

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka, Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infratekniikka, maa- ja kalliotekniikka

Pauli Ahonen

Laserkeilaus, laserkeilausmittauksen suorittaminen ja pistepilven käsittelyohjelmien vertailu

Opinnäytetyö 2015

Tiivistelmä

Pauli Ahonen

Laserkeilaus, laserkeilausmittauksen suorittaminen ja pistepilven käsittelyohjelmien vertailu, 59 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infratekniikka, maa- ja kalliotekniikka

Opinnäytetyö 2015

Ohjaajat: lehtori, DI Timo Lehtoviita, Saimaan ammattikorkeakoulu,
toimitusjohtaja Mika Arminen, Insinööritoimisto Geocom Oy

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin laserkeilausta ja pistepilven jälkikäsitteilyä. Työssä pyrittiin selvittämään maalaserkeilausmittauksen työvaiheet ja esittämään pistepilven käyttömahdollisuuksia. Työn perimmäisenä tavoitteena oli auttaa Insinööritoimisto Geocom Oy:tä pistepilven käsittelyyn tarkoitettujen ohjelmien hankinnassa. Tarkoituksena oli löytää eroja vertailua varten valittujen ohjelmien väliltä ja selvittää, kumpi soveltuu yrityksen tarpeisiin paremmin.

Laserkeilausprosessin havainnollistamiseksi suoritettiin ensin mittaus toimistorakennuksesta ja sen jälkeen mittauksen tuloksena saadun pistepilven rekisteröinti. Samaa aineistoa käytettiin myös myöhemmin tutkittaessa pistepilven jälkikäsitteilyä kahdessa eri ohjelmassa. Ohjelmien vertailemiseksi tutkittiin niiden ominaisuuksia ja työkalujen toimivuutta Geocomille tyypillisten töiden suorittamiseksi.

Opinnäytetyötä tehtäessä huomattiin, että laserkeilausohjelmien vertailua ei voida tehdä kovin yksiselitteisesti ja että niihin perehtymiseen on käytettävä aikaa. Lopputuloksena todettiin, että ohjelmiston valintaan vaikuttaa merkittävimmin käytetty laserkeilauslaitteisto, mittauksen kohde ja haluttu lopputuote. Opinnäytetyön tulosten avustamana Geocom teki päätöksen haluamansa pistepilven käsittelyohjelman hankkimiseksi.

Asiasanat: laserkeilaus, laserkeilausohjelmisto, pistepilven käsittely

Abstract

Pauli Ahonen

Laser scanning, scanning with terrestrial laser scanner and comparison of point cloud processing softwares, 59 Pages, 3 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Construction Engineering

Civil Engineering

Bachelor's Thesis 2015

Instructors: Mr Timo Lehtoviita, Senior Lecturer MSc at Saimaa UAS,
Mr Mika Arminen, Managing Director of Geocom Oy

This thesis inspects laser scanning and point cloud processing. Its aim is to clarify the process of terrestrial laser scanning and to present the potential uses of point cloud. The underlying objective of the study was to help Geocom Oy in the acquisition of point cloud processing software. The intention was to find differences between the selected programs and to find out which one meets the needs of the company better.

To demonstrate the laser scanning process, an office building was scanned and the obtained point cloud was registered. The same data was also used later on in the comparison of two point cloud processing software products. In order to compare the software solutions, their features and the functionality of their editing tools were examined in tasks which are typical for Geocom.

During the making of this thesis it was discovered that the comparison of the laser scanning programs cannot be done unambiguously and it requires time to get familiar with them. The results of the study show that several things affect the choosing of the software, most significantly: the laser scanning hardware being used, the object being scanned and the desired deliverable. With the help of the findings of this thesis, Geocom made the decision on which software to acquire.

Keywords: laser scanning, laser scanning software, point cloud processing

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Laserkeilaus.....	7
2.1	Laserkeilaus yleensä	7
2.2	Edut	8
2.3	Käyttömahdollisuudet.....	9
3	Laserkeilainten luokitteluperusteet.....	10
3.1	Käyttötarkoitus	10
3.2	Mittaustapa	10
3.3	Etäisyysmittausmenetelmä	12
4	Pistepilvi.....	13
4.1	Pistepilvi yleensä	13
4.2	Pistepilven laatu.....	13
4.3	Erialaisten pintojen ja olosuhteiden vaikutus pistepilven laatuun.....	14
5	Laserkeilausprosessi	16
6	Laserkeilausmittauksen toteutus esimerkkikohteessa	19
6.1	Kalusto.....	19
6.1.1	Keilain	19
6.1.2	Takymetri	21
6.1.3	Tähykset.....	21
6.2	Tähyksen sijoittaminen ja mittaaminen	22
6.3	Laserkeilauksen suorittaminen	23
6.4	Keilatun materiaalin siirto tietokoneelle ja pistepilven rekisteröinti.....	24
6.4.1	Koordinaattitietojen purku.....	24
6.4.2	Keilatun aineiston purku, rekisteröinti ja suodatus	25
7	Pistepilven käsittelyohjelmat.....	28
8	Vertailuun valitut ohjelmat.....	29
8.1	Trimble RealWorks 9.0	30
8.2	Leica Cyclone 9.0	31
9	Vertailu.....	32
9.1	Perusominaisuuksien vertailu	32
9.1.1	Laitevaatimukset	32
9.1.2	Moduulivaihtoehdot	33
9.1.3	Tiedostoformaattien tuonti ja vienti.....	34
9.2	Ohjelmien vertailu pistepilven jälkikäsittelytapauksissa	39
9.2.1	Tähyksetön rekisteröinti	39
9.2.2	Tasokuvan tuottaminen rakennuksesta.....	43
9.2.3	Teollisuusputken keskilinjan vienti CAD-formaattiin	46
10	Yhteenvedo ja pohdinta	50
	Kuvat.....	52
	Taulukot.....	53
	Lähteet.....	53

Liitteet

- Liite 1 Suunnittelupohja (Leica Nilomark Oy 2005)
- Liite 2 Rekisteröintiraportti (Z+F LaserControl)
- Liite 3 Kuvat 24 ja 25 isompina

1 Johdanto

Rakennusalalla tehdään suunnittelu koko ajan enemmän 3-ulotteisena. Tietomallintamisen yleistyessä ja tekniikoiden kehittyessä myös alalla toimivien yritysten on pysyttävä kehityksessä mukana. Laserkeilainten määrä Suomessa kasvaa edelleen, kun jo olemassa olevat yritykset siirtyvät uuden tekniikan pariin ja alalle uudet yrittäjät tulevat kokeilemaan sen tarjoamia mahdollisuuksia. (Heiska 2009.) Insinööritoimisto Geocom Oy kuuluu tähän ensin mainittuun ryhmään. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on auttaa Geocomia markkinoilla olevien laserkeilainohjelmien vertailussa ja hankintapäätöksen tekemisessä.

Henkilökohtaisena tavoitteena opinnäytetyön tekijällä on oppia laserkeilauksen perusteet ja laserkeilainmittauksen suorittaminen sekä tutustua pistepilviin ja niiden käyttömahdollisuuksiin. Opinnäytetyön teoriaosa käsittelee näitä aiheita, sisältäen myös vaiheittaisen esittelyn laserkeilausmittauksen suorittamisesta. Loppuosassa tutkitaan laserkeilainohjelmia ja pistepilven käsittelyä.

Tämän opinnäytetyön tilaaja on Insinööritoimisto Geocom Oy, joka on vuonna 2001 Lappeenrantaan perustettu monipuolinen infra-alan palveluita tuottava insinööritoimisto. Yritys hankki vuonna 2012 käyttöönsä laserkeilaimen tutustuttuaan ensin erimerkkisiin laitteisiin parin vuoden ajan. Tyypillisimmät heidän suorittamansa laserkeilaustyöt ovat tehdasprojekteihin liittyviä töitä, kuten putkistojen ja erilaisten rakennusosien ja -kappaleiden keilaukset. (Arminen 2015.)

Tähän asti Geocom on pystynyt ainoastaan suorittamaan mitatun pistepilven rekisteröinnin, yhdistämisen ja tiedostomuunnoksen asiakkaan haluamaan formaattiin. Varsinainen pistepilven käsittely ja mallintaminen on työn luonteen niin vaatiessa ostettu alihankintana. Kuitenkin tekniikan kehittymistä seuraavana yrityksenä Geocomille syntyi pian tarve hankkia pistepilven käsittelyohjelma ja suorittaa kyseinen työvaihe itse. (Arminen 2015.)

Tarve ohjelmiston hankintaan syntyi oikeastaan jo heti ensimmäisten keilausten suorittamisen jälkeen. Yritys oli ensimmäisen kerran yhteydessä myyjiin vuoden 2013 loppupuolella, jolloin he saivat käyttöönsä ensimmäiset demo-versiot. Toinen kierros aloitettiin syksyllä 2014 tämän opinnäytetyön muodossa. Tarkoituksena on jatkossa suorittaa pistepilven ”jalostus” ja jälkikäsitteily itse. Tavoitteena

on pystyä suorittamaan ainakin seuraavanlaisia töitä omatoimisesti: tarkemittaukset korjausrakentamisessa sekä kaivos- ja louhintateollisuudessa, kappalemallinnus, kuten teollisuuden putkistot, paperikoneiden telat yms. Yrityksen ajatuksena pistepilven käsittelyohjelman hankinnassa – tietynlaisen toiminnan vapauden saamisen, töiden paremman hinnoittelun ja pienienkin töiden nopean toimittamisen lisäksi – on seurata kehitystä ja siirtyä mallinnusmaailmaan. (Arminen 2015.)

2 Laserkeilaus

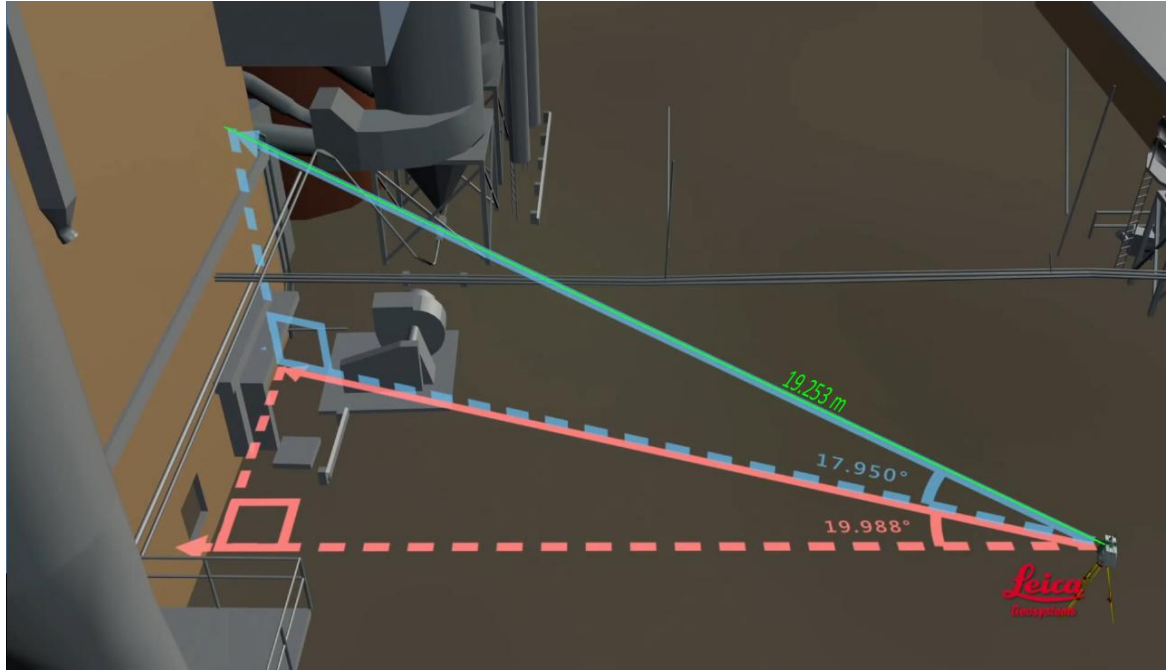
2.1 Laserkeilaus yleensä

Laserkeilaus on mittausmenetelmä, jolla voidaan mitata kappaleen, kohteen tai kokonaisen alueen asema, sijainti, koko ja muoto lähes täydellisesti. Mittaus voidaan suorittaa kohteeseen koskematta tai alueelle menemättä. Laserkeilauksen lopputuotteena saadaan havaitusta ympäristöstä kolmiulotteinen pistepilvi, joka on joukko yksittäisiä pisteitä, joilla jokaisella on x-, y- ja z-koordinaattitieto. Pistepilvistä luodaan jatkokäsittelmällä 3D-malleja. (Koski 2001; Mitta Oy.) Kuva 1 esittää pistepilveä, joka on sovitettu limittäin valokuvaan mittauksen kohteena olevan sillan päälle.



Kuva 1. Pistepilvi suhteutettuna todelliseen kohteeseensa (Rudi.net)

Laserkeilaus on aikaisempia mittausmenetelmiä huomattavasti yksityiskohtaisempi, monipuolisempi ja nopeampi. Laserkeilaimella on nollapiste, josta se lähettää laserpulsseja ympäristöönsä. Kun lähetettyä ja kohteesta takaisinheijastunutta lasersädettä verrataan, vaihe-eroon tai kuluneeseen aikaan perustuen, saadaan laskettua etäisyys kohteen ja keilaimen välillä. Kohteen suuntatieto keilaimen nollapisteeseen nähden saadaan selville lasersäteiden lähtökulman perusteella (sekä vaaka- että pystysuunta). (Joala 2006.) Mittausperiaate ja laitteen rekisteröimä data on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. Laserkeilaimen toimintaperiaate ja sen keräämä data (Leica Geosystems 2012)

Lopuksi vielä kun tunnetaan laserkeilaimen 0-kohdan tarkka sijainti, saadaan kaikki nämä tiedot yhdistämällä jokaisen mitatun pisteen sijainti selville ja näin koko pisteiden joukko voidaan sijoittaa koordinaatistoon. Lisäksi palautuneen paluusignaalin intensiteetin mittaamalla, saadaan kohteesta havainnollisuutta parantava sävyerokuva. (Mitta Oy.)

2.2 Edut

Laserkeilauksen merkittävimpiä etuja on sen tarkkuus. Kohde voidaan mitata jopa 300 metrin päästä alle 5 mm:n tarkkuudella, ja siitä luoda malli alle 2 mm:n tarkkuudella. Suuren pistetiheyden ansiosta saavutetaan yksityiskohtien mittaus sellaisella tasolla, joka muilla menetelmillä olisi lähes mahdotonta. Toinen etu on sen mittausnopeus (yli 500 000 pistettä sekunnissa) varmistaa sen että kohde tallentuu samalta kojeasemalta samoissa olosuhteissa. Suurien pistemäärien mittaaminen takymetrillä olisi huomattavasti hitaampaa ja kalliimpaa. Kolmas etu saavutetaan kohteissa, joiden mittaaminen perinteisin menetelmin olisi hankalaa, vaarallista tai mahdotonta. Laserkeilaimella voidaan suorittaa mittaus etäältä ja kohteeseen koskematta. Kerran laserkeilattu kohde voidaan mittauksiin perustuen palauttaa samanlaiseen asuun kuin se mittaushetkellä oli, esimerkiksi kohteen tuhoutumisen jälkeenkin. (Leica Nilomark Oy 2005.)

2.3 Käyttömahdollisuudet

Laserkeilausta voidaan käyttää hyvin laajasti. Tavallisimpia syitä tai perusteluita käyttää kohteen mittaamiseksi laserkeilausmenetelmää on listattu esimerkkita-pauksineen alle. Lista on koottu mukailien lähteitä Koski 2001 ja Joala 2006.

- Piirustusten tuottamiseksi kohteesta josta ei ole olemassa minkäänlaisia piirustuksia
 - vanhat kohteet (esim. kirkot), käsintehdyt putkistot
- Lähtötilanteen ja mittausten selvittämiseksi
 - korjausrakentaminen
- Kohteen ollessa vaikeasti tavoitettava tai muulla tapaa vaarallinen.
 - kallioseinämät, korkeat rakenteet, sähkömuuntamot
- Tarvittaessa kolmiulotteista tietoa laajalta alueelta
 - maastomallinnus, massalaskennat, pintojen vertailut
- Suunnitelmien ja toteuman vertailemiseksi keskenään (tarkemittaukset)
 - betonivalut, mm. pintojen tasaisuus
 - tunneli- ja kaivosteollisuudessa esim. ryöstöjen selvittämiseksi
- Kohteen ollessa pinnanmuodoltaan vaihteleva ja yksityiskohtainen
 - patsaat, kappalemallinnus
- Laadunvalvontaan ja laadunvarmistukseen
 - metalliteollisuus
- Törmäystarkastelussa suurien kokoonpanojen yhdistämiseksi
 - teollisuus, laiva- ja lentokonetuotanto
- Tietomallintamisen pohjana
 - inventointimallien luomiseksi, saneerauskohteet
- Virtuaalimallien luomiseksi
 - elokuvat, pelit
- Poliisitutkinnan tueksi (käytössä ainakin Norjassa ja Englannissa)
 - onnettomuus- ja rikostutkinta

Yllä on listattu vain joitain yleisimpiä tapauksia. Uusia käyttömahdollisuuksia keksitään edelleen lisää, laitteiden ja ohjelmistojen kehittyessä.

3 Laserkeilainten luokitteluperusteet

3.1 Käyttötarkoitus

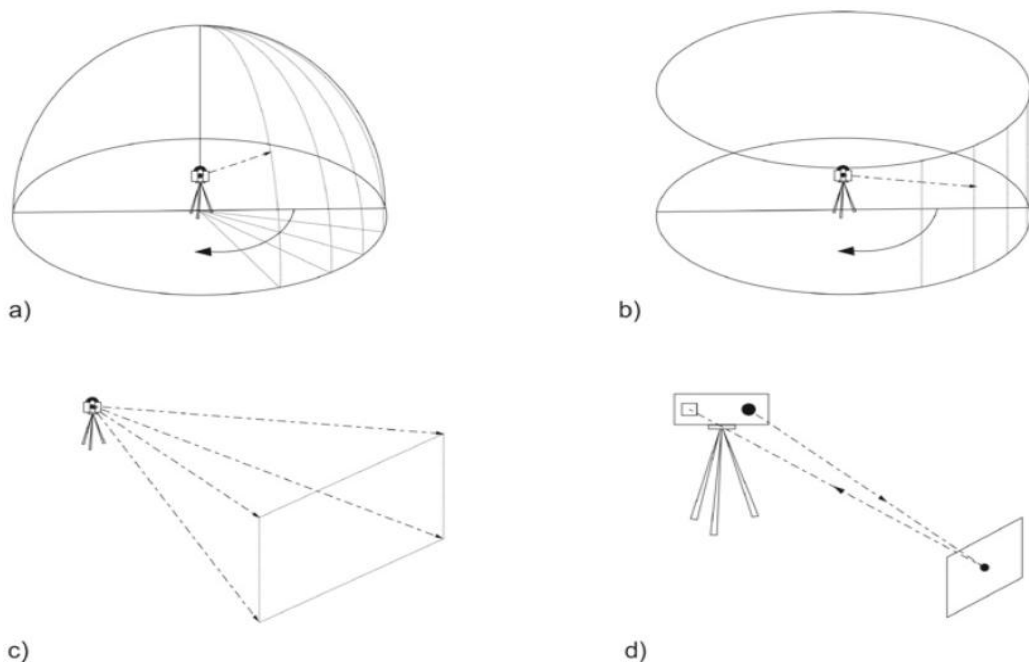
Kuten aiemmin todettiin, on laserkeilauksella monia käyttötarkoituksia ja keilatavat kohteet voivat olla keskenään hyvin erilaisia. Toisissa vaaditaan pitkien etäisyyksien mittaamista ja toisissa puolestaan hyvää mittaustarkkuutta. Laittevalinta tietyn kohteen keilaamiseksi riippuu ensi sijassa näistä kahdesta muuttujasta sekä omista tarpeista (Heiska 2009). Vaadittu maksimietäisyys ja mittaustarkkuus määrittelevät laserkeilaimen käyttötarkoituksen, jonka perusteella ne voidaan luokitella neljään luokkaan (Koski 2001; Joala 2006; Cronvall, Kråknäs, Turkka 2012):

- Kaukokartoitus-laserkeilaimet, joita käytetään ilmakuvaukseen lentokoneesta tai helikopterista käsin. Pistetarkkuus on 10 cm luokkaa ja toimintasäde vaihtelee sadoista metreistä satoihin kilometreihin.
- Terrestriaaliset- eli maalaserkeilaimet, joita nimensä mukaan käytetään maasta käsin. Niiden mittaustarkkuus on alle 1 cm ja ne on tarkoitettu 1 – 300 m etäisyyksille tehtäviin mittauksiin.
- Teollisuuslaserkeilaimet, toiselta nimeltään lähilaserkeilaimet, jotka soveltuvat pienten kohteiden mittaukseen. Niiden mittaustarkkuus on millimetrisen luokkaa, mutta mittaustarkkuus kuitenkin rajoittuu 30 metriin.
- Mobiili- eli ajoneuvolaserkeilaimet, joilla mittaus suoritetaan liikkuvasta ajoneuvosta. Menetelmä perustuu yhteen tai kahteen keilaimeen ja paikannusjärjestelmään. Käytetään esim. 3D-kaupunkimallien tuottamiseksi.

3.2 Mittaustapa

Opinnäytetyössä käytettiin maalaserkeilainta, jotka voidaan jakaa edelleen mittaustavan perusteella neljään luokkaan (Joala 2003; Joala 2006). Kukin mittaustapa on havainnollistettu kuvassa 3.

- a) Kupolimainen mittaustapa, joka sopii parhaiten tunneleiden ja pienten sisätilojen mittaamiseen. Nykyään suurin osa käytetyistä keilaimista perustuu tähän mittaustapaan. Kupolimaisella mittaustavalla dataa kerätään pallomaisesti kaikista suunnista, paitsi pieneltä alueelta koneen alapuolelta (tekninen rajoite).
- b) Panoraaminen mittaustapa, jonka mittarajoitteena on koneen ylä- ja alapuolinen alue. Mittausaika on tästä syystä kupolimaista nopeampi. Sopii hyvin rakennuksien sisätilojen keilaamiseen.
- c) Keilamainen mittaustapa, jota käytetään erityisesti tarkkuutta vaativiin mittauksiin. Mittaustapa mahdollistaa kohteen mittaamisen millimetrin ruutuun jopa 50 metrin päästä, edellyttäen kuitenkin keilaussuunnan rajaamista, jolloin suuria alueita jää mittaamatta. Käytössä esimerkiksi siltojen, rakenteiden ja muistomerkkien mittauksissa.
- d) Optinen kolmiomittaus, joka on mittaustavoista vähiten käytetyin. Sen rajoitteena ovat suuret katvealueet ja lyhyt mittausetäisyys. Soveltuu lähinnä pienten kohteiden yksityiskohtaiseen mittaamiseen.

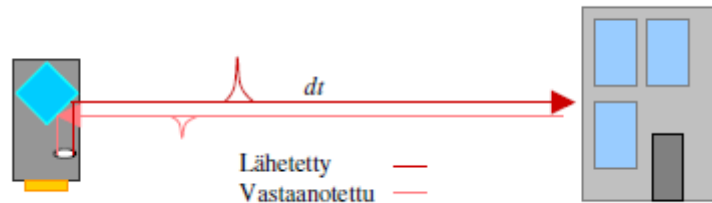


Kuva 3. Havainnekuvat erilaisista mittaustavoista (Petrie & Toth 2009)

3.3 Etäisyysmittausmenetelmä

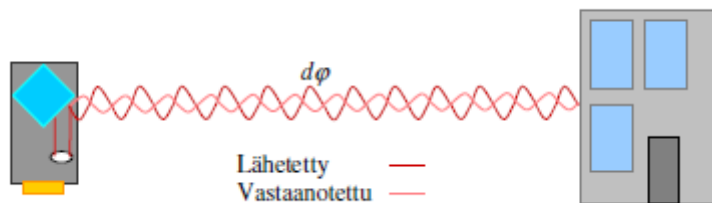
Yleispätevästi kaikki laserkeilaimet voidaan jakaa kahteen pääryhmään niiden etäisyysmittausmenetelmän perusteella.

- Aikaero- eli pulssilaserkeilaimet, joiden toiminta perustuu valon kulkuu-
kaan (kuva 4). Laite mittaa lähetetyn säteen takaisinheijastumiseen kulu-
van ajan, ja sen perusteella etäisyyden kohteeseen. Niillä voidaan mitata
pitkiä matkoja pistepilven pysyessä tiheänä ja tarkkuuden säilyessä.
Pulssilasereilla pystytään mittaamaan pienellä, muutaman tuhannen ha-
vainnon toistotaajuudella. (Kukko 2005; Joala 2006.)



Kuva 4. Valon kulkuu-aikaan perustuva etäisyysmittaustapa (Kukko 2005, s. 7)

- Vaihe-erolaserkeilaimet, lähettävät pulssilaserkeilaimista poiketen jatku-
va-aaltoista signaalia (kuva 5). Etäisyys kohteeseen lasketaan lähetetyn
ja vastaanotetun säteen vaihe-eron avulla. Ne ovat pulssilaserkeilaimia
nopeampia, pystyen mittaamaan jopa 500 000 pistettä sekunnissa, mutta
niiden mittausetäisyys rajoittuu alle 100 metriin. (Kukko 2005; Joala
2006.)



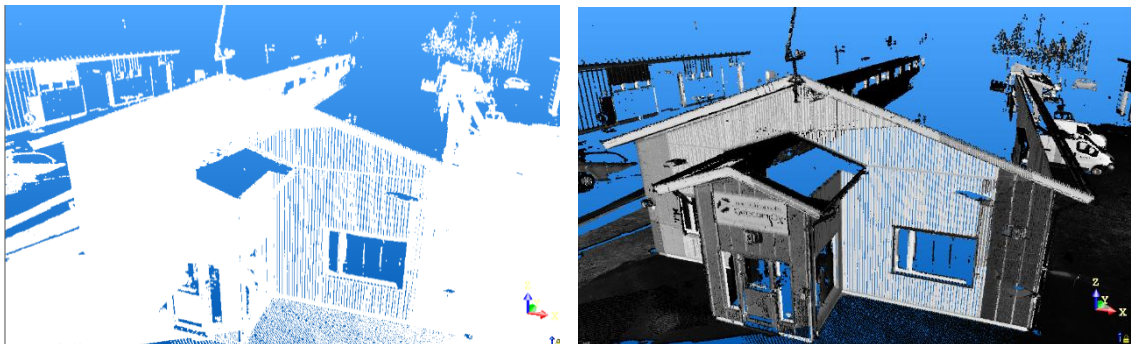
Kuva 5. Vaihe-eroon perustuva etäisyysmittaustapa (Kukko 2005, s. 7)

Menetelmillä saavutettava maksimietäisyys ja mittauksen nopeus muodostavat näiden kahden tyypin suurimmat erot.

4 Pistepilvi

4.1 Pistepilvi yleensä

Laserkeilauksen mittaustuloksena saadaan miljoonista yksittäisistä pisteistä koostuva pisteaineisto, pistepilvi. Pistepilven jokaisella pisteellä on kolmiulotteinen xyz-koordinaatti. Sijaintitiedon lisäksi keilain tallentaa myös pisteestä takaisin heijastuvan paluusignaalin voimakkuuden eli intensiteetin, joka havaitaan eri värisävyinä. Kuvassa 6 on havainnollistettu tätä intensiteetin pistepilvelle tuomaa lisäarvoa.



Kuva 6. Pistepilvi ilman intensiteettiä ja harmaasävy-intensiteetillä esitettynä

Laserkeilattu rakennuksen pääty ja siitä saatu pistepilvi on esitettynä vasemmalla ilman intensiteettiä (kaikki pisteet ovat valkoisia) ja oikealla sama pistepilvi esitettynä harmaasävy-intensiteetillä. Oikeanpuoleinen kuva muistuttaa mustavalkokuvaa ja on huomattavasti selkeämpi. Pistepilvestä voidaan erottaa julkisivun eri materiaalien rajat ja rakennuksen päädyssä olevan taulun teksti.

Tarkoituksia mitata pistepilvi on useita, yleisin tapaus on kohteen mallintaminen pistepilven pohjalta jatkokäsittelyyn tarkoitetulla tietokoneohjelmalla (Joala 2006). Näiden mallien tarkkuuden ja luetettavuuden perusehtona on laadukas pistepilvi. Ennen mittauksen suorittamista keilaimelle syötetään asetukset, joilla vaikutetaan pistepilven laatuun.

4.2 Pistepilven laatu

Pistepilven laatuun vaikuttaa sen tiheys, eli yksittäisten pisteiden välinen etäisyys, sekä yksittäisten pisteiden laatu.

Pistepilven tiheys

Pistepilven pisteiden keskinäinen välimatka vaikuttaa suoraan mallintamisen laatuun. Yksityiskohtien havainnoinnissa ja mallintamisessa pistetarkkuutta tärkeämpää on pistetiheys. Tarkkuuden on tietysti oltava hyväksytyissä rajoissa. Kohteen reunojen ja esimerkiksi putkistojen mallintaminen pystytään tekemään sitä tarkemmin, mitä tiheämpi pistepilvi on. Tiheys on valittava tapauskohtaisesti. Mikäli työ ei sitä vaadi, on liian tiheään mittaaminen ainoastaan ajan ja rahan hukkaa. Liian harvasta pistepilvestä ei puolestaan tule yksityiskohtia riittävän tarkasti esille. (Koski 2001; Joala 2006.)

Pistetiheys määritellään pikseleiden lukumääränä/360°, vaaka- sekä pystyakselille erikseen. Siten pistepilven vierekkäisten pisteiden välinen etäisyys kasvaa etäisyyden kasvaessa. Parhaimmillaan keilaimet pystyvät mittaamaan pisteitä muutaman millimetrin ruutuun (pisteiden keskinäinen välimatka), etäisyyden ollessa yli sata metriä. (Joala 2006.)

Yksittäisen pisteen laatu

Laserkeilain tallentaa pisteestä heijastuneen paluusignaalin voimakkuuden (intensiteetin), ja antaa pisteelle sävyarvon sen mukaan. Pisteestä saadun paluusignaalin voimakkuus heikkenee etäisyyden kasvaessa. Säteen vahvuuteen vaikuttaa myös pinnan materiaali, tasaisuus ja väritys sekä säteen osumakulma kohteeseen. Tietokoneen näytöllä intensiteettivaihtelut voidaan visuaalisesti esittää värieroina. Tämä helpottaa pistepilven käsittelyä kolmiulotteisessa ympäristössä, jossa muuten ulottuvuuksien havainnointi olisi samanvärisestä pistemassasta todella hankalaa. Intensiteetin avulla voidaan tasaiselta pinnalta erottaa esimerkiksi kuvioita ja tekstejä. (Koski 2001; Joala 2006.)

4.3 Erilaisten pintojen ja olosuhteiden vaikutus pistepilven laatuun

Laserkeilauksella voidaan mitata vain se mitä laitteelle näkyy. Keilausta suorittaessa on tunnettava joitain säteen heijastumista ja kulkua rajoittavia tekijöitä. Kaikki laserkeilaimen vastaanottama ja tallentama tieto ei aina ole totuudenmukaista. Valheellisten pisteiden tallentumista voidaan vähentää kun nämä rajoitteet tunnetaan.

Kuten aiemmin mainittiin, kohteen pinnan laadusta riippuen myös takaisinheijastuvien paluusignaalien intensiteetit ovat erilaisia. Joistain pinnoista ei välttämättä saada paluusignaalia lainkaan, eikä kone pysty silloin tällaista pintaa myöskään havaitsemaan. Koneelle epäsuotuisia pintoja ovat mm.

- hyvin absorboivat pinnat (väriltään mustat)
- hyvin kiiltävät pinnat (esim. kiillotettu metalli, kiiltomaali)
- läpikuultavat pinnat (ts. kirkas lasi)

(Zoller + Froehlich GmbH 2007.)

Pisteitä jotka on mitattu lasin läpi, ei tulisi ikinä käyttää. Säde heijastuu lasin läpi kulkiessaan aiheuttaen vääristymiä, jolloin mitatun pisteen sijainti ei enää ole tarkka. Myös suuret lämpötilan tai paineen muutokset taittavat sädettä samaan tapaan. (Leica Nilomark Oy 2005.) Lämpötila voi myös rajoittaa laitteiden toimimista. Normaali operoimislämpötila monilla laitteilla on 0 - +40 °C, uusimpien mallien toimiessa myös -10 asteen pakkasella. Laitevalmistajasta riippuen koneelle joka syötetään vallitseva lämpötila ennen käyttöä tai kone mittaa sen itse.

Mittaepätarkkuus voi kasvaa myös pinnoissa, joita suora auringonpaiste tai valokeila häikäisee voimakkaasti, vaikka normaaliolosuhteissa pinnoista saataisiinkin hyvä paluusignaali. Tällaisella pinnalla on suurempi pintaheijastus, mikä aiheuttaa mittausrvirhettä. Keilain voi myös häikäistyä niin voimakkaasti, että se sokaistuu, eikä rekisteröi tätä kohtaa lainkaan. Tällöin kohde ei tallennu ja keilauksuvassa on nähtävissä vain ”musta aukko”. (Zoller + Froehlich GmbH 2007.) Valon määrällä ei muuten ole väliä, kunhan sitä ei ole liikaa. Mittaukset voidaan suorittaa vaikka pilkkopimeässä.

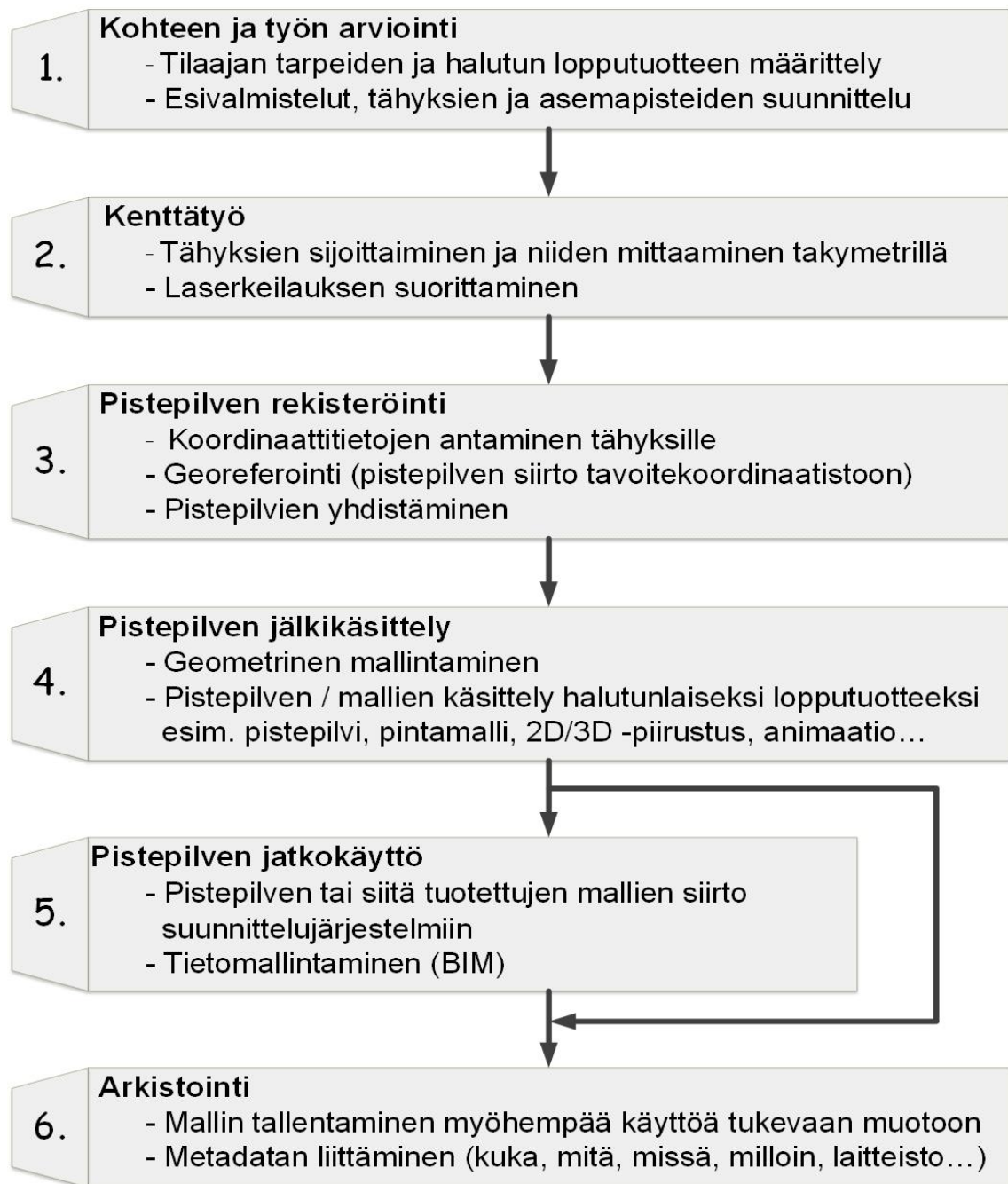
Epäsuotuisista pinnoista saatavia mittaustuloksia voidaan yrittää parantaa. Paluusignaaleja voidaan vahvistaa esimerkiksi värjäämällä pinta tai levittämällä jauhetta pinnalle ennen keilauksen suorittamista. (Zoller + Froehlich GmbH 2007.)

Kova vesi- tai lumisade sekä sumu aiheuttavat heikkoja tuloksia tai voivat estää keilauksen kokonaan. Pienikin vesisade voi olla optiikan kannalta ongelmallista, vaikka se ei säteen kulkua vielä haittaisikaan. Pelkästään ilmassa leijuva pöly

voi myös heijastaa säteen ennenaikaisesti takaisin, aiheuttaen mittavirhettä (Koski 2001).

5 Laserkeilausprosessi

Joustavan ja taloudellisen mittauksen suorittamiseksi tulee sitä suunnitella etukäteen. Liitteessä 1 on esitetty mallipohja laserkeilausprojektin suunnittelemiseksi. On tärkeää selvittää projektin tyyppi, laatuvaatimukset, niihin vaikuttavat tekijät sekä tilaajan toiveet. Kohde, sen ominaisuudet ja erityispiirteet on aina huomioitava tapauskohtaisesti. Lisäksi mitatun pistepilven käyttötarkoitus vaikuttaa työn läpiviemiseen ja se tulee selvittää työn tilaajalta. Lopuksi on selvitettävä formaatti, jossa aineisto tallennetaan. Formaatti valitaan jatkokäsittelyn tarkoituksen ja siihen käytettävän ohjelman perusteella. (Leica Nilomark Oy 2005.) Keilausprosessin vaiheet on tiivistetty seuraavaan kaaviokuvaan (kuva 7), jonka tekemisen pohjana on sovitettu lähteitä Heiska 2009 ja Joala 2006.



Kuva 7. Keilausprosessin perusvaiheet.

Kaavion vaiheessa 4 tarvitaan viimeistään jokin pistepilven käsittelyohjelma. Vaihe 3 on vielä mahdollista suorittaa näiden ohjelmien lisäksi, laserkeilain valmistajien omilla ohjelmilla, jotka ovat tarkoitettu ainoastaan pistepilvien rekisteröimiseen. Varsinaisilla käsittelyohjelmilla voidaan vasta muokata itse pistepilveä.

4. vaiheessa mainittu ”Geometrinen mallintaminen” tarkoittaa matemaattisten (tasot, sylinterit, kartiot...) ja luonnollisten mallien (kolmiointi, maastomalli...)

luomista. Useissa töissä tämänkaltainen mallintamisen taso riittää ja sen vuoksi nuolikaaviossa on esitetty mahdollisuus seuraavan vaiheen kiertämiseksi.

Vaihe 5 käsittää pistepilven jatkokäytön muissa suunnittelujärjestelmissä, kuten Tekla, Revit, Microstation ja TerraModeler. Tällöin kyseeseen tulee tietomallintaminen (BIM), esimerkiksi inventointimallin luominen laserkeilauksen pohjalta. Monissa projekteissa tämä ei ole tarkoituksenmukaista, ja siksi kyseinen vaihe on mahdollista ohittaa. Tässä kohtaa on tärkeää huomata, ettei edellisessä vaiheessa luotuja geometrisiä malleja voida kääntää älykkäiksi tietomalleiksi. Visuaaliseen mallintamiseen ei siis kannata käyttää liikaa aikaa, mikäli lopullisena tavoitteena on tietomalli. Mallintaminen tulisi tehtyä kahteen kertaan, mikä ei ole järkevää. Mikäli tavoitteena olisi tehdä esimerkiksi inventointimalli, vaiheessa 4 tulisi tuottaa pistepilvestä pelkästään tasopiirustus. Tämän jälkeen siirryttäisiin toiseen ohjelmaan, jossa varsinainen tietomallintaminen tehdään käyttäen tasokuvaa ja pistepilveä ainoastaan lähtötietona.

Tavallisimmat virheet mittausta suorittaessa

Peruseriaatteeltaan laserkeilauksen suorittaminen on suhteellisen yksinkertainen ja selkeävaiheinen prosessi. Alle on listattu virheitä, joita mittauksen aikana voisi tavallisesti käydä tähyksiin, keilainlaitteeseen tai ympäristöön liittyen. Lyhyenkin kokemuksen omaava henkilö osaa jo tunnistaa ja välttää nämä muutamit kompastuskivet.

- Takymetrillä suoritettu lähtöpisteiden ja tähyksen mittaus on tehty epätarkasti.
- Tähyksen riittämättömyys tai heikko näkyvyys (este, havaintokulma, etäisyys).
- Paperitähyksen sijoittaminen kaarevalle pinnalle.
- Henkilö tai ajoneuvo kulkee laitteen edestä juuri kun keilaussektori osoittaa tähykseen päin ja jää näin havaitsematta.
- Laserkeilaimen kovalevyllä ei ole riittävästi tilaa keilausta aloittaessa (varattava 20 – 40 GB / päivä).
- Keilain on kallellaan, liikahtaa keilauksen aikana tai keilaimen kompensointori on vioittunut. (Arminen 2014.)

Lisäksi ainakin opinnäytetyössä käytetty laserkeilain on varustettu turvaetäisyys toiminnolla, joka sammuttaa lasersäteen, mikäli jokin pinta on liian lähellä laitetta. Toiminnolla pyritään välttämään laitteen läheisyydessä olevien ihmisten silmien altistumista vahingoittavalle lasersäteelle. Turvaetäisyys on ainoastaan 30 senttimetriä, mutta voimakkaasti heijastava pinta saattaa aiheuttaa laitteen pysähtymisen ja virheilmoituksen aukeamisen keilaimen näytölle suuremmallakin etäisyydellä. Laitetta ei siis tule pystyttää liian lähelle seinää eikä kuljettava liian läheltä sen mittaussektorin ohi mittauksen aikana. (Zoller + Froehlich GmbH 2007.)

6 Laserkeilausmittauksen toteutus esimerkkikohteessa

Opinnäytetyötä varten suoritettiin laserkeilaus Lappeenrannassa Geocom Oy:n toimistorakennuksesta. Rakennuksen ulkopuolinen keilaus suoritettiin 13.10.2014 pilvisessä säässä. Aikaa tähän kului ensikertalaiselta melkein kolme tuntia, kun käytettiin neljää kojeasemaa (joista yhden rekisteröinti epäonnistui liian etään tähyksen takia) ja noin kymmentä tähyistä. Ammattilaiselta samaan tehtävään kuluisi korkeintaan yksi tunti. Työ suoritettiin yhdessä Geocom Oy:n toimitusjohtaja Mika Armisen kanssa. Luvun 6 teksti perustuu pääosin hänen selostuksestaan tehtyihin muistiinpanoihin, ellei toisin mainita.

6.1 Kalusto

6.1.1 Keilain

Geocom Oy:n käyttämä keilain on saksalaisvalmisteinen Zoller+Fröhlichin IMAGER 5006 (kuva 8). Sen etäisyysmittaus perustuu vaihe-eroon ja sen tiedonkeruunopeus on lähes 500 000 pistettä sekunnissa, jolloin yksi keilaus voi sisältää jopa 800 miljoonaa pistettä. Laitetta voidaan käyttää täysin itsenäisesti, siihen ulkoisia laitteita liittämättä.



Kuva 8. Zoller+Fröhlich IMAGER 5006 laserkeilain

Tekniset tiedot:

- | | |
|--------------------|------------------------------|
| - toimintaperiaate | vaihe-erolaser |
| - toimintasäde | 0,4 – 79 m |
| - havaintokulma | 310° x 360° (pysty x vaaka) |
| - mittausnopeus | ≤ 500 000 pistettä / sekunti |
| - mittaustarkeus | 50 metrissä < 1 mm |
| - käyttölämpötila | 0 – +40 °C |
| - paino | 14 kg |

(Zoller + Froehlich GmbH, 2007)

Keilaimen tietokonetta operoidaan yksinkertaisen käyttöpaneelin kautta, joka koostuu ainoastaan kuudesta painikkeesta ja 4-rivisestä näytöstä.

6.1.2 Takymetri

Takymetriä (kuva 9) tarvitaan runkoverkon luomiseksi ja keilatun aineiston sitomiseksi koordinaatistoon. Takymetrillä mitattuja tähyksiä käytetään myös eri asemapisteiltä mitattujen pistepilvien yhdistämiseksi toisiinsa. Tämä on tarkin mahdollinen tapa yhdistää pistepilvet.

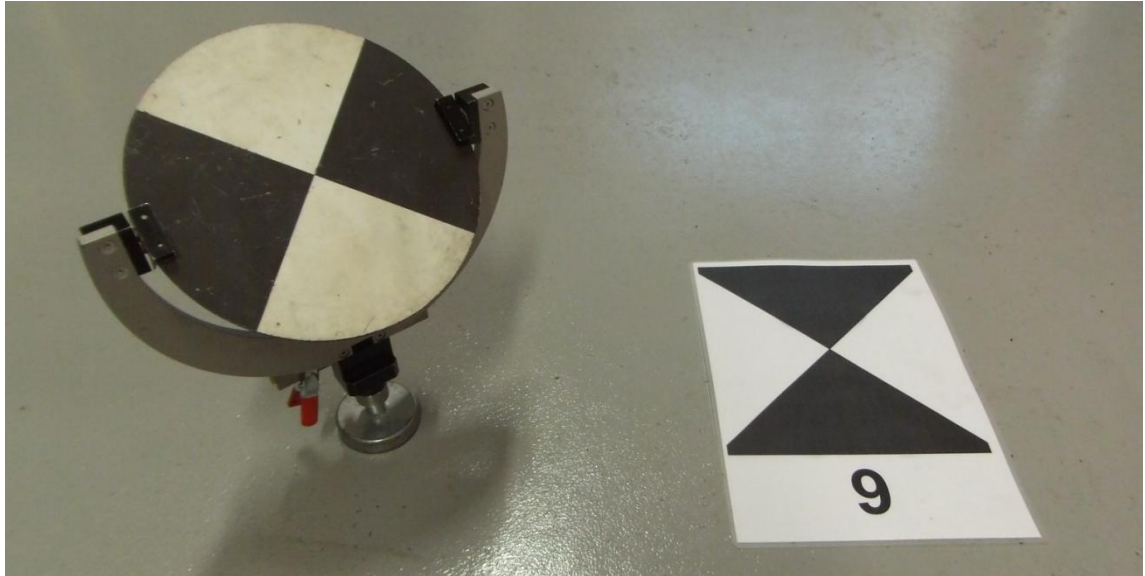


Kuva 9. Leica TCRA 1103 takymetri (Leica Geosystems)

Tätä työtä tehdessä käytettiin kuvan 9 mukaista Leican robottitakymetriä tähtysten keskipisteiden mittaamiseksi ja koordinaatiston luomiseksi.

6.1.3 Tähykset

Tähyksiä käytetään laserkeilauksessa ”kiintopisteinä” useiden pistepilvien yhdistämiseksi toisiinsa yhdeksi pilveksi. Tähykset voivat olla tasomaisia kuvia tai pallomaisia kappaleita. Yhteistä niille on se, että ne ovat havaittavissa keilauskuvasta ja että niille pystytään osoittamaan keskipiste. Tasomaiset tähykset ovat mustavalkoisia ja shakkiruutukuvioisia. Ne voivat olla yksinkertaisia A4-paperitulosteita tai magneettiseen jalustaan kiinnitettyjä metallilevyjä. Opinnäytetyössä käytettiin ainoastaan tasomaisia tähyksiä, jotka on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Metallinen ja paperinen tähyks

Paperiset tähykset kiinnitetään tasomaisiin pintoihin, kuten seiniin. Niitä ei saa sijoittaa putkiin tai muihin kaareviin pintoihin, kuten pyöreisiin pilareihin. Laserkeilain havaittisi tällöin ruutukuvion keskipisteen eri kohtiin, eri suunnista katsotuna. Toinen rajoittava tekijä paperitähyksiä käytettäessä on havaintokulma. Havaintokulman tasomaiseen tähykseen ei tule olla suurempi kuin 45° . (Zoller + Froehlich GmbH 2007.) Metallitähyksiä käytettäessä ei tätä ongelmaa ole, sillä ne ovat liikuteltavissa ja niiden pinta voidaan aina kääntää kohtisuoraan keilainta päin. Pallomaiset tähykset havaitaan luonnollisesti joka suunnasta samanlaisena.

6.2 Tähysten sijoittaminen ja mittaaminen

Eri keilauspisteistä saatujen pistepilvien yhdistämiseksi toisiinsa on jokaisessa keilauskuvassa oltava havaittavissa vähintään 3 tähyistä, mutta 5–6 tähyistä on suositeltavaa. Käyttämällä useampaa tähyistä yhdistäminen onnistuu varmemmin ja tarkemmin. Tähysten avulla saadaan jokainen keilaus rekisteröityä koordinaatistoon ja siten yhdistettyä muiden keilausten kanssa. Keilattava kohde ja koko määrittelee tarvittavien keilauspisteiden määrän, mikä puolestaan määrittelee tarvittavien tähysten lukumäärän.

Vaikka keilaimen mittausetäisyys onkin 80 m, ei keilaimen ja tähyksien välinen etäisyys saisi olla suurempi kuin 10–20 m. Tämä etäisyys riippuu käytettävästä resoluutiosta ja havaintokulmasta, mutta jo 10 metriä etäämmällä olevat tähyk-

set saattavat olla keilauskuvassa liian epätarkkoja luetettavan tuloksen saamiseksi. Tähysten ja keilauspisteiden sijoittelua onkin hyvä suunnitella etukäteen paperille. Esimerkiksi kääntyvät metallitähykset toimivat hyvin rakennusten kulmissa, missä ne voidaan havaita kulman molemmilta puolilta.

Kun tähykset on sijoitettu paikoilleen, niiden keskipisteen xyz-koordinaatti mitataan takymetrillä. Samalla kullekin tähykselle annetaan oma tunnus. Mittaukset voidaan tehdä mielivaltaiseen tai valtakunnan koordinaatistoon. Esimerkiksi rakennusmittauksissa koordinaatiston akselit on hyvä määrittää pääsivujen suuntaisiksi. Jonkinlainen koordinaatisto on kuitenkin luotava keilaustulosten yhdistämiseksi. Tätä vaihetta ei siis tarvitse välttämättä suorittaa, mikäli käytetään vain yhtä keilauspistettä. Jokaiselle tähykselle annetaan tunnus ja niiden sijainti mitataan, jolloin ne saavat x-, y- ja z-koordinaattiarvot.

6.3 Laserkeilauksen suorittaminen

Laserkeilain pystytetään kolmijalalle pakkokeskitysalustan päälle (kuva 11). Laite tasataan elektronisen tasaimen avulla alustan jalkaruuveja kiertämällä, samaan tapaan kuten takymetrikin.

Keilauksen suorittamiseksi laitteen valikosta tarvitsee oikeastaan valita ainoastaan haluttu resoluutio eli tarkkuus. Yleispätevällä tarkkuusasetuksella, High, yksi keilaus kestää alle 4 minuuttia ja tallennetun pistepilven koko on tiedostokooltaan noin 180 Mb.

Jos tarvitaan keilata vain pieni kohde tai alue, voidaan keilaimen asetuksista rajata halutunlainen keilaussektori. Useimmissa tapauksissa on kuitenkin helpompaa ja nopeampaa keilata koko ympäristö ja suorittaa kohteen rajaus tietokoneella rekisteröinnin yhteydessä.

Keilaimen pystyttämisen ja asetusten syöttämisen jälkeen mittaus käynnistetään napin painalluksella ja laite aloittaa mittaamisen. Elektroninen tasain tarkkailee koneen mahdollista kallistumista mittauksen aikana. Dataa kerätessään IMAGER keilain kääntyy 184° pystyakselinsa ympäri, eli mittaa 368°:een ympyrän. Tämä näkyy panoraamakuvassa päällekkäin limittyvinä reunoina, millä voidaan varmistaa, että kone on säilyttänyt suoruutensa koko mittauksen ajan. Mi-

käli kone kallistuu keilauksen aikana, keilaustapahtuma ei pääty oikein ja se hylätään automaattisesti. Tasain on mahdollista asettaa pois käytöstä. Tätä toimintoa käytetään mitattaessa liikkuvasta ajoneuvosta, tai jos joudutaan keilaamaan laite ylösalaisin.



Kuva 11. Laserkeilain pystytettynä ja mittaamassa

6.4 Keilatun materiaalin siirto tietokoneelle ja pistepilven rekisteröinti

Keilausta seuraavana päivänä suoritettiin tiedonsiirto laserkeilaimesta tietokoneelle sekä pistepilvien suodattaminen, tähysten rekisteröinti ja toiseen tiedostomuotoon vienti. Aikaa tiedostojen siirtoon ja käsittelyyn kului lähes 2 tuntia, kun aineisto käsitti 8 asemapistettä ja noin 17 tähystä. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa keilatun aineiston rekisteröintiin kuluvan ajan olevan noin 2–3 kertaa pidempi kuin keilaukseen käytetty aika.

6.4.1 Koordinaattitietojen purku

Takymetrillä suoritettut mittaukset tuotiin tietokoneelle maastomittaustietojen käsittelyyn tarkoitettuun Win-3D ohjelmaan. Mitatut pisteet tulevat ohjelmaan näkyviin nimineen ja koordinaattitietoineen.

Koska kyseessä oli rakennusmittaus, on koordinaatiston x- ja y-akselit hyvä määrittää rakennuksen pääsivujen suuntaisiksi. Tämäntapainen koordinaatiston

kierto suoritettiin tässä vaiheessa. Toimenpiteen jälkeen koordinaatit eivät ole enää valtakunnan järjestelmän mukaisia, mutta tämä helpottaa työskentelyä pistepilven kanssa. Korkoarvot säilyvät ennallaan. Korko voidaan ilmoittaa valtakunnan järjestelmän mukaan tai asettamalla jokin taso (esim. lattiapinta) 0-tasoksi.

6.4.2 Keilattun aineiston purku, rekisteröinti ja suodatus

Keilattu aineisto voidaan siirtää koneelle WiFin, bluetoothin tai kaapelin välityksellä (Zoller + Froehlich GmbH 2007). Raakadatan tiedostomuoto on laitteelta siirrettäessä ZFS, joka on Zoller+Fröhlichin oma tiedostomuoto. Sen käsittely vaatii yhteensopivan ohjelman, joka oli tässä tapauksessa Z+F LaserControl. Mittausaineiston siirto keilaimen kovalevyltä tietokoneelle kestää vain joitain minutteja.

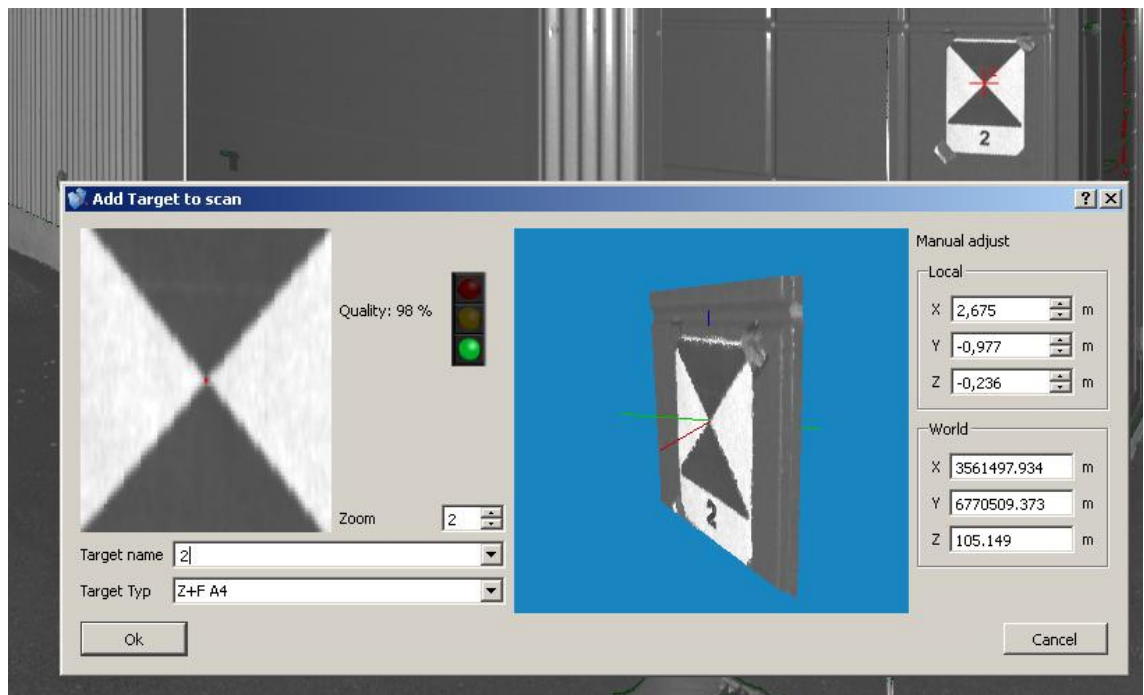
Ohjelmalla aloitetaan uusi projekti, johon tuodaan vuorollaan jokaisesta keilauspisteestä saatu pistepilvi. Pistepilvet aukeavat ruudulle harmaasävyisinä pano-
raamakuvina, lähes valokuvatarkkoina (kuva 12).



Kuva 12. Kohde rajattuna pistepilven pano-
raamakuvasta

Kuvassa 12 näkyy myös aiemmin mainittu reunojen limittyminen, jolla tasaus varmistetaan. Tämä ns. vaaka-akselin 0-kohta on havaittavissa kuvassa saumanana. Kuvassa etualalla nähdään myös ohi ajaneen auton jättämä ”varjo”.

Seuraavaksi suoritetaan pistepilven rekisteröinti. Rekisteröinti tarkoittaa koordinaattitietojen antamista keilauskuvassa näkyville tähyksille ja siten koko pistepilven sitomista koordinaatistoon. Ohjelmalle osoitetaan kuvassa näkyvä tähyks, jonka se tunnistaa tähykseksi ja löytää sen keskipisteen. Tähykset nimetään antamalla niille sama tunnus kuin aikaisemmin takymetrillä, kuten kuvassa 13 on esitetty. Koordinaatit tähyksille tulevat LaserControl-ohjelmaan suoraan 3D-Win ohjelmasta, sitä mukaan kun tähyksiä nimetään. Näin tähykset saavat koordinaattitiedot ja ne tallentuvat keilauskuvaan. Kun kaksi tähyspistettä on nimetty, ohjelma löytää itse loputkin kuvassa näkyvät tähykset, joiden paikkansapitävyys varmistetaan. Tämä rekisteröinti toistetaan jokaiselle keilauskuvalle.



Kuva 13. Tähysten keskittäminen ja rekisteröinti

Kun tähykset on rekisteröity, pistepilven jokainen piste saa x-, y- ja z-koordinaattiarvot, jotka ovat johonkin järjestelmään perustuvia koordinaatteja. Näin ollen pisteiden sijainnit eivät ole enää keilainkeskisessä koordinaatistossa, jossa ne määriteltiin ainoastaan vaaka- ja pystyasteina sekä etäisyyksinä keilaimen linssistä. (Koski 2001.)

Rekisteröinnin jälkeen ohjelma avaa virhetarkasteluraportin, jolla voidaan varmistaa työn onnistuminen ja tarkkuus. Näin myös työn tilaaja voi halutessaan

varmistaa keilauksen laadun. Osa tällaisesta rekisteröintiraportista on esitetty liitteessä 2.

Projektia on myöhemmin mahdollista täydentää jälkeempään suoritetuilla keilauksilla. Uudet pistepilvet sekä niiden tähykset mitataan samaan koordinaatistoon ja lisätään rekisteröinnin jälkeen projektiin.

Ennen työn tallentamista voidaan vielä suorittaa pistepilven suodattaminen käyttäen LaserControl-ohjelman työkaluja. Suodatustoiminnot poistavat kohinaa, roskia ja muita selkeitä virheitä. Pistepilvi voidaan myös rajata tiedostokoon pienentämiseksi ja turhan materiaalin karsimiseksi. Kyseinen toimenpide voidaan tehdä suoraan panoraamakuvasta rajaamalla tai asettamalla jokin maksimi- ja/tai minimietäisyys pisteiden ja keilaimen välille, joita kauempana tai lähempänä olevia pisteitä ei haluta tarkastella.

Lopuksi pistepilvet tallennetaan ja viedään ulos halutussa tiedostomuodossa. Tiedostomuodot joihin LaserControl pystyy kirjoittamaan on esitetty taulukossa 1, export-sarakkeessa.

Data Format	Description	Import	Export
*.zfs, *.zfpj (*zfc, *.sat)	Z+F Scan, Z+F Projects Z+F Scan (LFM), Z+F Projects (LFM)	x x	x
*.ptx *.asc, *.txt, *.pt, *.pts	Leica ASCII ASCII	x x	x x
*.xyz.asc *.ptc	XYZ as ASCII Point Cloud Kubit		x x
*.ptg *.e57	Leica binary ASTM E57	x x	x x
*.iv *.vml, *.wrl	Inventor VRML	x x	x x
*.jpg, *.png, *.bmp *.gif	Image Image	x x	x
*.tiff *.k, *.idx	Image Total Station		x
*.dxf *.las	Autodesk ASPRS		x x
*.osf	Open Source Binary	x	x

Taulukko 1. LaserContorl ohjelman tuonti ja vientitiedostomuodot (Zoller + Froehlich GmbH 2007)

Haluttu tiedostomuoto valitaan omien tarkoitusten tai tilaajan toiveiden mukaan, riippuen lähinnä jatkokäsittelyyn käytetystä ohjelmasta.

7 Pistepilven käsittelyohjelmat

Pelkkä pistepilvi sellaisenaan tarjoaa melko vähän informaatiota käyttäjälleen. Pistepilven sisältämän datan hyödyllistämiseksi tarvitaan jokin jatkokäsittelyohjelma, jonka työkaluilla voidaan muokata yksittäisten pisteiden muodostama mitta-aineisto käyttökelpoiseksi tiedoksi. Markkinoilla on tarjolla useita eri ohjelmia, joista osa voi olla suunnattu tiettyyn käyttötarkoitukseen. Eri ohjelmistovalmistajien tarjoamien ohjelmien lisäksi, myös suurimmalla osasta laserkeilain valmistajista on oma ohjelma. (U.S. Department of Transportation 2008.)

Käsittelyohjelmistot sisältävät monia toisiaan vastaavia työkaluja, mutta eri valmistajien ohjelmistot voivat olla keskenään myös hyvin erilaisia. Lisäksi samasta ohjelmasta voi olla tarjolla useita eri tasoja, eli moduuleita. Yksipuolisimmilla ohjelmilla (tai alimman tason moduuleilla) voi olla mahdollista ainoastaan pistepilven visuaalinen tarkastelu ja etäisyyksien mittaaminen. Pidemmälle kehitetyt ohjelmat sisältävät vasta työkaluja pistepilven rekisteröintiin ja tähyksettömyyden yhdistämiseen, suodattamiseen ja ei-haluttujen pisteiden poistamiseen, kolmioverkkomallintamiseen sekä geometristen kappaleiden mallintamiseen. Näillä työkaluilla voidaan suorittaa esimerkiksi vertailuja suunnittelumallin ja mitatun todellisuuden välillä, tai muunlainen vaativampi mallintaminen. Tavallisesti kuitenkin pistepilviä käytetään muissa suunnitteluohjelmistoissa lähtötietoina, jolloin on tärkeää että käsittelyohjelmalla tehdyt mallinnukset on helposti siirrettävissä muihin mallinnusohjelmiin, kuten AutoCADiin tai tietomallinnusohjelmiin. (Heiska 2009.)

Joitain pistepilven käsittelyohjelmia on listattu alle valmistajineen:

- Cyclone (Leica)
- RealWorks (Trimble)
- Riscan Pro (Riegl)
- LFM Software (Zoller+Fröhlich)
- Faro Scene (Faro)
- I-Site Studio (Maptek)
- PolyWorks (InnovMetric)

Listassa kuusi ensimmäistä ohjelmaa ovat laserkeilainvalmistajien tekemiä ohjelmia. Kaikki nämä ovat tehty yleiseen, maalaserkeilainten tuottamien pistepilvien käsittelyyn, paitsi I-Site Studio, joka on erikoistunut kaivosteollisuuteen. PolyWorks puolestaan on käytetyin mittausohjelmisto autoteollisuudessa ja tukee useiden laitevalmistajien mittalaitteita (Savolainen 2014).

Ohjelmaan investoitaessa kannattaa yrityksen tutustua markkinoilla oleviin eri vaihtoehtoihin huolellisesti. Ohjelmistojen hinnat nousevat äkkiä lähelle 20 000 euroa, mikäli ne sisältävät ohjelman edistyneemmät moduulit. Pistepilven käsittelyohjelma näyttää suurta roolia onnistuneessa mallinnusprojektissa ja joillekin käyttäjille voi ohjelmiston toiminnallisuus olla jopa laserkeilaimen ominaisuuksia tärkeämpi tekijä (Heiska 2009).

8 Vertailuun valitut ohjelmat

Geocom Oy:n toimitusjohtaja Mika Arminen esitti vertailtaviksi Trimble RealWorks- ja Leica Cyclone -ohjelmia. Molemmat yritykset ovat alansa vahvoja ammattilaisia ja heidän tuotteensa ovat maailmanlaajuisesti tunnettuja. Myös Geocomille ne olivat ennestään tuttuja. He olivat ensimmäisen kerran yhteydessä myyjiin laserkeilausohjelmistoihin liittyen vuoden 2013 loppupuolella. Päätöstä minkään ohjelman hankkimiseksi ei vielä silloin tehty. Yritys otti asian uudelleen käsittelyyn syksyllä 2014 tämän opinnäytetyön avustamana.

Opinnäytetyön tekijä tutustui näihin ohjelmiin ensimmäisen kerran 3.10.2014 FINNBuild-messuilla, jossa molemmat olivat edustettuina. Samalla luotiin kontaktit yritysten myyntihenkilöihin, jotka myös esittelivät ohjelmaansa pikaisesti. Yhteyshenkilöt olivat RealWorksin puolelta Tapio Kärkkäinen, Geotrimin (Trimble tuotteiden maahantuoja) myynti-insinööri ja Cyclonen puolelta Vahur Joala, Leica Geosystems Oy:n tuotepäällikkö.

Molempien henkilöiden kanssa sovittiin myöhempi tapaaminen, jolloin järjestettäisiin kattavampi esittely ja pienimuotoinen koulutus heidän ohjelmaansa. Opinnäytetyön tekijä vieraili yhdessä Mika Arminen kanssa Leican toimistolla Vantaalla 14.11.2014 ja Geotrimin toimistolla Espoossa 12.12.2014.

8.1 Trimble RealWorks 9.0

Trimble RealWorks ohjelman avulla voidaan suorittaa pistepilvien visualisointi, tarkastelu, rekisteröinti ja muokkaus. Trimble mainostaa ohjelmaa tehokkaana ja kykenevä suurien tietomäärien käsittelyyn sekä helppokäyttöisenä, ohjelman opastaessa tekijää työn joka vaiheessa. Ohjelma soveltuu ympäristö-, rakennus-, teollisuus- ja muiden vastaavien alojen käyttöön, sekä lisäksi rikostutkimuksen työvälineeksi. Sen rekisteröintivälineillä voidaan mm. rekisteröidä pistepilvet täysin automaattisesti, tarkistaa tähysten laatu ja tuottaa rekisteröintiraportit. Ohjelman mallinnustyökaluilla voidaan tuottaa esimerkiksi poikkileikkauksia, kolmiointeja, korkeuskäyriä, tilavuuksia, vektoreita, ortokuvia ja malleja. RealWorks mahdollistaa näiden aikaansaatuisten 2D ja 3D tuotosten helpon viennin CAD-suunnitteluohjelmistoihin. (Trimble Navigation Ltd 2014a.) RealWorksin viimeisin versio (9.0) on julkaistu 18.11.2014.

RealWorks ohjelmasta on saatavissa neljä eritasoista versiota. Lisenssitasot vaihtelevat tiedostonkäsittelyyn, rekisteröintiin, visualisointiin ja yksinkertaisia malleja pystyvistä perusvaihtoehdosta, kaikki moduulitasot sisältävään täysversioon. (Trimble Navigation Ltd 2014b.)

Harvinaista RealWorks ohjelmassa on se, että se on käännettävissä täysin suomenkieliseksi. Tämä voi helpottaa käyttäjiä, joilla ei ole aikaisempaa kokemusta pistepilven käsittelyohjelmista, eikä siten myöskään vaadittu englannin kielen sanasto ehkä niin hyvin hallussa. Terminologia on kuitenkin usein sellaista, joka ei taivu järkevästi suomen kielelle. Tästä syystä kokenut käyttäjä valitsee todennäköisesti käyttöönsä englanninkielisen asetuksen.

8.2 Leica Cyclone 9.0

Cyclone on maanmittauskojeistaan tutun laitevalmistaja Leican tekemä ohjelma. Se tarjoaa työkalut insinööri-, maanmittaus-, rakennusmittaus- ja vastaavanlaisten alojen 3D-laserkeilausprojekteille. Leican ohjelmistovalikoimaan kuuluvat CloudWorx-lisäosat mahdollistavat pistepilvien helpon tiedonsiirron moniin CAD-järjestelmiin, kuten AutoCADIin ja Microstationiin. Leica mainostaa ohjelmiansa olevan

alan johtavin ratkaisu kaapata, visualisoida, poimia, analysoida, jakaa ja esittää pistepilvidataa perinteisesti tai uudemmalla tavalla (Leica Geosystems).

Ohjelmalla voidaan suorittaa keilaaminen, pistepilvien yhdistäminen, mallintaminen, tulosteiden laatiminen ja aineistojen siirrot muihin suunnittelujärjestelmiin (Leica Nilomark Oy 2005). Ohjelma on modulaarinen, eli se on jaettu eri osioihin. Kukin moduuli toimii itsenäisesti, joten asiakas voi hankkia vain ne osiot, jotka ovat hänelle tarpeellisia. Cyclonesta on tarjolla seitsemän eri moduulia (Leica Geosystems). Cyclonen uusin täysversio (9.0) on julkaistu 2.9.2014.

Ainutlaatuista Cyclonessa on kilpailijoihin verrattuna sen ohjelmistoarkkitehtuuri, joka tallentaa ohjelmalla tehtävät työt tietokantamuotoon. Tietokannoissa työskentelyn mainitaan vähentävän suurten pistepilviprojektien kopiointi- ja siirtotarvetta, parantaen työn teon tehokkuutta. (Leica Geosystems.) Ohjelma tallentaa projektin yhdeksi IMP tiedostoksi, joka sisältää skannaukset, rekisteröinnit, kuvat ja mallinnukset, kaikki yhdessä tiedostossa. Kun ohjelma käynnistetään, aukeaa ensiksi näkyville ainoastaan navigaattori, jolla ei tehdä muuta kuin luodaan tietokantoja, joihin aineistot sitten tuodaan. (Vahur Joala, tuotepäällikkö. Leica Geosystems Oy. Suullinen tiedonanto. 14.11.2014.)

Ohjelmistoarkkitehtuurinsa ansiosta projekteja ei tarvitse erikseen tallentaa, eikä käyttövalikoista edes löydy ”Tallenna” -painiketta. Jokainen muutos tallentuu saman tien tietokantaan, eikä tehty työ häviä sähkökatkon sattuessaan. Käyttöjärjestelmä mahdollistaa myös loputtoman ”Kumoa” -komennon käytön ja projekti voidaan palauttaa siihen muotoon, millainen se oli ohjelman edellisen käynnistyksen yhteydessä.

9 Vertailu

9.1 Perusominaisuuksien vertailu

9.1.1 Laitevaatimukset

Trimblen ilmoittamat laitevaatimukset RealWorks 9.0 ohjelmalle:

- Käyttöjärjestelmä Windows 7 tai 8 – 64-bittinen
- Prosessori minimissään 2,8 Ghz
- RAM minimissään 8 Gt,
suositus 16 Gt tai enemmän
- Näytönohjain Open GL 3.2 –yhteensopiva
minimissään 1Gt, suositus 3 Gt
- Kovalevy suositus 256 Gt SSD-massamuisti
- kolminäppäinen hiiri

(Trimble Navigation Ltd 2014a.)

Käytettävissä oleva keskusmuisti vaikuttaa suoraan siihen, kuinka suuria piste-pilviä on mahdollista käsitellä. Trimble arvioi tarvittun RAM-muistin määrän suhteessa avattavan pistepilven kokoon seuraavasti:

RAM	Pisteiden maksimilukumäärä
8 Gt	250 miljoonaa
16 Gt	500 miljoonaa
24 Gt	750 miljoonaa
32 Gt	1 miljardi
64 Gt	2 miljardia

Nämä ovat siis viitteellisiä arvoja, joilla aineiston avaaminen tulisi onnistua kohtuullisessa ajassa. Ilmoitetut minimivaatimukset eivät ole ehdottomia ohjelman

toimimisen kannalta. Ohjelma toimii keskusmuistiltaan neljän gigatavun kannettavalla tietokoneella vielä hyvin, käsiteltäessä alle 200 miljoonan pisteen aineistoa.

Leican ilmoittamat laitevaatimukset Cyclone 9.0 ohjelmalle:

- Käyttöjärjestelmä Windows XP tai uudempi
suositus Windows 7 – 64-bittinen
- Prosessori minimissään 2 Ghz
- RAM minimissään 2 Gt,
suositus 32 Gt tai enemmän
- Näytönohjain SVGA tai Open GL –yhteensopiva
suositus 2 Gt tai enemmän
- Kovalevy suositus 500 Gt SSD-massamuisti
(Leica Geosystems AG 2014.)

Molemmat ohjelmat suosittelevat SSD-asemaa, tavallisen kiintolevyn sijaan. SSD muisti omaa lyhyemmän hakuajan ja nopeamman tiedonsiirron, mikä jouduttaa ohjelmien toimintaa. Laitevaatimuksissa ei huomata merkittäviä eroja. Valmistajien ilmoittamat suositusarvot ovat joka tapauksessa aina enemmän tai vähemmän viitteellisiä.

9.1.2 Moduulivaihtoehdot

Aikaisemmin jo mainittiin ohjelmista olevan saatavissa eritasoisia versioita, eli moduuleita. Trimble ja Leica ovat jakaneet ohjelmansa osiin hieman eri tavalla. RealWorks on jaettu neljään lisenssivaihtoehtoon, jotka asteittain sisältävät enemmän toimintoja kuin edellinen moduuli. Cyclone-ohjelma puolestaan on jaettu seitsemään itsenäiseen moduuliin, joita voi yhdistellä.

Geocom Oy halusi ensisijaisesti ohjelman sisältävän mallinnus-, rekisteröinti- ja ”Publisher” -toiminnot. Publisher-toiminnolla voidaan julkaista pistepilvi katseltavaksi internetselaimen kautta toimivassa ohjelmassa. Julkaistu projekti voidaan jakaa asiakkaalle tai kollegoille tarkasteltavaksi ja tehostaa näin kommunikointia. Ohjelmalla voidaan ottaa pistepilvestä mittoja ja lisätä siihen muistiinpanoja. (Trimble Navigation Ltd 2014a.) Sekä Leican TruView- että Trimblen RealWorks

Viewer -katseluohjelmat ovat maksuttomia. Mahdollisista moduuleista kyseen tulivat siis seuraavat vaihtoehdot:

Cyclone

- MODEL mallinnustyökalut
- REGISTER tähyksetön rekisteröinti
- PUBLISHER publisher

RealWorks

- Advanced tähyksetön rekisteröinti
- Advanced-Modeler ” + mallinnustyökalut ja publisher

Cyclonesta tarvittaisiin siis kaikki kolme edellä mainittua moduulia. RealWorksin kohdalla vastaavanlaisten toimintojen saamiseksi kyseeseen tulisi Advanced-Modeler lisämoduuli. Vaihtoehdot eivät ole kaikkien toimintojensa osalta toisiinsa täysin vastaavia, mutta haluttujen kolmen toiminnon osalta niiden voidaan sanoa olevan rinnastettavissa. Näistä vaihtoehdoista halvemmaksi osoittautui RealWorks.

9.1.3 Tiedostoformaattien tuonti ja vienti

Pistepilviä käsiteltäessä voidaan valita monien eri tiedostomuotojen väliltä, missä pistepilvi voidaan esittää. Lisäksi eri formaatteja julkaistaan edelleen lisää. Toiset tiedostomuodot ovat universaalimpia kuin toiset, jolloin myös useammat ohjelmat pystyvät kyseistä tiedostomuotoa käsittelemään. Mittauksessa käytetyn laserkeilaimen valmistaja määrittää, mihin tiedostomuotoon pistepilviaineisto aluksi tallentuu. Tämä tiedostomuoto on ns. natiivi tiedostomuoto tai raaka tiedosto. Tällöin saatetaan tarvita myös saman laitevalmistajan oma ohjelma, jolla aineisto täytyy ensin avata ja tallentaa sen jälkeen haluttuun tiedostomuotoon. Monet ohjelmat kuitenkin tukevat tällaisia kolmannen osapuolen tiedostomuotoja ja pystyvät importtaamaan (tuoda) ne sellaisinaan. Tämä voi nopeuttaa työskentelyä huomattavasti, sillä näin on mahdollista jättää välistä kokonaan yhden ohjelman käyttäminen. Exportoinilla (viennillä) voidaan useammasta eri asemapistestä mitatun kohteen pistepilvi tallentaa yhdeksi tiedostoksi (Creach 2013).

Kolme erittäin tavallista tiedostomuotoa pistepilvälle ovat PTS, PTX ja XYZ. Monet pistepilven käsittelyyn tarkoitettuista ohjelmista lukevat näitä formaatteja

ja ne pystyvät usein sekä tuomaan että viemään kyseisiä tiedostomuotoja. Lisäksi monet tietomallinnusohjelmat tukevat näitä formaatteja. (Creach 2013).

Taulukoihin 2 ja 3 on koottu vertailtavien ohjelmien tukemat tiedostomuodot.

IMPORT		Cyclone 9.0	RealWorks 9.0
<i>ASCII files</i>	<i>ASC, NEU</i>		X
<i>ASCII files</i>	<i>XYZ, TXT</i>	X	X (ei TXT)
	<i>e57</i>	X	X
	<i>PTX, PTS</i>	X	X
	<i>LAS, LAZ</i>	X	X
<i>AutoCad files</i>	<i>DXF, DWG</i>		X
<i>LandXML files</i>	<i>XML</i>	X	
<i>SIMA ASCII files</i>	<i>SIM</i>	X	X
<i>Images</i>	<i>BMP, TIFF, JPEG, PNG</i>	X	X (ei PNG)
<i>Faro LaserScanner</i>	<i>FLS, FPR, FWS</i>	X*	X
<i>Riegl LaserScanner</i>	<i>3DD, RXP*, RSP*</i>	X*	X
<i>Z+F LaserScanner</i>	<i>ZFS</i>	X	X
	<i>IXF</i>	X*	X
<i>Trimble files</i>	<i>RWP, RAW</i>		X
<i>Trimble TX5 files</i>	<i>iQscan, FLS</i>		X
<i>Trimble Survey project files</i>	<i>TSPX</i>		X
<i>Surveying ASCII files</i>	<i>CR5, CRD</i>		X
<i>DotProduct files</i>	<i>DP</i>		X
	<i>CMF</i>		X
	<i>TZF, TZS</i>		X
	<i>JXL</i>		X
<i>ScanStation files</i>	<i>SC2, SCAN</i>	X	
	<i>PTZ, PTG, PTB</i>	X	
	<i>IMP</i>	X	
	<i>COE</i>	X	
	<i>MSH</i>	X	
	<i>SVY</i>	X	
	<i>ZFC</i>	X	

Taulukko 2. Import- eli tuontiformaattien vertailu

Taulukon viisi ensimmäistä formaattia ovat hyvin yleisiä muotoja esittää piste-pilviä. Ne ovat universaaleja, mistä syystä molemmat ohjelmat tukevat näitä tiedostomuotoja hyvin kattavasti.

Toinen ryhmä käsittää sekalaisia tiedostomuotoja, esimerkiksi AutoCAD- ja kuvatiedostot, joita voidaan tuoda projektiin työn tueksi tai tekemään siitä havainnollisemman. Kumpikin ohjelma tukee BMP-, TIF- ja JPEG-formaateissa olevien kuvien import toimintoa.

Kolmanteen ryhmään on listattu laitevalmistajien omia pistepilviformaatteja. Cyclonen sarakkeessa näkyvä * -merkki tarkoittaa, että kyseiset kolmannen osapuolen tiedostomuodot voidaan avata ainoastaan erillisessä Cyclone IMPOR-TER-moduulilla.

Listan kahdessa viimeisessä ryhmässä on mm. sellaisia tiedostomuotoja, jotka ovat laitevalmistajan omia natiivi-tiedostomuotoja, eivätkä ne siksi ole muiden ohjelmien luettavissa.

EXPORT		Cyclone 9.0	RealWorks 9.0
<i>ASCII files</i>	ASC		X
<i>ASCII files</i>	XYZ, TXT	X	
	e57	X	X
	PTX, PTS	X	X
	LAS, LAZ		X
<i>AutoCad files</i>	DXF, DWG	X (ei DWG)	X
<i>LandXML files</i>	XML	X	X
<i>SIMA ASCII files</i>	SIM	X	
<i>Images</i>	BMP, TIF, JPEG, PNG	X	X (ei PNG)
<i>Pointools files</i>	POD		X
<i>Alias/WaveFront files</i>	OBJ		X
<i>Google Earth files</i>	KMZ		X
<i>PDMS Macro files</i>	PDMSMAC		X
<i>Micro Station files</i>	DGN		X
	BSF		X
	RTF		X
<i>Integrph SDNF 3.0</i>	SDF, SDNF	X	
<i>Leica CloudWorx</i>	ALP	X	
	PTZ, PTG, PTB	X	
	IMP	X	
	COE	X	
	MSH	X	
	SVY	X	

Taulukko 3. Export- eli vientiformaattien vertailu

Export-taulukon järjestys on kahden ensimmäisen ryhmän osalta sama kuin import-taulukko. Ne sisältävät tärkeimmät vientiformaatit, eikä niissä ole merkittäviä eroavaisuuksia. Loput listan formaateista ovat joko ohjelman omia tai sellaisia, joita tarvitaan ainoastaan tietyn ohjelman kanssa.

Vientitaulukko ei Cyclonen osalta vastaa täysin todellista tilannetta. Joitain vientiformaatteja saadaan lisää erillisen CloudWorx-moduulin avulla. Kyseisen lisäosan avulla voidaan tuoda Cyclonen IMP-tiedostoja suoraan käytettyyn CAD-ohjelmaan. Tämä plug-in-ominaisuus on saatavissa monia suosittuja CAD-järjestelmiä varten, kuten AutoCAD, Microstation, PDS ja PDMS. Näin tiedostomuunnoksen tarve jää kokonaan pois. Tämän mahdollistaa suurien pistepilvien viennin, sillä muunnoksen kautta onnistuu yleensä vain pienempien pistepilvien vienti. Lisäksi muunnoksessa yleensä aina häviää hyödyllistä tietoa. Tältä vältytään käyttämällä CloudWorx-moduulia. (Joala 2015.)

Import- ja export-toimintojen käytännöllisempi vertailu

Ohjelmien tuonti- ja vientiominaisuuksia vertailtiin vielä seuraavanlaisella menettelyllä. Aluksi molempiin ohjelmiin tuotiin sama pistepilvi ZFS formaatissa (Geocomin käyttämän keilaimen tiedostomuoto). Tämän jälkeen kyseinen pistepilvi vietiin kahteen eri tiedostomuotoon. Ohjelman kuhunkin toimintoon käytetään tämä aika ja luodun tiedoston koko koottiin oheiseen taulukkoon 4.

ZFS raakatiedoston tuonti			RealWorks	Cyclone
tiedostomuoto	ZFS	-->	RWCX	IMP
kesto			1:41	2:32
tiedostokoko [MB]	147		647	620
pisteiden lkm	41 871 039		33 958 186	34 663 221

Taulukko 4. ZFS-raakatiedoston indeksointi ohjelman omaan tiedostomuotoon

Ensimmäisenä avattiin ZFS-tiedostomuodossa oleva pistepilviaineisto. Jotta kyseinen tiedostotyyppi voidaan avata, on molempien ohjelmien ensin indeksoitava se tuettuun tiedostomuotoon. RealWorks kääntää ZFS-tiedoston RWCX-tiedostoiksi ja Cyclone IMP-tietokannaksi. Molemmat ohjelmat myös harventavat alkuperäistä pistepilveä jonkin verran. Eroa harvennuksen määrässä ei juuri ole, eikä luodun tiedoston koossakaan. RealWorks kuitenkin suorittaa käännöksen noin 50 % nopeammin. Tämä on melko paljon, vaikkei sillä yhtä tiedostoa

avattaessa merkittävää vaikutusta olekaan. Aikaero kuitenkin kertaantuu jokais-
ta uutta pistepilveä avattaessa. Esimerkiksi 100 pistepilven avaaminen kestäisi
RealWorksilla 2:48 tuntia ja Cyclonella 4:13 tuntia. Ajat ovat siis kyseisellä tieto-
koneella esimerkin kokoisen pistepilven avaamiseksi. Eroa kertyy jo noin puoli-
toista tuntia.

Seuraavaksi suoritettiin saman aineiston vienti kahteen eri formaattiin ja vertail-
tiin tuloksia samoin perustein. Pisteiden lukumäärän harvenemista ei enää täs-
sä kohtaa tapahdu, mutta tiedostojen koko on eri, riippuen tiedostomuodosta ja
ohjelmasta. Kokeilussa vertailtiin yleisiä tiedostomuotoja e57 ja PTS, joiden
vientiä molemmat ohjelmat tukevat. Vertailun tulokset on koottu taulukkoon 5.

e57 tiedostomuotoon vienti		RealWorks	Cyclone
kesto		0:25	6:10
tiedostokoko [MB]		451	817

PTS tiedostomuotoon vienti		RealWorks	Cyclone
kesto		2:45	2:37
tiedostokoko [MB]		1 750	1 520

Taulukko 5. Export-ominaisuuksien vertailu

Ylemmässä taulukossa on e57-formaatilla suoritettujen vertailun tulokset. Havaitut
erot ovat yllättävän suuria. RealWorks suorittaa tiedostomuotoon viennin lähes
15 kertaa nopeammin kuin Cyclone. Lisäksi se pakkaa tiedoston Cyclonea mel-
kein puolta pienempään kokoon. Tämä on merkittävä etu, mikäli e57 on se tie-
dostomuoto, johon pistepilvet tarvitsee tallentaa.

Alemman taulukon esittämään PTS-tiedostomuotoon vienti puolestaan kestää
ohjelmilta lähes yhtä kauan. Cyclonella viety tiedosto on kuitenkin jonkun verran
pienempi. Verrattaessa PTS-tiedostomuotoa vastaavanlaiseen e57-formaatissa
tallennettuun havaitaan huomattava ero tiedostojen koossa. Varsinkin Real-
Worksin luoma PTS-tiedosto on melkein neljä kertaa suurempi, kuin mitä vas-
taava e57-muodossa tallennettu. Cyclonen kohdalla havaitaan sama, kokoeron
ollessa noin kaksinkertainen. Kokoero voisi olla perusteltua siinä tapauksessa,
mikäli PTS-formaatilla on joitain etuja e57:aan nähden. Siitä, onko PTS-
formaatti jossain suhteessa e57-tiedostomuotoa parempi, ei ole opinnäytetyön-
tekijällä tietoa.

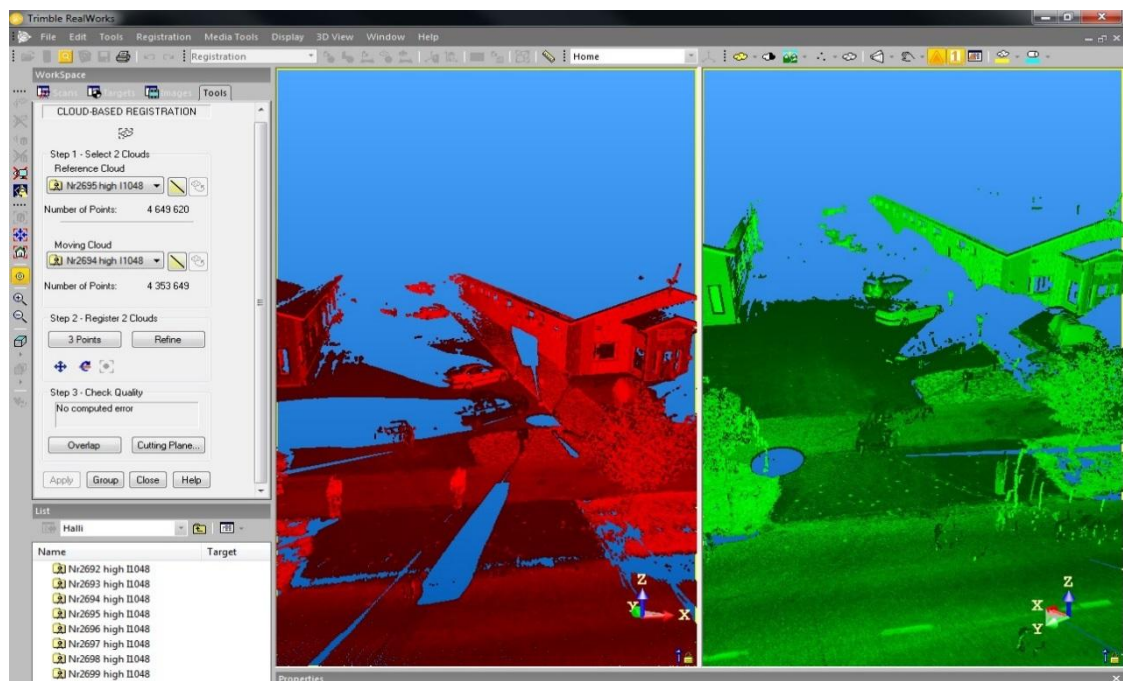
Vertailussa havaittujen ohjelmien käyttämät ajat toimintojen suorittamiseksi ovat tietysti riippuvaisia käytetyn tietokoneen suorituskyvystä. Voidaan kuitenkin olettaa, että taulukoiden lukuarvojen suhde säilyy likimain samana, vaikka käytössä olisi tehokkaampi tietokone.

9.2 Ohjelmien vertailu pistepilven jälkikäsittelytapauksissa

9.2.1 Tähyksetön rekisteröinti

Aikaisemmin selostettiin, kuinka eri asemapisteiltä tuotetut pistepilvet yhdistetään toisiinsa käyttämällä tähyksiä. Tämä on kieltämättä kaikkein tarkin rekisteröintitapa, mutta samalla myös aikaa vievin. Pistepilvet on mahdollista yhdistää käyttämättä tähyksiä lainkaan, mikä säästää aikaa sekä työmaalla että toimistossa.

Pistepilvet voidaan yhdistää tähyksettömästi osoittamalla kahdesta eri pistepilvestä toisiaan vastaavat pisteet. Yhteisiä pisteitä on näytettävä ainakin kolme kappaletta. Kuvassa 14 on esitetty tämän työkalun näkymä RealWorks-ohjelmassa.



Kuva 14. Pistepilviperusteinen rekisteröintityökalu RealWorks-ohjelmassa

Kuvassa näkyy sama ympäristö kahdesta eri asemapisteestä tallennettuna. Seuraavaksi käyttäjän tarvitsee ainoastaan klikata vasemmasta kuvasta kolme pistettä ja klikata vastaavat kolme uudestaan oikeanpuoleisesta kuvasta. Tämän jälkeen ohjelma tekee parhaansa yhdistääkseen pistepilvet, antaen samalla virheraportin. Cyclonessa sama työkalu on toimintaperiaatteeltaan hyvin samanlainen.

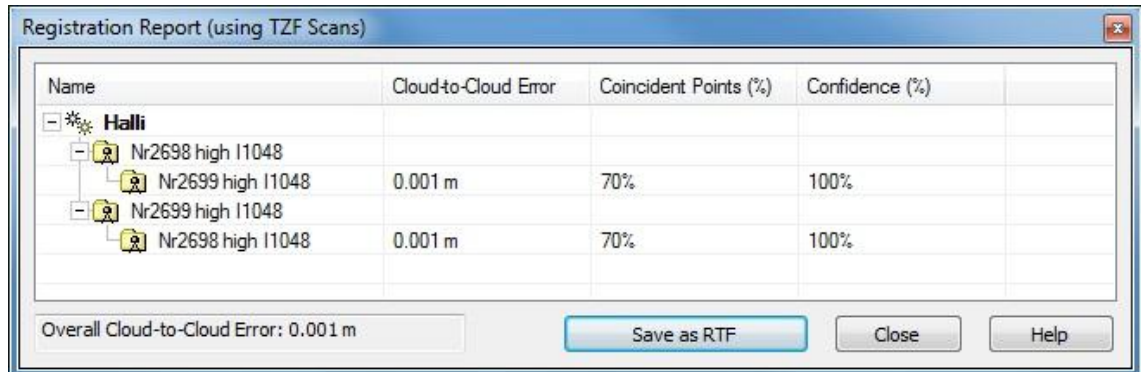
Tähyksetön rekisteröinti voidaan tehdä nykypäivän ohjelmilla myös tätä menetelmää enemmän automatisoidusti. Sekä Cyclone- että RealWorks-ohjelmasta löytyy automaattisen rekisteröinnin suorittavat työkalut. Nämä toiminnot ovat toimintaperiaatteeltaan kuitenkin toisistaan hieman poikkeavia.

RealWorksin automatisoitu tähyksetön rekisteröintitoiminto tunnistaa tasomaiset objektit kustakin skannauksesta ja sovittaa yhteen nämä tasot useiden asemapisteen välillä, yhdistäen pistepilvet (Tapio Kärkkäinen, myynti-insinööri. Geotrim. Suullinen tiedonanto. 12.12.2014). Käyttäjän tarvitsee ainoastaan valita yhdistettävät pilvet ja valita yksi näistä pilvistä referenssipilveksi, jonka koordinaatistoon muut pilvet yhdistetään. Tämä valikkonäkymä on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Automaattinen rekisteröintityökalu (RealWorks)

Ohjelma suorittaa rekisteröinnin noin minuutissa, jonka jälkeen se avaa kuvan 16 mukaisen raportin. Raportista nähdään yhdistettyjen pistepilvien välinen virhe, yhteisten pisteiden määrä sekä yhdistämisen luotettavuus.



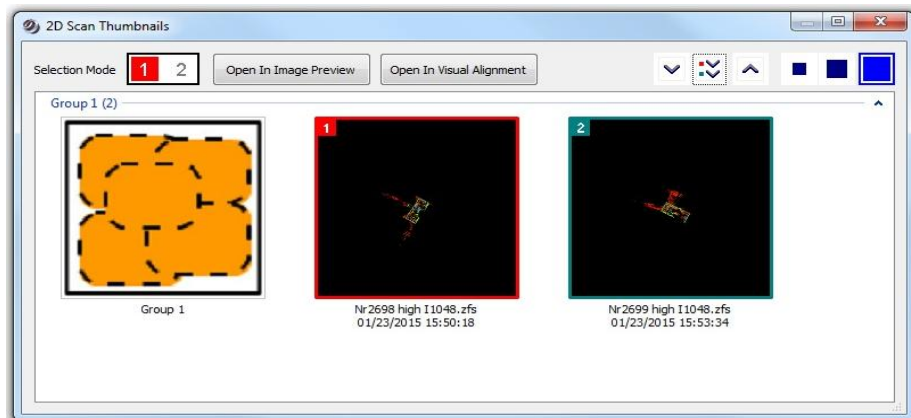
Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
Halli			
Nr2698 high I1048			
Nr2699 high I1048	0.001 m	70%	100%
Nr2698 high I1048	0.001 m	70%	100%

Overall Cloud-to-Cloud Error: 0.001 m

Buttons: Save as RTF, Close, Help

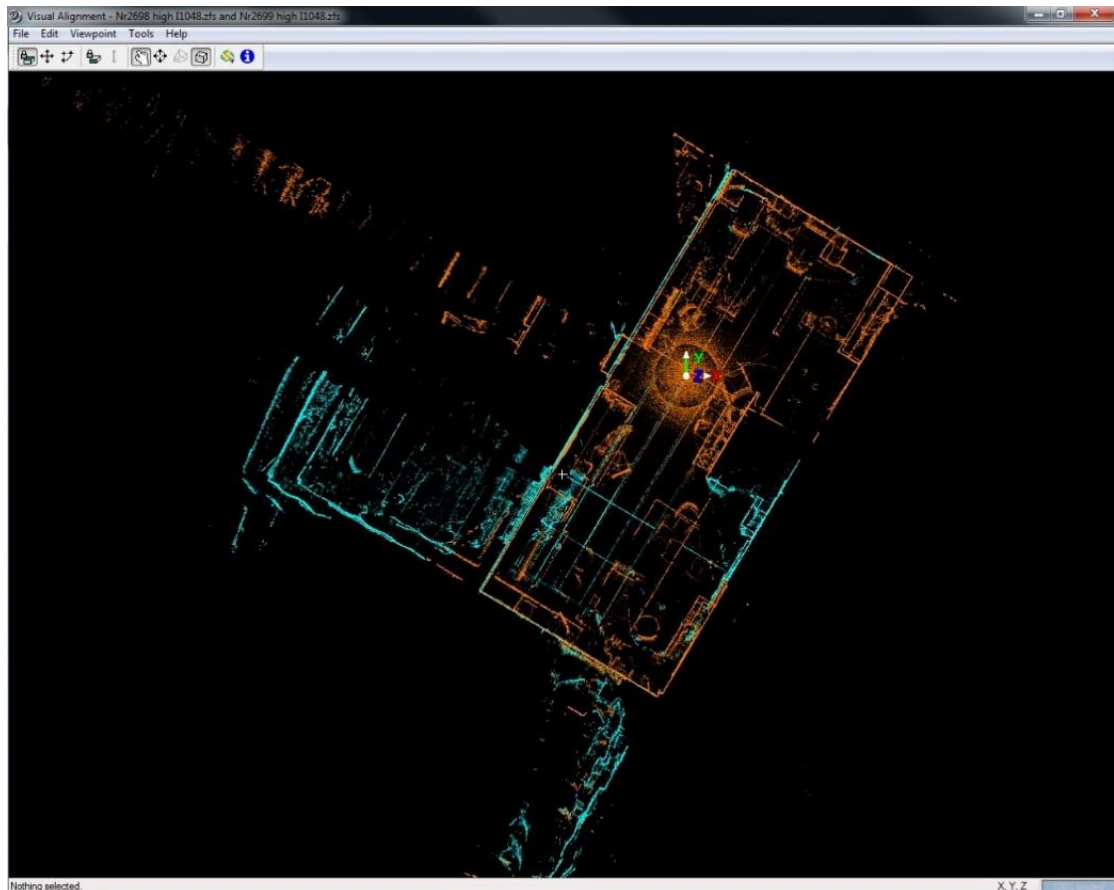
Kuva 16. Automaattisen rekisteröinnin raportti (RealWorks)

Cyclonella tähyksetön rekisteröinti aloitetaan kuten edellä, eli valitsemalla yhdistettävät pistepilvet ja nimeämällä yksi niistä ensisijaiseksi pistepilveksi, jonka koordinaatistoon muut yhdistetään. Kyseinen vaihe on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Yhdistettävien pistepilvien valinta (Cyclone)

Toisin kuin RealWorksilla, joka suoritti yhdistämisen täysin automaattisesti, Cyclonella on käyttäjän tehtävä hieman manuaalista yhteensovittamista. Ohjelma avaa ikkunan, jossa valitut kaksi keilausta näkyvät yläpuolisesta näkymästä eri värein. Seuraavaksi on toista pistepilveä siirtämällä ja kiertämällä sovittettava pistepilvet limittäin. Kuvassa 18 on suorakaiteen muotoisen huoneen kaksi keilausta asetettu kohdakkain. Suorakaiteen ulkopuolella näkyvät pisteet ovat ikkunoiden synnyttämiä heijastuksia. Sama päällekkäin sovitus tehdään myös sivultapäin olevasta kuvakulmasta.



Kuva 18. Kahden pistepilven limitys päällekkäin (Cyclone)

Tämän jälkeen ohjelma suorittaa yhdistämisen, reaaliaikaisen optimoinnin piirityssä graafisesti näytöllä. Cyclone suorittaa tämän vaiheen RealWorksia nopeammin. Optimoinnin loputtua ruutuun aukeaa kuvan 19 näköinen numeerinen raportti.

Constraint	Scanworld	Scanworld	Function Value (sq m)	RMS (m)	Avg (m)	Min (m)	Max (m)	Point Count	Status
Cloud/Mesh 1	Nr2698 high I1048.zfs	Nr2699 high I1048.zfs	0.00002702	0.012	0.006	0.000	0.095	117733	Aligned

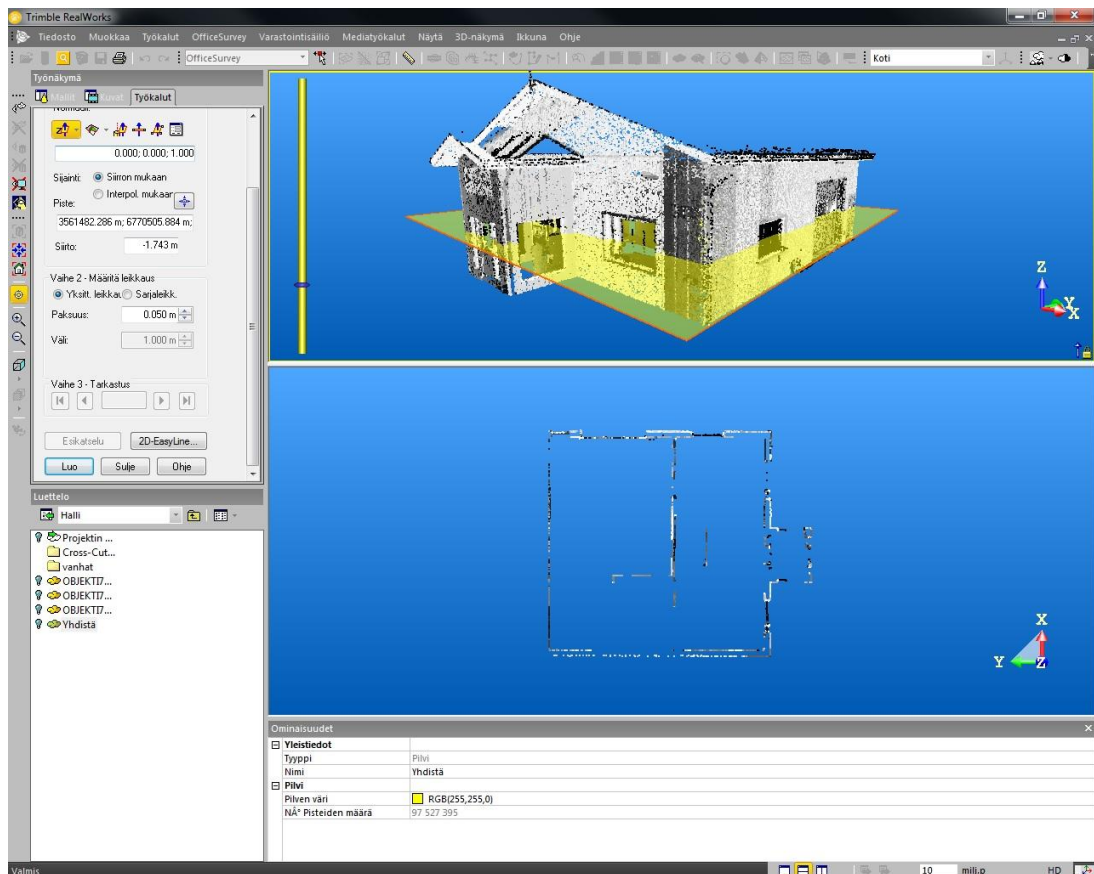
Kuva 19. Automaattisen rekisteröinnin tulokset (Cyclone)

Raportin arvoista tärkein on RMS (Root Mean Square) eli jäännösvirhe. Tulos on yleensä tyydyttävä, jos RMS on pienempi kuin 1 cm. (Leica Nilomark Oy 2005.)

9.2.2 Tasokuvan tuottaminen rakennuksesta

Ohjelmia vertailtiin tapauksessa, jossa rakennuksesta tuotetaan 2D-leikkauskuva pistepilven perusteella. Tässä luvussa käydään läpi kaksi erilaista työtappaa kyseisen tehtävän suorittamiseksi. Molemmat tavat on mahdollista suorittaa melko vastaavin työkaluin kummalla ohjelmalla tahansa.

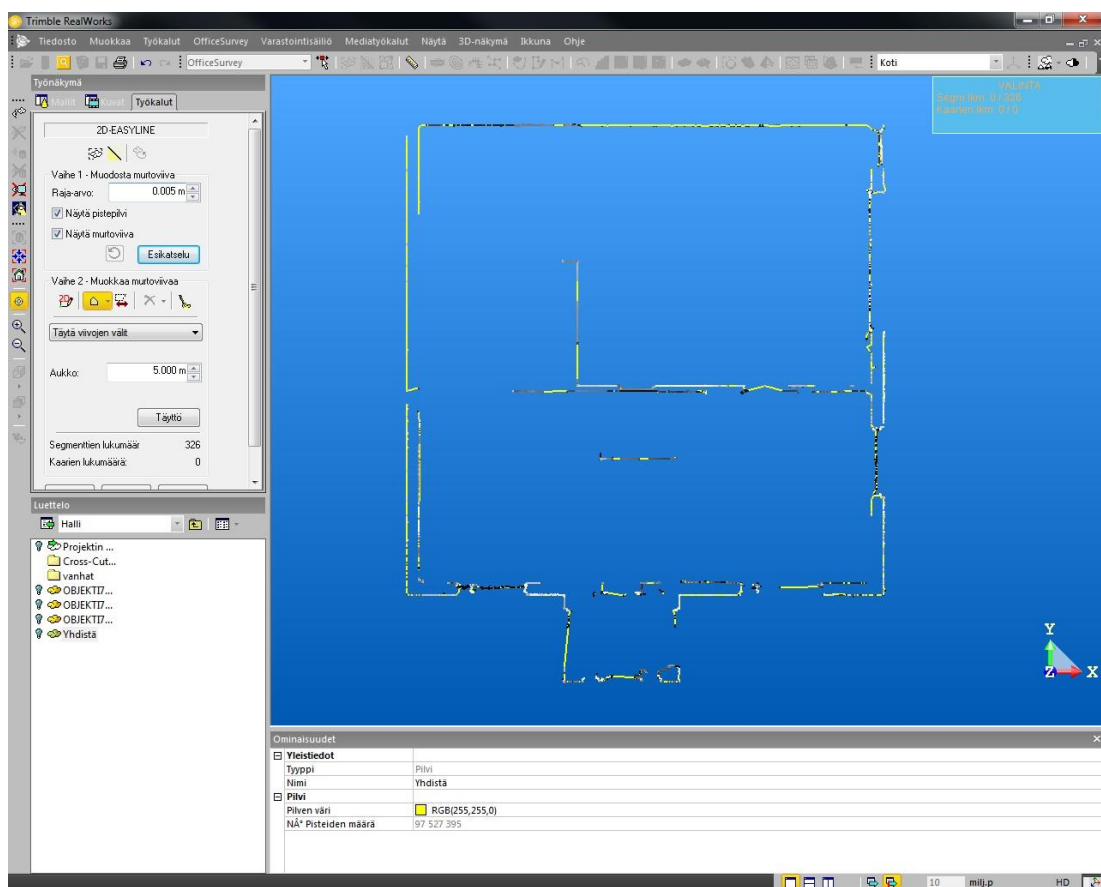
Käsitellään ensin RealWorksilla työtapa, jossa käytetään leikkaustaso- ja viiva-
piirto työkaluja. Työ aloitetaan rajaamalla haluttu kohde erilleen ympäristöstään ja siivoamalla pistepilvi eli poistamalla ei-haluttuja pisteitä. Näitä ovat esimerkiksi ikkunoiden kautta heijastuneet pisteet tai tilojen sisällä olevat kalusteet, erityisesti ne jotka ovat seinien lähellä. Tämän jälkeen avataan ”Cutting Plane”-työkalu, joka aukaisee kuvan 2D näköisen käyttöliittymän.



Kuva 20. ”Leikkaustaso”-työkalun käyttöliittymä (RealWorks)

Ruudulla nähdään samaan aikaan ylemmässä ikkunassa alkuperäinen pistepilvi sekä sen leikkaava taso ja alemmassa ikkunassa tämän tason leikkaama osa pistepilvestä. Alemman ikkunan katselukulma on kohtisuorassa leikkaavaan

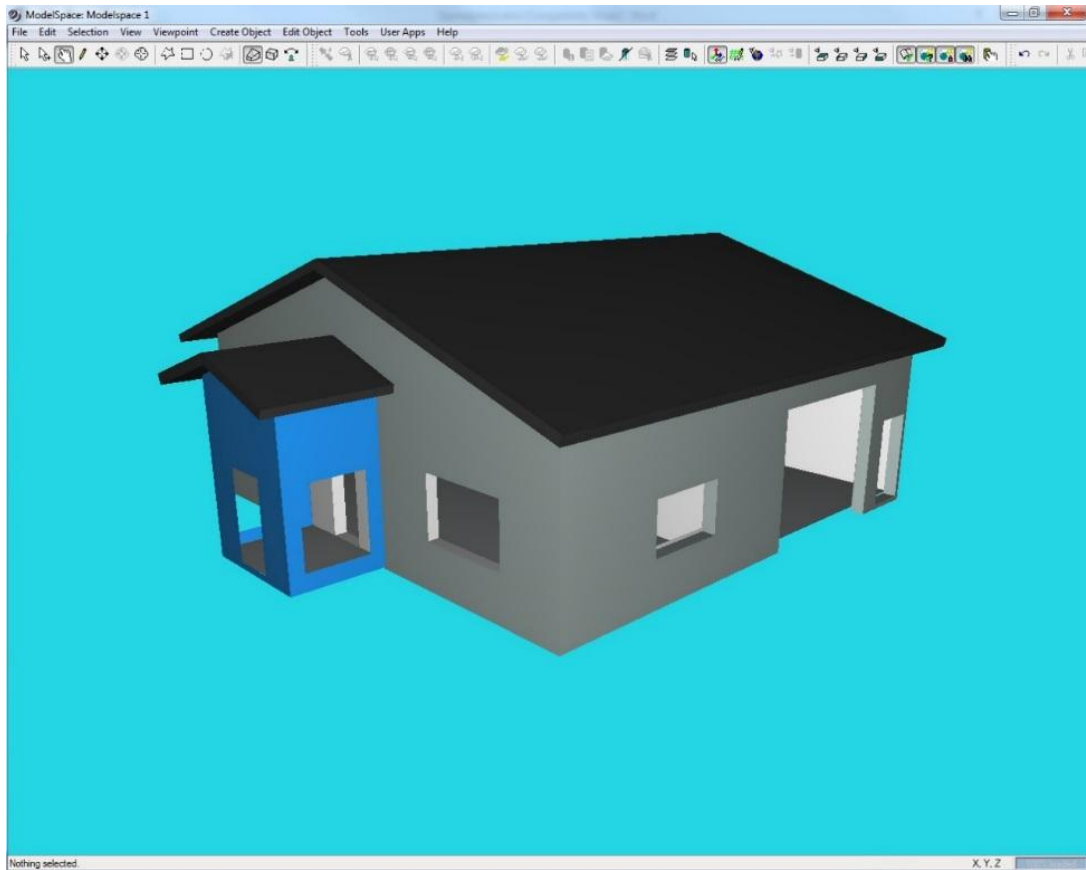
tasoon nähden. Taso voidaan liikuttaa ylös- ja alaspäin sekä säätää sen pak-suutta. Muuttamalla näitä arvoja haetaan kohta, joka antaa selkeimmän leikka-uksen. Tämän jälkeen avataan ”2D-Easyline”-työkalu, joka yhdistää tasoon jäl-jelle jääneet pisteet viivoilla. Työkalu sisältää muutamia parametreja, joita muut-tamalla voidaan vaikuttaa viivapiirron onnistumiseen. Viivoja on jonkin verran yhdisteltävä, jatkettava ja piirrettävä lisää manuaalisesti, ellei tehty leikkaus pis-tepilvestä ole erittäin selkeä. Käsin piirtoa tarvitaan todennäköisesti aina jonkin verran. Kuvassa 21 on havainnollistettu vaihe, jossa ohjelma on piirtänyt seinä-linjaa hahmottavia keltaisia viivoja pistepilven päälle.



Kuva 21. Ohjelman jäljittelemät seinälinjat keltaisin viivoin (RealWorks)

Tasokuva voidaan piirtää valmiiksi jo tässä vaiheessa, kun leikattu pistepilvi on vielä taustalla helpottamassa työskentelyä. Toisaalta RealWorksilla viivojen muokkaaminen ja piirtäminen on melko vaivalloista. Toinen vaihtoehto on tallentaa hahmotelma ja viedä se sellaisenaan CAD-tiedostomuotoon ja jatkaa piirtoa esimerkiksi AutoCADissä.

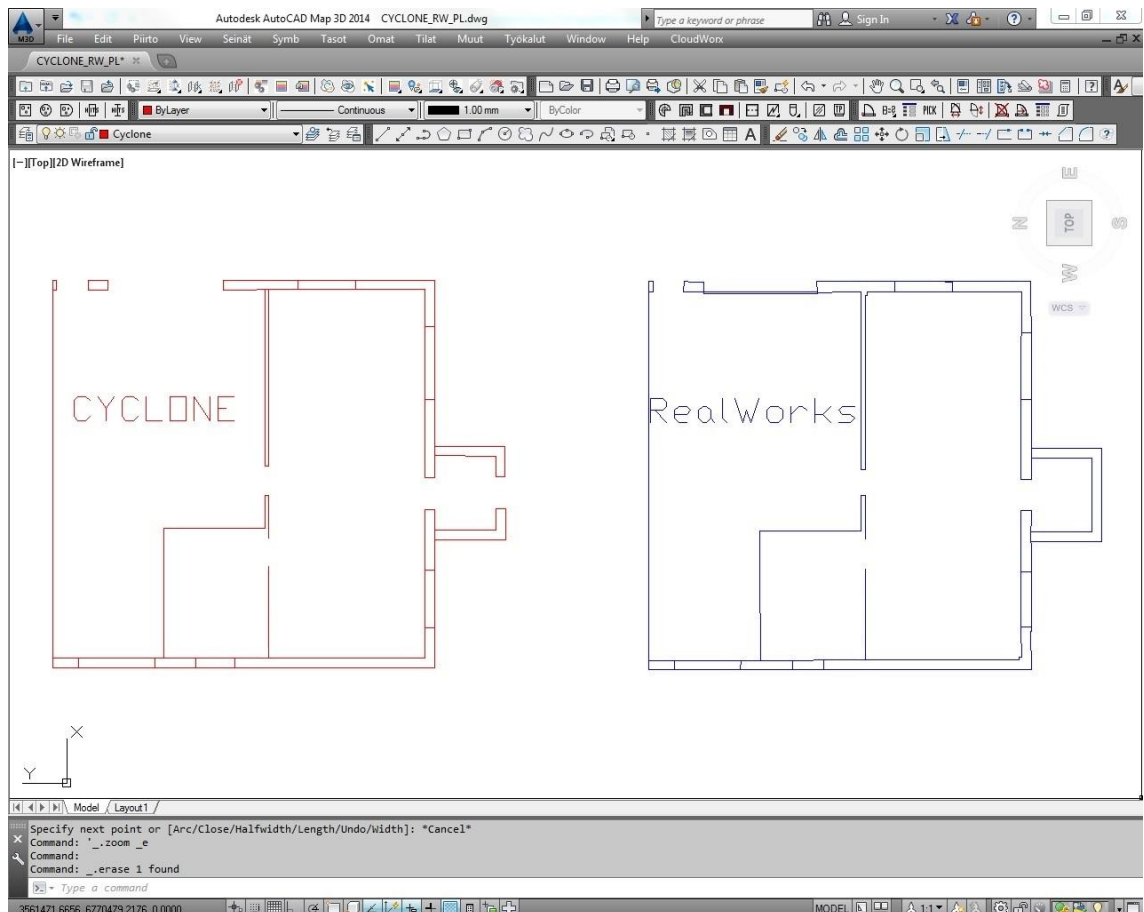
Cyclone-ohjelmalla koitettiin toisenlaista työskentelytapaa tasokuvan luomiseksi. Rakennuksesta luotiin ensin geometrian luonti -työkaluilla solid-malli (kuva 22).



Kuva 22. Cyclonella luotu geometriamalli

Malli on tehty ainoastaan pistepilveen sovitettuja tasoja käyttäen. Joitain tasoja on paksunnettu, venyttämällä sitä itseään kohtisuorassa olevan akselin suhteen, antaen niille paksuuden. Tämän jälkeen malli leikataan halutusta kohdasta tasoleikkaus-työkalulla, ja jäljelle jäävä ”tasokuva” voidaan tallentaa suoraan CAD-muotoon.

Kuvassa 23 on tuotu nämä Cyclonella ja RealWorksilla tehdyt tasokuvat rinnakkain AutoCADIin. Mittojen poikkeavuus voi joissain kohdissa olla suurimmillaan kahden senttimetrin luokkaa. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi tekijän mallinnuksen epätarkkuudesta. Samasta syystä johtuu myös joidenkin oviaukkojen puuttuminen kuvista.



Kuva 23. Pistepilvestä tuotetut tasokuvat rinnakkain

Geometrian mallintamiseen perustuvalla menetelmällä (vas.) voi helposti jäädä joitain tasoista poikkeavia rakenteita huomaamatta. Esimerkiksi huoneen kulmassa oleva pienehkö pilari jää helposti pois leikkauskuvasta. Tämä johtuu työskentelytavasta, jolla huoneen nurkat tavallisesti luodaan. Menetelmällä luodaan ensin kahdesta vierekkäisestä seinästä tasot, jotka sitten jatketaan ulottumaan toisiinsa kiinni. Mikäli huoneen nurkassa on joku seinälinjoista poikkeava muoto, se pitää huomioida ja mallintaa erikseen.

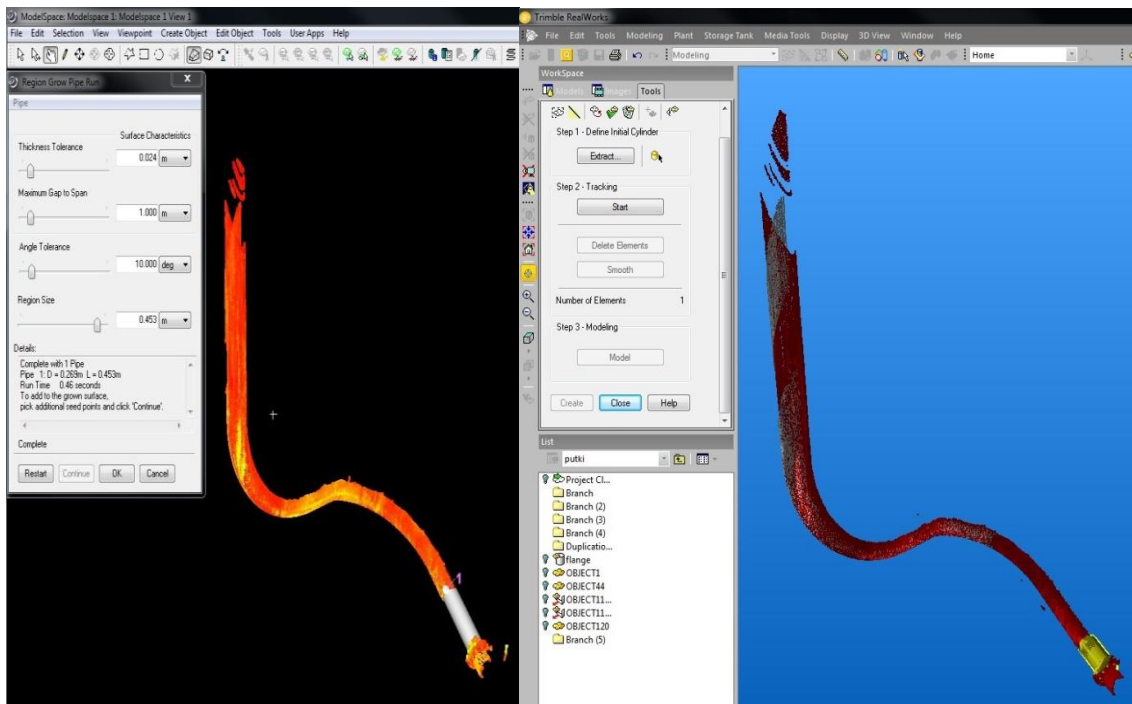
Lisäksi solid-mallin luominen on melko työläs ja epäedullinen menetelmä, mikäli ainoa haluttu lopputuote on tasokuva. Nopein ja yksinkertaisin tapa luoda tasokuva, olisi ottaa vaakatasossa ohut "siivu" pistepilvestä, viedä se sellaisenaan CAD ohjelmaan ja piirtää seinälinjat pistepilveä mukailleen.

9.2.3 Teollisuusputken keskilinjan vienti CAD-formaattiin

Seuraavaksi vertailuun otettiin ohjelmien putkimallinnustyökalut. Mallinnettavaksi putkeksi valittiin yksi Insinööritoimisto Geocom Oy:n aikaisemmista projek-

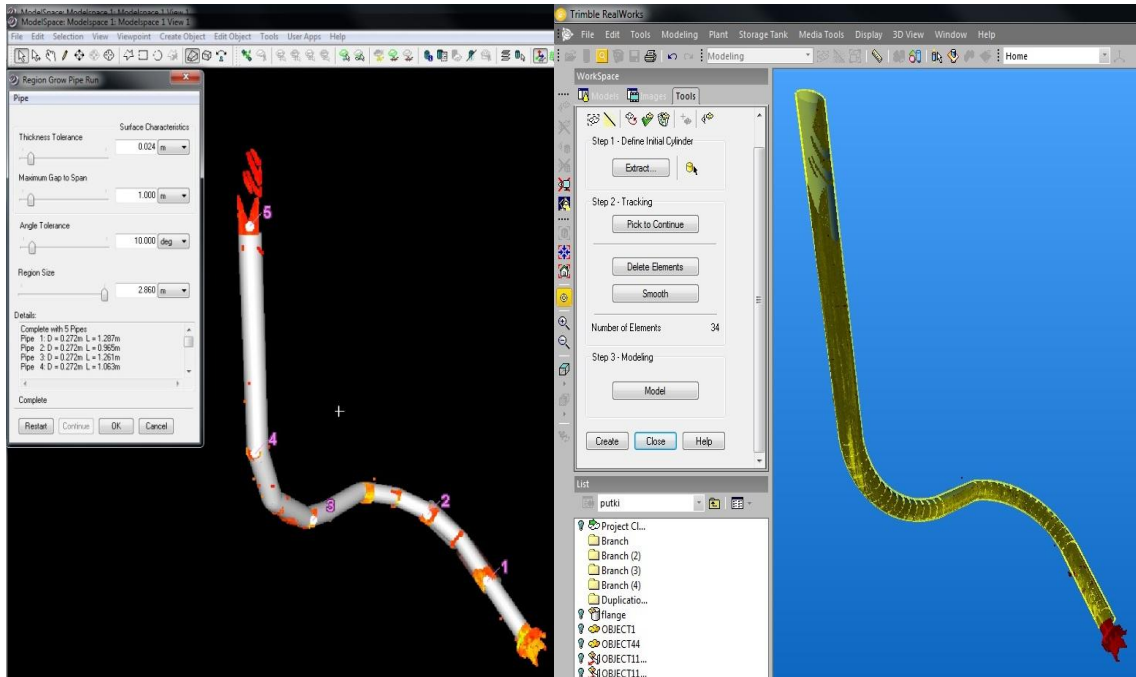
teista. Kyseessä on erään kartonkitehtaan putki, joka on valmistettu käsityönä, noin 1960-luvulla. Putkiston taivutussäteet eivät siis noudata mitään nykypäivän standardeja. Tästä syystä piirustusten tuottaminen tällaisesta putkesta perinteisillä mittausmenetelmillä olisi erittäin työlästä, joten työ suoritettiin käyttäen laserkeilausta. Kuvat mallinnuksen vaiheista on esitetty jatkossa rinnakkain, Cyclone vasemmalla ja RealWorks oikealla puolella.

Vertailtavien ohjelmien putkimallinnus toimii hyvin samalla tapaa. Työ aloitetaan avaamalla putkimallinnustyökalu ja klikkaamalla putkea esittävää pistepilveä. Tämän jälkeen ohjelma sovittaa pistepilveen sen putkiprofiilin, joka siihen parhaiten sopii. Tämä vaihe on esitetty kuvassa 24. Tämän alaluvun kuvat on esitetty myös isompina liitteessä 3.



Kuva 24. Vaihe 1: Putkiprofiili sovitettuna pistepilveen

Ensimmäisessä vaiheessa Cyclone-ohjelma mallintaa jo niin pitkän putken kuin se pistepilveä seuraamalla pystyy luomaan. Työkalulla on mahdollista säätää, millä toleransseilla pistepilveä mukailaan tai kuinka suuren pistepilvessä olevan aukon yli mallinnettu geometria voi "hypätä". RealWorks antaa käyttäjän vielä varmistaa putken halkaisijan ennen kuin se erillisellä komennolla käsketään mallintamaan eteenpäin, pistepilveä seuraten.

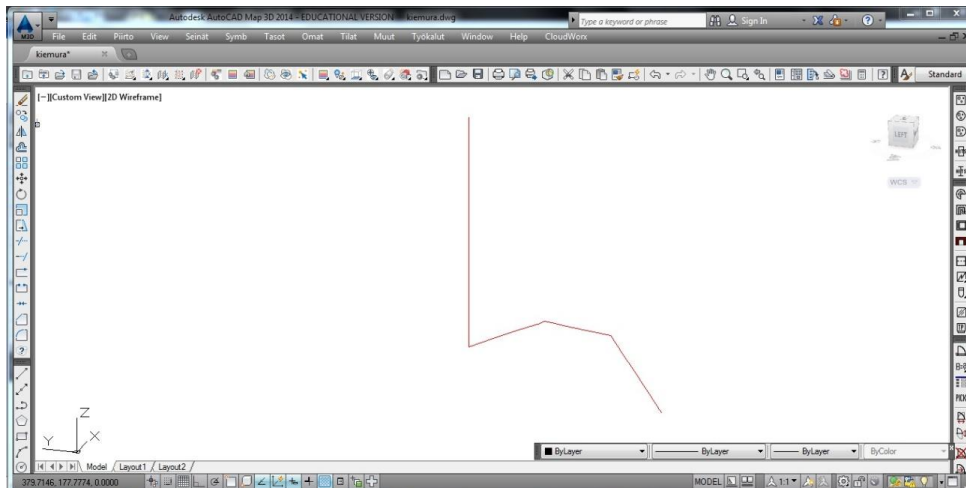


Kuva 25. Vaihe 2: Ohjelma seuraa pistepilveä mallintaen putken

Tässä vaiheessa huomataan melko suuri ero ohjelmien suorituskyvyssä. RealWorks mallintaa pistepilveä seuraten koko putken alusta loppuun asti, siinä missä Cyclone onnistuu hakemaan ainoastaan kuvan 24 mukaisen suoran päät-kän. Loppuosa putkesta saadaan kuitenkin mallinnettua klikkaamalla pistepilvestä lisää pisteitä, joita ohjelma sitten seuraa. Kuvassa 25 putket ovat mallinnettuna koko matkaltaan. Kuvassa nähdään kuinka, RealWorks mukailee putken muotoja Cyclonea paremmin. Kun putki on mallinnettu, geometria tallennetaan ja työkalu suljetaan.

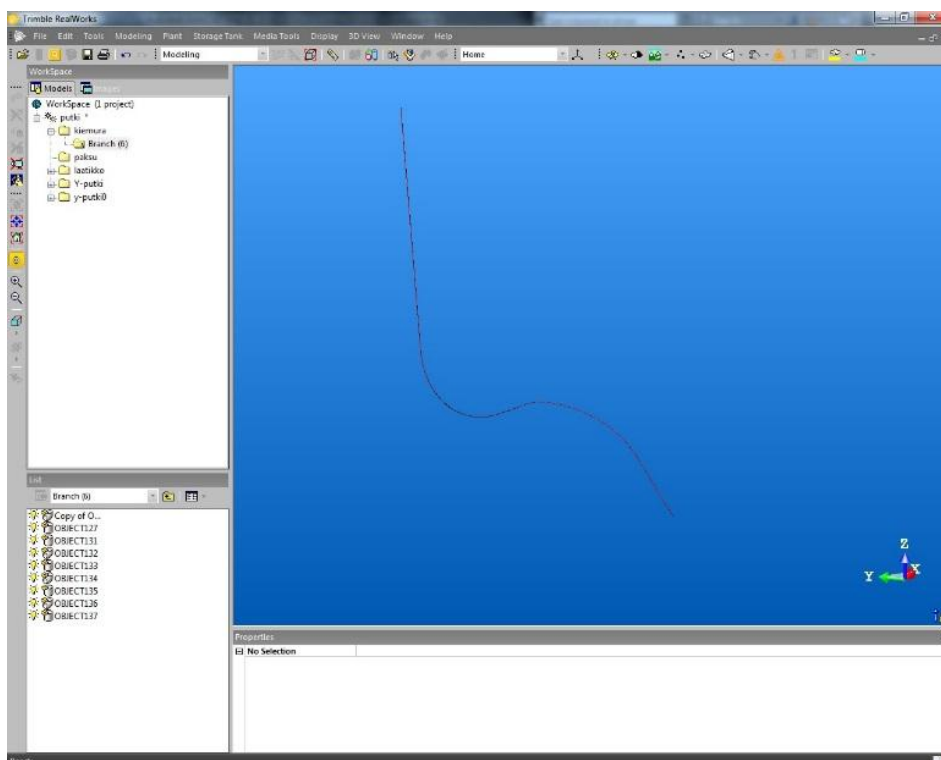
Seuraavaksi viedään luotu geometria CAD-formaattiin. Putki voitaisiin viedä DXF-tiedostomuotoon sellaisenaan, mutta tässä tapauksessa haluttiin viedä ainoastaan putken keskilinja. Cyclonella tämä onnistuu valitsemalla "View Object as" ja sen jälkeen "Centerline". Putken keskilinja tulee näkyviin, jonka jälkeen se tallennetaan DXF-muotoon.

RealWorks-ohjelman valikosta löytyy työkalu "Export Pipe Centerlines", jolla voidaan suoraan valitun putken keskilinja viedä CAD-tiedostomuotoon. Kuitenkin jostain käsittämättömästä syystä työkalu onnistuu ainoastaan tekemään suoria viivoja, ja kaarevat putken osat piirtyvät kuten kuvassa 26.



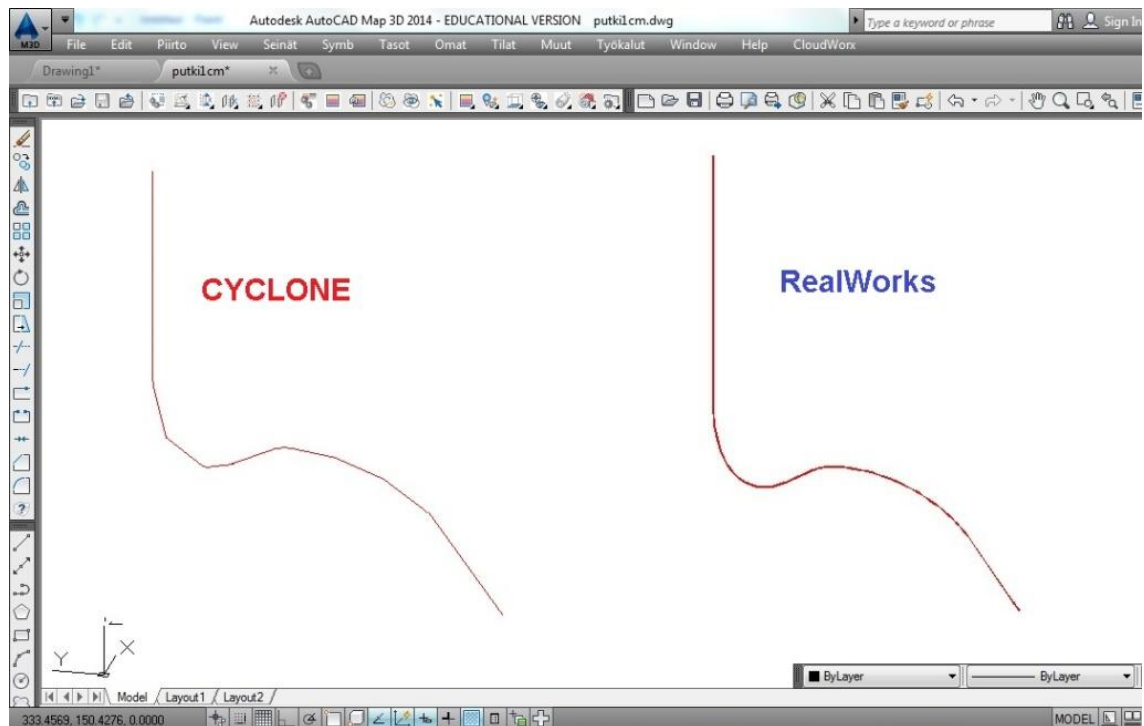
Kuva 26. Kuva 26. "Export Pipe Centerlines"-työkalun aikaansaannos

Tämä ongelma pystytään osittain kiertämään pienentämällä putken halkaisijaa lähelle nollaa (kuva 27). Tämän jälkeen jäljelle jäänyt putki kuvaa alkuperäisen putken keskilinjaa, joka tallennetaan DXF-muotoon.



Kuva 27. "Keskilinja" (alkuperäinen putki supistetulla halkaisijalla)

Näin saadaan molemmilla ohjelmilla putki mallinnettua ja mallinnetun putken keskilinja vietyä CAD-tiedostomuotoon. Kuvassa 28 on nämä kaksi tuotosta avattu rinnakkain AutoCAD-ohjelmassa.



Kuva 28. Mallinnettujen putkien keskilinjat AutoCADissa

Kummassakin ohjelmassa on puolensa. Kuvassa 28 nähdään, että Cyclonen tekemä putki on hieman kulmikkaampi. Toisaalta RealWorksin keskilinja ei ole yksi viiva vaan edelleen putki. Siitä, haittaako tämä työskentelyä AutoCADissa myöhemmin (esimerkiksi mittapiirustusta tehtäessä), ei ole tietoa. Standardeja noudattavia putkistoja mallintaessa ei havaittu merkittäviä eroja siinä, kuinka ohjelmat pystyvät seuraamaan sille osoitettua putkea.

10 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyössä käsiteltiin laserkeilausta yleensä, mittauksen suorittamista ja mitatun pistepilven jälkikäsittelyä. Työn tavoitteena oli auttaa Insinööritoimisto Geocom Oy:tä pistepilven käsittelyyn tarkoitetun ohjelman valinnassa. Tavoitteen saavuttamiseksi ohjelmilla suoritettiin muutamia toimintoja ja vertailtiin niiden suorituskykyä ja sopivuutta Geocomin tarkoituksiin. Tarkoituksena oli löytää vertailuperusteita ja sen jälkeen niiden välisiä eroja. Vertailu on tehty Geocomin tarpeisiin perustuen, eikä sen tarkoituksena ole selvittää ohjelmien keskinäistä paremmuutta. Tulee myös ottaa huomioon, että opinnäytetyössä vertailtiin vain kahta ohjelmaa.

Laserkeilaus ja pistepilvi

Laserkeilaus tarjoaa useita käyttömahdollisuuksia ja menetelmää voidaan soveltaa monilla aloilla. Laserkeilauksen suorittaminen on yksinkertaista ja ennen kaikkea nopeaa. Menetelmän keräämä tietomäärä on ylivertainen esimerkiksi takymetriin nähden. Yksittäiset pistepilvet sisältävät helposti miljoonia pisteitä ja yhdistetyt pistepilvet voivat sisältää yli miljardi pistettä.

Pelkkä pistepilvi sellaisenaan tarjoaa hyvin vähän informaatiota, ja se vaatii lähes aina jonkinlaista jälkikäsitelyä. Jälkikäsitelyn tarkoituksena on muokata pistepilvi tarpeen vaatimaa muotoon ja sitä kautta saada selville haluttu informaatio. Pistepilvestä saatavia lopputuotteita ovat esimerkiksi 2D-piirustus, 3-ulotteinen lankamalli, pintamalli, geometriamalli. Pistepilveä tai siitä tehtyjä lopputuotteita voidaan edelleen jatkokäyttää muissa suunnittelujärjestelmissä tietomallintamisen pohjana.

Pistepilven käsittelyohjelmat

Yksikään laserkeilainohjelmista ei sovi täydellisesti kaikkiin tarkoituksiin. Se, mikä on paras ohjelmisto pistepilven käsittelemiseksi, riippuu lähinnä siitä, mikä on keilauksen kohde ja mitä sillä halutaan tehdä. Jokaisella ohjelmalla on vahvuutensa ja heikkoutensa. Yksi voi olla hyvä luomaan kolmioituja pintoja, toinen taas parempi tunnistamaan putkistot automaattisesti ja kolmas sovittamaan geometrisiä kappaleita pistepilveen. Lisäksi se, minkälaisella laserkeilaimella mitta-aineisto on kerätty, vaikuttaa siihen, millä ohjelmalla sitä on parasta käsitellä. Helppo tapa varmistaa laserkeilaimen ja ohjelmiston sujuva toiminta keskenään on käyttää saman valmistajan tuotteita.

Ohjelmiin perehtymiseen kannattaa käyttää aikaa ennen investointia. Tärkeitä kysymyksiä, joita tulee miettiä ovat seuraavat: minkälaista työtä ohjelmalla tul- laan suurimman osaa ajasta tekemään, mikä on tavoiteltu lopputuote ja missä ohjelmassa sitä jatkokäytetään (AutoCAD, MicroStation, Revit, Tekla...) Ohjel- mistojen myyjät ja maahantuojat esittelevät mielellään tuotteitaan. Helppo tapa suorittaa vertailu voisi olla kiertää jälleenmyyjien toimistot läpi omia tarpeita edustavan esimerkkiaineiston kanssa ja pyytää esittelijää tekemään siitä haluttu lopputuote.

Opinnäytetyön tekijällä ei ollut laserkeilausohjelmista mitään aikaisempaa kokemusta. Tämän takia ohjelmista ei saatu suoritettua kovin perusteellista vertaailua mutta kuitenkin riittävä Geocomille tärkeiden asioiden selvittämiseksi. Selkeimmät erot ohjelmien välillä havaittiin (RealWorksin eduksi) muutamien tiedostoformaattien tuonti- ja vientiominaisuuksissa, tähyksettömän rekisteröinnin suorittamisessa sekä putkimallinnuksen suorituskyvyssä.

Muita havaittuja RealWorksin etuisuuksia Cycloneen nähden ovat muun muassa suomenkielisyys, tunnelimittausominaisuus, varastosäiliösovellus (mm. tilavuuspotentiaalin laskeminen) ja hinta. Cyclonen vahvuuksia ovat puolestaan töiden käsittely tietokantamuodossa, suora yhteensopivuus CAD-ohjelmiin CloudWorx-moduulilla, materiaalikirjasto (teräsprofiilit ym.) jo perusversiossa sekä itsenäisiin ohjelmistomoduuleihin perustuva lisenssijaottelu. Allekirjoittaneen oma mielipide vajaan kahden kuukauden pituisen käytön perusteella on, että RealWorks on helppokäyttöisempi ja visuaalisempi kuin Cyclone, mutta ei ehkä vaativalle käyttäjällä yhtä monipuolinen. Mutta kuten jo aiemmin todettiin, jokaisella ohjelmalla on omat vahvuutensa, eikä yksikään ohjelma voi olla paras kaikilla osa-alueilla.

Kuvat

- Kuva 1. Pistepilvi suhteutettuna todelliseen kohteeseensa, s. 7
- Kuva 2. Laserkeilaimen toimintaperiaate ja sen keräämä data, s. 8
- Kuva 3. Havainnekuvat erilaisista mittaustavoista, s. 11
- Kuva 4. Valon kulku-aikaan perustuva etäisyysmittaustapa, s. 12
- Kuva 5. Vaihe-eroon perustuva etäisyysmittaustapa, s. 12
- Kuva 6. Pistepilvi esitettynä ilman intensiteettiä ja harmaasävyisenä, s. 13
- Kuva 7. Keilausprosessin perusvaiheet, s. 17
- Kuva 8. Zoller+Fröhlich IMAGER 5006 laserkeilain, s. 20
- Kuva 9. Leica TCRA 1103 takymetri, s. 21
- Kuva 10. Metallinen ja paperinen tähyt, s. 22
- Kuva 11. Laserkeilain pystytettynä ja mittaamassa, s. 24
- Kuva 12. Kohde rajattuna pistepilven panoraamakuvasta, s. 25
- Kuva 13. Tähytysten keskittäminen ja rekisteröinti, s. 26
- Kuva 14. Pistepilviperusteinen rekisteröintityökalu RealWorks-ohjelmassa, s. 39
- Kuva 15. Automaattinen rekisteröintityökalu (RealWorks), s. 40
- Kuva 16. Automaattisen rekisteröinnin raportti (RealWorks), s. 41
- Kuva 17. Yhdistettävien pistepilvien valinta (Cyclone), s. 41
- Kuva 18. Kahden pistepilven limitys päällekkäin (Cyclone), s. 42
- Kuva 19. Automaattisen rekisteröinnin tulokset (Cyclone), s. 42
- Kuva 20. ”Leikkaustaso”-työkalun käyttöliittymä (RealWorks), s. 43

- Kuva 21. Ohjelman jäljittelemät seinälinjat keltaisin viivoin (RealWorks), s. 44
Kuva 22. Cyclonella luotu geometriamalli, s. 45
Kuva 23. Pistepilvestä tuotetut tasokuvat rinnakkain, s. 46
Kuva 24. Vaihe 1: Putkiprofiili sovitettuna pistepilveen, s. 47
Kuva 25. Vaihe 2: Ohjelma seuraa pistepilveä mallintaen putken, s. 48
Kuva 26. "Export Pipe Centerlines"-työkalun aikaansaannos, s. 49
Kuva 27. "Keskilinja" (alkuperäinen putki supistetulla halkaisijalla), s. 49
Kuva 28. Mallinnettujen putkien keskilinjat AutoCADissä, s. 50

Taulukot

- Taulukko 1. LaserContorl ohjelman tuonti ja vienti tiedostomuodot, s. 27
Taulukko 2. Import- eli tuontiformaattien vertailu, s. 35
Taulukko 3. Export- eli vientiformaattien vertailu, s. 36
Taulukko 4. ZFS tiedoston indeksointi ohjelman omaan tiedostomuotoon, s. 37
Taulukko 5. Export ominaisuuksien vertailu, s. 38

Lähteet

- Arminen, M. 2014. Toimitusjohtaja. Insinööritoimisto Geocom Oy. Suullinen tiedonanto. 13.10.2014.
- Arminen, M. 2015. Toimitusjohtaja. Insinööritoimisto Geocom Oy. Sähköpostikeskustelu .17.2.2015.
- Creach, Z. 2013. Six BIM Point Cloud Formats You Should Know About. Blogikirjoitus. <http://www.concreteconstruction.net/bim-learning-center/leica/blog/leica-blog-21.aspx> Julkaistu: 20.8.2013
- Cronvall, T., Kråknäs, P. & Turkka, T. 2012. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Liikennevirasto. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf
- Heiska, N. 2009. Universaaliskannetta etsimässä, eli miten valita maalaserkeilain. Maankäyttö 1/2009, s. 30-35. http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk109/mk109_1232_heiska.pdf
- Joala, V. 2003. Laserkeilaimen toimintaperiaatteet ja kalibrointi. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu 40 – Maanmittaustieteiden päivät 2003.
- Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Oy. <https://docs.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUtNTQzMDIwZTI3NDVm/edit?hl=en&pli=1>.
- Joala, V. 2015. Sähköpostikeskustelu. 30.1.2015. Leica Geosystems Oy.

Koski, J. 2001. Laserkeilaus – uusi ulottuvuus paikkatiedon keräämiseen. Maankäyttö 4/2001, s. 24-26.
http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk401/mk401_273_koski.pdf.

Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Aalto-yliopisto. Fotogrammetrian erikoistyö.

Leica Geosystems. HDS-Ohjelmistot. http://www.leica-geosystems.fi/fi/HDS-ohjelmistot_3490.htm. Luettu 20.1.2015.

Leica Geosystems 2012. Youtube: Laser scanning: Chapter 2 of 3 - How It All Works. <https://www.youtube.com/watch?v=1IDO1UevAJI>. Katsottu 28.10.2014.

Leica Geosystems AG 2014. Leica Cyclone MODEL 9.0 Data Sheet. http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/cyclone/brochures-datasheet/Cyclone_MODEL_DS_en.pdf

Leica Nilomark Oy 2005. Laserkeilaus. Yrityksen sisäinen materiaali.

Mitta Oy, Laserkeilaukset, <http://www.mitta.fi/laserkeilaukset.html>. Luettu 19.11.2014.

Petrie, G. & Toth, C. K. 2009. Terrestrial laser scanners. Teoksessa: Shan, J. ja Toth, C.K. (toim.). Topographic laser ranging and scanning: Principles and Processing. CRC Press, s. 87-127.

Rudi.net. <http://www.rudi.net/node/20641>. Luettu 21.11.2014.

Savolainen, M. 2014. Laserseurainjärjestelmän kalibroitimenetelmät ja tarkkuuden tarkastelu kenttäolosuhteissa. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikka. Insinööriyö.

Trimble Navigation Ltd. 2014a. Technical Notes Trimble RealWorks Software. http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-231132/022543-123I_TrimRealWorks_TN_1114_LR.pdf

Trimble Navigation Ltd. 2014b. Support Note. http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-501673/Trimble_RealWorks_9.0_SPRT-NOTE_EDITION-CONTENT_ENG_20141117.pdf

U.S. Department of Transportation, GROUND-BASED LiDAR Rock Slope Mapping and Assessment. 2008.
http://www.cflhd.gov/programs/techDevelopment/geotech/LiDAR/documents/01_ground_based_lidar_entire_document.pdf

Zoller + Froehlich GmbH. 2007. IMAGER 5006 User Manual.

Laserkeilaus: Mittausten suunnittelu



Projektin nimi, tunnus, kohde ja yritys		
	Kommentit	Osa-alueen valmistumispäivä
Kuvaus halutusta aineistosta		
Miten haluttua aineistoa tullaan käyttämään		
Arvioitu aloituspäivä		
Arvioidut aineistojen valmistumis-PVM. Maastomittaukset Mallintaminen Valmis luovutettava aineisto		
Mitattavan alueen kuvaus		
Asiakkaan toimittamat tiedot kohteesta (pohjapiirroksat, valokuvat, piirroksat ja suunnitelmat)		
Lopputuotteen piiloalueiden tarkkuus		
Mallin yksityiskohtien määrittäminen tarkkuus (määritetään tarkasti jo tarjousvaiheessa)		
Tarkkuuden sovitut raja-arvot (määritetään tarkasti jo tarjousvaiheessa)		
Vaiheiden oletukset / edellytykset 1. 2. 3. 4.		

Lisätietoa _____

Laserkeilaus: Mittausten suunnittelu



	Kommentit	Osa-alueen valmistumispäivä
Aineiston haluttu koordinaatisto; ja paikallisten kiintopisteiden sijainti ja koordinaatit.		
Lista mahdollisista virhelähteistä 1. 2. 3. 4. 5.		
Kaikki turvallisuuteen vaikuttavat tekijät		
Työtehtävään vaadittavat luvat?		
Paikallisen virtalähteen saatavuus?		
Mittausalueen tiedot - Tasojen tai mitattavien kerrosten lukumäärä - Mitattavien erillisten alueiden lukumäärä - Kokonaispinta-ala - Kokonaistilavuus		
Työn aikataululliset rajoitukset		
Joustavaan työskentelyyn vaikuttavat tekijät - Liikkumiseen vaikuttavat tekijät - Hissin käyttömahdollisuus - Minkälaiset keilaukset on mahdollisia		
Työn välilliset vaikutukset, jotka tulee ratkaista		
Lista projektin avainhenkilöistä	Osoite	Puhelin, fax ja sähköposti

Lisätietoja _____

Liite 2. Rekisteröintiraportti, Z+F LaserControl -ohjelmasta

Position of the Scanner

Scan-File	Position x [m]	Position y [m]	Position z [m]	Scale
Nr2697 high I1048.zfs	3561478.910	6770505.639	105.539	1.0000

Deviation of the targets of the scan: Nr2697 high I1048.zfs

Target	d [mm]	dx [mm]	dy [mm]	dz [mm]
'4'	'2.7'	'-2.2'	'1.6'	'-0.2'
'187'	'1.0'	'0.7'	'0.6'	'0.0'
'186'	'1.4'	'1.4'	'0.2'	'0.1'

Position of the Scanner

Scan-File	Position x [m]	Position y [m]	Position z [m]	Scale
Nr2698 high I1048.zfs	3561480.756	6770503.137	105.537	1.0000

Deviation of the targets of the scan: Nr2698 high I1048.zfs

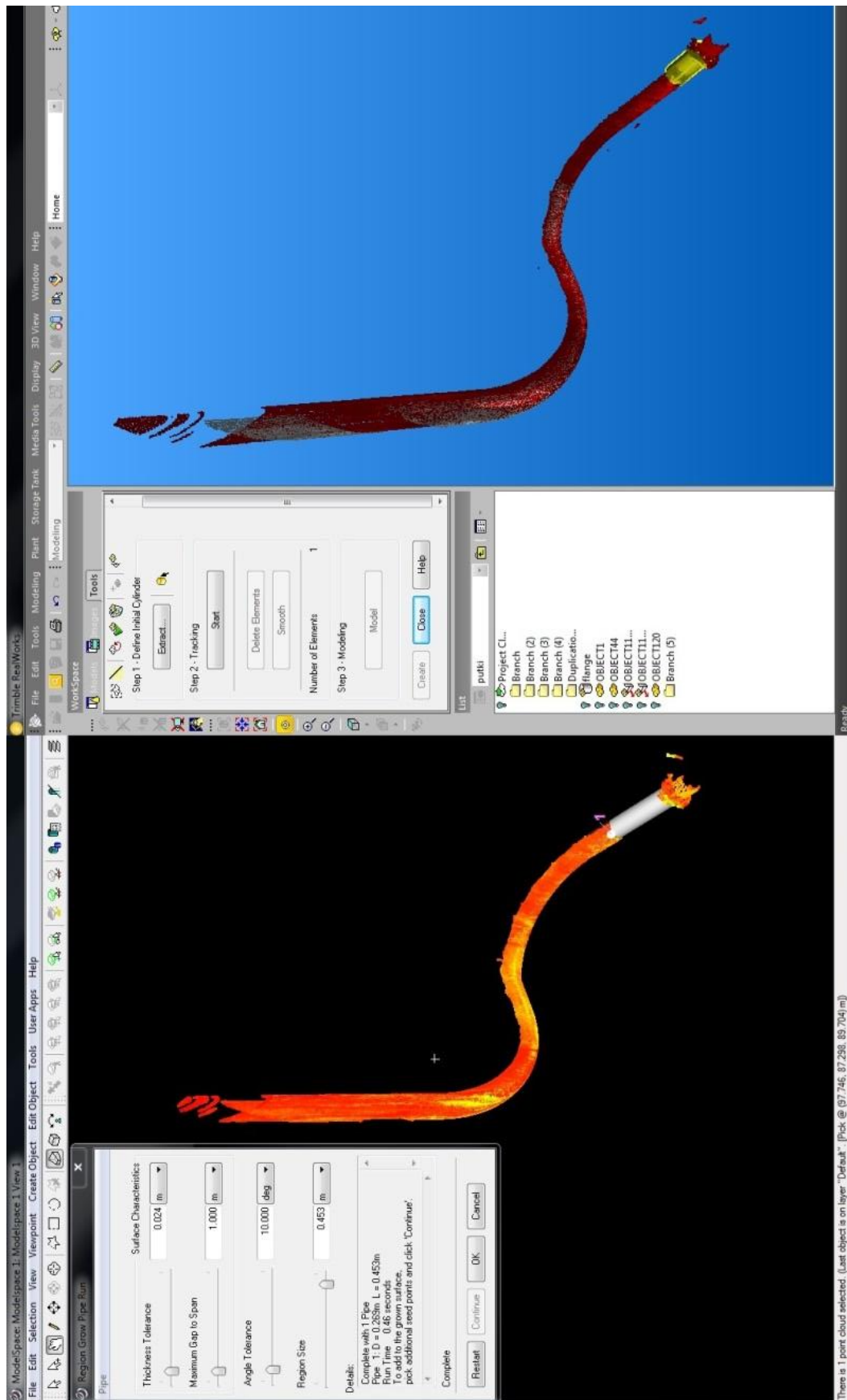
Target	d [mm]	dx [mm]	dy [mm]	dz [mm]
'4'	'2.8'	'-2.0'	'2.0'	'-0.2'
'17'	'0.8'	'-0.5'	'-0.6'	'-0.3'
'18'	'5.0'	'-4.1'	'-2.8'	'0.1'
'186'	'2.9'	'2.5'	'-1.3'	'0.1'
'187'	'1.5'	'1.3'	'0.8'	'-0.1'

Standard Deviation of the Targets, with respect to the Totalstation-Data

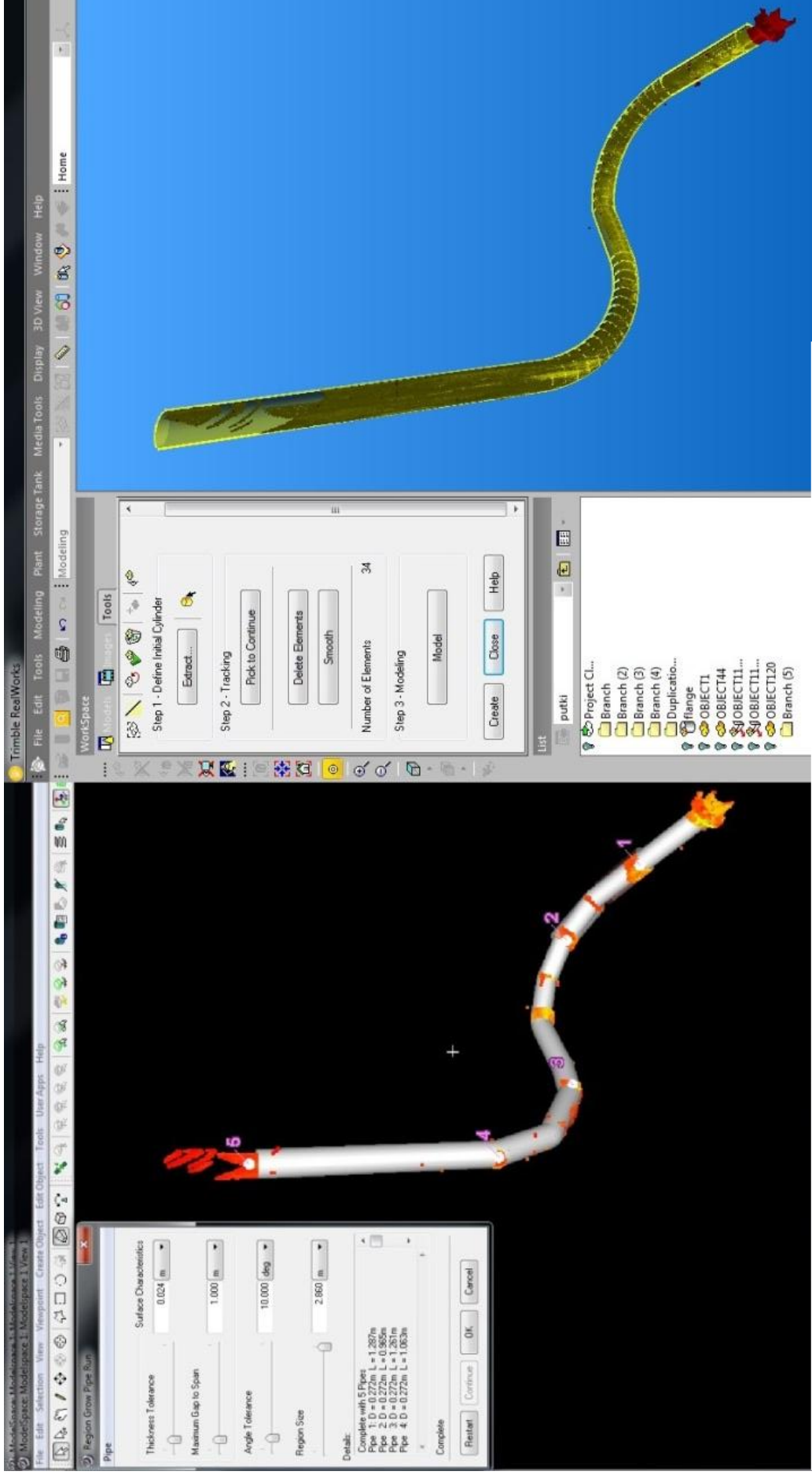
Summary:

1 of 25 enabled targets whose deviations are greater than the defined threshold 7.0 mm	
Total number of targets	25
Number of disabled targets	0
Average Deviation	2.8 mm
Standard Deviation	1.6 mm
Maximal Deviation	8.0 mm (Scan Nr2693 high I1048.zfs Target 13)

Liite 3. Kuvat 24 ja 25 isompina



Kuva 24. Vaihe 1: Putkiprofiliin sovitetun pistepilveen, s. 49



Kuva 25. Vaihe 2: Ohjelma seuraa pistepilveä mallintaen putken, s. 50