

OPINNÄYTETYÖ
Niko Pikkupirtti
2013

**MAALASERKEILAIMEN KÄYTTÖ MAA-AINES-
ALUEILLA SUORITETTAVISSA
MITTAUKSISSA**



Rovaniemen
ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences
LUC

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIIKAN ALA

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

**MAALASERKEILAIMEN KÄYTTÖ MAA-
AINESALUEILLA SUORITETTAVISSA
MITTAUKSISSA**

Niko Pikkupirtti

2013

Toimeksiantaja: Morenia Oy

Ohjaaja: Pasi Laurila

Hyväksytty _____

Tekijä	Niko Pikkupirtti	Vuosi	2013
Toimeksiantaja	Morenia Oy		
Työn nimi	Maalaserkeilaimen käyttö maa-ainesalueilla suoritettavissa mittauksissa		
Sivu- ja liitemäärä	43 + 4		

Laserkeilauksella tarkoitetaan mittaustapaa, jossa tuotetaan lyhyessä ajassa kolmiulotteista tietoa ympäristöstä tai muista mittaushetkistä laserpulssien avulla. Laserkeilaamalla voidaan luoda pistepilviä, jossa jokaiselle pisteelle saadaan omat x-, y- ja z-koordinaatit. Erilaisia mittaushetkimistöjä hyödyntäen pistepilvestä saadaan luotua kolmiulotteisia malleja, joita voidaan hyödyntää alueiden suunnittelussa tai tarkastusmittauksissa.

Laserkeilaustekniikan yleistyessä monilla maanmittauksen- ja teollisuuden alalla päätin tutkia opinnäytetyössä maalaserkeilaimen käyttöä myös maa-ainesalueiden mittaamisen osalta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää maalaserkeilauksen käytön mahdollisuuksia maa-ainesalueiden erilaisissa mittaustoimenpiteissä. Maalaserkeilaimen käyttöä testattiin kesän 2012 aikana, muiden maa-ainesalueilla tehtävien mittauksien ohessa. Maalaserkeilainta käytettiin muun muassa massalaskennassa ja alueen kartoitusten tekemisessä.

Tutkimuksen lähtökohtana oli selvittää maalaserkeilaimen käytön mahdollisuuksia maa-ainesalueella suoritettavissa mittauksissa. Maalaserkeilaimen käytettävyyttä verrattiin tarkkuus-GPS:llä ja takymetrillä suoritettaviin mittauksiin. Vertailua tehtiin muun muassa tarkkuuden ja käytön turvallisuuden osalta. Perustietojen hankintaan laserkeilauksesta on käytetty Internetiä ja kirjallisuuslähteitä.

Avainsanat: Maa-ainesalue, massalaskenta, maalaserkeilaus

Author	Niko Pikkupirtti	Year	2013
Commissioned by	Morenia Oy		
Subject of thesis	Terrestrial laser scanner use in soil extraction area measurements		
Number of pages	43 + 4		

Laser scanning is a method of measurement, in which short time three-dimensional information is produced from the environment, or from the other targets of measurement with the help of laser pulses.

Point clouds can be produced in laser scanning so that each point in the point cloud has x, y and z-coordinates. By using different kinds of data handling software, the three-dimensional models can be made of the point clouds. These models can be used in areal planning or in controlling the measurements.

Laser scanning technology will become more familiar in land surveying and in different fields of industry. That's why the usage of laser scanning in different kinds of measurements in soil extraction areas was decided to be inspected.

The Purpose of this thesis as to clarify the different kinds of opportunities of laser scanning in soil extraction areas. Terrestrial laser scanner was tested during the summer of 2012 together with other measurements done in the soil extraction areas. A laser scanner was used, among other things, in the determination of the quantities and mapping of the surrounding area.

The main purpose of this Bachelor's thesis was to clarify the opportunities of using laser scanning in soil extraction area measurements. The laser scanner usability was compared to the GNSS measurements and total station measurements. The Comparison was made, among other things, about the accuracy and the safe use of the equipment in the searching of the general information about laser scanning and the laser scanners was used the Internet and literature sources.

Key words: terrestrial laser scanning, soil extraction area, determination of quantities

1 JOHDANTO.....	1
1.1 TUTKIMUKSEN TAUSTAT JA TAVOITTEET	1
1.2 MORENIA OY.....	2
1.3 TUTKIMUSMENETELMÄT	3
2 LASERKEILAU.....	4
2.1 TOIMINTAPERIAATE	4
2.2 LASERKEILAIMIEN LUOKITTELU	5
2.3 LASERKEILAIMIEN ERILAISIA TOIMINTAPERIAATTEITA	6
2.4 PULSSILASER	6
2.5 VAIHE-EROLASER	7
2.6 OPTISEN KOLMIOMITTAUKSEEN PERUSTUVA LASER	8
3 MAALASERKEILAIN	9
3.1 LAITTEISTO	9
3.2 STAATTINEN MITTAUS	9
3.3 MOBIILIMITTAUS	10
3.4 MAALASERKEILAIMEN MITTAUSTAVAT	11
4 MAA-AINESALUE.....	13
4.1 MAA-AINESLUPA.....	13
4.2 MAA-AINESALUE LAINSÄÄDÄNÖLLISESTI	14
4.3 MAA-AINESALUEEN OTTAMISSUUNNITELMAN LAADINTA.....	15
4.4 MAA-AINESALUEELLA TEHTÄVÄT MAASTOMITTAUKSET	18
5 MAALASERKEILAIMELLA SUORITETTAVAT MITTAUKSET	20
5.1 MAALASERKEILAIMELLA MITTAAMINEN	20
5.2 MITTAUKSEN SUUNNITTELU.....	20
6 MAA-AINESALUEEN KARTOITUKSEN TEKEMINEN	23
6.1 MAALASERKEILAIMEN KÄYTTÖKOHEET	23
6.2 MITTAUSDATAN KÄSITTELYYN KÄYTETYT OHJELMISTOT	25
6.3 3D-WIN-OHJELMISTO.....	25
6.4 ZOLLER+FRÖLICH LASERCONTROL-OHJELMISTO.....	26
6.5 REALWORKSURVEY-OHJELMISTO	28
7 MAA-AINESKASAN MASSALASKENTA.....	31
7.1 MASSALASKENTA	31
7.2 TAPAUSESIMERKKI MASSALASKENNASTA	32
7.3 MASSALASKENTA TULOKSIEN VERTAILU	34
7.4 MAA-AINESKASAN TILAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN MORENIA OY:SSÄ	36
8 MAALASERKEILAIMEN KÄYTTÖ ERI MITTAUSTOIMENPITEISSÄ.....	37
8.1 MAALASERKEILAIMEN AVULLA TOTEUTETTU NYKYTILANNEKARTOITUS	37
8.2 MAA-AINESALUEEN LUVITUKSEN TEKEMINEN	37
9 YHTEENVETO	39
10 LOPPUPÄÄTELMÄT	41
LÄHTEET.....	44
LIITEET:	46
LIITE 1: REKISTERÖINTITARKKUUDEN EROAVAIUUDET TAKYMETRILLÄ JA TARKKUUS-GPS:LLÄ MITATTUNA.....	46
LIITE 2: MASSALASKENTA TRIMBLE BUSINESSCENTER	47
LIITE 3: MASSALASKENTA 3D-WIN	48
LIITE 4: KORKEUSPROFIILI-MALLI	49

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustat ja tavoitteet

Päädyin tekemään opinnäytetyötä omien harjoittelukokemuksien ja Rovaniemen ammattikorkeakoulussa suoritettujen projektiopintojen jälkeen. Projektiopintojen toisessa vaiheessa tutustuimme projektiryhmien kanssa laserkeilaimen käyttöön lumirakenteiden mittaamisessa ja huomasimme, että laserkeilaimella on monia mahdollisia käyttötarkoituksia, mihin laserkeilausta ei ole vielä hyödynnetty syystä tai toisesta.

Maa-ainesalueiden mittaamisen tutkimiseen päädyin omien harjoittelukokemuksien perusteella, jotka suoritin Morenia Oy:ssä vuosina 2011 ja 2012. Maa-ainesalueiden mittauksien maastotyöt ja laserkeilainlaitteiston kokeileminen suoritettiin muiden maa-ainesalueilla tehtävien toimenpiteiden ohessa vuoden 2012 kesän aikana Rovaniemen ammattikorkeakoulusta lainatun Z&F-laserkeilauslaitteiston avulla.

Suoritin toisen ja kolmannen vuoden harjoittelun Metsähallituksen palkollisena Morenia Oy:ssä, jolloin pohdin laserkeilaimen käyttömahdollisuuksia murskealueiden mittaamisessa ja kartoittamisessa. Omien kokemusten ja olettamusten mukaan laserkeilaus voisi säästää jonkin verran aikaa maa-ainesalueiden kartoituksessa ja olla hyödyksi myös maa-ainesvarantojen massalaskennassa. Lisäksi laserkeilaimella on mahdollista saada mittausdataa sellaisilta alueilta, mistä kartoitussauvalla tai tarkkuus-GPS:llä ei voida välttämättä mitata turvallisesti. Tämän lisäksi luvitettujen maa-ainesalueiden jäljellä olevien massojen laskenta olisi luultavasti myös helpompaa.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millaisia mittaustoimenpiteitä laserkeilaimella olisi mahdollista suorittaa maa-ainesalueilla. Opinnäytetyössä käydään läpi erilaisia mittaustoimenpiteitä, joita Morenia Oy suorittaa hallinnoimiltaan maa-ainesalueilla ja suoritetaan mittaukset laserkeilainlaitteiston avulla sekä tavanomaisilla mittausmenetelmillä eli takymetrillä ja/tai tarkkuus-GPS:llä. Tavoitteena on selvittää mahdollisimman kattavasti, millaista ajallista

ja rahallista säästöä laitteistolla olisi mahdollista saavuttaa. Lisäksi opinnäytetyössä perehdytään mittausprosessin suorittamiseen mittauksen suunnittelusta aina pistepilven loppueditointiin asti tapausesimerkin avulla. Ajallista säästöä mitataan kokemusperäisellä tutkimuksella, joka suoritetaan samanlaisten kohteiden mittaamisella erilaisten mittausmenetelmien avulla. Rahallista säästöä mitataan laitteista koituvien ylläpito- ja vuokrakustannuksien selvittämisen avulla. Morenia Oy:lle toimitetaan opinnäytetyön ohessa tehtävä kustannuslaskelma esimerkkinä erilaisten mittauslaitteistojen hankinta- ja/tai vuokrakustannuksista. Lisäksi selvitetään ohjelmistokustannusten ja käyttökustannusten osuutta eri laitteistoiden osalta esimerkkitapauksena laitteistovälittäjän osalta.

1.2 Morenia OY

Opinnäytetyön tilaajana toimii Morenia Oy, joka on keskittynyt jalostetun maa-aineksien, kuten hiekan, soran ja murskeen tuotantoon sekä maa-ainestoimituksiin kuuluvien töiden ja tuotteiden tekoon (Morenia Oy, 2012). Morenia Oy on Metsähallituksen tytäryhtiö, jonka historia alkaa vuodesta 1995, jolloin se oli tulosvastuullinen yksikkö Metsähallituksen kiinteistöpalveluissa. Vuonna 1998 maa-aineksien tuottamiseen ja toimittamiseen keskittynyt liiketoiminta sijoitettiin Laatumaan tulosalueeseen. Vuonna 2003 Morenia Oy:lle perustettiin oma tulosalue, jonka tehtävänä oli keskittyä maa-ainesten ja maa-ainestoimintaan liittyvien palveluiden toteuttamiseen ja tarjontaan. (Nurmela 2006, 3.) Nykyään Morenia Oy:ssä työskentelee yhteensä noin 25 henkilöä, jotka ovat sijoittuneet kiviainesalan asiantuntijoiksi myyntiin, markkinointiin, tuotannon suunnitteluun ja ohjaukseen sekä taloushallintoon. Morenia Oy:llä on hallinnassa tällä hetkellä noin 350 maa-ainesaluetta koko Suomen alueella. Voimassa olevien maa-aineslupien ottamisalueiden pinta-ala on noin 1600 hehtaaria ja maa-ainesten ottamismäärä on noin 50 milj. k-m³. (Nurmela 2011)

Morenia Oy:n liiketoiminta perustuu maa-ainesten hankintaan ja myyntiin. Maa-ainesten hankinta suoritetaan pääasiallisesti Metsähallituksen omistamien kiinteistöjen alueelta. Maa-ainesalueen tai sen osan vuokraaminen on

myös mahdollista, lisäksi Morenia Oy ostaa jonkin verran yksityisessä omistuksessa olevia maa-ainesalueita. Morenia Oy:n keskeisimpiä toimintatapoja yrityksen toiminnassa ovat: maa-ainesten hankinta, lupa-asioiden käsittely, tuotannon ohjaaminen ja tuotteiden myynti. Morenia Oy pyrkii hyödyntämään mahdollisimman kattavasti urakoissa alihankkijaverkostoa, joka louhii, kuljettaa ja jalostaa maa-aineksia erilaisiin käyttökohteisiin ja tarpeisiin. (Nurmela 2006, 3-4)

1.3 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyössä selvitetään maalaserkeilainta testaamalla laserkeilaimen käytön mahdollisuuksia maa-ainesalueilla suoritettavissa mittauksissa, jonka tuloksien perusteella opinnäytetyössä vertaillaan uuden mittausmenetelmän etuja vanhoihin käytettyihin menetelmiin, eli maalaserkeilaimen etuja verrattuna takymetriin ja/tai tarkkuus-GPS:llä mittaamiseen. Vertailua tehdään suorittamalla samanlaisia tai samankaltaisia mittauksia ja vertailemalla niistä saatuja tuloksia toisiinsa. Lisäksi esitellään, millaisilla ohjelmistoilla laserkeilausdataa voidaan työstää. Vertailua suoritetaan tarkkuuden ja nopeuden osalta. Lisäksi opinnäytetyössä pyritään selvittämään kustannuksia maalaserkeilaimen käytöstä Morenia Oy:n osalta.

Opinnäytetyössä perehdytään maalaserkeilaamiseen teknisestä ja käytännön näkökulmasta. Maalaserkeilaaminen ja laserkeilaamisen käyttö on yleistymässä laserkeilaustekniikan halventuessa ja osaavien käyttäjien sekä tilaajanvaatimuksien kasvaessa, lisäksi laserkeilaustekniikkakin on nykyisin tunnetumpaa kuin ennen.

Laserkeilaus yleistyy monilla maanmittauksen- ja teollisuudenalan osilla, joten mielestäni laserkeilausmenetelmiä oli aiheellista tutkia myös maa-ainesalueiden mittaamisen osalta. Perehdyin maalaserkeilaimella mittaamiseen kesän 2012 aikana, jolloin tutkin maalaserkeilaimen soveltuvuutta käytännön maanmittaustyöhön maa-ainesalueiden mittaamisessa Morenia Oy:ssä.

2 LASERKEILAUS

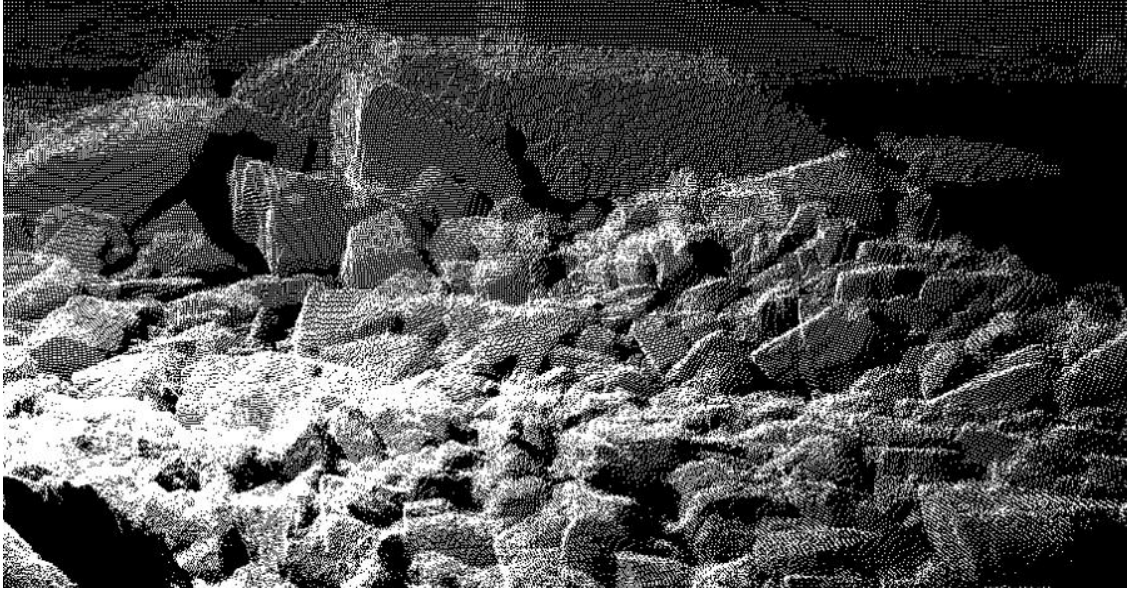
2.1 Toimintaperiaate

Laserkeilauksella tarkoitetaan mittausmenetelmää, jolla saadaan kohteesta kolmiulotteista tietoa eli dataa. Laserkeilauksen etäisyyden mittaus perustuu laserpulssin kulkeman matkan ajasta laitteesta kohteeseen ja kohteesta takaisin. Laserkeilain määrittää etäisyyden havainnoimalla valon kulkuaikaa, vaiheeroja tai kolmiomittausta laitetyypistä riippuen. Mittaus tapahtuu käyttämällä optista kaukokartoituslaitetta, joka toimii näkyvän valon, lähi-infran tai ultravioletin alueella, josta käytetään lyhennettä LIDAR. (Light Detection and Ranging). (Ronnholm–Haggren 2004.) Laserkeilauksen tavoitteena on muodostaa lasersäteiden avulla pistepilvi eli kolmiulotteinen näkymä mitattavan alueen ympäristöstä. Pistepilvi voi sisältää satojatuhansia tai miljoonia pisteitä, joilla jokaisella on x-, y- ja z-koordinaatit. Laserkeilain laskee koordinaatit etäisyyden ja pysty- sekä vaakakulmien avulla. (Koski 2001, 24.)

Laserkeilauksessa mittauksen onnistumiseen vaikuttavat oleellisesti mittausolosuhteet eli erilaiset näkyvyyttä heikentävät asiat, joita ovat esimerkiksi ilmassa leijuva pöly, vesisade tai lumisade, myös aurinkoa vasten mittaaminen on ongelmallista, koska lasersäteet voivat heijastua kohteesta ennenaikaisesti pois, absorboitua tai sirota. Mittaustulosten onnistumiseen vaikuttavat myös mitattavan kohteen muoto, pinnan sävy ja kohteen pinnan väri. Erilaiset pinnat heijastavat lasersäteitä erilaisella tavalla tämän vuoksi esimerkiksi lumen laserkeilaaminen on ongelmallista. (Koski 2001, 24.)

Laserkeilain määrittää kohteesta edestakaisin palaavan lasersäteen intensiteetin eli pulssin voimakkuuden. Valopulssin yksittäisen pisteen intensiteetin arvon määrittävät mitattavan kohteen säteen osumiskulman lisäksi mitattavan kohteen muoto, materiaali, väri ja pinnan sävy. (Koski2001, 25) Ulkopuoliset häiriötekijät, kuten valaistus tai pimeys vaikuttavat myös säteenkulkuun eli intensiteetin arvon määrittämiseen. (Ronnholm-Haggren 2004). Nykyisin useis-

sa laserkeilaimissa on integroitu tai laitteeseen liitettävä digitaalikamera, joista saatavat kuvat voidaan liittää laserkeilausdataan, jolloin pistepilvistä saadaan visuaalisesti paremman näköisiä ja informatiivisempia väriarvojen avulla, lisäksi laserpisteille voidaan määrittää yksilölliset väriarvot digitaalikameran ottamien kuvien perusteella. (Koski 2001, 24.)



Kuvio 1. Laserkeilattua dataa Tervolan Viherkallion kallioalueelta.

2.2 Laserkeilaimien luokittelu

Opinnäytetyössä käytetään maalaserkeilainta. Laserkeilaimen nimi tulee sen käyttöalueesta, eli laserkeilainta käytetään maasta. Laserkeilain tuetaan maahan kolmijalalla, jonka jälkeen keilain asetetaan kolmijalan päälle ja tasataan pakkokeskistysalustan avulla. Laserkeilain orientoidaan koordinaatistoon tähtysten tai koje-aseman määrittämisen avulla. Laserkeilaimia voidaan luokitella erilaisilla tavoilla niiden käyttökohteen, käyttöalueen, liikkuvuuden tai toimintaperiaatteen mukaan.

Laserkeilaimet voidaan luokitella kolmeen pääluokkaan:

- Terrestriaaliset laserkeilaimet eli maalaserkeilaimet, joita käytetään yleensä noin 100–300 metrin etäisyydellä ja noin muutaman senttimetrin mittaustarkkuutta vaativiin mittauksiin. Terrestriaaliset keilaimet

käsittävät myös liikkuvat laserkeilaimet, jotka kiinnitetään ajoneuvoon kuten junaan tai autoon.

- Kaukokartoitukseen käytettävät laserkeilaimet, joita käytetään mitattaessa noin 10 senttimetrin tarkkuudella ja pitkillä etäisyyksillä. Kaukokartoitukseen käytettävien laserkeilaimien mittausetäisyydet ovat noin 0.1-100 kilometriä ja mittaus tapahtuu helikopterista, lentokoneesta tai kaukokartoitus-satelliitista.
- Teollisuuslaserkeilaimet, joita käytetään tarkkaan mittaamiseen teollisissa tai muissa tarkkuutta vaativissa mittauksissa. Mittausetäisyydet ovat usein alle 30 metriä ja mittaustarkkuus muutaman millimetrin luokkaa. (Vahur, 2006, 1-3.)

2.3 Laserkeilaimien erilaisia toimintaperiaatteita

Laserkeilaimen valopulssin etäisyyden määrittäminen perustuu kolmeen eri toimintatapaan: pulssilaseriin, vaihe-erolaseriin tai optiseen kolmiomittaukseen perustuvaan laseriin. Laserkeilain tunnistaa valopulssin etäisyyden keilaimen ilmaisinosan avulla, joka analysoi vastaanotetun signaalin ja määrittää sen perusteella etäisyyden kohteeseen. Mittaustieto tallentuu suoraan tietokoneelle tai vaihtoehtoisesti laserkeilaimen sisäiseen muistiin. (Koski, 2001, 25) Markkinoille on nykyisin alkanut ilmestyä myös niin sanottuja hybridilaitteita, jotka käyttävät useampaa toimintaperiaatetta. Hybridilaitteet käyttävät esimerkiksi pulssilaser- ja vaihe-erolasertekniikoita, jotta mittauksista tulisi vielä tarkempia ja nopeampia. (Heiska, 30–34)

2.4 Pulssilaser

Pulssilaserin toiminta perustuu lyhytkestoisen valopulssin lähettämiseen keilaimesta kohteeseen ja kohteesta takaisin eli mittaussignaalin kulkuajan määrittämiseen. Tämä edestakainen kulku-aika mitataan, jolloin kohteen etäisyys voidaan määrittää laserpulssin kulkuajan ja valonnopeuden avulla. Lähettä-

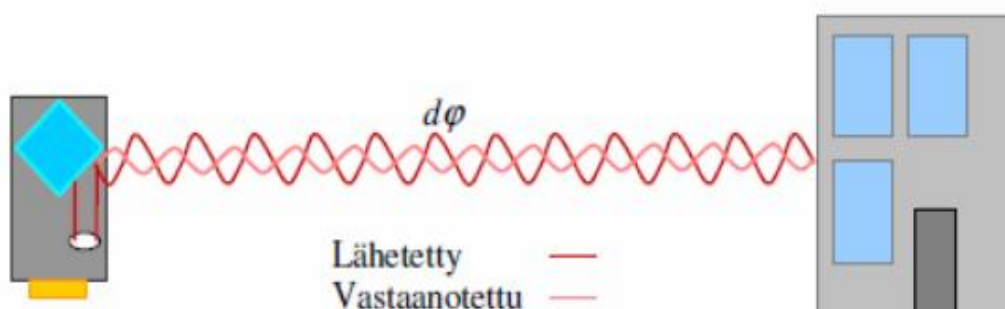
mällä pulsseja eri suuntiin ympäristöön tai kohteisiin saadaan muodostettu kolmiulotteinen malli. Pulssilaserin tarkkuus riippuu ajanmäärityksen tarkkuudesta sekä kohteen- ja laserpulssin ominaisuuksista. Pulssilaserilla voidaan mitata optimiolosuhteissa jopa muutamaan kilometriin asti.



Kuvio 2. Pulssilaserin toimintaperiaate. (Kukko, 2005)

2.5 Vaihe-erolaser

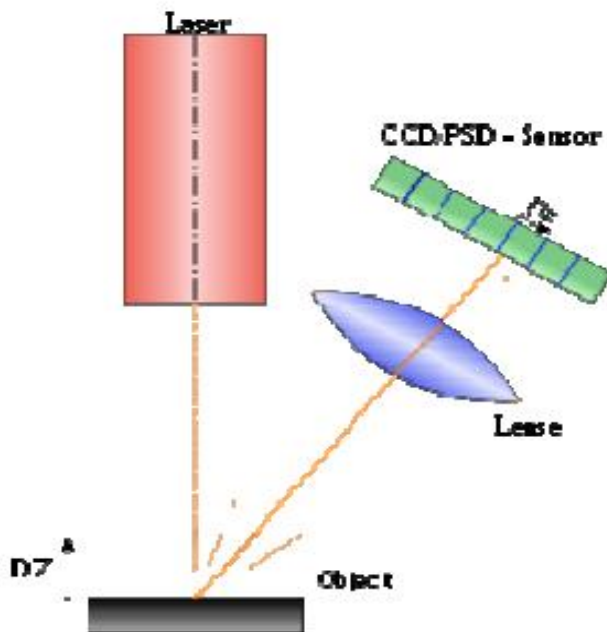
Vaihe-erolaser lähettää jatkuvaa signaalia, jossa on useampia eri kanta-aallonpituuksia (Kukko, 2005, 7-14). Etäisyyden määrittäminen perustuu signaalin edestakaiseen kulku-aikaan, josta määritellään kokonaisten ja osaaallonpituuksien lukumäärää, eli vaihe-eroa. Signaalin intensiteettiä moduloidaan eli yhdistellään siniaalloilla tai eri kanta-aallonpituuksia sisältävällä signaalilla. Vaihe-eromittauksissa yhdistellään useampia kanta-aallonpituuksia, jotta saadaan selville kohteen etäisyys. (Laurila 2008, 236) Etäisyshavainto saadaan selville vaihe-eron ja kokonaislukutuntemattomien avulla. Vaihe-erolaser toimintasäde on tyypillisesti noin 20-80m (Kukko 2005, 7-14).



Kuvio 3. Vaihe-erolaserin toimintaperiaate. (Kukko, 2005)

2.6 Optiseen kolmiomittaukseen perustuva laser

Teollisuusmittaukset, joiden mittaustarkkuus on usein millimetriluokkaa vaativat laserkeilaimelta tarkkaa mittaustietoa. Teollisuusmittauksissa käytetään usein optiseen kolmiomittaukseen perustuvia laserkeilaimia, koska niillä voidaan tuottaa tarkinta mittaustietoa. Optiseen kolmiomittaukseen perustuvat laserkeilaimet tuottavat valopisteen, josta kohteesta takaisin heijastuva valopiste heijastuu linssin lävitse sensorin pintaan. Sensori havaitsee ja rekisteröi valopisteen sijainnin, jonka avulla voidaan laskea kohteen etäisyys. Mitattavan kohteen etäisyys lasketaan valonlähteen ja sensorin välisen etäisyyden, sekä havaittavan valonlähteen saapumiskulman perusteella. Optiseen kolmiomittaukseen perustuvan laserkeilaimen käytettävyyttä rajoittavat suuret katvealueet ja lyhyet mittausetäisyydet. (Ilvonen 2008, 6-7)



Kuvio 4. Optiseen kolmiomittaukseen perustuva laser (Santaluoto 2012,15)

3 MAALASERKEILAIN

3.1 Laitteisto

Opinnäytetyössä perehdytään maalaserkeilaimen toimintaperiaatteisiin ja erilaisiin ominaisuuksiin. Opinnäytetyössäni maalaserkeilaimet luokitellaan karkeasti kahteen erilaiseen luokkaan käyttötarkoituksen mukaan: maalaserkeilaimet, joita käytetään mitattaessa paikallaan olevalta asemapistteellä eli staattisella mittauksella ja mobiilisella-menetelmällä toimivat maalaserkeilaimet. Maalaserkeilaimet luokitellaan lisäksi mittaustavan mukaan neljään eri ryhmään. Opinnäytetyössä perehdytään tarkemmin staattisen mittaustavan maalaserkeilaimen toimintaan, koska opinnäytetyön mittaukset tehtiin Zoller&Fröhlich Imager 5006-laitteistolla. Tähyksinä käytettiin tasotähyksiä.

Imager 5006-laitteistolla pystytään mittaamaan kupolimaisella ja panoraamisella tavalla laserkeilaimen asetuksia muuttamalla. Opinnäytetyön mittauksissa testattiin molempia tapoja, mutta mielestäni kupolimainen mittaustapa sopi paremmin maa-ainesalueella suoritettavien mittauksien tekemiseen. Imager 5006-laitteiston toimintaperiaate perustuu pulssilaseriin.

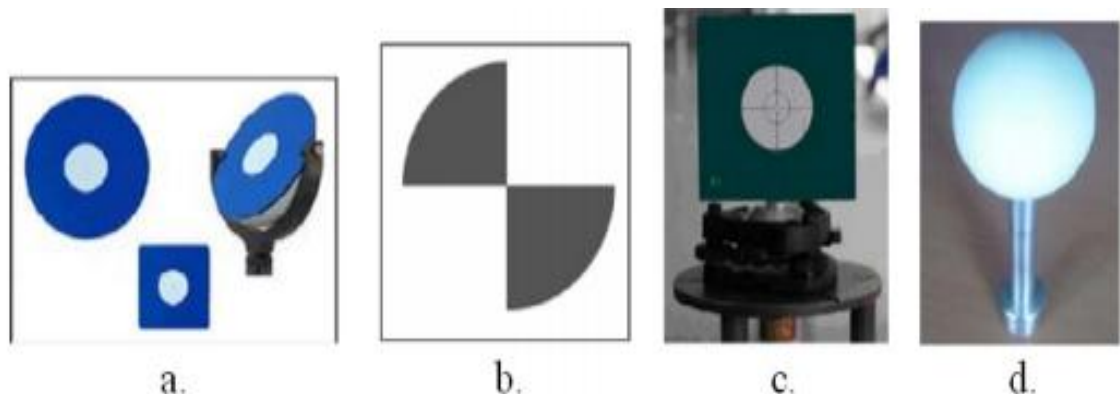
3.2 Staattinen mittaus

Staattisessa mittauksessa laserkeilain keskistetään tietylle paikallaan olevalle kohteelle, josta voidaan suorittaa mittauksia. Usein laserkeilain keskistetään jalustalle, joko kolmijaloin tai kiinteään jalustaan. (Nordic geocenter 2012). Maalaserkeilainjärjestelmä koostuu useimmiten pakkokeskistysalustasta, jalustasta, virtalähteestä, ja tietokoneesta. Uusimmissa maalaserkeilain järjestelmissä ei enään tarvita tietokonetta, vaan laitteisto tallentaa keilaisdatan laserkeilaimen sisäiseenmuistiin, josta data siirretään tietokoneelle. (Ilvonen 2008, 11).

Staattisesti mittaavilla laserskannereilla mitataan aina muutamien senttien etäisyyksistä, jopa muutamiin kilometreihin asti maalaserkeilaimen toimintaperiaatteesta riippuen. Staattisessa mittauksessa maalaserkeilain asetetaan

avonaiseen maastoon ja tasataan esimerkiksi kolmijalan ja pakkokeskistysalustan avulla paikalleen.

Maalaserkeilain voidaan orientoida koordinaatistoon mittaamalla laserkeilaimen kojeasema esimerkiksi takymetrillä tai tarkkuus-GPS:llä. Yleisemmin käytetty tapa on kuitenkin rekisteröidä pistepilvi haluttuun koordinaatistoon tähyksen avulla. Yleisimpiä käytettyjä tähyksiä ovat erityyppiset tasotähykset (b. ja c.) tai pallomaiset kolmiulotteiset tähykset (a. ja d.) Tähyksiä voidaan myös käyttää pakkokeskistysalustan avulla, jolloin tähyksille voidaan mitata koordinaatit eriasennoissa. Tämän jälkeen tähyksiä voidaan kääntää eriasentoihin, jolloin tähyksen keskipiste pysyy samana vaikka tähyksen suuntaa käännetäänkin. (Simonen 2012, 36-37)



Kuvio 5. Erilaisia laserkeilain tähyksiä. (Simonen 2012, 36)

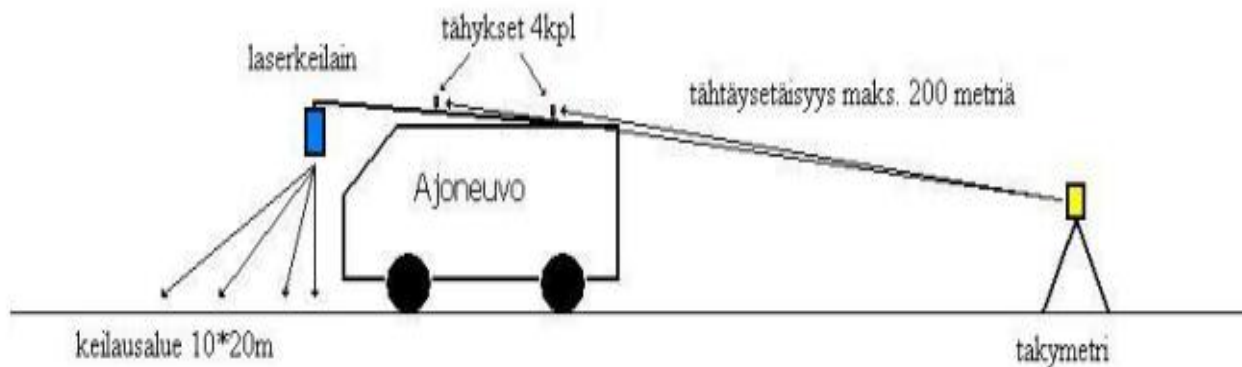
Maalaserkeilauksessa kohteen pintaa mitataan kolmiulotteisesti automaattisesti ja reaaliaikaisesti. Laserkeilausta käytetään yleensä mittamaan kohteen pintoja, kohteen muotoja tai mittasuhteita. Mittausaineistoa voidaan hyödyntää käyttäen jälkikäsittelyohjelmia, joilla voidaan mallintaa pistepilvestä viivoja, reunoja, taiteviivoja ja muita geometrisiä piirteitä.

3.3 Mobiilimittaus

Mobiilimittauksessa maalaserkeilain asetetaan liikkuvan alustan päälle ja mittaus suoritetaan liikkeestä, esimerkiksi autoon tai junaan asetettavan alustan

päältä. Mobiilinen maalaserkeilain-järjestelmä tarvitsee staattisessa mittauksessa tarvittavan välineistön lisäksi satelliittipaikantimen ja inertianavigointijärjestelmän. (Nordic geocenter 20.12.2012).

Mobiilimittauksen esimerkkinä voidaan käyttää niin sanottua Stop&Go Scanning-menetelmään, jossa laserkeilain on kiinnitetty ajoneuvon etuosaan. Mittausdata saadaan haluttuun koordinaatistoon mittaamalla ajoneuvossa suora-kaiteen muodossa olevat tähykset esimerkiksi takymetrillä, jonka jälkeen pistepilvi käännetään haluttuun koordinaatistoon kehikossa olevien heijastinprismojen avulla. Toimintaperiaate on esitelty tarkemmin kuviossa numero 6. (Jussila, 2009, 8-9)



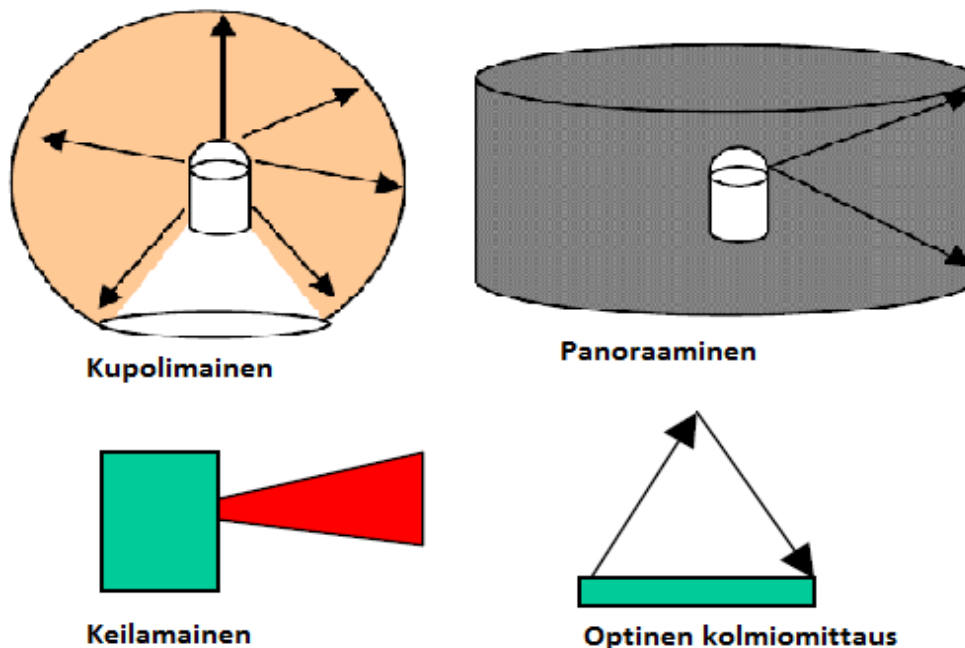
Kuvio 6. Stop&Go Scanning-menetelmä, (Jussila 2009, 8)

3.4 Maalaserkeilaimen mittaustavat

Maalaserkeilaimilla voidaan suorittaa mittauksia neljällä eri mittaustavalla: kupolimaisella-, panoraamamaisella-, keilamaisella- ja optisella tavalla:

- Kupolimaisella mittaustavalla laserkeilaimesta lähtevät laserpulsit muodostavat kupolimaisen kuvion, jolloin mittauksen katvealueeseen jää vain pieni alue laserkeilaimen alapuolelta. Kupolimainen mittaustapa on tehokas, mutta sen tarkka mittausetäisyys on hieman yli parikymmentä metriä. Nykyisillä laserkeilaimilla pystytään tarkentamaan mittausta muuttamalla laserkeilaimen intensiteettiä, jolloin mittausaika pidentyy, mutta mittauksista saadaan myös samalla tarkempia. Kuvio numero 7 havainnollistaa mittaustapaa.

- Panoraamisesti mittaavien laitteiden mittausaika on lyhyempi, mutta silloin mittauksen katvealueeseen jää laitteen ylä- ja alapuolelta kais-
taleet, joista ei saada mittausdataa ollenkaan. Nykyisillä laitteistoilla
laitteiden keilauskulmaa pystytään säätämään laitteistoiden asetuksia
muuttamalla, jolloin katvealue pienentyy hieman. Kuvio numero 7 ha-
vainnollistaa mittaustapaa.
- Keilamaisessa mittaustavassa laite kohdistetaan tietylle pienelle alu-
eelle, jolloin mittausdataa saadaan nopeasti ja kohdistetusti. Keila-
mainen mittaustapa soveltuu yksityiskohtaisten kohteiden keilaami-
seen. Kuvio numero 7 havainnollistaa mittaustapaa
- Optiseen kolmiomittaukseen perustava tapa on vähiten käytetty, kos-
ka mittaustavassa jää suuria katvealueita ja se soveltuu lähinnä pieni-
en kohteiden keilaamiseen. Kuvio numero 7 havainnollistaa mittaus-
tapaa (Vahur 2006,1-3)



Kuvio 7. Laserkeilaimen erilaisia mittaustapoja. (Yhdistäen Vahur Joalan
kuviot julkaisuista: laserkeilaimen toimintaperiaatteet ja kalibrointi, 2003 ja
Laserkeilauksen mittauksien perusteita ja mittauksen suunnittelu 2006)

4 MAA-AINESALUE

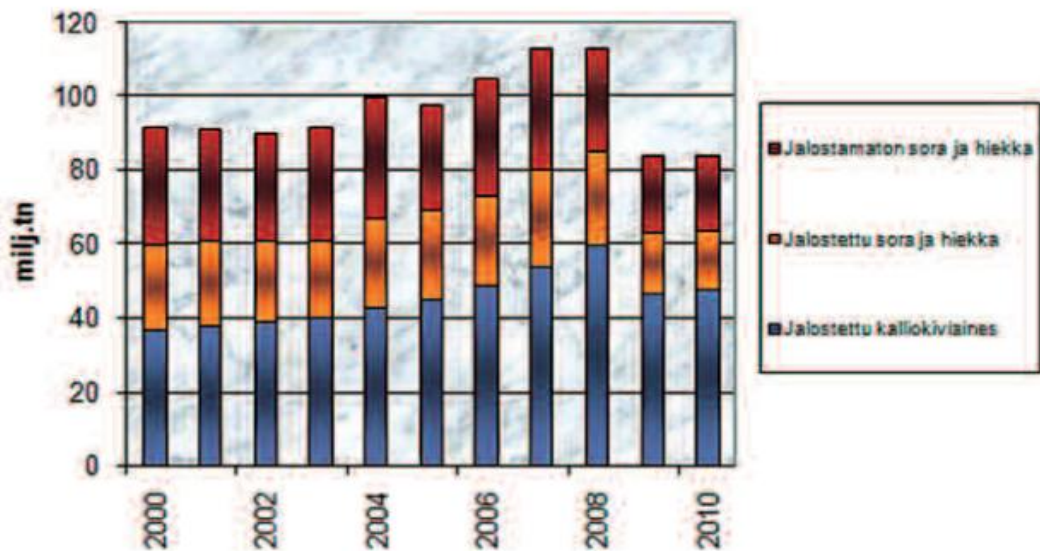
4.1 Maa-aineslupa

Maa-ainesten ottaminen on luvanvaraista. Lupa maa-ainesten hyödyntämiseen saadaan kunnalta, jonka päätöksen tekoa ohjaavat Suomen lainsäädännöt. Maa-ainesalueilta saatavat materiaalit ovat: kiveä, soraa, multaa, hiekkaa, savea tai moreenia. Maa-ainesalueelta voidaan tuottaa myös näiden maa-aines lajikkeiden sekoituksia.

Maa-aineslupaa ei kuitenkaan tarvitse hakea, jos maa-aineksia käytetään vähäisiä määriä kotitaloustarvekäyttöön omalta- tai yhteisönmaalta. Yhteisöllä voidaan tarkoittaa esimerkiksi maatalousosuuskunnan osakkaita. Kotitarvekäyttöön menevien maa-ainesten käytön tulee liittyä rakentamiseen tai kulku-yhteyksien kunnossapitoon. Kotitaloustarvekäyttöön menevää maa-ainesta ei saa kuitenkaan myydä ilman maa-aineslupaa. (Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2009, 25–26) Kotitaloustarpeeseen menevän ottamispaikan sijainti ja arvioitu ottamisen laajuus on kuitenkin ilmoitettava valvontaviranomaiselle silloin, kun kokonaisottomääräksi arvioidaan enemmän kuin 500 kiintokuutiometriä maa-aineksia. (Ympäristö.fi / maa-ainesten ottaminen)

Vuoden 2010 lopussa voimassa olevia maa-ainesalueita oli Suomessa yli 7100. Saman vuoden aikana Suomessa käytettiin kiviaineksia arviolta noin 85 miljoonaa tonnia. Tarkkaa maa-ainesten ottomäärää on kuitenkin vaikea arvioida, koska Infra ry:n ja Ympäristöhallinnon ylläpitämään Notto-rekisteriin kirjataan maa-ainesalueilta tulevan maa-aineksen määrä, jonka vuoksi muualta tulevaa maa-aineksien määrää ei oteta kyseisessä tilastossa huomioon. Suurissa rakennushankkeissa, kuten maanteiden rakentamisesta saadaan merkittävä määrä maa-aineksia, joita ei tilastoida Notto-rekisteriin.

(ympäristö.fi / maa-ainesten ottomäärät)



Arvioitu soran, hiekan ja jalostetun kalliokiviaineksen kokonaiskäyttö vuosina 2000–2010 pohjautuen Infra ry:n tilastoihin ja maa-aineslain mukaiseen ilmoittamismenettelyn tietoihin

Kuvio 8. Maa-ainesten käyttö vuosina 2000–2010. (lähde: ymparisto.fi / maa-ainesten otto, 2012).

4.2 Maa-ainesalue lainsäädännöllisesti

Maa-ainesalue määritetään Suomen lainsäädännössä ja maa-ainesten ottamisen sääntely perustuu lakeihin. Lakia sovelletaan kiven, soran, hiekan, saven ja mullan ottamiseen pois kuljetettavaksi, paikalla varastoitavaksi tai jalostettavaksi. Maa-aineslakia sovelletaan siten kaikkien maa- ja kallioperän aineksien ottamiseen. Maa-ainesten ottamista valvovat lait eivät kuitenkaan koske: turpeen ottamista, kaivoslakiin perustuvaa ottamista, maa-ainesten ottamista vesialueilla, silloin kun siihen on vesilain mukaan oltava ympäristöviranomaisen lupa tai rakentamiseen liittyvää maa-ainesten ottamista, kun siihen on viranomaisen lupa tai hyväksymä suunnitelma. Luvan maa-ainesten ottamiseen myöntää kunnan määräämä viranomainen esimerkiksi rakennuslautakunta tai ympäristölautakunta määrääjäksi.

Maa-aineslaki MAL 555/1981 säätelee maa-aineksien ottamista ja ottamisen säätelyä. Lain säännösten keskeinen tarkoitus on ohjata maa-ainesten ottamista lupamenettelyn avulla. Lupa edellytyksissä otetaan huomioon maa- ja kallioperän muotojen, erikoisten luonnon esiintymien ja kauniin maisemakuvan suojelu, sekä pohjaveden suojelu.

Kaava-alueilla maa-ainesten ottamisen säätely perustuu myös lakeihin. Maa-aineslain muutos 134/1999, joka sai lainvoimaisuuden 1.1.2000. Lain 134/1999 säännökset turvaavat kaavoitetun alueen käytön kaavan mukaisiin tarkoituksiin sekä suojaavat kaupunki- ja maisemakuvaa.

Maa-ainesten ottamista ohjaa myös ympäristölainsäädäntö YSL 86/ 2000. Ympäristölupa tulee hakea ottoalueilla, jos alueella suoritetaan murskausta ja maa-ainesten ottoon liittyvää kivenlouhintaa. Maa-aineslain mukaisella luvalla ja ympäristöluvalla ei ole keskinäistä edellytysuhdetta, joten molemmat luvat tulee hakea luvitettaville maa-ainesalueille. (Ympäristöopas nro85 2001, 9-10)

MAL 3§ sanotaan lisäksi, että "maa-ainesten ottamispaikat on sijoitettava ja ainesten ottaminen järjestettävä niin, että ottamisen vahingollinen vaikutus luontoon ja maisemakuvaan jää mahdollisimman vähäiseksi ja että maa-ainesesiintymää hyödynnetään säästeliäästi ja taloudellisesti eikä toiminnasta aiheudu asutukselle tai ympäristölle vaaraa tai kohtuullisin kustannuksin vältettävissä olevaa haittaa". (Ymparisto.fi / maa-ainesten ottaminen)

4.3 Maa-ainesalueen ottamissuunnitelman laadinta

Maa-ainesalueesta laaditaan lupaprosessin hakuvaiheessa ottamissuunnitelma kunnan viranomaiselle. Lupaprosessiin liittyviä asiakirjoja ovat: maa-ainesalueen ottamiselostus, sitä täydentävät kartat ja piirrookset, vesilain mukainen lupa, mikäli maa-ainesten ottaminen keskittyy pohjavesialueelle ja jätehuoltosuunnitelma, lisäksi usein alueelle tulee tehdä myös ympäristölupahakemus maa-ainesten ottamista varten.

Ympäristöoppaan nro 85/2001 mukaan maa-ainesalueen ottamisselostuksessa tulee esittää vähintään seuraavat asiat:

Maanomistus, eli maanomistajansuostumus ja ottamisalueen sijainti. Hankkeen tarve, eli mihin käyttötarkoitukseen maa- tai kiviaines on tarkoitettu. Suoritetut tutkimukset ja selvitys maa-ainesten määrästä sekä laadusta, eli alueen koekaivuraportti tai mahdollinen maa-ainesnäyte. Luonnonolojen ja maisemakuvan muuttuminen tulee myös selvittää. Selvityksessä tulee kertoa millaista maastoa tai vesistöä alueen läheisyydessä on ja millaisilla toimilla maastoa ja vesistöä pyritään suojelemaan.

Alueen suunnittelutilanne, eli selvitys kyseisen alueen kaavoitustilanteesta ja alueen muista mahdollisista varauksista sekä käyttötarkoituksista. Toiminta-alueen kuvaus, eli millaisia eritoimintoja sijoitetaan alueelle, esimerkiksi kaivu- ja louhinta-alueet, varastoalueen sijainti, sekä tieyhteydet. Ottamisen järjestäminen, eli suunnitelma, jonka mukaan alueelta lähdetään poistamaan massoja. Alue voidaan jakaa myös erilaisiin ottovaiheisiin. Maa-ainesten ottamisen vaiheissa tulee määrittää leikkausten ja kaivantojen syvyys ottamissuunnitelmassa.

Alueen pohjavesitilanne, eli pohjavesialueen luokitus ja alueelle jätettävät suojavyöhykkeet. Pohjavesitilanteen selvityksessä tulee myös huomioida vedenotamat, joihin hanke voi vaikuttaa. Pohjaveden pinnan ylin luonnollinen korkeusasema ja pohjaveden pinnan vaihteluiden seuranta, eli pohjaveden tarkkailuun liittyvät tiedot, kuten pohjavesiputkien määrä. Lisäksi ottamisselostuksessa tulee selvittää pohjaveden laadun seuranta eli pohjavesiputkien tarkastamistiheys ja pohjavesitietojen raportointi kuntaan.

Toimet ympäristöhaittojen vähentämiseksi eli millaisia toimia luvan hakija suorittaa esimerkiksi pölyn leviämisen estämiseksi. Liikenteen järjestäminen ja turvallisuusnäkökohdat, eli arvioidaan alueeseen kohdistuva tieyhteyksien käyttö. Maa-ainesalueelle voidaan rakentaa uusia uusia, mikäli alueen vanhatiestö ei ole riittävä tai tarpeeksi kantava.

Vakuuksien määrittely eli kunnalle maksettava vakuus alueen asiallisesta maisemoinnista ja sen suorittamisesta. Kunta määrittää yleensä itse vakuuden määrän jonkinlaisella laskennallisella veloituksella. Maa-aines toiminnan aikainen jätehuolto, eli jätehuoltosuunnitelman tekeminen, jossa eritellään arvioitu jätteenmäärä ja sen laatu. Alueen jälkihoito ja myöhempi käyttötarkoitus, eli alueen metsittäminen tai muunlainen maisemointi alueen jälkikäyttöä varten tulee myös selvittää ottamisselostuksessa. (Ympäristöopas nro85 2001, 32–34)

Maa-ainesten ottamisluvan lisäksi yleensä tarvitaan myös vesilain mukainen lupahakemus, lupahakemus osoitetaan paikalliselle ELY-keskukselle. Vesilain mukainen lupa tarvitaan, mikäli ottaminen kohdistuu pohjavesipinnan alapuolelle tai laaja-alaisesti pohjavesialueelle. Maa-ainesalue voi myös kuulua ympäristövaikutusten arvioinnin eli YVA-menettelyn piiriin. Ottamissuunnitelmasa tulee selostaa, miten ympäristövaikutusten arviointi on otettu huomioon ottamissuunnitelmaa laadittaessa, tällöin YVA-selostus voidaan liittää hakemukseen, jolloin arviointiselostuksessa esitetyt asiat ei enään tule selvittää erikseen ottamissuunnitelmassa. (Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2009, 32) Arviointiselostus on laadittava lain mukaan silloin, kun maa-ainesalueelta otettava ainesmäärä on vähintään 200 000 kiintokuutiota, sekä silloin kun louhinta- tai kaivuualueen pinta-ala on yli 25 hehtaaria.

Maa-ainesten ottamisalueen hakijan tulee myös esittää pitkäkestoisimmille maa-ainesten ottamispaikoille pitkäaikainen ottamistoiminnansuunnitelma. Usein tällaista selvitystä vaaditaan silloin, kun tietyn ottamisalueen louhiminen tai maa-ainesten ottaminen kestää useamman vuosikymmenen ajan. Pitkäaikaisella ottamistoiminnan suunnitelmalla varmistetaan useampien peräkkäisten ottamislupien johtaminen ympäristökannalta tavoiteltuun lopputulokseen. (Maa-ainesammattilaisen ympäristö ABC, 2012)

Maa-ainesten ottamissuunnitelmaa täydentävät lupaselostukseen kuuluvat haettavalta lupa alueelta tehtävät kartat ja piirustukset. Alueen sijainti esitetään yleensä mittasuhteeltaan 1:200 000- 1: 20 000 olevalla yleiskartalla.

Yleiskartalta tulee käydä ilmi maa-ainesalueen sijainti kunnassa tai kaupungissa. (Ympäristöopas nro85, 2001, 32–34)

Lupasuunnitelman peruskartassa tulee esittää suunnittelualue, ottamisalue ja varsinainen ottoalue. Peruskartalle tulee merkitä myös suojavyöhykkeet ympäröiviin rakennelmiin ja kohteisiin, esimerkiksi rajapalstaan tai lampeen. Peruskarttaan merkitään myös mahdollinen kairaus, maatutkaus ja koekaivuun paikat. Peruskartan mittakaava on yleensä 1:20 000- 1:10 000. Kartalta tulee käydä myös ilmi maa-ainesalueen ottamisalueen vaiheistus ja ottamisenlähetsuunta, sekä tukitoimintojen alueet, kuten murskeen varastointialueet. (Ympäristöopas nro85, 2001, 32–34)

Suunnitelmakartat, joista tulee ilmetä alueen nykytilanne ja jälkitilanne tehdään mittakaavaan 1: 5 000 - 1: 2 000. Suunnitelmakartat perustuvat maastomittauksiin, joita voidaan täydentää ilmakuvilla tai valokuvilla. Suunnitelmakarttoja täydentävät leikkauskuvat, jotka mallintavat nykyistä ja tulevaa maanpinnan tasoa. Leikkauskuvat tehdään yleensä mittakaavaan 1:1 000 - 1:200. Karttojen mittakaavaa voidaan myös perustelluista syistä muuttaa pienemmiksi tai suuremmiksi alueen kuvaamisen selkeyttämiseksi. Alueilta voidaan myös esittää muita karttoja, kuten maa- ja kallioperäkarttoja, jotka tukevat lupahakemusta. (Ympäristöopas nro85, 2001, 32–34)

4.4 Maa-ainesalueella tehtävät maastomittaukset

Maa-ainesten ottamislupa myönnetään usein kymmeneksi vuodeksi. Poikkeustapauksissa maa-ainesten ottamislupia voidaan myöntää myös perustelluista syistä pidemmälle ottoajalle. Kymmenien vuosien aikana maa-ainesalueilla tulee suorittaa erilaisia mittauksia, joita määrätään maa-ainesalueen lupaehdoissa. Kunta pystyy määräämään maa-ainesten ottosuunnitelman hakemuksen perusteelle erilaisia lupaehtoja, joiden täyttymistä tulee seurata maastomittauksilla. Maastossa mitattavia asioita voivat olla esimerkiksi: pohjaveden pinnantarkkailua, alueen luiskien kaltevuuden seurantaa, vesipinnan seurantaa tai alueen alimman ottotason tarkkailemista. Kunta pystyy myös määrää-

mään maastomittauksien ajankohdan. Esimerkiksi pohjaveden tarkistusmittaukset tulee usein suorittaa vuosittain tiettyyn ajankohtaan ja pohjavesiputkien tiedot tulee toimittaa kunnalle puolen vuoden tai vuoden välein. Lupamääräyksien edellyttämällä tavalla.

Maa-ainesten ottotoimintaa harjoittavat yritykset tarvitsevat myös maastossa tehtyjä mittauksia liiketoiminnan tukemiseksi ja valvomiseksi. Maa-ainesten otosuunnitelmien tekoon tarvitaan maastomittauksin tehty kartta alueen nykytilanteesta ja alueella vallitsevista luonnonoloista, myös maa-ainesalueiden jatkoluvituksissa tarvitaan ajantasainen kartta maa-ainesalueesta. Liiketoimintaa harjoittavat yritykset tekevät myös muunlaisia mittauksia maa-ainesalueilla. Yleisiä muita mittauksia maa-ainesalueen luvittamisen lisäksi ovat maa-ainesvarastokasojen jäljellä olevien massojen määrittäminen, maa-ainesalueella jäljellä olevan ottomäärän massalaskenta, maa-ainesalueiden rajojen merkitseminen, korkomerkintöjen tekeminen ja louhinta-alan määrittäminen.

Morenia Oy:ssä maastomittaukset on yleensä suorittanut ulkopuolinen konsultti tai Morenia Oy:n omakartoittaja tehtävän vaativuudesta ja kiireellisyydestä riippuen. Mittausvälineistönä on käytetty takymetriä tai tarkkuus-GPS:ää. Opinnäytetyössä tutkitaan maalaserkeilaimen soveltuvuutta edellä mainittuihin maastomittauksiin, joita maa-ainesalueilla yleisesti suoritetaan.

5 MAALASERKEILAIMELLA SUORITETTAVAT MITTAUKSET

5.1 Maalaserkeilaimella mittaaminen

Maalaserkeilaimella suoritettiin massalaskentamittauksia Morenia Oy:n omistamiin erikokoisiin maa-ainesten varastokasoihin kesän 2012 aikana. Laserkeilaimella saatu raakadata käsiteltiin Z+F-lasercontrol ja RealWorksSurvey-ohjelmistoilla, lisäksi koordinaatistonmuutostiedosto luotiin 3D-Winillä. Massalaskentoja verrattiin samojen maa-aineskasojen kohdalta myös VRS-GPS laitteistolla mittaamalla. VRS-GPS:llä mitattu raakadata käsiteltiin Trimble Businesscenter-ohjelmistolla ja 3D-Winillä vertailutuloksien saamiseksi.

Maalaserkeilainta käytettiin myös maa-ainesalueen luvituksessa. Maalaserkeilaimen raakadatasta luotiin maa-ainesalueelle nykytilannetta kuvaava korkeusmalli. Maalaserkeilaimen tuottamasta raakadatasta tarkasteltiin myös maa-ainesalueiden luiskien kaltevuutta ja alueiden korkotasoja. Kappaleissa 7 ja 8 käsitellään tarkemmin kyseisiä mittaustoimenpiteitä vertailemalla maalaserkeilaimella tuotettua aineistoa VRS-GPS:llä tuotettuun aineistoon.

Maalaserkeilauksen raakadataa käsiteltiin kyseisillä ohjelmistoilla, koska Rovaniemen ammattikorkeakoululla oli tarjota kyseiset ohjelmistot opinnäytetyöhön, lisäksi useimmiten laserkeilauksessa käytetty laitteisto määrittää pitkälti sen, millaisia ohjelmia käytetään. Ohjelmien välillä jouduttiin tekemään useampia tiedoston muutoksia, joita käsitellään kappaleissa 6.2–6.5 tarkemmin. Lopputuotoksena käytettiin ASCII-tiedostomuotoista tiedostopäätettä, jota voidaan käyttää ja avata useimmissa laserkeilausdatan käsittelyohjelmistoissa.

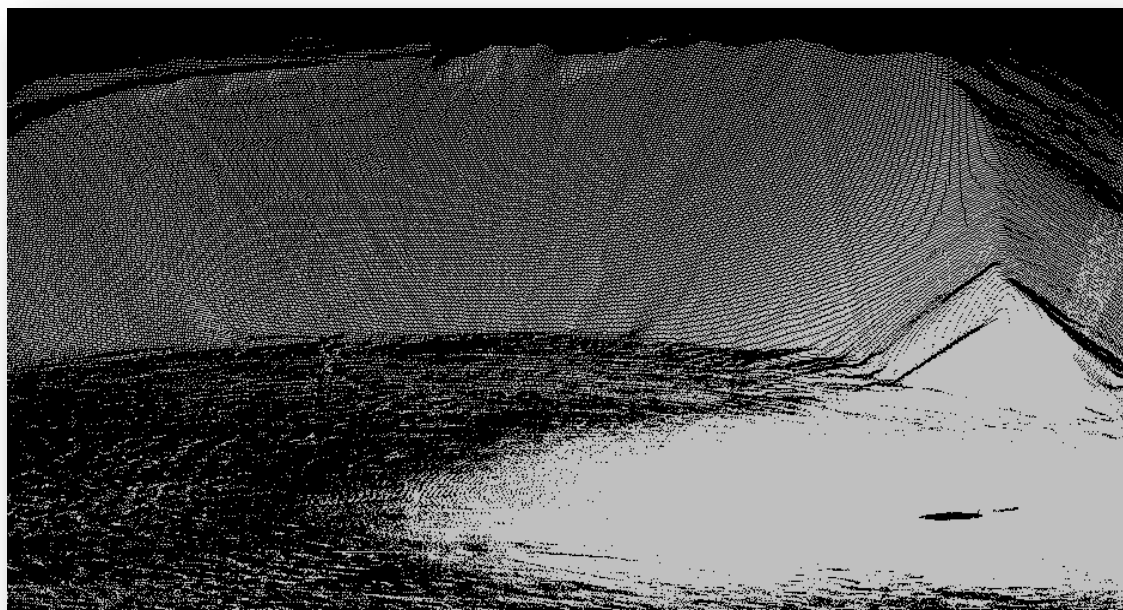
5.2 Mittauksen suunnittelu

Maalaserkeilaimella mitattaessa laserkeilausprojektin suunnitteluun pitää käyttää jonkin verran enemmän aikaa, kuin perinteisillä mittausmenetelmillä mitattaessa. Mittaus tulee suunnitella huolellisesti etukäteen, jotta maalaserkeilaimella suoritettavista maa-ainesalue mittauksista saataisiin loogisesti järkeviä. Mittaussuunnitelman tekoa tarkastellaan Morenia Oy:n kannalta. Kaikilla

maa-aineksia tuottavilla yrityksillä tai muilla organisaatioilla ei ole samankaltaisia sisäisiä informaatiojärjestelmiä, kuin opinnäytetyöntilaaajalla, mutta mittauksien suunnittelun kannalta samankaltaiset työvaiheet ovat varmasti myös toteutettavissa muissa yrityksissä ja samankaltaisissa mittausprojekteissa.

Mittaus suunnitelmaan tulisi merkitä ainakin alueen lähtötiedot, jotka sisältävät kirjanpidosta otetut vanhat kasainventaariokartat ja maa-ainekasojen nykyiset massat saldokirjanpidon mukaan. Lisäksi tilaajalta tulee varmistaa, mitä ja millaisia kohteita alueelta tulee mitata. Alueella sijaitsevien kiintopisteiden ja korokopukkien koordinaattitiedot olisi lisäksi hyvä varmistaa ennen mittauksien aloittamista.

Maalaserkeilaimella alueesta saadaan valtavasti raakadataa. Ainoastaan kasainventaarion tekeminen tuottaa valtavasti "ylimääräistä" keilausdataa, jota voidaan käyttää myöhemmin, esimerkiksi alueen luvituksessa tai alueen alimman sallitun ottotason varmistamisessa, jonka vuoksi raakadatan arkistointi ja oikeanlainen jälkikäsitteily on tärkeää. Alla olevassa kuviossa numero 9 havainnollistetaan, kuinka paljon niin sanottua "ylimääräistä" raakadataa talentuu yksittäisestä maa-ainekasan mittauksesta.



Kuvio 9. Kuvassa maalaserkeilaimella tuotettua raakadataa yksittäisestä maa-ainekasan massalaskenta mittauksessa Kolarin Valkeaharjusta.

Pistepilven editoiminen havainnolliseen kuvamuotoon vaatii usein paljon jälkikäsittelyä johtuen pisteiden suuresta määrästä. Tämän vuoksi mitattavasta alueesta tulee luoda tilaajan haluama pintamalli tai alueen yksittäisen osan massalaskenta, joka tulee erottaa muusta keilausaineistosta erilleen. Kuvioon numero 10 on koottu maalaserkeilain mittauksensuunnittelun keskeisimpiä työvaiheita.



Kuvio 10. Maa-ainesalueen mittauksen suunnittelukaavio. Kaavio on tehty mukailien Morenia Oy:n sisäisiä mittausohjeita ja Niina Heiskan artikkelin kaaviota, joka on julkaistu 1/2009, 34 Maankäyttölehdessä.

6 MAA-AINESALUEEN KARTOITUKSEN TEKEMINEN

6.1 Maalaserkeilaimen käyttökohteet

Maalaserkeilaimella voidaan tehdä suhteellisen helposti maa-ainesalueen nykytilanteen kartoitusmittauksia, kasatilavuuden määrittämisiä varastokasojen osalta, lisäksi alueilla voidaan suorittaa erilaisia tarkistusmittauksia ja laskentoja massojen määrittämiseen esimerkiksi maa-ainesalueen luiskista. Tulevissa kappaleissa käsitellään erilaisia ohjelmistoa ja toimintoja, millä maalaserkeilausmittauksia voidaan käsitellä. Ohjelmistoja on eri maalaserkeilainten valmistajilla lukuisia, mutta peruseriaatteet pistepilven käsittelyssä ovat samantapaisia ohjelmistoista riippumatta.

Maalaserkeilaimella pystytään mittaamaan useita pisteitä kartoitettavalta alueelta suhteellisen lyhyessä ajassa, joka nopeuttaa alueella vallitsevan nykytilanteen kartoitusprosessia. Usein varsinkin kallioalueilla on pystysuoria ja jyrkkiä seinämiä, jolloin mittaaminen perinteisillä menetelmillä, kuten tarkkuus-GPS:llä ja takymetrimittauksella, jossa mitataan kartoitussauvaa käyttäen voi olla jopa hengenvaarallista putoamisvaaran vuoksi. Maalaserkeilaimen käyttäminen tällaisilla alueilla vähentää onnettomuusriskiä ja lisäksi nopeuttaa maastossa tapahtuvaa mittaamista huomattavasti. Lisäksi mittauksia tulee suorittaa usein työmaa-alueilla, jolloin nopein mittauspa on yleensä turvallisin liikkuvien työkoneiden ja muun työmaaliikenteen vuoksi. Maalaserkeilaimella tuotetusta pistepilvestä saadaan paljon raakadataa, jota voidaan käyttää hyödyksi maa-ainesalueen muissa mittauksissa, kuten maa-ainesalueen luvituksessa tai pohjantason tarkistamisessa.

Tulevissa kappaleissa on tarkoitus käsitellä maalaserkeilaimella mittaamista ja mittausdatan editointia Z+F lasercontrol- ja RealWorksSurvey-ohjelmistoilla. RealWorkSurvey-ohjelmistossa suoritetaan esimerkkinä maa-ainesalueen kartoituksen tekeminen ja massalaskentojen tekeminen, lisäksi osa mittausdatasta on käsitelty 3D-Win-ohjelmistolla koordinaatisto muutoksien vuoksi.



Kuvio 11. Esimerkki vaarallisen jyrkästä kallion seinämästä, jossa perinteisten mittausmenetelmien käyttö olisi lähes mahdotonta. Kuva on Ylitornion kallio-ainesalueelta kesältä 2012

Maa-ainesalueella suoritettavat maalaserkeilausmittaukset aloitetaan sijoittamalla tähykset maaston ja mittaamalla tähyksien sijainti kyseisellä alueella. Tähyksen sijainti mitataan takymetrillä tai tarkkuus-GPS:llä riippuen halutusta mittaustarkkuudesta. Opinnäytetyössä käytettiin molempia tähyksien mittaamistapoja. Takymetrillä mitattujen tähysten rekisteröintitulokset vaihtelivat muutamista millimetreistä pariin senttimetriin, kun taas tarkkuus-GPS:llä mitattujen pistepilvien tarkkuus oli noin 4-8 senttimetrin luokkaa. Mittaustarkkuus tulee suhteuttaa aina mitattaviin kohteisiin ja siihen liittyviin mittaustarkkuusvaatimuksiin, esimerkiksi alueen nykytilanteen kartoituksessa muutaman senttimetrin tarkkuus riittää maa-ainesalueilla mitattaessa hyvin.

Maa-ainesalueen mittauksissa tähykset tulisi sijoittaa sellaisille paikoille, missä ne ovat mahdollisimman vähän tärkeiden laserkeilattavien kohteiden tiellä. Laserkeilausalueella tulee olla vähintään kolme tähyistä, joille voidaan mitata koordinaatit, jotta mittaukset pystytään orientoimaan haluttuun koordinaatistoon. Jos alueella suoritetaan enemmän kuin yksi laserkeilaus, vähintään yhden tähyksen tulee olla sama kuin aiemmassa keilausessa, jotta keilaukset saadaan rekisteröityä samaan koordinaatistoon. Tähyksien etäisyys laserkei-

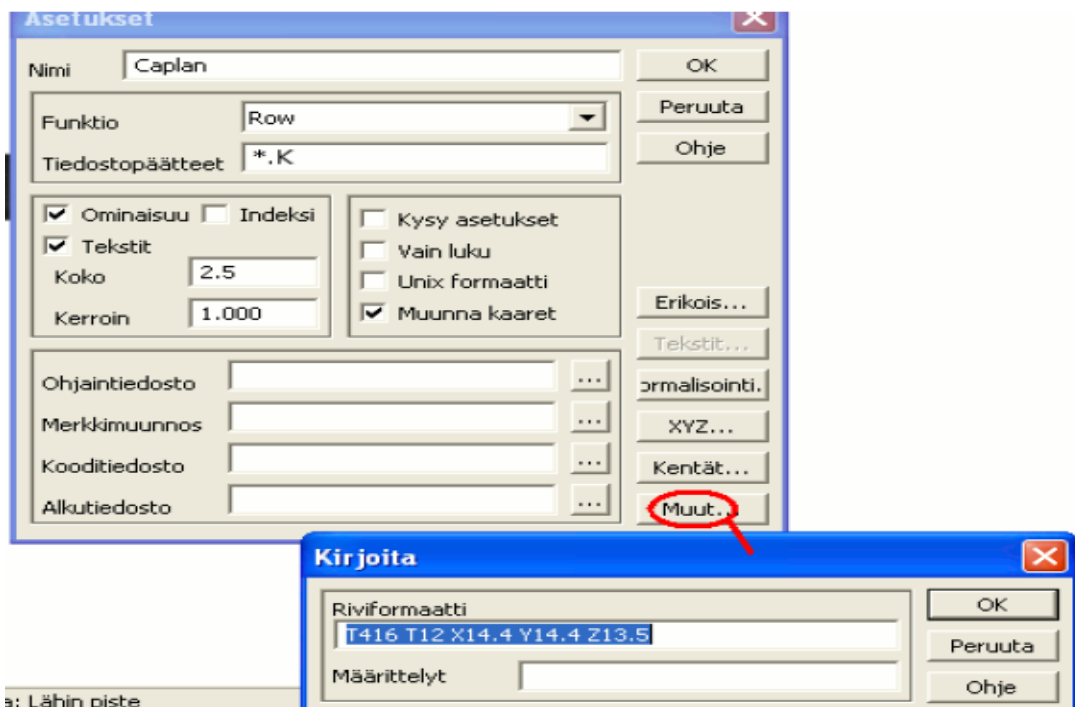
laimeen ei saisi mielellään kasvaa yli 25 metrin, jolloin Z+F lasercontrol-ohjelman automaattinen tähyksientunnistin ei enää toimi optimaalisesti. Tähykset voidaan rekisteröidä myös pidemmiltä matkoilta, mutta silloin rekisteröinti tapahtuu osoittamalla tähyksen sijainti ohjelmasta itse, jolloin virheen mahdollisuus kyseisessä mittauksessa kasvaa.

6.2 Mittausdatan käsittelyyn käytetyt ohjelmistot

Maastomittauksien jälkeen laserkeilauksen raakadatan editointi suoritetaan Z+F lasercontrol-ohjelmistolla, jossa tehdään pistepilven suodattaminen, leikkaaminen ja muunlainen muokkaaminen. Tähykset myös rekisteröidään kyseisellä ohjelmalla. Tähysten rekisteröinnin muunnostiedosto tehdään 3D-Win-ohjelmalla. Muutostiedostojen luominen lähtee liikkeelle koordinaattien lyhentämisellä, koska Z+F lasercontrol-ohjelman kapasiteetti ei riitä käsittelemään suurta määrää koordinaattidataa, tämän vuoksi koordinaatit tulee lyhentää 6-numeroisiksi esimerkiksi 3D-Win-ohjelmiston avulla. Lopullinen pistepilven editointi suoritetaan RealWorksSurvey-ohjelmistolla, jolla suoritetaan aineiston lopullinen viimeistely. RealWorksSurvey-ohjelmiston avulla on myös mahdollista editoida dataa siten, että pistepilveä tai sen osaa voidaan käyttää CAD-pohjaisilla ohjelmistoilla.

6.3 3D-Win-ohjelmisto

3D-Win-ohjelmistoon tuodaan mitattujen tähysten pisteiden koordinaattitiedot takymetristä tai tarkkuus-GPS:stä. Pisteidenkoordinaatit tulee lyhentää 6-numeroisiksi, jotta pisteitä voitaisiin käyttää Z+F lasercontrol-ohjelmistolla, lisäksi tulee suorittaa niin sanottu Caplan-formaattiin kirjoittaminen. Caplan-formaattiin kirjoittaminen suoritetaan, jotta pisteet saadaan sellaiseen tiedostoformaattiin että ne voidaan tuoda Z+F lasercontrolliin. Pisteillä tulee lisäksi olla pistenumerot, pintatunnukset ja sijaintikoordinaatit, jotta pisteiden rekisteröinti onnistuisi, lisäksi on hyvä kääntää XY-koordinaatit, jotta tiedostojen jatkokäsitleminen olisi sujuvampaa.



Kuvio 12. Caplan tiedostoformaatin luominen 3D-Win:llä (Lauri Mäkelä 2010, Zoller&Frölich manuaali)

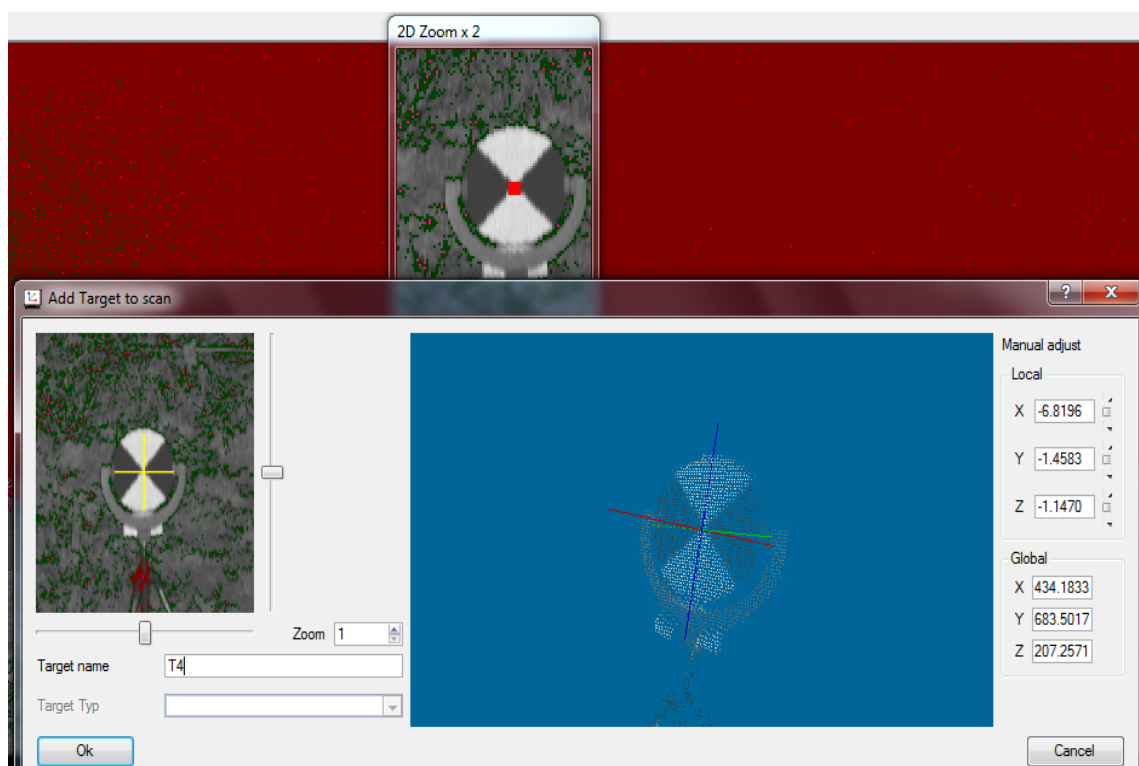
6.4 Zoller+Frölich lasercontrol-ohjelmisto

Z+F lasercontrol-ohjelmistolla muunnetaan 3D-Win-tiedostosta tuodun Caplan-formaatin ja tähysten avulla laserkeilauksille yleisetkoordinaatit. Tähyksien tunnistamiseen käytetään "Help find targets-toimintoa", jonka avulla Caplantiedosto saadaan avautumaan ohjelmistossa. Tähykset osoitetaan "Fit to target-toiminnolla", jonka jälkeen tähykset rekisteröityvät painamalla hiirellä tähyksen kehikkoa, jonka jälkeen ohjelmisto keskittää automaattisesti tähyksen keskelle. "Add target to scan-toiminnolla" pystytään vielä varmistamaan, että tähysten rekisteröinti on varmasti mennyt oikein.

Tähysten nimeämisen jälkeen ohjelma lisää tähykseen punaisella numeron, josta tulee ilmi tähykselle rekisteröinnissä annettu tunnus. Tunnuksen tulee olla sama kuin Caplan-formaatissa olevan. Tähysten rekisteröinnissä on tärkeää varmistaa, että tähykset on rekisteröitynyt oikeassa kulmassa. Kulma pystytään varmistamaan pyörittämällä tähykstä kolmiulotteisessa näkymässä, jolloin tähyksessä näkyvät kolme eriväristä viivaa, joiden tulisi "lävistää" tähykseen.

mahdollisimman keskeltä. Kuviossa numero 13 havainnollistetaan tähyksen "lävistämistä", eli tähyksen keskikohtaan keskistämistä.

Mittausmatkan kasvaessa, tai esimerkiksi tähyksen huonon kulman vuoksi laserkeilaimen nähden voidaan joutua määrittelemään tähyksen keskikohta ohjelmiston kuvakkeesta. Tällöin kohdistus tulee suorittaa "use point as target-toiminnolla". Toiminnolla pyritään osoittamaan piste mahdollisimman lähelle tähyksen keskipistettä liukusäätimien avulla. Keskipisteen osoittamisen jälkeen tähytä voidaan tarkastella jälleen kolmiulotteisessa näkymässä ja tarpeen tullen korjata tähyksen keskistystä.



Kuvio 13. Tähyksiin keskistäminen Z+F Lasercontrol-ohjelmistolla.

Z+F lasercontrol:ssa on lisäksi kattava määrä erilaisia pisteen suodatustoimintoja. Laserkeilain tuottaa pienimmillään tarkkuudella ja intensiteetillä miljoonia pisteitä, joista osa pystytään poistamaan ohjelmiston avulla eräänlaisilla suodattimilla, kuten esimerkiksi: "Invalid-toiminnolla", joka suodattaa keilaimen rungosta heijastuvat pisteet pois tai "Range-toiminnolla", joka karsii etäisyysrajan ylittävät ja alittavat pisteet pois pistepilvestä.

Edellä mainittujen lisäksi on vielä useita muita suodattimia, jotka karsivat pisteitä tietyillä ominaisuuksilla pois mittausaineistosta.

Pisteiden rekisteröinti on erityisen tärkeä toiminto, koska ohjelmisto kääntää silloin Caplan-formaattia käyttäen pistepilven haluttuun koordinaatistoon. Rekisteröinnissä ohjelma ilmoittaa myös pisteiden rekisteröintitarkkuuden toisiinsa nähden, jolloin pystytään määrittämään myös kokonaisuudessaan pistepilvenaineiston tarkkuus. Rekisteröinnissä esitetään myös pistekohtainen tarkkuus, jota on mahdollista parantaa myös jälkikäteen muuttamalla tähysten keskistyksiä "use point as target-toiminnolla". Rekisteröintiraportti ilmoittaa myös keskimääräiset ja maksimaaliset keskistyksessä tapahtuneet virheet. Liitteestä numero 1 löytyvät mittausaineiston rekisteröintitiedot, joilla havainnollistetaan tähysten rekisteröintiä ja rekisteröintitarkkuutta takymetrimittauksella sekä tarkkuus-GPS:llä mitattuna.

Pistepilvi voidaan viedä ulos Z+F lasercontrol-ohjelmistosta "Save as-toiminnon" avulla. Toiminnolla voidaan määrittää formaattien avulla, mihin muotoon tiedosto kirjoitetaan. Yleisimpiä muotoja, joita Z+F-ohjelmistolla voidaan kirjoittaa ovat XYZ.ASC ja ZFS. Pistepilvi voidaan kääntää XYZ.ASC-muodossa RealWorksSurvey-ohjelmistolle, jolloin pisteiden jatkomuokkaaminen on helppompaa ja pistepilvi voidaan muokata esitettävämpään muotoon. Pistepilven ulosviennissä on hyvä käyttää niin sanottua subsample-toimintoa, jolla voidaan harventaa pisteitä ja viivoja, esimerkiksi subsample-arvon asettaminen kahteen tallentaa pistepilvestä joka toisen pisteen ja linjan, mikä karsii ja keventää pistepilviaineistoa huomattavasti.

6.5 RealWorksSurvey-ohjelmisto

RealWorksSurvey-ohjelmistolla pystytään käsittelemään pistepilveä kattavasti sekä muokkaamaan pistepilveä siten, että pistepilvestä saadaan eroteltua käyttökelpoinen aineisto visualisointia ja erilaisia laskentoja, sekä muita toimintoja varten. Korkeuskäyrien muodostaminen ja massalaskenta pistepilven alueelta käydään läpi tarkemmin tapausesimerkkinä, muita keskeisiä toiminto-

ja, joita maa-ainesalueelta tarvittavaan raakadatan käsittelyyn RealWorksSurvey-ohjelmistolla sisältää ovat:

Pistepilven harvennus- työkalu eli Sampling toolilla voidaan harventaa koko pistepilvenaineistoa. Spatial sampling toiminnolla pistepilveä karsitaan mittattujen pisteiden minimietäisyyden mukaan. Valikkoon syötetään pisteiden välisen etäisyyden arvo, jolla harvennus suoritetaan. Pistepilven karsimisen jälkeen ohjelmiston ei tarvitse käsitellä niin suurta määrää pisteitä, jolloin ohjelmisto toimii paremmin ja nopeammin.

Pistepilven ositus- työkalu eli Segmentation toolilla voidaan jakaa pistepilveä pienemmiksi alueiksi. Pistepilvestä voidaan poistaa ylimääräistä aineistoa tai osittaa haluttu alue esimerkiksi maa-aineskasa, jolloin voidaan käsitellä pienempää pistepilviaineistoa. Alueen osituksen jälkeen ylimääräiset pistepilven osat voidaan piilottaa tai poistaa kokonaan, mikäli osia ei enää tarvita aineiston jatkokäsittelyyn.

Verkon luonti- työkalu eli Mesh creation toolilla voidaan luoda haluttuun pistepilven osaan kolmiointiverkko. Kolmiointiverkon luonti parantaa massalaskennan tarkkuutta ja peittää mahdolliset yksittäisten pisteiden jättämät aukot. Verkon luontivalikossa voidaan määrittää verkon luontitapa eli, mitä alueita ja millaisilla asetuksilla pistepilvelle luodaan kolmiointiverkko.

Tilavuuden laskenta- työkalu eli Volume calculation toolilla voidaan laskea massoja halutusta pistepilven osasta. Massoja pystytään laskemaan erilaisiin tasoihin nähden, jolloin ohjelma määrittää halutulla toimenpiteellä pistepilviaineistosta pohjantason, johon nähden massat lasketaan alueelta. RealWorksSurvey-ohjelmisto käyttää massanlaskentaan niin sanottua neliöintiä, eli laskettavasta alueesta muodostetaan neliömäisiä pylväitä, jonka avulla pystytään määrittämään halutun alueen tilavuus.

Korkeuskäyrien muodostamis-työkalu eli contouring toolilla voidaan muodostaa pistepilveen tai pistepilven osaan korkeuskäyrät halutulla tiheydellä. Korkeuskäyrät muodostetaan haluttuun vertailutasoon nähden tasaisin välimat-

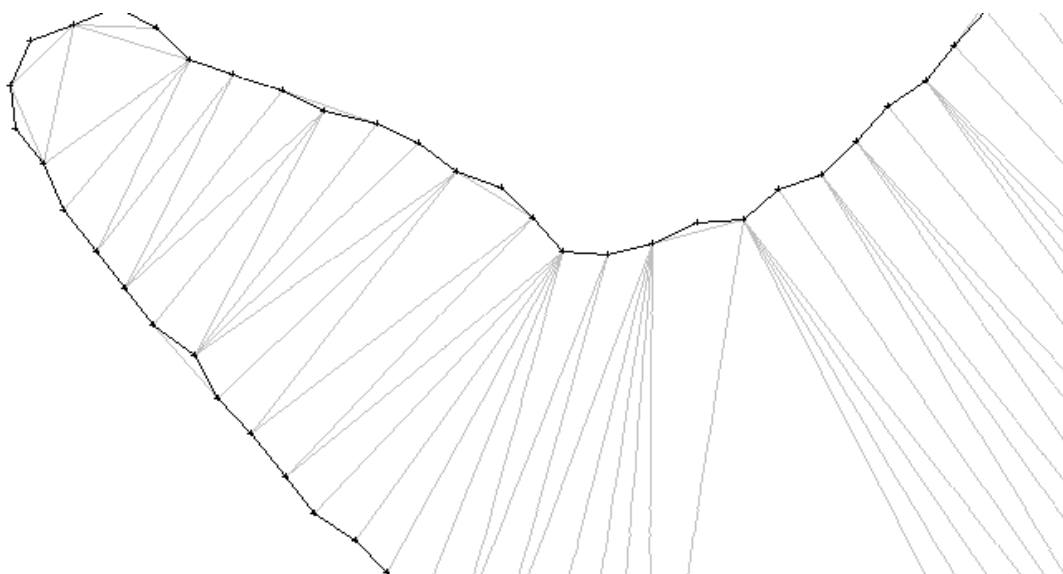
koin. Toleranssia muuttamalla pystytään vaikuttamaan korkeuskäyrän viivanpiirtoon ja tarkkuuteen, jolla korkeuskäyrät noudattavat pistepilvenmuotoja.

Poikkileikkaus-työkalu, eli cross-section toolilla voidaan muodostaa halutuista elementeistä poikki- tai pituusleikkauksia. Intervallia eli toistuvuutta muuttamalla voidaan määrittää poikki- ja pituusleikkauksien lukumäärä. Poikkileikkauksien leveyttä ja suuntaa voidaan myös muuttaa työkalun valikoista erilaisilla toiminnoilla.

7 MAA-AINESKASAN MASSALASKENTA

7.1 Massalaskenta

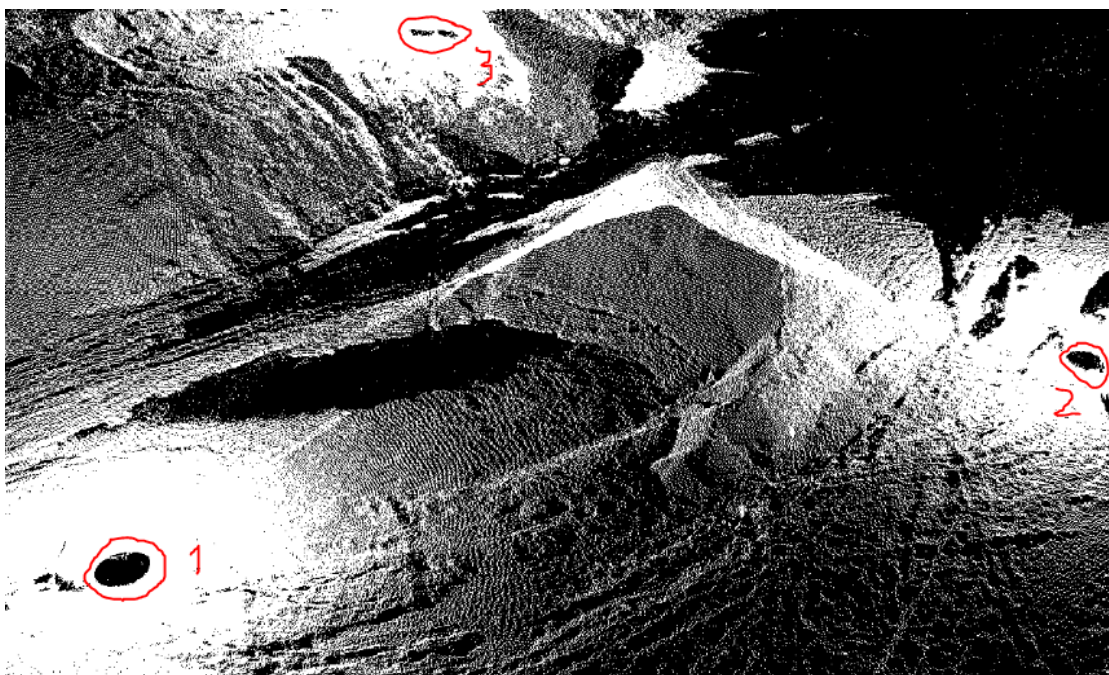
Toimenpiteenä massalaskenta tarkoittaa tietyn alueen tilavuuden laskemista. Massalaskentaa voidaan suorittaa esimerkiksi maa-ainekasoihin, monttujen täyttämiseen tai rakennelmien tilavuuden laskentaan. Usein massalaskennassa puhuttaessa tarkoitetaan alueen tilavuuden laskentaa kuutioina (m^3). Kuutiolaskennan jälkeen massalaskentaa täydennetään usein esimerkiksi maa-aineksen tilavuuskertoimilla, jolloin todellinen alueen tilavuus saadaan laskennallisesti selvitettyä. Massalaskennassa esimerkiksi maa-ainekasan kuutiotilavuus saadaan selvitettyä vertailemalla erilaisia kolmioituja geometrisiä kuvioita toisiinsa, esimerkiksi maa-ainekasan tilavuuden laskennassa erilaiset tilavuuden laskenta-ohjelmistot muodostavat verkonkolmioista, joita verrataan tiettyyn määrättyyn tasoon tai vertailuelementtiin. Yhdistämällä taso tai vertailuelementti ohjelmat laskevat näiden kasojen tilavuudet toisiinsa verrattuna, jolloin saadaan kyseisen kohteen tilavuus selvitettyä laskennallisesti. Alla olevassa kuviossa numero 14 on havainnollistettu 3D-Win-ohjelmiston avulla maa-ainekasan kolmiointia. Paksumpi mustaviiva on asetettu vertailtavaksi alapinnaksi, kun taas ohuemmat mustaviivat ovat niin sanottua yläpinnan kolmiointia.



Kuvio 14. Maa-ainekasan kolmiointia havainnollistava kuva. Tervolan Kaitaharjusta

7.2 Tapausesimerkki massalaskennasta

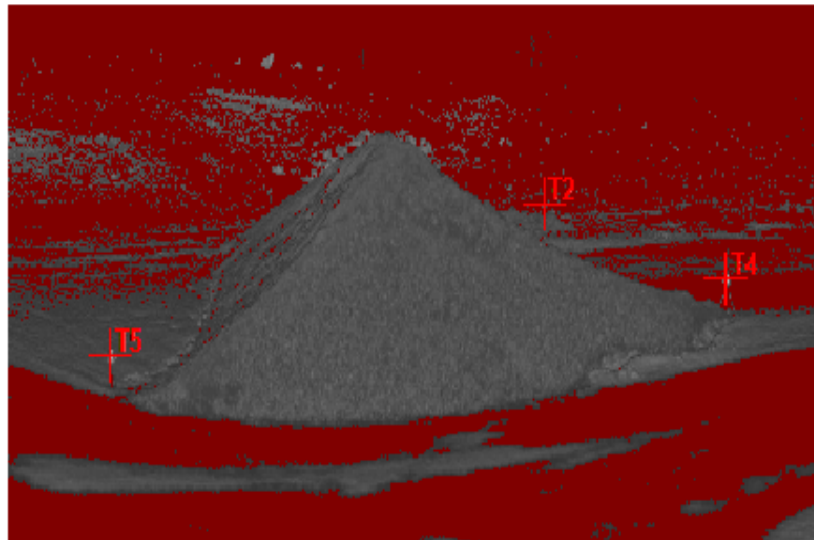
Tapausesimerkin massalaskenta suoritettiin RealWorksSurvey-ohjelmistolla. Saatuja tuloksia verrattiin 3D-Win-ohjelmistolla ja Trimble Businesscenter:llä tuotettuihin vertailutuloksiin. Maalaserkeilaus suoritettiin Tervolan Kaitaharjun-sora-alueella. Maa-aineskasa laserkeilattiin kolmesta eri asemapisteestä käyttäen käännettäviä tähyksiä. Tähykset sijoiteltiin siten alueelle, että niiden etäisyys laserkeilaimeen ei ollut yli 30 metriä ja keilauksien välillä käytettiin tähyksiä siten, että keilauksien välissä oli vähintään yksi yhteinen tähyks. Alla olevassa kuviossa numero 15 on eritelty maalaserkeilaimen asemapisteiden sijainti. Tähykset sijoiteltiin maastoon siten, että keilauksen aikana käytettiin vähintään kolmea tähyistä yhdellä asemapisteellä.



Kuvio 15. Maalaserkeilaimen asemapisteiden sijainnit esimerkkitapauksessa.

Z+F lasercontrol-ohjelmistolla keskistettiin ja nimettiin tarkkuus-GPS:llä mitatut tähyksien sijainnit edellä mainittujen ohjeiden mukaisesti. Tähyksien koordinaattitiedot syötettiin 3D-Winiin, jossa suoritettiin Caplan-formaattiin muunnos, tämän jälkeen tähykset keskistettiin "fit to target-toiminnolla" antamalla tähyksille sama nimi, kuin Caplan-formaatissa. Lisäksi tähyksien rekisteröinnin tarkkuutta paranneltiin osoittamalla ja keskistämällä tähykset Z+F lasercontrol-ohjelmiston toimintojen avulla. Kuviossa 16 havainnollistetaan tähyksien sijaintia maa-aineskasaan nähden. Tähykset numeroitiin mittausjärjestyksen

mukaan. Kuvio numero 16 on laserkeilattu asemapisteeltä numero kolme. Alla olevassa kuviossa numero 16 on lisäksi eriteltyä, ohjelmiston antamat keskimääräinen poikkeavuus, standardi poikkeavuus ja maksimaalinen poikkeavuus kyseisen massalaskennan osalta.



Summary:

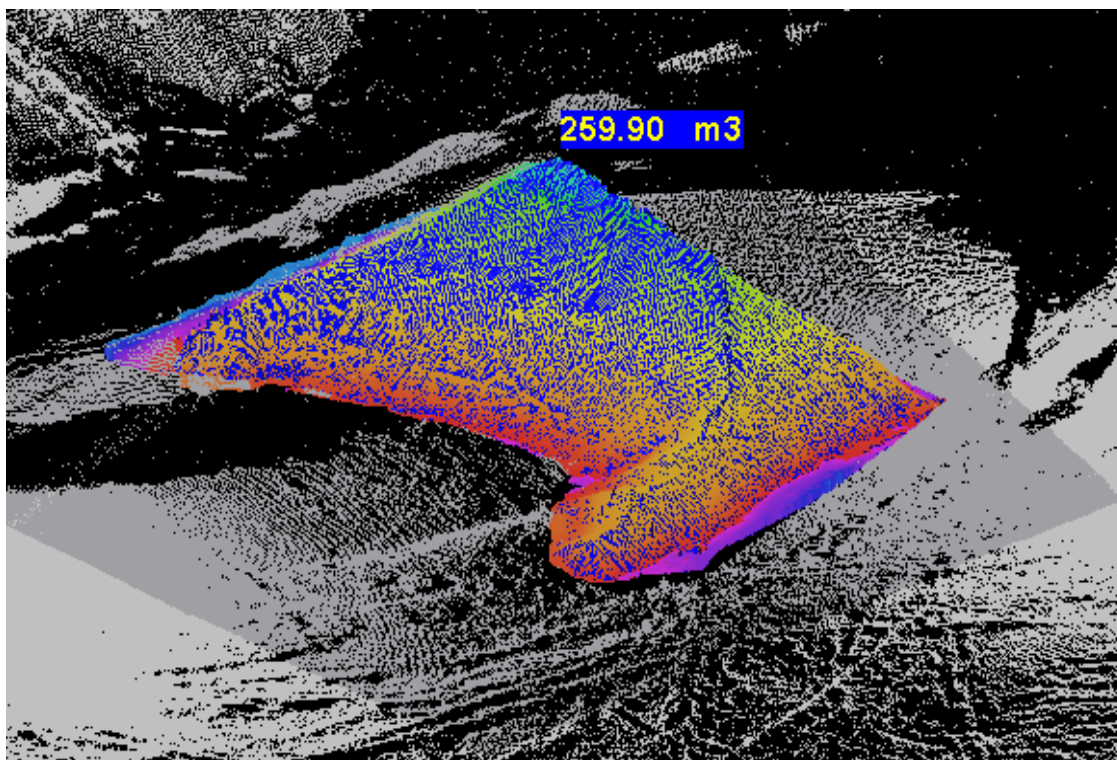
0 of 10 Targets whose deviations are greater than the defined threshold 70.0 mm	
Total number of targets	10
Number of disabled targets	0
Average Deviation	34.6 mm
Standard Deviation	21.3 mm
Maximal Deviation	69.3 mm

Kuvio 16. Z+F lasercontrol ohjelmistosta otetut kuvakaappaukset tähyksien sijainnista ja mittauksen tarkkuudesta.

RealWorkSurvey-ohjelmistolla suoritettiin edellä mainittujen ohjeiden ja toimintojen mukaisesti pistepilven muokkaaminen. Aineistosta poistettiin ylimääräiset pisteet, lisäksi maa-aineskasan pohja eroteltiin suuremmasta pistepilvestä, jotta vertailutaso olisi helpompi määrittää. Pienemmät pistepilvet eroteltiin omiksi elementeiksi, jotta mallin ja vertailupinnan massojenlaskenta tuloksesta saataisiin mahdollisimman realistinen.

Muokattuun pistepilveen luotiin kolmiointiverkko Mesh-toiminnolla, joka helpottaa massojen laskentaa. Kolmiointiverkon luonnin jälkeen massat laskettiin "Volume calculation tool-toiminnolla". Massat laskettiin määrittämällä ohjelmis-

tosta vertailutaso kolmea vertailupistettä käyttäen, jolloin pohjaksi muodostuu tasainen taso. Mikäli massalaskenta malliin jää aukoja, ne voidaan täyttää ”Fill holes-toiminnolla”, mikäli kolmioverkko on luotu. Kolmioverkko yhdistää toisiinsa lähellä olevat pisteet tasaiseksi verkoksi, mikäli pisteet ovat riittävän lähellä toisiaan. Ohjelmistossa aukko kohdat jäävät mustaksi, joten ne on helppo havaita värikkästä mallista. ”Fill holes-toiminnolla” massat lasketaan kolmioverkon ja vertailutason mukaan, jotta tuloksesta tulisi mahdollisimman tarkka.



Kuvio 17. RealWorksSurvey:n avulla toteutettu massalaskenta Mesh-verkon, eli kolmiointiverkon avulla laskettuna.

7.3 Massalaskenta tuloksien vertailu

Maalaserkeilaimen avulla tuotetulle massalaskenta aineistolle suoritettiin niin sanottua laadunvalvontaa kohteiden välillä, eli samat maa-ainekasat laskettiin uudestaan tarkkuus-GPS:ää käyttäen, lisäksi massojenlaskentaa suoritettiin vertailutuloksien saamiseksi eri ohjelmistoilla, kuten 3D-Win:illä ja Trimble Businesscenterin avulla. Vertailutulokseksi saatiin 3D-Win:in avulla laskettuna 258 m³ ja Trimble Businesscenteriä käyttäen kasan kuutiotilavuudeksi määriteltiin 260,8 m³. Vertailutulokset löytyvät liitteestä numero 2 ja 3.

Maa-aineskasan mittauksessa laitteistona käytettiin Trimble R8 tarkkuus-GPS:ää. Tuloksien vaihtelu johtuu todennäköisesti kolmiointiverkon luonnista ja siihen käytettyjen arvojen muun muassa kolmioinnin sivupituuden arvon erilaisista määrittämisistä. Mielestäni tulokset ovat kuitenkin positiivisia ja riittävän lähellä toisiaan. Laserkeilaimella tuotettu tulos: 259.90 m³ osuu vertailutulosten välimaastoon, joten on oletettavaa, että tulos on oikean suuntainen ja luotettava.

RealWorkSurvey-ohjelmiston käyttämä massalaskenta-algoritmi on kuitenkin hieman ongelmallinen, koska laskentaan käytettävien mallipintojen on oltava niin sanottuja aukottomia pintoja eli pieniäkään reikiä mallinpinnassa ei sallita, muutoin mitattavan alueen kohdalta ei kerry massaa lainkaan, eli yläpinnan ja alapinnan tulee olla RealWorkSurvey-ohjelmistossa yhtä suuret ja aukottomat. Laskenta perustuu sen jälkeen neliömäisiin tasapäisiin pilareihin, jotka ohjelma muodostaa kahden pinnan välille. Maa-aineskasa laskettaessa tulee lisäksi muistaa, että pohjanmuotoa ei voida tietää tarkasti, joten laskentatulos on aina jonkin sorttinen arvio kasan maa-aines määrästä. Lisäksi kasan todelliseen maa-aineksen määrän määrittämiseen käytetään erilaisia kasakertomia, kuten tiivistymiskerrointa, jotta maa-ainesten määrä saataisiin tarkasti määritettyä. Maa-aineskasojen massalaskennat lasketaan pääsääntöisesti tämän vuoksi kuutioina, jotta erilaisten kertoimien käyttäminen olisi näin helpompaa. Jokaisella murskelaadulla on omakasakerroin, jota tulee käyttää kasan tilavuuden määrittämiseen kuutioista tonneiksi.

Mahdollisia muita virheitä, joita voi esiintyä maalaserkeilaimella tehtävässä massalaskennassa, aiheutuvat yleensä muun muassa mittausolosuhteista, ohjelmistojen tekemistä virheistä, mittausvirheistä tai mittausdatan puutteesta. Olosuhteisiin liittyviä virheitä voi esiintyä esimerkiksi, jos keilataan lumisissa tai muuten vaikeissa olosuhteissa, esimerkiksi silloin, kun ilmassa leijuu paljon pölyä, jolloin laserkeilauksen raakadataan tulee paljon virheellistä dataa tai mittausdata jää jopa kokonaan puuttumaan alueelta. Maalaserkeilaimella on lisäksi vaikeaa tai jopa mahdotonta mallintaa vettä, koska lasersäteet eivät heijastu vedestä takaisin normaalisti ja näin ollen lasersäteet heijastuvat veden pinnasta pois erilalla, kuin verrattuna normaaliin kiinteään pintaan. Mal-

linnuksessa aiheutuvat virheet johtuvat siitä, että osa maa-ainekasasta ei syystä tai toisesta ole tullut mukaan keilattuun pistepilveen, jonka vuoksi massalaskennasta saatu tulos ei ole realistinen, jos pistepilvessä oleva aukko on liian suuri. Pienempiä katve-alueita, voidaan kolmioida RealWorksSurvey-ohjelman aputoimintojen kuten mesh-verkon luonnin avulla, joka vähentää mahdollista massalaskenta virhettä kolmioimalla mallinpinnan.

7.4 Maa-ainekasan tilavuuden määrittäminen Morenia Oy:ssä

Morenia Oy:ssä on luotu sisäiset toimintaohjeet vuoden 2012 aikana, niin alirakoitsijoille, kun Morenia Oy:n omalla murskauslaitokselle maa-ainekasojen inventoinnin helpottamiseksi. Varastoalueen läjitykseen liittyen maa-ainekset kasataan kasoihin sellaisilla menetelmillä, joilla estetään maa-aines tuotteiden lajittuminen ja likaantuminen. Varastopaikkaa valmisteltaessa on huolehdittava, että maa-ainekasan pohjasta tehdään tarpeeksi tasainen tarpeettoman hukan välttämiseksi. Lisäksi varastoitavan kasanpohjalle tulee kasata hienompaa maa-ainesta, jotta pystytään takaamaan tuotteen tasalaatuisuus. Maa-ainekset tulee lisäksi kasata ja koota kerroksittain, jotta maa-aineksien sekoittuminen ja vyöryminen pois kasasta estetään. Näin ollen helpotetaan myös maa-ainesten inventoinnin suorittamista tekemällä kasoista suhteellisen säännöllisen muotoisia ja ennen kaikkea tasalaatuisia. Morenia Oy:n Urakoitsijan käsikirjassa kielletään lisäksi kasanreunan yli kippaaminen ja varastointi päätypengermään, jotta maa-ainekasojen pohja pysyisi mahdollisimman tasaisena. Lisäksi liian korkeat varastokasat kielletään tarpeettoman työturvallisuusriskin ja lajittumisriskin vuoksi. Maa-ainesten inventoinnissa on lisäksi otettu käyttöön niin sanottu tarkastuskortti, jossa määritetään keskimääräiset kuutio kertoimet eri maa-ainelajikkeille ja prosentuaaliset hävikkimäärät, jolloin tulee ryhtyä erilaisiin selvityksiin ja toimenpiteisiin, lisäksi kasainventointi tulisi käsikirjan mukaan suorittaa maa-ainetalueella vähintään kahden vuoden välein. (Karhu 2012,11–18).

8 MAALASERKEILAIMEN KÄYTTÖ ERI MITTAUSTOIMENPITEISSÄ

8.1 Maalaserkeilaimen avulla toteutettu nykytilannekartoitus

Maalaserkeilaimella on mahdollista suorittaa myös muita mittaustoimenpiteitä, kuin massalaskentaa. Maalaserkeilaimen avulla kartoitettiin esimerkiksi uusi suunniteltava maa-ainesalue ja alueelle tehtiin lisäksi erilaisia rintauksen massalaskentoja. Mittaustoimenpiteinä nämä mittaukset olivat hyvin samankaltaisia valmistelevien toimenpiteiden osalta, eli tähykset aseteltiin maastoon siten, että ne olisivat mahdollisimman vähän kartoitettavan alueen tiellä. Mittausohjelmistoina käytettiin samoja ohjelmistoja, kuin massalaskenta tapausesimerkkissä. Tähyksien mittaus suoritettiin takymetrin avulla, jolloin päästään hieman tarkempaan mittaustulokseen. Lopullinen aineisto toteutettiin ja tulostettiin RealWorksSurvey-ohjelmistolla. Lopputuloksena toteutettu kartta liitettiin maa-ainesluvan hakukansioihin. Nykytilanteen kartoituksen kartta löytyy liitteestä numero 4.

8.2 Maa-ainesalueen luvituksen tekeminen

Maa-ainesalueen luvituskartoituksessa tavoitteena on saada mahdollisimman realistinen ja ajantasainen kartoitus ympäröivästä maa-ainesalueesta. Maalaserkeilaimen avulla suoritettiin tapausesimerkkinä nykytilanteenkartoitus Tervolan Pukinselän kallioalueelle. Pukinselän kallioalue oli vanhaa maa-ainesten ottoaluetta, josta oli jo aikaisemmin louhittu ja murskattu maa-ainesta. Alueelle ei ollut suoritettu asianmukaisia maisemointi toimenpiteitä, koska kyseessä oli jatkoluvan luvittaminen ja hakeminen. Tämän vuoksi alueelle oli jäänyt jyrkkiä seinämiä ja isoja irtokivilohkareita, jotka vaikeuttivat takymetrillä suoritettua mittaamista huomattavasti. Turvallisuusohjeistuksen mukaan seinämien mittaaminen prisma-sauvalla tai tarkkuus-GPS:llä on kielletty putoamisvaaran vuoksi. Lisäksi mittaamista vaikeutti kallioalueelle runsaasti kertynyt pintavesi, joka on yleistä kallion louhinta-alueilla.

Edellä mainittujen lähtötietojen pohjalta mittaus suoritettiin maalaserkeilainta käyttäen. Takymetri orientoitiin alueelle sijaitsevien korkopisteiden avulla

koordinaatistoon. Orientoinnin jälkeen tähyksiä sijoitettiin alueelle neljä kappaletta siten, että niiden välinen etäisyys maalaserkeilaimen ei kasvaisi yli 30 metrin. Huonoimmalla sijaintitarkkuudella sijaitseva tähykarsittiin pois orientoinnista. Maalaserkeilaimen avulla tehtiin kaksi erilaserkeilausta alueelta, jotta mittaukseen jäisi mahdollisimman vähän katvealueita. Tähykset sijoitettiin käännettäville pakkokeskistysjalustoille, jotta tähyksiä voitaisiin kääntää optimaalisiin asentoihin mittauksien välillä.

Pistepilven editointi suoritettiin hyvin samalla tavalla, kuin massalaskenta tapausesimerkissä. Aineistosta karsittiin suodattamalla virheellisiä tai turhia pisteitä pois, lisäksi pistepilven kokoa rajattiin Subsample-toiminnolla raakadatan paljouden rajoittamiseksi. RealWorkSurvey-ohjelmistolla rajattu ja siistitty pistepilvi käsiteltiin korkeuskäyrien muodostamis-työkalulla, eli ”contouring tool-toiminnolla”. Toiminnolla pystyttiin määrittämään korkeuskäyrien haluttu lähtötaso ja käyrien intensiteetti, eli toistuvuus. Korkeuskäyriä tuli lisäksi muokata siten, että yksittäisiä hajapisteitä ei saanut olla mallinnettavalta alueella, koska laserkeilain tallentaa jokaiselle mitatulle pisteelle koordinaatit, jolloin korkeusprofiilista tulisi virheellinen. Pisteitä muokkaamalla ja piilottamalla alueen nykytilanteesta saatiin näillä toiminnoilla luotettava korkeusprofiili-malli tehtyä. Tervolan Pukinselästä tehty korkeusprofiili-malli on esitelty liitteessä numero 4.

Kartoitettavan alueen seinämistä tehtiin lisäksi ositeltu massalaskentamalli, josta nähtiin muun muassa seinämässä olevien irtokivien kuutiolaskennallinen määrä, joka helpottaa alueen isojen kivien ja lohcareiden tilavuudenarviointia. Massalaskenta määrät tässä tapauksessa perustuvat arvioihin, koska maan sisällä olevan kallion lujuutta ei voida arvioida maalaserkeilaimen tuottamista mittaustuloksista. Massat lasketaan kiviseinämän osalta, jonka jälkeen voidaan arvioida halutun leikkaustason avulla kiviaineksen kuutiotilavuuden määrä. Toimenpiteenä massalaskennan määrittäminen suoritettiin samoilla työkaluilla, kuin massalaskenta tapausesimerkissä.

9 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin maalaserkeilaimen erilaisia käyttömahdollisuuksia maa-ainesalueilla suoritettaviin mittauksiin. Opinnäytetyössä pyrittiin selventämään tapauskohtaisesti tiettyjen ja keskeisten maa-ainesalueen mittaustoimenpiteiden suorittamista ja niiden mahdollisuutta maalaserkeilaimen avulla. Opinnäytetyössä pyrittiin lisäksi selventämään maa-ainesalueen käsitettä erittelemällä maa-aines alueen lainsäädännöllistä eroa esimerkiksi paljon julkisissa medioissa olleiden kaivosten osalta. Maa-aineslaki ei ole tekemisissä kaivoslain kanssa ja maa-ainesten ottamista ympäristöstä säätelevät maa-ainesten ottamislaki, ympäristöasetukset ja kunnan valvontaviranomaiset.

Maalaserkeilauksessa keskityttiin Zoller & Fröhlich Imager 5006 -laitteistolla mittaamiseen, koska se oli helposti saatavilla Rovaniemen ammattikorkeakoulusta. Ohjelmistot, joilla mittaukset suoritettiin, ovat myös Rovaniemen ammattikorkeakoulun käytössä. Mittauslaitteistoja ja ohjelmistoja on varmasti satoja erilaisia, mutta opinnäytetyössä laitteiston ja ohjelmistojen valinnalla pyrittiin selventämään, että näiden toimenpiteiden suorittaminen on mahdollista maalaserkeilainlaitteistojen avulla. Opinnäytetyötä tehdessä kävi myös ilmi, että käyttämäni kyseinen Zoller+Fröhlichin Imager 5006 -laitteistoa ei varsinaisesti ole suunniteltu ulkoilmassa tehtäviin maastomittauksiin, vaikka sopivissa olosuhteissa laitteen käyttö on mahdollista. Lisäksi Rovaniemen ammattikorkeakoulussa käytössä oleva RealWorksSurvey-ohjelmisto ei sovellu parhaalla mahdollisella tavalla massalaskennan tekemiseen, koska nykyisin on saatavilla helpommin käytettäviä ohjelmistoja kuten Surpack tai RiScan.

Opinnäytetyön aikana itselleni selveni myös, että mittaukset voitaisiin ainakin osaltaan suorittaa myös ilmalaserkeilauksen avulla. Opinnäytetyössä haluttiin kuitenkin keskittyä maalaserkeilaimen käyttöön, koska kyseistä tekniikkaa oli tutkittu lähtötietojen perusteella vähemmän. Omien käyttökokemuksien mukaan maalaserkeilainta käyttämällä maastossa käytettävä mittausaika lyhenee jonkin verran, mutta vastaavasti taas aineistojen editointi vie enemmän aikaa

verrattuna muihin mittaustekniikoihin, joten merkittävää ajallista säästö maalaserkeilaimella mitattaessa ei siis synny. Tosin maalaserkeilaimen tallentama data eli tietomäärä kyseisestä mitattavasta alueesta on huomattavasti suurempi kuin perinteisillä mittausten menetelmillä toteutettuna. Lisäksi nykyaikaisempia mittausohjelmistoja käyttäen laserkeilatun datan käsittelyminen on huomattavasti helpompaa valmiiden toimintojen avulla, mikä taas lyhentää aineiston editointiin käytettävää aikaa.

Maalaserkeilaimella tuotetun raakadatan käyttöön liittyy myös hieman ongelmia. Raakadataa syntyy jo yksittäisestä laserkeilauksesta valtavasti, minkä vuoksi pistepilviä pitää karsia tai harventaa. Pistepilven karsiminen on työläs toimenpide, joka vaatii tietokoneelta paljon tehoa. Ohjelmistoihin perehtyminen on lisäksi iso ja aikaa vievä toimenpide, joka vaatii mittajaalta tiettyä ammattitaitoa ja kärsivällisyyttä. Opinnäytetyössä mielestäni kuitenkin saatiin selvennettyä, että maalaserkeilauksen käyttö maa-ainesalueita mitattaessa on mahdollista ja siihen on olemassa valmiita mittausteknisiä ratkaisuja ja massalaskentaan tarkoitettuja ohjelmistoja. Maalaserkeilaimen hankinnassa onkin tärkeä muistaa, että erilaisia ohjelmistoja ja laitteistokokonaisuuksia on paljon. Laitteistoilla on teknisesti monia eri mittaustapoja ja kaikki mittaustavat eivät sovellu esimerkiksi maa-ainesalueilla tehtävien mittauksien suorittamiseen niin hyvin, kuin toiset. Laserkeilausdatan käsittelyyn tarkoitetuilla ohjelmistoilla on lisäksi eroavaisuuksia, esimerkiksi ohjelmistojen laskenta-algoritmeissa on eroja eri ohjelmistovalmistajien välillä, joiden rajoitteet tulee myös ottaa huomioon laitekokonaisuuden hankinnassa.

10 LOPPUPÄÄTELMÄT

Opinnäytetyössäni Morenia Oy:n toimeksiannosta oli myös tarkoitus pohtia laitteen mahdollista hankintaa kyseiseen organisaatioon. Mielestäni nykyaikaisen maalaserkeilaimen hankkiminen olisi järkevää maa-ainesalueiden suunnittelun ja maa-ainesalueiden inventointien kannalta, koska maa-ainesalueita koskeva lainsäädäntö tiukentuu jatkuvasti. Maalaserkeilaimella pystytään tuottamaan nopeasti ja tarkasti dataa ympäröivältä alueelta, mikä helpottaa maa-ainesalueiden suunnitteluprosessia. Lisäksi maalaserkeilainta pystytään käyttämään kattavasti myös muihin maa-ainesalueilla suoritettaviin mittauksiin. Maa-ainestoiminnan kausiluontoisuudesta johtuen maalaserkeilain-laitteiston hankinta kannattaisi mielestäni suorittaa ainakin aluksi vuokraamalla, jolloin laitteesta maksetaan todellisten käyttökuukausien mukaan.

Maalaserkeilaimen hankinnassa tulee lisäksi muistaa, että laserkeilausdatan käsittelyyn tarvitaan aina siihen suunniteltu laserkeilausohjelmisto. RealWorksSurvey on yksi mahdollisista ohjelmista ja se toimiikin suhteellisen hyvin laserkeilausdatan käsittelyssä ja kartoitusten analysoinnissa. Massalaskenta toiminnossa kuitenkin RealWorksSurvey:ssa on tiettyjä puutteita johtuen ohjelmiston massalaskennan laskentaperiaatteesta. Massalaskennassa RealWorkSurvey-ohjelmiston laskentaperiaate perustuu neliömäisten ja tasapäisten pilareiden massalaskentaan, jotka ohjelmisto luo kahden pinnan välille, jolloin mallipintojen on oltava niin sanottuja aukottomia pintoja eli pieniäkään reikiä mallin pinnassa ei sallita, muutoin mitattavan alueen kohdalta ei kerry massaa lainkaan. Toisin sanoen ohjelmiston käyttö oli nykyohjelmistoja verrattaessa työläämpiä ja vaikeammin toteutettavissa oleva mittausteknisesti. Tämän vuoksi suosittelen nykyaikaisemman ohjelmistokokonaisuuden hankintaa. Tällaisia ohjelmia ovat esimerkiksi kaivoksilla yleisessä käytössä oleva SurPack ja RiScan. (Heinonen, 2013.)

Opinnäytetyössä selvitin laitteiden ja ohjelmistojen hankintamahdollisuuksia Nordic Geocenterin kautta, joka on 3D- laserskannereiden maahantuontiin, myyntiin ja käytön koulutukseen keskittynyt yritys. Nordic Geocenterin edustajan Hannu Heinosen kanssa käydyssä sähköpostikeskustelussa ilmeni käyt-

tämieni laitteiden ja ohjelmistojen puutteita. Zoller & Fröhlich Imager 5006 -laitteisto on vaihe-eromittaukseen perustuva laserkeilain. Laitteisto on varsinaisesti suunniteltu sisätilamittauksiin ja laitossuunnitteluun, jonka vuoksi laitteiston vesi- ja pölytiivisyys ei täytä ulkoilmamittauksiin tarkoitettujen laitteiden suosituksia. Edellä mainittujen asioiden vuoksi maalaserkeilaimen suositellaan olevan pöly- ja vesitiivis, sekä varsinaisesti ulkoilmamittaukseen suunniteltu laite, jolloin mittausolosuhteissa ei ole käytännössä rajoituksia. Kaivos ja avolouhoksien mittaamiseen on suunniteltu jo nykyisin omanlaisia laitteistoja. Tällaisten laitteiden valmistajia ovat esimerkiksi: Itävaltalainen Riegl, Kanadalainen Optech ja Australialainen I-Site.

Kanadalainen Riegl on tällä hetkellä tämän muotoisen maalaserkeilauksen markkinajohtaja. Kaikissa Riegl:in malleissa on sisäänrakennettu GPS-vastaanotin ja elektroninen kompassi. Riegl:in mittaustekniikka perustuu niin sanottuun Full Wave Form-tekniikkaan, eli täyden aallonmuodon analyysin perustuvaan nopeaan monipistemittaukseen. Riegl:llä on lisäksi mallistossa useita maalaserkeilaimia, joista uusin mittaa jopa 6 kilometrin matkalle. Sisäänrakennetun GPS:än ansiosta mittaaminen suoritetaan pääasiassa ilman tähyserkkeitä ja aineistot rekisteröityvät toisiinsa karkeasti automaattisesti keilauksen aikana. Maalaserkeilaimen 360-asteen keilaukseen menee ajallisesti noin 2-5 minuuttia keilaimen asetuksista riippuen. Mittaustarkkuutta voidaan parantaa sitomalla mittaukset koordinaatistoon tähysten avulla. Maalaserkeilain löytää automaattisesti heijastavat tähykset ja suorittaa karkeanskannauksen tähyksiin, sekä liittää vierekkäiset keilainasemat toisiinsa automaattisesti, jolloin mittaaja voi tarkastella tuloksia jo mittausprosessin aikana. (Heinonen, 2013.)

Riegl:in maalaserkeilain laitteistot ovat ominaisuuksiltaan suunniteltu ulkoilmamittaamiseen ja niiden ominaisuudet sopivat lisäksi suurienkin maa-ainesaluekokonaisuuksien keilaamiseen pitkän toimintasäteen vuoksi. Laite ohjelmistojen hankinnassa tulee muistaa, että maalaserkeilain ja sen ohjelmisto tulevat usein laitevalmistajalta laitteistokokonaisuutena. Esimerkiksi Riegl:in maalaserkeilain paketteihin kuuluu vakiona RiScan-ohjelmisto, joka sisältää masalaskennat, korkeusmallit ja maastotulosteet. Ohjelmistolla on myös mahdol-

lista viedä mittausdataa esimerkiksi SurPack:in, MicroStationiin ja AutoCadiin jatkokäsittelyä tai pistepilviaineiston mallintamista varten.

Maalaserkeilaimen valinnassa suosittelen edellä mainittujen perusteluiden johdosta maa-ainesalueiden suunnitteluun käytettäväksi Riegl:in laserkeilauskokonaisuutta tai muuta vastaavaa maalaserkeilain kokonaisuutta, joka on suunniteltu samankaltaisiin mittausolosuhteisiin ja mittaustarkoituksiin.

LÄHTEET

- Ala-aho, K. Insinööriyön painotuote. Maa-ainesammattilaisen ympäristö ABC, 7. Luettavissa osoitteessa morenia.fi 14.12.2012.
- Haggrén, H - Rönholm, P. 2004. Optinen 3D-mittaus ja laserkeilaus. Luentomateriaali. Luettavissa osoitteessa:
http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/301_10_2004.pdf
- Heinonen, H. 2013. Manager Geodesist. Sähköpostikeskustelu. 23.1.2013.
- Heiska, N. 2009. Universaaliskanneria etsimässä eli miten valita maalaser keilain. Maankäyttö 1/2009, 30-35.
- Iivonen, K. 2008. Laserkeilauksen hyödyntäminen infrarakentamisessa, 6-11. Opinnäytetyö. Metropolia
- Joala, V. 2006. Esitelmä. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Luettavissa osoitteessa: <https://docs.google.com/file/d/0B3MfAqwXowlN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGMylTikOWUtNTQzMdIwZTI3NDVm/edit?hl=en&pli=1>. Luettu 10.10.2012.
- Joala, V. 2003. Maanmittuspäivien julkaisut. Laserkeilaimen toimintaperiaatteet ja kalibrointi. Luettavissa osoitteessa:
<http://mts.fgi.fi/paivat/2003/paperit/joala.pdf> Luettu 1.3.2013
- Jussila, V. 2009. Stop & Go Scanning -menetelmän virhelähteet ja niiden vaikutus mittaustuloksen tarkkuuteen, 8-9. Opinnäytetyö. Ramk.
- Karhu, J. 2012. Urakoitsijan käsikirjan Morenia Oy:n työmaille, 11-18.
- Koski, J. 2001. Laserkeilaus - uusi ulottuvuus paikkatiedon keräämiseen. Maankäyttö 4/2001, 24 - 26.
- Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Erikoistyö. TKK. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio. 2005.
- Laurila, P. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Rovaniemen ammattikorkeakoulu, 236.
- Morenia Oy 2012. Yritysesittely. Osoitteessa www.morenia.fi, Luettu 10.12.2012.
- Nordig Geocenter. Osoite: <http://www.geocenter.fi/>. Luettu 20.12.2012.
- Nurmela, J. 2006. Selvitys maa-ainesalueiden liiketoimintasiirtoprosessista tapaus esimerkkinä Morenia Oy. Opinnäytetyö.

- Nurmela, J. 2011. Kalvosarja. Morenia Oy:n yritysesittely Metsähallituksen esittelypäivillä kesäkuussa 2011.
- Mäkelä, L.2010. Zoller+ Frölich manuaali- 3D-Win caplan-formaatin luonti. Käyttömanuaali.
- Santaluoto, O. 2012. 3D-skannaukseen perehtyminen, 15. Opinnäytetyö
Metropolia
- Simonen, J. 2012. Maalaserkeilaus infrarakentamisen mittauksissa, 36-37. Diplomi-insinöörityö. Aalto-yliopisto
- Ymparisto.fi, 2012, maa-ainesten ottaminen osoitteessa:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=20397&lan=fi#a0>
luettu 12.12.2012
- Ymparisto.fi 2012, maa-ainesten ottomäärä osoitteesta:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=414539&lan=FI>) luettu:
12.12.2012
- Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2009, 25–26. Ympäristöhallinto
- Ympäristöopas nro85 2001, 32–34. Ympäristöhallinto

LIITEET:

Liite 1: Rekisteröintitarkkuuden eroavaisuudet takymetrillä ja tarkkuus-GPS:llä mitattuna. (Vasemmanpuoleinen rekisteröinti on tehty takymetrillä ja oikeanpuoleinen tarkkuus-GPS:llä.)

Register project

Report

Result Report Logging Targets Viewer

2	21.2	-20.4	-9.1	2.4
3	30.4	-30.2	2.5	2.6
4	34.0	32.0	11.4	0.6

Position of the Scanner

Scan-File	Position x [m]	Position y [m]	Position z [m]	Scale
Nr601 high 1832.zfs	1429.035	7678.783	206.174	1.0000

Deviation of the targets of the scan: Nr601 high 1832.zfs

Target	d [mm]	dx [mm]	dy [mm]	dz [mm]
6	7.7	-3.1	-7.1	-0.2
5	12.1	-4.2	11.3	0.3
4	7.3	6.2	-3.9	-0.4

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

Summary:

0 of 6 Targets whose deviations are greater than the defined threshold 35.0 mm	
Total number of targets	6
Number of disabled targets	0
Average Deviation	18.8 mm
Standard Deviation	11.6 mm
Maximal Deviation	34.0 mm

Threshold mm

Register project

Report

Result Report Logging Targets Viewer

T1	14.7	-10.7	10.0
T2	13.5	9.8	0.3

Position of the Scanner

Scan-File	Position x [m]	Position y [m]	Position z [m]
3.zfs	2440.580	1937.886	40.780

Deviation of the targets of the scan: 3.zfs

Target	d [mm]	dx [mm]	dy [mm]
T5	16.6	8.0	-13.8
T4	30.3	-6.6	29.1
T2	69.3	69.1	3.3

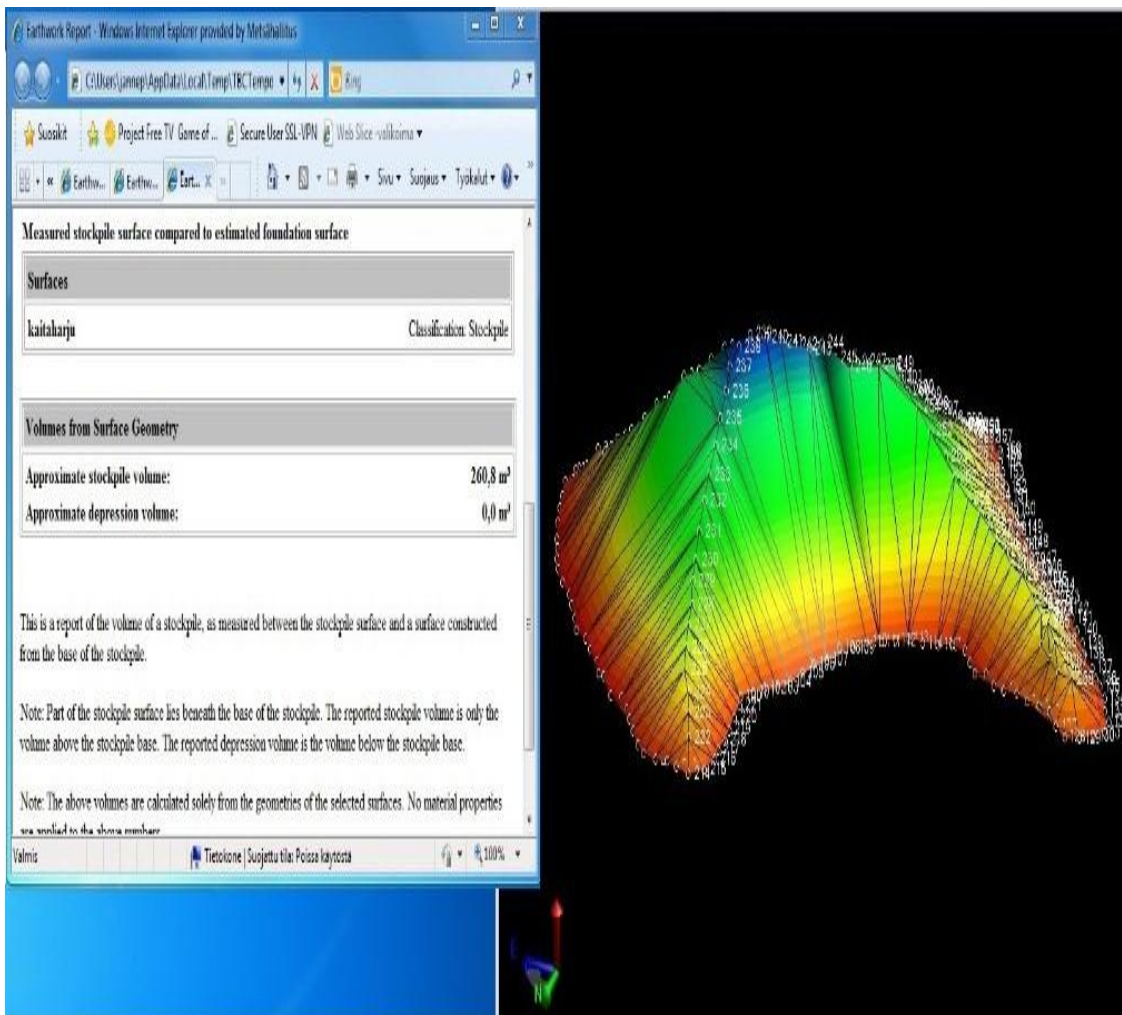
Standard Deviation of the Targets, with respect to the Totalstation-Data

Summary:

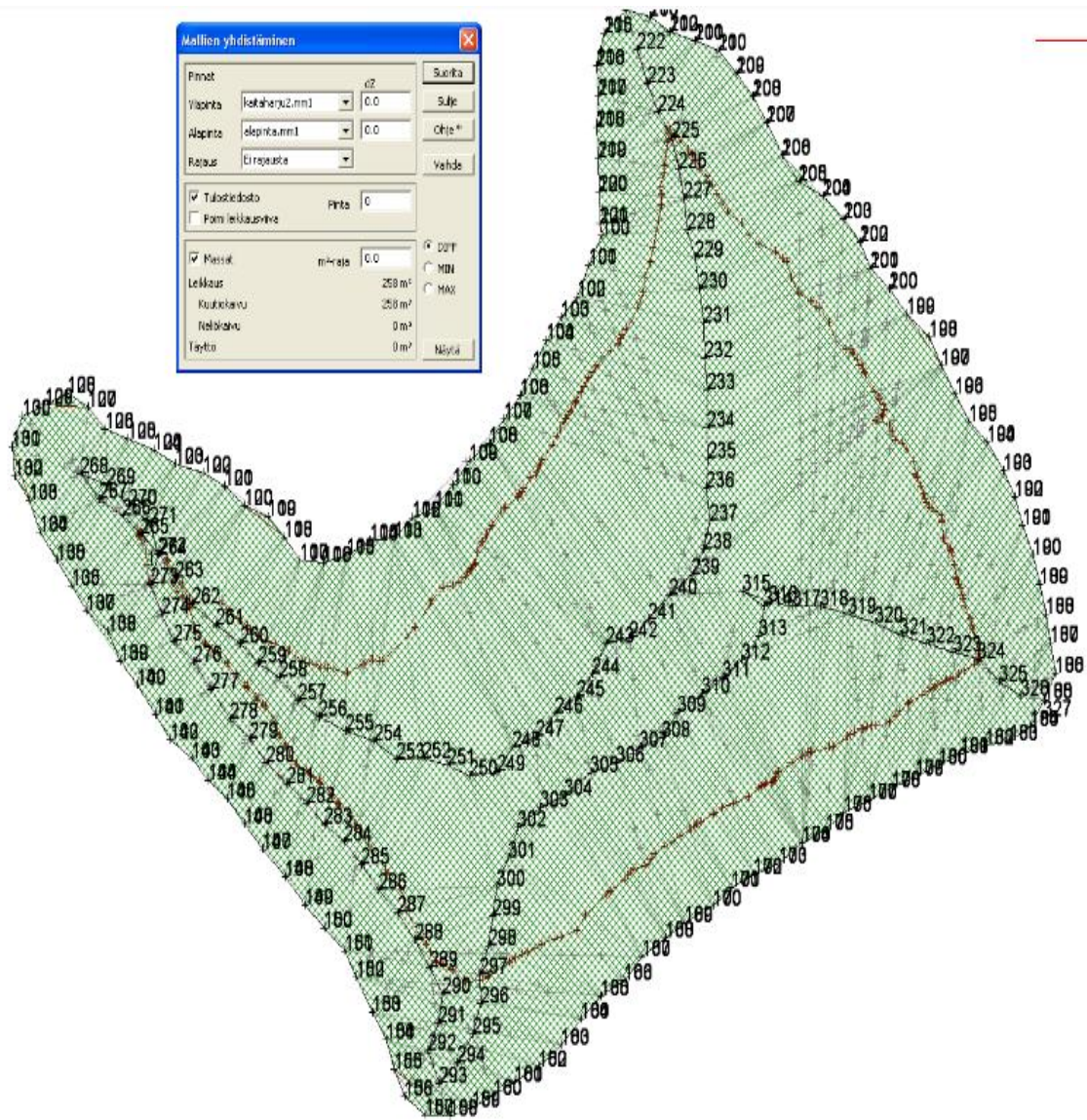
0 of 10 Targets whose deviations are greater than the defined threshold 70.0 mm	
Total number of targets	10
Number of disabled targets	0
Average Deviation	34.6 mm
Standard Deviation	21.3 mm
Maximal Deviation	69.3 mm

Threshold mm

Liite 2: Massalaskenta Trimble Businesscenter



Liite 3: Massalaskenta 3d-Win



Liite 4: Korkeusprofiili-malli

