

Ari Jääskeläinen

# FARO Focus <sup>3D</sup> -laserskannerin käyttöönotto ja testaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma  
Insinöörityö  
5.6.2011

|  |  |
|--|--|
| Tekijä<br>Otsikko  | Ari Jääskeläinen<br>Faro Focus <sup>3D</sup> -laserskannerin käyttöönotto ja testaus |
| Sivumäärä<br>Aika  | 34 sivua + 1 liite<br>5.6.2011   |
| Tutkinto   | insinööri (AMK)  |
| Koulutusohjelma  | maanmittaustekniikka   |
| Suuntautumisvaihtoehto   |  |
| Ohjaajat   | mittauspäällikkö Esa Hiltunen<br>yliopettaja Vesa Rope                               |
| <p>Insinöörityön aiheena oli esitellä uuden laserskannerimalli FARO Focus 3D:n käyttöönottoa ja testausta Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy:ssä. Työssä tutkittiin myös skannatun ai-<br/>neiston eli pistepilven käsittelyä pistepilvenkäsittelyohjelmistoilla.</p> <p>Työtä tehdessä oli käytössä valmistajan ja maahantuojan tuottamia esitteitä ja aiheeseen<br/>liittyviä lehti- ja internetartikkeleita. Työn tulokset perustuvat käytännön kokemuksiin sekä<br/>Pohjatekniikan mittaushenkilöstön kanssa käytyihin keskusteluihin.</p> <p>Focus 3D on teknisesti kehittynyt, pienikokoinen ja edullinen laserskanneri. Laite hankittiin<br/>pian sen julkistamisen jälkeen ja toimitusongelmien jälkeen sen käyttöä päästiin testaa-<br/>maan. Laitteella testattiin esimerkiksi neuvotteluhuoneen skannausta ja tulosten käsittelyä<br/>sekä käytössä olevien mittaustähysten tunnistamista pistepilvestä. Testien perusteella laite<br/>todettiin monipuoliseksi, nopeaksi ja helppokäyttöiseksi.</p> <p>Pistepilvien käsittely osoittautui aluksi hankalaksi toimenpiteeksi, koska ohjelmistojen toi-<br/>mintaan ei ollut ehditty perehtyä tarpeeksi ja ohjelmistojen yhteistoimintaa ei heti osattu<br/>hyödyntää. Käytössä olevilla ohjelmistoilla pystytään kuitenkin yhdessä käsittelemään pis-<br/>tepilviä kattavasti, vaikka yksittäisissä ohjelmistoissa onkin havaittavissa puutteita.</p> <p>Testiskannausten ja työn lopussa esiteltävän skannausprojektin perusteella voidaan todeta<br/>laserskannauksen antavan hyvät mahdollisuudet mittaustoiminnan kehittämiseksi, kunhan<br/>ymmärretään ja ratkaistaan skannaus- ja käsittelyprosessin ongelmat. Skannausprojekteis-<br/>sa etukäteen tehtävän mittaussuunnitelman tärkeys korostuu, koska työssä tehtyjen vir-<br/>heiden korjaaminen vie paljon aikaa.</p> |  |
| Avainsanat   | FARO Focus <sup>3D</sup> , laserskanneri, pistepilvenkäsittely                       |

|   |   |
|---|---|
| Author  | Ari Jääskeläinen  |
| Title   | The commissioning and testing of a FARO Focus <sup>3D</sup> laser scanner |
| Number of Pages   | 34 pages + 1 appendix   |
| Date  | 5 June 2011   |
| Degree  | Bachelor of Engineering   |
| Degree Programme  | Land Surveying  |
| Specialisation option   |   |
| Instructors   | Esa Hiltunen, Surveying Manager<br>Vesa Rope, Principal Lecturer          |
| <p>The purpose of this final year project was to describe the commissioning and testing of a FARO Focus 3D laser scanner by Consulting Engineers Pohjatekniikka Ltd. This study also investigates the processing of the scanned data, also known as point clouds, by using three different items of point cloud processing software.</p> <p>Data sheets produced by the manufacturer and the importer of the device, along with magazine and Internet articles, were used as background information for this study. The results of the study are based on hands-on experience and conversations with the surveying staff at Pohjatekniikka.</p> <p>The Focus 3D is technically advanced, yet compact and economical. Pohjatekniikka Ltd acquired the device soon after it was launched and after some delivery difficulties commenced testing it. The tests included scanning a conference room and the surveying and recognition of reference targets from a point cloud.</p> <p>At first, the processing of point clouds proved to be a difficult procedure because of lack of experience in operating the new software. With collaboration of the software available, it is possible to properly process point clouds despite individual software shortcomings.</p> <p>The results of this study show that laser scanning provides great possibilities for developing surveying, as long as the difficulties in scanning and point cloud processing are comprehended and addressed. To avoid time-consuming errors in scanning projects, a pre-scanning plan is essential.</p> |   |
| Keywords  | FARO Focus <sup>3D</sup> , laser scanner, point cloud processing          |

## Sisällys

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Johdanto   | 1  |
| 2     | Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy                      | 2  |
| 3     | FARO Focus <sup>3D</sup> -laserskanneri                  | 3  |
| 3.1   | Toimintaperiaate   | 3  |
| 3.2   | Tekniset ominaisuudet                                    | 5  |
| 4     | Skannerin käyttöönottoprosessi                           | 9  |
| 4.1   | Hankintatarve ja -perusteet                              | 9  |
| 4.2   | Skannerin toimitus                                       | 10 |
| 4.3   | Koulutus   | 11 |
| 4.4   | Testiskannaukset   | 11 |
| 4.4.1 | Neuvotteluhuoneen skannaukset                            | 11 |
| 4.4.2 | Tähystesti   | 15 |
| 5     | Skannausdatan käsittely                                  | 19 |
| 5.1   | Pistepilvenkäsittelyohjelmistot ja niiden toiminnot      | 19 |
| 5.1.1 | Faro Scene   | 20 |
| 5.1.2 | AutoCAD 2011 pistepilvien käsittelyssä                   | 23 |
| 5.1.3 | Kubit PointCloud Pro                                     | 24 |
| 6     | Ensimmäinen laserskannausprojekti: esimerkkikohde Kamppi | 28 |
| 6.1   | Skannausten suorittaminen                                | 28 |
| 6.2   | Skannausdatan käsittely                                  | 29 |
| 6.3   | Projektin pohdintaa                                      | 31 |
| 7     | Yhteenveto   | 33 |
|       | Lähteet  | 34 |

## Liitteet

Liite 1. Tähestestin tulostaulukko

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää uuden FARO Focus<sup>3D</sup>-laserskannerin käyttöönottoa konsulttiyrityksessä ja skannerin tuottaman mittausaineiston jälkikäsitteilyä valmistajan omalla ohjelmistolla, sekä Autodeskin AutoCAD 2011:n ja sen liitännäisohjelmalla Kubit PointCloud Pron avulla. Työn avulla käyttäjä saa lisätietoa laitteesta ja mittausaineiston käsittelymahdollisuuksista.

Työ suoritettiin Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy:lle, joka on Suomessa ensimmäisten joukossa ottanut tämän laserskannerimallin käyttöönsä. Laserskannerin hankkiminen tuo uusia mahdollisuuksia Pohjatekniikan mittausosaston toimintaan, esimerkiksi rakennusten sisätilojen ja julkisivujen 3D-mittauksiin.

Suomessa hieman tuntemattomampi laitevalmistaja FARO Technologies Inc. ja vastikään markkinoille tullut uusi laitemalli toivat oman haasteensa työn toteutukseen. Insinööriyötä tehdessä laitteen teknisistä ominaisuuksista on käytettävissä lähinnä valmistajan ja maahantuoja tuottamaa esittelyaineistoa, johon työn tekniset yksityiskohdat pitkälti perustuvat. Käytännön kokemuksia laitteen käyttäjiltä ei työtä tehdessä ole ollut saatavilla, lukuun ottamatta joitain neuvoja maahantuojalta. Muita insinööriyön lähdeaineistoja ovat laserkeilausta käsittelevät lehti- ja Internetartikkelit, Pohjatekniikan mittaushenkilöstön kanssa käydyt keskustelut sekä omat käytännön kokemukset.

## **2 Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy**

Pohjatekniikka on kotimainen geotekniseen suunnitteluun erikoistunut insinööritoimisto, jonka palveluihin kuuluvat pohjatutkimukset, pohjarakennussuunnittelu, pohjarakennusvalvonta, ympäristögeotekniikka, ympäristöselvitykset ja mittauspalvelut. Yritys työllistää 38 henkilöä ja sen toimisto sijaitsee Helsingissä. [1.]

Yritys aloitti toimintansa vuonna 1969, ja koko toimintansa ajan se on ollut mukana erityisesti pääkaupunkiseudun kasvun ja kehityksen kannalta merkittävässä rakennushankkeissa. Nykyään toimintaa on myös Venäjällä ja Baltiassa. Viime vuosien aikana Pohjatekniikka on ollut mukana esimerkiksi Keilalahden toimistorakennusten ja Fennovoiman energiarakentamisen hankkeissa. [2.]

Pohjatekniikan mittausosasto koostuu mittauspäälliköstä ja seitsemästä mittamiehestä, jotka ovat koulutukseltaan maanmittausalan insinöörejä (AMK) tai kartoittajia. Noin puolet mittausosaston toiminnasta on maa-alueiden kartoitusta ja pohjatutkimuspisteiden maastoonmerkitsemistä yrityksen suunnittelu- ja pohjatutkimusosastojen käyttöön. Loput mittaustehtävistä jakautuvat puoliksi painumaseurantojen ja muiden mittaustehtävien kesken. Muihin mittaustehtäviin kuuluu esimerkiksi rakennusmittauksia, julkisivumittauksia ja kiinteistöjen sisätilakartoituksia.

Kaikki mittaukset suoritetaan nykyaikaisilla mittauslaitteilla. Uuden laserskannerin lisäksi Pohjatekniikalla on käytössä neljä Leican lasertakymetria, kaksi digitaalista tarkkaavaituskojetta, sekä kaksi VRS-GPS-mittausyksikköä. Mittaushenkilöstö tekee itse tulokset mittauksista AutoCAD- ja MicroStation-ohjelmistoilla.

Mittausosaston referensseistä mainittakoon Helsingin Stockmannin mittaukset jo parinkymmenen vuoden ajalta, mm. ensimmäisten CAD (Computer Aided Design) -pohjaisten kuvien tekeminen kiinteistöistä ja uuden Stockmann Q-Park-pysäköintilaitoksen mittaukset.

### 3 FARO Focus<sup>3D</sup> -laserskanneri

FARO Focus<sup>3D</sup> -laserskanneri on yhdysvaltalaisen FARO Technologies Inc. yhtiön uusi tuotemalli, joka esiteltiin vuoden 2010 syksyllä Intergeo 2010 –näyttelyssä Saksassa. Laserskanneria ryhdyttiin tuomaan Suomeen loppuvuodesta 2010 Nordic Geo Center Oy:n toimesta ja ensimmäiset Suomeen tilatut laitteet toimitettiin joulukuussa 2010. [3.]

Valmistaja ja maahantuojat markkinoivat skanneria erityisesti sen edullisen hinnan ja pienen koon perusteella. Laite soveltuu moniin käyttötarkoituksiin kuten koneenosien mittaus ja takaisinmallinnus, rakennusten sisäosien ja julkisivujen mittaus, rikospaikkojen dokumentointi, rakennusvalvonta, kohteiden muutosmittaukset ja kulttuuriperintökohteiden dokumentointi. [3.]

FARO Focus<sup>3D</sup> -laserskannerista on markkinoilla kaksi eri versiota. Toinen on tarkoitettu lyhyemmille mittausetäisyyksille 20 metriin asti ja toinen pidemmille mittausetäisyyksille 120 metriin asti. Tässä insinööriyössä käsitellään Insinööritoimisto Pohjatekniikan hankkimaa laserskanneria, jonka mittausetäisyys on 120 metriä.

#### 3.1 Toimintaperiaate

FARO Focus<sup>3D</sup> on maalaserskanneri eli maanpinnalla jalustan päältä staattisesti mittaava laite. Maalaserskannereiden etäisyydenmittaus perustuu yleisesti joko laserpulssin kulkuajan tai lasersäteen signaalin vaihe-eron mittaamiseen, joista FARO Focus<sup>3D</sup> hyödyntää jälkimmäistä. [4.] Skanneri siis lähettää infrapuna-alueen lasersädettä, joka heijastuu mitattavasta kohteesta takaisin laitteelle. Skanneri laskee etäisyyden millimetritarkkuudella analysoimalla lähtevän ja palaavan signaalin vaihe-eroa. Vaihe-eromittauksella saadaan aikaan suurempi mittauspulssien lähetysnopeus ja parempi mittaustarkkuus lyhyillä etäisyyksillä verrattuna laserpulssin kulkuajan mittaamiseen. [5.]

Laserskannauksessa ei keskitytä yksittäisiin havaintoihin mitatuista pisteistä, kuten esimerkiksi takymetrimittauksessa, vaan haluttu kohde skannataan ennalta asetetulla vaak- ja pystykulman määrittelemällä pisteverkolla. Skannauksen muodostamaa 3D-pistejoukkoa kutsutaan pistepilveksi, joka voi sisältää miljoonia pisteitä. [4.]

Focus<sup>3D</sup>-skanneri muodostaa pistepilven pyörimällä jalustan päällä vaakatasossa pystyakselinsa ympäri ja laitteen keskellä oleva kaltevapintainen peili (kuva 1) pyörii vaak akselinsa ympäri poikkeuttaen lähteviä lasersäteitä pystysuunnassa. Näin saadaan aikaan tasaisesti jakautunut tiheä pistepilvi skannattavasta kohteesta. Lasersädettä lähettäessään skanneri rekisteröi oman asentonsa eli laitteen vaakakulman ja peilin pystykulman. Etäisyys, pystykulma ja vaakakulma muodostavat yhdessä napakoordinaatit ( $\delta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ) pisteelle, joista laite laskee pisteen karteesiset koordinaatit ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). [5.] Koordinaatiston origona on piste, jossa lähtevä lasersäde osuu peiliin.



Kuva 1. Yleiskuva FARO Focus<sup>3D</sup>-laserskannerista, johon on merkitty sen oleellisia osia.



Sijaintitietojen lisäksi jokaiselle pisteelle määräytyy intensiteetti-arvo. Lasersäteen heijastuessa kohteesta takaisin laitteelle se menettää osan intensiteetistään. Pisteiden intensiteetti-arvo on sama kuin kohteesta takaisin heijastuvan säteilyn intensiteetti. Jokainen piste saa sävyarvon intensiteetti-arvonsa perusteella, mikä helpottaa kohteessa olevien yksityiskohtien hahmottamista. Huomattavimmat säteen intensiteettiin vaikuttavat tekijät ovat kohteen materiaali, värisävyt, pinnan tasaisuus ja säteen osumiskulma. [6.]

Lasermittauksen lisäksi FARO Focus<sup>3D</sup>:ssä on sisäänrakennettu koaksiaalinen High Dynamic Range (HDR) -kamera, jonka kuvien avulla saadaan aikaan värillisiä pistepilviä. Koaksiaalirakenteen johdosta värikuvan ja mittausaineiston välille ei synny paralaksia. [3.]

### 3.2 Tekniset ominaisuudet

Laserskannerin käyttäjän kannalta oleellisimpia teknisiä tietoja, kuten mittausetäisyys, tarkasteltaessa on aina otettava huomioon ympäröivät olosuhteet ja kohteen ominaisuudet. Tiettyjä arvoja ei voi esittää absoluuttisina vaan ne ilmoitetaan tiettyjen parametrien mukaan. Taulukossa 1 on esitetty mittausetäisyys, mittausvirhe sekä kohinan määrä, kun kohteen heijastusarvo on  $\rho = 10\%$  tai  $\rho = 90\%$ , mikä on yleistä laserskannereiden ominaisuuksia esitettäessä. Heijastusarvo  $\rho$  ilmaisee, kuinka suuren määrän kohteeseen osuneen laserin energiasta kohde heijastaa takaisin mittalaitteelle. [4.] Lisäksi etäisyydenmittausvirhe ja kohina on ilmoitettu 10 ja 25 metrin etäisyydeltä mitattaessa. Taulukossa oleva kohinan arvo on esitetty suodatetusta pistepilvestä, suodattamattoman pistepilven kohina on kaksinkertaisesti suurempi [7]. Kohinalla tarkoitetaan mitatun pisteen hajontaa.

Taulukko 1. FARO Focus<sup>3D</sup> -laserskannerin teknisiä tietoja [7].

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Mittausetäisyys                    | 0,6 – 120 metriä, $\rho = 90 \%$   |
| Mittausnopeus                      | 122 000 / 244 000 / 488 000 / 976 000 pistettä sekunnissa  |
| Etäisyydenmittausvirhe             | $\pm 2$ mm (10 ja 25 m etäisyydellä, kun $\rho = 10 \%$ ja $\rho = 90 \%$ )  |
| Kohina                             | 0,3 mm, $\rho = 90 \%$ ja 0,6 mm, $\rho = 10 \%$ , 10 m etäisyydellä<br>0,5 mm, $\rho = 90 \%$ ja 1,1 mm, $\rho = 10 \%$ , 25 m etäisyydellä |
| Mittausalue                        | Pystykulma 305°, vaakakulma 360°   |
| Kulmaresoluutio                    | 0,009°   |
| Laserin teho                       | 20 mW (Turvallisuusluokka: 3R)   |
| Aallonpituus                       | 905 nm   |
| Lasersäteen divergenssi            | 0,16 mrad (0,009°)   |
| Lasersäteen halkaisija (lähtäessä) | 3,8 mm   |
| Kameran resoluutio                 | 70 megapikseliä  |
| Hallintalaitteisto                 | Kosketusnäyttö   |
| Käyttöliittymä                     | Linux  |
| Datan tallennus                    | SD-muistikortti  |
| Ulkomitat                          | 24x20x10 cm  |
| Paino                              | 5 kg   |
| Virtalähde                         | 14,4 V, sisäinen akku ja 19 V, ulkoinen akku   |

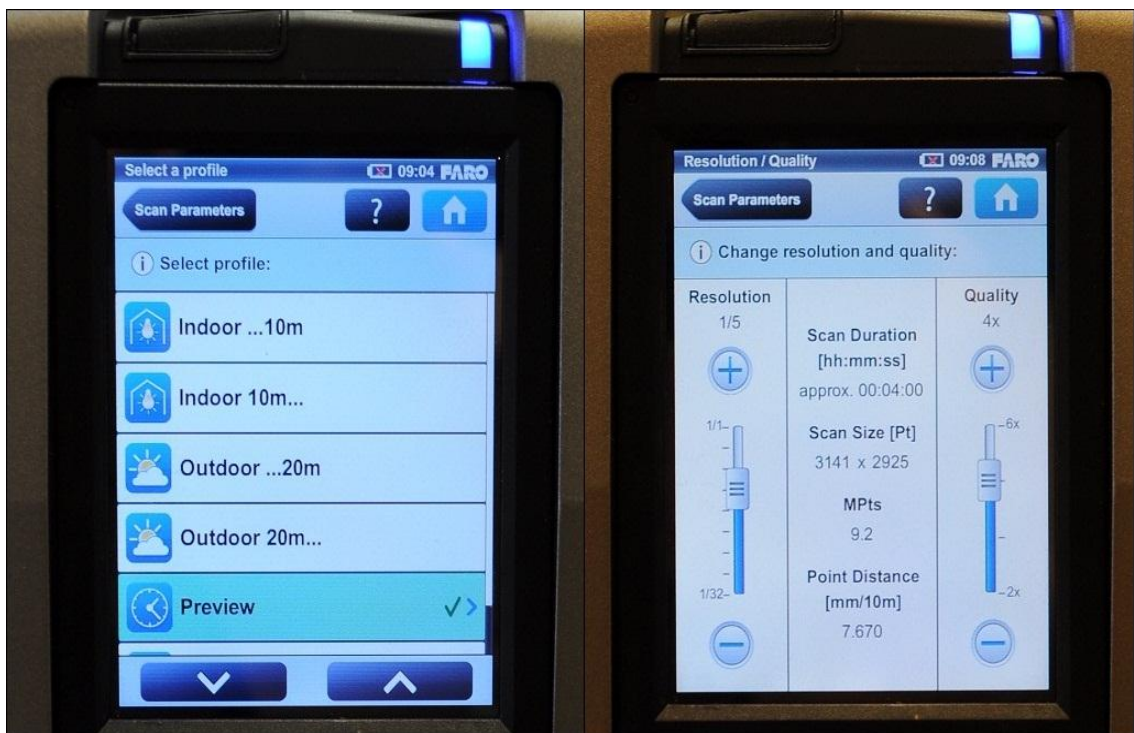
Täyden mittausalueen (360° x 305°) skannausajaksi on teknisissä esitteissä ilmoitettu 3 minuuttia mustavalkoisena ja 5 minuuttia, kun skannauksen lisäksi kohde kuvataan värikuvina HDR-kameralla [8]. Skanneri tekee skannauksen jälkeen ylimääräisen kierroksen ottaessaan värikuvia, mistä johtuu pidempi mittausaika. Mittausaika kuitenkin vaihtelee alle minuutista jopa kahteen tuntiin halutun mittausresoluution ja pistelaadun mukaan. Lisää tietoa mittausajoista löytyy liitteestä 1.

Täyden mittausalueen skannaus sopii mittauksiin, joissa mitattavia kohteita sijaitsee skannerin ympärillä, esimerkiksi sisätilamittauksissa. Jos halutaan skannata vain tiettyyn suuntaan, esimerkiksi rakennuksen julkisivun skannaus, suoritetaan skannerilla täyden skannausalueen preview- eli esikatselumittaus, jonka tuloksista voidaan kosketusnäytön avulla määrittää haluttu skannausalue tarkempaa skannausta varten.

Mittauskulmat voidaan määrittää myös suoraan ilman preview-mittausta, mutta tällöin tulee tuntea laitteen asento kohteeseen nähden.

Laitteessa on valmiiksi kuusi erilaista skannausprofiilia:

- sisätilaskannaus alle 10 metrin etäisyyksillä
- sisätilaskannaus yli 10 metrin etäisyyksillä
- ulkoilmaskannaus alle 20 metrin etäisyyksillä
- ulkoilmaskannaus yli 20 metrin etäisyyksillä
- preview-skannaus
- Object HD (High Definition) -skannaus



Kuva 2. Kuvassa vasemmalla näkyy laserskannerin profiilivalikko ja oikealla resoluution ja laadun säätövalikko.

Jokaiselle profiilille on omat resoluution ja pisteen laatuun liittyvät arvonsa, jotka vaikuttavat myös mittausaikaan. Nämä ovat oletusarvoja, joita voi vapaasti muuttaa kuvassa 2 näkyvästä säätövalikosta ja myös uusia mittausprofiileja voi luoda ja tallentaa vapaasti.

Skannerin lasersäde kuuluu aallonpituudeltaan infrapunalasereihin ja on turvallisuusluokkaa 3R. Luokan 3R lasersäde voi aiheuttaa pysyvän vaurion silmässä jos se osuu suoraan tai heijastuu sileästä pinnasta. Samaan luokkaan kuuluvat tehokkaimmat ammattikäyttöön tarkoitetut rakennus- ja tähtäyslaserit. [9.] Taulukossa on myös mainittu lasersäteen divergenssi eli lasersäteen hajoamiskulma, joka ilmaisee avaruuskulman, jonka sisällä lasersäteen energia etenee ja heikkenee määriteltyyn murto-osaan huipuintensiteetistään. Divergenssiarvo 0,16 mrad on hyvin pieni, mikä on hyvän mittaus-tarkkuuden edellytys. [10, s. 13.]

Kosketusnäytön (kuva 1) ja pienen kokonsa (taulukko 1) johdosta Focus<sup>3D</sup> on helppokäyttöinen. Laitetta on helppo liikutella paikasta toiseen ja kosketusnäyttöohjaus mahdollistaa skannauksen suorittamisen ilman ulkoista ohjauslaitteistoa. Mittausdata tallentuu Secure Digital (SD) -muistikortille, mikä mahdollistaa helpon ja nopean tiedonsiirron tietokoneelle. [7.]

Skannerin sisäisen akun virta riittää viideksi tunniksi. Akkua voidaan kuitenkin ladata käytön aikana tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää ulkoista akkua virtalähteenä [8.]

## 4 Skannerin käyttöönottoprosessi

### 4.1 Hankintatarve ja -perusteet

Laserskannerin hankintaa Pohjatekniikalle on harkittu jo useamman vuoden ajan. Yritys on aiemminkin työskennellyt laserskannausten parissa, mutta skannausaineistot on tuotettu alihankintana ja niitä on käytetty omien mittausten ja mallinnusten apuna. Yrityksen oman laserskannerin hankintaa on lykätty korkeiden laitehintojen ja pienen asiakaskohderyhmän vuoksi [11].

Viime vuosien aikana laserskannaushankkeiden kysyntä on kuitenkin kasvanut ja laitehinnat ovat laskeneet, etenkin FARO Focus 3D:n kohdalla. Maahantuojaan mukaan Focus<sup>3D</sup> on markkinoiden halvin 3D-laserskanneri [8]. Päätös yrityksen oman laitteen hankinnasta tehtiinkin vuoden 2010 lopulla, kun FARO Focus<sup>3D</sup> oli esitelty Intergeo 2010 -näyttelyssä [11]. Edullinen laitehintaa, kehittynyt laiteteknologia ja kasvava kysyntä 3D-skannauksille luovat hyvän pohjan kustannustehokkaalle mittaustoiminnalle.

3D-laserskannerin käyttöönotto tuo uusia mahdollisuuksia Pohjatekniikan mittaustoimintaan. Tavoitteena on mitata laserskannerilla laadukasta ja mittatarkkaa pistepilviaineistoa, jota käsitellään FARO Scene -ohjelmistolla. Tuloksena voidaan tuottaa monipuolisia 2D-leikkauksia tai 3D-malleja, joissa apuna voidaan käyttää esimerkiksi AutoCAD 2011 -ohjelmistoa. Skannaustuotteita voidaan käyttää Pohjatekniikan omien mittaus- ja suunnitteluprojektien tukena tai lähettää asiakkaalle toiveiden mukaisia tuotteita. Pohjatekniikan mittaustoiminnalle ominaisia käyttökohteita laserskannerille voivat olla [11]:

- rakennuksien julkisivujen mittaus
- rakennuksien tila- ja inventointimallit
- rakennuksien pohjapiirustukset ja poikkileikkaukset
- perustuslouhintojen tarkemittaus ja tilavuuslaskenta
- tunneleiden ja kalliotilojen mittaus
- monimutkaisten rakennusosien tarkemittaus (reliefit, holvikaaret, kupolit).

## 4.2 Skannerin toimitus

Hankintapäätöksen jälkeen laite tilattiin marraskuussa 2010. Toimitusajaksi ilmoitettiin yksi kuukausi, mutta uuden laitteen teknisistä ongelmista johtuen laitetoimitus myöhästyi. Ongelmia oli esimerkiksi linssinpäälysteen kanssa, jonka todettiin vaikuttavan heikentävästi mittaustarkkuuteen. Ongelmat korjattiin ennen kuin laite lähetettiin Pohjatekniikalle joulukuussa 2010. Pohjatekniikan laite oli yksi kolmesta ensimmäisestä Suomeen toimitetuista FARO Focus<sup>3D</sup>-laserskannerista.

Toimitetussa laitepaketissa oli mukana itse skanneri, SD-muistikortti, FARO Scene -ohjelmisto ja kuljetuslaukku. Laite jouduttiin toimittamaan ilman akkuja, koska alkupe räisiä akkuja ei saanut kuljettaa lentokoneerahtina. Tästä syystä laitteen käyttöä kyettiin opettelemaan ja testaamaan aluksi vain verkkovirralla.

Uudet akut lähetettiin jälkitoimituksena kun ne saatiin valmistetuksi. Ulkoiset akut vaikuttivat heikosti suojatuilta ulkoisia tekijöitä, kuten sääolosuhteita ja likaa, vastaan, joten Pohjatekniikassa päätettiin kehittää itse lisäsuojat akuille. Kuvassa 3 näkyy ulkoinen akku suojakuoressaan, joka koostuu kumisesta putkesta akun ympärillä ja päädyissä olevista muovipaloista, joista toisesta päädyistä tulee akun virtapistoke läpi. [11.]



Kuva 3. Ulkoinen akku uudessa suojakuoressaan kiinnitettynä mittausjalustaan. Suojakuori suojaa akkua mm. kosteudelta ja pölyltä.

Myös FARO Scenen toimitetussa ohjelmistoversiossa oli virheitä, joiden johdosta ohjelmisto täytyi päivittää. Virheitä oli esimerkiksi ohjelman toiminnossa, jonka avulla piste-pilvestä voidaan muodostaa leikkauksia. Ensimmäinen versio Scenestä oli 32-bittinen, mutta päivityksen yhteydessä se vaihdettiin 64-bittiseen versioon. [11.] Toimiva laitteistokokonaisuus oli valmis tammikuun lopussa, minkä jälkeen laitteistoa päästiin kunnolla testaamaan.

### 4.3 Koulutus

Koulutusta laitteen ja ohjelmiston käyttöön antoi maahantuojaja Nordic Geo Center Oy. FARO:n laitteisto on helppokäyttöinen, minkä vuoksi koulutustarve on vähäistä ja koulutus sisältää lähinnä skannerin ja ohjelmiston käytön esittelyä. Uudesta skannerimallista johtuen koulutus ei kuitenkaan ollut täysin aukotonta laitteen käytännön mittauskokemuksen puutteesta johtuen. Lisäkoulutusta ja -neuvoja laitteen operoimiseen on saatavilla tarpeen mukaan kun kokemusta laitteesta saadaan lisää. Laitteen käyttöön tutustumista helpottaa myös käyttöliittymän yhteydessä oleva valikkokohtainen ohjeistus, joka on luettavissa suoraan laitteen näytöltä käytön yhteydessä. [11.]

### 4.4 Testiskannaukset

Laserskannerin käyttöä testattiin useita kertoja Pohjatekniikan toimiston sisätiloissa ja toimistorakennuksen ulkopuolella. Tässä kappaleessa esitellään Pohjatekniikan toimiston neuvotteluhuoneen testiskannauksia, mittausjärjestelmien testausta ja samalla kerrotaan lisää FARO Focus<sup>3D</sup> -laserskannerin toiminnasta.

#### 4.4.1 Neuvotteluhuoneen skannaukset

Testikohteeksi valittiin neuvotteluhuone (kuva 4) sen avaran tilan ja yksinkertaisen pohjaratkaisun vuoksi. Skannausprosessi alkoi mittausjalustana toimineen Leican kolmi-jalan pystyttämällä vapaalle asemapisteelle. Mittausjalusta pystytettiin jalustatähden päälle, jotta jalustan jalat eivät liikkuisi liukkaalla lattialla. Jalustan korkeus säädettiin siten, että skanneri saatiin asetettua mittaajan kasvojen korkeudelle. Skanneri kiinnitettiin jalustaan Leican pakkokeskisen avulla, mikä onnistui skannerin mukana tulleen adapterin avulla. Skanneri kiinnitettiin adapteriin kiertämällä se kiinni adapterissa ole-

vaan ruuviin. Tasaus tapahtui pakkokeskisen säätöruuvien avulla. Ennen skannausta huoneeseen asetettiin vielä kolme tähystä, joiden avulla skannattu aineisto saataisiin haluttaessa kiinnitettyä erilliseen koordinaatistoon.



Kuva 4. Testiskannauksen kohteena toiminut Insinööritoimisto Pohjatekniikan neuvotteluhuone ja mittausvalmiudessa oleva FARO Focus<sup>3D</sup>.

Ennen virran kytkemistä skanneriin asetettiin SD-muistikortti tiedonsiirtoa ja -tallennusta varten. Virran kytkemisen jälkeen kosketusnäytölle avautui päävalikko, josta pääsee suoraan mittaamaan tai asettamaan skannausparametrejä, muuttamaan skannerin yleisiä asetuksia, hallitsemaan skannaustiedostoja ja tarkastelemaan tehtyjä skannauksia.

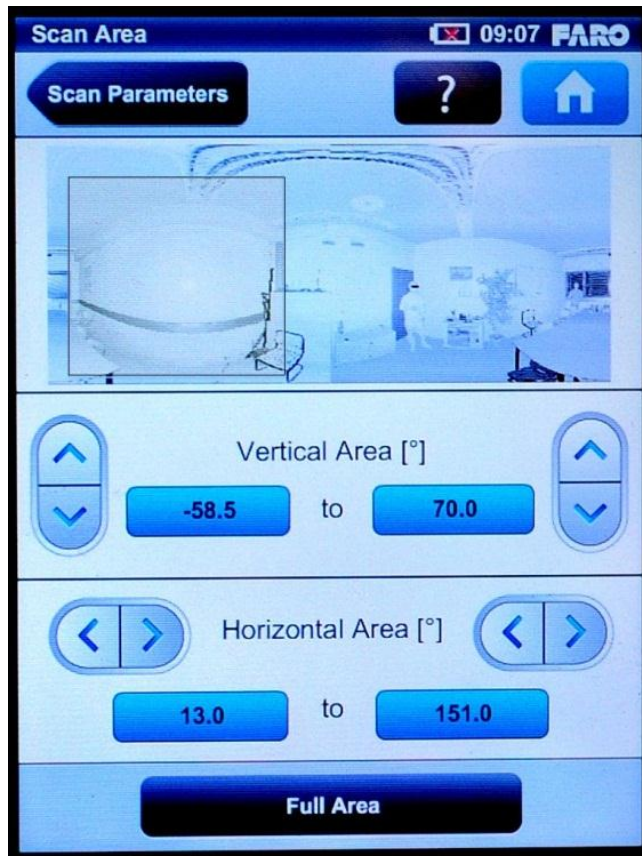
Ensimmäiseksi luotiin tiedostohallintavalikosta uusi tiedostokansio, minkä jälkeen valittiin parametrivalikosta skannausprofiiliksi alle 10 metrin etäisyyksien sisätilaskannaus, joka antaa oletusarvoiksi:

- mittausaika 3 minuuttia 44 sekuntia
- skannauksen koko 10240 x 4338  $\approx$  44,4 miljoonaa pistettä
- pisteiden välinen etäisyys 6,1 millimetriä / 10 metrin etäisyydellä



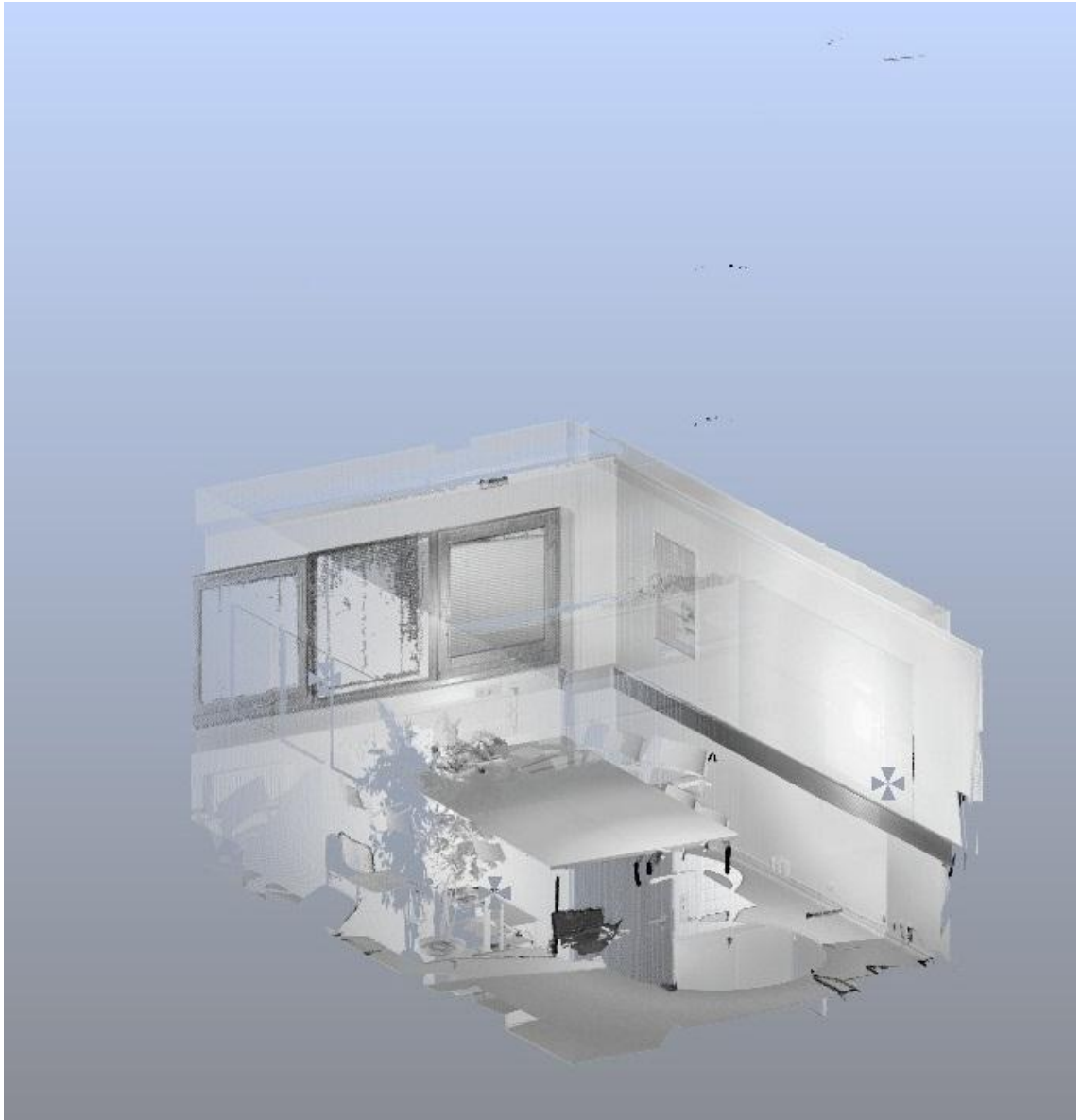
Tämän jälkeen skannausohjelma käynnistettiin, ja 3 minuutin 44 sekunnin kuluttua skannaus oli valmis. Skannaustulos avautui laitteen näytölle, mistä pystyi tarkastelemaan skannaustulosta. Näytön pienestä koosta johtuen ei skannauksen onnistumista voi yksityiskohtaisesti arvioida, mutta suurpiirteinen arviointi onnistuu.

Koko huoneen skannauksen jälkeen testattiin vielä preview-skannausta ja sen avulla tarkemman skannauksen rajausta vain yhteen huoneen seinistä. Preview-mittaus (360 x 305 astetta) kesti yhden minuutin ajan, minkä jälkeen skannaustuloksesta päästiin rajaamaan haluttu alue kuvassa 5 näkyvän rajauksen mukaisesti. On kuitenkin huomioitavaa, että mittausprofiili täytyi vaihtaa Preview-profilista alle 10 metrin sisätilaskannausprofiiliin ennen alueen rajausta, koska rajausvalinnat nollautuivat jos profiili vaihdettiin vasta aluerajauksen jälkeen.



Kuva 5. Kuva preview-mittauksen jälkeisestä skannausalueen rajausvalikosta. Haluttu skannausalue (kuvassa vaaleampi alue) rajataan kuvassa näkyvillä säätimillä.

Rajatun alueen skannauksen jälkeen kone sammutettiin ja testiskannaukset siirrettiin muistikortin välityksellä tietokoneelle ja niitä päästiin tarkastelemaan lähemmin FARO Scene -ohjelmistolla.



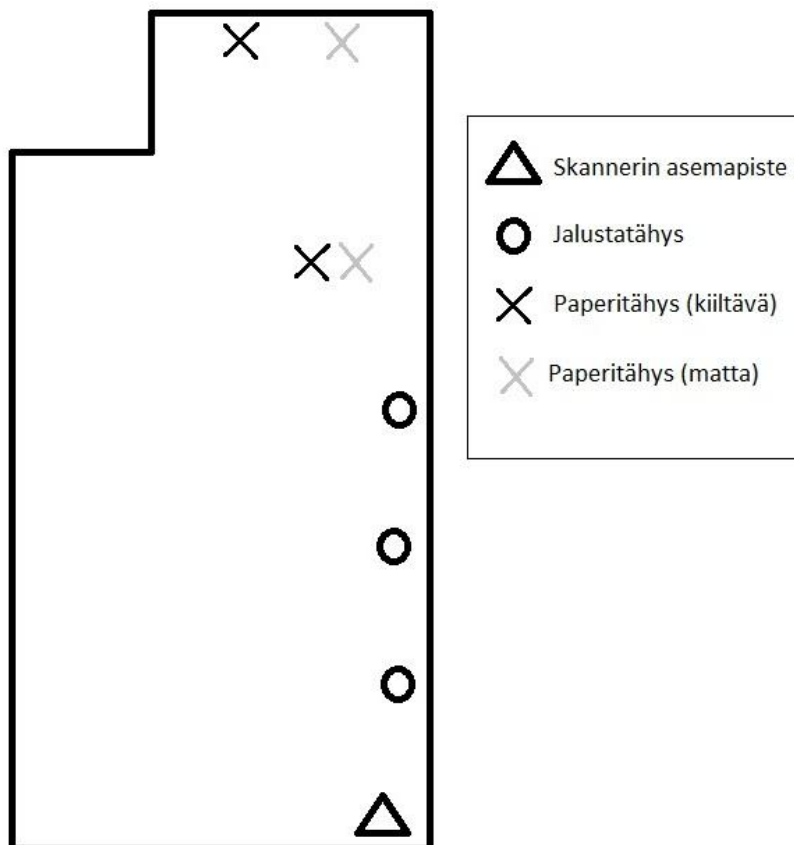
Kuva 6. Scenessä avattu neuvotteluhuoneen pistepilvi ulkopuolelta tarkasteltuna.

Kuvassa 6 näkyy kokonaiskuva neuvotteluhuoneen pistepilvestä. Silmämääräisesti analysoimalla voidaan sanoa, että huoneen pääpiirteet saatiin hyvin mukaan skannaukseen, mutta huoneen kalusteet jättivät lattiaan ja takaseinään melko laajan katvealueen. Tämä olisi korjattavissa useammalla kojeasemalla tai tyhjentämällä tila kalusteista. Skannauksessa käytetyt tarkkuusasetukset olivat turhan korkeita tämänkaltaisiin

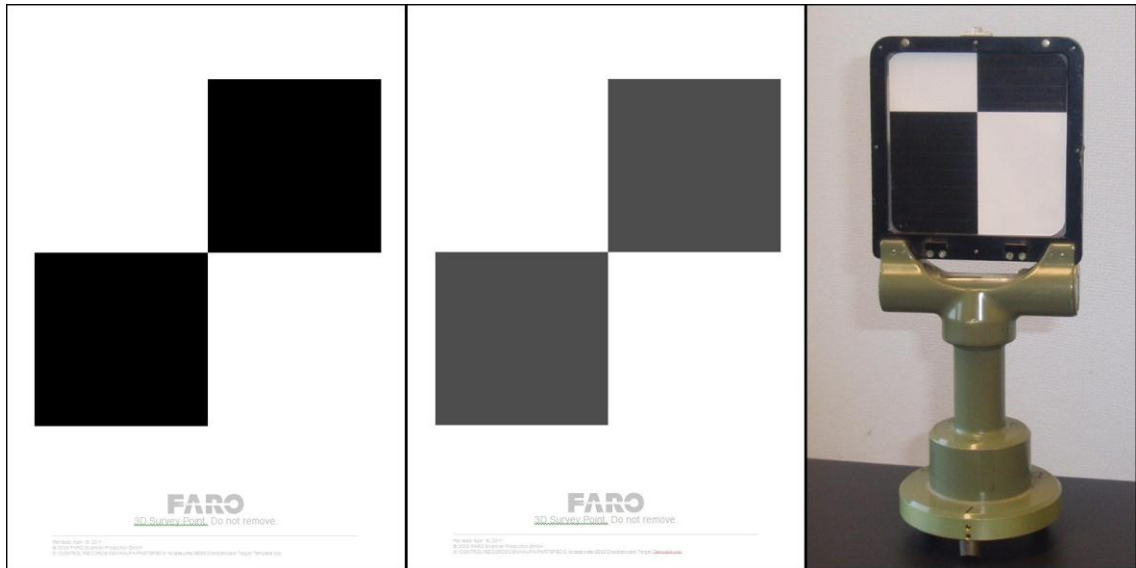
yksinkertaisiin skannaustöihin. Parempi vaihtoehto olisi esimerkiksi laskea tarkkuusasetuksia ja lisätä kojeasemia. Kuvassa näkyy huoneen yläpuolella tummia hajapisteitä, mitkä johtuvat todennäköisesti skannerin yläpuolella sijainneesta kirkkaasta valaisimesta, joka aiheutti häiriötä lasermittaukseen. Skannauksen jatkokäsittelystä kerrotaan lisää luvussa 5 *Skannausdatan käsittely*.

#### 4.4.2 Tähystesti

Laitetestauksen lisäksi oli tärkeä saada selville, kuinka hyvin tähykset erottuvat piste-pilvestä eri skannausresoluutiolla ja pistelaadulla. Tätä varten pystytettiin Pohjatekniikan varastotiloihin testirata. Testiradalle pystytettiin kolme tähystä jalustoille 5, 10 ja 15 metrin etäisyyksille laserskannerista ja A4-kokoisia paperitähkyksiä 20 ja 28 metrin etäisyydelle kuvan 7 esittämällä tavalla. Paperitähkyksiä oli käytettävissä kahta erilaista versiota: kiiltävä- ja mattapintaisia tähyksiä. Tähykset on esitelty kuvassa 8.



Kuva 7. Piirros testiradan asetelusta ylhäältä katsottuna.



Kuva 8. Insinööriyön testimittauksissa käytössä olleet tähykset. Ensimmäinen vasemmalta on kontrastiltaan paranneltu kiiltäväpintainen ruututähykset, keskimäinen on mattapintainen vaaleampi tähykset ja oikeanpuolimmainen on jalustatähykset.

Myös tämän skannaustyö aloitettiin  $360^{\circ} \times 305^{\circ}$  preview-skannauksen suorittamisella, minkä jälkeen tarkemmaksi skannausalueeksi rajattiin alue, jolla näkyi kaikki kohteena olleet tähykset. Ensimmäinen tarkempi skannausyritys epäonnistui valon heijastuessa jalustatähyksistä siten, että niitä ei pystytty tunnistamaan kuvalta. Tähyksien suuntausta muutettiin kääntämällä niitä pois päin valolähteistä, kuten loisteputkivalaisimet, minkä jälkeen valoheijastukset eivät aiheuttaneet ongelmia. Korjausten jälkeen sektoria skannattiin viisi kertaa eri resoluutio- ja pistelaatuasetusten kombinaatioilla, jotka näkyvät taulukossa 2. Taulukosta näkyvät myös kulunut mittausaika, skannauksen pistemäärä sekä tähykset, jotka FARO Scene -ohjelma pystyi tunnistamaan pistepilvestä. Taulukko on osa isompaa kokonaisuutta, joka näkyy liitteessä 1.

Taulukko 2. Tähyksetin tulostaulukko [liite 1].

| Mittaus | Resol. | Laatu | Aika  | Tähys 1<br>(5 m) | Tähys 2<br>(10 m) | Tähys 3<br>(15 m) | Tähys 4<br>(20 m) | Tähys 5<br>(28 m) | Tiedosto<br>(MPTs) |
|---------|--------|-------|-------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1       | 1/1    | 2x    | 7 min | ok               | ok                | ok                | ok                | ok                | 44                 |
| 2       | 1/2    | 4x    | 7 min | ok               | ok                | -                 | ok                | ok                | 11                 |
| 3       | 1/1    | 1x    | 4 min | ok               | ok                | -                 | ok                | ok                | 44                 |
| 4       | 1/2    | 3x    | 4 min | ok               | ok                | -                 | ok                | ok                | 11                 |
| 5       | 1/2    | 2x    | 2 min | ok               | ok                | -                 | ok                | ok                | 11                 |

Taulukkoon merkityt tähykset 1, 2 ja 3 ovat jalustatähyksiä etäisyydellä 5–15 metriä ja tähykset 4 ja 5 ovat kiiltäväpintaisia paperitähyksiä etäisyydellä 20–28 metriä. Mattapintaiset paperitähykset jätettiin taulukossa huomioimatta, koska ne eivät erottuneet pistepilvestä edes silmämääräisesti tarkasteltuna. 'ok' -merkintä kertoo tähyksen olevan tunnistettavissa FARO Scene -ohjelmalla ja '-' -merkintä kertoo, että tähyistä ei pystytty tunnistamaan FARO Scene -ohjelmalla. Resoluutio- ja laatuarvot ovat ilmoitettu skannerin käyttäminä suhteellisina arvoina (1/1 on paras resoluutioarvo ja 1x on alin laatuarvo). Tiedostokoko on ilmoitettu pistepilven pistemääränä (MPTs = miljoonaa pistettä).

Tulostaulukon perusteella voidaan päätellä, että jalustatähyksten tunnistaminen vaikeutuu jo lyhyillä etäisyyksillä (yli 10 metriä). A4-kokoiset kiiltäväpintaiset paperitähykset sen sijaan toimivat hyvin pidemmilläkin etäisyyksillä. Paperitähyksten kokoa voidaan vielä kasvattaa esimerkiksi A3-kokoon etäisyyksien edelleen kasvaessa.

Resoluutioarvot vaikuttavat mittausajan lisäksi tähyksen keskipisteen tunnistamisen tarkkuuteen. Mitä huonompi resoluutio, sitä huonommin tähyksen tarkka keskipiste erottuu pistepilvestä. Tämä vaikuttaa suoraan pistepilven rekisteröinnin ja georeferoinnin tarkkuuteen.



Kuva 9. Laserskannerin näkymä testiradasta FARO Scenessä.

Kuvassa 9. näkyy ensimmäisen onnistuneen skannauksen tulos, jossa kaikki taulukkoon merkityt tähykset pystyttiin tunnistamaan FARO Scenen avulla. Tähysten kohdalla näkyvät kelta-mustat tähtäinsymbolit ovat Scenen merkkejä onnistuneesta tähyksen tunnistamisesta. Kuvasta käy myös ilmi, miksi mattapintaiset paperitähykset hylättiin testituloksista. Niistä näkyvät vain A4-paperiarkin ääriviivat, eikä lainkaan ruutukuviota.

Testin perusteella tehtiin päätös tulevaisuuden projekteja varten sijoittaa jalustatähyksiä skannerin läheisyyteen ja paperitähyksiä pidemmille etäisyyksille skannauksia suoritettaessa. Jalustatähysten sijoittamisen kanssa tulee myös olla tarkkana valolähteiden kanssa, sillä tähysten pinta aiheuttaa helposti heijastuksia, joiden takia niitä ei pystytä tunnistamaan ja hyödyntämään.

## 5 Skannausdatan käsittely

Laserskannerin tuottamat pistepilvet ovat harvoin käyttökelpoisia ilman käsittelyä asianmukaisella ohjelmistolla. Jotta pistepilvestä saadaan mahdollisimman paljon hyötyä, on käsittely tehtävä tilaajan toiveiden ja pistepilven käyttötarkoituksen mukaisesti. Tässä kappaleessa kerrotaan, mitä toimenpiteitä pistepilville voidaan tehdä sekä esitellään Pohjatekniikassa käytössä olevien FARO Scene -pistepilvenkäsittelyohjelmiston, AutoCADin ja Kubit PointCloud Pron käyttöä pistepilvien käsittelyssä.

### 5.1 Pistepilvenkäsittelyohjelmistot ja niiden toiminnot

Jokaisella laserskannerivalmistajalla on myös oma ohjelmistonsa pistepilvien käsittelyyn. Näitä ovat esimerkiksi Leican Cyclone, Trimblen RealWorks ja FAROn Scene. Valmistajien omilla ohjelmistoilla tapahtuu pistepilven ensimmäinen käsittely, jossa suoritetaan mm. pistepilvien suodatus ja rekisteröinti, minkä jälkeen aineisto voidaan edelleen siirtää eri suunnitteluohjelmistoihin, kuten AutoCAD Architecture, ArchiCAD tai MicroStation. [5; 12, s. 21.]

Pistepilvenkäsittelyohjelmistojen tärkeimpiä perustoimintoja ovat [12, s. 21]

- pistepilvien suodatus
- pistepilvien yhdistäminen eli rekisteröinti
- siirto haluttuun koordinaatistoon eli georeferointi
- pistepilvien tulkitseminen
- pintojen kolmiointi
- mallin yksinkertaistaminen
- pintojen teksturointi
- 3D-mallinnus
- tiedonsiirto jatkokäsittelyä varten.

Pistepilven suodatuksessa pistepilvestä rajataan pois ylimääräisiä kohteita ja vääriä pistehavaintoja sekä poistetaan kohinaa. Kohinaa eli pisteen hajontaa poistetaan ko-

hinanpakkausalgoritmeilla (noise compression algorithm). Näiden toimintojen avulla saadaan pienennettyä aineiston kokoa, jolloin sen käsittely helpottuu.

Jos kohdetta on skannattu useammasta asemapistestä, on pistepilvet yhdistettävä yhdeksi isoksi kohdetta kuvaavaksi pistepilvikokonaisuudeksi. Tätä toimenpidettä kutsutaan pistepilvien rekisteröimiseksi. Pistepilvien rekisteröintiin tulee suhtautua vakavasti ja se on suoritettava huolellisesti, sillä tässä vaiheessa tehdyt virheet vaikuttavat suuresti lopputuloksen tarkkuuteen [13]. Rekisteröinti tapahtuu usein pistepilvien yhteisten tähysten tai vastinpisteiden avulla, jotka voidaan osoittaa manuaalisesti pistepilvestä tai ohjelma voi tunnistaa ne automaattisesti. Pistepilvi voidaan georeferoida eli kiinnittää haluttuun koordinaatistoon samojen tähysten avulla. Tämä vaatii tähysten sijainnin tarkkaa määrittämistä esimerkiksi takymetrimittauksen avulla. [12, s. 22–23.]

Pistepilvestä voidaan etsiä tasopintoja tai muita piirteitä ja tehdä rautalankamalleja (tulkinta) ja pintojen kolmiointia, mitkä auttavat mallin havainnoimisessa. Pistepilven pistetiheyttä voidaan harventaa aiheuttamatta vääristymiä mallin muotoon, mikä helpottaa pistepilven käsittelyä. [12, s. 23.] Jotkut skannerit, kuten FARO Focus <sup>3D</sup>, sisältävät digitaalikameran, jonka värikuvien avulla voidaan antaa pisteille niiden oikeat värisävyt.

Kun pistepilvenkäsittelyohjelmistolla on suoritettu tarvittavat toimenpiteet, voidaan aineisto siirtää suunnitteluohjelmistoihin jatkokäsittelyä varten tai käyttää hyväksi sellaisenaan.

#### 5.1.1 Faro Scene

Focus <sup>3D</sup>:llä tuotettujen pistepilviaineistojen käsittelyyn käytetään erityisesti FARO:n laitteistoja varten kehitettyä FARO Scene -pistepilvenkäsittelyohjelmistoa. Ohjelmistolla voidaan kuitenkin käsitellä myös muiden skannerimallien tuottamia aineistoja. [5.] FARO Scenellä käsitellyt pistepilvet ovat yhteensopivia yleisimpien rakennus- ja mittausalalla käytettyjen suunnitteluohjelmistojen kanssa, ja pistepilviä voi julkaista suoraan internetpalvelimelle FARO Scene Web Share -toiminnon avulla. [7.]

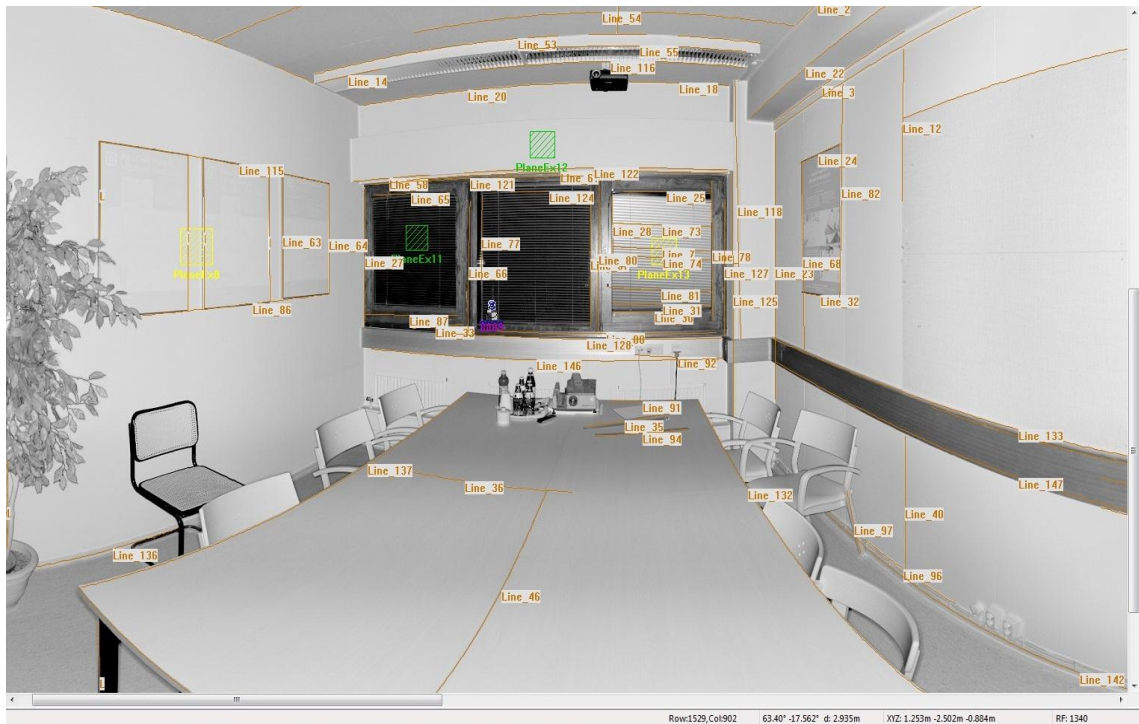


Scenen toiminnot sisältävät tärkeimmät työkalut pistepilven pistepilven rekisteröintiin, suodattamiseen, rajaamiseen, kohteiden mallintamiseen ja erilaisten pintamallien tekemiseen. Pistepilviohjelmistojen perusominaisuuksien lisäksi Scenen ominaisuuksiksi esitellään automaattiset rekisteröinti- ja kohteentunnistustoiminnot. Ohjelma osaa tunnistaa pistepilvestä pallo- tai musta-alkoruuututähyksiä ja muita vastinpisteitä, kuten kappaleiden kulmapisteitä tai reunoja. Näiden toimintojen tarkoitus on yhdistää pistepilviä automaattisesti yhteisten tähysten ja muiden pistepilvien yhteisten piirteiden avulla. [14.]

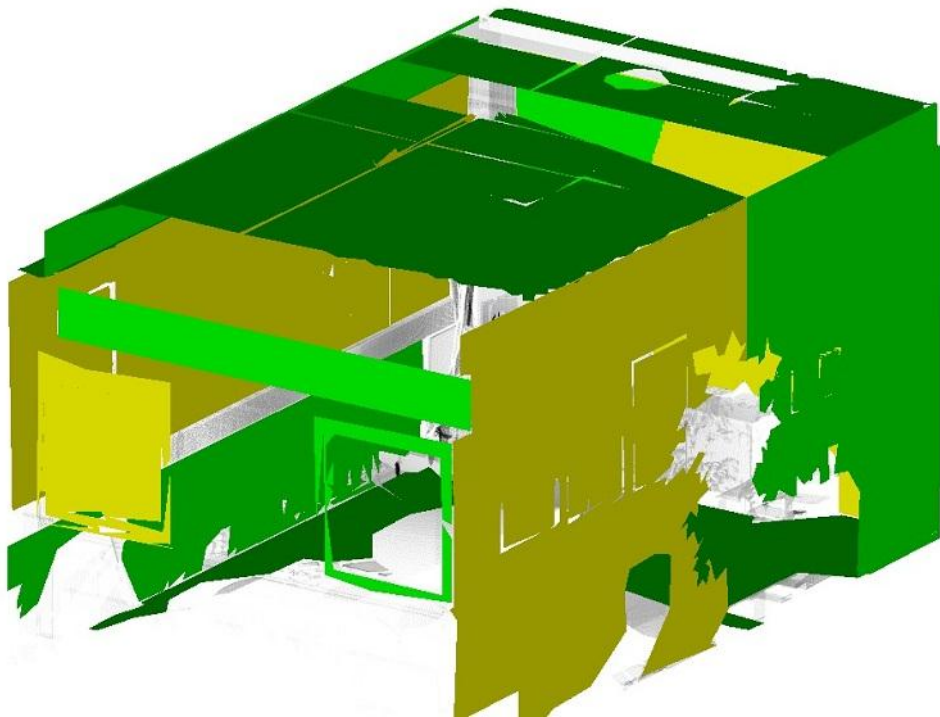
Pistepilvien rekisteröintiä tutkittaessa huomattiin, että rekisteröinti onnistuu hyvällä resoluutiolla niin manuaalisesti kuin automaattisestikin tunnistetuilla ruututähyksillä. Huonolla resoluutiolla tähyksien tunnistaminen vaikeutuu tai käy mahdottomaksi. Automaattisen piirteiden tunnistuksen avulla rekisteröintiä ei saatu toteutettua ainakaan käytössä olleilla skannausmateriaaleilla.

Neuvotteluhuoneen pistepilvi avattiin Scenessä ja sen avulla tutkittiin joitain Scenen työkaluja. Esimerkiksi kuvassa 6 esiintyvät hajapisteet neuvotteluhuoneen ulkopuolella poistettiin yksinkertaisen rajaustyökalun avulla. Pisteet olisi voitu poistaa myös suodattustoiminnoilla, esimerkiksi etäisyyden perusteella. Huoneessa olleet jalustatähykset ohjelma tunnistoi automaattisen tunnistustoiminnon avulla.

Neuvotteluhuoneen pistepilven testattiin myös automaattista reunaviivojen ja tasopintojen etsintää. Kuten kuvassa 10 näkyy, ohjelma löysi reunaviivoja melko tehokkaasti. Reunoja löytyi esimerkiksi huoneen nurkista, kattopalkeista, kattopaneeleista ja taulunkehysistä. Viivat eivät välttämättä rajaa kohteita kokonaan toisistaan, mutta ne auttavat erottamaan, missä kohteiden rajat kulkevat. Tasopintoja ohjelma löysi myös hyvin, mutta niistä tuli hyvin epämääräisen muotoisia. Pienetkin katvealueet pistepilvessä aiheuttavat aukkoja tasoihin ja vaikuttavat tasojen jakautumiseen. Esimerkiksi kuvassa 11 ohjelma on löytänyt oikeanpuoleisesta seinästä kaksi erillistä tasopintaa viherkasvin aiheuttaman katvealueen johdosta. Tasojen eri värit johtuvat tason tunnistamisen laadusta: vihreä taso on ohjelman mukaan hyvälaatuinen taso, mutta keltaisen tason tunnistamisessa on virheitä. Tasopintojen pääasiallinen tarkoitus ei kuitenkaan ole mallintaa kohteita, vaan käyttää niitä hyväksi yhteisinä kohteina pistepilvien yhdistämisessä.



Kuva 10. Scenen automaattisesti löytämiä reunaviivoja, jotka näkyvät kuvassa oranssilla. Kuvassa näkyy myös vihreillä ja keltaisilla neliöillä merkattuja kohtia, joista Scene on tunnistanut tasomaisia kohteita.



Kuva 11. Scenen automaattisesti löytämiä tasopintoja. Tasot löytyvät hyvin, mutta pienetkin katvealueet tekevät niihin aukkoja ja tekevät tasoista epämääräisen muotoisia.

Jos pistepilveä halutaan tarkastella harvennettuna, täytyy harvennusparametrit syöttää ohjelmaan ennen pistepilven lataamista. Pistepilvi voidaan myös harventaa export-toiminnon avulla, kun sitä tallennetaan toiseen tiedostomuotoon. Samalla pistepilvestä voidaan muodostaa leikkauksia suunnitteluohjelmien käyttöön.

Kuten Focus<sup>3D</sup> -skanneria, myös Sceneä mainostetaan helppokäyttöiseksi. Sitä se osittain onkin, esimerkiksi pistepilven tarkastelun ja tähysten tunnistamisen osalta, mutta kohteiden mallintaminen ja esimerkiksi pistepilvien yhdistäminen yhteisten piirteiden avulla osoittautuivat vaikeiksi toiminnoiksi. FARO onkin myöntänyt, että ohjelmiston toiminnot vaativat vielä kehitystyötä.

### 5.1.2 AutoCAD 2011 pistepilvien käsittelyssä

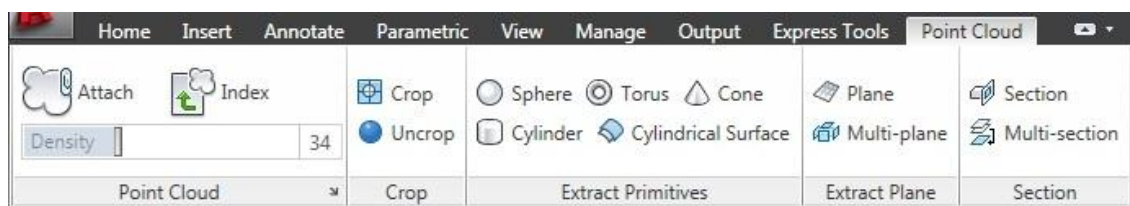
Autodeskin AutoCAD 2011 -ohjelmisto on ensimmäinen AutoCAD-versio, joka tukee pistepilvitiedostoja. Vanhemmat AutoCAD-versiot vaativat erillisen lisäohjelman (esimerkiksi FARO Cloud tai Kubit PointCloud Pro) käsitelläkseen pistepilviä.

AutoCADilla voidaan käsitellä hyvin suuria pistepilviä ohjelmiston uuden PCG-moottorin avulla, Autodeskin mukaan jopa kahta miljardia pistettä, mikäli tietokoneen tehot riittävät. Pistepilvi avautuu CAD:iin kokonaisuutena, mutta siitä on kerrallaan näkyvillä vain kuvakulman kannalta oleellimmat pisteet, jotta pilven näyttäminen ei kävisi ohjelmalle liian raskaaksi. Ruudulla näkyvän pistejoukon pistetiheyttä voidaan myös säätää tarkoitukseen sopivaksi. Nämä toiminnot eivät muuta pistepilven rakennetta, ne vain piilottavat osan pisteistä tilapäisesti.

Pistepilvitiedostoja voi lukea sisään 'POINTCLOUD'-komennolla suoraan AutoCADin pistepilvitiedostoina (ISD ja PCG) tai vaihtoehtoisesti tiedostoformaateissa LAS, XYB, FLS ja FWS, jotka tulee indeksoida AutoCADissa ISD- tai PCG-tiedostoformaattiin. ISD-formaatti käyttää eri moottoria pistepilven käsittelyyn kuin PCG-formaatin tiedostot, ja se on tarkoitettu ilmasta käsin suoritettujen skannausten eli LAS-tiedostojen käsittelyformaatiksi. FARO:n maalaserskannerilla tehdyt skannaukset tulee indeksoida PCG-tiedostoformaattiin. FARO:n tiedostoformaattien (FLS ja FWS) tukeminen edesauttaa Scenen ja AutoCADin välistä yhteistyötä ja jättää välistä ylimääräisiä tiedostomuotojen

muunnoksia. FLS-tiedostot ovat FARO:n yksittäisiä skannaustiedostoja (FARO Laser Scan) ja FWS-tiedostot ovat FARO:n työtilatiedostoja (FARO Workspace), jotka voivat sisältää useampia skannauksia.

Tavallisesti AutoCAD 2011:sta tuotua pistepilveä voidaan tarkastella ruudulla ja sen päälle voidaan piirtää AutoCADin työkaluilla, mutta pistepilven muokkaus, esimerkiksi leikkausten tekeminen, ei onnistu. Tätä työtä tehdessä käyttöön saatiin kuitenkin Autodeskin Labs Shape Extraction -paketti, jonka avulla saatiin käyttöön testiversiot AutoCADin uusista pistepilvityökaluista, joiden avulla pistepilveä voidaan muokkailla. Kuvassa 12 näkyvät AutoCADin Shape Extraction -työkalut, joihin kuuluu esimerkiksi yksinkertaisten muotojen mallinnus (Extract Primitives), tasojen määrittäminen (Plane) ja pistepilven jakaminen osiin (Section). Tiheysäätimellä (Density) voidaan säädellä pistepilven esitystiheyttä.



Kuva 12. Työkaluja pistepilven käsittelyyn AutoCADissa.

Pistepilvitiedostojen käsittelyn lisäksi FARO Scenestä voidaan export-toiminnolla viedä DXF-muotoisia malleja pistepilvestä – myös leikkausmalleja – CAD-ohjelmaan ja käsitellä niitä. Pistepilven koon kanssa kannattaa olla varovainen, koska suuret pistemäärät DXF-tiedostoformaattissa saavat ohjelman helposti ylikuormittumaan.

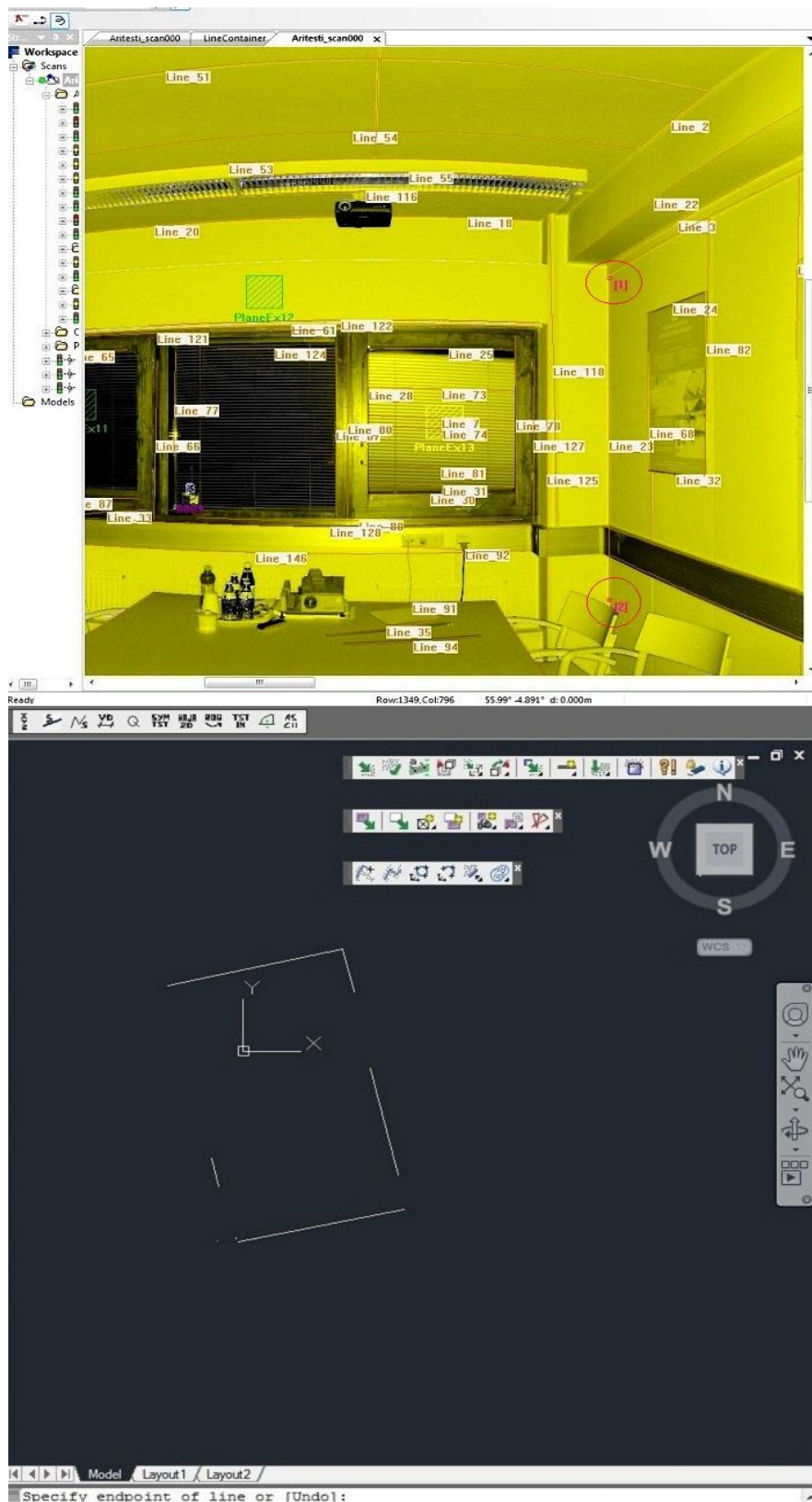
### 5.1.3 Kubit PointCloud Pro

Pistepilvien käsittelyn tehostamiseksi ja helpottamiseksi Pohjatekniikassa otettiin käyttöön myös Kubitin PointCloud Pro -ohjelmisto. PointCloud Pro on pistepilvien käsittelyyn tarkoitettu AutoCADin liitännäisohjelma. PointCloud Pron ja AutoCADin yhteistyön ansiosta voidaan käsitellä suuria pistepilviä AutoCADin omilla työkaluilla, sekä PointCloud Pron sisältämällä piirto- ja mallinnustyökaluilla, mukaan lukien Slice-työkalu, jolla voidaan tehdä leikkauksia pistepilvistä. Ohjelman avulla pistepilvitiedostoja voidaan käsitellä myös AutoCADin vanhemmissa versioissa, ja se mahdollistaa myös muiden

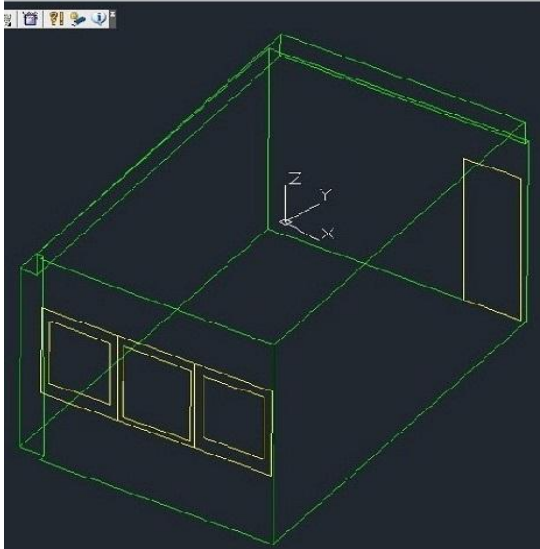
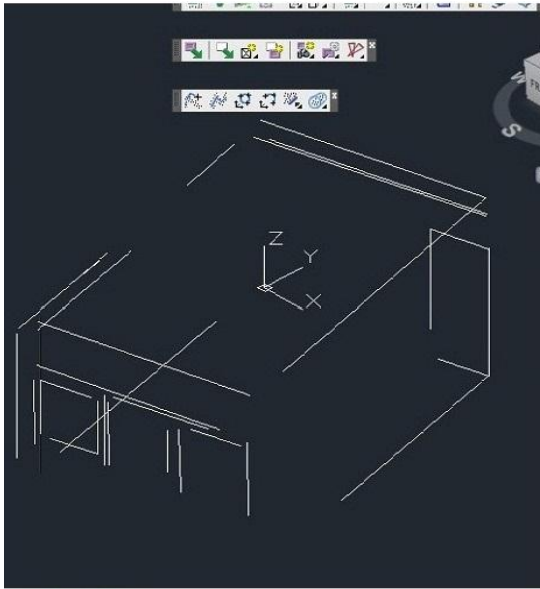
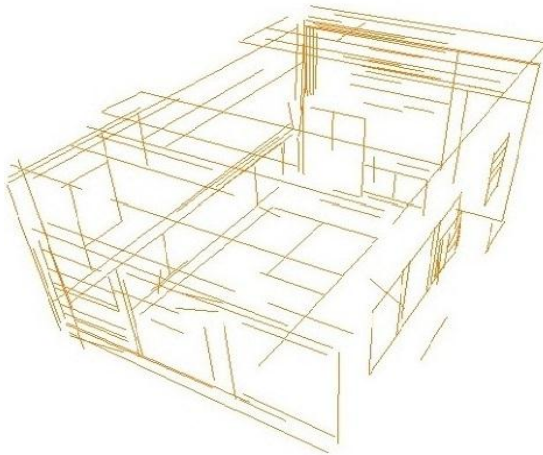
kuin FARO:n tiedostoformaattien sisään lukemisen AutoCADiin. FARO Scenestä saa pistepilvitiedostot kirjoitettua export-toiminnolla suoraan PointCloudin käyttämään PTC-tiedostoformaattiin.

Kubit PointCloud Pro mahdollistaa omien ja AutoCADin työkalujen käytön lisäksi yhteistyön FARO Scenen kanssa. Tämä "Send To Kubit" -toiminto mahdollistaa ulkopuolisten ohjelmien, tässä tapauksessa FARO Scenen, lähettää koordinaatteja suoraan AutoCADiin. FARO Scenen valikkoihin "Send To Kubit" toiminto on merkitty nimellä "Draw-To-CAD". Yksi käyttökelpoinen sovellus tälle työkalulle on pistepilven digitointi. Kuvissa 13 ja 14 on esitetty neuvotteluhuoneen digitointia AutoCAD:iin Scenen luomien reunaviivojen avulla. Lopputuloksena on pelkistetty 3D-malli neuvotteluhuoneesta. Koordinaattien siirto AutoCAD:iin onnistuu vain FARO Scenen Planar View -näkökuvasta.

Kubit PointCloud Pro on erittäin käyttökelpoinen lisätyökalu AutoCAD 2011:sta. Kun näiden kolmen ohjelmiston yhteistoiminnan oppii hyödyntämään täysin, tuloksena saadaan laadukkaita lopputuotteita isoista ja monimutkaisistakin pistepilvistä.



Kuva 13. AutoCAD 2011/PointCloudin ja Scenen yhteistoimintaa. Ylempänä olevaan Scenenäkymään merkitään viivojen alku- ja loppupisteitä (ympyröity punaisella), joiden koordinaattien mukaisesti alempaan AutoCAD-ikkunaan piirretty Polyline-viivoja.



Kuva 14. Keskellä on AutoCAD-piirros, joka on digitoitu ylhäällä näkyvistä Scenen reunaviivoista käyttämällä Send To Kubit -toimintoa. Alin kuva on keskimmäisestä kuvasta piirretty yksinkertaistettu 3D-malli neuvotteluhuoneesta.

## 6 Ensimmäinen laserskannausprojekti: esimerkkikohte Kampi

Maaliskuussa 2011 Pohjatekniikka sai ensimmäisen mittausprojektin, jossa päästiin käyttämään uutta laserskannauslaitteistoa varsinaisissa työtehtävissä. Rakennusprojektin varhaisesta vaiheesta johtuen tässä työssä ei kerrota kohteen nimeä, mutta kohde on liikerakennus Helsingin Kampissa.

Projekti käsitti mm. rakennuksen julkisivujen, ullakkokerroksen rakenteiden ja kellarikerroksen paikoitushallin mittaukset ja niistä koostuvat CAD-piirustukset. Näissä mittauskohteissa laserskannausta käytettiin hyväksi julkisivujen ja parkkihallin mittauksissa. Tuloksia tullaan käyttämään rakennusprojektin suunnitteluun.

### 6.1 Skannausten suorittaminen

Mittausprojekti lähti käyntiin kahdella mittaryhmällä eli yhteensä neljän henkilön voimin. Toinen mittaryhmä mittasi takymetrillä runkopisteitä eri puolille rakennusta, missä mittauksia suoritettaisiin. Pisteitä lähdettiin mittaamaan Helsingin kaupungin runkopisteverkosta rakennuksen ulkopuolelta. Runkopisteiden mittauksen jälkeen takymetrillä mitattiin osa varsinaisista rakennemittauksista, esimerkiksi ullakon rakenteet.

Toinen mittaryhmä suoritti paikoitushallin ja julkisivujen skannaukset. Skannauskalustoon kuului

- FARO Focus<sup>3D</sup> -laserskanneri
- kaksi kappaletta ulkoisia akkuja
- neljät kolmijalat (yksi skannerille ja kolme jalustatähyksille)
- neljä pakkokeskistä
- adapteri, jolla skanneri saadaan kiinnitettyä pakkokeskiseen
- kolme jalustatähystä
- 20–30 A3-kokoista paperitähystä.

Skannaukset aloitettiin parkkihallista, jonka jälkeen siirryttiin skannaamaan julkisivuja sekä kadun että sisäpihan puolelta. Sisäpihan seinien skannauksessa jouduttiin kojeasemia pystyttämään myös rakennuksen katolle, jotta monimutkaiset kattorakenteet saatiin mitattua. Skannaukset suoritettiin keskellä päivää, joten esimerkiksi parkkihallis-



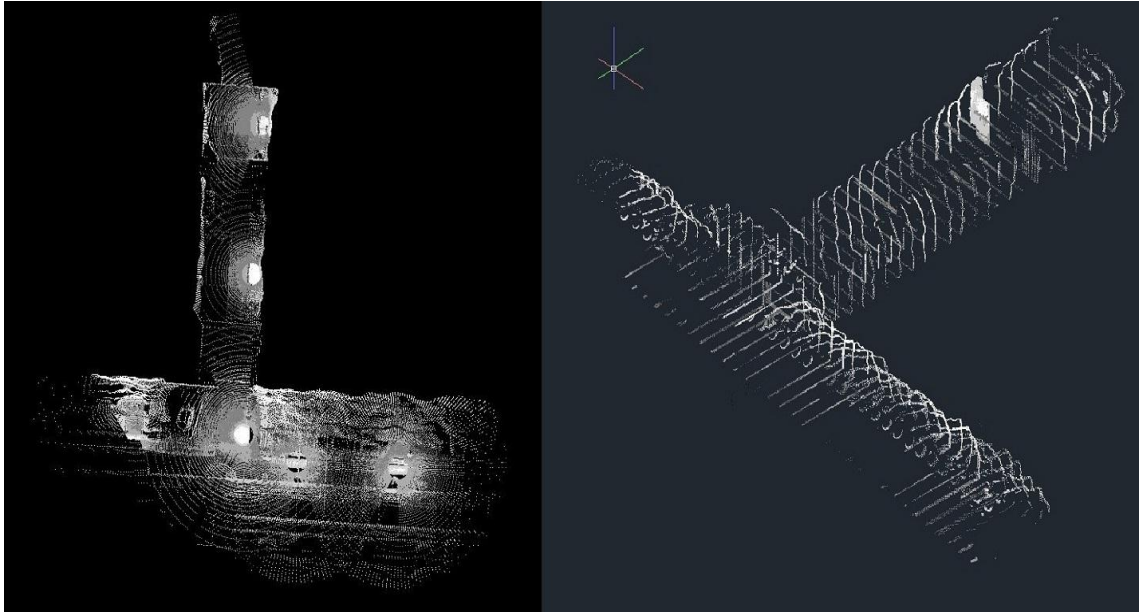
sa parkkeerattujen autojen suuri määrä aiheutti ennakoitua enemmän kojeasemia. Myös kadun liikenne aiheutti katvealueita, jotka myös minimoitiin useilla kojeasemilla. Tähyksiä asetettiin tiheästi eri puolille skannausalueita rekisteröinnin onnistumisen varmistamiseksi.

Parkkihallin skannauksen aikana ilmeni suuria ongelmia laitteen kanssa. Skannausten aikana laite esitti virheilmoituksia skannauksen väreihin liittyen eikä totellut annettuja skannausparametreja. Mittaukset jouduttiin lopettamaan kesken ja ottamaan yhteyttä maahantuojaan. Skanneri jouduttiin lähettämään huollettavaksi ja tilalle saatiin väliaikaisesti toinen Focus<sup>3D</sup>-yksikkö, minkä jälkeen mittauksia päästiin jatkamaan. Laittevi-an syy ei selvinnyt tätä insinööriyötä tehdessä.

## 6.2 Skannausdatan käsittely

Skannausten käsittely eteni vaiheittain. Kun parkkihallin skannaukset olivat tehty, vietiin aineisto toimistolle käsiteltäväksi ja lähdettiin suorittamaan julkisivujen skannauksia, jotka käsiteltiin parkkihallin aineiston valmistuttua.

Aineistot rekisteröitiin, sidottiin koordinaatistoon ja niistä siivottiin turhat pistehavainnot pois. Parkkihallista tehtiin poikkileikkaukset metrin välein Scenen Export Slice-toiminnolla, jonka jälkeen ne siirrettiin AutoCADiin blockeina. Leikkauksille tehtiin 100 kertainen pisteharvennus, koska pistepilven tiheys oli tarpeettoman suuri leikkauksille. Kuvassa 15 näkyy vasemmalla tunnelin skannausaineisto ylhäältä katsottuna ja oikealla aineistosta tehdyt valmiit leikkaukset AutoCADissa avattuna.



Kuva 15. Tunnelin skannausaineisto ja siitä tehdyt poikkileikkaukset AutoCADssa. Skannausaineistosta näkyvät hyvin kojeasemien sijainnit ympäröimäisinä kohteina.

Julkisivupiirustusten laatimisessa käytettiin hyväksi Scenen ja PointCloud Pron välistä koordinaattien siirtoa piirtämällä julkisivuskannausten päälle Scenessä. Lopputuloksena saatiin kuvassa 16 näkyvien CAD-kuvien kaltaisia julkisivupiirustuksia. Kuvassa näkyvät julkisivut ovat rakennuksen sisäpihalta ja ne muodostavat keskenään suorakulmaisen talonnurkan. Piirustuksesta käy ilmi ikkunoiden ja parvekkeiden sijainnit, kattorakenteet ja oleellisten kohteiden korkeusasemat. Kuvia piirrettäessä käytettiin hyväksi joitain takymetrillä mitattuja kontrollipisteitä, esimerkiksi ikkunankarmeista, tarkkuuden säilyttämiseksi.



Kuva 16. Kuvassa näkyvät sisäpihan puolelta mitatut julkisivut. Julkisivut muodostavat keskenään suorakulmaisen talonnurkan. Vasemmalla näkyvä julkisivu on skannattu eteläsuunnasta ja oikealla oleva seinä länsisuunnasta. Kuvasta erottuvat myös monimutkaiset kattorakenteet.

### 6.3 Projektin pohdintaa

Mittausprojektiin ryhdyttiin kovin odotuksin, mutta heti ensimmäisenä mittauspäivänä skanneriin tuli vikaa, joka aiheutti heti aikataulumuutoksia ja ajanhukkaa. Lainaskannerin saamisen jälkeen skannaukset ja takymetrimittaukset saatiin kuitenkin suoritettua loppuun ilman lisäongelmia. Uusia ongelmia aiheutti kuitenkin pistepilviaineiston käsittely, joka testiaineistojen käsittelystä huolimatta lähti käyntiin hitaasti. Kaikkia työssä tehtyjä operaatioita ei aiemmin ollut kokeiltu ainakaan näin isoille pistepilville. Myös ensimmäisten skannausten pistemäärät olivat turhan suuria, mikä hidasti käsittelyä.

Projektille asetettiin etukäteen tiukat aikataulut, vaikka kyseessä oli ensimmäinen laserskannausprojekti, eikä kaikki skannaus- ja käsittelyprosessin vaiheet olleet vielä täysin hallinnassa kun työtä ruvettiin suorittamaan. Lisäksi datan käsittelyn vaatima aika verrattuna skannausten suorittamiseen oli moninkertaisesti ennakoitua pidempi. Esimerkiksi julkisivujen mittaaminen takymetrillä olisi säästänyt aikaa CAD-piirustuksia tehdessä. Halutunlaiset lopputuotteet saatiin kuitenkin toimitettua tilaajalle ja projektista opittiin tärkeitä seikkoja tulevia projekteja varten:

- mittaussuunnitelman tärkeys
- oikeat mittausasetukset
- parempi ymmärrys pistepilven käsittelystä
- ohjelmistojen tuntemus ja niiden yhteistyön hyödyntäminen
- riittävän ajan varaaminen skannausprojekteille.

## 7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä esiteltiin Insinööritoimisto Pohjatekniikan hankkiman FARO Focus<sup>3D</sup>-laserskannerin käyttöönottoa ja testausta sekä laitteen tuottaman aineiston käsittelyä FARO Scene-, AutoCAD 2011- ja Kubit PointCloud Pro -ohjelmien avulla.

Uuden laitteen hankkimisessa on omat etunsa ja haittansa, jotka kävivät ilmi tätä työtä tehdessä. Focus<sup>3D</sup> on markkinoiden pienin ja edullisin 3D-maalaserskanneri, joka mittausominaisuuksiltaan, helppokäyttöisyydeltään ja nopeudeltaan on kustannustehokas työkalu vaativiinkin mittaustehtäviin. Laitteen luotettavuus kuitenkin jäi arveluttamaan skannaustöiden yhteydessä tulleen toistaiseksi tuntemattomaksi jääneen vian vuoksi.

Skannatun pisteaineiston eli pistepilven käsittely vaatii syvällisempää tutkintaa kuin tätä työtä tehdessä ehdittiin tehdä. Scenestä ja PointCloud Prosta oli käytössä vain yhdet ohjelmistolisenssit, jotka olivat suuren osan ajasta sidottuna Kampin mittausprojektin käyttöön. Käytössä olevien ohjelmistojen toiminnot ja ohjelmistojen yhteistyömahdollisuudet tulivat kuitenkin käsiteltyä, ja niitä on havainnollistettu kuvakaappauksilla. Aineistojen käsittelystä voidaan sanoa, että skannauslaitteiston ja käsittelyohjelmien kehityksestä huolimatta ei vielääkään ole päästy eroon pistepilviaineiston prosessoinnin työläydestä.

Testiskannaukset ja Kampin mittausprojekti antoivat tärkeää tietoa tulevaisuuden projekteja varten. Etukäteen tehtävä kattava ja kohdetta varten räätälöity mittaussuunnitelma on skannausprojektin kannalta tärkeä, sillä epäonnistuneen skannauksen uusiminen käsittelyprosesseineen vie runsaasti aikaa. Virheiden välttämiseksi kannattaa skannauksen laatuksiteereissa tehdä ylimääritystä ja kiinnittää huomiota tähysten määrään ja näkyvyyteen. Laserskannerilla ei myöskään selviä yksin mittausprojektissa, vaan se vaatii tuekseen takymetrimittausta esimerkiksi tähysten koordinaatistoon sitomiseen ja kontrollipisteiden mittaamiseen. Tässä työssä on liian aikaista todeta, tuottaako FARO Focus<sup>3D</sup> säästöä ajallisesti tai rahallisesti Pohjatekniikan mittaustoimintaan, mutta ainakin se antaa mahdollisuudet laajentaa ja kehittää mittauspalveluita.

## Lähteet

- 1 Yritys. Verkkodokumentti. Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy. <<http://www.pohjatekniikka.fi/yritys.html>> Luettu 12.2.2011.
- 2 Palvelut. Verkkodokumentti. Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy. <<http://www.pohjatekniikka.fi/palvelut.html>> Luettu 12.2.2011.
- 3 Yritysuutisia: Nordic Geo Center. Maankäyttö 4/2010, s. 61.
- 4 Heiska, Nina. 2010. Maalaserkeilaimet ovat kehittyneet geodeettisiksi mittauslaitteiksi. Maankäyttö 4/2010, s. 14–17.
- 5 3D Laser Scanning Technology: New Possibilities for Civil Engineering, Architecture and Heritage. 2010. FARO Technologies Inc.
- 6 Koski, Jarkko. 2001. Laserkeilaus – Uusi ulottuvuus paikkatiedon keräämiseen. Maankäyttö 4/2001, s. 24–26
- 7 FARO Laser Scanner Focus<sup>3D</sup> Tech Sheet. 1.10.2010. Verkkodokumentti. FARO Technologies Inc. <<http://www.faro.com/site/resources/share/944>> Luettu 14.2.2011.
- 8 FARO Focus<sup>3D</sup>. Verkkodokumentti. Nordic Geo Center Oy. <[http://www.geocenter.fi/FaroFocus3D\\_Fin.pdf](http://www.geocenter.fi/FaroFocus3D_Fin.pdf)> Luettu 14.2.2011.
- 9 Lasereiden turvallisuusluokat. Verkkodokumentti. Säteilyturvakeskus. <[www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilevat\\_laitteet/fi\\_FI/laser/](http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilevat_laitteet/fi_FI/laser/)> Luettu 2.3.2011.
- 10 Kukko, Antero. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio, Teknillinen korkeakoulu.
- 11 Insinööritoimisto Pohjatekniikka Oy, Helsinki. Keskustelu yrityksen mittaushenkilöstön kanssa. 3.3.2011.
- 12 Ilvonen, Katri. 2008. Laserkeilauksen hyödyntäminen infrarakentamisessa. Rakennustekniikka, Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 13 Joala, Vahur. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Verkkodokumentti. Leica Nilomark Oy. <[http://www.leicanet.fi/Geo/Tuote/HDS/HDS\\_Keilausuutiset/Laserkeilauksenperusteita.pdf](http://www.leicanet.fi/Geo/Tuote/HDS/HDS_Keilausuutiset/Laserkeilauksenperusteita.pdf)> Luettu 22.2.2011.
- 14 FARO Scene. 4.10.2010. Verkkodokumentti. FARO Technologies Inc. <[http://www.faro.com/FaroIP/Files/File/Techsheets%20Download/UK\\_SCENE.pdf](http://www.faro.com/FaroIP/Files/File/Techsheets%20Download/UK_SCENE.pdf)> Luettu 8.4.2011.

## Tähystestin tulostaulukko

| Mittaus | Resol. | Laatu | Aika  | Tähys 1 (5 m) | Tähys 2 (10 m) | Tähys 3 (15 m) | Tähys 4 (20 m) | Tähys 5 (28 m) | Tiedosto (MPTs) | Muuta |
|---------|--------|-------|-------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-------|
| 1       | 1/1    | 2x    | 7 min | ok            | ok             | ok             | ok             | ok             | 44              |       |
| 2       | 1/2    | 4x    | 7 min | ok            | ok             | -              | ok             | ok             | 11              |       |
| 3       | 1/1    | 1x    | 4 min | ok            | ok             | -              | ok             | ok             | 44              |       |
| 4       | 1/2    | 3x    | 4 min | ok            | ok             | -              | ok             | ok             | 11              |       |
| 5       | 1/2    | 2x    | 2 min | ok            | ok             | -              | ok             | ok             | 11              |       |

Huom: ylläolevassa testissä mitattu kapea sektori esikatselun jälkeen.

### Resoluution ja laadun vaikutus mittausaikaan ja tiedostokokoon:

| Resol. | Laatu | Tiedosto | Aika   |
|--------|-------|----------|--------|
| 1/1    | 4x    | 710      | 2 h    |
| 1/1    | 3x    | 710      | 1 h    |
| 1/1    | 2x    | 710      | 30 min |
| 1/1    | 1x    | 710      | 16 min |
| 1/2    | 6x    | 177      | 2 h    |
| 1/2    | 4x    | 177      | 30 min |
| 1/2    | 3x    | 177      | 16 min |
| 1/2    | 2x    | 177      | 9 min  |
| 1/2    | 1x    | 177      | 5 min  |
| 1/4    | 8x    | 44       | 2 h    |
| 1/4    | 6x    | 44       | 30 min |
| 1/4    | 4x    | 44       | 9 min  |
| 1/4    | 3x    | 44       | 5 min  |
| 1/4    | 2x    | 44       | 4 min  |
| 1/4    | 1x    | 44       | 3 min  |