

**LASERSKANNERIN JA TAKYMETRISKANNERIN MIT-
TAUSTEKNISET SOVELTUVUUDET**

Kuusela Janne
Ylipaavalniemi Hannu
Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Maanmittaustekniikka
Insinööri(AMK)
2017

Tekniikan ja liikenteen ala
Maanmittaustekniikka
Insinööri(AMK)

Tekijä	Janne Kuusela Hannu Ylipaavalniemi	Vuosi	2017
Ohjaaja	Timo Karppinen		
Toimeksiantaja	TähtiRanta Oy		
Työn nimi	Laserskannerin ja takymetriskannerin mittaustekniiset soveltuvuudet		
Sivu- ja liitesivumäärä	49 + 7		

Tämä työ on tehty Lapin ammattikorkeakoulussa keväällä 2017. Tässä työssä käsitellään laserskannereiden ja takymetriskannereiden mittausteknisiä soveltuvuuksia. Työn tarkoituksena on auttaa laserskannaukseen tutustumattomia maanmittausalan ammattilaisia hahmottamaan erilaisten laserskannereiden soveltuvuusalueet ja ottamaan laitteille tyypilliset heikkoudet ja vahvuudet paremmin huomioon.

Työssä käsitellään pistepilvien virheitä ja jälkikäsitelyä, eri etäisyydenmittausmenetelmiä ja erilaisten skannereiden soveltuvuuksia. Lisäksi aihealuetta lähestytään kyselyn ja käytännönkokeen avulla.

Takymetriskannereiden ja laserskannereiden välinen soveltuvuusraja ei ole täysin yksiselitteinen asia, koska pistepilven käyttötarkoitus ja suorittavien töiden kilpailulliset asetelmat vaikuttavat käytettävän laitteiston minimivaatimukseen. Takymetriskannereiden suurin puute laserskannereihin verrattuna on hidas mittausnopeus, joka on rajoite tiheitä ja suuria pistepilviä mitattaessa. Opinnäytetyössä on arvioitu tarkemmin niitä seikkoja, jotka vaikuttavat kulloinkin käytettävän laitteiston valintaan.

School of Technology, Communication and Transport
Degree Programme of Land Surveying Bachelor of Engineering

Author	Janne Kuusela	Year	2017
Supervisor	Hannu Ylipaavalniemi		
Commissioned by	Timo Karppinen		
Subject of thesis	TähtiRanta Oy		
Number of pages	Applicational Possibilities of Total Station Laser Scanners and Terrestrial Laser Scanners		
	49 + 7		

This thesis was done in the Lapland University of Applied Sciences in the spring of 2017. The purpose of this thesis was to find out the applicational possibilities of different laser scanners. The thesis aimed at helping land surveying professionals who are not familiar with laser scanning technology to better understand the abilities of different laser scanning instruments.

The thesis studied the sources of errors in point clouds, point cloud processing and applicational possibilities of different laser scanners. Laser scanning was also studied with an inquiry and a practical experiment.

The applicational differences between the total station laser scanners and the terrestrial laser scanners are not clear, because the planned usage of the point cloud and the circumstances in the bidding competitions vary. This thesis studied the facts which influence the choice of the suitable equipment. The slower measuring speed is the biggest downside of the total station laser scanners when comparing them to the terrestrial laser scanners. The slower measuring speed obstructs scanning vast areas with dense point spacing.

Key words total station laser scanner, terrestrial laser scanner, point cloud

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	LASERSKANNAUKSEN PERUSTEET.....	11
2.1	Maalaserskannaus.....	11
2.2	Etäisyydenmittausmenetelmät	11
2.3	Laserskannereiden parametrit	12
2.4	Pistepilvien käsittely.....	13
2.5	Pistepilvien virheet.....	14
3	LASERSKANNERIT	16
3.1	Laserskannereiden ominaisuudet	16
3.2	Vaihe-erolaserskannereiden soveltuvuus	17
3.3	Pulssilaserskannereiden soveltuvuus	19
3.4	Digitaalisten pulssilaserskannereiden soveltuvuus.....	21
3.5	Vaihe- ja aikaeron yhdistelmäskannereiden soveltuvuus	23
4	TAKYMETRISKANNEREIDEN OMINAISUUDET JA SOVELTUVUUS.....	25
5	KÄYTÄNNÖN KOE.....	27
5.1	Kokeen tarkoitus ja suunnitelma	27
5.2	Trimble SX10.....	28
5.3	Z+F Imager 5006i	29
5.4	Skannattava kohde	29
5.5	Tulokset.....	30
5.5.1	Vaihe-erolaserskannaus.....	30
5.5.2	Takymetriskannaus	32
5.5.3	Kasan tilavuusmittaus	34
6	LASERSKANNAUS SUOMALAISSA YRITYKSISSÄ	36
6.1	Kysely.....	36
6.2	Kyselyn yhteenveto.....	36
6.3	Laserskannerin valinta	40
6.4	Tulevaisuuden visio	43
7	POHDINTA.....	45
	LÄHTEET	46

ALKUSANAT

Haluamme kiittää kaikkia opinnäytetyöhön osallistuneita henkilöitä ja yrityksiä.

- Hannu Heinonen & Nina Heiska (Nordic Geo Center Oy)
- Timo Karppinen ohjaava opettaja (Lapin amk)
- Emilia Seppälä & Jari Mustonen (TähtiRanta Oy)
- Juho Simonen (Geotrim Oy)

Erityiskiitokset Geotrim Oy:lle Trimble SX10:n koekäyttötilanteen järjestämisestä. Erityiskiitokset myös Hannu Heinoselle opinnäytetyön mentoroinnista.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

arcsec	Kulman mittausyksikkö, 1/60 osa yhdestä asteesta
BIM	Building information module
IMU	Inertial measurement unit
MEMS	Microelectromechanical system
mrad	Milliradiaani, tuhannesosa yhdestä radiaanista.
p/s	Pistettä sekunnissa
RTK	Real Time Kinematic, satelliittimittausmenetelmä
TBC	Trimble Business Center
UAV	Unmanned aerial vehicle
WFD	Wave form digitizer technology, Leican patentoima etäisyydenmittaustekniikka (Maar & Zogg 2014.)

1 JOHDANTO

On olemassa hyvin monenlaisia laserskannereita, joita on kehitetty erilaisiin tarpeisiin eri ajanjaksoina. Missä erilaisten laserskannereiden tekniset soveltuvuusrajat ovat ja mitkä käytännön asiat määrittelevät työhön sopivan skannauskaluston? Laserskannereiden kehitys on ollut nopeaa ja siksi niitä koskevaa vanhentunutta tietoa on paljon tarjolla. Tässä opinnäytetyössä selvitetään erilaisten maalaserskannereiden toimintaperiaatteita ja soveltuvuuksia. Erityisesti perehdymme takymetriskannereiden mittaustekniseen soveltuvuusalueeseen verrattuna laserskannereiden soveltuvuusalueeseen.

Eri laitevalmistajat ovat alkaneet lisätä takymetreihin skannausominaisuuksia tai suorastaan integroineet laserskannerin takymetriin. Ennen takymetriskannerilla tarkoitettiin takymetriä, joka oli ohjelmoitu kääntämään optiikkaansa automaattisesti, kunnes valitulle alueelta oli mitattu tarvittava määrä pisteitä. On yleisesti tiedossa, että sellaisten takymetrien skannausominaisuutta ei voida tehokkaasti hyödyntää, jos mittaustehosteessa esiintyy pitkiä välimatkoja, isoja kokonaisuuksia, monimutkaisia objekteja tai jos tarvittavien pisteiden lukumäärä on suuri. Skannaustoiminnot ovat kuitenkin kehittyneet ajan myötä ja skannausominaisuus on löytynyt johdonmukaisesti kalleimmista takymetreistä jo vuosien ajan, skannaustoiminnoille täytyy siis olla myös jonkinlaista kysyntää.

Varsinainen laserskanneri on kallis hankinta ja sen käyttö ei ole yksinkertaisissa kartoituksissa välttämätöntä, koska laserskanneri kerää valtavan määrän tietoa, eikä sen käsittely ole aina tarpeellista. Lisäksi merkintämittaukset ovat mahdottomia suorittaa laserskannerilla. Edellä mainituista syistä maanmittausalan yritykset hankkivat useimmiten käyttöönsä ensimmäisenä takymetrin ja RTK-mittalaitteet.

Joillekin yrityksille skannausten tekeminen on arkipäivää, kun taas toisille yrityksille ei välttämättä löytyisi tarpeeksi skannattavia kohteita, jotta kallis laserskanneri kannattaisi hankkia. Laserskannaus on kuitenkin yleistymässä ja oletamme, että monet maanmittausalan yritykset ja toimijat pohtivat osaltaan laserskannauskaluston hankinnan tarpeellisuutta. Oman arviomme mukaan maanmittausalan

ihmisillä ei kuitenkaan ole aina oikeaa tietämystä laserskannereiden soveltuvuus-alueista. Opinnäytetyössä siis selvitetään teorian, laitteiden teknisten tietojen, kyselyn, haastattelujen ja käytännön kokeen avulla minkälaisista skannauksista takymetriskannerit voisivat suoriutua kohtuullisessa ajassa ja tarpeeksi laadukkain tuloksin. Selvitystyön päämetodeina ovat kyselytutkimus ja asiantuntijahaastattelut.

Selvitystyön tarpeellisuus nousi esiin, kun TähtiRanta Oy:n edustaja Emilia Seppälä kertoi, että yrityksen edustajat ovat koekäyttäneet Trimblen SX10 takymetriskanneria, joka suoriutuu valmistajan mukaan kaikista takymetrin tehtävistä ja jolla voisi silti tuottaa laserskannausaineistoa. TähtiRanta Oy onkin hankkimassa SX10:n ja Seppälä ehdotti, että voisimme opinnäytetyössä selvittää takymetriskannereiden ja laserskannereiden eroja eri mittaustilanteissa.

Uudemmillä laitteilla, esimerkiksi SX10:llä, on valmistajan tietojen mukaan mahdollista skannata myös aiempaa vaativampia kohteita. Tämä laajentaa mahdollisten mittauskohteiden määrää, vaikka toimijalla ei olisikaan käytössään laserskanneria. Kuinka pitkälle SX10:n tai muiden laitteiden skannausominaisuudet riittävät? SX10 on opinnäytetyössä tärkeässä roolissa, koska se on nykyisten tietojen mukaan ainoa takymetri, jossa on kohtuullisella tasolla hyödynnettävissä oleva laserskanneri integroituna. Tämä laajentaa laitteen soveltuvuutta paljon syvemmälle laserskannereiden soveltuvuusalueelle kuin tähänastiset yhdistelmälaitteet. SX10 onkin nykyään mahdollisesti kaikkein pätevin takymetri, jolla voi tuottaa myös "aitoa" laserskannausaineistoa.

Jotta opinnäytetyön tuloksilla olisi merkitystä myös tulevaisuudessa, kun takymetriä skannausominaisuudet jatkavat oletettua kehittymistään, opinnäytetyössä perehdytään myös sellaisiin mittauskohteita yhdistäviin tekijöihin, jotka ehdottomasti vaativat laserskannerin käyttöä. Sellaisia tekijöitä pyrittiin opinnäytetyössä selvittämään kyselytutkimuksen avulla.

Opinnäytetyössä selvitetään erityisesti maanmittausalan yritysten näkökulmasta millaisista mittauskohteista voi suoriutua takymetriskannerilla ja milloin on välttämätöntä käyttää laserskanneria. Selvitystyön ongelmaksi muodostui tarkan soveltuvuusrajan tulkitseminen edistyneiden takymetriskannereiden ja laserskannereiden soveltuvuusalueiden väliltä, koska joistain skannauksista voi teknisessä

mielessä suoriutua myös takymetriskannerilla, mutta laserskannerilla saman työn voisi suorittaa nopeammin ja myös pistepilven laatu olisi tyypillisesti parempi. Perinteisen takymetrillä tehtävän kartoituksen ja takymetriskannauksen eroja ei ole tarpeen vertailla kovin syvällisesti. Takymetriskannauksen ja takymetrimittauksen eroja käsitellään kuitenkin opinnäytetyössä mittamiehen näkökulmasta pintapuolisesti. Soveltuvuusraja takymetriskannereiden ja laserskannereiden välillä on kuitenkin selkeästi edellistä hämärämpi ja on siksi opinnäytetyön pääaihe.

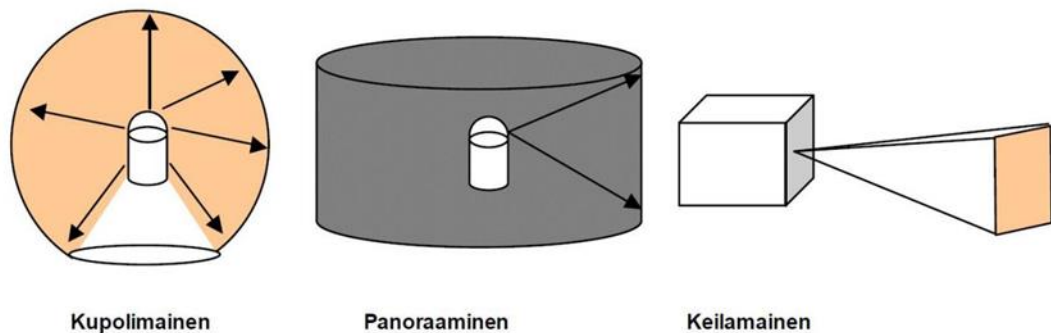
Tässä opinnäytetyössä esitetyt tiedot erilaisten laitteiden tai tekniikoiden soveltuvuuksista eivät ole tarkkoja. Kaikkia opinnäytetyössä esitettyjä väitteitä tai tietoja tulee tulkita korkeintaan suuntaa antavina.

2 LASERSKANNAUKSEN PERUSTEET

2.1 Maalaserskannaus

Maalaserskannereilla tai laserskannereilla tarkoitetaan kolmijalan päälle pystytettäviä staattisia laserskannereita, jotka skannaavat ympäristöönsä jatkuvalla laser-säteellä tai lähettämällä jopa miljoonia erillisiä laserpulsseja sekunnissa. Laserskanneri laskee lähetettyjen säteiden vaakakulman, pystyakselin ja etäisyyden perusteella jokaiselle pisteelle koordinaatit ja muodostaa näin mittatarkan kolmiulotteisen kuvan ympäristöstä. (Higgins 2004a.)

Maalaserskannerit voidaan jakaa mittaustavaltaan neljään eri tyyppiin: panoraaminen, kupolimainen, keilamainen (Kuvio 1.). Näiden eri skannereiden mitta-alueet ovat erilaisia. Nykyisin suurin osa käytettävistä laserskannereista on kupolimaisesti mittaavia. (Cronvall, Kråknäs & Turkka 2012, 17 – 18.)

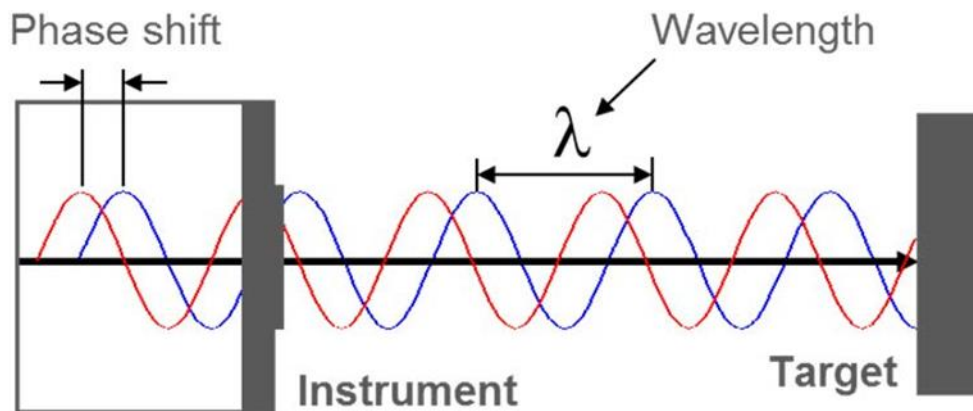


Kuvio 1. Laserskannerien tyyppiä (Joala 2006, 2.)

2.2 Etäisyydenmittausmenetelmät

Laserskannerit voidaan toimintaperiaatteeltaan jakaa pääsääntöisesti kahteen eri ryhmään, vaihe-erolaserskannereihin ja pulssilaserskannereihin. Nämä kaksi eri ryhmää määrittävät etäisyyden eri tavalla. Toimintaperiaate vaikuttaa olennaisesti kojeen mittausteknisiin ominaisuuksiin ja soveltuvuuteen. Nykyisin toimintaperiaatteista on kuitenkin variaatioita ja erilaisia yhdistelmiä. (Higgins 2004a.)

Vaihe-erolaserskanneri lähettää lasersäteen samanaikaisesti mitattavaan pintaan sekä osittain valoa läpäisevällä peilillä takaisinpäin mitta-antureille. Koje laskee peilistä ja pinnasta heijastuneen valon aallonmuodon välisestä vaihe-eroista etäisyyden mitattavaan pisteeseen (Kuvio 2.). (Keinänen & Järvinen 2014, 169.)



Kuvio 2. Vaihe-erolaserskannerin toimintaperiaate (Maar & Zogg 2014, 4.)

Pulssilaserskannerin etäisyydenmittaus perustuu valon kulkuuikaan. Skanneri lähettää laserpulssin, jonka edestakainen kulkuuika mitataan kojeen ja kohteen välillä. Etäisyys voidaan määrittää pulssin kulkuajan ja valonnopeuden avulla. (Cronvall, Kråknäs & Turcka 2012, 10 – 12.)

On olemassa myös sellaisia etäisyydenmittausmenetelmiä, jotka hyödyntävät etäisyydenmittauksessa vaihe-eron ja signaalin lentoajan yhdistelmää tai kolmiomittausta. Kolmiomittaukseen perustuvat laserskannerit ovat yleensä tarkoitettu objektien skannaukseen lyhyillä etäisyyksillä. Vaihe-eron ja säteen lentoajan yhdistelmämittauksen patentoi yli kymmenen vuotta sitten Tohtori Erik Nieburh. Nykyään yhdistelmätekniikoita hyödyntävät esimerkiksi Leican "WFD Technology" ja Trimblen "Lighting Technology". (Higgins 2004a; Maar & Zogg 2014.)

2.3 Laserskannereiden parametrit

Laserskannereiden valmistajat antavat kojeista tekniset tiedot ja parametrit, mutta koska ilmoitettaville tiedoille ei ole olemassa yhtenäistä asetettua standardia, niin valmistajien antamat tiedot poikkeavat toisistaan. Laserskannereiden parametrit jaetaan yleisesti fyysisiin ja mittausteknisiin. (Joala 2006, 4.)

Mittausteknisiä parametreja ovat muun muassa mittauksien lukumäärä yhdellä mittauksella, yhden pisteen mittaustarkkuus, kulmaresoluutio, lasersäteen halkaisija ja maksimimittausetäisyys. Laserskannereiden **fyysisiä parametreja** ovat muun muassa paino, näkökenttä, toiminta-aika, sään kestävyys ja koko. (Joala 2006, 4.)

2.4 Pistepilvien käsittely

Yleensä mitatut pistepilvet käsitellään tietokoneella mittauksien jälkeen. Pistepilvillä on lukuisia käyttötarkoituksia, kuten mallintaminen, BIM, muutos seuranta ja suunnittelun tukeminen. Aineiston peruskäsittelyyn kuuluu pistepilven suodatus, rajausta ja yhdistäminen eli rekisteröinti. Pistepilven jatkojalostamiseen voi kuulua esimerkiksi georeferointi eli maastokoordinaatistoon siirtäminen ja erilaisten mittojen tai leikkauskuvien hakeminen. (Cronvall, Kråknäs & Turkka 2012, 12.)

Usein skannattava kohde joudutaan mittaamaan monelta eri koje-asemalta, jolloin syntyy monta pistepilveä, jotka täytyy viimeistään käsittelyvaiheessa rekisteröidä yhdeksi isoksi pistepilveksi. Yhdistämismenetelmiä on erilaisia, yleisin menetelmä on yhteisten tähyksien käyttö. Tällöin yhdistäminen tehdään käsittelyohjelmalla. Käyttäjän avustamana lasketaan tähyksille keskipisteet hyödyntäen tähyksen pinnalle tallentunutta pistepilveä. (Joala 2006, 3)

Markkinoilla on kuitenkin nykyisin tarjolla laserskannereita tai ohjelmistoja, joiden käyttö ei enää edellytä tähyksiä, vaan koje tai käsittelyohjelma yhdistää pistepilvet toisiinsa avustettuna tai täysin automaattisesti, hyödyntäen valmistajasta riippuen erilaisia matemaattisia ratkaisuja. Sellaisia menetelmiä kutsutaan yleensä pistepilvi-pistepilvi yhdistämiseksi. Pistepilvi-pistepilvi yhdistäminen suoritetaan lähes aina käsittelyohjelmistolla. Käsittelyohjelmiston algoritmi tunnistaa pistepilvien säännöllisiä muotoja ja osaa tunnistaa pistepilvien yhteiset alueet, kun käyttäjä osoittaa toisiaan vastaavia yksityiskohtia pistepilvistä. (Simonen 2017.)

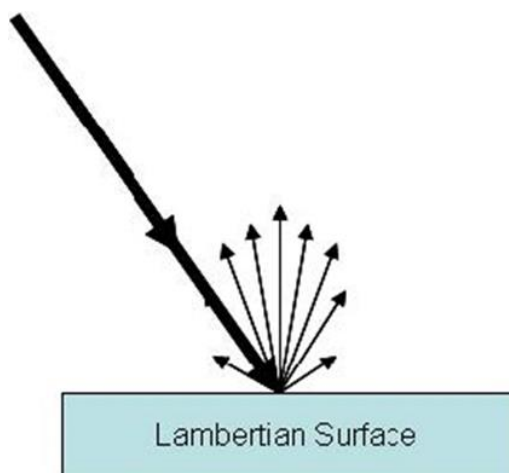
Yksi uusimmista menetelmistä pistepilvien yhdistämiseksi löytyy esimerkiksi RIEGLin maalaserskanneri VZ-400i:stä, joka tunnistaa pistepilvestä tuhansia

”luontaisia tähyksiä”, jotka koostuvat kukin 50 pisteen ryhmästä. Laite laskee ryhmälle keskinormaalien suuntaviivan ja kykenee tunnistamaan saman pisteryhmän seuraavalta kojeasemalta, ratkaistessaan tämän saman suuntaviivan toistamiseen. Koje yhdistää pistepilvet täysin automaattisesti ja paljon perinteistä tähystekniikkaa tarkemmin. Muitakin täysin tai osittain automaattisia ratkaisuja pistepilvien yhdistämiseksi on myös olemassa. Kokonaislopputuloksen laatuun vaikuttaa paljon pistepilven tiheys, rekisteröinnin ja georeferoinnin tarkkuus, mittauksen olosuhteet, yksittäisten pisteiden 3D-tarkkuus, virheellisten pisteiden lukumäärä ja suodatuksen onnistuminen. (Heinonen 2017a.)

Nykyisin monet laserskannerit hyödyntävät intensiteettiä. Intensiteetillä tarkoitetaan paluusignaalin voimakkuutta. Intensiteetin perusteella jokaisella pisteelle saadaan oma sävyarvo tai harmaasävyn ero, jotka helpottavat aineiston tulkin-
taa. Mitattavan kohteen etäisyys, väri, materiaali, pinnan tasaisuus ja säteen osu-
miskulma vaikuttavat pisteen intensiteetti arvoon. Intensiteetin avulla voidaan ta-
saiselta pinnalta erottaa myös tekstuureja, kuten esimerkiksi tekstejä ja kuvioita.
(Cronvall, Kråknäs & Turkka 2012, 12.)

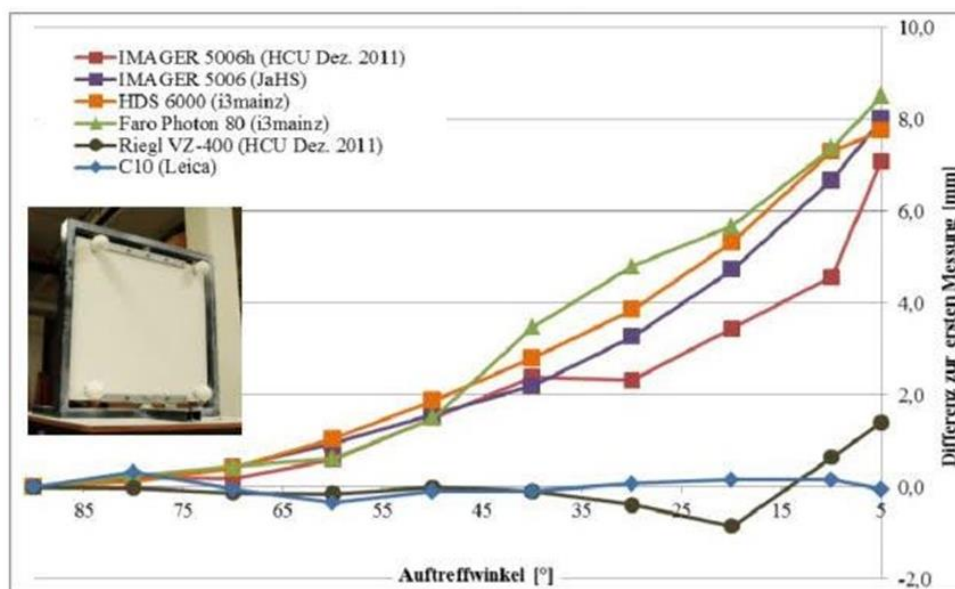
2.5 Pistepilvien virheet

Mitattuun pistepilveen tulee virheitä ja yksi vaikuttavin tekijä on kohina eli pisteiden hajonta. Mittausetäisyys, kohteen materiaali ja lasersäteen osuiskulma vaikuttavat pisteiden tarkkuuteen ja pisteiden hajontaan (Kuvio 3.). (Cronvall, Kråknäs & Turkka 2012, 19.)



Kuvio 3. Lasersäteen hajonta (Van Genechten 2008, 32.)

Mitä kauempana kohde on, sitä heikompana signaali palaa takaisin. Paluusignaalin voimakkuuteen vaikuttaa mitattavan pinnan materiaali ja väri, esimerkiksi musta tai huokoinen pinta absorboi suurimman osan säteestä ja silloin palautuva signaali on heikko. Lasipinnoista lasersäde voi taas heijastua kokonaan toiseen pintaan tai kadota. Kuviossa 4 nähdään erilaisten laserskannereiden mittausvirheet suhteessa kohtaamiskulmaan. Kuvioista nähdään, että RIEGLin ja Leican valmistavat pulssilaserskannerit ovat suoriutuneet huomattavasti pienemmillä virheillä kuin käytetyt vaihe-erolaserskannerit. (Van Genechten 2008, 32)



Kuvio 4. Kulma vaikutus (Lindstaedt, Kersten, Mechelke & Graeger 2012, 9.)

Analogisissa laserskannereissa muodostuu ongelmaksi säteen osuminen esimerkiksi johonkin reunaan, jolloin osa säteestä osuu reunan yläosaan ja osa säteestä jatkaa matkaa ja osuu vielä yhteen tai useampaan pintaan. Silloin paluusignaali sisältää tietoa kahdesta tai useammasta eri kohtaamasta, mutta koje havaitsee jonkinasteisen keskiarvon näistä kaiuista ja silloin tulos on väärä. Kaikki mainitut ominaisuudet aiheuttavat pistepilveen virheellistä tietoa. (Van Genechten 2008, 32.)

3 LASERSKANNERIT

3.1 Laserskannereiden ominaisuudet

Laserskannereilla on etäisyysmittauksen tarkkuuden lisäksi muita tärkeitä ominaisuuksia, jotka määrittävät pitkälti kojeen soveltuvuuden. Kulmaresoluutiolla eli kulmanerotuskyvyllä määritetään kahden vierekkäisen lasersäteen kulmanerotus. (Kukko 2005, 11 – 12.)

Laserskannerin kulmanerotuskyky osaltaan määrittää kuinka tarkan kuvan mitattavasta kohteesta voi saada. Toinen kuvan tarkkuuteen merkittävästi vaikuttava tekijä on kojeen sallima pisteverkon tiheys. Pelkästään hyvä kulmaresoluutio ei tarkoita, että kojeella saa mitattua erittäin tiheää pistepilveä. Kolmas kuvan tarkkuuteen vaikuttava tekijä on kohina. Kohinalla tarkoitetaan todellisen mitatun pinnan ulkopuolisten pisteiden esiintymistä. Jos skannataan esimerkiksi täysin tasainen levy ja tallennettua pistepilveä tarkastellaan sivusuunnasta, voidaan huomata, että kaikki pisteet eivät ole levyn pinnalla. Osa pisteistä tallentuu mitaustäisyydestä riippuen millimetrin osien tai jopa senttimetrien päähän levystä. Kohinan voimakkuus riippuu etäisyyden lisäksi myös käytetystä kalustosta. (Heinonen 2017b)

Kohinan voimakkuus antaa myös viitearvon sopivalle pistepilven tiheydelle. Pistepilven sopiva tiheys on tyypillisesti 1,5 kertaa etäisyyden kohina. Esimerkiksi jos kohinan keskiarvo jollain tietyllä etäisyydellä on kymmenen millimetriä tasomaiseen pintaan mitattaessa, on tihein suositeltavissa oleva pisteväli 15 millimetriä. (Heinonen 2017b)

Tärkeitä yksittäisen pisteen 3D tarkkuuteen vaikuttavia ominaisuuksia ovat kulmatarkkuus ja etäisyydenmittaustarkkuus. Ominaisuuksien arvot vaihtelevat eri valmistajien laserskannereissa. (Kukko 2005, 11 – 12.)

Toistotaajuus tarkoittaa mittaushavaintojen määrää sekunnissa. Toistotaajuus ymmärretään joskus virheellisesti mittaussnopeutena. Toistotaajuus voi olla esi-

merkiksi 500 000 pistettä sekunnissa, mutta se tarkoittaa vain sisäistenmittaus-
ten lukumäärää, eikä tallentuvia pisteitä. Mittausnopeus ilmaistaan tyypillisesti
skannattujen poikkileikkausten lukumäärällä yhden sekunnin aikana tai ”*lines/se-
cond*”. Mittausnopeus antaa toistotaajuutta selkeämpää tietoa skannauksiin ku-
luvasta ajasta. (Kukko 2005, 14; Heinonen 2017b.)

Skannauskulma määrittää miltä alueelta koje skannaa alueen. Tähän vaikuttaa
kojeen sisään rakennettu peilijärjestelmä. Nykyään suurin osa laserskannereista
on toteutettu mittaamaan 360 asteen kulmassa kupolimaisesti. Tässä tapauk-
sessa ainoastaan pystytetyn laserskannerin alapuoli jää skannaamatta. On ole-
massa myös laserskannereita, jotka mittaavat kapealla kulmalla, mutta nykyi-
sissä kupolimaisissa laserskannereissa haluttua keilauskulmaa voidaan muuttaa
tarpeen mukaan. (Kukko 2005, 14.)

3.2 Vaihe-erolaserskannereiden soveltuvuus

Vaihe-erolaserskannereiden suurin heikkous on lyhyt mittausetäisyys ja huono etäi-
syydenmittaustarkkuus pitkillä etäisyyksillä. Esimerkiksi maastokartoituksessa,
jossa etäisyydet voivat olla monta sataa metriä, vaihe-erolaserskanneri ei tyypil-
lisesti suoriudu hyvin. Vaihe-erolaserskannereiden huono etäisyydenmittaustark-
kuus pitkillä etäisyyksillä johtuu siitä, että vaihe-erotekniikkaan perustuva etäisyy-
den mittaus on tarkka vain ensimmäisen yksikköjanan sisällä. Laserskannauk-
sessa ei tyypillisesti ole aikaa käyttää useampaa mittaustaajuutta ensimmäisen
yksikköjanan ulkopuolisten etäisyyksien varmentamiseksi, sillä skanneri on jat-
kuvassa pyörimisliikkeessä. Takymetrillä tätä ongelmaa ei ole, sillä aikaa on käy-
tössä pistettä kohden enemmän kuin muutamia nanosekunteja ja kohteeseen
voidaan lähettää useampia perättäisiä signaaleja eri mittaustaajuuksilla eli eri yk-
sikköjananpituuksilla. (Heinonen 2017b.)

Vaihe-erolaserskannereissa ensimmäisen yksikköjanan ulkopuolisten etäisyy-
havaintojen tarkkuutta pyritään parantamaan kahdella tapaa, joko yksikköjanan
pituutta kasvattamalla tai valoa moduloimalla. Jälkimmäisellä tavalla saadaan
karkea tieto täysien yksikköjanojen lukumäärästä etäisyyden sisällä. Molemmilla
tavoilla kuitenkin menetetään mittaustarkkuutta. Vaihe-erolaserskannerit ovat

kuitenkin tyypillisesti ensimmäisen yksikköjanansa sisällä tarkkoja. (Heinonen 2017b.)

Vaihe-erolaserskannereilla voidaan pistepilven laatua pyrkiä parantamaan hidastamalla laitteen ja peilin pyörimisnopeutta, jotta saataisiin useita sisäisiä mittauksia lähes samasta pisteestä. Näin etäisyydenmittaukseen saadaan lisää varmuutta. Pyörimisnopeutta alentamalla skannauksen vaatima aika luonnollisesti pitenee. Peilin pyörimistä ei voida kuitenkaan kokonaan pysäyttää, koska pystykulman mittaus perustuu peilin pyörimisnopeuteen. (Heinonen 2017b.)

Vaihe-eroskannaus tyypillisesti edellyttää tähysten käyttöä, joka edelleen edellyttää takymetrin käyttöä, jos pistepilvet halutaan georeferoida. Nämä työvaiheet lisäävät työaikaa, joka heikentää kilpailukykyä varsinkin isompien mittauskohteiden osalta. (Heinonen 2017a.)

Jotta pistepilvet voitaisiin rekisteröidä tarkasti, on suositeltavaa asetella tähykset korkeintaan 20 metrin päähän skannerista, sillä käytetty yksikköjananpituus on yleensä noin 12.5 – 20 metriä. Lisäksi tähysten täytyy olla mahdollisimman kohtisuorassa skanneria kohti. Eri skannauksilla pitää olla vähintään kolme yhteistä tähyistä, tämä seikka yhdessä 20 metrin etäisyysrajoitteen kanssa aiheuttaa sen, että skanneria ei voida liikuttaa pitkää matkaa yhdellä kertaa, jos halutaan päästä tarkkaan lopputulokseen. Tähyksien käytössä on lisäksi otettava huomioon, että mittaus on kolmiulotteista. Siksi myös tähysten tulisi sijainniltaan tukea tasalaa-tuisen aineiston syntymistä. Tähyksiä tulisi asetella jokaiselle suunnalle, myös ylös ja alas ja välttää kaikkien tähyksien asettamista samalle tasolle. Käytännön töissä näin ei aina ole, vaan mittaajat asettavat tähykset minne ylettävät. (Heinonen 2017b; Karppinen 2017.)

Peitteisten alueiden skannauksessa ilmenee toisenlaisia ongelmia. Lasersäteiläkin on halkaisija ja ulkona mitattaessa on tyypillistä, että osa säteestä osuu esimerkiksi puun lehteen ja jäljelle jäänyt säde puolestaan voi osua vielä yhteen tai useampaan esteeseen, ennen kuin jäljelle jäänyt säde osuu viimeiselle pinnalle, joka yleensä on se haluttu mittauskohde, esimerkiksi maanpinta tai talon seinä. (Heinonen 2017b.)

Analogiatekniikka ei kykene erottelemaan palautuvasta signaalista useita eri kai-kuja eli kohtia, joista signaali on heijastunut takaisin kojeelle. Laitte siis ratkaisee lähetettyä signaalia kohden vain yhden koordinaatin, tyypillisesti jostain reaali-ilmassa tapahtuneiden kohtaamien väliltä. Tällä tavalla ratkaistu piste ei ole mi-kään luontainen piste ja on lopputuloksen kannalta virheellinen ja täysin tarpee-ton. Näistä pisteistä pyritään yleensä pääsemään eroon viimeistään jälkikäsitte-lyssä. Virheellisten pisteiden erottaminen halutuista pisteistä ei kuitenkaan aina ole mahdollista. Sama ongelma esiintyy kaikissa analogisissa laserskannereissa, myös pulssilaserskannereissa. (Van Genechten 2008, 28; Heinonen 2017b.)

Vaihe-eroskannerit soveltuvat parhaiten lyhyillä etäisyyksillä suoritettaviin yksi-tyiskohtaisiin skannauksiin, esimerkiksi sisätila-, teollisuus-, deformaatio- ja seu-rantamittauksiin. Oikein suoritettulla vaihe-eroskannauksella on havaittavissa jopa muutamien millien muutokset mitatussa kohteesta. (Cronvall, Kråknäs & Turkka 2012, 34-77.)

3.3 Pulssilaserskannereiden soveltuvuus

Pulssilaserskannerit soveltuvat pitkille etäisyyksille paremmin kuin vaihe-erola-serskannerit. Toisaalta pulssilaserskannereiden mittaussnopeus on usein huo-mattavasti vaihe-erolaserskannereita huonompi, sillä koje joutuu odottamaan pa-luu signaalia, ennen kuin seuraava signaali voidaan lähettää. Pulssilaserskanne-reille tyypilliset mittaussnopeudet ovat noin 100 – 10 000 pistettä sekunnissa. To-sin nykyään pulssilaserskannereilla voidaan mitata jopa yli 1 000 000 pistettä se-kunnissa, mutta sellaiset laitteet yleensä hyödyntävät yhdistelmätekniikoita tai di-gitaalista signaalinkäsittelyä. Pulssilasertekniikka on etäisyydestä riippuen mit-taussnopeudeltaan rajoittunut, sillä mittausetäisyyden kasvaessa signaalin pa-luuta joudutaan odottamaan yhä kauemmin. Esimerkiksi jos laserpulssin edesta-kaisin kulkema matka on kaksi kilometriä, niin valonnopeus asettaa mittaussno-peudelle rajoitteen 150 000 pistettä sekunnissa, kuten alla on laskettu (Kaava 1.). Signaalin lentoajan jälkeen mittaussnopeuteen vaikuttaa myös kojeen datankäsit-telyviive. (Higgins 2004b.)

$$T / (S/C) = \text{toistotaajuus} \quad (1)$$

missä

T	on	aika
S	on	matka
C	on	valonnopeus.

Maalaserskannauksissa etäisyydet ovat kuitenkin tyypillisesti vain 5 – 500 metriä, eikä valon hitaudesta tällöin muodostu suurta ongelmaa. Usein laitteen teknisistä ominaisuuksista muodostuu paljon edellistä suurempia rajoitteita. Jos pulssilaserskannerin mittausnopeutta halutaan kasvattaa myös pitkillä etäisyyksillä, on valon hitauden aiheuttama rajoite ratkaistava. Joissain laitteissa pulssit pystytään yksilöimään algoritmin avulla, silloin voidaan lähettämään useampia pulsseja ilmaan, ennen kuin ensimmäinen on edes palannut laitteelle. Tällaisia ratkaisuja esiintyy ilmalaserskannereissa tai kehittyneemmissä maalaserskannereissa. (Higgins 2004b.)

Pulssilaserilla tehtävän etäisyydenmittauksen teoreettinen tarkkuus on riippuvainen vain ajanmittauksen tarkkuudesta. Pulssin lentoaika mitataan tarkalla atomikellolla. Pulssit kuitenkin heijastuvat takaisin erilaisista kohteista joko hitaasti tai nopeasti. Ei voida siis sanoa varmuudella, että ajanmittaus olisi lopetettu oikealla hetkellä, koska kohteen aiheuttamaa paluusignaalin viivettä ei oteta analogiatekniikassa huomioon. Koska skannauksia suoritettaessa ei ole käytännössä mahdollista selvittää jokaisen kohteen heijastavuutta erikseen, ovat analogisten pulssilaserskannereiden valmistajat ratkaisseet ongelman kompensoimalla signaalin paluuviiheen keskimääräisesti oikein. Toisin sanoen analoginen signaalinkäsittelytekniikka tulkitsee jokaisen paluusignaalin aina samalla tavalla, joten signaalin osumiskulma, kohteen materiaali ja väri aiheuttavat aina virheitä. Myös ilmankosteus hidastaa signaalia. Edellä mainittuja virheitä esiintyy myös vaihe-eroskannauksissa, vaikka ne eivät perustu ajanmittaukseen. (Heinonen 2017b)

Pulssilaserskannereiden hankinnassa onkin syytä kiinnittää huomiota signaalinkäsittelyyn laitteen sisällä. Yleensä analogiset pulssilaserskannerit on tarkoitettu

tiettyihin erikoistilanteisiin, kuten tunneli- ja kaivostoiminnan tarpeisiin. (Heinonen 2017b.)

3.4 Digitaalisten pulssilaserskannereiden soveltuvuus

Karkeasti selitettynä skanneri lähettää laserpulssin ilmaan ja käynnistää saman aikaisesti ajanmittauksen. Kohteeseen osuessaan pulssi hajoaa, mutta osia signaalista palaa lähes aina takaisin kojeelle. Kuten analogisessa pulssilaserskannauksessa ajanmittaus pysähtyy, kun koje havaitsee paluusignaalin. Tässä vaiheessa analogisten ja digitaalisten signaalinkäsittelytekniikoiden erot alkavat kasvaa. Digitaalinen signaalinkäsittely mahdollistaa paluusignaalin täyden aallonmuodon tulkinnan. Se tapahtuu rekisteröimällä paluusignaalin muoto ja vertaamalla sitä laitteen sisällä olevaan kaikukirjastoon. Näin saadaan laskettua pisteen koordinaateille korjaustieto, sillä kaikukirjasto antaa vertailukohtan sille, miten signaali on palautunut kohteesta. Näin ollen kohteiden kaltevuus, värit ja materiaali eivät juuri vaikuta etäisyshavainnon tarkkuuteen. (Heinonen 2017b.)

Digitaaliset pulssilaserskannerit kehitettiin alun perin ilmalaserskannauksen tarpeisiin, koska kasvillisuudesta johtuen maanpinnan mittaaminen ei onnistu hyvin analogiatekniikkaan tukeutuvilla laserskannereilla. Kuten aikaisemmin on todettu, analogiatekniikalla yhdestä lähetetystä signaalista saadaan ratkaistua vain yksi piste, joka ei todellisuudessa juuri koskaan ole todellisesta maanpinnasta. (Heinonen 2017a.)

Digitaalinen täyden aallonmuodon tulkinta mahdollistaa myös monipiste mittauksen, joka tarkoittaa sitä, että paluusignaalista voidaan erottaa useita kaikuja. Näin ollen yhtä lähetettyä pulssia kohden saadaan ratkaistua useita pisteitä. Monipistemittaus mahdollistaa sen, että osittain esteisiin törmänneistä signaaleista saadaan tallennettua kaikki kohtaamat. Näin ollen halutulta mittauspinnalta saadaan useampia pisteitä kuin analogiatekniikalla. Monipistemittauksen edut ovat ilmiselviä, kun mitataan ulkotiloissa ja peitteisessä maastossa esimerkiksi maastomaljeja. RIEGL on ollut laitevalmistajien edelläkävijä monipistelaserskannauksen kehittämisessä. RIEGL huomasi hyvin nopeasti monipistelaserskannauksen edut myös maalaserskannauksen saralla. (Heinonen 2017b.)

Uusimmissa RIEGL maalaserskannereissa on myös totuttua suurempi maksimimittausnopeus. Vuoden 2016 keväällä lanseerattu VZ-400i hyödyntää signaalinkäsittelytekniikassaan pulssit yksilöivää algoritmia, joka on ratkaissut valonnopeuden aiheuttaman mittausnopeuden rajoitteen. (Higgins 2004b.)

RIEGLIN kehittämän kaiuntunnistustekniikan avulla voidaan lähettää 32 pulssia ennen kuin ensimmäinen pulssi on vielä edes palannut laitteelle takaisin. Tämä on varsin merkittävä saavutus varsinkin ilmalaserskannauksen saralla, mutta se mahdollistaa myös aikaeron mittaamiseen perustuvien maalaserskannereiden mittausnopeuden kasvattamisen. Maalaserskannereilla ei tosin tyypillisesti ole tarvetta lähettää kuin muutamia pulsseja ilmaan ennen kuin ensimmäinen pulssi on palannut kojeelle, sillä mitatut etäisyydet ovat usein lyhyempiä kuin ilmalaserskannauksessa. (Heinonen 2017a.)

Mittausnopeutta ei pidä sekoittaa toistotaajuuteen, esimerkiksi VZ-400i:n paras toistotaajuus on 1200 kiloHertziä, jolloin tallentuvien pisteiden lukumäärä on noin 500 000 pistettä sekunnissa, jos kojeen monipistemittausta ei käytetä. Sellainen mittausnopeus riittää nykyisin monenlaiseen maalaserskannaukseen. Käytännön töissä käytetään kuitenkin usein alhaisempia nopeuksia, sillä pistepilven laatu tyypillisesti paranee ja liian tiheä pistepilvi ei välttämättä tuo työhön lisäarvoa. Lisäksi liian massiivinen pistepilvi voi olla vielä vaikeasti käsiteltävä. (Heinonen 2017a.)

Digitaaliset pulssilaserskannerit hyödyntävät tyypillisesti myös erilaisia orientoituisensoreita, kuten MEMS, IMU, kompassi ja barometri. Sensorit parantavat laitteiden käytettävyyttä ja laskennan lähtökohtia pistepilvelle. (Heinonen 2017a.)

Digitaaliset pulssilaserskannerit joutuvat suorittamaan huomattavan määrän erilaisia reaaliaikaista laskentaa mittauksen yhteydessä. Esimerkiksi RIEGL skannereiden sisältä löytyykin erillinen signaalintulkintayksikkö ja tehokas prosessori. (Heinonen 2017a.)

Digitaaliset pulssilaserskannerit käyttävät yleensä myös pitkälle tai täysin automatisoituja pistepilvien yhdistämistekniikoita, jotka mahdollistavat mittauksen ilman tähyksiä. Tämä ominaisuus säästää paljon aikaa erityisesti isoja kokonaisuuksia skannattaessa. (Heinonen 2017a.)

Digitaaliset pulssilaserskannerit soveltuvat mielestämme hyvin mobiiliskannauksiin, ulkotiloissa tapahtuviin skannauksiin ja myöskin sisätiloissa tapahtuviin skannauksiin. Digitaalisten pulssilaserskannereiden tarkkuus pysyy erittäin hyvin hallinnassa myös pitkillä etäisyyksillä. Digitaalinen pulssilaserskannaus säästää merkittävän määrän aikaa sekä maastossa että toimistossa ja toteutunut tarkkuus on tyypillisesti huomattavasti parempi kuin analogisilla laserskannereilla, erityisesti peitteisessä maastossa ja pitkillä etäisyyksillä. Digitaalisten pulssilaserskannereiden soveltuvuusalue on kaikkein laajin. (Heinonen 2017a.)

3.5 Vaihe- ja aikaeron yhdistelmäskannereiden soveltuvuus

Useat valmistajat ilmoittavat hyödyntävänsä vaihe- ja aikaerotekniikoiden yhdistelmää laserskannereidensa etäisyyden määrittämisessä. Esimerkiksi Leica ilmoittaa heidän WFD-teknologiansa mahdollistavan tavalliseen pulssilasertekniikkaan verrattuna pienemmän lasersäteen halkaisijan, suuremman toistotaajuuden, paremman tarkkuuden ja konfigurointi mahdollisuuden. Trimblen Lightning Technologyn ilmoitetaan tuovan mittausominaisuuksiin samankaltaisia etuja kuin WFD-teknologia. Molempien valmistajien tekniikat ovat kuitenkin eri patentteja. Nämä yhdistelmätekniikat hyödyntävät aikaerotekniikkaa korvaamaan karkeiden mitaustaajuuksien puutetta laitteen vaihe-eromittauksessa. Näin saadaan alustava ja karkea tieto mitatusta etäisyydestä, jonka pohjalta voidaan laskea, että montako hienon mitaustaajuuden yksikköjananpituutta mahtuu mitatulle etäisyydelle. (Maar & Zogg 2014; Jackson & Lepere 2016.)

Yhdistelmämenetelmä on tavallista vaihe-erolaserskannausta tarkempi menetelmä, varsinkin jos on kyse yli 20 metrin etäisyyksistä. Yhdistelmämenetelmällä skannauksen vaatima aika kuitenkin kasvaa, jos etäisyydenmittauksesta halutaan tarkkaa, sillä yhdistelmämenetelmän etäisyydenmittauksen tarkkuus perus-

tuu sisäisesti mitattujen lähes samojen pisteiden etäisyshavaintojen keskiarvoon. Se tarkoittaa myös sitä, että kaltevia pintoja mitattaessa etäisyydenmittaus-tarkkuus heikentyy. Edellä mainittujen syiden vuoksi on syytä selvittää laitteiden todellinen mittausnopeus normaalisti käytetyillä mittausasetuksilla. Suosittelemme kuitenkin ottamaan nämäkin tekniikat mukaan harkintaan mahdollisten laitehankintojen yhteydessä. (Heinonen 2017b.)

4 TAKYMETRISKANNEREIDEN OMINAISUUDET JA SOVELTUVUUS

Takymetriskannerit ovat etäisyydenmäärittystekniikaltaan lähes poikkeuksetta analogisia aikaeroon perustuvia laitteita. Nykyään takymetriskannerit ovat kuitenkin alkaneet hyödyntää myös edellä mainittuja yhdistelmätekniikoita. Takymetriskannereita ei kuitenkaan nykyisellään voida laskea laserskannereiden joukkoon, koska käytännön suorituskyvyt ovat edelleen selkeästi eri tasoilla. Laitteiden mittaussnopeudet ja tarkkuudet ovat kuitenkin ajan myötä parantuneet huomattavasti. Siksi kannustamme maanmittausalan toimijoita pohtimaan, voiko takymetriskannereiden ominaisuuksia hyödyntää liiketoiminnassa jollain tapaa, sillä erot tavalliseen takymetrimittaukseen ovat huomattavat ja laitteiden hinnat selkeästi laserskannereita edullisempia.

Takymetriskannerit joilla voi skannata joitain kymmeniä tai satoja pisteitä sekunnissa eivät sovellu varsinaisiin skannaustöihin ollenkaan. Sellaisia takymetriskannereita käytetään kuitenkin kohtuullisen yleisesti erilaisissa mittauksissa, jotka muutoin olisi suoritettu takymetrin prismattomalla mittauksella, kuten tunneleiden profiilit tai pienet massalaskenta pinnat. Tarkkeiden tarkkuusvaatimukset voivat kuitenkin olla joskus liian tiukkoja takymetriskannereille.

Takymetriskannereilla joilla voidaan skannata useita tuhansia pisteitä sekunnissa, on edellistä laajempi soveltuvuusalue. Sellaisilla takymetriskannereilla voidaan skannata esimerkiksi rakennuksia saneeraussuunnittelun tueksi tai laajempia kartoituskohteita, kuten maanottopaikkoja. Pistepilvestä voidaan tuottaa esimerkiksi pohja-, leikkaus- ja julkisivukuvia tai pintamalleja. Kolmiulotteisten ja mitatarkkojen kuvien perusteella suunnittelija voi lisäksi tarkastella suunnitellun kohdetta lähes vaivatta. Teknisessä mielessä esimerkiksi SX10:llä voidaan skannata lähes mikä tahansa kohde kuin millä tahansa muulla skannerilla, mutta pistepilven tiheys asettaa rajoitteita aineiston käyttötarkoitukselle. Myöskin suurten kokonaisuuksien skannaaminen on tyyppillisesti ajankäytöllisesti kannattamatonta, varsinkin jos aineistosta halutaan mahdollisimman tiheää. (Geotrim 2017; Seppälä 2017.)

Takymetriskannereista on myös etua sellaisissa tavallisissa kartoitustilanteissa, joissa mittamies arvioi skannauksen säästävän aikaa verrattuna tavalliseen prismalliseen tai prismattomaan mittaukseen. Edellisestä esimerkkinä ovat pintamallit sellaisilta alueilta, joilla ei ole toistuvia näkemäesteitä kuten romua tai kasvillisuutta. Takymetriskannaus tuo myös muita pieniä käytännön etuja. Pienet työkohteet voidaan nopeasti skannata ja kuvata siltä varalta, että myöhemmin tulee tarvetta tarkastaa jokin seikka, mitä ei paikan päällä osattu ottaa huomioon. (Simonen 2017.)

5 KÄYTÄNNÖN KOE

5.1 Kokeen tarkoitus ja suunnitelma

Käytännön kokeessa suoritettiin saman kohteen laserskannaus samoista skannauspisteistä kahdella eri laserskannerilla. Kokeen tarkoituksena oli vertailla maasto- ja toimistotyöaika, mittaustyön mielekkyyttä, työn läpiviennin vaiheita ja pistepilvien laatua. Varsinaista mittaustarkkuutta ei tässä kokeessa vertailtu, koska otanta jäi liian pieneksi ja testiolosuhteet vaihtelivat. Mitään absoluuttista vertailupohjaa ei myöskään ollut käytössä.

Käytännön kokeessa perustettiin ensin takymetrillä apupisteverkko erilliskoordinaatistoon. Varsinaiset mittaukset oli jaettu kahteen päivään. Ensimmäisenä päivänä Z+F Imager 5006i vaihe-erolaserskannerilla skannattiin Arktikumin pääsisäänkäynnin puoleinen julkisivu. Skannausasemat sijoitettiin noin 10 – 20 metrin etäisyydelle julkisivusta, jotta vaihe-eroskannauksen tarkkuus ei huonontuisi kohtuuttomasti. Skannauksessa käytettiin tähyksiä, jotka sijoitettiin mahdollisimman oikeaoppisesti ja kartoitettiin takymetrillä. Takymetri orientoitiin vapaan asemapisteen menetelmällä, apupisteverkkoa hyödyntäen. Skannausasemien lukumäärä ja sijainti suunniteltiin paikan päällä ensimmäisenä mittauspäivänä. Skannausasemia oli kaksi. Samoja skannausasemia käytettiin noin yhden metrin tarkkuudella myös toisena mittauspäivänä, jotta pistepilvien väliset erot jäisivät käytännön suorittamisen osalta mahdollisimman vähäisiksi.

Toisena mittauspäivänä sama kohde skannattiin Trimblen SX10-takymetriskannerilla. Takymetriskanneri orientoitiin vapaan asemapisteen menetelmällä apupisteverkkoa hyödyntäen. Koje sijoitettiin ensimmäisen mittauspäivän skannausasemien mukaisesti noin yhden metrin tarkkuudella. Pistepilvien käsittely tehtiin, kun kaikki skannaukset olivat valmiita. Pistepilvet käsiteltiin Lapin ammattikorkeakoulussa. Tarkoituksena oli tehdä perustoimenpiteet, kuten pistepilvien yhdistäminen ja kohinan poistaminen. Perustoimenpiteiden jälkeen pistepilvien laatua vertailtiin pistepilvien tiheyden, yhdenmukaisuuden ja selkeiden virheiden osalta. Käytettävät ohjelmistot olivat ZF-Lasercontrol ja Trimble Business Center.

5.2 Trimble SX10

Trimble SX10 on vuonna 2016 markkinoille tuotu takymetriskanneri (Kuvio 5.). Kojeella pystyy suorittamaan kaikki takymetreillä suoritettavat työtehtävät. Suurin ulkoinen ero tavallisiin takymetreihin verrattuna on läpikatsottavan kaukoputken puute. Kaukoputken näkymä on kuitenkin tarvittaessa saatavilla maastotietokoneelta. Skannausominaisuuksiltaan koje eroaa tavanomaisista takymetriskannereista suuresti. SX10:n maksimitoistotaajuus on 26,6 kiloHertziä, joka mahdollistaa ajankäytöllisesti myös aiempaa suurempien kokonaisuuksien skannaamisen. Pistepilvien erilliselle yhdistämiselle ei ole SX10:llä tarvetta, sillä koje tietää tavallisten takymetrien tapaan sijaintinsa jokaisen orientoinnin jälkeen ja skannatut pisteet tallentuvat suoraan käytettyyn koordinaatistoon. Kojeella voi ottaa kuvia yksittäisistä kohteista tai koko skannattavasta alueesta. Käytössä on yleiskamera, pääkamera ja telekamera. (Geotrim 2017.)

Koje hyödyntää Trimble Lightning 3DM -tekniikkaa. Trimblen esitteissä täyden kupolin skannausajaksi ilmoitetaan 12 minuuttia ja maksimimittausetäisyydeksi 600 metriä. Lyhin skannausaika on 12 minuuttia, joka on kuitenkin saavutettavissa vain huonoimmalla kulmaresoluutio arvolla. Myöskin 600 metrin skannausetäisyys toteutuu vain hyvin heijastavia kohteita skannattaessa. Lasersäteen halkaisija on 14 millimetriä 100 metrin etäisyydellä, jonka Trimble ilmoittaa olevan "*skannausmaailman pienin*". Käytännön koetta varten Geotrim Oy:n Juho Simonen toimitti laitteen henkilökohtaisesti Rovaniemelle. (Geotrim 2017.)



Kuvio 5. Trimble SX10

5.3 Z+F Imager 5006i

Imager 5006i on Zoller+Fröhlichin vuonna 2008 julkaisema vaihe-erolaserskanneri (Kuvio 6.). Kojeen maksimitoistotaajuus on 508 000 pistettä sekunnissa ja maksimimittausetäisyys 79 metriä. Kone saatiin lainaksi Lapin ammattikorkeakoululta. (Zoller+Fröhlich 2009.)



Kuvio 6. Z+F Imager 5006i

5.4 Skannattava kohde

Kohteeksi valittiin Arktikumien pääsisäänkäynnin puoleinen julkisivu. Kohde valittiin sen rakenteellisten ominaisuuksien vuoksi. Näitä ominaisuuksia ovat seinän kaarevuus, hyvin heijastava vaalea ja kova pinta, suuret ikkunat, rakennuksen korkeus ja erilaisten yksityiskohtien sopiva määrä (Kuvio 7.).



Kuvio 7. Arktikum

5.5 Tulokset

5.5.1 Vaihe-erolaserskannaus

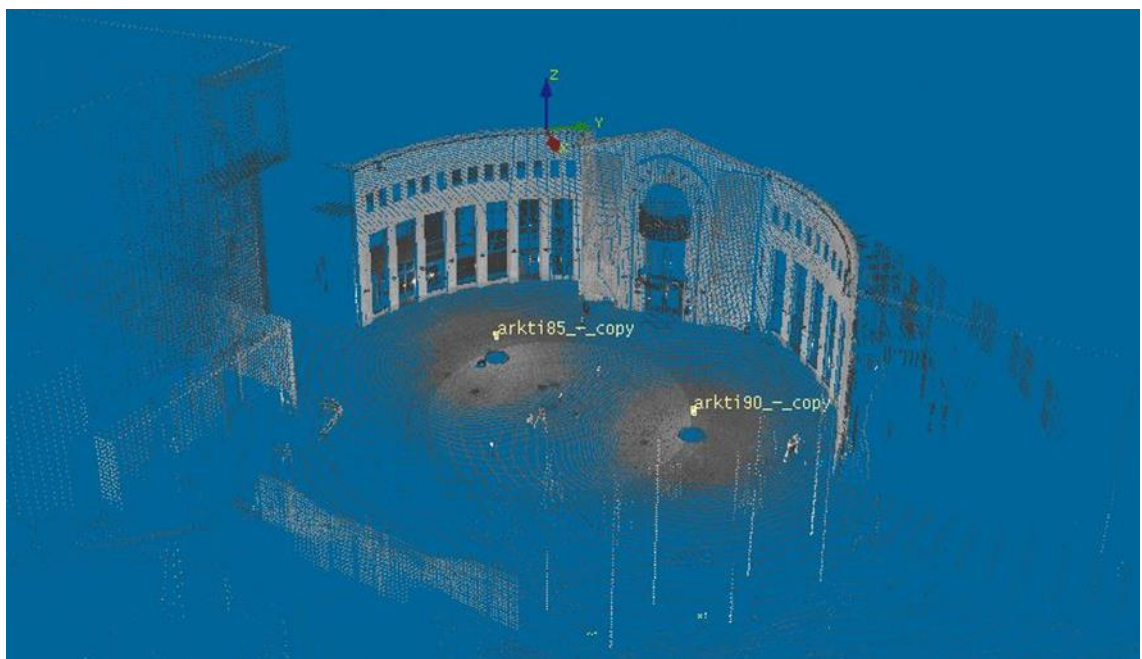
Ensimmäisenä mittauspäivänä suoritettu vaihe-erolaserskannaus onnistui hyvin. Maastotöiden osalta ainoa aikaa vievä osuus oli tähyksien pystytys ja kartoitus. Mittaryhmämme huomioi liian myöhään, että tähyksiä on valmisteltava riittävä määrä, jotta voidaan skannata useammalta kuin kahdelta asemalta. Käytösämme oli vain neljä tähyistä, joka käytännössä rajoitti skannausasemiemme lukumäärän kahteen. Kaikki neljä tähyistä aseteltiin maanpinnalle skannausasemien väliin. Tästä johtuen tähysten väliset korkeuserot jäivät liian pieniksi, mutta jos tähykset olisi kiinnitetty julkisivuun, mittausetäisyys olisi kasvanut liian suureksi siirryttäessä seuraavalle skannausasemalle. Viimeisellä skannausasemalla navakka tuulenpuuska kaatoi yhden tähyksistä, mutta onneksi skannaus oli jo suoritettu. Arviomme mukaan vaihe-eroskannauksen maastotöitä suorittaessa tähysten asettelu on kaikista vaativin ja tärkein osuus. Varsinkin useampia skannausasemia vaativissa projekteissa on syytä tehdä mittaus suunnitelma ennalta, jossa skannausasemat ja tähysten paikat ovat nähtävillä. Varsinainen skannerin pystytykseen ja yhden skannauksen suorittamiseen kului vain noin kahdeksan minuuttia. Kojeen täysin kupolimainen skannaus kesti 6 minuuttia "super high" kulmaresoluutio asetuksella, joka mahdollisti hyvän pistetiheyden noin 10 metrin etäisyydellä. Maastotöiden kokonaisaika oli noin tunti, josta tähysten asettelu ja kartoitus vei noin 45 minuuttia. Laserskannauksen ammattilaisilta työhön olisi kuitenkin kulunut huomattavasti vähemmän aikaa.

Kuviossa 8 on selkeästi nähtävillä aukko pistepilvessä kaarevan metalliparvekkeen oikeassa laidassa. Se johtuu liian kapeasta kohtauskulmasta, joka varsinkin hyvin heijastavaan pintaan mitattaessa usein johtaa siihen, että paluusignaalia ei saada. Puute pistepilvessä tosin korjaantui mitattaessa toiselta skannausasemalta, josta kohteeseen sai paremman kulman.



Kuvio 8. Z+F:llä mitattu pistepilvi

Pistepilvet suodatettiin oletusasetuksilla, Z+F-Lasercontrol ohjelmistolla. Suodatus koko aineistolle kesti noin kaksi minuuttia. Suodatuksen jälkeen suoritimme pistepilvien rekisteröinnin. Kahden pistepilven rekisteröinti kesti noin 15 minuuttia, mutta laserskannauksen ammattilaiselta siihen kuluisi huomattavasti vähemmän aikaa. Skannausasemat arkti85 ja arkti90 ovat nähtävillä kuviossa 9.



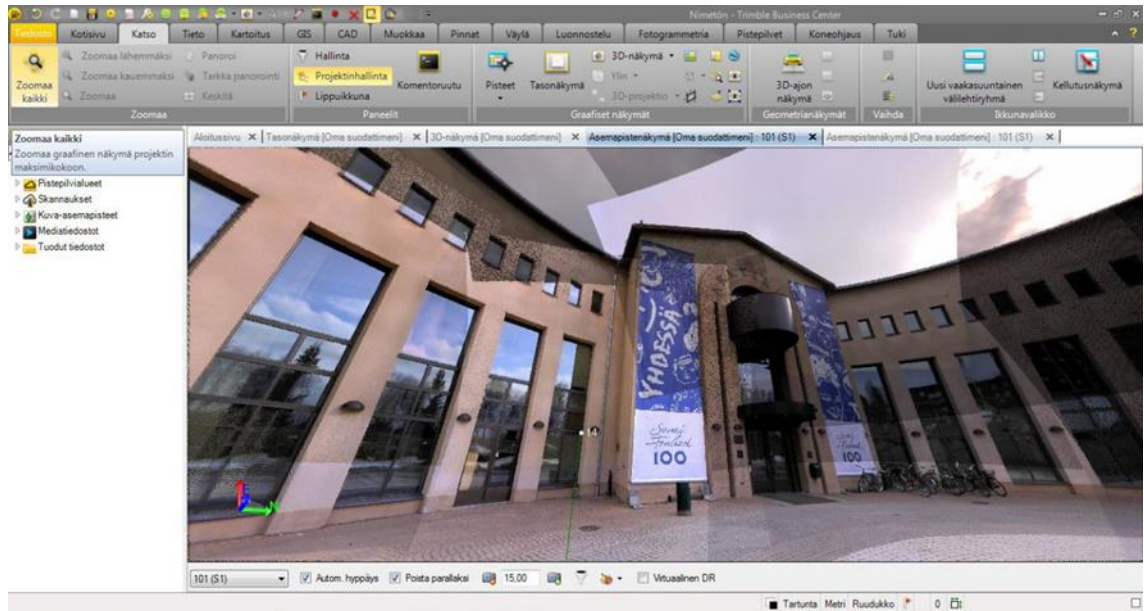
Kuvio 9. Yhdistetty pistepilvi

5.5.2 Takymetriskannaus

Toisena mittauspäivänä suoritettiin skannaus Trimble SX10-takymetriskannerrilla. Kohde skannattiin kahdelta asemapisteeltä suunnilleen samoista kohdista, kuin ensimmäisenä mittauspäivänä. Skannauksessa ei tarvittu tähyksiä ja koje ainoastaan orientoitiin erilliskoordinaatistoon kummallakin asemapisteellä. SX10:llä skannatessa on syytä rajata tarpeettomat alueet skannauksen ulkopuolelle, sillä laserskannereihin verrattuna skannaus on hidasta. Rajaukseen löytyy useita työkaluja, kuten suorakulmio, monikulmio ja skannauskulma.

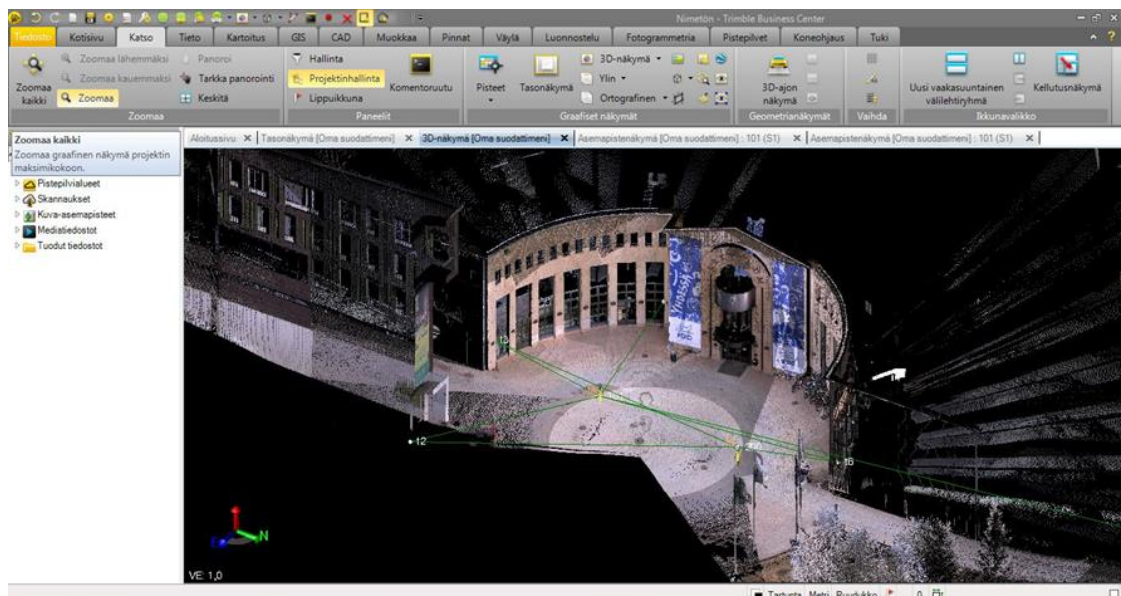
Skannattavan alueen valinnan jälkeen on valittava, millä pistetiheydellä kohde halutaan skannata. Vaihtoehtoja on neljä. Kaikista karkein pistetiheys tarkoittaa yhden senttimetrin pisteväliä kymmenen metrin etäisyydellä. Jos valitaan jokin tiheämpi asetus, niin koje skannaa koko alueen useampaan kertaan. Karkeinta asetusta käytettäessä Arktikumin julkisivun skannaukseen kului noin kuusi minuuttia yhdellä asemapisteellä. Jos olisimme valinneet viiden millimetrin pistevälin, yksi skannaus olisi vienyt noin 25 minuuttia, kahden millimetrin tiheydellä aikaa olisi mennyt tunti ja 45 minuuttia. Yhden millimetrin pistevälillä aikaa olisi mennyt peräti kuusi tuntia ja 35 minuuttia. Karkeimmalla pistetiheydellä mitattaessa pistepilvestä tulee kuitenkin käytettävyydeltään rajoittunut.

Skannausten suorittaminen oli kuitenkin todella helppoa ja kahden skannausaseman suorittamiseen kului yhteensä aikaa noin 16 minuuttia. TBC väritti pistepilven automaattisesti, kun tiedostot tuotiin tietokoneelle. Värityksessä meni aikaa vain noin yksi minuutti, mutta väritetty pistepilvi olikin melko harva ja siten tiedostona kevyt käsiteltävä. Muiden laitteiden tapaan SX10 yhdistää valokuvat pistepilveen ja värit pisteille ovat näin ollen saatavilla. Pistepilven ja yleiskuvien yhdistelmä on nähtävillä kuviossa 10.



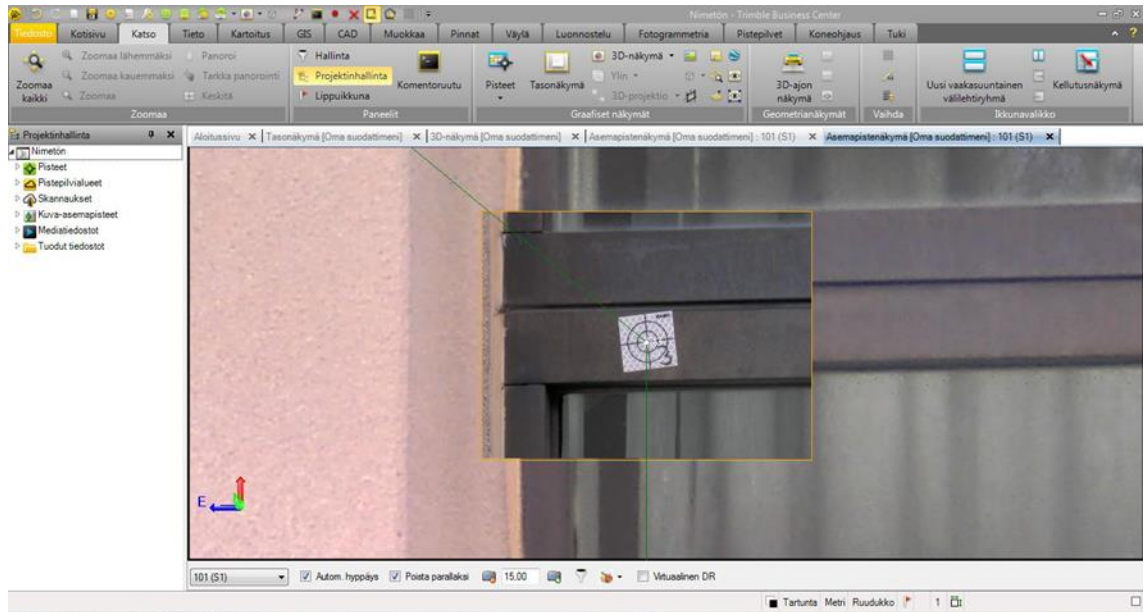
Kuvio 10. Kuvien ja pistepilven yhdistelmä

Kuviossa 11. näkyy mitattu ja värjätty pistepilvi. Kuvan oikeassa laidassa näkyy viuhkamaista pistepilveä, joka ei vastaa todellisuutta vaan on hajontaa. Hajonta johtuu Arktikumin julkisivun ikkunoista, jotka ovat heijastaneet säteet lähes vastakkaiseen suuntaan. Selkeästi virheelliset pisteet olivat kuitenkin TBC:llä helposti poistettavissa. Aiemmin mainitun metalliparvekkeen oikeasta laidasta saatiin SX10:llä pisteitä skannattua, mutta pistepilvi oli hiukan tasaisia pintoja harvempaa. Yhden mittauskerran perusteella ei edellä mainitusta asiasta kuitenkaan kannata vetää lopullisia johtopäätöksiä.



Kuvio 11. SX10:llä mitattu pistepilvi

SX10:ssä on sisäänrakennettu kolme eri kameraa, jotka on tarkoitettu eri etäisyyksille. Kuvioista 12. näkyy yleis- ja telekameran laatu.

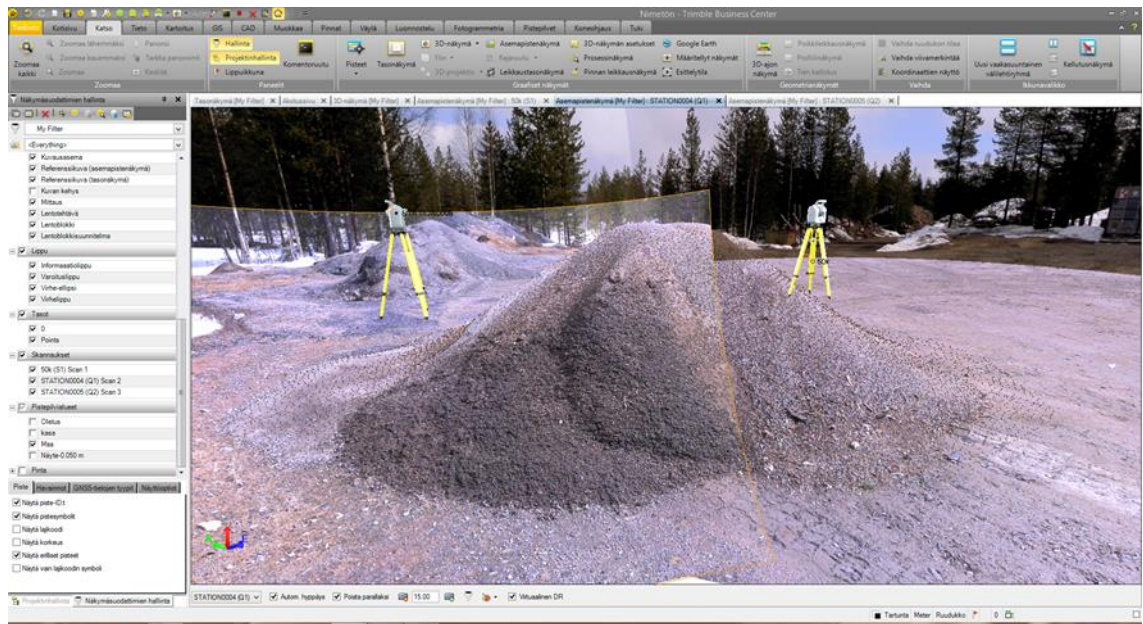


Kuvio 12. SX10 yleis- ja telekameran kuvat

5.5.3 Kasan tilavuusmittaus

Kokeilimme myös skannata pienen kasan kolmesta skannausasemasta. Tarkoituksena oli kokeilla pistepilvi-pistepilvi rekisteröintiä TBC:n laskentatyökalulla. Lisäksi kasalle määritettiin pinta ja suoritettiin tilavuuslaskenta, jonka tulosta verrattiin perinteisen kartoituksen tuloksiin. Pistepilvestä saatu tulos oli 12,3 kuutiota ja kartoituksesta saatu tulos oli 12,9 kuutiota. Kasan skannauksessa kesti kuusi minuuttia ja kartoituksessa kesti kolme minuuttia. Kuvioista 13 näkyy, kuinka TBC:llä on yhdistetty kolmesta skannausasemasta otetut pistepilvet ja kuvat ilman skannausasemien orientoimista. Epäsäännöllisten kohteiden yhdistäminen pistepilvi-pistepilvi menetelmällä ei ole kovin tarkoituksenmukaista ja jälkikäsitelystä olisi säästetty aikaa, jos takymetri olisi orientoitu ennen skannausten suorittamista. Halusimme kuitenkin kokeilla tämän toimenpiteen mahdollisuutta. Skannausten yhdistäminen onnistui hyvin, vaikka kuvioista 13. voi havaita pieniä epä johdonmukaisuuksia esimerkiksi kasan oikeasta ylänurkasta. Tilavuusmittausta varten yhdistäminen on kuitenkin tarpeeksi hyvä. Luotamme pistepilvestä

laskettuun tilavuuteen enemmän, kuin nopeasti tehtyyn perinteiseen kartoitukseen. Jos olisimme skannanneet jonkin säännöllisen kohteen kuten rakennuksen, olisi pistepilvien yhdistäminen käynyt helpommin ja laadukkaammin tuloksin.



Kuvio 13. Kasasta mitatut pistepilvet ja kuvat yhdistettynä TBC:llä

SX10:n skannaustoiminto on arviomme mukaan erittäin hyödyllinen apuväline kuviossa 13. näkyvää kasaa isompien kasojen tai maanotto tilavuuksien määrittämiseen. Korkeiden kasojen yläpinnat on kuitenkin kartoitettava perinteiseen tapaan tai skannausasemia pitää perustaa myös kasan päälle.

6 LASERSKANNAUS SUOMALAISSA YRITYKSISSÄ

6.1 Kysely

Kysely lähetettiin noin kymmenelle maanmittausalan yritykselle, joista kuusi vastasi määräajassa. Yksi vastaajista (vastaaja numero.5) oli jättänyt avoimet kysymykset kokonaan tyhjiksi, mutta hänen vastauksensa ovat silti näkyvissä kuvioiden ja monivalintojen osalta. Kyselyiden lähettämistä pohjustettiin puheluilla, jotta vastausmotivaatiota saataisiin lisättyä. Kyselyn yritykset valittiin vain sillä perusteella, että niissä suoritetaan laserskannauksia. Jotta kyselyyn saataisiin erilaisia näkökulmia laserskannereiden soveltuvuuksista, kyselyyn valittiin yrityksiä, joilla on takymetriskannereita, pulssilaserskannereita, vaihe-erolaserskannereita tai digitaalisia pulssilaserskannereita. Joillain yrityksillä oli kokemusta jopa useampien edellä mainittujen skannerityyppien käytöstä, heidän vastauksensa olivatkin ehkä kaikkein kattavampia. Kyselyyn vastattiin nimettömästi. Kyselyyn saadut alkuperäiset vastaukset ovat liitteenä.

Kyselyn päätarkoituksena oli selvittää millaisella kalustolla suomalaiset maanmittausalan yritykset suorittavat erilaisia skannauksia. Lisäksi kyselyllä pyrittiin selvittämään yritysten mielipiteitä erilaisten laserskannereiden soveltuvuuksista.

6.2 Kyselyn yhteenveto

Ensimmäisen ja toisen kysymyksen tarkoituksena on antaa kyselyn suorittajalle vastaajaan yhdistettävää tietoa heidän kalustonsa osalta, jotta myöhemmin esitettävien avointenkysymysten vastauksia osattaisiin tulkita kunkin yrityksen kokemusten perusteella. Kyselystä on nähtävissä, että vastauksia on saatu erilaisten skannereiden käyttäjiltä, mikä on tärkeää sen kannalta, että skannereiden soveltuvuuksista saataisiin vertailukelpoista tietoa (Liite 1, Kysymys 1).

Yleisesti ottaen oli selvästi huomattavissa, että vastaajien mielipiteet olivat vahvasti painottuneet yritysten toimenkuvan ja kaluston mukaisesti. Vastausten perusteella oli havaittavissa, ettei yrityksillä ole aina kovin hyvää kokonaiskäsitystä muiden alan toimijoiden erilaisista mittaustarpeista. Vastaaja numero 6 osasi vastata kysymyksiin ehkä kaikkein analyyttisimmin (Liite 1, Kysymykset 4, 6 ja 11).

Omalla erityisälällään yritykset ovat mielestämme hyvin kartalla siitä, minkälaisella kalustolla mittauksen voi teknisesti suorittaa. Usein laserskannauksesta vapaamuotoisesti puhuttaessa kuitenkin harhaudutaan vertailemaan takymetriskannausta suoraan laserskannaukseen, vaikka todellisuudessa laitteet on kehitetty eri tarkoituksiin. Yritysten kyky hahmottaa takymetriskannereiden soveltuvuusalue on silti vähintäänkin kohtuullisella tasolla. Kyselyssä ja sen ohessa suoritetuissa puhelinkeskusteluissa ei ilmennyt takymetriskannauksen osalta mitään nykyisen markkinatilanteen kannalta epärealistisia odotuksia (Liite 1, Kysymys 10).

Mielestämme takymetriskannaus voi vastata joidenkin yritysten tai mittaaajien tarpeisiin nykyisin oikein hyvin. Olisi yleishyödyllistä, jos alalla päästäisiin eroon sellaisesta ajattelutavasta, että ”jos minä en sitä tarvitse, niin se on turhaa”. Kyselyn perusteella takymetriskannauksella pyrittiin nopeuttamaan aiemmin takymetrillä suoritettavaa tarkemittausta, paikkaamaan kevyitä ja satunnaisia mittamiehen skannaustarpeita, laajentamaan yrityksen toimenkuvaa siltä osin kuin sen on takymetriskannausten osalta mahdollista tai vähentämään aliurakoinnin tarvetta suunnittelun lähtötietoaineiston tekemisen osalta (Liite 1, Kysymykset 4 ja 7).

Vaihe-erolaserskannausta piti vanhentuneena tekniikkana vain yksi vastaajista. Vastaaja numero 6 ei pitänyt vaihe-erolaserskannausta vanhentuneena tekniikkana, vaan näkee liiketoiminnassaan sille selvästi oman soveltuvuusalueensa, vaikka omistaakin sekä vaihe-erokannereita että erilaisia pulssilasereita (Liite 1, Kysymykset 1 ja 3)

Vaikka emme pidäkään vaihe-erotekniikkaa maanmittausalan konsulttien kannalta vanhentuneena tekniikkana, olemme kuitenkin sitä mieltä, että esimerkiksi RIEGLin tekniset ratkaisut ja saavutukset kuten: integroitu inertialaite, immateriaalinen tähystekniikka, automaattinen pistepilvien rekisteröinti, suoraan maastokoordinaatistoon mittaaminen, kaiun digitaalinen analysointi ja algoritmiin perustuva kaiuntunnistustekniikka ovat selkeästi kaventaneet vaihe-erolaserskannauksen asemaa markkinoilla. (Heinonen 2017a.)

Nykyään useat yritykset Suomessa suorittavat myös ulkotiloissa tapahtuvia laserskannauksia vaihe-eroon perustuvalla kalustolla, mutta mielestämme ennemmin tai myöhemmin digitaalinen pulssilasertekniikka syrjäyttää sen kokonaan ainakin ulkona tehtävien skannausten osalta. *“Aika on ajanut analogisten laserskannaustekniikoiden ohi jo aikaa sitten.”* (Heinonen 2017a.)

Kyselyyn valitut yritykset tunnistavatkin digitaalisen pulssilaserskannauksen edut mielestämme melko huonosti, mikä toisaalta on ymmärrettävää, koska markkinoilla voi ainakin toistaiseksi oman näkemyksemme mukaan saada urakoita myös analogisella kalustolla, vaikka työnkohteena olisikin isojen ulkotilojen skannaus.

Laserskannauksen lopputuotteiden käyttökokemukset ovat olleet Suomessa varsin heikkoja, koska analogisella vaihe-errotekniikalla tuotetut pistepilvet lähinnä näyttävät hyvältä, vaikka todellisuudessa pistepilvien laadussa on isoja puutteita. Tilaajat eivät myöskään aina tiedä mitä tilaavat ja mihin tarkoitukseen. Usein myös tekijät eivät tosiasiaassa tiedä mitä he tuottavat. Edellä mainitut syyt ovat hidastaneet hyvän tekniikan käyttöönottoa Suomessa. (Heinonen 2017b.)

Neljännessä kysymyksessä selvitettiin yritysten näkemystä takymetriskannereiden tarpeellisuudesta. Vastausten luonteet ovat selvästi yritysten toimenkuvan ja kaluston mukaiset. Vain vaihe-eroskannereiden ja digitaalisten pulssilaserskannereiden käyttäjät kokivat takymetriskannerit tarpeettomiksi (Liite 1, Kysymys 4). Vastaaja numero 2 joka ei vastaus hetkellä omistanut mitään skannauskalustoa, oli sitä mieltä, että jo tilatulla takymetriskannerilla voi laajentaa heidän yrityksensä toimintaa pienin tai olemattomin taloudellisin riskein. Vastaaja numero 6, joka omisti laajimman käyttökokemuksen erilaisista skannereista (Liite 1, Kysymys 2.) oli sitä mieltä, että ne ovat tarpeellisia mittaajille, joille tulee satunnaisia skannaustarpeita.

Kuudennessa kysymyksessä vain vaihe-erolaserskannereita tai takymetriskannereita käyttävät vastaajat jättivät luonnollisesti vastaamatta. On huomionarvoinen seikka, että vastaaja numero 6 käyttää digitaalisia pulssilaserskannereita lä-

hinnä ulkotiloissa tapahtuviin keskipitkän – pitkän etäisyyden mittauksiin. Kysymyksessä 5 vastaaja numero 6 puolestaan kertoo käyttävänsä vaihe-erolaserskannereita sisätiloissa tapahtuviin mittauksiin (Liite 1, Kysymys 5 ja 6).

Kaksi vastaajista ilmoitti käyttökohteita takymetriskannereilleen. Haastavimpana mittauskohteena vastaaja numero 2:n ”*rakennusten keilaaminen korjaus- ja laajennussuunnittelua varten*”. Vastaajan numero 6:n vastaus ”*suunnittelun lähtötietoaineisto*” voi toki myös tarkoittaa rakennusten laserskannausta (Liite 1, Kysymys 7)

Vastaaja numero 3 arveli, että hän voisi suoriutua teknisesti joistain työtehtävistään takymetriskannerilla, mutta käytännössä työtä ei voisi tehdä kilpailukykyiseen hintaan, koska aikaa kuluisi enemmän. Vastaaja numero 6 ilmoitti selkeästi, etteivät laserskannerit ole korvattavissa takymetriskannereilla. Väite on nykyisellään totta, mutta se ei tarkoita sitä, etteikö takymetriskannerin skannausominaisuuksilla olisi mitään käytännön arvoa (Liite 1, Kysymys 8).

Vastaajilta kysyttiin, miksi heidän yrityksensä eivät harkitse digitaalisen pulssilaserskannerin hankintaa. Vastaaja numero 1 ilmoitti, että vastausvaihtoihin 1 – 3 ”*ei pidä sortua*”. Vastaaja numero 1 on koko kyselyn ajan ollut johdonmukaisesti sitä mieltä, että digitaalinen pulssilaserskannaus on ylivertaista tekniikkaa. Vastaaja numero 5 ei kertonut perustelua vastaukselleen ”*muu syy*”. Muut vastaajat ilmoittavat, ettei digitaaliselle pulssilaserskannerille olisi heidän yrityksessään tarpeeksi käyttöä. Digitaalisten pulssilaserskannereiden soveltuvuusalue on erittäin laaja, mutta sen hankinnan tarve ei ole vielä ehtinyt täysin realisoitua Suomen markkinoilla. Oman arviomme mukaan yritykset joilla on digitaalinen pulssilaserskanneri suorittavat tulevaisuudessa merkittävän osan kartoitustöistä. On mahdollista, että tulevaisuudessa joidenkin maanmittausalan yritysten on hankittava tehokas laserskanneri tai kavennettava toimialaansa. (Liite 1, Kysymys 9).

Kysymyksessä 10 kysyttiin, että mitä tekijöitä on sellaisilla mittauskohteilla, jotka mielestänne ehdottomasti edellyttävät vaihe-erolaserskannausta, takymetriskannauksen sijaan? Vastaaja numero 1 painottaa edelleen digitaalisten pulssilasers-

kannereiden ylivoimaisuutta. Vastaaaja numero 2 siirtyisi vaihe-erolaserskannauksen kannalle laadun ja tarkkuusvaatimusten kasvaessa. Vastajat 3 ja 6 arvelevat kohteen koon olevan ratkaisevassa osassa (Liite 1, Kysymys 10).

Kysymyksessä 11 kysyttiin, että mitä tekijöitä on sellaisilla mittauskohteilla, jotka mielestänne ehdottomasti edellyttävät digitaalisen pulssilaserskannerin käyttöä vaihe-erolaserskannerin sijaan? Vastaaaja numero 1 on sitä mieltä, että vaihe-erolaserskannerilla saa lähinnä ”kivoja kuvia”. Vastaaaja numero 6 kertoo, että kohteet joissa on pitkiä etäisyyksiä eivät sovi vaihe-erolaserskannauksen kohteeksi. Se pitääkin yleensä paikkansa, sillä vaihe-erolaserskannaus ei ole aina yhtä tarkka pitkillä etäisyyksillä (Liite 1, Kysymys 11).

6.3 Laserskannerin valinta

Sopivan laserskannerin valinta ei ole helppo tehtävä, erityisesti jos on asialla ensimmäistä kertaa. Huomioon otettavien seikkojen lista on pitkä ja kaikilla laserskannereilla on oma soveltuvuusalueensa. Ensiksi olisi hyvä määritellä omat laserskannausstarpeensa mahdollisimman tarkasti. Seuraavaksi yksinkertaistettu mutta havainnollistava muistilista, tukemaan omien tarpeiden määrittelyä:

- Skannattavien kohteiden ominaisuudet
- Mittausetäisyydet
- Työympäristön haasteet
- Mobiiliskannauksen mahdollisuus
- Kuvien ja pistepilven yhdistäminen
- Mittausnopeus
- Koko skannausprosessiin kuluva aika
- Pistepilven tiheys
- Tarkkuusvaatimukset
- Tähysten käyttö
- Asemapisteidien määrät
- Halutut lopputuotteet

- Mittavirheiden luonteet
- Jälkikäsitteily
- Käytettävät ohjelmistot ja niiden ominaisuudet
- Tiedostomuodot
- Mahdollisten kilpailijoiden kalusto
- Säänkestävyys
- Takuu
- Huolto
- Kalibrointi
- Koulutus
- Hinta (Heiska 2009.)

Joskus omien mittaustarpeiden ennakointi on haasteellista. Tällöinkin on kuitenkin mahdollista lähestyä asiaa poissulkevassa järjestyksessä. Esimerkiksi: "Aina-kaan minun ei tarvitse skannata teollisuuskomplekseja alle sentin tarkkuuksilla" tai "Yli 50 metrin etäisyyksiä minun ei tarvitse skannata." Kun omat skannaustarpeet on selvitetty voi laitteiden tietoihin ja esittelyihin lähteä tutustumaan. Tässä vaiheessa on hyvä kärsivällisesti selvittää, mitä laitteiden teknisten tietojen taulukoissa ilmoitetut arvot tarkoittavat ja miten ne vaikuttavat skannauksen lopputulokseen ja työntekoon. Teknisiä tietoja voi vertailla monella tapaa, haimme neljän eri laitteen tietoja vertailtavaksi (Taulukko 1).

Taulukko 1. Esimerkki teknisten tietojen vertailusta (Zoller+Fröhlich 2017; Geotrim 2017; Leica 2017; RIEGL 2017)

Skanneri	Trimble SX-10 takymetriskanneri	Z+F Imager 5006i	Leica P40	RIEGL VZ-400i
Etäisyydenmäärittäminen	Pulssilaser +(Trimble lightning 3DM technology)	Vaihe-ero	Pulssilaser +(waveform digitising technology)	Digitaalinen pulssilaser, reaaliaikainen kaiun digitointi ja tulkinta, monipistemittaus
Kantama (%heijastava kohde)	350m (18%)	Max 79m	180m (18%)	120-400m (20%)
Maksimitoistotaajuus	26 600p/s	508 000p/s	1.000 000p/s	1 200 000p/s
Kulmatarkkuus arcsec	Norm. 1” Skann. 5”	0,42”	8”	1,8”-2,5 ”
Lasersäteiden laajentuminen	-	0,22 mrad	0,23 mrad	0,35 mrad
3D-tarkkuus	2,5mm @100m	-	6mm @100m	5mm+1mm/100m

*Tietojen paikkansa pitävyyttä ei taata. Pistepilven laatu riippuu myös käytetyistä asetuksista. Tiedot ovat valmistajien taulukoiden mukaisia. Arvot on saavutettu testiolosuhteissa ja tiedot eivät ole samojen standardien mukaisia.

Aihepiiriin syventyminen ei myöskään ole haitaksi. Kun alkaa tuntua siltä, että on perehtynyt aiheeseen tarpeeksi, on aika ottaa myyntimiehiin yhteyttä. Myyjille kannattaa selvittää mahdollisimman tarkasti minkälaisia töitä kalustolla aiotaan suorittaa ja mitä valmiilta aineistolta odotetaan. (Heiska 2009.)

Pistepilvien käsittely vie huomattavan paljon aikaa ja kaikilla ohjelmistoilla ei voi avata kaikkia tiedostomuotoja, eikä välttämättä tehdä haluttuja lopputuotteita. Käsittelyohjelman valinta on myös otettava huomioon laitehankintojen yhteydessä.

Lopuksi todettakoon, että kojeiden ja ohjelmistojen koekäyttö oikeassa ympäristössä on lopulta paras tapa varmistua tuotteiden sopivuudesta toimenkuvaan. (Heiska 2009.)

Takymetriskannereiden valintaperusteet ovat jokseenkin erilaiset laserskannereihin verrattuna. Toimintaperiaatteiden erot eri takymetriskannereiden välillä eivät yleensä ole kuitenkaan niin suuria, kuin eri laserskannereiden välillä. Toisaalta takymetriskannerin tuoman lisäarvon arviointi verrattuna tavallisen takymetriin ei ole aina helppo tehtävä. Yleensä takymetriskannereilla pyritään nopeuttamaan joidenkin tiettyjen kartoitusmittausten suorittamista, kuten tunneleiden profiilit, kasojen tilavuudet tai helpot pintamallit. Takymetriskannereilla voi kuitenkin kerätä myös pistepilviaineistoa suunnittelun tueksi hiukan haastavimpiinkin projekteihin. Ei voida kuitenkaan antaa mitään valmiita vastauksia siitä, että millaisia töitä takymetriskannereilla voidaan suorittaa, koska aineiston käyttötarkoitus, minimivaatimukset ja työhön käytettävissä oleva aika ovat eri töiden välillä erilaiset.

6.4 Tulevaisuuden visio

Laserskannaus ja laserskannereiden tekniikka kehittyvät koko ajan. Laserskannereiden valmistajat ovat kehittäneet kojeiden nopeutta ja tarkkuutta. Valmistajat ovat muun muassa jo kehittäneet erilaisia etäisyydenmittausmenetelmiä, joissa yhdistetään aikaero- ja vaihe-erotekniikoita.

Uusi ja parempi tekniikka mahdollistaa laserskannereiden tehokkaamman soveltamisen eri mittauksiin. Tulevaisuudessa nähdään varmasti myös enemmän yhdistelmälaitteita, joissa on yhdistetty takymetrin ja laserskannerin ominaisuuksia. Voi olla jopa mahdollista, että tulevaisuudessa maanmittausalan yritysten peruskalustoon kuuluu laserskanneri, jolla voi tehdä myös takymetreille tyypilliset merkintämittaukset.

“Laserskanneriin voidaan lisätä takymetrin ominaisuudet, silloin voidaan saavuttaa edes jonkinlainen mittausnopeus, mutta jos takymetristä lähdetään tekemään laserskanneria, niin siinä tiessä ei ole mitään otettavaa.” (Heinonen 2017a.)

Suomessa laserskannauksen hyödyntäminen on muuhun Eurooppaan verrattuna jonkin verran jäljessä. Kokemukset laserskannauksesta niin tuottajien kuin asiakkaiden puolella ovat osin puutteellisia. Erilaisten kojeiden ja tekniikoiden hyödyntäminen kuitenkin kasvaa tulevaisuudessa. Laserskannaus maanmittausalan työkaluna ottaa niin sanotusti ”tuulta purjeisiin”, vasta kun tilaajat havahtuvat laserskannauksen lukemattomiin hyötyihin ja mahdollisuuksiin lähes kaikilla tekniikan aloilla. Maanmittausalan asiantuntijoiden tehtävänä on pysyä kehityksessä mukana ja tuoda laserskannauksen etuja asiakkaiden tietoisuuteen. On tärkeää, että myös maanmittausopiskelijoiden koulutus laserskannaukseen liittyen olisi tarpeeksi kattavaa, jotta tulevaisuuden ammattilaisilla olisi laajempi ja tukevampi perustieto laserskannauksesta tekniikkana. (Heinonen 2017a.)

Yksi laserskannauksen tärkeimmistä osa-alueista on pistepilvien käsittely ja hyödyntäminen. Tulevaisuudessa saatetaan myöskin siirtyä osittain pois pistepilvien pohjalta mallintamisesta. Hyvä laatuisen pistepilven pohjalta mallintaminen voi joskus jopa huonontaa mittojen tarkkuutta tai olla kokonaan turha välivaihe tiedoston hyödyntämisessä. Mallintamista tehdään nykyisellään lähinnä, koska asiakkailla ei ole pistepilvien käsittelyssä vaadittavia ohjelmistoja. Tulevaisuudessa nähdään todennäköisesti myös erittäin tehokkaita ja pitkälle automatisoituja pistepilvien käsittelyohjelmistoja. Myöskin jatkuva tietotekniikan kehitys mahdollistaa todennäköisesti massiivisten pistepilvien käsittelyn lähes vaivatta. Yhdessä yleistyvän ja kustannustehokkaan mobiililaserskannauksen kanssa nopea tietojen käsittely mahdollistaa niin sanottujen ennakoivien ja laajojen skannausten suorittamisen. Kaupunkien ja isojen maa-alojen kolmiulotteiset ympäristöt voivat olla tulevaisuudessa yhä useampien tahojen ulottuvilla. (Pekkala 2015, 39; Jones 2012.)

7 POHDINTA

Takymetriskannereiden suurin puute on huono mittaussnopeus. Tiheän pistepilven mittaaminen takymetriskannerilla vie useita tunteja ja laserskannerilla sama skannaus voidaan suorittaa jopa alle minuutissa. Sellaisissa skannauskohteissa, joissa pistepilveltä vaadittu pistetiheys ei ole suuri tai aikaa on käytettävissä runsaasti, voi takymetriskannerista kuitenkin olla merkittävää hyötyä. Takymetriskannereiden ja laserskannereiden välinen soveltuvuusraja ei ole täysin yksiselitteinen asia, koska pistepilven käyttötarkoitus ja suoritettavien töiden kilpailulliset asetelmat vaikuttavat käytettävän laitteiston minimivaatimuksiin. Voidaan kuitenkin nimetä useita takymetriskannauksen poissulkevia tekijöitä, kuten jatkuva ja laaja skannaustarve, aineiston korkeat pistetiheysvaatimukset, tiukat ajankäytölliset rajoitteet maastossa, mobiiliskannauksen tarve, monipistemittauksen tarve tai tiukat tarkkuusvaatimukset.

Jos aineiston käyttötarkoitus ei ole luonteeltaan vaativaa ja skannausten suorittamiselle ei ole jatkuvaa tarvetta, voi takymetriskannerin hankinta tulla kysymykseen. Hankinnan kannattavuutta edistää huomattavasti, jos skannausmahdollisuuden lisäksi tarvitaan joka tapauksessa uusi takymetri. Toivomme, että tämä opinnäytetyö auttaa vastaavissa tilanteessa olevia yrityksiä arvioimaan, voiko heidän skannaustarpeensa täytyä nykyisten tai tulevien takymetriskannereiden ominaisuuksilla.

LÄHTEET

Cronvall, T., Kråknäs, P. & Turkka, T. 2012 Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Helsinki: Liikennevirasto.

Geotrim Oy. 2017. Uutuudet, Ensimmäinen aidosti hybridi ratkaisu: Trimble SX10 keilaintakymetri. Esite 3/2017.

Heinonen, H. 2017a. Nordic Geo Center Oy. Perustajan haastattelu. 30.3.2017.

Heinonen, H. 2017b. Etäisyyden mittausmenetelmät. Sähköposti hannu.ylipaavalniemi@gmail.com 1.4.2017. Tulostettu 2.4.2017.

Heiska, N. 2009. Universaaliskanneria etsimässä eli miten valita maalaserkeilain? Maankäyttö 1/2009, 31 – 35.

Higgins, S. 2004a. Laser Scanning: How Does It Work, Anyway? SPAR 3D 15.6.2004.

Higgins, S. 2004b. Time-of-Flight vs. Phase-Based Laser Scanners: Right Tool for the Job. SPAR 3D 22.6.2004.

Jackson G. & Lepere G. 2016. Inside Trimble TX6 and TX8 - Deep into Lightning Technology. White Paper. Westminster, USA: Trimble.

Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Espoo: Leica Nilomark Oy.

Jones, T. 2012. The Future of Laser Scanning: 5 predictions for design and construction. Viitattu 6.5.2017. <http://www.landairsurveying.com/blog/the-future-of-laser-scanning-5-predictions-for-design-and-construction/>

Karppinen, T. 2017. Laserskannaus käytännössä. Lapin Ammattikorkeakoulun lehtori. Keskustelu. 4.4.2017.

Keinänen, T. & Järvinen, M. 2014. Mittaustekniikka. 1. painos. Helsinki. Sanoma Pro Oy.

Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Fotogrammetrian erikoistyö. Finnish Geospatial Research Institute.

Leica. 2017. Leica ScanStation P30/P40. Datasheet 2017.

Lindstaedt, M., Kersten, T., Mechelke, K. & Graeger, T. 2012. Prüfverfahren für terrestrische Laserscanner – Gemeinsame geometrische Genauigkeitsuntersuchungen verschiedener Laserscanner an der HCU Hamburg. HafenCity Universität Hamburg.

Maar, H. & Zogg, H. 2014 WFD - Wave Form Digitizer Technology. White Paper. Heerbrugg, Switzerland: Leica Geosystems.

Pekkala, J. 2015. 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmistaminen. Helsinki: Liikennevirasto

RIEGL. 2017. Technical data RIEGL VZ-400i. Datasheet 24.4.2017.

Seppälä, E. 2017. TähtiRanta Oy. Mittauspalvelu yksikön johtaja. Whatsapp keskustelut 2017 keväällä.

Simonen, J. 2017. Geotrim Oy. Myynti-insinööri. Keskustelu 10.5.2017.

Van Genechten, B. 2008 Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning. The theoretical part. Tutorial: Flemish Agency of the European Leonardo Da Vinci programme.

Zoller+Fröhlich. 2009. Technical data Z+F imager 5006i. Teknisten tietojen esite.

Zoller+Fröhlich. 2017. Technical data Z+F imager 5010c. Teknisten tietojen esite.

LIITTEET

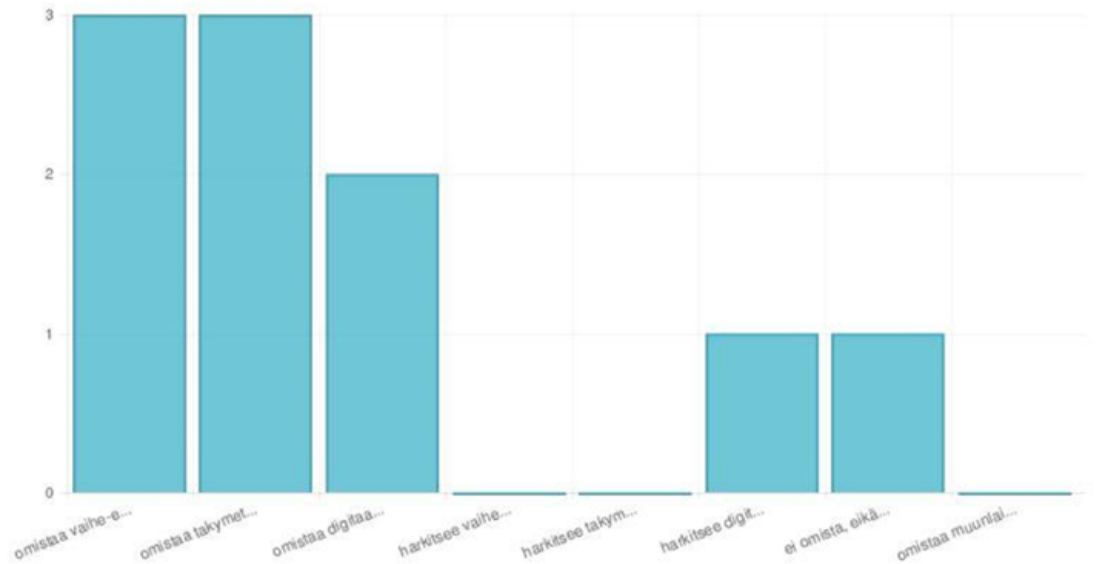
Liite 1. Kysely

Liite 1.

1. Nykyisen tai tulevan laserskannauskaluston toimintaperiaatteet.

Yrityksenne/organisaationne (voit valita useampia vastauksia)

	omistaa vaihe-eroon perustuvan laserkeilaimen	omistaa takymetrikeilaimen	omistaa digitaalisen pulssilaserkeilaimen (esim. Riegl vz-400)	harkitsee vaihe-eroon perustuvan laserkeilaimen hankintaa	harkitsee takymetrikeilaimen hankintaa	harkitsee digitaalisen pulssilaserkeilaimen hankintaa (esim. Riegl vz-400)	ei omista, eikä aloittelevaisuudessa hankkakaan minkäänlaista keilainta.	omistaa muuntalaisen keilaimen	Responses
All Data	3 (50%)	3 (50%)	2 (33%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (17%)	1 (17%)	0 (0%)	6



2. Mittauskäytössä olevan skannauskaluston valmistajat, mallit ja toimintaperiaatteet?

1.Riegl VZ400, staattinen skannaus, Riegl VUX-SYS, Mobiili- ja UAV-skannaus
2.Trimble SX10 keilaintakymetri tilauksessa
3. Faro S 150, vaihe-eromaalaserkeilain
4. Faro Focus 3d S 120 vaihe-ero keilain.
5. -
6. Z+F Imager 5006 vaihe-ero, Z+F Imager 5010X vaihe-ero, Z+F Imager 5016 vaihe-ero, Faro Focus3D vaihe-ero, Leica C10 pulssi, Riegl VZ-400 pulssi, Renishaw Cals pulssi, Renishaw Voidscanner pulssi, I-Site pulssi

3. Onko vaihe-eroon perustuva laserskannaus mielestänne vanhentunutta tekniikkaa?

Onko vaihe-eroon perustuva laserkeilaus mielestänne vanhentunutta tekniikkaa?

	● KYLLÄ	● EI	Standard Deviation	Responses
All Data	1 (17%)	5 (83%)	2	6



4. Ovatko takymetriskannerit mielestänne tarpeellisia?

1. Ei varsinaisesti tuo lisäarvoa. Omaamme ei ole koskaan moisissa hommissa käytetty, vaan päädyimme hankkimaan kunnon laitteen. Turhake

2. Ovat, tämän hetkiset takymetriskannerit antavat hyvät lähtökohdat toiminnan laajentamiselle. Toimintaa voidaan laajentaa skannauksiin ja mallintamiseen ilman taloudellista riskiä toiminnan kannattavuudesta, koska laitteita voidaan myös hyödyntää päivittäisiin mittauksiin silloin kun skannauksia ei ole tilauskannassa.

3. Eivät ole, nykyiset laitteet ovat liian hitaita verrattuina maalaserkeilaimiin.

4. -

5. -

6. Tarpeellisia mittaajille, joille tulee satunnaisia skannaustarpeita.

5. Millaisia kohteita skannaatte tai suunnittelette skannaavanne vaihe-eroon perustuvalla laserskannerilla?

1. Emme mitään. Ei uskalla
2. -
<p>3. Rakennukset sisältä ja ulkoa (max 70 m, saneeraus- ja rakennesuunnitteluun, kojeasemia 10-600 kohteesta riippuen, tiheys yleensä 5 mm, tarkkuus 5-20 mm kohteesta riippuen. Teollisuuskannaukset (max 35 m, rakennesuunnitteluun ja tuotantolinjojen suunnitteluun, kojeasemia 10-200 kohteesta riippuen, tiheys yleensä 5 mm, tarkkuus 5-10 mm kohteesta riippuen).</p> <p>Infrakohteet (risteysalueet, sillat jne, max 150 m, rakenne- ja infrasuunnitteluun, kojeasemia 10-100 kohteesta riippuen, tiheys 5-20 mm kohteesta riippuen, tarkkuus 5-50 mm kohteesta. Muut erityiskohteet (seurantamittaukset, as built-mittaukset, näissä speksit vaihtelevat suuresti)</p>
4. Mittausetäisyydet n. 0,6-60m. Lähinnä teollisuuden uusintaprojektien lähtötiedoiksi. Asemien määrä voi olla 1-200kpl. Pistepilven tiheys yleensä muutama mm. Tarkkuusvaatimus yleensä muutama mm.
5. -
6. Teollisuus, kiinteistöt, kalliorakentaminen. Tarkkuusvaatimukset 1-20mm. Suunnittelu, as-build, toteutuma, 3D mallit, Bim. Kojeasemat 1-500 kohteesta riippuen.

6. Millaisia kohteita skannaatte tai suunnittelette skannaavanne digitaalisella pulssilaserskannerilla?

1. UAV-skannauksella siltoja, maastomalleja, pohjakartan täydennysmittauksia 600-1000 pistettä neliömetrillä 100m lentokorkeudella. Mahdollisuus tihentää yllilentojen määrää kasvattamalla. Em.tyypillisesti yhdellä lennolla. Tarkkuus työtavasta ja tarpeesta riippuen +-10-25mm.

Mobiiliskannaus esimerkiksi kaupunkialueet ja pitkät tiealueet. Maastomallit ja rakennusten inventoinnit... Tiheys riippuu ajokerroista ja nopeudesta, mutta tyypillisesti liikenteen mukana ajettaessa kaupunkiolosuhteissa 17000 pistettä neliöllä ja esimerkiksi maantiellä 3500-4000 pistettä neliöllä. Tarkkuudessa päästään helposti sentin ja alle tarkkuuksiin.

Staatinen skannaus esimerkiksi siltoihin rakennuksen julkisivuihin ja ennen kaikkea sisätiloihin. Pistetiheyttä voidaan pyörimisnopeutta säätämällä saada kuinka tiheäksi tahansa. Pistetiheys määritellään tarpeen ja kohteen mukaan. Etäisyydet tyypillisesti 1-50m. Tarkkuudet milleissä, hieman etäisyydestä riippuen.

2.-

3.-

4.-

5.-

6. Kalliorakentaminen, kaivokset, maastomallit, julkisivut, sillat

7. Millaisia kohteita skannaatte tai suunnittelette skannaavanne takymetriskannerilla?

1. Emme mitään
2. Vanhojen olemassa olevien rakennusten keilaaminen korjaus- ja laajennussuunnittelua varten, sekä pohjakuvien laatimiseen kohteista joista niitä ei ole. Infrarakentamisessa kalliot yms. massalaskentoja varten. yms käyttötarkoitukset todennäköisesti lisääntyvät mitä enemmän laitteen olemassaoloa yrityksessä saadaan markkinoitua tilaajille.
3. -
4. -
5. -
6. Kallio- ja tunnelirakentamisen toteutumamittaukset, toteutumamittauksia työmailla, suunnittelun lähtötietoaineistot

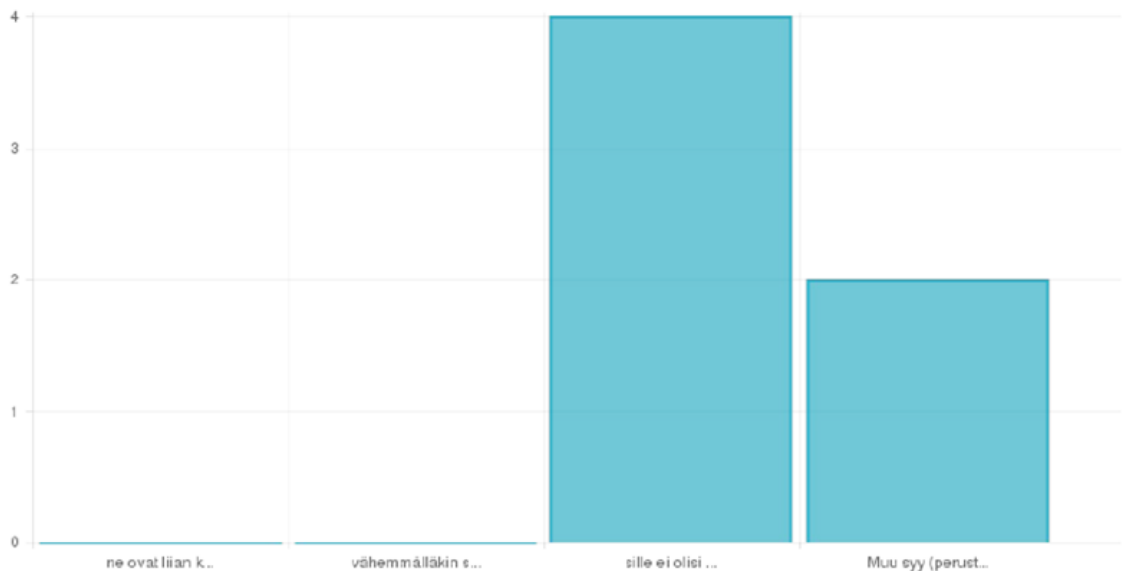
8. Takymetriskannerit ovat jatkaneet kehitystään, ja edistyneimmillä malleilla voi tuottaa jo melko tiheää pistepilveä. Voisitteko suoriutua nykyisestä skannaus tarpeestanne kehittyneellä takymetriskannerilla?

1. Ei. Takymetri on takymetri ja skanneri on skanneri. Laaduissa hirveät erot.
2. Oletettavasti kyllä
3. Teknisesti ehkä voisimme, mutta ajallisesti jäisimme pahasti jalkoihin, eli emme harkitse takymetriskannereiden käyttöä.
4. -
5. -
6. Keilaimet eivät ole korvattavissa takymetrikeilaimilla. Ne ovat liian hitaita ja pistetiheys on riittämätön. Lisäksi ne eivät sovellu mobiilikeilaukseen.

9. Miksi yrityksenne ei harkitse digitaalisen pulssilaserskannerin hankintaa?

Miksi yrityksenne ei harkitse digitaalisen pulssilaserkeilaimen hankintaa?

	ne ovat liian kalliita	vähemmälläkin selviää	sille ei olisi tarpeeksi käyttöä	Muu syy (perustelu)	Responses
All Data	0 (0%)	0 (0%)	4 (67%)	2 (33%)	6



10. Mitä tekijöitä on sellaisilla mittauskohteilla, jotka mielestänne ehdottomasti edellyttävät vaihe-erolaserskannausta, takymetriskannauksen sijaan?

1. Käytämme ehdottomasti pulssilaserskanneria kummankin vaihtoehdon sijaan, jos kohteelle on asetettu minkäänlaisia tarkkuusvaatimuksia, eikä asiakkaalle riitä pelkästään, että se näyttää hyvältä.
2. Silloin kun mittaustulosten laatu / tarkkuusvaatimus on liian kova takymetriskannerille.
3. Mikä tahansa suurempi kohde, missä dokumentoitavaa on enemmän kuin kahden asemapisteen verran.
4. -
5. -
6. Isot kohteet, joissa paljon erillisiä tiloja ja yksityiskohtia, vaatii nopean keilaimen.

11. Mitä tekijöitä on sellaisilla mittauskohteilla, jotka mielestänne ehdottomasti edellyttävät digitaalisen pulssilaserskannerin käyttöä, vaihe-erolaserskannerin sijaan?

1. Jos halutaan tarkkuutta kivojen kuvien sijaan.
2. -
3. En osaa sanoa
4. -
5. -
6. Jos kohde joudutaan skannaamaan jostain syystä kauempaa, kuten vesistösilat.