

Mika Narinen

**MAANMITTAUSLAITOKSEN LASERKEILAUSAINIESTON  
HYÖDYNTÄMINEN YHDYSKUNTATEKNIKASSA**

**MAANMITTAUSLAITOKSEN LASERKEILAUSAINIESTON  
HYÖDYNTÄMINEN YHDYSKUNTATEKNIIKASSA**

Mika Narinen  
Kevät 2014  
Yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Yhdyskuntatekniikka

---

Tekijä: Mika Narinen  
Opinnäytetyön nimi: Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineiston  
hyödyntäminen yhdyskuntatekniikassa  
Työn ohjaaja: Terttu Sipilä  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014  
Sivumäärä: 59 + 3 liitettä

---

Opinnäytetyössä keskityttiin Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoon ja sen hyödyntämiseen. Tavoitteena oli saada lukija kiinnostumaan ja ymmärtämään laserkeilausaineiston edut ja mahdollisuudet.

Työ toteutettiin tutkimalla laserkeilausdatan sisältöä ja tekemällä aineistolla testejä ohjelmilla, jotka ymmärtävät las- tai laz-formaattia. Ensimmäiseksi tutkittiin las-tiedoston spesifikaatiota ja sen jälkeen hex-editorilla etsittiin las-tiedostosta kohta josta löytyy laserkeilausdata. Tämän jälkeen tutustuttiin erillaisiin keilausdataa hyödyntäviin ohjelmiin ja lopulliseksi työkaluksi valittiin Lastools, joka oli monipuolinen ohjelma, kun käsitellään las-tiedostoja. Viimeisessä työvaiheessa laserkeilausaineistoja testattiin Lastools-ohjelmalla.

Tuloksista ilmeni, että pistepilvestä saadaan paljon ja tarkkaa tietoa keilatusta ympäristöstä. Tien kaltevuuksia, korkeuksia ja tien painumista ympäristöön nähdessä voidaan mitata. Maastomalli kolmioverkkopinnalla ja korkeuskäyrillä on hyvä apuväline havainnollistamiseen ja mittaukseen. Laserkeilaus ei poista vielä pitkiin aikoihin mittamiesten ja tutustumiskäyntien tärkeyttä kentälle yhdyskuntasuunnittelussa.

---

Asiasanat: laserkeilaus, avoin aineisto, maanmittauslaitos, las, laz, Lastools, pistepilvi

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, Municipal Engineering

---

Author: Mika Narinen

Title of thesis: How to Exploit Laser Scanning of the National Land Survey in  
Municipal Engineering

Supervisor: Terttu Sipilä

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2014

Pages: 59 + 3 appendices

---

In the thesis the focus is on the lidar data of the National Land Survey and how to exploit it in Municipal Engineering. The target is to get the reader inspired and understand the benefits and possibilities in lidar data (a.k.a point cloud).

The thesis includes investigation of the content of the lidar files and testing of several LAZ files by software which can read LAS or LAZ file. First the LAS file specification was studied and then the location of the point cloud data in the LAS file was solved by hex-editor. Next several software were studied and the best piece of software was Lastools in this case, which is very multi functional. Finally tested several LAS files by Lastools.

The results showed how much good and exact information there is in lidar data. Several features of road could be measured directly from the point cloud data, like the slope of the road, the elevation of road etc. A terrain model with a triangle mesh and contours are very good features for visualizing and measuring. However, laser scanning does not obviate the on-site visit for a long time.

---

Keywords: Lidar, laser scanning, point cloud, lastools

## ALKULAUSE

Insinööri työ on tehty yhteistyössä Plaana Oy:n kanssa. Työn tarkoituksena oli tutkia, miten Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa voisi käyttää yhdyskuntasuunnittelussa, sekä syventyä siihen, mitä tietoa pistepilvessä on ja mikä on sen tarkkuus, käytettävyys ja hyödynnettävyys.

Haluan esittää kiitokseni Plaana Oy:n TJ. Pekka Mosorinille ja ins. Amk Toivo Kämäräiselle. Työnohjaajana oli Oulun ammattikorkeakoulun lehtori Terttu Sipilä, myös hänelle kiitokset työnohjauksesta ja luokanvalvojan roolista.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia insinööri työssäni avustaneita sekä kannustaneita henkilöitä. Erityiskiitokset kuuluvat Amk tuntiopettaja DI Pekka Leiviskälle, Maanmittauslaitoksen DI Juha Kareiselle.

17.4.2014 Mika Narinen

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO	10
2 AVOIN KARTOITUS- JA MITTAUSAINEISTO	11
2.1 MML avoin aineisto	11
2.2 Valtion muut avoimet maastotietoaineistot	13
2.3 Kaupunkien ja kuntien avoimet aineistot	14
2.4 Muut avoimet aineistot	14
3 LASERKEILAUS	15
3.1 Laserkeilain tyypit	16
3.2 Käyttökohteita	17
3.3 Täyden aallonmuodon laserkeilaus	17
3.4 Laserkeilauksen tulevaisuus	19
3.5 Kolmioverkkopinta	19
3.6 Las-standardi	20
4 MML:N ILMASTA SUORITETTU LASERKEILAUS	22
4.1 MML:n laserkeilaus aineiston käyttötarkoitus	22
4.2 Mittausspesifikaatio ja -tarkkuus	24
4.3 Laserkeilaimen ja keilauspisteiden sijainnin määrittäminen	25
4.4 Keilauksella saatava tieto	27
4.5 Pistepilven muokkausprosessi MML:ssä	28
4.6 Pisteiden luokittelu	30
4.7 Lopullinen pistepilvi	32
4.8 Keilauksen suunnitelmakartta	33
5 LASERKEILAUSAINEISTON HYÖDYNNETTÄVYYS	35
5.1 Pistepilven käsittely	36
5.1.1 Pistepilven hahmotus	37
5.1.2 Pistepilven suodatus	42
5.2 Suunniteltavan alueen käsittely	44
5.3 Suodatus tulvakartoituksessa	49
5.4 Aineiston parantaminen omaan käyttöön	50
6 LASERKEILAUSAINEISTOA HYÖDYNTÄVÄT OHJELMAT	51
6.1 Lastools	51

6.1.1 Avoimen lähdekoodin työkalujen kuvaus	52
6.1.2 Lisensoidun osan työkalujen kuvaus	53
6.2 Muut ohjelmat	54
7 POHDINTA	55
LÄHTEET	56
LIITTEET	59

## SANASTO

Beidou	Otava, Kiinalainen satelliittipaikannusjärjestelmä
DEM	Digital elevation mode, digitaalinen korkeusmalli
DSM	Digital surface model, digitaalinen maastomalli, kunkin pixelin arvona on sen korkeus
Espa-työasema	Stereovalokuvien ja ilmalaserkuvauksen käsittelyyn tarkoitettu tietokone
Galileo	Euroopan unionin ja Euroopan avaruusjärjestön yhteinen satelliittipaikannusjärjestelmä
GLONASS	Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja sistema, Venäläinen satelliittipaikannusjärjestelmä
GNSS	Global Navigation Satellite System, GNSS sisältää GPS, GLONASS, Galileo ja Beidou paikannusjärjestelmien satelliitit
GPS	Global Positioning System, Yhdysvaltalainen satelliittipaikannusjärjestelmä (NAVSTAR)
GTK	Geologian tutkimuslaitos
Heksadesimaaliluku	Kantalukujärjestelmä, jonka kantaluku on 16. Sitä käytetään yleisesti tietotekniikassa



IMU	Inertial Measurement Unit, inertiamittauslaite
Inertiamittauslaite	Sisältää 3 kiihtyvyyssanturia ja 3 gyroskooppia joilla voidaan seurata erittäin tarkasti kohteen siirtymistä, mutta vain lyhyitä matkoja
Interferometria	Sovelletun tieteen ala, jossa useista tietyn datatyypin syötetiedoista muodostetaan yhdistämällä parempi esitys
Las / Laz	Laser file, pistepilven tiedostoformaatti / Häviöttömästi pakattu las-tiedosto
LiDAR	Light Detection And Ranging, kaukokartoitus esim. laserkeilauksella
MML	Maanmittauslaitos
SAR	Synthetic Aperture Radar, suuren laskennallisen läpimitan tutka tai synteettinen tutka-antenni
TIF / TIFF	<i>Tagged Image File Format</i> on kuvien tallennukseen käytetty häviötön tiedostomuoto.
TM35FIN/N2000	Suomalaisissa maastokartoissa vuodesta 2005 alkaen käytetty karttaprojektio ja projektioon liittyvä tasokoordinaatisto. N2000 on Suomen uusi korkeusjärjestelmä

# 1 JOHDANTO

Työssä kerrotaan maanmittauslaitoksesta, lyhyesti laserkeilaimista, maanmittauslaitoksen suorittamasta laserkeilauksesta ja maanmittauslaitoksen tekemästä keilausaineiston muokkauksesta eli maanpinnan luokittelusta.

Laserkeilausaineisto antaa parempaa tietoa ympäristöstä kuin peruskartta tai ilmakekuva. Näin ollen pistepilven ja peruskartan avulla voidaan suunnitella alue paremmilla ja tarkemmilla lähtötiedoilla kuin pelkällä peruskartalla ja ilmakekuvalla. Näiden lisäksi voidaan käyttää myös muita avoimia aineistoja, kuten esimerkiksi geologianlaitoksen avoimia aineistoja. Ongelmana on ollut, kuinka käyttää tehokkaasti kaikkia avoimia aineistoja.

On tärkeää ymmärtää, miten maanpinnanluokittelua, kaikuja ja välikaikuja voi käyttää, kun käsitellään laserkeilausaineistoa. Työn yksi tavoite onkin selvittää sitä, miten laserkeilausaineistoa voisi hyödyntää edellä mainittujen perusteella.

Maanmittauslaitos (MML) on maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa toimiva viranomainen, joka tuottaa tietoa maasta. MML huolehtii maanmittaustoimituksista, kiinteistötiedoista, kartta-aineistoista sekä lainhuudoista ja kiinnityksistä. Näitä tietoja tarvitsevat niin yksityishenkilöt, yritykset kuin koko yhteiskunta. Toiminta kattaa koko maan Maarianhaminasta Ivaloon. Palveluksessa on noin 1 800 osaaajaa 35 paikkakunnalla. (1.)

## **2 AVOIN KARTOITUS- JA MITTAUSAINEISTO**

### **2.1 MML avoin aineisto**

Maanmittauslaitos avasi digitaaliset maastotiedot kansalaisten ja yritysten vapaaseen käyttöön. Avaaminen tarkoittaa sitä, että suurimmasta osasta digitaalisten maastotietoaineistojen käyttöoikeuksista ei peritä maksuja 1.5.2012 alkaen ja tuotteille annetaan ikuinen, vapaa käyttöoikeus. (2.) Maksullisina palveluina säilyvät edelleen aineistopalvelut, muun muassa kiinteistötietojärjestelmät ja kiinteistökaupan verkkopalvelut.

#### **Yleistä**

Maanmittauslaitos (jäljempänä Lisenssinantaja) on tietoaaineiston immateriaalioikeuksien haltijana myöntänyt lisenssin tietoaaineiston (tai sen osan) kopioon (jäljempänä aineisto) näiden käyttöehtojen mukaan.

Lisenssinsaajalla tarkoitetaan luonnollista tai juridista henkilöä, joka ottaa tämän lisenssin alaisen aineiston käyttöön, esimerkiksi kuka tahansa kansalainen.

Vastaanottamalla aineiston Lisenssinsaaja hyväksyy tämän lisenssin ehdot. (3.)

#### **Käyttöoikeus ja velvollisuudet**

Tämä on maailmanlaajuisen, maksuttoman, peruuttamattoman rinnakkaisen käyttöoikeuden myöntävä lisenssi, jonka mukaan Lisenssinsaajan vastaanottamaa aineistoa voi vapaasti kopioida, levittää ja julkaista, muokata ja hyödyntää kaupallisesti ja ei-kaupallisesti, yhdistellä muihin tuotteisiin ja käyttää osana sovellusta tai palvelua. Lisenssinsaajan on aineistoa levittäessään tai aineistoa sisältävän tuotteen tai aineistoa käyttävän palvelun yhteydessä mainittava Lisenssinantajan nimi, aineiston nimi ja ajankohta, jolloin Maanmittauslaitos on luovuttanut aineiston. Lisäksi on esitettävä tämän lisenssin kopio tai linkki siihen sekä vaadittava vastaavat maininnat luovuttaessaan kolmannelle oikeuksia aineiston kopioihin tai aineistoa sisältäviin tuotteisiin tai palveluihin ja poistettava Lisenssinantajan nimi on poistettava tuotteen tai palvelun yhteydestä, mikäli Lisenssinantaja sitä vaatii. (3.)

## Aineistotyypit

Avoimen aineistoon kuuluvat seuraavat materiaalit, jotka on esitetty taulukossa 1 (4.)

*TAULUKKO 1. Avoimen aineiston materiaalit (4)*

Laserkeilausaineisto
Maastokarttarasteri 1:50 000
Peruskarttarasteri
Maastotietokanta
Maastokartta 1:100 000
Maastokarttarasteri 1:100 000
Maastokartta 1:250 000
Maastokarttarasteri 1:250 000
Maastokarttarasteri 1:500 000
Ortoilmakuvat
Korkeusmalli 2 m
Korkeusmalli 10 m
Korkeusvyöhykerasteri
Vinovalovarjosterasteri
Taustakarttasarja
Yleiskartta 1:1 000 000
Yleiskartta 1: 4 500 000
Yleiskarttarasteri 1:1 000000
Yleiskarttarasteri 1:2 000000
Yleiskarttarasteri 1:4 500 000
Yleiskarttarasteri 1:8 000 000
Nimistö
Kuntajako

## 2.2 Valtion muut avoimet maastotietoaineistot

**Paikkatietoikkuna** on avoin ja mielenkiintoinen verkkosivusto, joka esittelee paikkatietoaineistoja ja -palveluja. Paikkatietoikkunassa käyttäjä pääsee selailemaan eri organisaatioiden tuottamia karttoja eri aiheista, kuten maastosta, kiinteistöjaotuksesta, maaperästä, maankäytöstä tai liikenneverkosta. Sivustolla on myös paikkatietoon liittyviä uutisia ja artikkeleja sekä tietoa alan tapahtumista. Lisäksi sivuilta saa tietoa Inspire-direktiivistä ja sen toteuttamisesta Suomessa. (5.)

**Geologian tutkimuskeskus** tarjoaa maa- ja kallioperää kuvaavia avoimia aineistoja eri mittakaavoissa. Avoimen lisenssin soveltaminen tuotteisiin käy ilmi numeeristen tuotteiden hinnastosta. Avoimen lisenssin aineistoina ovat saatavilla kallioperäkartta 1:5000 000 ja 1:1000 000 sekä 1:200 000, Maaperäkartta 1:1000 000 ja 1:200 000 sekä 1:20 000/50 000, Pintageologia sekä Magneettinen korkealentoaineisto kilometriruuduissa yhdessä muiden tiedontuottajien kanssa GTK tarjoaa maaperän pohjatutkimustietoja. (5.)

**Ilmatieteen laitos** tarjoaa sää- ja tutkahavainnot sekä ennustemallin tiedot. (5.)

**Luonnontieteellinen keskusmuseo** tarjoaa avoimia aineistoja eliölajien levinneisyydestä kuten kasvi- ja lintuatlakset (5).

**Metsäntutkimuslaitos** tarjoaa valtakunnan metsien inventoinnissa tuotettuja VMI-tietoaineistoja (5).

**Museovirasto** tarjoaa tietoaineistoja, jotka kuvaavat kulttuuriperintöä ja muinaismuistoja (5).

**Terveysten ja hyvinvoinnin laitos** tarjoaa väestön terveyteen liittyviä tilastotietoja kunnittain ja muissa aluejaoissa SOTKANet-palvelua (5).

**Tilastokeskus** tarjoaa yhteiskuntaa kuvaavia tilastotietoja kuntajaossa ja muissa aluejaoissa: StatFin-tietokanta, Kuntien avainluvut. Tarjolla rajapintapalveluissa on myös tietoa oppilaitoksista sekä teollisuus- ja

tuotantolaitoksista sekä tilastointialueiden rajat ja väestötietoa tilastointialueittain ja kilometri-ruuduittain (5).

**Ympäristöhallinto** tarjoaa tietoa muun muassa vesivaroista, pintavesien tilasta, tulvakarttoja, pohjavesistä, eliölajeista, ympäristön kuormituksesta ja alueiden käytöstä (5).

### **2.3 Kaupunkien ja kuntien avoimet aineistot**

**Helsingin seudun kunnat** ovat Helsinki Region Infoshare -hankkeessa avanneet monia paikkatietoaineistoja muun muassa palvelupistetiedot, pienaluettelastoja äänestysaluejaon ja seutukartan. Saatavilla on myös Helsingin liikenneonnettomuudet sekä liikennemäärät. (5.)

**Helsingin seudun ympäristöpalvelut** tarjoavat seudullista tietoa mm. väestöstä, rakennuksista ja rakennusmaasta (5).

### **2.4 Muut avoimet aineistot**

**OpenStreetMap** on kartoitusta harrastavien henkilöiden kokoama tietoaaineisto, joka on tarjolla maailmanlaajuisesti OpenStreetMap-verkkopalvelun kautta ODbL-lisenssillä (5).

**EuroGeographics** on Euroopan karttalaitosten yhteistyöelin, joka tarjoaa 45 maata kattavan 1:1 miljoonaan mittakaavaisen EuroGlobalMap-kartta-aineiston ladattavaksi kartta-aineiston (5).

### 3 LASERKEILLAUS

Laserkeilauksessa keilain lähettää automaattisesti lasersäteitä tiheänä rasterina. Säteiden tiheys on säädettävissä, ja esimerkiksi rakennusmittauksessa se voi olla kohteessa alle 10 mm, kauempaa tapahtuvassa puusto- tai maastokartoituksessa kymmeniä senttejä. Säteen heijastuessa esteestä keilain mittaa etäisyyden ja säteen intensiteetin muutoksen ja laskee heijastumiskohdan koordinaatit. (7.)

Kohde keilataan yleensä useammasta suunnasta katvealueiden välttämiseksi ja keilaukset yhdistetään tiedostoksi. (Katso kuva 1.) Tuloksena on pistepilvi, joka kertoo kaiuntapisteen paikan kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Lukuisten pisteiden avulla pistepilvestä saadaan hahmotettua kohteen kolmiulotteinen pinta. Pisteitä yhdessä pistepilvessä voi olla satoja miljoonia. (7.)

Laserkeilain on mittalaite, jolla pystytään mittaamaan kohdetta koskematta kohteeseen. Laserkeilaimella mitataan kohteesta kolmiulotteinen pistepilvi. (6, s. 1.) Laserkeilaus on yksi kaukokartoitustapa.



*KUVA 1. Laserkeilauksen periaate*

### 3.1 Laserkeilain tyypit

Laserkeilaimet voidaan luokitella kolmeen tyyppiin mittausetäisyyden mukaan.

- Kaukokeilaimet, joiden mittausetäisyys on 100 metristä 100 kilometriin ja mitatun pisteen tarkkuus alle 10 cm (7). Näitä kutsutaan myös optisiksi kaukokartoituslaitteiksi (LiDAR, Light Detection And Ranging).
- Maalaserkeilaimet, joiden mittausetäisyys on 1 - 300 metriä ja tarkkuus alle 2 cm (7).
- Teollisuuslaserkeilaimet ovat pieniä kohteita varten, mittausetäisyys alle 30 metriä ja tarkkuus alle millimetri (7).

Laserkeilaimessa käytettävän menetelmän pohjalta voidaan keilaimet luokitella kahteen isompaan ryhmään.

- Valon kulku aikaan perustuvat keilaimet eli pulssikeilaimet (6, s. 2).
- Vaihe-ero keilaimet (6, s. 2).

Valon kulku aikaan perustuvat keilaimet ovat hitaampia, mutta mittaavat pitempiä matkojakin tarkasti, ja pitkiltä matkoilta saadaan tiheitä pistepilviä. Vaihe-erokeilaimet ovat nopeita, mutta niiden mittausmatka jää vielä alle 80 metrin, ja pistepilvien tiheyttä ei voida paljon säätää. Myös mitattavan pistepilven laatu, erityisesti kohteiden reunoissa, ei ole kulku aikaan perustuviin laitteisiin verrattuna yhtä laadukas. (6, s. 2.)



### 3.2 Käyttökohteita

Perinteisesti laserkeilausta on käytetty teollisuuslaitosten korjaussuunnittelussa, maaston korkeuskartoituksessa ja rakennusmittauksissa. Käyttö on laajentunut nopeasti keilainten hintojen laskiessa. Nykyisin keilausta käytetään yleisesti esimerkiksi puuston kartoituksessa, maanpinnan muotojen ja korkeuksien tarkistukseen, arkeologiassa, tulvakartoituksessa, tielinjojen, tunneleiden ja siltojen mittauksissa ja suunnittelussa (7). Myös reittien optimointi- ja tiedonkeruusovelluksissa sekä melua mallintavissa ja maanpinnan muotoja tutkivissa sovelluksissa. Maanmittauslaitoksen tuottamaan aineistoa käytetään myös henkilökohtaisten suunnistuskarttojen tekemiseen. (10.)

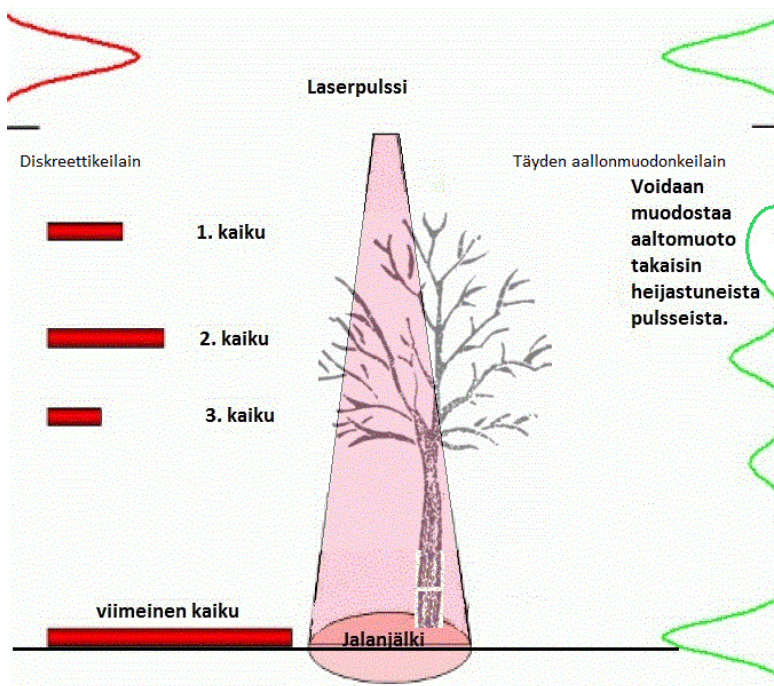
Käyttökohteita voisi olla enemmänkin, jos voitaisiin käyttää hyödyksi keilaimen mittaamaa intensiteettiarvoa. Intensiteettiarvon hyödyntäminen suurilla alueilla on vaikeaa, koska intensiteettiarvoon vaikuttaa moni asia ympäristössä, kuten sää tai keilauskulma, joka muuttuu pienenkin pinnanmuodon muutoksena. Näistä johtuen intensiteettiarvon kalibrointi on suuri ongelma.

### 3.3 Täyden aallonmuodon laserkeilaus

Full waveform LiDAR eli täyden aallonmuodon laserkeilaus ei tallenna laserpulssista yksittäisiä kaikuja perinteiseen tapaan vaan ottaa palaavasta signaalista näytteitä lyhyin (1 ns) välein. Tällä tavoin saadaan kohteen heijastusominaisuuksista tarkempaa tietoa, kuten kuvasta 2 nähdään. Täyden aallonmuodon analyysi tarjoaa tarkempaa mittaustekniikkaa sekä maanpinnan että puuston suhteen ja puuston tarkempia luokittelumahdollisuuksia. Esimerkiksi saksalainen J. Reitberger on saavuttanut automaattisessa havupuu-lehtipuu luokittelussa 85 %:n (puissa lehdet) ja 96 %:n (lehdetön aika) tuloksia. (24.)

Rieglin esiteltyä vuonna 2004 täyden aallonmuodon digitaalisesti tallentavan ilmalaserkeilaimen LMS- Q560 ensimmäisenä maailmassa kaupallisille markkinoille on vähitellen ilmaantunut muitakin täyden aallonmuodon tallentavia laitteita. Nykyään täyden aallonmuodon tallentavia skannereita löytyy myös mobiili- ja maalaserskannereista. (24.)

Pulssilaserkeilaimet voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: diskreetit ja täyden aallonmuodon laitteet. Suurin osa keilaimista toimii analogisella pohjalla, jolloin mittaustulokseksi saadaan diskreettejä pisteitä, yksi tai useampi lähtevää pulssia kohden. Piste voidaan määrittellä heijastuneesta kaiusta useilla eri tavoilla ja tietyssä laitteessa käytetty algoritmi on lähinnä laitevalmistajan tiedossa. Diskreeteissä laitteissa määrittäminen on automaattinen eikä alkuperäiseen aineistoon voida palata jälkianalyysissä. (24.)



KUVA 2. Diskreettikeilaimen ja täyden aallonmuodon keilaimen ero

Täyden aallonmuodon mittaustekniikkaan perustuvat keilaimet ovat kuitenkin kovassa nousussa, sillä mittaustulos saadaan niillä paremmaksi ja lisäksi ne tarjoavat mittauksille lisäarvoa. Mitattavan kohteen ominaisuuksissa voi näet määrittää  $x$ ,  $y$ ,  $z$  -koordinaattien sekä aikaleiman lisäksi muutakin tallennetun datan perusteella. Jos laitteesta voidaan ratkaista sisäinen orientointi, radiometrinen kalibrointi ja systeemin vasteen kalibrointi, niin lopputuotteina ovat myös heijastuneen signaalin amplitudi sekä sen heijastunut muoto, kaiun leveys sekä heijastuneen signaalin muodon hajonta. (24.) Näitä lopputuotteita voitaisiin käyttää pistepilviaineistojen automaattiseen luokitteluun, mutta ohjelmat jotka hyödyntävät täyden aallonmuodon tekniikkaa, ovat vielä kehityksessä.

### 3.4 Laserkeilauksen tulevaisuus

Laserkeilauskeilaus tulee mullistamaan maan- muotojen-, tilanmittauksen pysyvästi. Laitteiden hintojen lasku ja ominaisuuksien paraneminen ja siitä syntyvät yksinkertaiset ja halvat kuluttajamallit viimeistään muuttavat mittaamista. Inertiamittausyksikkö on tärkeässä asemassa, kun lasermittaus mobilisoidaan yhä pienemmäksi, mutta nykyisin inertiasiru on jo kolikkoa pienempi. (26.)

Täydennä laserkeilauksella saadaan tarkempia tietoja kohteen luokitukseen. Uudet keilaintyytit, jotka pystyvät mittamaan myös veden alta, tai useampaa aallonpituutta käyttävät laserkeilaimet, jotka toimivat paremmin erilaisissa ympäristöissä, ja nykyistä suuremmat pistetiheydet tulevat lisäämään kolmiulotteisen tiedonmäärää ympäristöstämme.

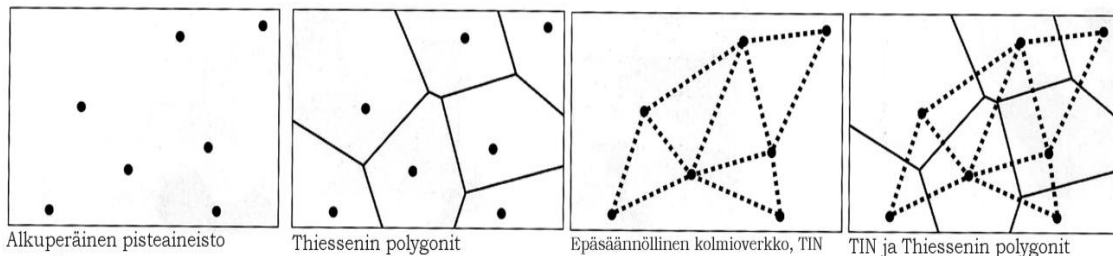
### 3.5 Kolmioverkkopinta

Laserkeilauksesta saatava pistepilvi on sellaisenaan ihmissilmin vaikea hahmotettava. Apua hahmotukseen saadaan kolmioverkkopinnasta.

Kolmioverkot voidaan jaotella kahteen tyyppiin. (Katso kuva 3.)

Thiessenin polygonit. Pisteestä ympärille rajataan alue, josta on lyhyempi matka polygonin sisällä olevaan pisteeseen kuin mihinkään muuhun pisteeseen. Alue perii sisälle jäävän pisteen ominaisuustiedot. (28.)

Epäsäännöllinen kolmioverkko (Triangular Irregular Network), TIN. Kolme lähinnä toisiaan olevaa pistettä muodostavat kolmion kulmat. (28.)



KUVA 3. Kolmioverkon periaate (28)

### **3.6 Las-standardi**

Las-tiedosto on yhteinen standardi kaukokartoituksessa syntyneen pistepilven tallennusmuodoksi. Standardia ylläpitää ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), joka on vuonna 1934 perustettu yhdysvaltalainen tiedeyhteisö, jonka tehtävänä on ylläpitää kartoitustaitoja ja -tietoja sekä edistää fotogrammetrian, kaukokartoituksen ja paikkatietojärjestelmien teknologioita. (20.)

#### **Yhteinen tiedostomuoto**

Usealla eri ohjelmistotekijällä on oma tiedostomuotonsa, josta aiheutuu ongelmia, kun käytetään eri sovelluksia eri työvaiheissa, jolloin tiedostomuoto pitäisi muuttua toiselle ohjelmalle sopivaksi. Muutostyö vie aikaa ja tietoa voi myös kadota tiedoston muuttamisen aikana, koska jotkut tiedostomuodot ovat liian monimutkaisia. Monet tiedostomuodot voivat olla varsin kookkaita jopa pienillä pistepilvillä. (21.)

Las-tiedostosta ensimmäinen hyväksytty versio oli 1.0 ja viimeisin hyväksytty versio on 1.4. Seuraava versio 2.0 on edelleen työn alla. Eri yhteisöt voivat vaikuttaa uuden version ominaisuuksiin täyttämällä kaavakkeen, joka on saatavilla ASPRS:n kotisivuilla. (21.)

Maanmittauslaitos tuottaa uusimmat laz-tiedostonsa versiossa 2.0, mutta heiltä voi löytyä myös vanhempia formaatteja avoimista laserkeilausaineistoista.

#### **Tiedostomuodon tyyppi**

Tiedoston tallennustapa on binäärimuotoinen, joka tarkoittaa, että sitä ei voi lukea tavallisella tekstinkäsittelyohjelmalla vaan tarvitaan niin sanottu hex-editori. Tiedostossa olevat arvot ovat heksadesimaalilukuja, ja luvut ovat little-endian tavujärjestyksessä eli käänteisessä järjestyksessä. (21, las 1.4 spesifikaatio.) Tämä tarkoittaa, että määrättyssä paikassa oleva heksadesimaaliluku esimerkiksi 10AB (desimaalimuodossa 4267) on kuitenkin luettava AB10 (desimaalimuodossa 43792) eli merkitys on suuri loppuarvoa ajatellen.

## Tiedoston sisältö

Las-tiedoston tarkempi sisällön kuvaus on liitteessä 2.

Las-tiedoston version 1.4 mukainen runko koostuu neljästä eri lohkoista ja jokaiseen lohkoon voidaan tallentaa vain standardissa sovittua tietoa ja jokainen lohko sisältää sovitun määrän soluja. Soluun on tallennettu arvo, joka voidaan lukea. 1 tavu on 8 bittiä ja yhdessä solussa yleensä on vähintään 1 tavu ja standardin 1.4 mukaan pisin solu on 120 tavua. (21.)

Las-tiedoston tärkein kohta on point data records -lohko, koska se pitää sisällään kaiken tallennetun tiedon laserkeilauksesta. (Katso kuva 4.) Erilaisia point data records -lohkon tyyppejä on useita, eri tarkoituksiin soveltuvia. MML käyttää tyyppiä 1, jonka pituus on 28 tavua.

Lohko sisältää ensin laserkeilauslaitteen tallentamat tiedot, kuten koordinaattipisteet x ja y, korkeustiedon z ja kaiun intensiteetin sekä tiedon, monesko paluukaiku on kyseessä ja montako niitä kaiken kaikkiaan tuli. Tiedämme, että kerran lähetetty laserpulssi voi kaikua takaisin useasti.

Table 10: Point Data Record Format 1

Item	Format	Size	Required
X	long	4 bytes	*
Y	long	4 bytes	*
Z	long	4 bytes	*
Intensity	unsigned short	2 bytes	
Return Number	3 bits (bits 0 – 2)	3 bits	*
Number of Returns (given pulse)	3 bits (bits 3 – 5)	3 bits	*
Scan Direction Flag	1 bit (bit 6)	1 bit	*
Edge of Flight Line	1 bit (bit 7)	1 bit	*
Classification	unsigned char	1 byte	*
Scan Angle Rank (-90 to +90) – Left side	char	1 byte	*
User Data	unsigned char	1 byte	
Point Source ID	unsigned short	2 bytes	*
GPS Time	double	8 bytes	*

### KUVA 4. Laserkeilauksen tallennuslohkon tyyppi 1 (21, las 1.4 spesifikaatio)

Classification-arvo kertoo mihin laserpulssi on osunut. Tämä arvo lisätään MML:n toimesta. Tätä toimenpidettä kutsutaan luokitteluksi. Standardiluokkia on 10 kappaletta, ja näiden lisäksi on joitakin erikoisluokkia. Käyttäjä voi vaihtaa classification-solun arvoa.

## **4 MML:N ILMASTA SUORITETTU LASERKEILAUS**

Ilmasta suoritettu laserleikkaus perustuu lentokoneessa olevan pulssikeilaimen lähettämiin lasersäteisiin, jotka maanpintaan osuessaan heijastuvat takaisin vastaanottimeen. Tarkat paikannustiedot saadaan käyttämällä satelliittipaikannustietoa ja lentokoneen kallistumiskulmista kertovia inertialaitteita keilauslennon aikana. Niillä mitattavien paikannustietojen sekä laserpulssien kulkeman ajan mittauksen perusteella saadaan tarkasti paikannettua kunkin pulssiosuman saaneen kohteen tasosijainti, korkeus sekä paluukaikujen määrän. (8.)

### **4.1 MML:n laserkeilaus aineiston käyttötarkoitus**

Laserkeilausaineistoa käytetään muun muassa maastomallien muodostamiseen. Laserkeilausaineisto ja siitä tuotettavat mallit soveltuvat käytettäviksi erilaisissa reittien optimointi- ja tiedonkeruusovelluksissa sekä vesien valuntaa ja melua mallintavissa ja maanpinnan muotoja tutkivissa sovelluksissa. Laserkeilausaineistoja hyödynnetään myös korkeuskäyrien luomisessa, kaavoituksessa ja metsien inventoinneissa sekä muissa luonnonympäristön muutosta seuraavissa tutkimuksissa ja seurannoissa. (9.)

MML:n keilausaineisto voi toimia suunnittelun tukena muiden kartoitusmenetelmien kanssa. Kohteessa voidaan tehdä myös erillinen laserkeilaus muutamien kymmenien metrien päästä, joka on tällöin tarkempi; pistetiheys kasvaa kymmeneen jopa satoihin pisteisiin neliometriä kohti.

### **Inspire-direktiivi**

Inspire on EU-direktiivi, jonka avulla EU:n jäsenmaiden kansallisista paikkatietoaineistoista ja -palveluista luodaan yhteinen, yhtenäinen ja helposti hyödynnettävä paikkatietoinfrastruktuuri. Inspire-direktiivin (Infrastructure for Spatial Information in Europe) tarkoituksena on yhtenäistää julkishallinnon paikkatietoaineistojen ja -palvelujen saatavuutta sekä velvoittaa eri viranomaisia saattamaan paikkatietoaineistoja tietoverkon kautta yhteiskäyttöön.

Inspire-direktiivi astui voimaan 15.5.2007, ja se tulisi toteuttaa vaiheittain EU-jäsenvaltioissa vuoteen 2020 mennessä. (10, s. 9.)

Direktiivin mukaan jäsenvaltioiden paikkatietoinfrastruktuurit on suunniteltava niin, että paikkatietojen säilyttäminen, saatavuus ja ylläpito voidaan varmistaa asian mukaisimmalla tasolla. Paikkatietojen johdonmukainen yhdistäminen tulee olla mahdollista useiden käyttäjien ja sovellusten kesken riippumatta lähteestä. Paikkatietojen on oltava saatavissa ehdoin, jotka eivät rajoita tietojen laajaa käyttöä. Direktiivi tukeutuu kansallisiin paikkatietoinfrastruktuureihin. Suomessa direktiivin toteuttamisesta on säädetty laissa ja asetuksesta paikkatietoinfrastruktuurista. Laki paikkatietoinfrastruktuurista astui voimaan 17.6.2009 ja asetus paikkatietoinfrastruktuurista 12.10.2009. (10, s. 9.)

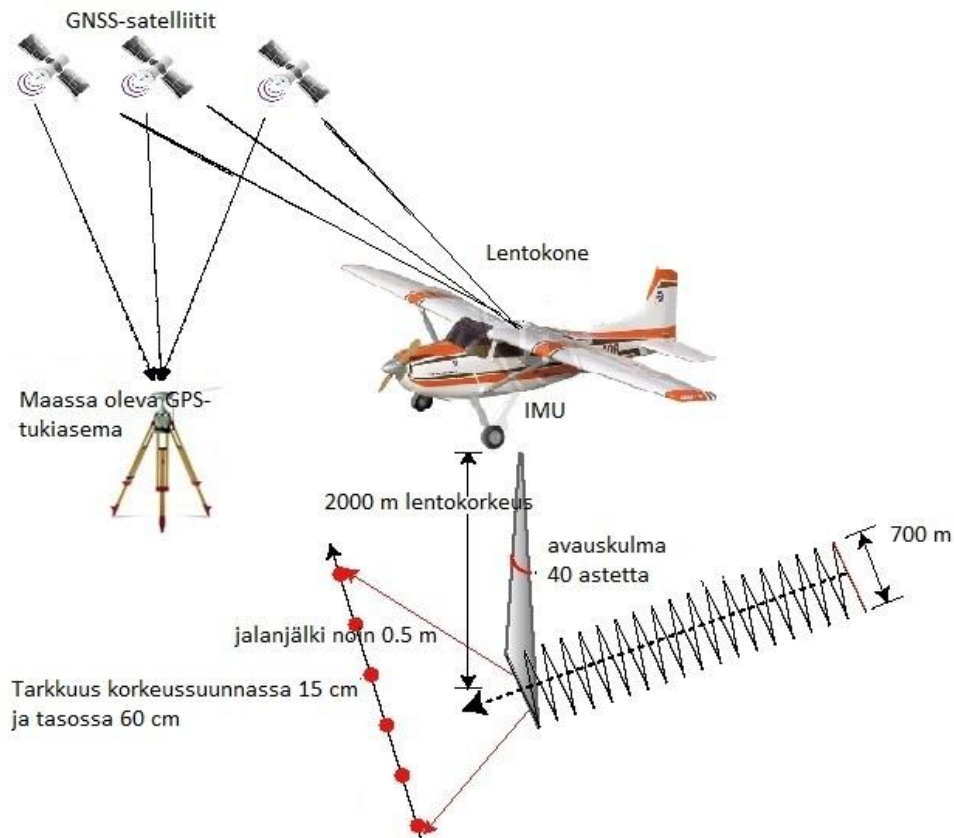
### **MML:n uudistamistarve**

Maa ja metsätalousministeriö asettivat kesäkuussa 2005 korkeusmallityöryhmän, jonka tehtävänä oli arvioida valtakunnallisen korkeusmallin uudistamistarpeet ja vaihtoehdot, tehdä tarvittaessa ehdotuksia uusista menettelytavoista ja arvioida uusien menetelmien kustannukset. Maanmittauslaitoksella oli koko maan kattava KM25-korkeusmalli (25 metrin ruudukkona esitetty maanpinnan korkeusmalli) ja runsaat 60 % maasta kattava KM10 -korkeusmalli (10 metrin ruudukkomalli), mutta niiden ei katsottu täyttävän korkeusmallille asetettavia uusia vaatimuksia. (11, s. 1.)

Työryhmän työn tuloksena valtakunnalliselle korkeusmallille asetettiin tavoitteeksi muun muassa sellainen tarkkuus niin, että se riittää pohjaksi EU:n tulvadirektiivin 2007/60/EY edellyttämille tulvakartoille ja että korkeusmalli on laadultaan homogeenisempi kuin fotogrammetrisella menetelmällä tuotettu KM10-korkeusmalli. Vaihtoehtoisina korkeusmallin tuotantotekniikkoina esillä olivat fotogrammetrinen menetelmä, laserkeilaus ja SAR-interferometria (Synthetic Aperture Radar). Ottaen huomioon Suomen luonnon ja maaston olosuhteet, halutun lopputuloksen laadun, kustannukset sekä tuotannollisen tehokkuuden, suositeltavaksi tuotantomenetelmäksi valikoitui laserkeilaus. (11, s. 1.)

## 4.2 Mittausspesifikaatio ja -tarkkuus

Lentokoneen lentonopeuden on sovittava yksiin käytettävän laserkeilaimen ja haluttujen keilausparametrien kanssa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että koneella on pystyttävä lentämään riittävän hitaasti, jotta päästään haluttuun pistetiheyteen. Oikeaa nopeutta on pystyttävä lentämään useita tunteja sekä myötä- että vastatuuleen. (12, s. 3 - 4.)



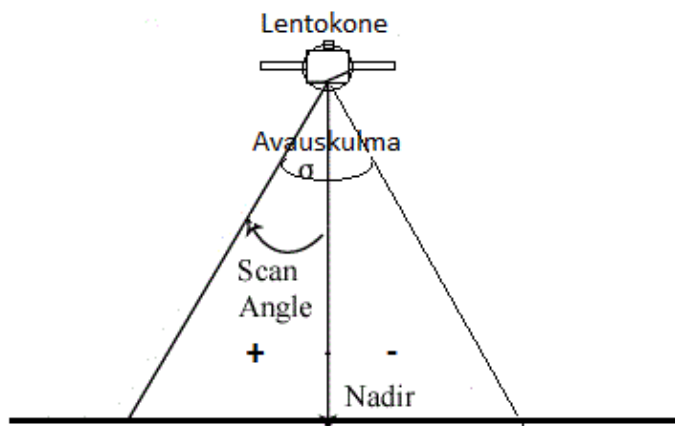
*KUVA 5. Lentokoneesta suoritettu laserkeilaus*

- Lentokorkeus on noin 2 km (12, s. 3 - 4).
- Lentonopeus on noin 60-70 m/s (12, s. 3 - 4).
- Keilausjonojen sivupeitot kattavat vähintään 20 % toisin sanoen ovat hieman lomittain (12, s. 3 - 4).
- Keilauksen avauskulma noin 40 astetta ja näin ollen scan angle noin 20 astetta (12, s. 3 - 4). (Katso kuva 6.)



Näillä lähtöarvoilla laserpulssin "jalanjälki" maassa on enintään noin 50 cm ja pistetiheydeksi saadaan vähintään 0,5 pistettä/m<sup>2</sup> ja enintään 1 piste/m<sup>2</sup> mitattuna ilman poikittaisjono- ja sivupeittoalueiden tihentävää vaikutusta. (12, s. 3 - 4.) Kuten kuvasta 5 voidaan todeta.

Laserkeilausaineiston korkeustarkkuuden keskivirhe on enintään 15 senttimetriä ja tasotarkkuuden keskivirhe enintään 60 senttimetriä yksiselitteisillä kohteilla (12, s. 3 - 4).



KUVA 6. Scan angle ja avauskulma

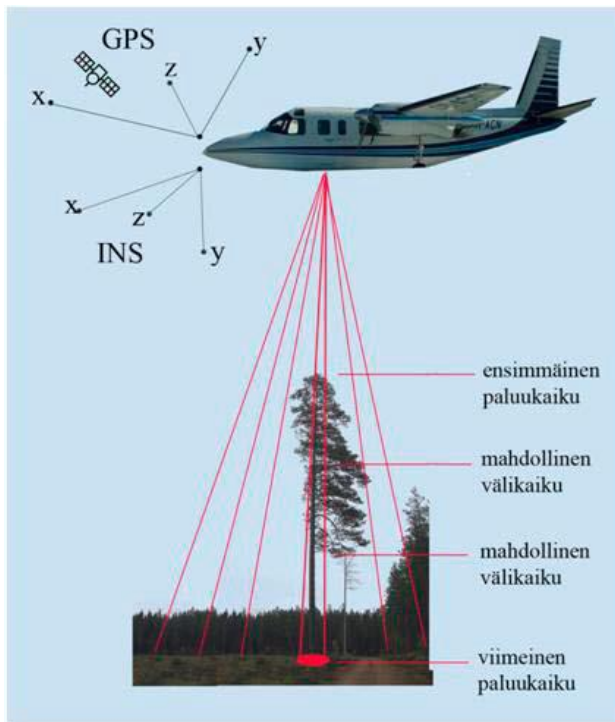
### 4.3 Laserkeilaimen ja keilauspisteiden sijainnin määrittäminen

Mikäli laserkeilain on lentokoneessa, sen sijainnin määrittäminen on monimutkaisempaa kuin paikallaan olevan keilaimen. Satelliittipaikannuksessa on käytettävä GNSS-järjestelmää (Global Navigation Satellite System). Aineiston laadun kannalta on käytössä olevalla satelliittigeometrialla ratkaisevan tärkeä merkitys. Pelkkiin GPS-satelliitteihin tyydyttäessä vuorokauden aikana tulee ajanjaksoja, jolloin satelliittipaikannus ei onnistu riittävän hyvin.

Tarvitaan myös maassa olevaa GPS-tukiasemaa (joka voidaan korvata esimerkiksi virtuaalisella GPS-tukiasemalla) ja lentokoneen IMU:a (inertiamittauslaite) (12, s. 5). IMU:lla pyritään selvittämään koko ajan keilaimen tarkka asento suhteessa maan pintaan, koska lentokone heiluu ja kallistelee lähes kokoajan (13).

## Laserkeilauspisteiden sijainnin määrittäminen

Kun mitataan laserpulssin edestakaisin kulkemaan matkaan käyttämä aika ja laserkeilaimen sijainti sekä asento, saadaan laskettua paikka, mistä pulssi on heijastunut takaisin. Yksi laserpulssi voi saada aikaan useampia laserpisteitä usean kiihtymisen takia, kuten kuvasta 7 nähdään. (11, s. 2.)



KUVA 7. Useita kaikuja yhdestä laserpulssista (11, s. 2)

Kohteesta heijastuneen laserpisteen koordinaattien määrittämistarkkuus riippuu siis pääasiallisesti seuraavista seikoista: etäisyys, lasersäteen sijainti ja lasersäteen suunta. Koska nämä kaikki suureet mitataan eri mittalaitteilla (laserkeilain, GNSS ja IMU), ne on mittaustulosten yhteensovittamiseksi pystyttävä sitomaan samaan ajanhetkeen. Jos havaintoja ei sidota tarkasti samaan ajanhetkeen, se aiheuttaa laserpisteen sijaintiin virheen. (11, s. 2.)

#### **4.4 Keilauksella saatava tieto**

Laserkeilauksella saatavaa tietoa kutsutaan pistepilveksi. Keilausdata, joka saadaan laserkeilaimesta, koostuu paikkatiedosta, intensiteettiarvosta, kaikujen lukumäärästä sekä GPS-aikaleimasta. (Katso kuva 4.)

##### **xyz-tieto**

Paikkatieto, joka kertoo, missä kohdin ja millä korkeudella merenpinnasta keilauksen laserpiste (jalanjälki) on ollut mittaushetkellä UTM (Universal Transverse Mercator) koordinaattijärjestelmässä.

##### **Intensiteettiarvo**

Kun laserpiste osuu kohteeseen, kohde absorboi osan säteestä ja osa heijastuu takaisin. Takaisin heijastuneen säteen voimakkuus mitataan ja tallennetaan. Mitä suurempi arvo on sitä parempi heijastusominaisuus kohteella on ollut.

Intensiteetti arvon hyödyntäminen kaukokartoituksessa on ongelmallista, koska intensiteettiarvoon vaikuttaa moni asia, kuten sää tai keilauskulma, joka muuttuu pienenkin pinnanmuodon muutoksena, ja myös mittalaitteissa on eroja. Intensiteetin kalibrointiin ei ole tällä hetkellä hyvää menetelmää, joten sitä ei käytetä hyödyksi MML:n prosessissa. Intensiteettiarvo on kuitenkin asiakkaan luettavissa ja käytettävissä MML:n laserkeilausaineistossa, mutta tiedon käyttöarvo on kyseenalainen.

##### **Paluukaiut**

Laserkeilaimet pystyvät tallentamaan vähintään ensimmäisen (First pulse) ja viimeisen pulssikaiun (Last pulse). Laser-pulssi voi matkallaan osua useampaan kohteeseen. First pulse -kaiut kaikuvat ensimmäisestä kohteesta, johon ne osuvat. Välikaikuja voi olla useita, ja nämä ilmoitetaan vain numerotietona first ja last pulse mukaan luettuna. Last pulse -kaiut ovat menneet puun latvuston läpi ja heijastuvat takaisin maan pinnalta. (14, s. 11.)

## **GPS-aikaleima**

GPS-ajan nollahetki on ollut 00:00 UTC 6. tammikuuta 1980. GPS-aika ei ota huomioon karkausvuosia tai -sekunteja, joten se on nykyisin jäljessä UTC-ajasta noin 16 sekuntia. GPS-aika ilmoitetaan nollahetkestä viikkoina ja sekunteina tähän hetkeen. (15.)

### **4.5 Pistepilven muokkausprosessi MML:ssä**

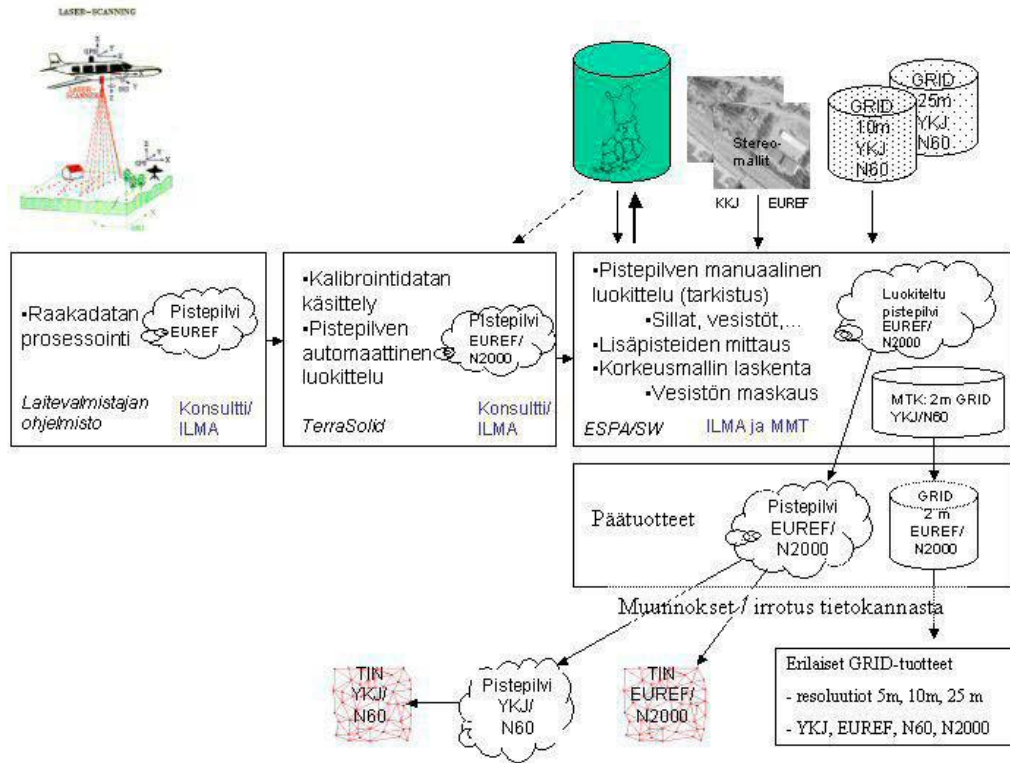
Laserkeilauksen käyttöönotossa johtava periaate oli, että hankittavaa laserkeilausaineistoa ja siitä tuotettavaa uutta korkeusmallia tulisi pystyä hyödyntämään mahdollisimman monella eri yhteiskunnan osa-alueella. Laaja yhteistyökumppanien ryhmä koottiin jo tuotannon suunnitteluvaiheessa. Yhteistyökumppanit saivat testityössä hankitun laserkeilausaineiston käyttöönsä, ja tavoitteena oli, että organisaatiot tutkivat sen soveltuvuutta erilaisiin käyttötarkoituksiinsa. Kokemuksia saatiin monelta taholta ja esille nousi osittain yllättäviäkin käyttösovelluksia. Yhteistyökumppaneilta ei kuitenkaan tullut sellaisia muutostoiveita, että tuotantoparametreja olisi tarvinnut suuremmin korjata alkuperäisistä suunnitelmista. (12, s. 3.) Prosessia on esitetty kuvassa 8.

### **Pistepilven ensimmäinen laaduntarkistus**

Pistepilvi, joka on kaiken jatkotyön lähtökohta ja varsinainen keilauslennon tulos, muodostetaan keilaimen etäisyysmittauksista, GNSS/IMU-laskennan tuottamasta lentoratatiedosta sekä keilaimen kalibrointiarvoista. Pisteiden ominaisuustieto tulee heijastuneen paluupulssin järjestysluvusta. Pistepilven muodostuksen jälkeen tehdään pisteiden kattavuuden ja laadun pikatarkistus yleensä harvennetulla pisteaineistolla laskennan nopeuttamiseksi. Pistepilven kattavuuden pitää olla kauttaaltaan kunnossa. (12, s. 5.)

Ensimmäisessä laaduntarkastuksessa vertaillaan jonojen välistä geometriaa ja pistepilven korkeutta maastossa vaaittuihin korkeus referenssipintoihin. Pistepilveä voidaan tarkastella myös stereomallin päällä karkeiden virheiden havaitsemiseksi. (12, s. 5.)

Tarkistukset kuuluvat MML:n tehtäviin, ja ne on tarkoitus tehdä nopeasti, sillä jos aineistossa havaitaan vakavia puutteita, voidaan keilauslento uusida. Jos virheet ovat pieniä, niitä voidaan tasoittaa projektikalibroinnissa. (12, s. 5.)



KUVA 8. MML:n laserkeilausaineiston tuotantoprosessi (12, s. 5)

### Pistepilven projektikalibrointi

Projektikalibrointi käsittää lentojonoittain kerättyjen laserpisteiden yhteensovituksen homogeeniseksi pistepilveksi ja sen muuntamisen paikalliseen koordinaatistoon. Pistepilven geometria vaihtelee lentojonoittain johtuen mahdollisista GNSS/IMU-laskentojen virheistä tai esimerkiksi laserkeilaimen peilin toiminnan systemaattisista virheistä. Lisäksi inertiamittauslaitteen ja keilaimen välisessä asennossa on yleensä epästabiliutta. Näistä syistä johtuen vierekkäisiltä lentojonoilta kerättyjen pisteiden välillä on ristiriitaa, mikä näkyy jonojen yhteisillä peittoalueilla sijaitsevilla pinnoilla. Jonojen yhteensovituksessa nämä erot minimoidaan painottaen korkeuserojen minimointia. (12, s. 5.)

Yhteensovituksen tuloksena lasketaan laserpisteille uudet sijainnit. Yhteen sovitetulle homogeeniselle pistepilvelle tehdään lopuksi absoluuttinen muunnos TM35FIN/N2000-järjestelmiin. (12, s. 5.)

#### **4.6 Pisteiden luokittelu**

Maanpinnan luokittelu on pistepilven käyttäjän kannalta tärkeä tieto, koska luokittelun jälkeen pistepilveä käsitellään tai tutkiaan usealla eri tavalla, kuten halutaanko käyttää pelkkiä maanpinnan-, kasvuston- tai vesistönpisteitä. Ensimmäisessä vaiheessa luokittelu tapahtuu automaattisesti ja sitten on manuaalinen luokittelu. (12, s. 6.)

Automaattinen maanpinnan luokittelu perustuu tietoon paluupulssien järjestysluvuista. Viimeisen paluupulssin (last pulse) laserpisteistä luokitellaan maanpinta. Välikaiut luokitellaan luokkaan low vegation. Luokitteluohjelma alkaa luokitella viimeisen paluupulssin pisteitä maanpintaluokkaan lähtien paikallisista minimikorkeuden pisteistä. Karkeiksi virheiksi tulkittavat (maanpinnan alapuolella olevat) pisteet hylätään. Käytettävistä luokitteluparametreista riippuu, miten jyrkkiä maaston muutoksia malliin hyväksytään. Absoluuttisen georeferoinnin tarkkuus tarkistetaan mitattujen maastokohteiden ja vaaittujen alueiden avulla. (12, s. 6.)

Vaaituilla referenssipinnoilla korkeusvirheiden keskiarvon tulee olla  $\pm 3$  cm:n sisällä ja muilla pinnoilla neliöllinen keskiarvo enintään 15 cm (12, s. 6.)

Maastokohteiden tasosijainti laserpistepilvessä tarkastetaan stereomallien avulla, joilta mitataan erityisesti katonharjoja, jotka voidaan erottaa myös pistepilvestä. Maksimivirheet X- ja Y-koordinaatistossa saavat olla 1 m, neliöllinen keskiarvo enintään 60 cm. (12, s. 6.)

## **Pistepilven automaattiseen luokitteluun kuuluu:**

**Luokittelematon (luokan arvo 1, Unclassified).** Lähtötilanteessa kaikki laserpisteet ovat tässä luokassa ja lopputilanteessa ne pisteet, joiden luokka ei luokitusprosessissa ole muuttunut. (9.)

**Maanpintapisteet (luokan arvo 2, Ground).** Nämä pisteet edustavat alinta pintaa, joka ilmasta käsin on havaittavissa. Tulos riippuu luokittelualgoritmin parametreille valituista arvoista, ja se on aina kompromissi maanpintaan kuulumattomien ja siitä puuttumaan jäävien pisteiden määrän välillä. (9.)

### **Matala kasvillisuus (luokan arvo 3, Low Vegetation).**

Low Vegetation on yleisluokka kaikille niille pisteille, jotka eivät vastaa laserpulssien ainoita tai viimeisiä paluukaikuja. Nämä pisteet vastaavat paluukaikuja, jotka ovat tulleet jostakin laserpulssin osittain läpi tai ohi päästäneestä kohteesta (käytännössä valtaosa kasvillisuudesta). (9.)

**Matalat virhepisteet (luokan arvo 7, Low Point).** Nämä pisteet johtuvat tyypillisesti esimerkiksi voimakkaasta häikäisystä, kirkkaasta kohteesta tai laserpulssin monitehoheijastuksesta. Myös ilmassa voi olla pisteitä erilaisista paluukaikuja antaneista kohteista. Osa tällaisista pisteistä on poistettu aineistosta. Ne, joita ei ole poistettu, ovat luokassa 1, 13 tai 3. (9.)

**Peittoalue (luokan arvo 13).** Vuoden 2010 keilauksista alkaen lentojonojen päällekkäisiltä alueilta vain yhden jonon pisteitä on mukana jatkoluokittelussa. Muut pisteet on asetettu tähän luokkaan. (9.)

Maanpinnan automaattisen luokittelun varsinainen tarkastus ja täydentäminen tehdään Espa-stereotyöasemilla manuaalisena työnä pääosin maanmittaustoimistoissa. Täydentäminen tarkoittaa sitä, että automaattisesti tehdyn luokittelun tarkastamisen lisäksi pisteaineistosta luokitellaan sillat, vaka- ja virtavedet omiin pisteluokkiinsa. Stereomallin tarkkuus ei mahdollista laserpisteiden korkeusaseman tarkkaa tarkastamista tai korjaamista, vaan tarkistus kohdistetaan pisteiden oikeaan luokitteluun. Laserpisteitä ei koskaan poisteta, vaan niiden luokitusta muutetaan tarvittaessa. (12, s. 7.)

## **Manuaalisessa tarkastuksessa syntyvät luokat:**

**Maanpintapisteet (luokan arvo 2, Ground).** Merkittäviä, havaittuja automaattisen maanpintaluokittelun virheitä eli maanpintaan kuulumattomia tai maanpinnasta puuttuvia kohteita on korjattu. Korjauksessa pisteen luokka muuttuu vastaavasti luokasta 2 luokkaan 1 tai päinvastoin. (9.)

**Vakavedet (luokan arvo 9, Water).** Näiden pisteiden korkeus maskataan maastotietokannan vedenkorkeuden sekä keilausten vakavesipisteiden korkeuksien keskiarvon mukaan. (9.)

**Siltapisteet (luokan arvo 10, Bridge).** Nämä pisteet on luokiteltu manuaalisesti. Tähän luokkaan on luokiteltu sillat, joiden alla on vapaa veden virtauskohta. (9.)

**Virtavedet (luokan arvo 14, Stream).** Nämä pisteet on luokiteltu manuaalisesti. (9.)

### **4.7 Lopullinen pistepilvi**

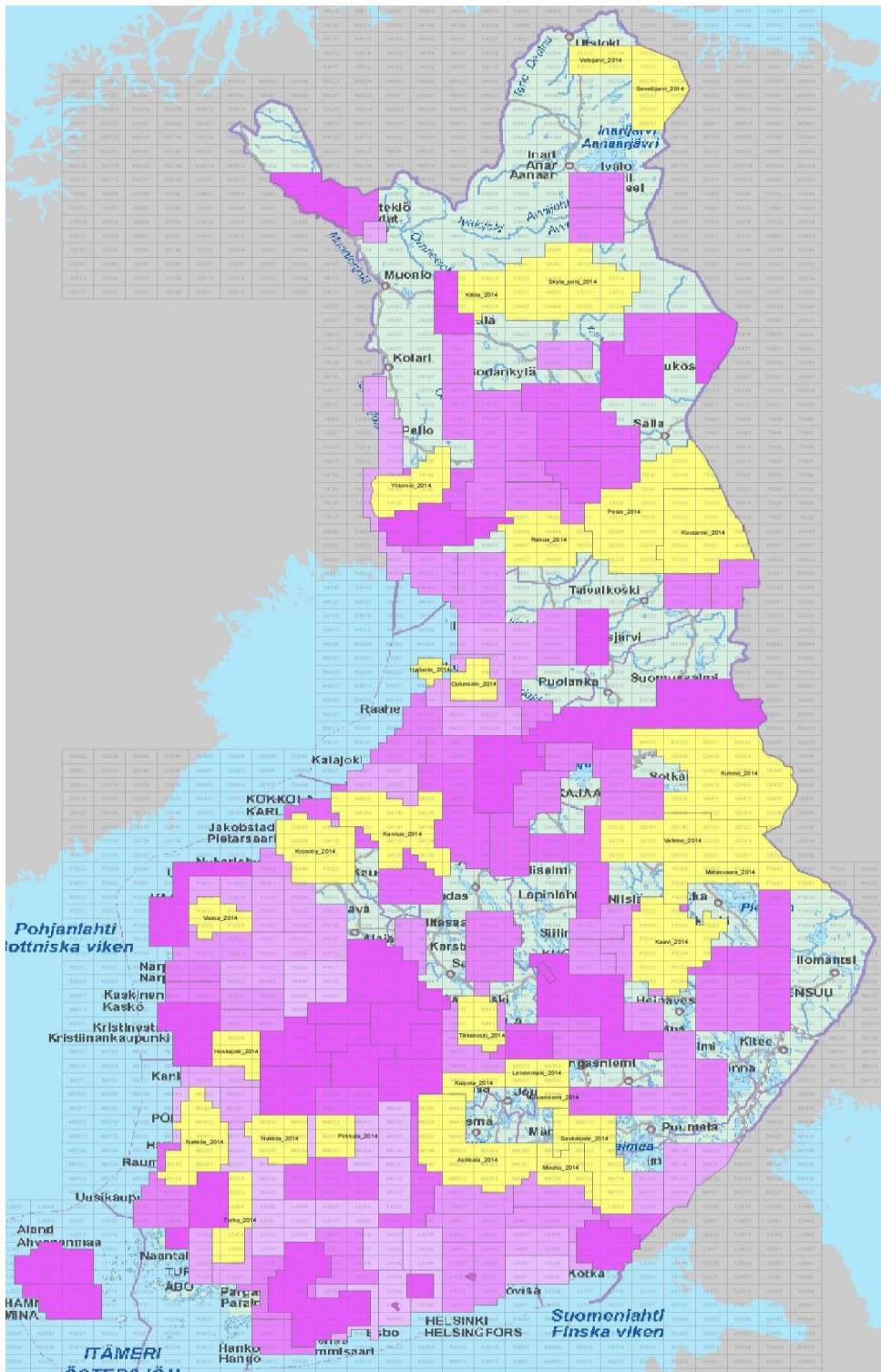
Lopulliseen aineistoon on lisätty erilaisia pintaluokituksia yhdeksän kappaletta, eli aineisto sisältää huomattavasti enemmän tietoa kuin pelkkä laserkeilausdata. Lisätyt tiedot auttavat pintojen, muotojen, kohteiden ja korkeuksien määrittämisessä. MML:n aineistosta puuttuvat seuraavat luokat: 4 (medium vegetation esim. pensaikat), 5 (high vegetation esim. puut) ja 6 (building eli rakennukset). Syy, miksi luokituksia ei ole lisätty on, että todennäköisesti manuaalisen tarkastuksen määrä olisi kasvanut kohtuuttomasti.

Maanmittauslaitoksen aineisto on pakattu laz-formaattiin, joka on las-formaatin häviöttömästi pakattu versio. Laz-algoritmi pakkaa las-tiedoston 7 - 20 %:iin alkuperäisestä koosta. Laz-formaattia eivät kaikki ohjelmistovalmistajat vielä tue, mutta laz-tiedostotyypistä tulee vähitellen alan standardi. (17.) Mikäli laz-tiedostoa halutaan lukea esimerkiksi AutoCad Civil 3D -ohjelmalla, täytyy se purkaa las-muotoon LASzip-ohjelmalla. (16.)



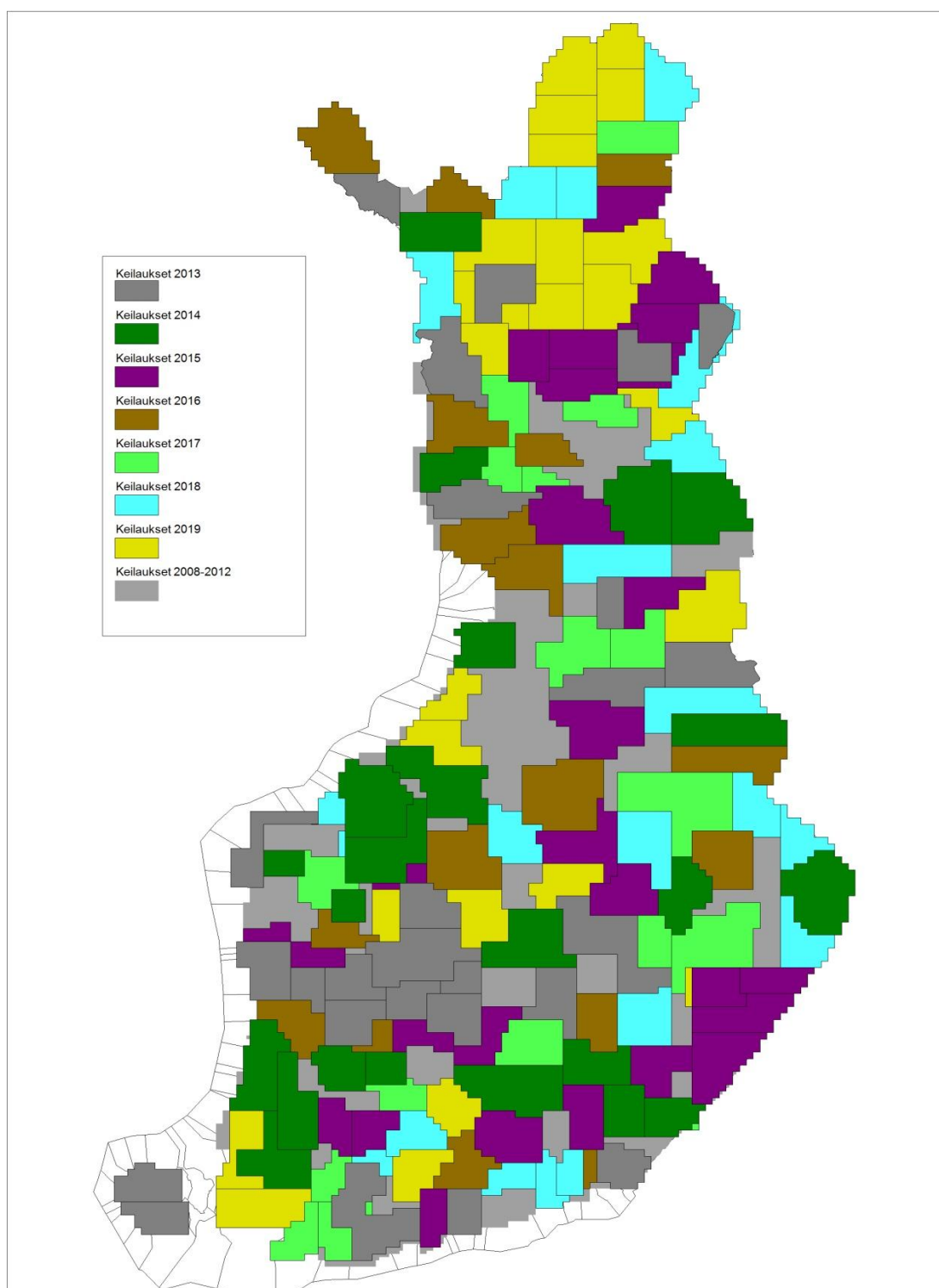
## 4.8 Keilauksen suunnitelmapakartta

Laserkeilaus tulee kattamaan suurimman osan Suomea vuoteen 2019 mennessä. (Katso kuvat 9 ja 10.)



KUVA 9. Toteutunut keilaus 2013 (lila) ja vuoden 2014 keilaus (keltainen) (18)

Maanmittauslaitoksen aikataulut ovat viitteellisiä ja niissä voi esiintyä poikkeavuuksia.



KUVA 10. Laserkeilaus 2008-2019 (19)

## 5 LASERKEILAUSAINEISTON HYÖDYNNETTÄVYYS

Laserkeilausaineiston eli pistepilven hyödynnettävyys perustuu ymmärrykseen, mitä tietoa aineisto sisältää ja mitä halutaan etsiä tai tietää laserkeilatusta ympäristöstä. Tiedon etsiminen tapahtuu suodattamalla pistepilvestä epäoleellinen tieto pois tai korostamalla oleellista asiaa. Yhtä ainoaan hyvää tapaa ei ole, joten yhden oleellisen asian etsimiseen voidaan tarvita useita erilaisia metodeja, joiden järjestyksellä ja käänteisyydelläkin voi olla merkitystä.

Laserkeilausaineistoa voidaan käyttää hyödyksi uuden rakennettavan alueen yleissuunnittelussa tai olemassa olevan alueen laajentamissuunnittelussa, kuten esimerkiksi tuulipuisto, ostoskeskus tai teollisuusalue. Perinteinen menetelmä on ollut tutkia peruskarttaa ja ilmakuvaa, valita hyvät alueet ja käyttää siellä mittaporukka mittaamassa tarvittavat tiedot.

Oikein käsiteltynä pistepilvi voi korvata osittain ilmakuvan, mutta maastokäyntiä ei voi korvata, koska keilauksen jälkeen alue on voinut muuttua. Pistepilvi antaa parempaa tietoa ympäristöstä kuin peruskartta tai ilmakuva. Näin ollen pistepilven ja peruskartan avulla voidaan valita rakennettava alue paremmilla ja tarkemmilla lähtötiedoilla kuin pelkällä peruskartalla ja ilmakuvalla. Näiden lisäksi voidaan käyttää myös muita avoimia aineistoja, kuten esimerkiksi geologianlaitoksen avoimia aineistoja. Ihannetapauksessa mittaporukka käy lopuksi vain tarkistamassa pistepilven tarkkuuden sovitusta paikoista.

## 5.1 Pistepilven käsittely

Kolmioverkkopinnan (katso kappale 3.5) tekoa ja erilaisia väriin perustuvia hahmotuksia kannattaa käyttää, koska se tuo silmillä havaittavia muotoja ja asioita esiin kuten kuvista 11 - 13 voidaan nähdä. Taulukossa 2 on esitetty hyviä muuttujia, joilla voi suodattaa pistepilveä. Näiden lisäksi on vielä muutama harvinaisempi muuttuja, joilla voi yrittää saada lisäarvoa suodatukseen. Niistä enemmän tietoa liitteessä 2. Lisäksi liitteessä 3 on ohjeita kuinka voi tehdä Lastools-ohjelmalla kappaleessa 5 olevia suodatuksia, hahmotuksia ja ilmakuvaan.

TAULUKKO 2. MML:n keilausaineiston sisältö

MML:n aineiston sisällön pääsääntöiset suodatusmahdollisuudet		
<b>Luokituksen mukaan:</b>		
Luokka	Selite	Esimerkki
1	Luokittelematon	Rakennukset, osa kasvustoa
2	Maa	Maanpinta myös tiet ja yms.
3	Kasvusto	Kaikki kasvusto
7	Matalat virhekaiut	Syntyy esim. Heijastuksesta, esiintyy harvoin
9	Seisova vesi	Järvet, lammet
10	Sillat	Sillat
13	Peittoalueet	Lentojen päällekkäiset alueet, esiintyy harvoin
14	Virtaava vedet	Joet, harvoin purot
<b>Keilausdatan mukaan:</b>		
Luokka	Selite	Esimerkki
X	X-koordinaatti	X-koordinaatti
Y	Y-koordinaatti	Y-koordinaatti
Z	Z-koordinaatti	Korkeustieto
Intensiteetti	Paluukaiun voimakkuus	Ei ole luotettava
Paluukaikujen määrä	Paluukaiku	Yleensä 1 -5, 1 = first pulse, 2 -5 = last pulse
Kaikki kaiut yhteensä	Paluu- ja välikaiut yhteensä	Yleensä 1 -5, 1 = single pulse, 2 -5 = multi pulse
Lisätietoja:	Last pulse ei sisällä luokitusta 3	

Seuraavaksi käydään pistepilven käsittelytapoja siten, että hahmotuksella pyritään saamaan selville mitattavia yksityiskohtia ilman, että aineistosta poistetaan mitään. Suodatuksella aineistosta poistetaan epäoleellinen tieto ja sen jälkeen tuodaan nähtäviä ja mitattavia yksityiskohtia esille.



### 5.1.1 Pistepilven hahmotus

Helpoimpia ymmärrettäviä ja omin silmin nähtäviä tapoja pistepilven hahmottamiseen ovat maapinnan, rakennuksien, vesistön tai kasvuston suodatus värien tai kolmiverkkopinnan avulla. Myös korostamalla korkeustietoa saadaan mitattava asia näkyville.



*KUVA 11. Pistepilven väritys intensiteetin (harmaasävyyn) mukaan*

Kuvassa 11 pistepilveä ei ole suodatettu, mutta pisteet on väritetty intensiteetin voimakkuuden mukaan: mitä vaaleampi kohta sitä pienempi intensiteetti.

Pelkäästä pistepilvestä saa melko hyvän ilmakuva. Ilmakuvassa näkyvät mustat viivat ovat lentolinjoja tai niiden reunat.



*KUVA 12. Pistepilven intensiteettiarvoista tehty ilmakuva*

Yllä oleva ilmakuva on tehty pistepilvestä las2dem-ohjelmalla.



Kuvaa 13 ei ole suodatettu, mutta pistepilvi on väritetty luokitusten mukaan. Vihreällä näkyvät luokan 3 pisteet, ruskealla luokan 2 pisteet, sinisellä luokan 9 tai 14 pisteet, harmaalla luokan 1 pisteet ja mustalla luokan 10 pisteet, jotka tosin erottuvat heikosti (katso taulukko 2). Verrattuna edelliseen kuvaan tämä väritys auttaa hahmottamaan yksityiskohtia paljon enemmän. Oulun kaupungin läpi kulkeva puro ei kuulu MML:n luokitukseen, mutta asian hahmottamisen vuoksi siniset pisteet on lisätty jälkikäteen.



*KUVA 13. Pistepilven luokituksen (värien) mukaan*



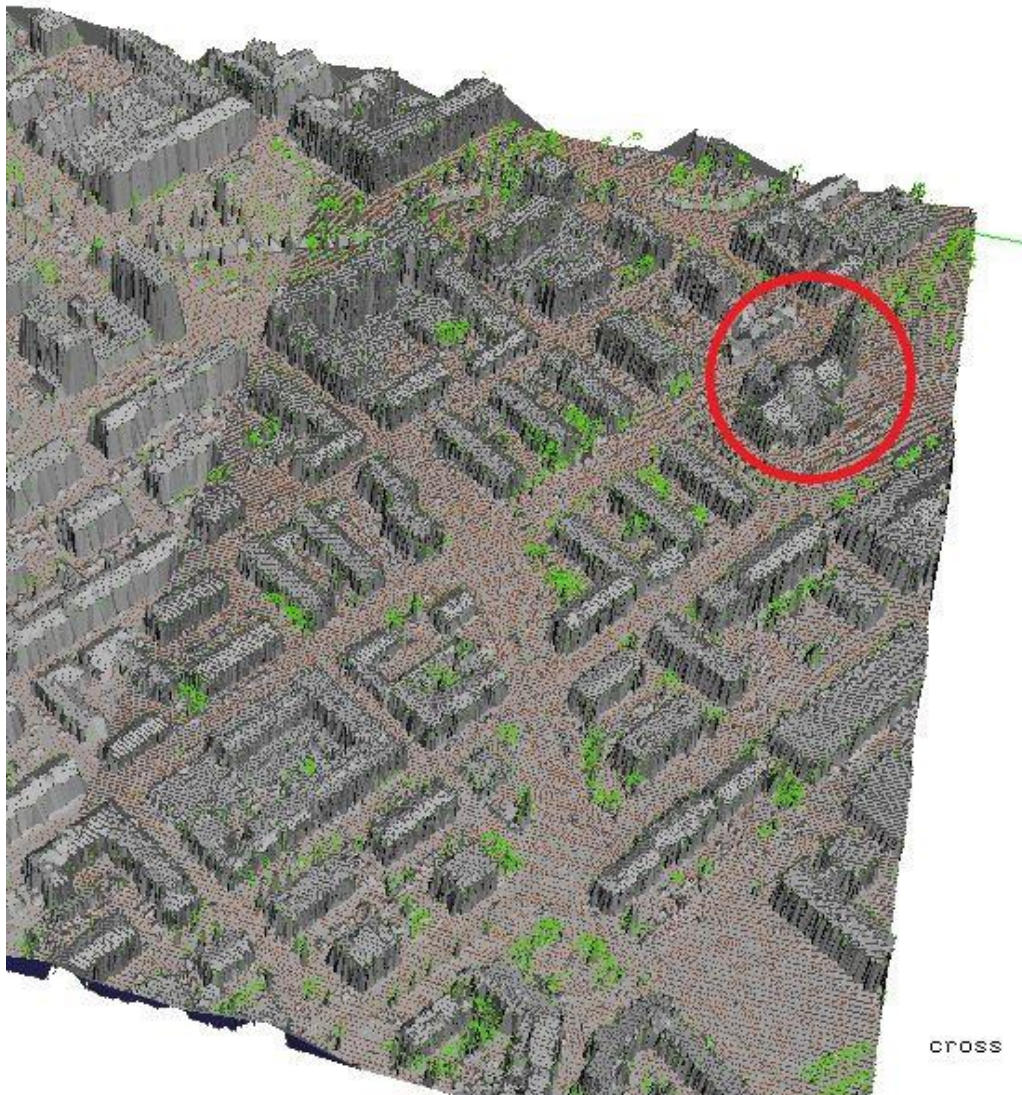
Kuvaa 14 ei edelleenkään ole suodatettu, mutta siitä on tehty kolmioverkkopinta. Kolmioverkkopinta tuo lisää näkyviin yksityiskohtia, ja nyt jopa autot erottuvat kuvasta mutta epämääräisinä pisteinä. Jos kolmioverkkopintakuvaa pääsee vielä suurentamaan ja kääntämään mielensä mukaan, niin yksityiskohtien erottaminen paranee selkeästi.



*KUVA 14. Kolmioverkkopinta pistepilvestä*



Pyörittelemällä ja suurentamalla kolmioverkkopintaa voidaan edellisestä kuvasta tunnistaa Oulun tuomiokirkko. Pistepilvestä voidaan mitata esimerkiksi tuomiokirkon korkeus verrattuna viereiseen katuun.

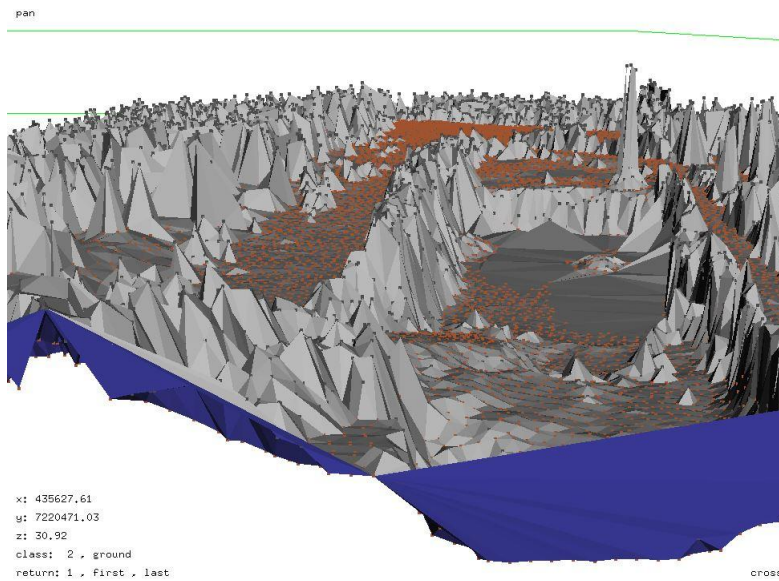


*KUVA 15. Suurennettu ja käännetty kolmioverkkopinta ja tuomiokirkko*

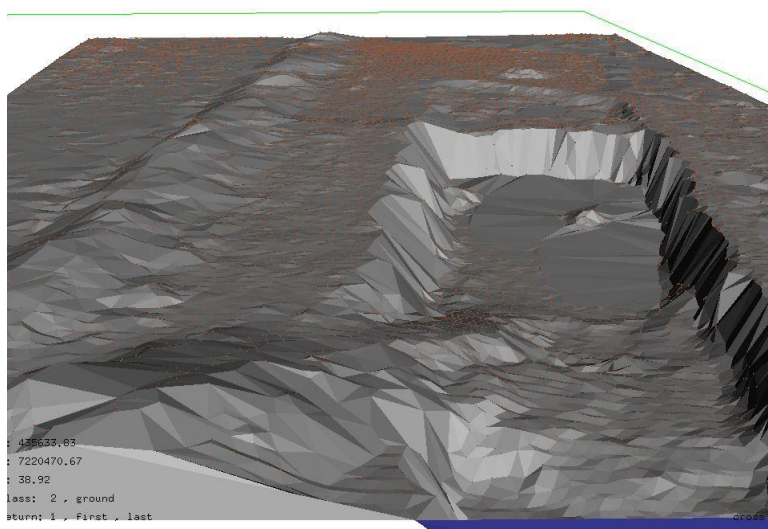
## 5.1.2 Pistepilven suodatus

### Maanpinnanmuotojen suodatus

Maanpinnan suodatus on helppo luokituksen 2 avulla. Tällöin maan korkeustieto on suoraan käytettävissä. Maapintaluokitus pitää sisällään tiet, purot, ojat ja lohkareet. Luomalla kolmioverkkopinta pelkästään luokasta 2 nähdään maanpinta kolmiulotteisena.



KUVA 16. Suodattamaton kolmioverkkopinta louhosalueelta



KUVA 17. Luokituksella 2 suodatettu kolmioverkkopinta louhosalueelta

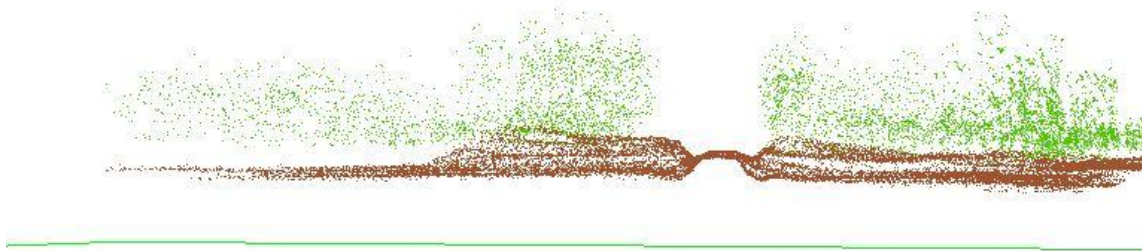
## Ranta-asema kaavan suodatus

Rannan maa-alueen kaltevuus ja epätasaisuus voidaan päätellä luokituksen 2 perusteella. Luokka 9 on vakavesille ja luokka 14 virtavesille, ja pieniä puroja ei ole luokiteltu. Jäljelle jääneessä pistepilvessä on selkeä tieto vedenpinnan korkeudesta ja rantaviivasta koordinaatistossa. MML:n laserkeilausdata kertoo korkeuden vedenpinnasta, ei vedenpohjasta.

## Puustonkorkeuden suodatus

Hieman vaikeampi tapaus on kasvuston suodatus ja varsinkin, jos halutaan selvittää puuston korkeus. Aineisto on suodatettava luokituksen 3 avulla (osa kasvustosta näkyy myös luokituksessa 1), jolloin pistepilveen jää vain kaikki kasvustoon viittaava tieto. (Katso kuva 18.)

Suomessa luokitus 3 käsittää koko kasvuston, sillä meillä ei ole kasvustoa jaoteltu matalaan, keskikorkeaan tai korkeaan kasvustoon. Pelkästään luokalla 3 suodatetusta pistepilvestä ei vielä voi olla varma puuston korkeudesta, koska paluukaiut ovat voineet tulla mistä tahansa kohdin kasvustoa.



```
x: 446869,35  
y: 7224792,12  
z: 62,25  
class: 3 , veg (low)  
return: 1 , first
```

*KUVA 18. Luokituksella 2 ja 3 suodatettu poikkileikkauskuva*

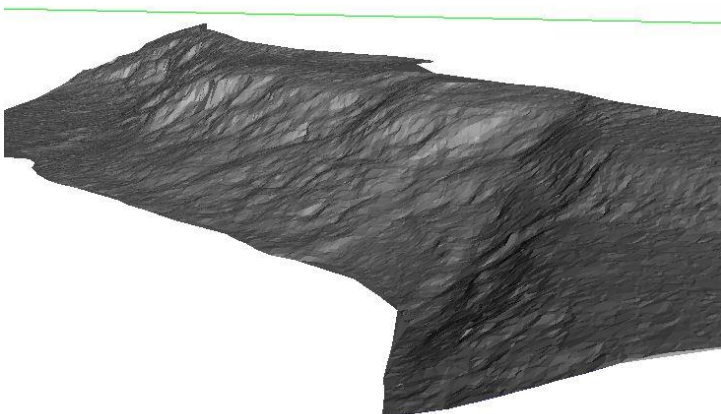


Puuston korkeustietoa voi yrittää saada selville suodattamalla pistepilvi kasvuston luokituksella ja first pulse:lla (First -pulse tarkoittaa ensimmäistä paluukaikua kuten puunlatvat) ja vertaamalla näiden korkeustietoa maanpintaluokituksen korkeustietoon. Mikäli maasto on kumpuilevaa, vertailua voi joutua tekemään pienillä alueilla kerrallaan. Pisteiden väritys vihreän sävyjen ja korkeuden mukaan auttavat hahmottamaan puuston korkeutta. Kolmioverkkopinta puuston hahmottamisessa ei ole aina paras ratkaisu.

## 5.2 Suunniteltavan alueen käsittely

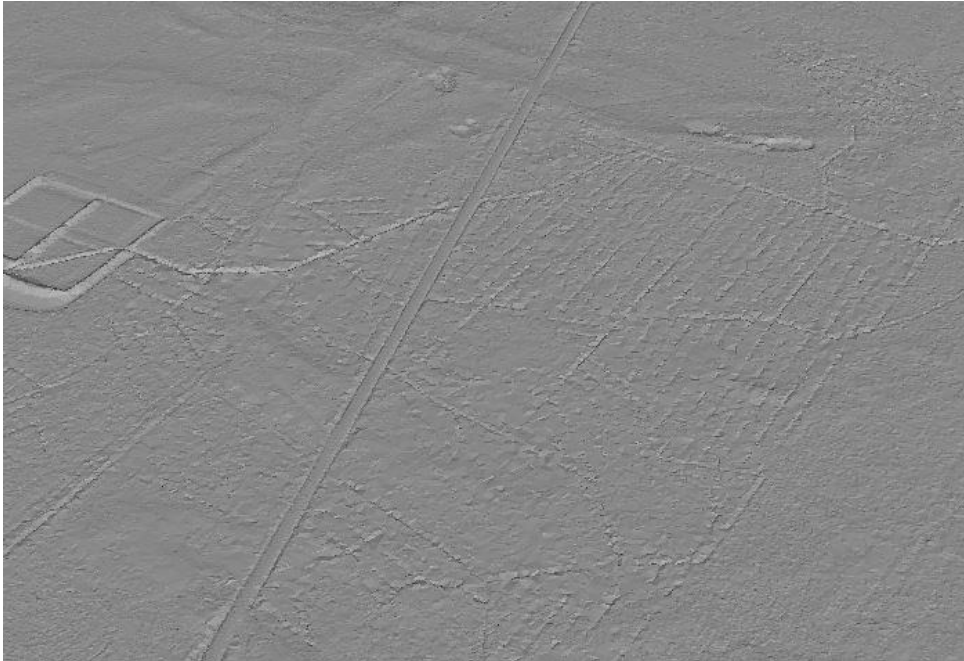
Ensin pistepilvestä voi luoda ilmakuvan, josta voi hahmottaa ympäristön, olemassa olevat tiet, rakennukset ja ymuut vastaavat. Voidaan myös käyttää valmista ilmakuvaa. Mielenkiintoiset kohdat otetaan omaksi tiedostoiksi lähempää tarkastelua varten esimerkiksi Lastools:lla, ja näistä voi luoda kolmioverkkopinnan tai yrittää hahmottaa pistepilveä värein. Varsinainen käsittely kannattaa tehdä pienemmillä pistepilvillä.

Valitusta alueesta suodatetaan näkyviin maanpinta, josta saadaan mitattua korkeuserot ja nähdään pinnanmuodot, kuten kuvasta 19. Selkeyden vuoksi korkeuseroja voi korostaa. Maaperän laatua ei voi suoraan päätellä pistepilvestä, mutta kasvuston korkeudesta voi sen sijaan arvailla, minkä tyyppisestä maaperästä on kyse, kuten suolla ei kasva metsää mutta alue voi olla myös hakkuuaukea.



*KUVA 19. Luokituksella 2 suodatettu kolmioverkkopinta pinnanmuodosta*

Vaka- ja virtavedet ovat selkeästi suodatettavissa olevat luokitukset. Ojitetut suot tai pellot erottuvat suorina linjoina, mutta ojat ja purot eivät ole luokissa 9 tai 14 vaan luokassa 2. Ne saadaan näkyviin kolmioverkkopinnalla. Ojien syvyys pystytään mittaamaan, mutta mikäli ojassa on ollut vettä mittaushetkellä, niin korkeusarvo on tullut vedenpinnasta. (Katso kuva 20.)



*KUVA 20. Ojittettua maanpintaa, joka on suodatettu luokituksella 2 ja siitä on tehty kolmioverkkopinta*

Tutkittavalla alueella olevaa rakennettua maata kuten kenttiä, ratoja ja teitä saadaan suodatettua sekä hahmotettua varsin hyvin. Olemassa olevat louhokset ja läjitykset saadaan näkyviin kolmioverkkopinnan avulla (katso kuvat 16 ja 17).

Olemassa olevan rakennetun maan suodatukseen käytetään luokitusta 2, 10 ja single pulse:a (ei välikaiullisia pulsseja). Tällöin esimerkiksi luokan 2 kaikki maanpintapisteet, jotka olivat kasvustossa, jäävät pois. Hienosäätöä suodatukseen voi yrittää suodattamalla vielä z-koordinaatin ja intensiteetin avulla. Pistepilvestä voidaan poistaa intensiteettiarvot, jotka ovat yli 100. Näin saada näkyviin kovia pintoja. (Katso kuva 21.)

Intensiteetin arvo voi vaihdella suuresti samasta pinnasta, joten pientä testailua täytyy tehdä ennen oikean intensiteetti-arvon valintaa. Käyttämällä värisävyjä intensiteetti-arvon näkemisessä voidaan verrata intensiteetti-arvoja eri pinnoista.

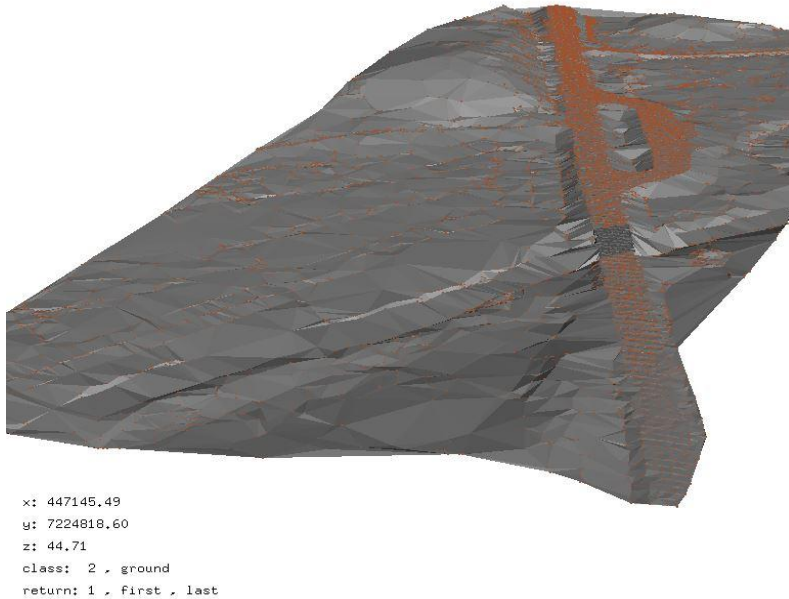


*KUVA 21. Rakennettu maa on suodatettu näkyville pistepilvestä*

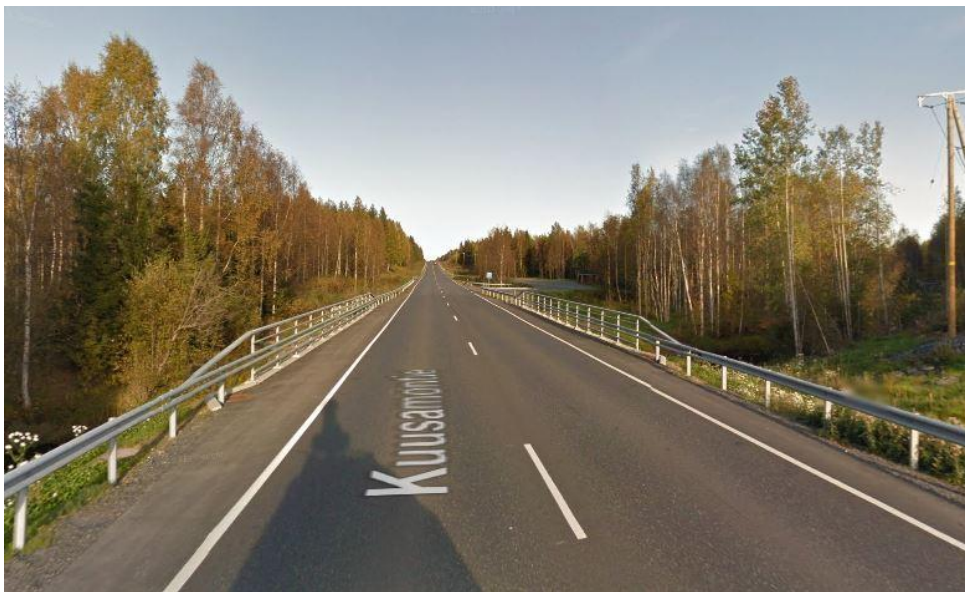
Rakennetun tien ominaisuuksien mittaus pistepilvestä on mahdollista, kuten kaltevuudet, pysähtymisnäkyvät, ojien syvyydet, tien painuma suhteessa ojaan ja suurpiirteinen korkeusasema. Tien kulutuskerroksesta ei voi päätellä juuri mitään. Kulutuskerroksen tyyppi ja kerroksen vahvuus jää avoimeksi johtuen alhaisesta pistetiheydestä, joka on noin 0,5 - 1,0 pistettä / m<sup>2</sup>. Sillat löytyvät helposti luokasta 10.



Kuvan 22 pistepilvestä voidaan mitata tien leveys, korkeusasema ja kaltevuus. Siltaa voidaan käyttää referenssinä mittauksissa. Edellä kerrotussa rakennetun maan suodatuksessa pitää huomioida, että pistetiheys vähenee merkittävästi kasvustoalueilla, kuten kuvasta 22 nähdään. Tiellä on hyvä pistetiheys, mutta tien ulkopuolella on selvästi vähemmän pisteitä. Tämä voi johtaa kolmioverkkopinnan virheisiin.

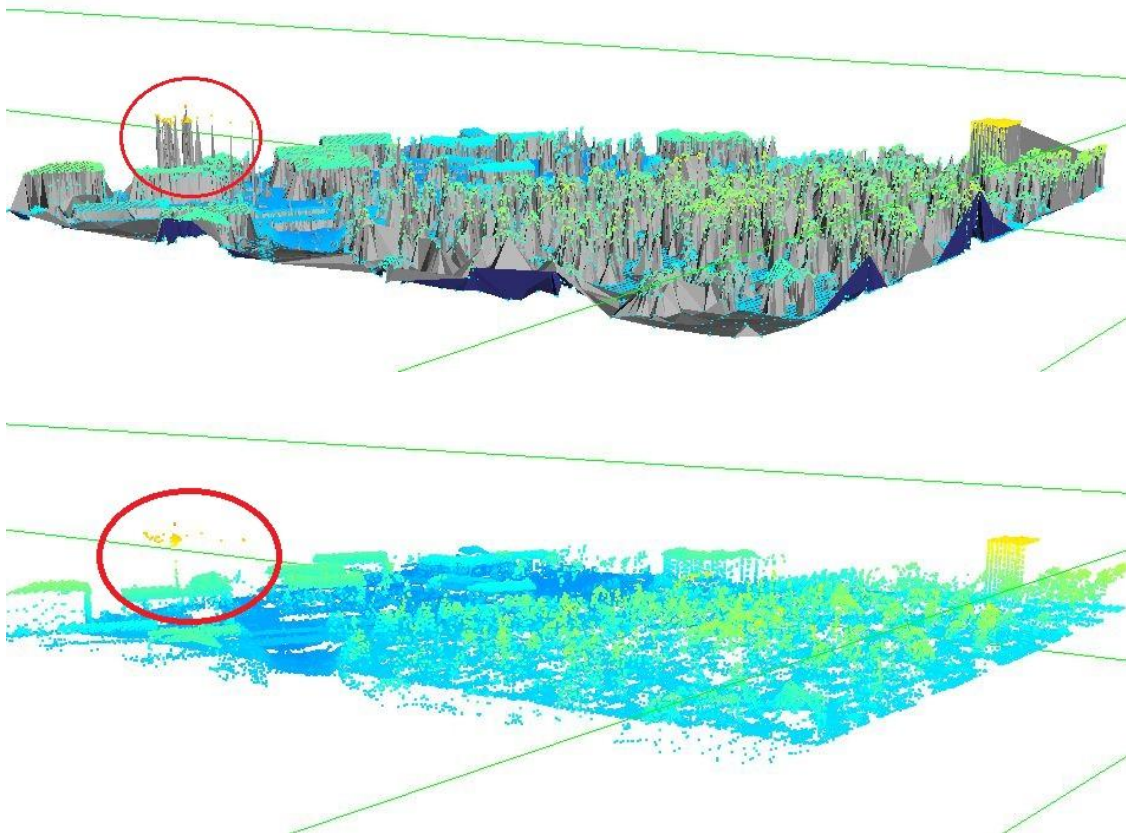


*KUVA 22. Rakennetun maan suodatuksella tehty kolmioverkkopinta*



*KUVA 23. Valokuva samasta tien kohdasta*

Rakennusten suodattaminen näkyviin on haasteellista, koska rakennukset ovat luokassa 1 eli luokittelematon, ja tähän luokkaan on myös jäänyt kasvustoa. Rakennusten suodatusta kasveista voi yrittää luokan 1 ja single pulse:n (ei välikaikuja) avulla. Yleensä rakennukset saadaan näkyviin kolmioverkkopinnalla ja tutkimalla rakennuksia visuaalisesti pyörittämällä pistepilveä. Myös korkeuden suhteen suodattamista kannattaa kokeilla sekä pisteiden väritymistä korkeuden mukaan. Haastavin ympäristö on kaupunki, jossa on korkeita rakennuksia ja metsää lähekkäin.



*KUVA 24. Kaupunki alue, jossa on metsää. Yllä oleva kuva on pistepilvikolmioverkkopinnalla ja alla oleva kuva ilman kolmioverkkopintaa*

Kuvassa 24 pistepilvessä on vain luokan 1 pisteet, ja pisteet on väritetty korkeuden suhteen. Alemmassa kuvassa erottuu vasemmalla nosturi keltaisena, mutta ylemmässä kuvassa kolmioverkkopinnalla se piirtyy väärin ja hukkuu maisemaan.

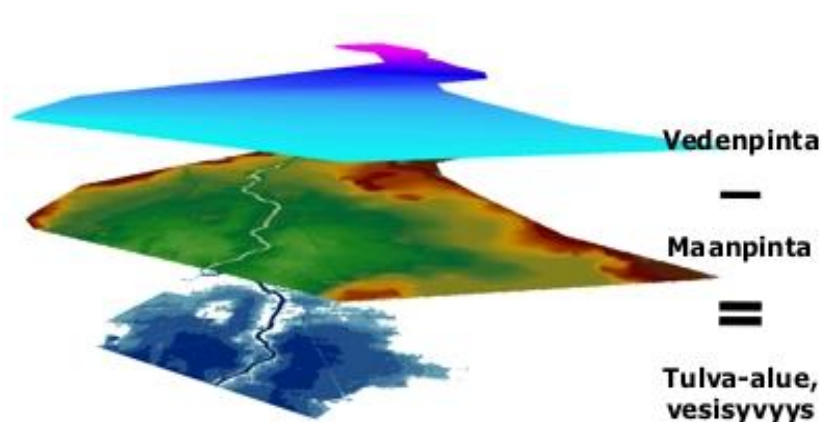


### 5.3 Suodatus tulvakartoituksessa

Tulvakartoista selviää, kuinka korkealle tulva voi nousta. Tulvakartoitus toteutetaan laskemalla hydraulisella mallilla ja todennäköisyysjakaumiin perustuvien ylivirtaamatietojen avulla niitä vastaavat vedenkorkeudet. Laskettuja vedenkorkeustietoja verrataan maanpinnankorkeusmalliin tulvakarttojen muodostamiseksi.

Tulvakartoituksessa riittää maanpintaluokitus eli luokka 2. Myös siltapisteitä eli luokkaa 10 voi käyttää tarvittaessa. Tulvavaarakartoituksessa mallinnettavan alueen koot neliökilometreinä ovat usein hyvin suuria ja se muodostaa haasteen laskennalle. Käytännössä pistepilviaineistoa joudutaan harventamaan ja tasoittamaan. Lopuista pisteistä luodaan maanpinnan korkeusmalli. Kun hydraulisella mallilla lasketut eri tulvatilanteita vastaavat vedenkorkeudet sijoitetaan käytettyihin maanpinnan korkeusmalleihin, voidaan niistä muodostaa oma vedenpintaa kuvaava malli.

Vähentämällä vedenpintamalli ja alkuperäinen maanpintaluokituksen perusteella laadittu harventamaton maaston korkeusmalli saadaan rajattua kastuvan alueen laajuus. (Katso kuva 25.) Samalla saadaan laskettua tulvavaarakartoissa esitettävät eri syvyysvyöhykkeet. Näin muodostuvat eri tulvan toistuvuuksia vastaavat tulvavaarakartat. Korkeusmallin tarkkuus vaikuttaa tulvakartoituksen tarkkuuteen ja olisi hyvä, että korkeusmallista näkyisi selvästi tiestö, penkereet ja merkittävät tulvariskikohteet. (27.)



KUVA 25. Tulvamallinnus (27)

## 5.4 Aineiston parantaminen omaan käyttöön

Laserkeilausaineistoa voi hyödyntää paremminkin, mutta se vaatii oma-aloitteista aineiston parantamista. Tämä tietenkin lisää työmäärää ja kustannuksia, mutta jos samalla alueella on paljon projekteja, voi menetetty työmäärä maksaa myöhemmin itsensä.

Aineistoon voi lisätä omia luokituksia tai muuttaa luokkia. Esimerkiksi luokassa 1 olevat rakennukset voidaan siirtää omaan luokkaansa eli luokaan 6. Rakennukset voisi myös luokitella käyttötarkoituksen mukaan. Omatoimista luokitusta voi tehdä myös tielle, kaduille, suojateille, sähkölinjoille, moottorikelkkareiteille. Lisäksi olevien maanalaisten putkien ja kaapeleiden sijainnit voidaan määritellä tai luokitella. Tämä onnistuu esimerkiksi Lasview-ohjelmalla.

Jonkin asteista intensiteetin kalibrointia tunnetun tien päällysteeseen voi yrittää pienellä alueella, ja näin viereiseltä alueelta voisi päätellä haarukoinnilla tuntemattoman tien kulutuskerroksen tyyppiä.

Laserpisteen väritiedot ovat periaatteessa mahdollisia lisätä hakemalla Google map:sta tai vastaavasta paikasta alueen ilmakekuva, ja ilmakekuvasta saadaan tietää halutun kohdan väritieto, joka voidaan tallentaa kyseessä olevan laserpisteen tallennuslohkoon pienemmällä tarkkuudella vaikka user data ja point source ID -soluihin, tai valitsemalla kokonaan uusi pistepilven eli point data records -lohkon tyyppi. (Katso kappale 3.6)

## 6 LASERKEILAUSSAINEISTOA HYÖDYNTÄVÄT OHJELMAT

Menneinä vuosina pistepilven käsittelyssä oli ongelmia muistin ja tietokoneen laskentatehon kanssa, vanhan 32-bittisen käyttöjärjestelmän suurin keskusmuisti oli käytännössä 3,5 gigatavua. Nykyisin 64-bittinen käyttöjärjestelmä pystyy käyttämään jopa 192 gigatavua keskusmuistia ja kokoajan tehokkaammat prosessorit helpottavat pistepilven käsittelyä.

### 6.1 Lastools

Ohjelmiston on kehittänyt Martin Isenburg ja Jonathan Shewchuk Rapidlasso GmbH:sta. Ohjelmisto koostuu 15 komentoriviltä toimivasta työkalusta joita myös voidaan käyttää yhden ikkunan sisältä. Ohjelmisto mahdollistaa aineistojen tuottamisen ja analysoinnin sekä mahdollisuuden luoda pintamalleja (DEM ja DSM), korkeuskäyriä, muuntaa aineistoja las-formaatista asc-formaattiin, yhdistää ja pakata aineistoja. (22.)

LAStools:lla maastomalli voidaan georeferoida, jolloin se on mahdollista avata muilla ohjelmilla. Tämä edellyttää tiedoston tallentamista TIF-kuvaformaattissa. Georeferoinnilla tarkoitetaan sijaintia koskevan tiedon liittämistä kuvaan ja kuvan liittämistä sijaintia koskevaan tietoon. Näin kuvaa voidaan analysoida oikeassa koordinaattijärjestelmässä. (22.) Tässä työssä käytetty versio Lastoolista oli 140301, joka oli ilmestynyt 1.3.2014.

Käyttöohjeita Lastools-ohjelmasta on liitteessä 3.

Ohjelma jakautuu kahteen osaan: avoimeen lähdekoodiin ja lisensoituun osaan, joka on maksullinen voittoa tavoittaville yrityksille (23).

Avoimen lähdekoodin työkalut ovat:

- lasindex, lasvalidate, lasinfo, las2las ja lasprecision
- lasview, lasdiff, lasmerge, las2txt, txt2las ja LASzip (23).

Lisensoituun osaan kuuluvat:

- blast2dem, blast2iso, lasground, lasheight ja lasclassify
- lasgrid, lascanopy, lasboundary, lascontrol ja lasoverlap
- lasoverage, lasduplicate, lassplit, las2tin, las2iso ja las2dem
- lasthin, lasnoise, lassort, lastile, lascolor, lasclip ja las2shp ja shp2las (23).

### **6.1.1 Avoimen lähdekoodin työkalujen kuvaus**

#### **lasindex**

Työkalu luo halutusta las- / laz-tiedostosta paikkatietojen indeksointitiedoston, joka nopeuttaa paikkatietojen käsittelyä. (17).

#### **lasvalidate**

Työkalu tutkii, missä formaatissa (1.0 - 1.4) on haluttu las- / laz-tiedosto. (17).

#### **lasinfo**

Työkalu luo yhteenvedon halutusta las- / laz-tiedostosta, ja yhteenvetotiedosto voi olla txt-tyyppinen. Yhteenveito sisältää muun muassa min-max-tietoja sekä luokittelupisteiden lukumäärät. (17.)

#### **las2las**

Työkalulla voi suodattaa, muuttaa halutun las-tiedoston sisältöä. Esimerkiksi suodattaa kaikki luokan 2 pisteet pois. (17.)

#### **lasprecision**

Työkalu kertoo, onko otsikkokentässä olevat tiedot todellisia verrattuna pistepilveen (17).

### **lasview**

Ohjelmalla voidaan katsella pistepilveä tai luoda kolmioverkkopinta pistepilvestä. Lisäksi sillä voidaan poistaa, editoida pisteitä sekä luokitteluja. (17.)

### **lasdiff**

Ohjelma tutkii kahta tai useampia las- / laz-tiedostoja ja kertoo, mitkä niistä ovat identtisiä ja missä on eroja (17).

### **lasmerge**

Ohjelma lukee useita pistepilvitiedostoja las- / laz-muodossa ja yhdistää ne yhdeksi las- / laz-tiedostoksi (17).

### **las2txt ja txt2las**

Työkalu muuttaa las- / laz-tiedoston luettavaan txt-muotoon, ja txt/xyz-muoto voidaan muuttaa las- / laz-muotoon (17).

### **LASzip**

Ohjelma purkaa tai pakkaa laz- tai las -tiedostot (17).

## **6.1.2 Lisensoidun osan työkalujen kuvaus**

### **las2dem**

Työkalu tekee las- / laz-tiedostosta digitaalisenkorkeusmallin eli DEM:in. Tiedostomuoto voi olla myös jpg (17).

### **lastile**

Ohjelmalla voidaan iso pistepilvi pilkkoa pienemmäksi (17).

## **6.2 Muut ohjelmat**

Laserkeilausaineistoa hyödyntäviä ohjelmia on runsaasti, mutta tähän on kerätty muutama, jotka käyttävät las-formaattia.

### **Autocad civil 3d**

Voidaan luoda kolmioverkkopintoja pistepilvestä. Käytetään paljon, koska monet muut ohjelmat tukeutuvat CAD:iin. Ei tue vielä laz-tiedostoa. Ohjelma vaatii lisenssin, mutta sen ilmainen käyttö koeajan puitteissa on mahdollista.

### **Autocad map 3d**

Karttojen suunnitteluohjelma jolla on helppo tehdä eri kerroksia pistepilvestä, DEM-kuvista ja karttakuvista. Ohjelma vaatii lisenssin, mutta sen ilmainen käyttö koeajan puitteissa on mahdollista.

### **Fusion**

Fusion sopii hyvin suurten aineistojen käsittelyyn graafisella käyttöliittymällä. Ohjelma on ilmainen.

### **Global mapper**

Karttojen suunnitteluohjelma tukee las- ja laz-formaattia ja sisältää paljon ominaisuuksia. Ohjelma vaatii lisenssin, mutta sen ilmainen käyttö koeajan puitteissa on mahdollista.

### **OL laser**

Pieni ilmaisohjelma kevyeen käyttöön, esimerkiksi korkeuskäyrien luontiin.

Ilmaisia ohjelmia löytyy myös lähteen 22 perusteella.

## 7 POHDINTA

Nykyinen MML:n laserkeilausaineisto on yhdyskuntasuunnittelun kannalta riittävä sellaisenaan esimerkiksi tulvakartoitukseen ja maastonkorkeusmallien tekemiseen. Vastaavasti moneen perinteiseen tarkempaan suunnitteluun se on yksinään riittämätön, kuten tiesuunnitelma kulutuskerroksen tarkkuudella tai puuston tyypin arviointi. Kuitenkin suunnittelun tukena siitä on paljon apua. Aineistoa voi käyttää erillisten laskentojen apuna, kuten jonkin kaupunginosan rakennuspinta-alan tai -tilavuuden määrittämiseen sekä korkeuserojen etsintään. Myös rantakaavoituksessa pistepilveä voidaan käyttää. Harrastajaryhmille aineisto on kultakaivos: melko laadukkaat suunnistuskartat, ulkoilu- ja kelkkailureitit voi tehdä aineistosta. Korkeuserot ovat helposti tulkittavia, joten uusia kalliokiipeilyalueita tai koskenlaskupaikkoja voi etsiä aineiston avulla.

Olisiko ilmainen laserkeilausaineisto, joka mahdollistaa kaupunkien tai taajamien laadukkaan 3D-mallennuksen, järkevää? Pakostakin kuvittelen, että yhdyskuntasuunnittelua voitaisiin tehdä tulevaisuudessa halpatyömaissa jos laadukas aineisto olisi vapaasti saatavilla. Nykyinen tila antaa mahdollisuuden yrittäjälle erikoistua MML:n avoimen aineiston laadun parantamiseen, kuten luokitusten tarkentamiseen ja pistetiheyden lisäämiseen.

Ohjelmistonkehittäjille voi olla kysyntää, koska tarvitaan ohjelmia, joilla voi hyödyntää tai yhdistää enemmän avoimia aineistoja. Esimerkkinä voisi olla apuohjelma, joka hakee pistepilven UTM-koordinaattien perusteella oikean ilmakuva ja etsii sieltä laserpisteelle väritiedon. Lisäksi voisi olla ohjelmia, jotka pystyvät hyödyntämään täydenaaloon keilauksesta saatavan lisäarvon; toisaalta näitä ohjelmia voi olla jossakin määrin. Tarvitaan algoritmeja, jotka osaavat etsiä pistepilvestä teitä, katuja, rakennuksia ja muuta sellaista ja jotka olisivat haluttuja työkaluja keilausaineiston kehittäjälle.

## LÄHTEET

1. Maanmittauslaitoksen kotisivut, organisaatio. Saatavissa:  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/toiminta/organisaatio/toiminta-tehtavat>.  
Hakupäivä 14.3.2014.
2. Maanmittauslaitoksen kotisivut, aineistot ja palvelut. Saatavissa:  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/aineistot-ja-palvelut> Oy. Hakupäivä  
28.1.2014.
3. Maanmittauslaitoksen kotisivut, avoimen aineiston lisenssi. Saatavissa:  
[http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata\\_lisenssi\\_versio1\\_20120501](http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata_lisenssi_versio1_20120501).  
Hakupäivä 28.1.2014.
4. Maanmittauslaitoksen kotisivut, avoimen aineistojen latauspalvelut.  
Saatavissa: <http://www.maanmittauslaitos.fi/aineistot-palvelut/latauspalvelut/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>. Hakupäivä  
28.1.2014.
5. Paikkatietoikkuna, avoin paikkatieto. Saatavissa:  
<http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/avoin-paikkatieto>. Hakupäivä 1.2.2014
6. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu, Joala Vahur.  
Saatavissa: <https://docs.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGMylTlkOWUtNTQzMdIwZTI3NDVm/edit?hl=en>. Hakupäivä 17.3.2014.
7. Wikipedia, laserkeilaus. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Laserkeilaus>.  
Hakupäivä 28.1.2014.
8. Maanmittauslaitoksen kotisivut, laserkeilaustekniikka. Saatavissa:  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilaustekniikka>. Hakupäivä 31.1.2014.



9. Maanmittauslaitoksen kotisivut, laserkeilausaineisto. Saatavissa:  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laserkeilausaineisto>. Hakupäivä 1.2.2014.
10. Opinnäytetyö, maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen hyödyntäminen suunnistuskartoituksessa, Tommi Uusimäki. Saatavissa:  
<https://www.theseus.fi/handle/10024/62767>. Hakupäivä 12.2.2014.
11. Uuden valtakunnallisen laserkeilaukseen perustuvan korkeusmallituotannon käynnistäminen Maanmittauslaitoksessa, Juha Vilhomaa. Saatavissa:  
[http://mts.fgi.fi/maanmittaus/numerot/2010/2010\\_2\\_vilhomaa.pdf](http://mts.fgi.fi/maanmittaus/numerot/2010/2010_2_vilhomaa.pdf). Hakupäivä 10.2.2014.
12. Valtakunnallinen laserkeilaus - testityöstä tuotantoon. Juha Vilhomaa ja Heli Laaksonen. Saatavilla:  
[http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf\\_e/2011/PJF2011\\_3\\_Vilhomaa\\_Laaksonen.pdf](http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Vilhomaa_Laaksonen.pdf). Hakupäivä 10.2.2014.
13. Lidar-UK , What is LiDAR. Saatavissa: <http://www.lidar-uk.com/what-is-lidar/>. Hakupäivä 3.3.2014.
14. Opinnäytetyö, Lentolaserkeilauksen hyödyntäminen rakennusvalvontamittauksissa, Mikko Ylipulli. Saatavissa:  
<https://www.theseus.fi/handle/10024/66103>. Hakupäivä 17.2.2014.
15. Leapsecond, GPS clock. Saatavissa:  
<http://www.leapsecond.com/java/gpsclock.htm>. Hakupäivä 17.3.2014.
16. Laszip. Saatavissa: <http://www.laszip.org/>. Hakupäivä 24.2.2014
17. Rapidlasso. Saatavissa: <http://rapidlasso.com/>. Hakupäivä 30.1.2014
18. Maanmittauslaitos, keilausindeksi 2014. Saatavissa.  
[http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/laserkeilausindeksi\\_2014.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/laserkeilausindeksi_2014.pdf). Hakupäivä 17.3.2014

19. Maanmittauslaitos, laserkeilaukset 2008 - 2014. Saatavissa:  
[http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/Laserkeilaukset\\_2008\\_2019.jpg](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/Laserkeilaukset_2008_2019.jpg). Hakupäivä 17.3.2014.
20. ASPRS organisaatio. Saatavissa: <http://www.asprs.org/About-Us/What-is-ASPRS.html>. Hakupäivä 10.2.2014.
21. ASPRS organisaatio, las-file. Saatavissa: <http://www.asprs.org/Committee-General/LASer-LAS-File-Format-Exchange-Activities.html>. Hakupäivä 10.2.2014.
22. Ilmaisia ohjelmia laserkeilausaineistojen käsittelyyn, Esitelmä laserkeilaus- ja korkeusmalliseminaarissa Ventin Jakob 2010. Saatavissa:  
[http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/MML\\_korkeusp%C3%A4iv%C3%A4esitys\\_JakobVentin.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/MML_korkeusp%C3%A4iv%C3%A4esitys_JakobVentin.pdf). Hakupäivä 17.3.2014.
23. Lastools lisenssiehdot. Saatavissa:  
<http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/LICENSE.txt>. Hakupäivä 10.2.2014
24. Nordic Geo Center Oy:n blogi, todellisuutta tallentamassa. Saatavissa:  
<http://www.geocenter.fi/blogi/taysi-aallonmuoto/>. Hakupäivä 27.2.2014.
25. Rapidlasso, lastools tutorials. Saatavissa:  
<http://rapidlasso.com/category/tutorials/>. Hakupäivä 16.3.2014.
26. Sotateollisuuden käyttöön tarkoitettu pieni inertiamittauspiiri. Saatavissa:  
<http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2013/04/10.aspx>. Hakupäivä 10.3.2014.
27. Tulvakartoitus. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi\\_ ja\\_meri/Tulviin\\_varautuminen/Tulvariskien\\_hallinta/Tulvariskien\\_hallinnan\\_suunnittelu/Tulvakartoitus](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi_ ja_meri/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelu/Tulvakartoitus). Hakupäivä 27.3.2014.
28. Spatiaalinen interpolointi, Luentomateriaali. Saatavissa:  
[http://www.helsinki.fi/geography/Mika\\_Siljander/GIMK2013\\_luentoPPT/GIMK\\_2012\\_luento\\_08\\_MS.ppt](http://www.helsinki.fi/geography/Mika_Siljander/GIMK2013_luentoPPT/GIMK_2012_luento_08_MS.ppt). Hakupäivä 2.4.2014.

## **LIITTEET**

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Las-tiedoston sisältö

Liite 3 Lastools-ohjelman käyttöohjeita