

FJDynamics P1- SLAM-Lidarin testi

Ari Kilpelä / TkT, TJ, helmi - maaliskuu 2025 / Oulu

Tavoite ja taustatiedot

Kohteesta Lidarilla (laser imaging, detection, and ranging)¹ muodostettu pistepilvi on yhä suositumpi tapa kohteiden dimensioiden ja paikan määrittelyyn. Tässä testissä oli tarkoitus tutkia pienen SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)² / Lidarin ja RTK-laitteen yhdistelmän mahdollisuuksia ja suorituskykyä koordinaatistoon sidotun pistepilven mittaamisessa kohderakennuksesta. Tällaisen yhdistelmän etuna verrattuna esim. pelkän RTK-laitteen tai kolmijalalla seisovan ympäri pyörivään LIDARIin verrattuna on, että tässä testissä kuvatulla yhdistelmällä saadaan nopeasti, minuuteissa, kuvattua kohtuullisen suurtakin rakennusta ja sen ympäristöä kuvaava pistepilvi, joka koostuu miljoonista yksittäisistä pisteistä. Pelkällä RTK-paikantimella ja mittasauvalla saadaan mitattua vain yksittäisiä pisteitä ja kolmijalalla olevalla Lidarilla (kuten South SPL-sarja³) puolestaan saadaan kyllä tyypillisesti tarkkaa tulosta, mutta sen käyttö on huomattavasti hitaampaa, koska kolmijalka täytyy siirtää aina uuteen pisteeseen ja kuvaus yhdellä paikalla voi kestää yhtä kauan kuin tämän testin rakennuksen kiertäminen SLAM / Lidarilla. Pieneen SLAM / Lidariin perustuva laitteisto on kompakti, se mittaa käynnistyttyään koko ajan paikkansa RTK-tarkkuudella (1-2 cm luokkaa) ja se on otettavissa käyttöön nopeasti, tyypillisesti 1-2 minuutissa. Pistepilvestä on mitattavissa myöhemmin kaikkien siihen tallentuneiden pisteiden koordinaatit. Tämän testin tarkoitus on ollut selvittää:

- 1) millaisia käytännön vaatimuksia on, kun halutaan mitata ulkotiloissa talvella kevyellä RTK Lidar/SLAM -laitteella, joka mittaa pistepilven suoraan haluttuun koordinaatistoon
- 2) millaiseen tarkkuuteen pistepilvellä päästään absoluuttisesti ja suhteellisesti
- 3) onnistuuko mittaus Lidarille haasteelliseen kohteeseen

Testikohde

Mittauksessa valittiin testikohteeksi Oulussa sijaitseva Kiinteistö Oy Herukan Talliosakkeen rakennus osoitteessa Varsikuja 7 (Kuva 1). Mittaus tehtiin yhteistyössä Talliosake Oy:n⁴ kanssa. Kohde on suhteellisen vaativa kohde mitattaessa laserilla suoraan ulkoseinien pinnoista, koska pinta on paikoin melko kiiltävä ja päädyt ja nurkat eivät ole tasaisia pintoja vaan aaltomaisia. Asemakuvan perusteella rakennuksen pituus on 56.4 m ja leveys 18 m. Testin aikana säätila oli kuiva ja pakkasta oli -2 -4 C.



Kuva 1. Herukan Talliosake Oy:n rakennus osoitteessa Varsikuja 7. Julkisivu on Varsikujalle päin.

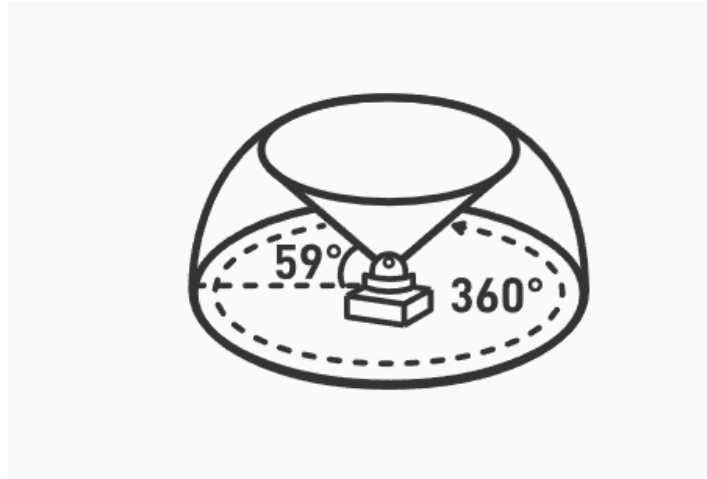
Testattava laitteisto ja testimenetelmä

Mittauksessa käytettiin FJDynamicsin valmistamaa P1-SLAM-Lidaria⁵, joka painaa yhdistetyn käsikahva/akun ja kameran kanssa n. 1.4 kg (Kuva 2). Laite mittaa 200 000 pistettä sekunnissa. Aktiivisena pintana toimii etuseinän puolipallo, jonka sisällä säde pyörii täyttää ympyrää niin, että emittoiva säde on 59 astetta leveä (Kuva 3). Suurin mittausetäisyys riippuu kohteen heijastuskertoimesta: 80 % heijastuskertoimella (vaalea kohde) suurin etäisyys on 70 m ja 10 % heijastuskertoimella (hyvin tumma kohde) 40 metriä. Esim. valkoisen paperin heijastuskerroin on 80-85 % ja punaisen tiilen 10-15 %⁶ Laitteelle on luvattu 2 cm mittaustarkkuus ja kun se on yhdistetty RTK-satelliittipaikantimeen, kuten FJDynamics V10i (Kuva 4), yhdistelmälle on luvattu 5 cm paikannustarkkuus. Säteen aallonpituus on 905 nm eli infrapunainen, joten se on silmälle näkymätön. Laite on Class 1-turvallisuusluokassa eli täysin silmäturvallinen. Olkatuen kanssa mitattaessa P1 asettuu hieman taaksepäin kallelleen siten, että RTK-vastaanottimen päällä oleva antenni on vaakasuorassa, jolloin Lidar P1:n säde pyörii enemmän vaakasuunnassa kuin ollessaan jalustalla (kuten kuvassa). P1-laitteen päällä on Insta360 X3- videokamera, joka kuvaa 5.7k videota käyttäen kahta 180 asteen eli puoliavaruuden kameraa. Videokuvaa käytetään skannauksen jälkeen Windows-tietokoneessa toimivalla FJD Trion Model-ohjelmalla ja skannaustulos voidaan siinä ”värittää” videokuvan perusteella (Kuva 6). FJDynamics suosittelee, että tällainen rakennuksen mittaus tehdään kävelemällä rakennuksen ympäri niin, että P1-laitteen horisontaalinen rintamasuunta on noin 45 asteen kulmassa skannattavaan seinään nähden (Kuva 5). Tällöin laitteen suunta on myös 45 asteen kulmassa etenemissuuntaan nähden, koska eteneminen tapahtuu seinän suuntaisesti (Kuva 7). Koko rakennuksen skaus kesti noin 6 minuuttia. Ennen skannausta RTK-laite V10i käynnistettiin ja odotettiin vähän aikaa, että RTK-laite löytää taivaalta tarpeeksi

satelliitteja RTK FIX-tilaan pääsemiseksi. FJDynamicsin RTK-laitteita ohjataan Bluetoothin kautta Android-laitteessa toimivalla Trion Survey- ohjelmalla, jossa on erityinen tila tulosten siirtämiseksi suoraan USB-kaapelilla skannauksen aikana P1-lidarille. P1-lidaria ohjataan joko Android- tai IOS-laitteessa toimivalla Trion Scan- ohjelmalla Wifi-yhteyden avulla. Tässä testissä sekä Trion Survey- että Trion Scan- ohjelmat toimivat samassa laitteessa, FJDynamics E600-(Android)kontrollerissa. Skannauksen aikana Trion Scan-ohjelma tekee näytölle pistepilven ”raakaversion”, josta näkee, miten skannaus edistyy. Näytöllä näkyy myös RTK-laitteen tila. Näin ollen skannauksen ohjaukseen riittää, että käytössä olevassa puhelimessa / kontrollerissa on skannauksen aikana näytöllä pelkästään Trion Scan-ohjelma, koska molempien laitteiden toimintaa voidaan seurata siitä. Skannaukseen riittää yksi henkilö.



Kuva 2. FJDynamics P1 SLAM-Lidar käsikahvan/akun ja 2 x 180 asteen kameran kanssa.



Kuva 3. P1-SLAM-Lidarin skannauskulma.



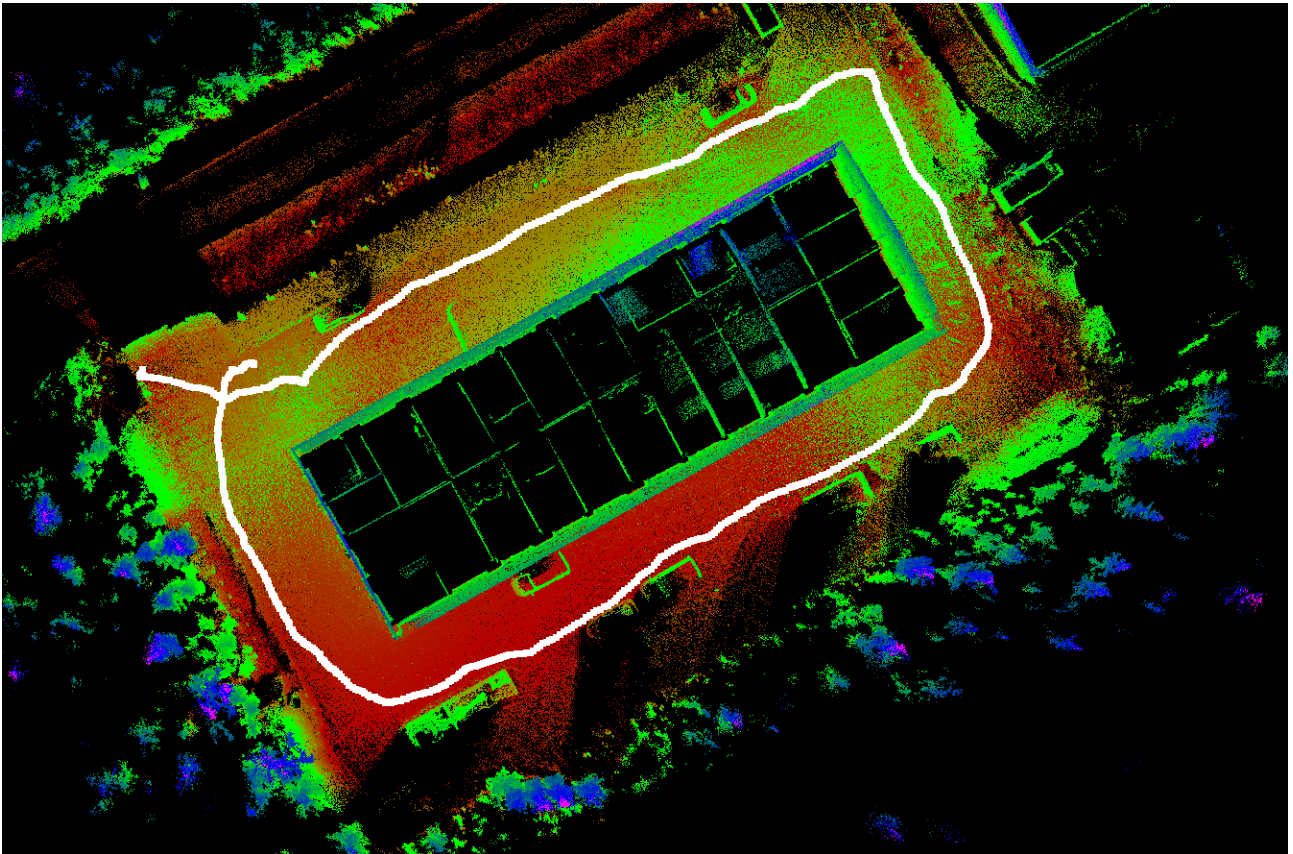
Kuva 4. FJDynamics P1- Lidar olkatuen ja V10i- RTK-laitteen kanssa.



Kuva 5. Kohteen päädyn skannaus menossa.



Kuva 6. Talliosake takasivulta esitettynä Trion Modelissa väritettynä pistepilvenä.



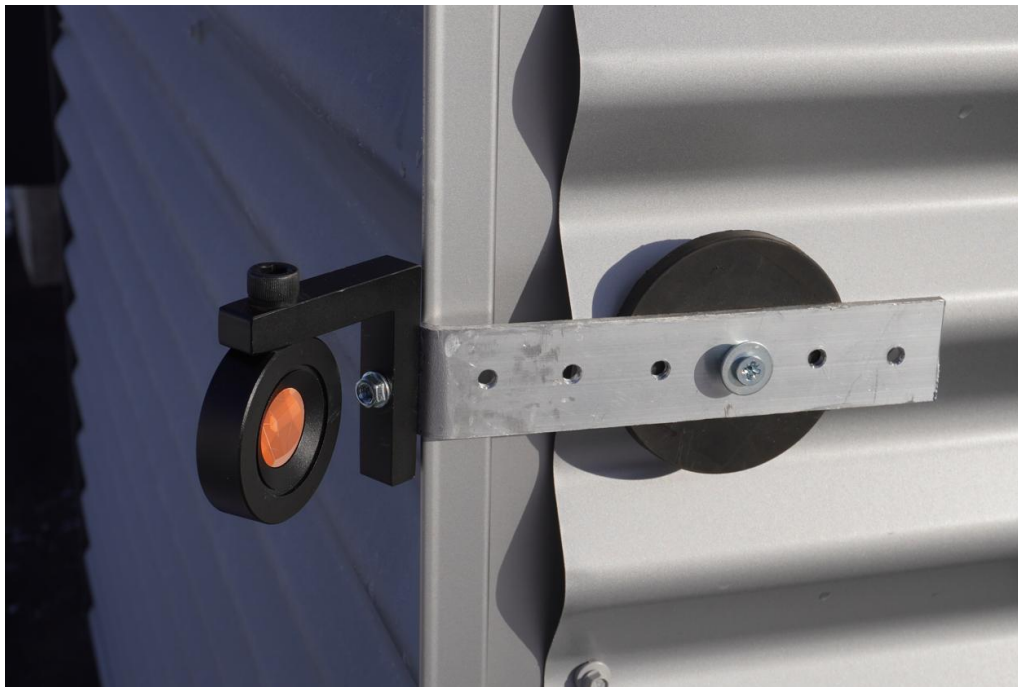
Kuva 7. Talliosakkeen rakennus Varsikujalla, pistepilvi ylhäältä katsottuna, jossa skannausreitti (valkoisella).

Vertailumenetelmä

Yhtenä tämän tutkimuksen tarkoituksista oli selvittää, mikä on pistepilven tarkkuus absoluuttisesti GK26-koordinaatistossa ja toiseksi, kuinka tarkasti rakennuksen mitat vastaavat todellisuutta eli mikä on suhteellinen tarkkuus ao. koordinaatiston sisällä. Mittauskohteiksi valittiin julkisivusta rakennuksen nurkat noin 1.3 metrin korkeudelta maasta. Näiden selvittämiseksi asetoitiin Varsikujan reunaan Talliosakkeen talon edustalle puolivälin kohdalle talon pitkää seinää (Kuva 8, Kuva 9) Alpha Ti-takymetri, jolle valmistaja lupaa 1.5 kaarisekunnin kulmatarkkuuden ja $2 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D$ tarkkuuden etäisyysmittauksessa. Etäisyys molempiin nurkkiin oli noin 33 metriä, josta voidaan arvioida kulmamittaustarkkuuden vastaavan mittauksen sivusuunnassa 33 metrin etäisyydellä noin 0.23 mm mittaustarkkuutta ja syvyys / etäisyysuunnassa 2 mm mittaustarkkuutta. Käyttämällä näistä huonompaa arvoa voidaan arvioida, että takymetrimittauksen tarkkuus oli 2 mm luokkaa. Tällä tarkkuudella saadaan siis mitattua kaikki pisteet, jotka voidaan mitata tällä asemoinnilla suorakulmaisessa koordinaattijärjestelmässä, jossa esim. rakennuksen vasemman etukulman koordinaatit maan tasalla ovat $0,0,0^7$. Absoluuttinen paikka GK26-koordinaatistossa saatiin siten, että Varsikujan varrelle suunnilleen Talliosakkeen päätyjen kohdalle, mutta toiselle puolelle Varsikujaa (kuin takymetri) sijoitettiin kahteen paikkaan kolmijalat, joihin kiinnitettiin ensin South G4- RTK GNSS- laite ja mitattiin kolmijalkojen paikat tällä laitteella (Kuva 9). Seuraavaksi RTK-laitteen asemesta kolmijalkoihin asennettiin Leica GMP104- tyyppiset prismat ja takymetri asetoitiin



Kuva 9. Takymetrimittauksessa käytetty Alpha Ti-takymetri Leica-kolmijalalla ja taustalla GMP104-prisma samanlaisella kolmijalalla.

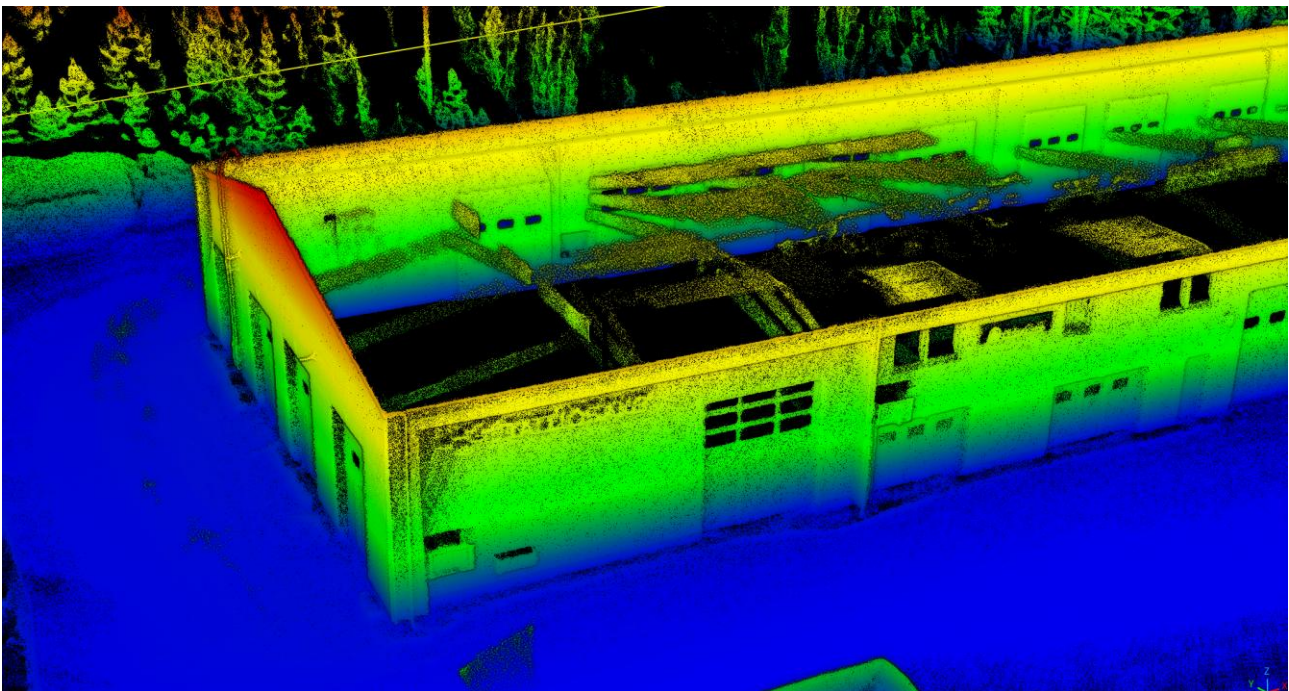


Kuva 10. Takymetrimittauksessa käytetty GMP104-tyyppinen prisma ja sen magneettikiinnitys. Kuvassa näkyy myös metallinen nurkkalista.

Mittausten jälkikäsittely

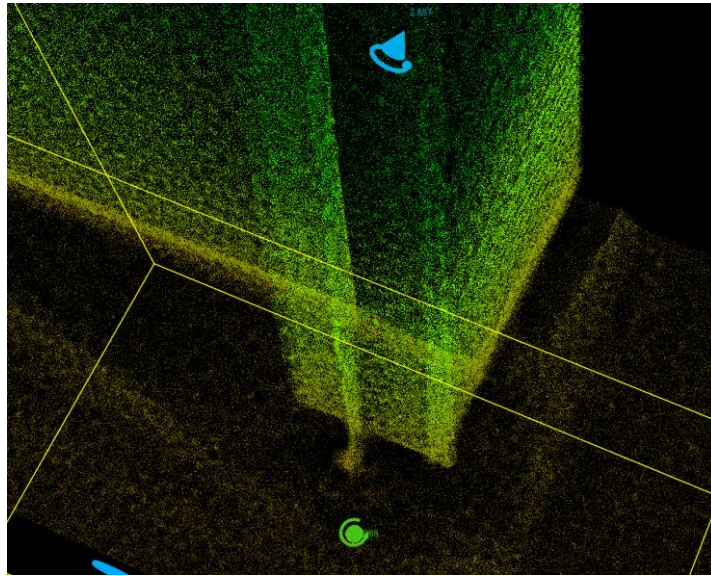
Skannaustulokset siirrettiin P1-lidarista Wifi-yhteydellä PC-tietokoneelle (Lenovo Legion, i7-14700KF, 32 Gb RAM, näytönohjain Geforce RTX 4070 Ti Super / 16 Gb). Wifi-yhteys skannauksen aikana toimii niin että puhelin / kontrolleri muodostaa Wifi-hotspotin P1:lle, mutta latauksen aikana toisinpäin. Wifi-hotspotin tila vaihdetaan yhdellä nopealla ja yhdellä pitkällä painalluksella P1:en virtakytkimestä ja se näkyy värin vaihtumisena virtakytkimessä. PC-tietokoneelle oli asennettu pistepilvien käsittelyyn FJDynamicsin ohjelma Trion Model, joka kuuluu P1:n varustukseen. Tietokoneelle ladataan P1:stä RTK-kokoonpanoa käytettäessä vähintään fjdslam- ja fjdrtk- sekä insv (video, 2 kpl)- tiedostot. Näistä jälkimmäiset yhdistetään ensiksi Insta360Studio-ohjelmalla yhdeksi mp4-tiedostoksi. Latauksen aikana videokamera täytyy olla yhdistettynä P1:een ja molempien virta päällä.

Trion Model-ohjelmalla annetaan ensin projektille nimi ja sitten tehdään ”Point Cloud Mapping”, jossa Trion Model -ohjelma muodostaa pistepilven, joka puolestaan voidaan tallentaa las-tiedostomuodossa. Haluttaessa pistepilveen liitetään myös koordinaatisto - fjdrtk- tiedostoa apuna käyttäen ja ”väritetään” pistepilvi käyttäen mp4-videotiedostoa (Kuva 6). Pistepilven koordinaattien tutkimisessa luonnollisista väreistä ei ole varsinaista hyötyä ja käyttökelpoisempia pistepilven väritysmuotoja ovat mm. Elevation, Intensity, RGB ja Time. Näistä esim. Intensity näyttää vastaanotetun lasersäteen voimakkuuden ja Time järjestää pistepilven sen mukaan, milloin se on skannattu lähtien skannauksen alkuhetkestä. Elevation näyttää värillä pistepilven suhteellisen korkeuden (sininen matalimmalla, punainen korkeimmalla, Kuva 11). Korkeus on aina suhteellinen arvo kuva-alueella esiintyvään korkeusalueeseen nähden.

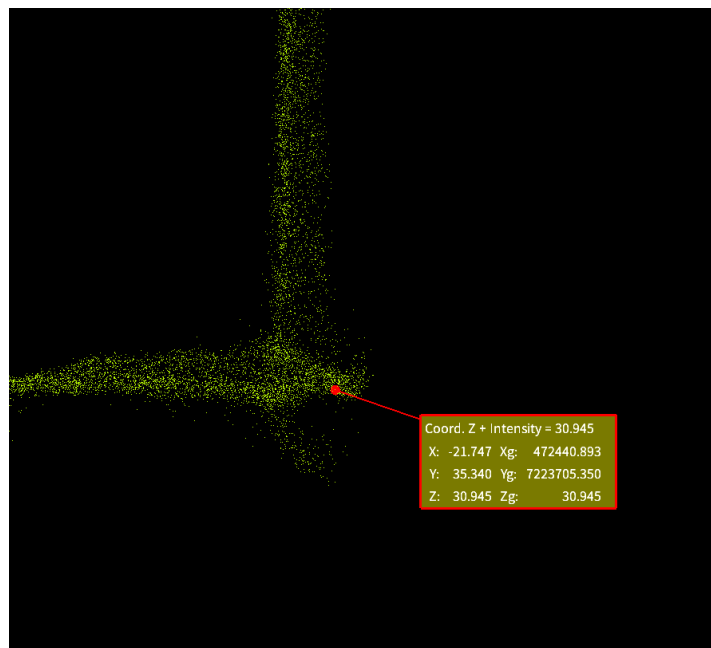


Kuva 11. Talliosake-rakennuksen skannaustulos esitettynä Trion Model-ohjelmalla Elevation-tilassa.

Kun rakennuksen kulmaa kuvaavasta pistepilvestä määritellään rakennuksen ulkoseinien peltien nurkkaa, kannattaa pistepilvestä määritellä ns. Clipping Box- menetelmällä korkeussuunnassa seinistä ”viipale”, joka voisi olla hyvin kapeakin, senttimetrejä, mutta koska tässä tapauksessa seinäpellit olivat aaltomaisia, oli viipaleen paksuus tässä noin 30cm (jotta saadaan mukaan varmasti uloin kohta pellistä) ja tästä mitattiin ulkoseinien pintojen risteyskohdat siten, että nurkka oli noin 10 mm sisempänä molempien seinien uloimpien pisteiden paikasta. Kuva 12 esittää julkisivun oikean puoleista nurkkaa ja Kuva 13 puolestaan samaa nurkkaa viipalekuvana, yläpuolelta katsottuna. Seinäpellityksessä näkyvä metallinen nurkkalista on nähtävillä selvästi myös pistepilvessä, jossa sen muoto on erilainen kuin todellisuudessa.

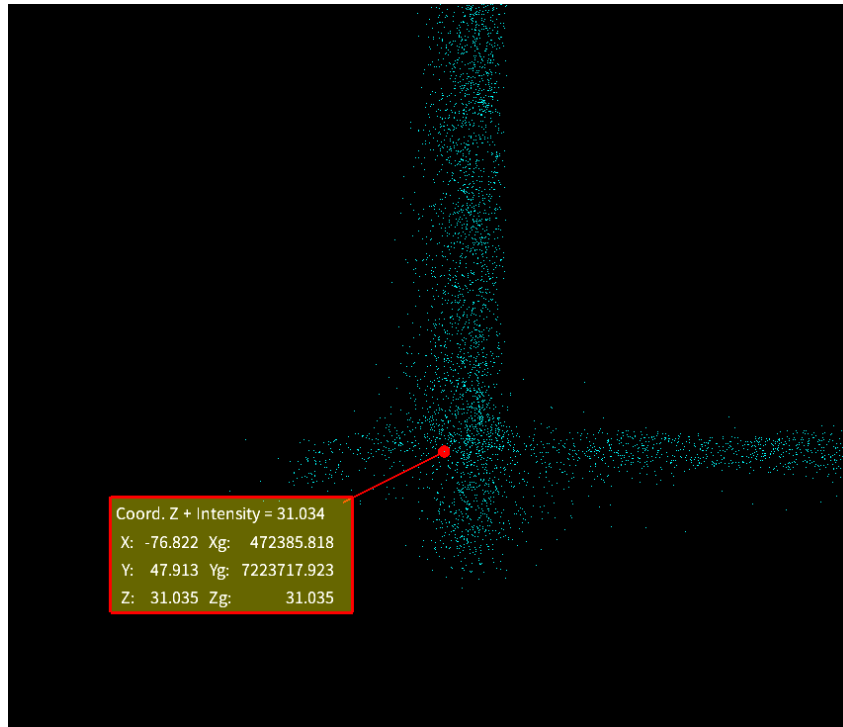


Kuva 12. Yksityiskohta oikeasta julkisivun nurkasta, pellityksen muoto rajoitetusti näkyvillä.

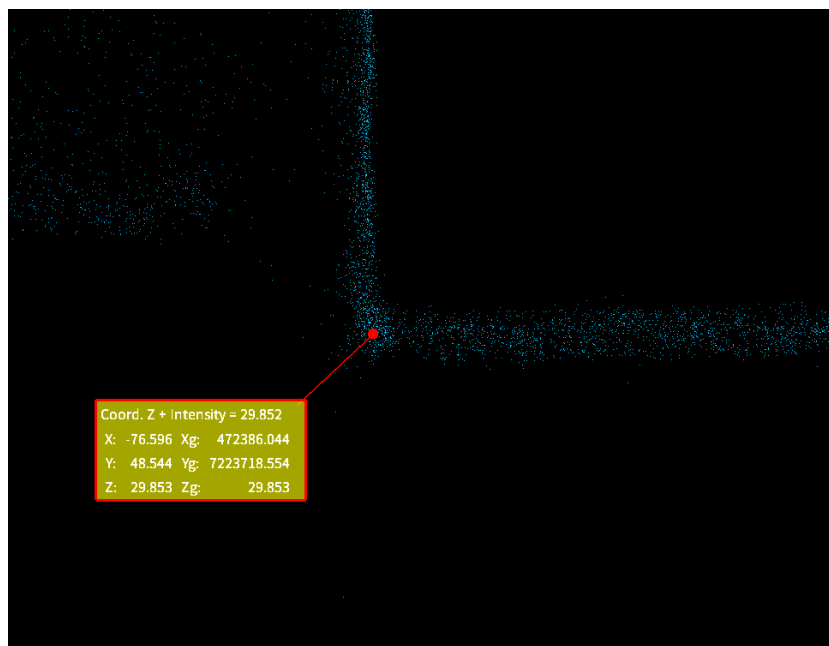


Kuva 13. Oikean puolen nurkkapellit viipalekuvana.

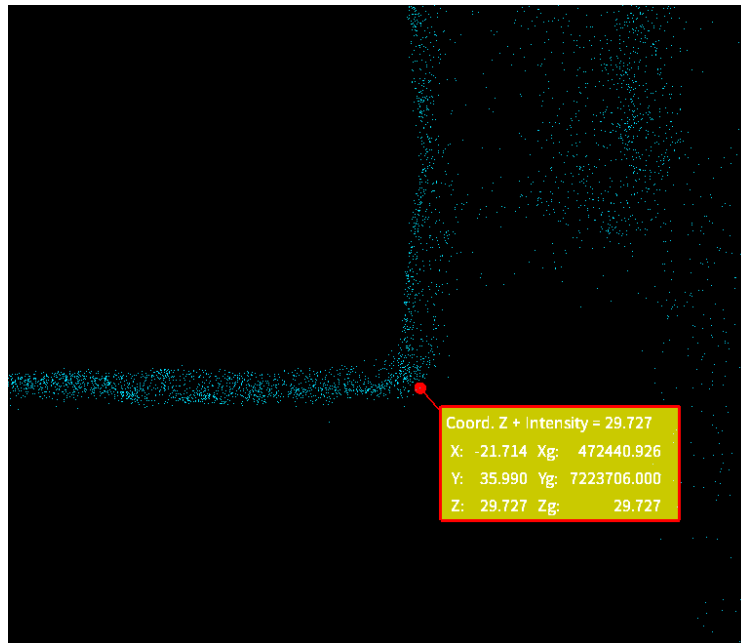
Kuva 14 esittää vasemman puolen nurkkapeltien pistepilven viipaletta. Rakennuksen perustuksen paikat määritettiin pistepilvestä samalla tavalla kuin seinäpeltien paikat sillä erotuksella, että perustuksessa ei ollut nurkkalistaa. Näitä esittävät Kuva 15 ja Kuva 16. Koordinaateissa on huomattava, että kyseessä ovat ns. lyhyet koordinaatit eli itäkoordinaatin alusta puuttuu alusta arvo 26. Korkeus on kuvissa WGS-84- järjestelmän mukainen eli sitä ei kalibroitu N2000-järjestelmään.



Kuva 14. Vasemman puolen nurkkapellit viipalekuvana.



Kuva 15. Perustuksen vasen nurkka pistepilvikuvana.



Kuva 16. Perustuksen oikea nurkka pistepilvikuvana.

Tulokset

Testin tulokset on esitetty seuraavassa (Taulukko 1). Taulukossa luvut on saatu vähentämällä skannauksen pistepilvestä mitatut koordinaatit referenssimittauksen koordinaateista. Seinäpeltien nurkan mittauksessa etäisyyserot olivat 5,1 cm oikeassa nurkassa ja 3,2 cm vasemmassa ja perustuksen nurkan mittauksessa erot olivat 3,7 cm oikeassa nurkassa ja 4,8 cm vasemmassa. Näiden keskiarvo on 4,2 cm eli sen verran keskimäärin skannattujen pisteiden paikat poikkeavat keskimäärin referenssimittauksen paikoista. Arvo on hyvin linjassa P1 / V10i- yhdistelmälle luvattuun 5 cm arvon kanssa.

Skannauksen mukaan rakennuksen pituus seinäpelleistä mitattuna oli 56,460 m ja perustuksesta mitattuna 56,281 m. Ero rakennuksen pituudessa oli skannatun tuloksen ja referenssimittauksen välillä -1,9 cm (seinäpellit) ja -0,7 cm (perustus). Myös nämä arvot ovat P1-laitteelle luvattun tarkkuuden (2 cm) mukaiset.

Paikkaero GK26 - koordinaateissa -> (N / E)	Seinäpellit, oikea nurkka	Seinäpellit, vasen nurkka
	0,032	-0,008
	-0,041	-0,030
	Etäisyysero takymetritulokseen [m]	Etäisyysero takymetritulokseen [m]
	0,051	0,032
Paikkaero GK26 - koordinaateissa -> (N / E)	Perustus, oikea nurkka	Perustus, vasen nurkka
	0,016	0,006
	-0,034	-0,047
	Etäisyysero takymetritulokseen [m]	Etäisyysero takymetritulokseen [m]
	0,037	0,048
	Rakennuksen pituus ulkoseinistä, P1-tulos miinus takymetritulos [m]	Rakennuksen pituus perustuksesta, P1-tulos miinus takymetritulos [m]
	-0,019	-0,007

Taulukko 1. Erot pistepilven ja referenssimittauksen välillä.

¹ <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar#Terrestrial>

² https://en.wikipedia.org/wiki/Simultaneous_localization_and_mapping

³ <https://dimense.fi/mittalaitteet-ja-anturit/south-acutelas-spl-3d-laserskanneri/>

⁴ <https://talliosake.fi/>

⁵ <https://www.fjdynamics.com/product/fjd-trion-p1-lidar-scanner>

⁶ https://www.engineeringtoolbox.com/light-material-reflecting-factor-d_1842.html

⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Cartesian_coordinate_system

⁸ https://dimense.fi/site/assets/files/2194/9_rtk_gnss_laitteen_vertailu.pdf