllisenä monissa tapauksissa rakennetun ja tietomallien välisissä ongelmissa. Projektin aikana mittaushenkilöstöä ei ole hyödynnetty kovin usein erilliseen laadunvarmistukseen työvaiheen tai tehtävän valmistuttua, sillä Imerson avulla on skannattu kaikki aliurakoitsijoiden alueet. Mittaushenkilöstö on laserkeilauksen jälkeen käynyt tarkistamassa ovatko mahdolliset Imersolla tehdyt poikkeamahavainnot todellisia poikkeamia. Esimerkiksi teräselementeistä on saattanut löytyä tietomallin ja laserkeilatun

pistepilven vertailussa enemmän poikkeamia, minkä seurauksena mittaushenkilöstöä on pyydetty tarkistamaan kyseinen alue tarkemmilla laitteilla. Tähän mennessä on vaikuttanut siltä, että tyypilliseen laadunvarmistusprosessiin verrattuna Imerson avulla on pystytty säästämään laadunvarmistuskustannuksissa, laadunvarmistukseen kuluva ajassa sekä dokumentoimaan ja viemään tietoa poikkeamista eteenpäin tehokkaammin. Urakoitsijat eivät myöskään ole nähneet tämänkaltaista laserkeilausaineiston ja tietomallin vertaamiseen pohjautuvaa tarkastelua vain hankalana asiana omalta kannaltaan vaan myös urakoitsijan aloitteesta on voitu tarkastella rakenteita ja yhteistyö on sujunut hyvin.

Case-kohteessa B noin 11500 m<sup>2</sup> laajuisen alueen laserkeilaukseen on kulunut aikaa noin 22 tuntia. Tämän jälkeen aineiston tarkasteluun on kulunut noin 17 tuntia. Tarkastelun lopputuloksena on löydetty 50 havaintoa. Panoraamakuvat ovat olleet hyödyllisiä esimerkiksi epäselvien kohtien tulkitsemiseen tarkastelu-prosessin aikana. Tällaisia ovat voineet olla esimerkiksi heijastavat vesilätäköt.

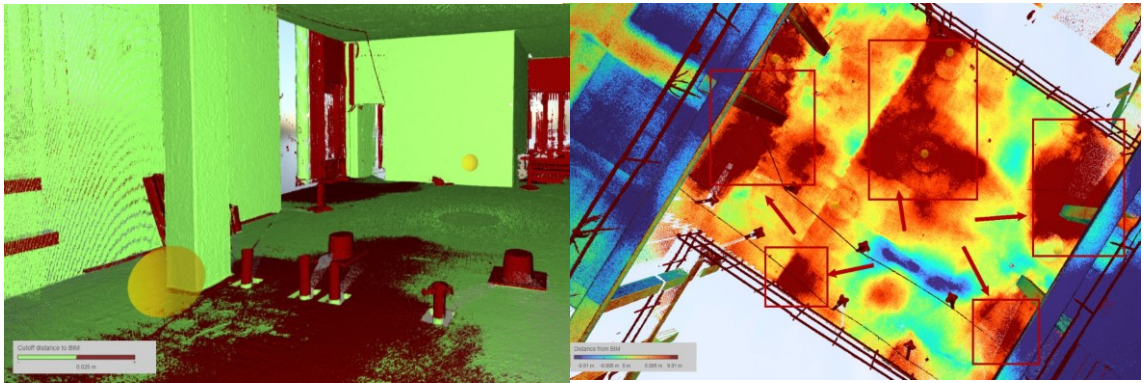
Jotta Imerso poimisi ongelman automaattitarkastelun avulla täytyy tietomallielementtiin ja rakenteen välillä olla riittävän iso poikkeama. Esimerkiksi teräspilari I-profiililla, joka on 90 astetta kiertynyt ei todennäköisesti löydy automaattitarkastelun avulla. Tällainen poikkeama on kuitenkin melko helppo havaita visuaalisella tarkastelulla pistepilven värjäävää ominaisuutta käyttäen.

Aineiston tarkastelua on tehty jakamalla se kahteen osaan: manuaaliseen visuaaliseen tarkasteluun sekä Imerson algoritmiin pohjautuvaan automaattitarkasteluun. Näillä yhdessä saadaan kattavasti poimittua poikkeamia keilausaineistosta. Hyvillä tietomalleilla automaattisella tarkastelulla pystytään poimimaan poikkeamia melko kattavasti.

Imerso on case-kohteessa toistaiseksi ollut käytössä vain laadunvarmistuksessa, mutta tavoitteena olisi saada myös edistymisen seuranta tulevaisuudessa mukaan tarkasteluun. Esimerkiksi erilliseen parametriin voitaisiin lisätä tieto rakenteen asennusajankohdasta. Tämä selkeyttäisi puuttuvien rakenteiden määrittämistä. Vastaan on tullut useita tilanteita, joissa on tehty havainto puuttuvasta rakennusosasta, kun todellisuudessa kyseinen rakennusosa oli suunnitelmien mukaan muutenkin tarkoitus asentaa vasta myöhemmin.

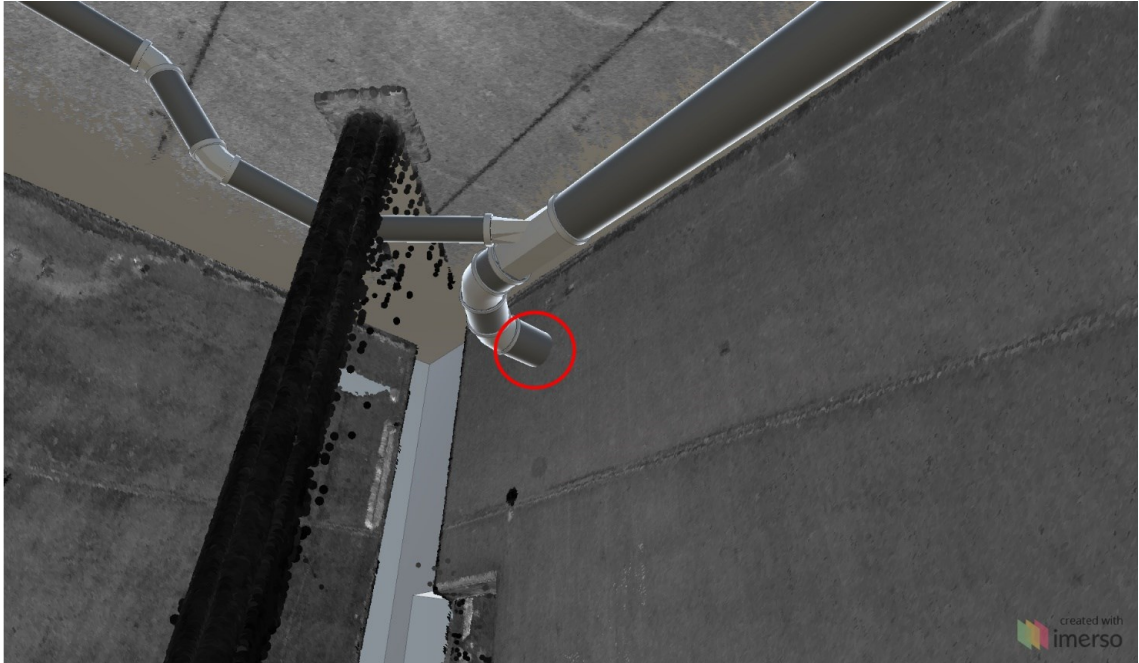
Teräsrakenteiden laserkeilaus on vaatinut korkeampaa tarkkuutta ja enemmän asemapistettä, sillä teräsrakenteet ovat tyypillisesti huomattavasti betonirakenteita kooltaan pienempiä. Leica BLK360 -laserkeilain sekä algoritmin avulla pistepilven kohdistus on koettu pääsääntöisesti riittävän tarkaksi laadunvarmistustarkoituksiin.

Case-kohteessa B Imerso on soveltunut hyvin esimerkiksi lattian tasaisuuden tarkasteluun pistepilven värjäävällä työkalulla (kuva 15).



KUVA 15. Lattian tasaisuuden puutteet havaittuna pistepilven värjäyksen avulla.

Myös esimerkiksi kuvan 16 kaltaisia tekniikan törmäilyjä seiniin on havaittu ajoissa Imerson avulla.

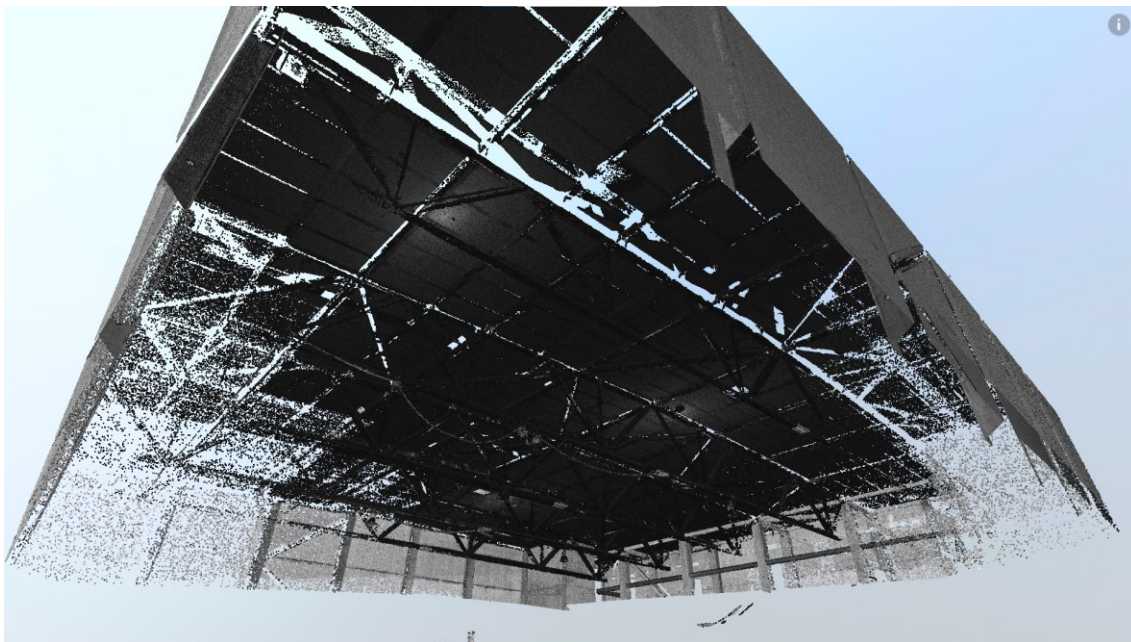


KUVA 16. Tekniikka törmää seinään eli reikä puuttuu.

### 4.3 Case-kohde C

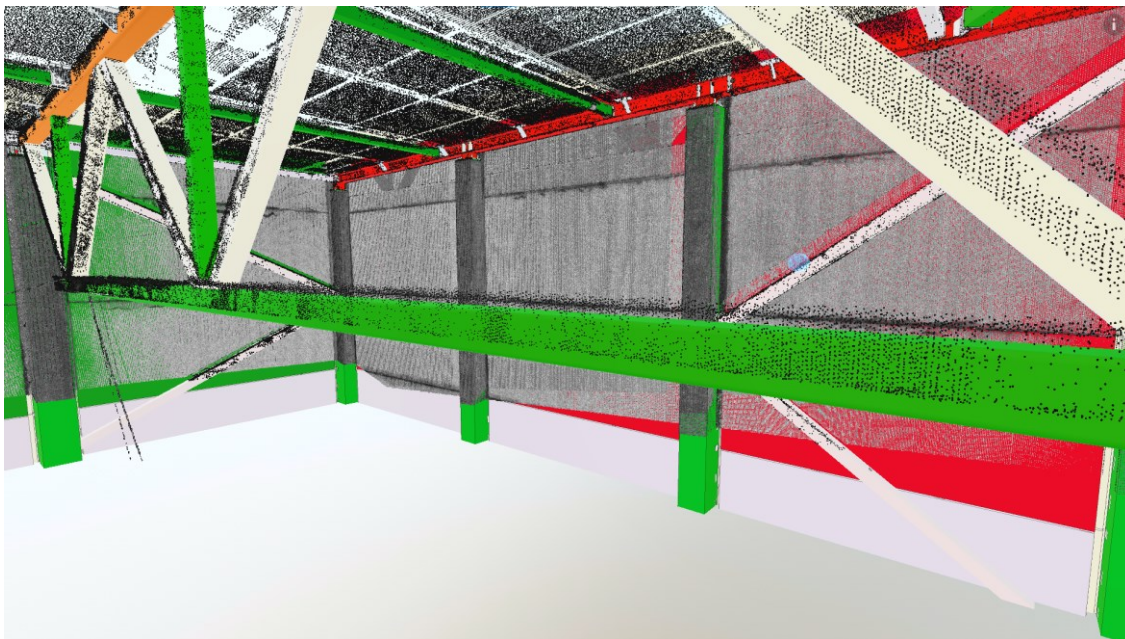
Case-kohde C on uudiskohde, josta oli ennestään saatavilla tiettyjen rakenteiden tarkasteluun kerättyä georeferoitua pistepilvidataa. Aineisto keskittyi kattoristikoihin, lattialämmitykseen ja pilareihin. Kohteen laserkeilaukset on toteutettu käyttäen Trimble SX12 -laserkeilainta. Case-kohteen C aineiston käsittely erosi case-kohteiden A ja B laserkeilausaineiston käsittelystä siten, että pistepilvidataa ei kohdistettu algoritmilla vaan se ladattiin sellaisenaan ohjelmistoon. Muilta osin aineiston tarkastelu tapahtuu samalla tavalla tavoin kuin case-kohteissa A ja B. Aineistoa ei ollut kerätty semi-automaattiseen pistepilven ja tietomallin vertaamiseen analyysityökalua käyttäen tai tämän työn tutkimusaineistoksi, mikä vaikutti esimerkiksi aineistossa esiintyviin katvealueisiin sekä aineiston kattavuuteen. Liitteessä 2 on koottuna case-kohteesta C tehtyjä poikkeamahavaintoja.

Kuvassa 17 on esitetty case-kohteen C pistepilvidata kattoristikoista.



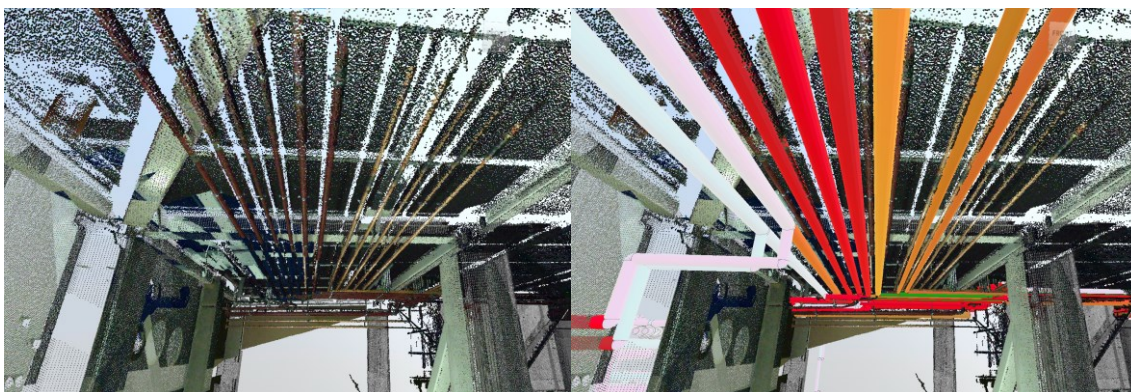
KUVA 17. Case-kohteesta C kerättyä pistepilvidataa kattoristikoista.

Automaattisella poikkeamien tunnistuksella ei pystytty huomioimaan ristikon vi-  
norakenteita lainkaan. Tämä johtui luultavasti osittain niissä esiintyvistä suurem-  
mista katvealueista. Myös vaakarakenteiden automaattisessa poikkeamien tun-  
nistuksessa oli samankaltaisia puutteita. Esimerkiksi ohjelmiston vihreällä, punai-  
sella ja oranssilla merkitsemissä elementeissä saattoi esiintyä lähes yhtä suuria  
poikkeamia. Kuvassa 18 on vaalealla värillä esitetty ne ristikon osat, joita ohjel-  
misto ei tunnistanut sekä vihreällä ja oranssilla ohjelmiston poikkeamatulkinnat.



KUVA 18. Case-kohteen C kattoristikkoaineiston vertaaminen tietomalliin automaattisella poikkeamien tunnistuksella.

Sama ilmiö oli havaittavissa LV-putkien eli lämpö-, vesi-, viemäri- ja jäähdytysputkien tarkastelussa automaattitunnistuksen avulla. Kuvassa 19 vasemmalla pistepilvi ilman tietomallia ja oikealla automaattitarkastelun värjäämän tietomallin kanssa.



KUVA 19. Case-kohde C laserkeilausaineisto LV-putkista vasemmalla ja oikealla sama aineisto esitettyä automaattitarkastelun värjäämän lämpö- vesi- ja viemäritietomallin kanssa.

Työmaalla LV-putkissa ei ollut eristeitä, kun taas tietomallissa oli. Teoriassa tämän eroavaisuuden vaikutuksia pystyttiin ainakin vähentämään toleranssia suurentamalla, mutta tässä tapauksessa putkien todellisissa sijainneissa oli melko

suuria poikkeamia tietomalliin verraten, joten luotettavaa vertailua automaattitarkastelulla ei suoraan pystynyt tekemään. LV-putket ovat suhteellisen pieniä laserkeilauskohteita ja tässä tapauksessa katvealueita oli jäänyt paikoitellen paljon. Tämän lisäksi tämänkaltaisissa asennuksissa tyypillisestikin on jonkin verran poikkeamia suunniteltuun sijaintiin nähden erityisesti korjausrakentamisessa.

Pistepilviaineistossa oli myös hieman muuta talotekniikkaa, jota pystyttiin vertaamaan tietomalliin. Lattialämmitykseen keskittyvästä aineistosta (kuva 20) voitiin tutkia esimerkiksi lattiakaivojen sijainteja.



KUVA 20. Case-kohteesta C kerätty lattialämmityksen tarkasteluun tarkoitettu pistepilviaineisto.

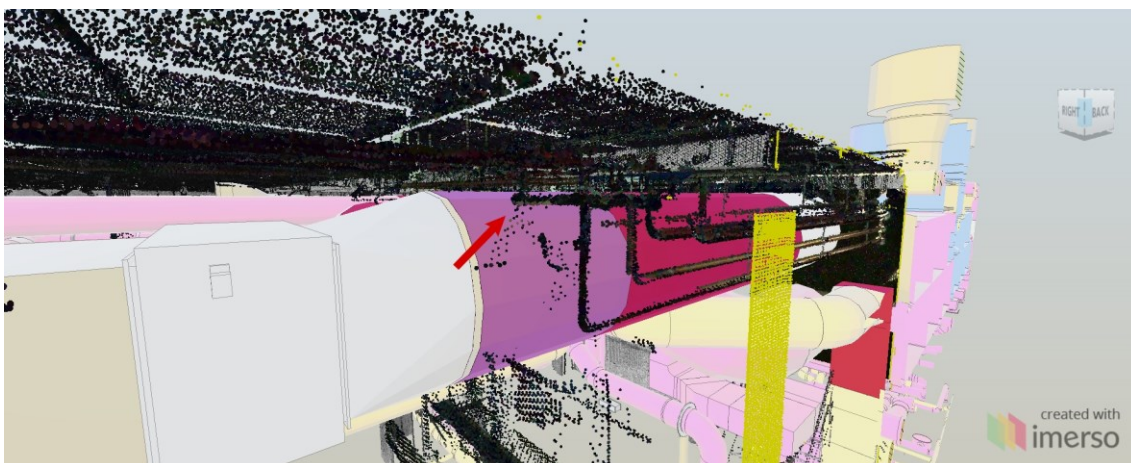
Automaattinen tarkastelu tunnisti lattiakaivot hyvin ja erityisesti suuremmat sijaintipoikkeamat löytyivät sen avulla helposti. Kuvassa 20 oikealla sijainniltaan poikkeavat lattiakaivot on merkitty punaisella. Kovin pieniä sijaintipoikkeamia ei kuitenkaan ollut mahdollista kyseisestä aineistosta havaita.

Törmälytarkastelua saatiin testattua pistepilviaineistossa näkyvien IV- eli ilmanvaihtokanavien osalta. Kuvassa 21 esitetty automaattitarkastelun havaitsema törmäys IV-kanavan ja seinän välillä.



KUVA 21. Case-kohteesta C havaittu törmäys IV-kanavan ja seinän välillä.

Samalla periaatteella löytyi myös LV-putkien ja IV-kanavan välinen törmäys (kuva 22).



KUVA 22. Pistepilven ja tietomallin välillä havaittu ristiriita LV-putkien sijainnissa suhteessa IV-kanavaan.

Kaiken kaikkiaan case-kohteiden A ja B materiaali oli helpompaa prosessoida ja analysoida verrattuna case-kohteen C materiaaliin, sillä case-kohteen C aineisto oli pieninä osakokonaisuuksina samoistakin tiloista ja jokaiseen niistä tuli ladata mallit erikseen. Datan prosessointiin ja analysointiin kuluva aika oli siis huomattavasti merkittävämpi. Case-kohteiden A ja B pistepilvi oli myös tiheämpi, mikä helpotti tarkastelua todennäköisesti sekä automaattitarkastelussa että myös visuaalisessa tarkastelussa pistepilven värjäyksen jälkeen.

#### 4.4 Case-kohteista yhteisesti

Case-kohteista A ja B saatiin kerättyä tietoa laserkeilaukseen ja aineiston tarkasteluun kuluva ajasta pinta-alaa kohden ja arvioitua näiden perusteella käytettyä aikaa keskimäärin. Kyseiset tiedot on koottu taulukkoon 2. Case-kohteesta C ei pystytty luotettavasti arvioimaan näitä tietoja.

TAULUKKO 2. Case-kohteiden A ja B laserkeilausten ja aineiston tarkastelun tiedot.

	Case-kohde A	Case-kohde B
laserkeilattu pinta-ala (m <sup>2</sup> )	500	11 500
asemapisteen lukumäärä (kpl)	11	198
laserkeilaukseen käytetty aika (h)	1	22
skannaukseen kuluva aika keskimäärin (h/1000m <sup>2</sup> )	2	1,9
aineiston tarkasteluun kuluva aika keskimäärin (h/1000m <sup>2</sup> )	1,8	1,5

Taulukossa 3 on vertailtu case-kohteissa A ja B käytettyä Leica BLK360 G1 laserkeilainta ja uudempaa mallia kyseisestä laitteesta eli BLK360 G2 -laserkeilainta. Suurin ero laitteiden välillä on keilaukseen kuluva ajassa.

TAULUKKO 3. Leica BLK360 G1 ja Leica BLK360 G2 eroavaisuuksia.

	BLK360 G1	BLK360 G2
kantama	60 m	45 m
3D tarkkuus	6 mm @ 10 m	4 mm @ 10 m
käyttölämpötila	+5°C – +40°C	0°C – +40°C
täyskeilaukseen kuluva aika (Imerso Capture -sovellusta käytettäessä)	noin 3 min	noin 40 s

## 5 TULOKSET

Projektien erityispiirteet ja tavoitetaso on huomioitava jo tietomallintamisen tason määrityksessä, jotta aineistoa on mahdollista hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti laserkeilattuja pistepilviä ja tietomalleja hyödyntävää analyysityökalua käyttäen laatuerojen etsinnässä.

Haastatteluiden perusteella potentiaalia analyysityökalulla tietomallin ja laserkeilatun pistepilviaineiston vertaamisessa nähdään mm. seuraavien työvaiheiden tai elementtien tarkistuksessa:

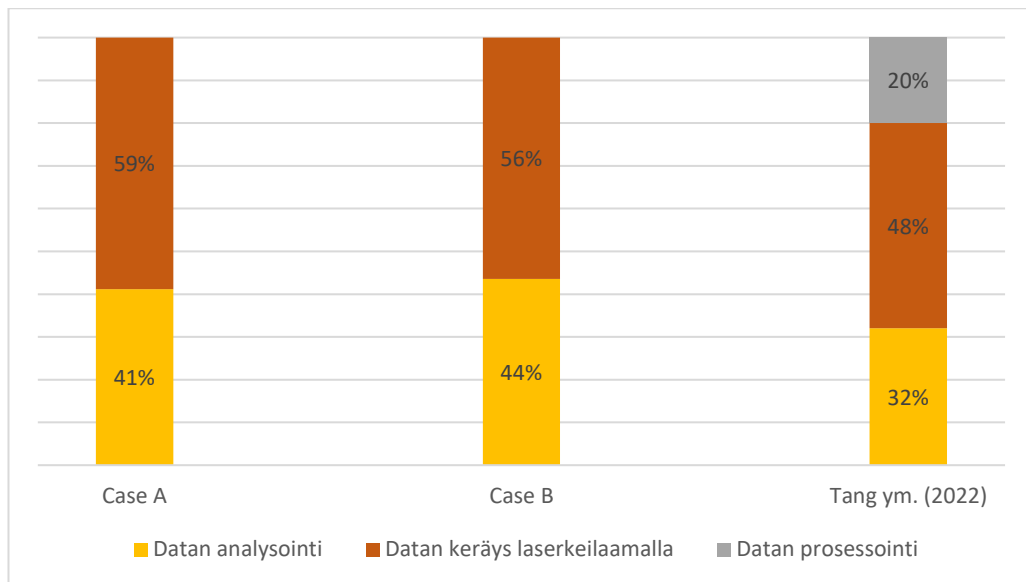
- inventointimalli ennen uuden rakentamista korjauskohteessa
- runko muutosten jälkeen korjausrakentamiskohteessa
- LVI runkolinjojen ollessa katossa
- teräselementtien tai muiden uusien rakenteiden liitoskohdat vanhoihin rakenteisiin
- aukkojen sijainti ja koko
- otsalinjat ja niissä esiintyvät reiät
- pilareiden ja seinäelementtien poikkeamat
- pintojen tasaisuus
- lattian korko
- toteumamallin laatimisen apuna.

Kaatolattioissa esiintyy erilaisissa hankkeissa takuu- ja korjauspuolella jonkin verran puutteita, mutta tutkimuksen perusteella semi-automaattisesta analyysityökalusta geometrian laadunvarmistuksessa ei ole tässä välttämättä apua, sillä ratkaisulla saadaan tarkistettua tietomallielementin sijainti tietyllä tarkkuudella ja muutaman millin paikallinen heitto ei näy välttämättä lopputuloksessa, vaikka lattia olisikin mallinnettu riittävällä tarkkuudella. Ohjelmisto saattaa tulkita elementin olevan paikallaan tietyiltä osin ja ettei mahdollinen poikkeama ole sen esiintymiseen riittävä. Pistepilven värjäyksellä puutteet voisivat kuitenkin olla havaittavissa, mikäli käytetty laserkeilain ja sen kohdistus on riittävän tarkka. Kaatolattioiden kohdalla haluttu tarkkuus olisi luultavasti noin 1 mm eli case-kohteissa käytetty laserkeilain ei olisi tähän esimerkiksi riittävä.

Haastatteluissa lattian tasaisuuden ei yleensä koettu olleen rakennusprojekteissa haasteena, mutta jäähallin tasoerojen dokumentointi oli esimerkki yksittäisistä kohteista, joissa on erityisiä laatuvaatimuksia ja tarkempi dokumentointi saattaa olla tarpeen. Case-kohteessa B Imersoa oli hyödynnetty juuri lattian tasaisuuden tarkasteluun. Poikkeamat lattian tasaisuudessa löytyivät pistepilven värjäyksen avulla.

Muissa yllä luetelluista käyttötapauksista ainakin osittainen analyysityökalun hyödyntäminen on case-kohteiden perusteella mahdollista. Case-kohteissa kuitenkin korostui se, että tietomallin ja laserkeilatun pistepilven vertailusta sai kattavimmin poimittua poikkeamia, kun käytettiin kaikkia Imerson työkaluja. Automaattitarkastelu löysi hyvin erityisesti karkeammat poikkeamat tilanteissa, joissa koko elementti oli hieman pois paikaltaan. Esimerkiksi seinässä olevan aukon sijainnin poiketessa suunnitellusta tai laatan koron ollessa pielessä.

Case-kohteiden A ja B prosesseihin kulunutta aikaa verrattaessa luvussa 3.1 esitettyyn Tang ym. (2022) tapaustutkimuksen laserkeilausta hyödyntävään tapaukseen voitiin havaita, että datan keräykseen kuluvan ajan osuus on suurempi eli automaattitarkastelun avulla on mahdollisesti case-kohteissa A ja B saatu vähennettyä suhteessa tarkasteluun kuluvaan aikaan. Ajankäytön jakautumiset prosessien kesken näissä kolmessa eri tapauksessa on esitetty kuviossa 3.



KUVIO 3. Laadunvarmistukseen kuluvan ajan jakautuminen prosessien kesken case-kohteissa A ja B sekä Tang ym. (2022) tapaustutkimuksen laserkeilausta hyödyntävässä tapauksessa.

Suuria määriä keilatessa nopeampi keilaus kattaa suuremman laitekustannuksen nopeasti. Liitteessä 3 esitetty kannattavuuslaskelma on laskettu BLK360 G2 hintaa ja keilaukseen kuluvaan aikaan käyttäen. Liitteen 3 laskelmassa on arvioitu, että keilain voisi olla 7 työmaan käytössä ja oletettu laskentaprojektin laajuudeksi 15 000 m<sup>2</sup>. Keilaimen käyttöikäksi on oletettu 3 vuotta. Näillä oletuksilla ja taulukon 2 arvoilla on laskettu kustannuksen työmaalle olevan vuodessa n. XXXX € siten, että kohde laserkeilataan kerran kauttaaltaan ja aineistolle suoritetaan tarkastelu.

Laskelmassa ei myöskään ole huomioitu mahdollisia perinteisiin laadunvarmistusmenetelmiin kuluvia resursseja, joissa pystyttäisiin säästämään, mikäli osa niistä menetelmistä korvattaisiin laserkeilatun pistepilven ja tietomallin vertaamiseen perustuvalla ratkaisulla. Kannattavuuslaskelmassa on myös laskettu kustannuksia tilanteelle, jossa kyseisiä poikkeamia ei olisi havaittu tässä vaiheessa vaan vasta myöhemmin, kun korjaukset olisi ollut haastavampi toteuttaa ja kustannukset olisivat siirtyneet pääurakoitsijalle.

## 6 POHDINTA

Työssä tutkittu semi-automaattinen analyysityökalu, joka hyödyntää laserkeilattuja pistepilviä ja tietomalleja soveltuu monenlaisiin kohteisiin. Korjauskohteissa omat haasteensa tuovat puutteelliset lähtötiedot esimerkiksi piiloon jääneistä rakenteista tai vanhojen suunnitelmien sisältämistä virheellisistä tai puutteellisista tiedoista. Analyysityökalua voitaisiin käyttää täydentämään puutteellisia lähtötietoja ja ehkäisemään niistä aiheutuvia ongelmia. Korjauskohteissa ominaispiirteenä on usein myös esimerkiksi ahdas tila alakaton yläpuoliselle talotekniikalle.

Kun korjauskohteessa aletaan rakentamaan uutta, alkavat potentiaaliset käyttötapausten olla pitkälti samoja kuin uudiskohteissa. Uudiskohteissa tietomallit vastaavat kuitenkin lähtökohtaisesti yleensä paremmin rakennettua, erityisesti tekniikan osalta, sillä sovituksia vanhoihin rakenteisiin ei jouduta tekemään. Tätä kautta myös tietomallin ja pistepilven vertaaminen on suoraviivaisempaa. Havaitut poikkeamat ovat todennäköisemmin aitoja poikkeamia.

Työssä käytännön testaus oli vähäistä ja sen vuoksi kustannusarvio ja potentiaaliset käyttötapauskohdeet ovat vain suuntaa antavia. Tässä työssä ei myöskään verrattu vakiintuneisiin laadunvarmistustapoihin kulunutta aikaa tutkimuksen kohteena olleen analyysityökalun käyttöön tai arvioitu ratkaisun käytön vaikutuksia esimerkiksi suunnittelijoiden työtaakkaan. Tämä olisi hyvä jatkotutkimusaihe.

Keskeisenä kustannussäästöjen lisäämisessä ja laatutason nostamisessa on riskien ja toistuvien poikkeamien tunnistaminen ja niihin puuttuminen. Suurin osa tutkimuksessa havaituista käyttötapaustapauksista ei täysin ehkäise geometrisen laatu-poikkeaman syntymistä, mutta ongelman tunnistaminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa pienentää haittavaikutusta muihin työvaiheisiin. Laserkeilattuja pistepilviä ja tietomalleja vertaavaa työkalua käyttämällä voisi olla helpompia toistuvat poikkeamat ja siten mahdollisesti puuttua ongelmakohtiin tulevaisuudessa jo ennen poikkeaman syntymistä.

## LÄHTEET

Anttila, S., Nieminen, T., Hatakka, J., Saarinen, H., Jääskeläinen, E., Tuomi, T., Lauttia, A. 2018. Tarkentuva todellisuus - Joustava tiedon lisääminen suunnittelutietomalliin. Pdf-dokumentti. Viitattu 13.8.2023. [http://www.kiradigi.fi/media/hankemateriaali/loppuraportit/arkkitehdit-nrt\\_loppuraportti-tarkentuva-todellisuus.pdf](http://www.kiradigi.fi/media/hankemateriaali/loppuraportit/arkkitehdit-nrt_loppuraportti-tarkentuva-todellisuus.pdf)

Anttila, Tuomas. 23.3.2022. Pistepilviaineistot suunnittelun lähtötietona. BuildingPoint. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2023. <https://buildingpointfinland.fi/pistepilviaineistot-suunnittelun-lahtotietona/>

Eastman, Charles, M., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. 2011. BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons

Faro. n.d. Understanding Laser Scanners. Verkkosivu. Viitattu 2.4.2023. <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/understanding-laser-scanners>

Guo, J., Yuanb, L., Wanga, Q. Time and cost analysis of geometric quality assessment of structural columns based on 3D terrestrial laser scanning. Automation in Construction Volume 110 24.11.2019. Viitattu 1.6.2023. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103014>

### Haastattelut

Hallituksen esitys eduskunnalle rakentamislainsäädännön muuttamisesta ja siihen liittyviksi laeiksi HE 139/2022. Viitattu 2.4.2023. <https://finlex.fi/fi/esitykset/he/2022/20220139>

Imerso. n.d. Advice and answers from the Imerso Team. Verkkosivu. Viitattu 20.5.2023. <https://help.imerso.com/en/>

Jäväjä, P., Lehtoviita, T. 2016. Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Pieksämäki: Pieksänprint.

Keitaanniemi, A. 28.12.2021. Huomioitavat asiat saneerauskohteen laserkeilausta suunniteltaessa. BuildingPoint. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2023. <https://buildingpointfinland.fi/huomioitavat-asiat-saneerauskohteen-laserkeilausta-suunniteltaessa/>

Keitaanniemi, A. 23.11.2021. Mikä on pistepilvi ja mihin sitä käytetään talonrakentamisessa. BuildingPoint. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2023. <https://buildingpointfinland.fi/mika-on-pistepilvi-ja-mihin-sita-kaytettaan-talonrakentamisessa/>

Kim, M., Wang, Q., Park, J., Cheng, J., Sohn, H., Chang, C. Automated dimensional quality assurance of full-scale precast concrete elements using laser scanning and BIM. Automation in Construction Volume 72, Part 2. 9.11.2016. Viitattu 1.6.2023. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.035>

Mitta Oy. n.d. Laserkeilaus. Verkkosivu. Viitattu 2.4.2023. <https://mitta.fi/palvelut/mittaus/laserkeilaus/>

NCC Suomi Oy. 2022. Pro3 toimintajärjestelmä. Viitattu 13.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://ncc.pro3.fi/projects/sitepages/toimintajärjestelmä.aspx?Liike-toiminta=1&ReturnUrl=%2FSitePages%2FBMS.aspx%23%2Fbms#/tj>

Punkkinen, E., Joala, V. 2023. Leica Geosystems sin uutuudet. Luento. Leica Geosystems Oy:n Pistepilvipäivä 19.04.2023. Vantaa.

Puumalainen, J. 2021. Tietomallipohjaisen suunnitteluprosessin kehittäminen – arkkitehtimalli. Rakentamisen tutkinto-ohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 4.9.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021052712042>

RT 103375 Pistepilviaineisto suunnittelun lähtötietona ja inventointimallintaminen. 2021. RT-kortisto. Rakennustieto Oy. Viitattu 15.03.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://kortistot.rakennustieto.fi/>

Sampaio, A. 2017. BIM as a Computer-Aided Design Methodology in Civil Engineering. Journal of Software Engineering and Applications, 10, 194-210. <https://doi.org/10.4236/jsea.2017.102012>

Talebi, S., Koskela, L., Tzortzopoulos, P., Kagioglou, M., Rausch, C., S.M.ASCE, Elghaish, F., Poshdar, M. 2021. Causes of Defects Associated with Tolerances in Construction: A Case Study. Journal of management in engineering Volume 37, Issue 4, 23.4.2021. Viitattu 1.6.2023. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000914](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000914)

Tang, X., Wang, M., Wang, Q., Guo, J., Zhang, J. 2022. Benefits of Terrestrial Laser Scanning for Construction QA/QC: A Time and Cost Analysis. Journal of management in engineering Volume 38, Issue 2, 10.1.2022. Viitattu 25.5.2023. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0001012](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0001012)

Tietoa Finland Oy. n.d. Inventointimallinnus. Verkkosivu. Viitattu 25.3.2023. <https://tietoa.fi/palvelut/luotettavat-lahtotiedot/inventointimallinnus/>

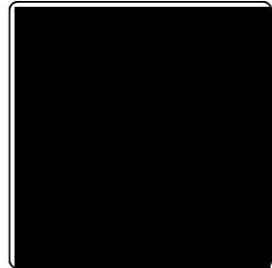
## LIITTEET

### Liite 1. Case-kohteen A poikkeamahavainnot

1(21)

#### #13 - Misplaced Slab

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 07.05.23 15.30
Building: NCC - [REDACTED]	
Floors: 1. krs vanha osa, 1. krs laajennus	Status: Open
Session: Session 2 (kohdistettu RAK-mallin mukaan)	Categories: Missing On-site
Scan: Scan 09	Disciplines: Structural



#### Description:

The Slab is misplaced by approximately 320 mm compared to the structural BIM model.

Found automatically by Imerso.

#### BIM Element:

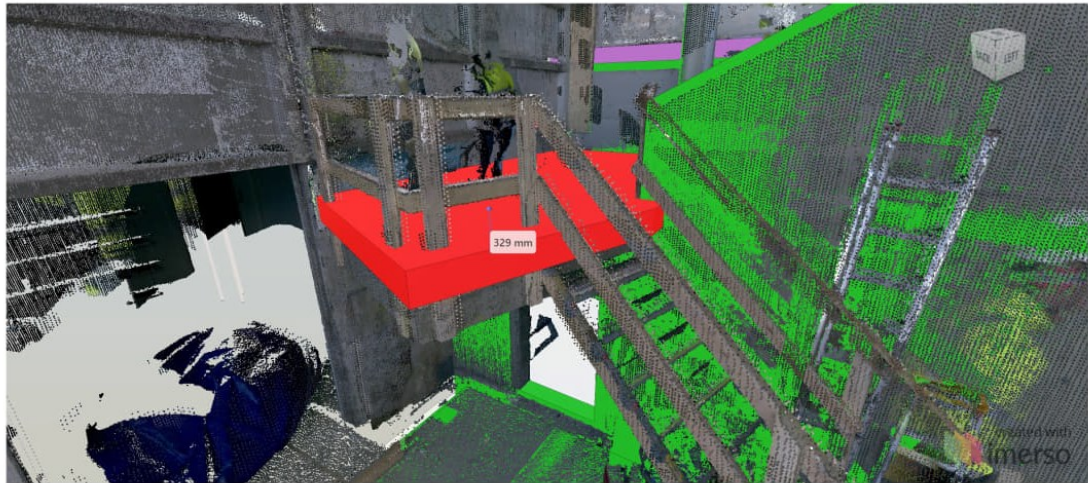
Name: Floor:Paikallavalulaa-  
ta.200:540099

Model: RAK [REDACTED].ifc

Revision: 2023-02-02T12:19:01

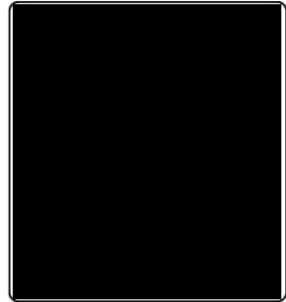
GUID: 2XWT\$CTS527fy5yJ\$eDILB





## #12 - Misplaced Opening Element

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 07.05.23 15.25
Building: NCC - [REDACTED]	
Floors: 1. krs vanha osa, 1. krs laajennus	Status: Open
Session: Session 2 (kohdistettu RAK-mallin mukaan)	Categories: Misplaced
Scan: Scan 09	Disciplines: Structural



### Description:

The Opening Element (elevator 1st floor) is misplaced by approximately 40 mm compared to the BIM model.

Found automatically by Imero.

### BIM Element:

Name: Basic  
Wall: PV.seinä\_150:722028

Model: RAK [REDACTED].ifc

Revision: 2023-02-02T12:19:01

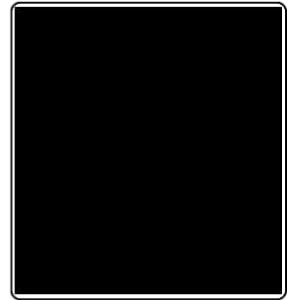
GUID: 2tnMY4xw983fHco1QBv2Ti





## #11 - Misplaced Opening Element

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 07.05.23 15.18
Building: NCC - [REDACTED]	
Floors: 1. krs vanha osa, 1. krs laajennus	Status: Open
Session: Session 2 (kohdistettu RAK-mallin mukaan)	Categories: Misplaced
Scan: Scan 09	Disciplines: Structural



### Description:

The Opening Element is misplaced by approximately 41 mm compared to the structural BIM model.

Found automatically by Imerse.

### BIM Element:

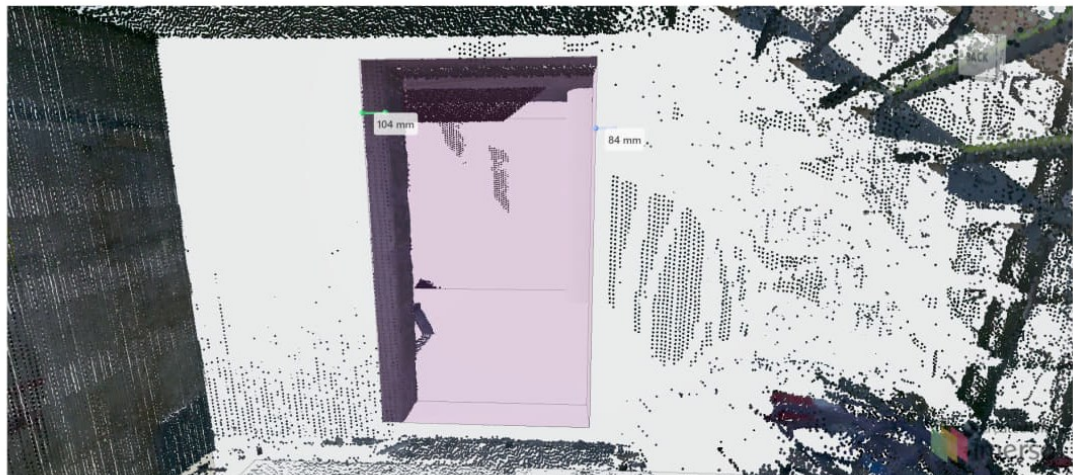
Name: Basic

Model: RAK [REDACTED].ifc

Revision: 2023-02-02T12:19:01

GUID: 2XWT\$CTS527fy5yJ\$eDITg

Wall: PV.seinä\_200:519405





## #10 - Hissi perustus

Project: NCC Finland - [REDACTED] Created by: Sofia Qawariq, 26.04.23 02.44  
Building: NCC - [REDACTED]  
Floors: -1. krs, 1. krs laajennus Status: Open  
Session: Session 2 (kohdistettu RAK-mallin mukaan)



### Description:

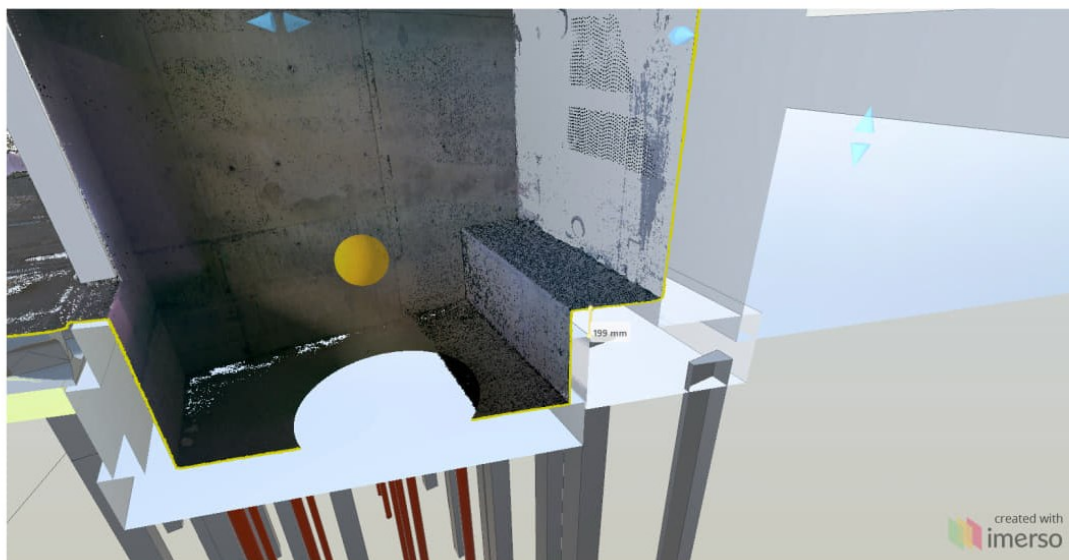
poikkeama mallista noin 20cm

### BIM Element:

Name: Foundation Slab:VSS VAN- Model: RAK [REDACTED] 4.ifc  
HA ANTURA hl600:519581

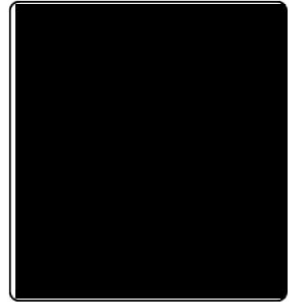
Revision: 2023-02-02T12:19:01

GUID: 1qwWmgHjrBROLMCSYMC-TXy



## #9 - Misplaced Wall Standard Case

Project: NCC Finland - [REDACTED] Created by: Sofia Qawariq, 26.04.23 02.32  
Building: NCC - [REDACTED]  
Floor: -1. krs Status: Open  
Session: Session 2 (kohdistettu RAK-mallin mukaan) Categories: Misplaced  
Scan: Scan 09 Disciplines: Structural



### Description:

The Wall Standard Case is misplaced by approximately 28 mm compared to the BIM model.

Found automatically by Imer.so.

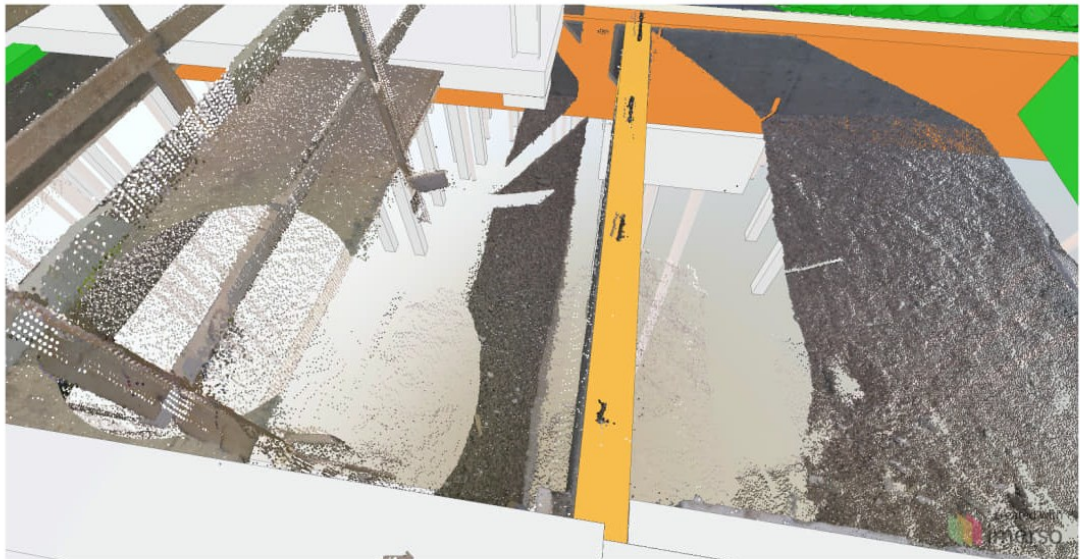
### BIM Element:

Name: Basic Wall:PV-palk-  
ki.200:766006

Model: RAK [REDACTED].ifc

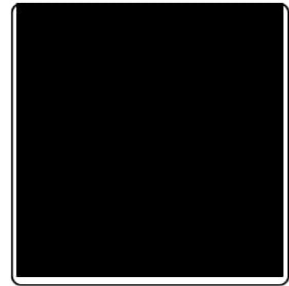
Revision: 2023-02-02T12:19:01

GUID: 1yb6xCo75ET97aMW91oRsj



## #8 - Misplaced Slab

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 26.04.23 01.10
Building: NCC - [REDACTED]	
Floor: 2. krs vanha osa	Status: Open
Session: Session 2 (kohdistettu RAK-mallin mukaan)	Categories: Misplaced
Scan: Scan 09	Disciplines: Structural



### Description:

2 krs hissin edusta, ARK ja RAK mallin laatta n. 50 mm nykyistä pintaa matalammalla

Found automatically by Imerso.

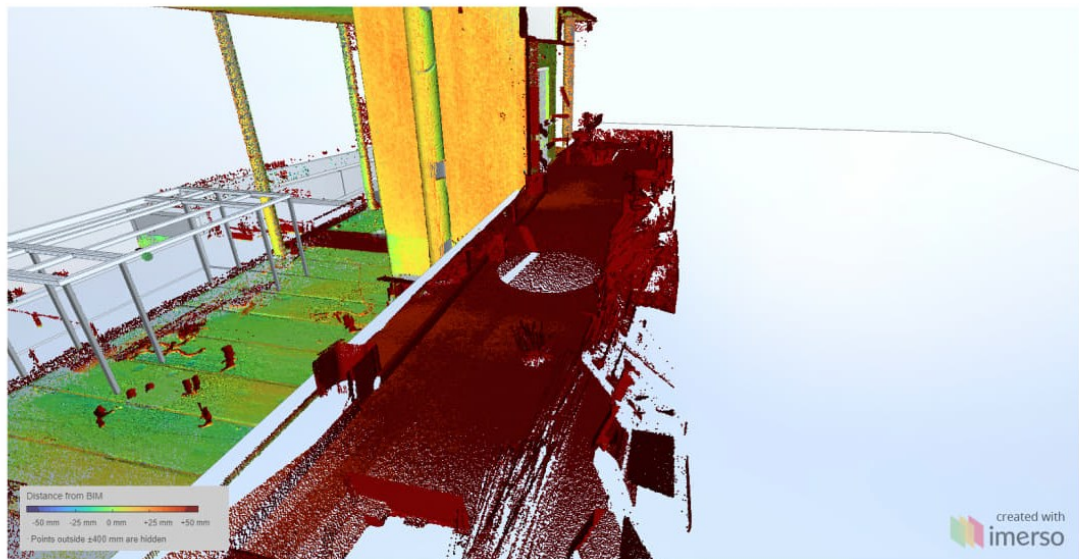
### BIM Element:

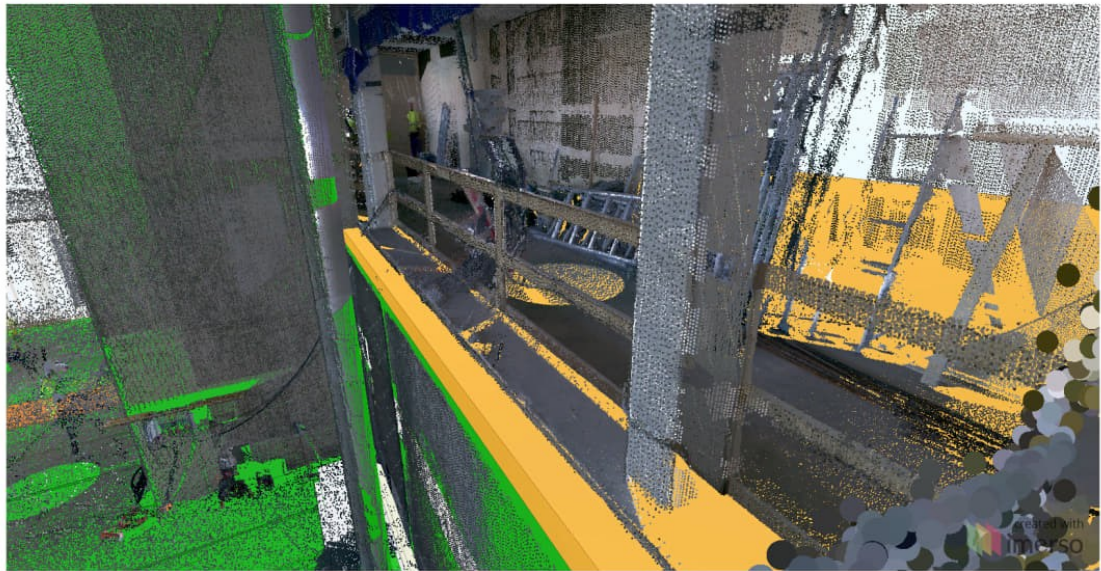
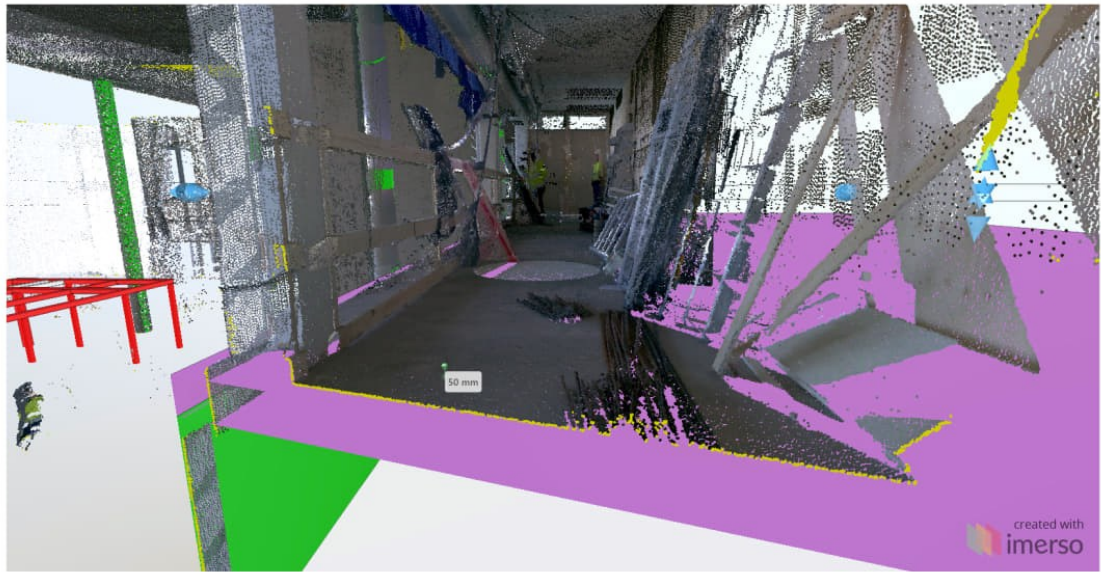
Name: Floor:Paikallavalulaat-  
ta.200:541540

Model: RAK [REDACTED].ifc

Revision: 2023-02-02T12:19:01

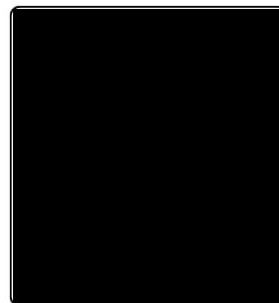
GUID: 1NHrHTCnnBqfcab\$nj4GYA





## #7 - Oviaukko

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 21.04.23 05:51
Building: NCC - [REDACTED]	
Floors: 1. krs vanha osa, 1. krs laajennus	Status: Open
Session: Session 01 (kohdistettu ARK-mallin mukaan) Scan: Scan 04	Categories: Misplaced Disciplines: Architecture



### Description:

Oviaukko sekä RAK että ARK mallien mukaan 10cm liian oikealla

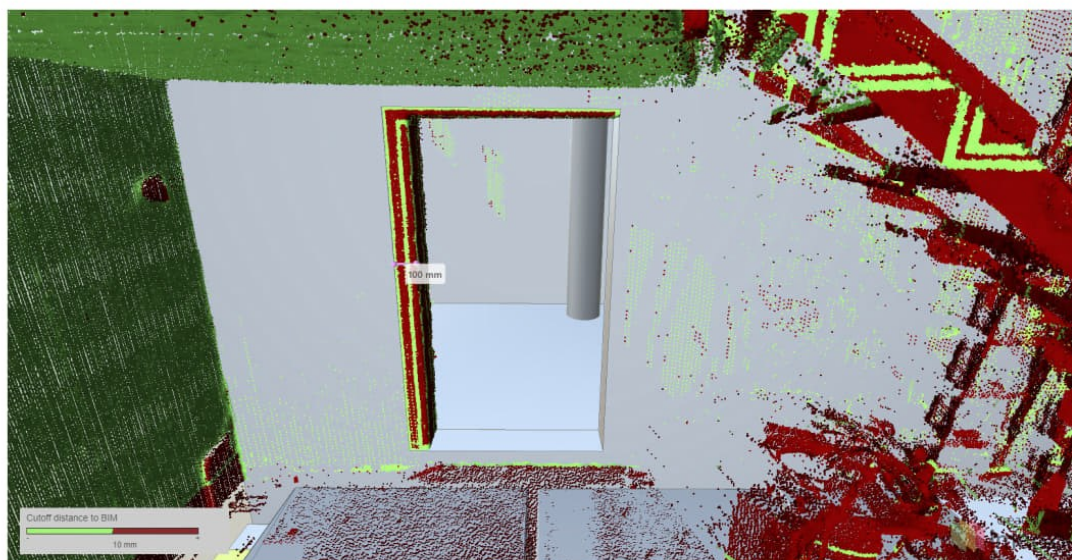
### BIM Element:

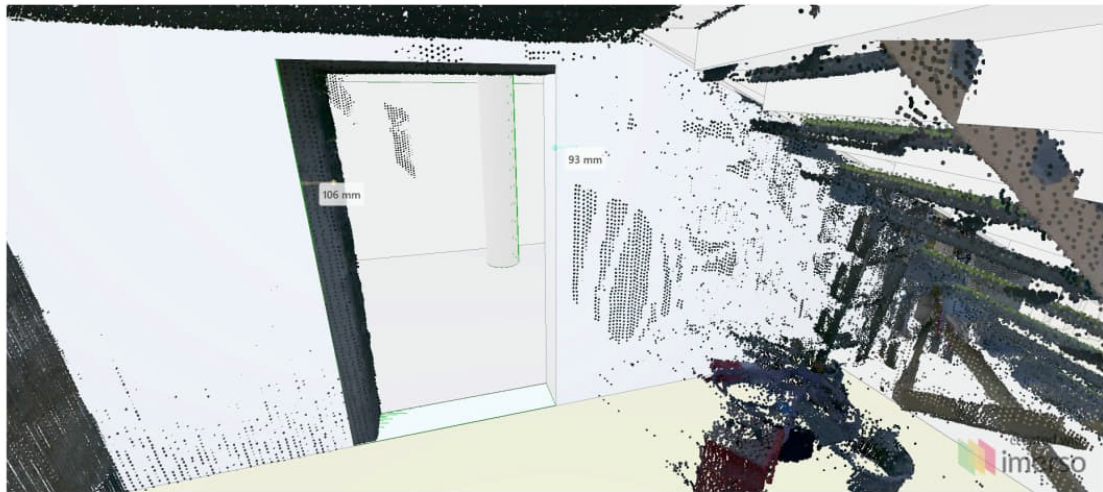
Name: Basic Wall:VS5 (200 mm) -  
Betoniseinä:15215815

Model: 1162 [REDACTED].ifc

Revision:  
2023-03-10T14:58:26+02:00

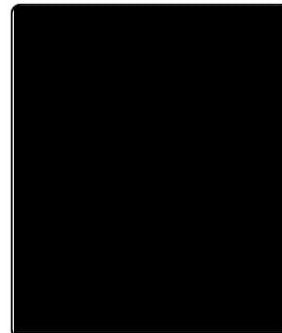
GUID: 1SL4D26dz2wPDujC2th2s\$





## #6 - Perustukset

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 21.04.23 05.29
Building: NCC - [REDACTED]	
Floors: -1. krs, 1. krs laajennus	Status: Open
Session: Session 01 (kohdistettu ARK-mallin mukaan) Scan: Scan 04	Categories: Misplaced Disciplines: Architecture



### Description:

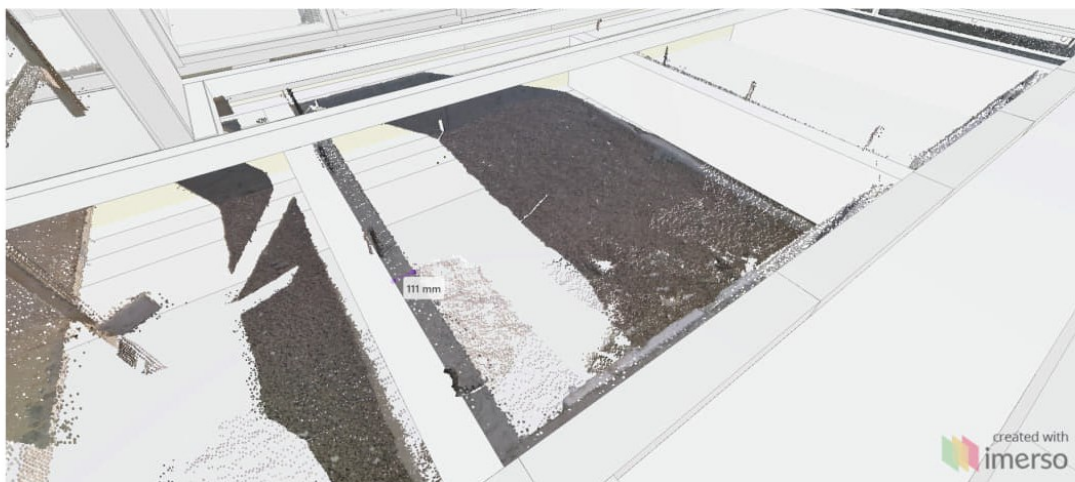
Perustuksissa esim. noin 100mm heitto ARK malliin verrattuna. RAK-malli vastaa paremmin todellisuutta

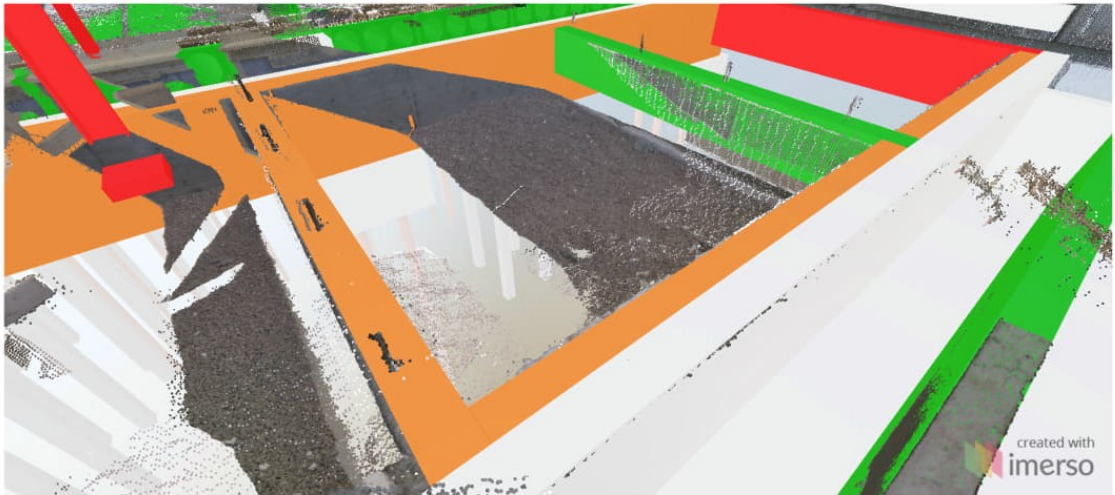
### BIM Element:

Name: Basic Wall:RAK (200 mm) - Model: 1162 [REDACTED].ifc  
Betoni:23582229

Revision:  
2023-03-10T14:58:26+02:00

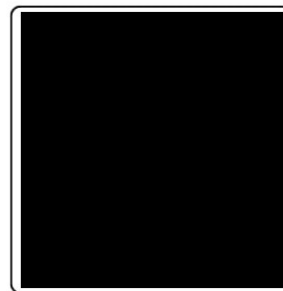
GUID: 3PNZ3eQB50xlfBzbMkt25





## #5 - Laatta

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 21.04.23 04.45
Building: NCC - [REDACTED]	
Floor: 2. krs vanha osa	Status: Open
Session: Session 01 (kohdistettu ARK-mallin mukaan)	Categories: Other
Scan: Scan 08	Disciplines: Structural



### Description:

2 krs hissin edusta, ARK ja RAK mallin laatta n. 50mm nykyistä pintaa matalammalla

### BIM Element:

Name: Floor:Paikallavalulauta.200:541540

Model: RAK [REDACTED].4.ifc

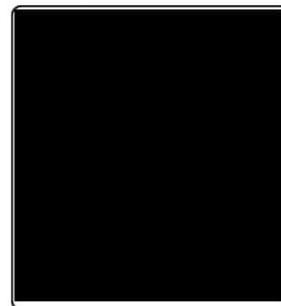
Revision: 2023-02-02T12:19:01

GUID: 1NHrHTCnnBqfcab\$nj4GYA



## #4 - Portaat

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 21.04.23 04.19
Building: NCC - [REDACTED]	
Floor: 1. krs vanha osa	Status: Open
Session: Session 01 (kohdistettu ARK-mallin mukaan)	Categories: Different shape/size
Scan: Scan 06	Disciplines: Architecture



### Description:

Porrasaskelmien etenemässä heittoa askemien välillä (kuvaan merkitty ARK-mallin ja pistepilven välinen erotus)

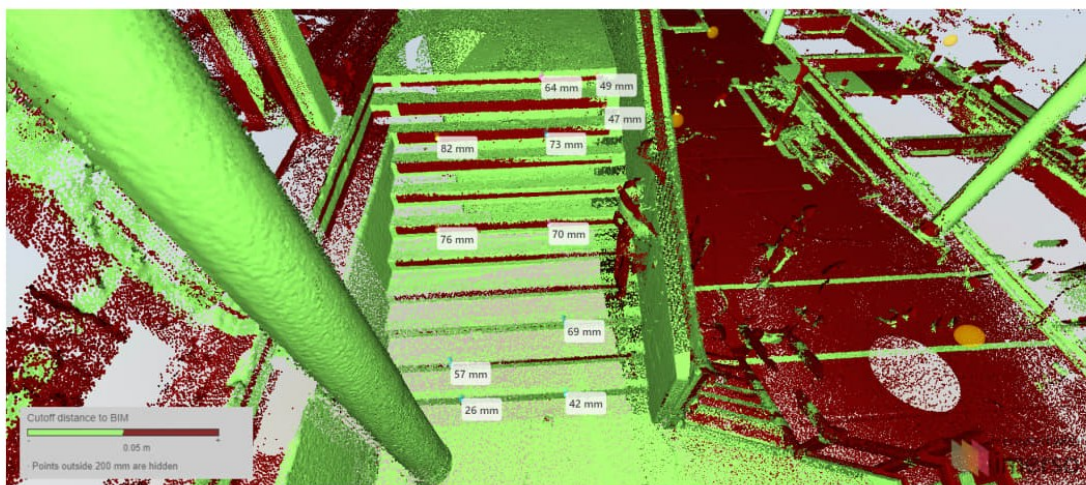
### BIM Element:

Name: Aulan porras:Aulan porras:22429652

Model: 1162 [REDACTED] ifc

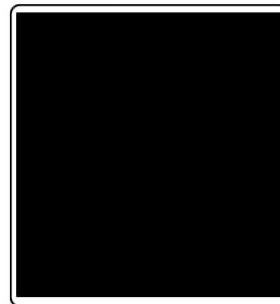
Revision: 2023-03-10T14:58:26+02:00

GUID: 2iyHEDXd1ABPV0QezdIKi2



## #3 - Porrastasanne

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 21.04.23 03.46
Building: NCC - [REDACTED]	
Floor: 1. krs vanha osa	Status: Open
Session: Session 01 (kohdistettu ARK-malliin mukaan)	Categories: Misplaced
Scan: Scan 01	Disciplines: Structural



### Description:

Porrastasanne yli 300mm matalammalla RAK malliin verrattuna (ARK ok)

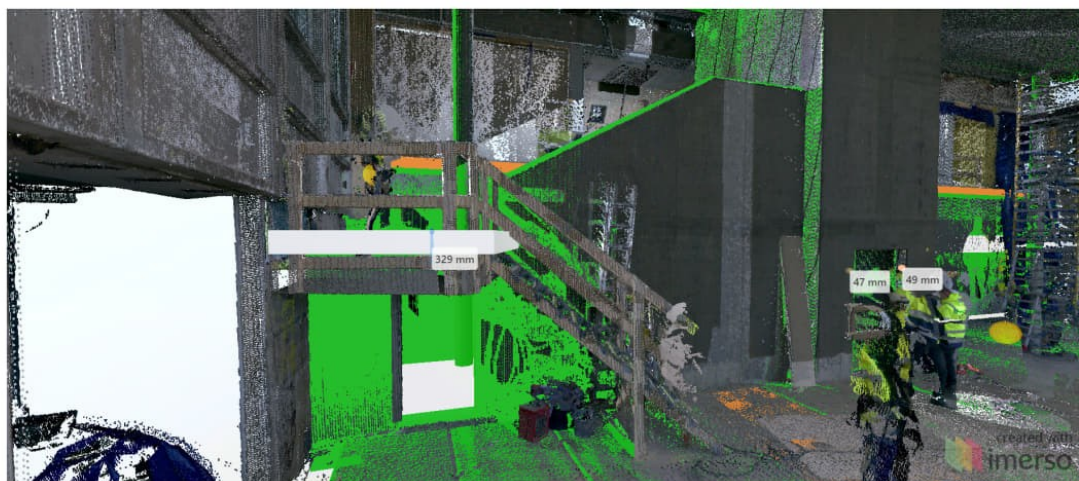
### BIM Element:

Name: Floor:Paikallavalulaat-  
ta.200:540099

Model: RAK [REDACTED].4.ifc

Revision: 2023-02-02T12:19:01

GUID: 2XWT\$CTS527fy5yJ\$eDILB



## #2 - Hissikuilun oviaukko

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 21.04.23 03.35
Building: NCC - [REDACTED]	
Floors: 1. krs vanha osa, 1. krs laajennus	Status: Open
Session: Session 01 (kohdistettu ARK-mallin mukaan) Scan: Scan 11	Categories: Misplaced Disciplines: Structural



### Description:

Hissikuilun aukko RAK mallin suhteen n. 45mm pois paikaltaan (ARK mallin suhteen OK)

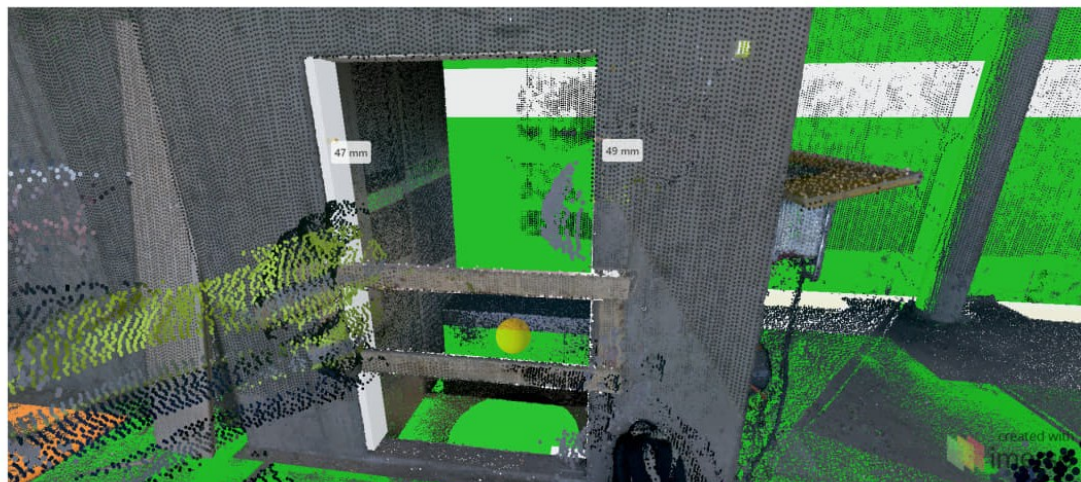
### BIM Element:

Name: Basic  
Wall: PV.seinä\_150:722028

Model: RAK\_ [REDACTED] 4.ifc

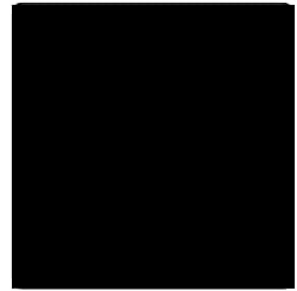
Revision: 2023-02-02T12:19:01

GUID: 21M7TmyGfB-gOrW7m2ITnQ3



## #1 - Misplaced beam

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Jakub Groh, 18.04.23 13.54
Building: NCC - [REDACTED]	
Floor: 2. krs vanha osa	Status: Open
Session: Session 01 (kohdistettu ARK-mallin mukaan)	Categories: Misplaced



### Description:

The beam in the BIM model is misplaced by ca. 5cm

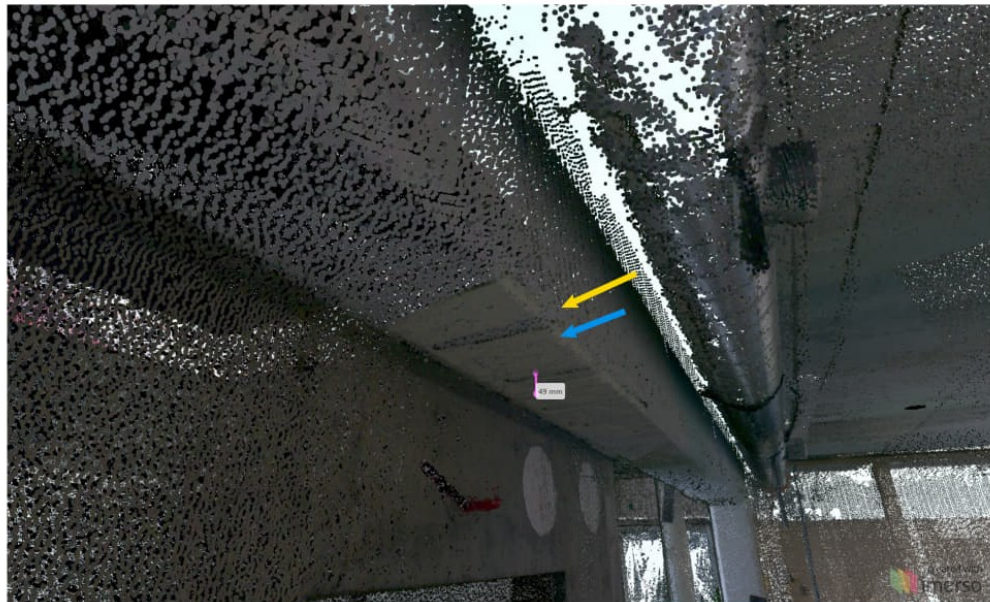
### BIM Element:

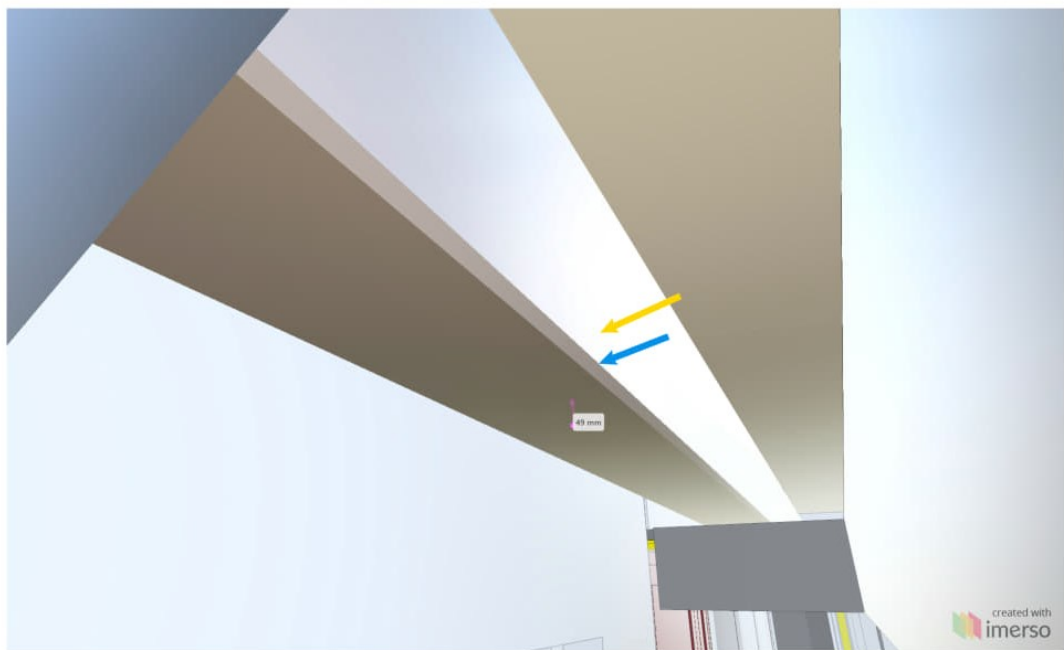
Name: Oleva betonipalkki - suorakaide:330x410:19854117

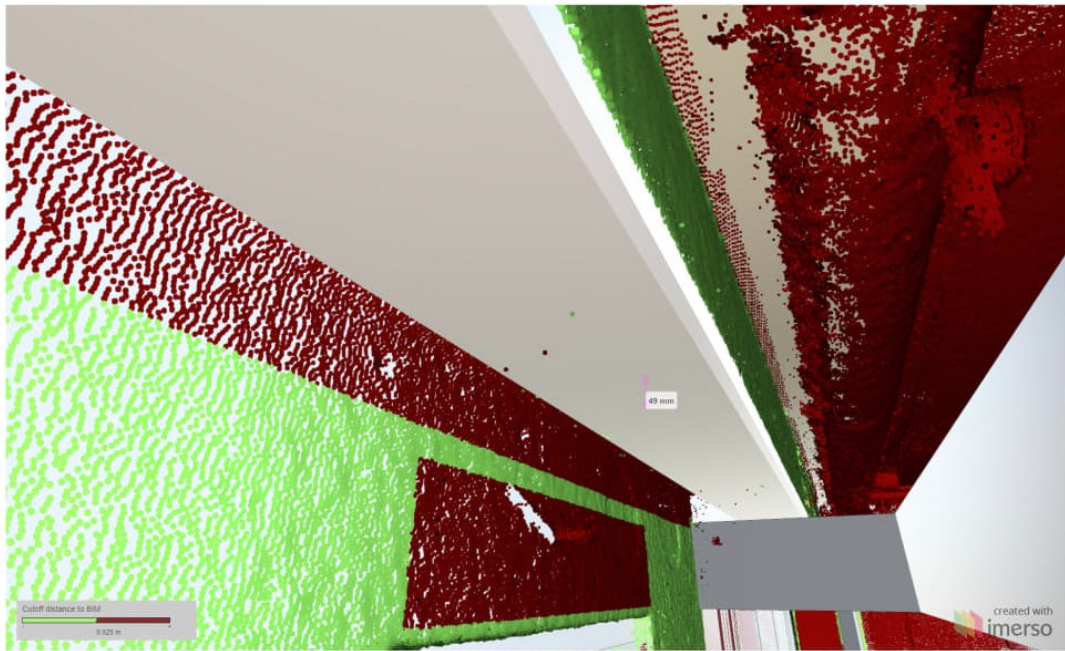
Model: 1162 [REDACTED].ifc

Revision: 2023-03-10T14:58:26+02:00

GUID: 34YrHUVXPD9h1GRrtC\_Q0J








## Liite 2. Case-kohteen C poikkeamahavainnot

1(9)

## #6 - Jätevesiviemäri

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 16.05.23 12.05
Building: NCC - [REDACTED]	
Floor: 1. krs	Status: Open
Session: erillinen 3 - lattialämpö	Categories: Missing in BIM, Missing On-site
Scan: 1502_lattialampo [1]	Disciplines: Plumbing



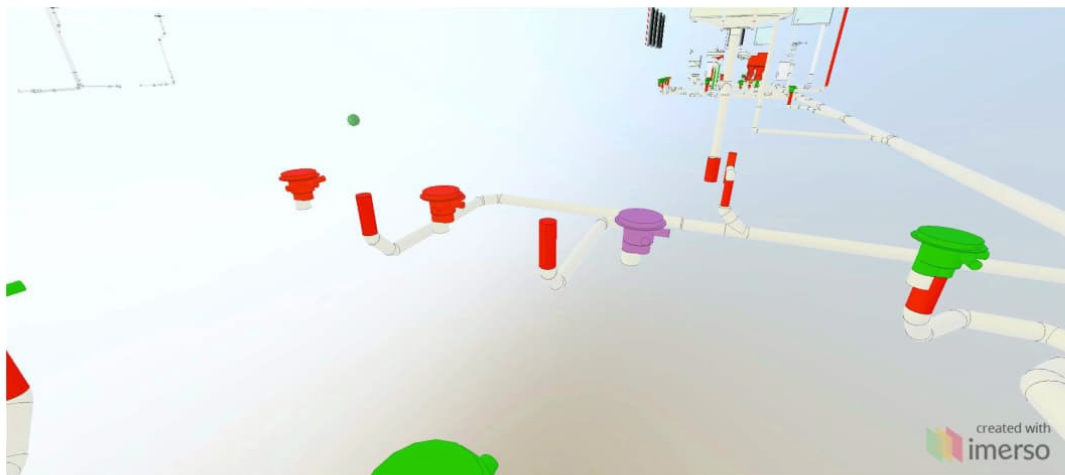
### Description:

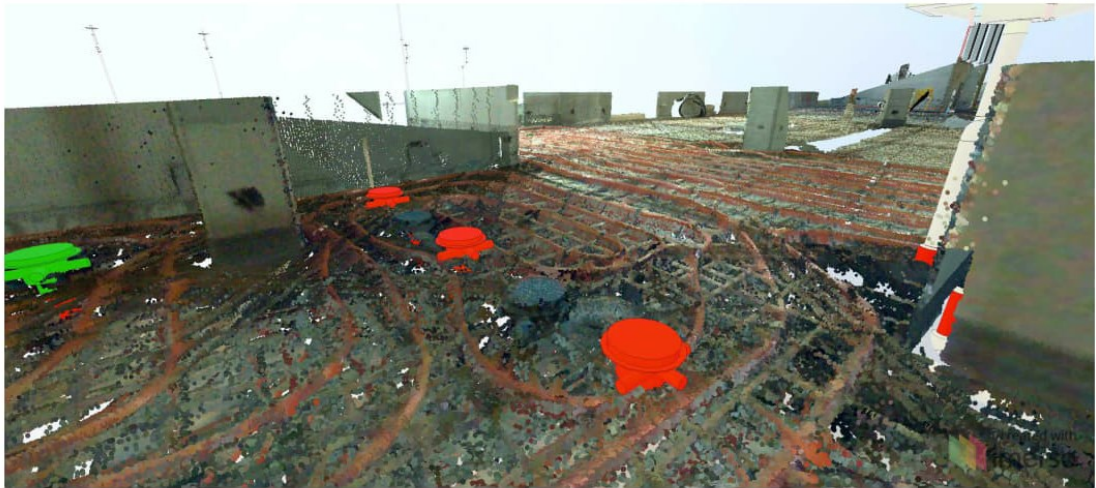
Jätevesiviemärit tietomalliin verraten eri kohdilla. Ongelma luultavasti tietomallissa

Found automatically by Imerso.

### BIM Elements:

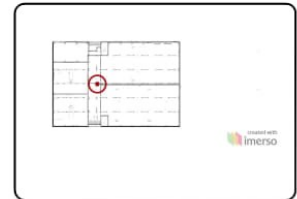
Name: 0gwkUVb59DVxJ5T5KGrTvW	Model: LVI-VV-[REDACTED].ifc	Revision: 2023-03-13T18:54:09	GUID: 0gwkUVb59DVxJ5T5KGrTvW
Name: 1rSnInrfd4Tg7B2VGBWiBJ	Model: LVI-VV-[REDACTED].ifc	Revision: 2023-03-13T18:54:09	GUID: 1rSnInrfd4Tg7B2VGBWiBJ
Name: 2ONpwe8Mz3Ivw1Yo_NqbGN	Model: LVI-VV-[REDACTED].ifc	Revision: 2023-03-13T18:54:09	GUID: 2ONpwe8Mz3Ivw1Yo_NqbGN





## #5 - Misplaced Column

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 08.05.23 00.43
Building: NCC - [REDACTED]	
Floors: 2. krs, 03 Katsomo, 08 Katos	Status: Open
Session: erillinen 5 - siivottu	Categories: Misplaced
Scan: 181122_siivottu [1]	Disciplines: Structural



### Description:

The Column is misplaced by approximately 10 mm compared to the BIM model.

Found automatically by Imeroso.

### BIM Element:

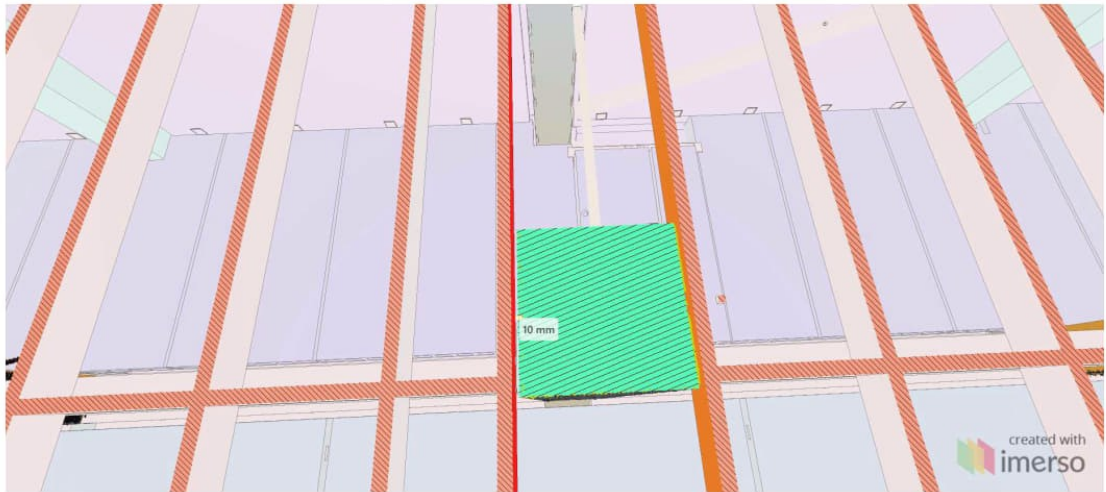
Name: PILARIELEMENTTI

Model: RAK\_NAM.ifc

Revision: 2023-03-20T10:34:24

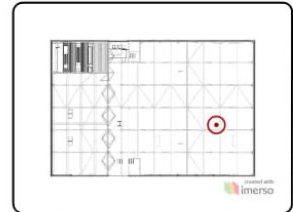
GUID: 2hSVS1zX92XfbFRKfj2eR





## #4 - Misplaced Beam

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 07.05.23 23.47
Building: NCC - [REDACTED]	Status: Open
Floors: iv-konehuone, iv-koneh. silta	Categories: Misplaced
Session: erillinen 1 & 2 - kattoristikot	Disciplines: Structural
Scan: [REDACTED]_Kattoristikot [1]	



### Description:

The Beam is misplaced by approximately 67 mm compared to the BIM model.

Found automatically by Imerso.

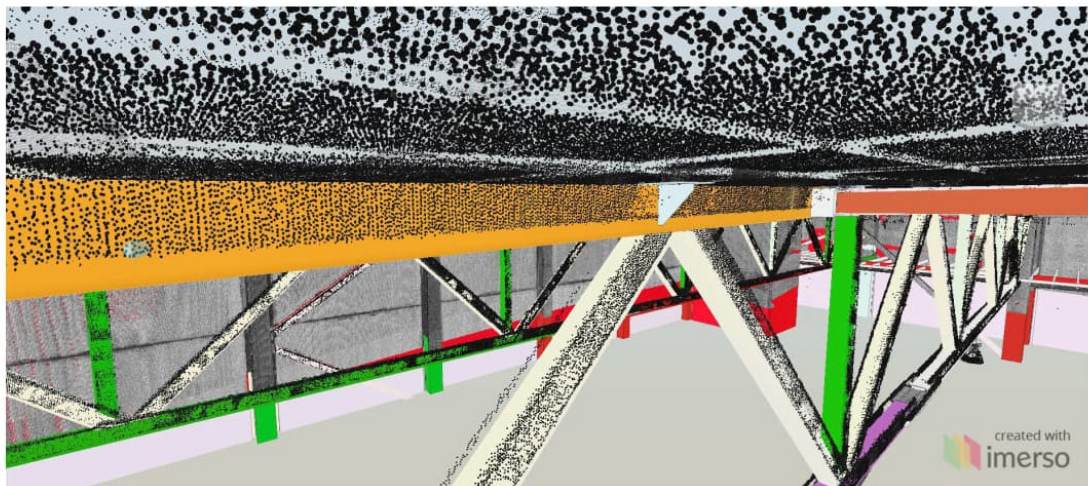
### BIM Element:

Name: YLÄPAARRE

Model: RAK\_NAM.ifc

Revision: 2023-03-20T10:34:24

GUID: 2JFCwV\$If3efgShBHNsL6U



## #3 - Misplaced Beam

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 07.05.23 23.44
Building: NCC - [REDACTED]	Status: Open
Floors: 09 Vesikatto, iv-koneh. silta	Categories: Misplaced
Session: erillinen 1 & 2 - kattoristikot	Disciplines: Structural
Scan: [REDACTED]_Kattoristikot [1]	



### Description:

The Beam is misplaced by approximately 73 mm compared to the BIM model.

Found automatically by Imerso.

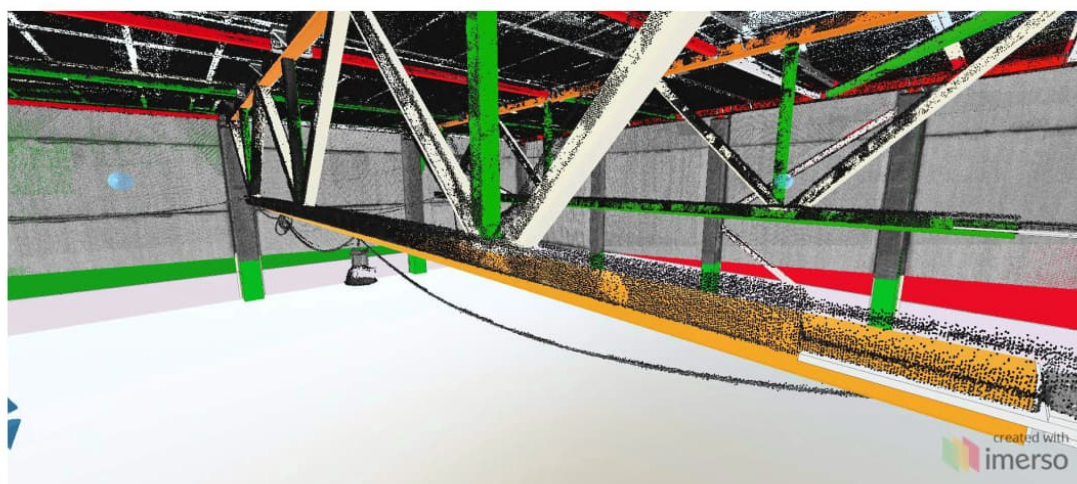
### BIM Element:

Name: ALAPAARRE

Model: RAK\_NAM.ifc

Revision: 2023-03-20T10:34:24

GUID: 3h2615EnfCR9hJhQsYf3Cf



## #2 - Misplaced Beam

Project: NCC Finland - [REDACTED]	Created by: Sofia Qawariq, 07.05.23 23.37
Building: NCC - [REDACTED]	Status: Open
Floor: 09 Vesikatto	Categories: Misplaced
Session: erillinen 1 & 2 - kattoristikot	Disciplines: Structural
Scan: [REDACTED]_Kattoristikot [1]	



### Description:

The Beam is misplaced by approximately 80 mm compared to the BIM model.

Found automatically by Imerso.

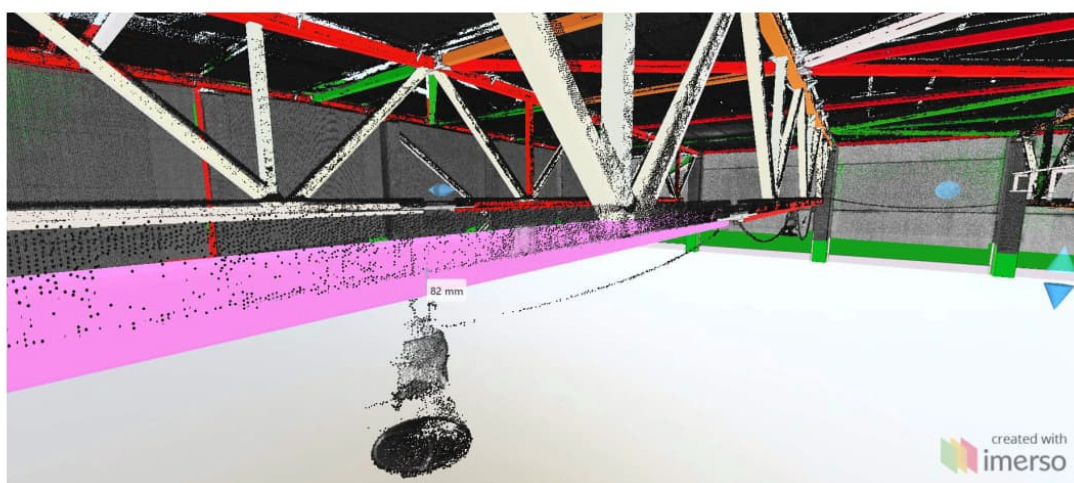
### BIM Element:

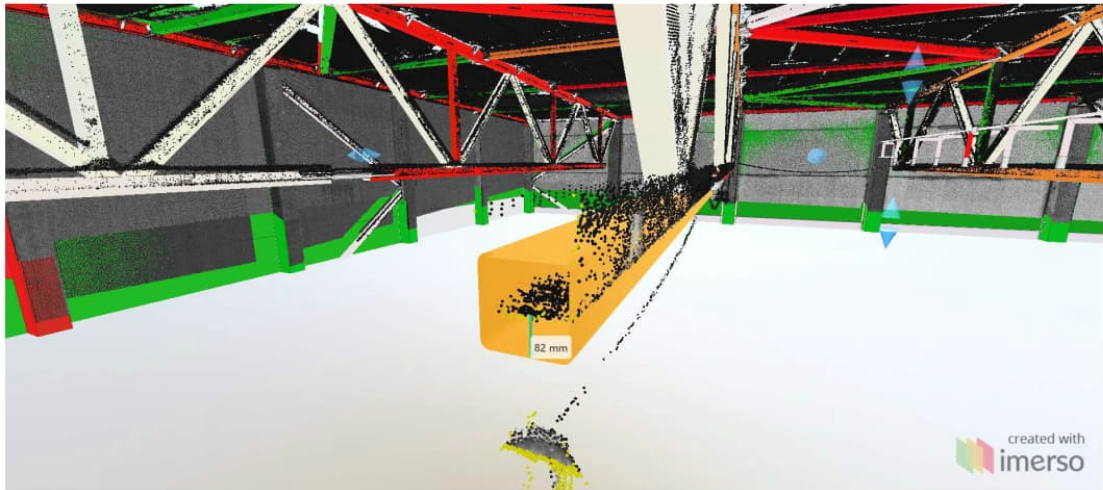
Name: ALAPAAARRE

Model: RAK\_NAM.ifc

Revision: 2023-03-20T10:34:24

GUID: 3lkwe3rh112Q6jwPDOJRto





## #1 - Misplaced Pilaster

Project: NCC Finland - [REDACTED] [REDACTED] Created by: Sofia Qawariq, 07.05.23 19.38  
Building: NCC - [REDACTED] [REDACTED]  
Floor: 1. krs Status: Open  
Session: erillinen 6 - vss lattialämpö Categories: Misplaced  
Scan: 250123\_Vss\_Lattialämpö [1] Disciplines: Structural



### Description:

The column is misplaced by approximately 26 mm compared to the BIM model.

Found automatically by Imerso.

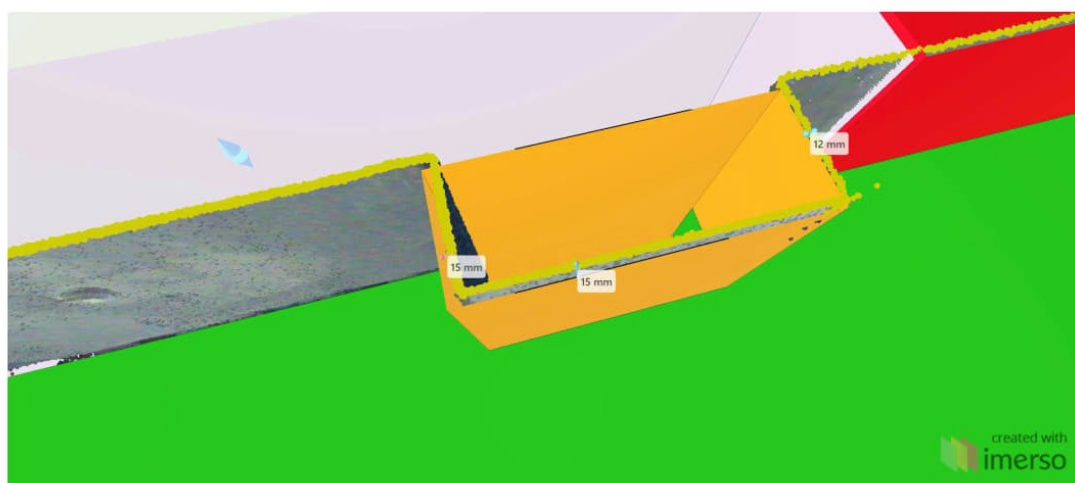
### BIM Element:

Name: PV-VSS-PILASTERI

Model: RAK\_NAM.ifc

Revision: 2023-03-20T10:34:24

GUID: 01Vj91yF57DPvmUyEdOSoq



Liite 3. Laskelma investoinnin tuotosta (salassa pidettävä liite)