

**MAANMITTAUSLAITOKSEN  
LASERKEILAUSDATAN  
HYÖDYNTÄMINEN  
SUUNNITTELUSSA**

Matti Hjulgren

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2014  
Rakennustekniikka  
Infrarakentaminen

**TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Infrarakentamisen suuntautumisvaihtoehto

HJULGREN, MATTI:

Maanmittauslaitoksen laserkeilausdatan hyödyntäminen suunnittelussa

Opinnäytetyö 40 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Joulukuu 2014

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli opetella käyttämään Maanmittauslaitoksen ilmaiseksi tarjoamia laserkeilausaineistoja suunnittelun apuna sekä selvittää, onko näiden aineistojen avulla mahdollista tuottaa riittävän tarkkoja maastomalleja suunnittelua varten. Lisäksi tutustuttiin tarkemmin laserkeilaukseen mittausten menetelmänä ja vertailtiin sitä nykyisiin käytettyihin GPS- ja takymetrimittauksiin.

Esimerkkikohteena opinnäytetyössä oli Ulvilan kaupungissa Rantalan asuinalueen tuleva laajennus, jonka suunnittelua varten pyrittiin tuottamaan riittävän laadukas maastomalli laserkeilausdatasta. Tämän ohella tutkittiin kyseisen aineiston muita käyttömahdollisuuksia, kuten teiden mallintamista. Lisäksi keilausaineiston tarkkuutta tutkittiin aikaisemmin mitatun aineiston avulla.

Lopputuloksena saatiin aikaiseksi maastomalli, joka oli kyllin tarkka käytettäväksi suunnittelun pohjana. Lisäksi opittiin laserkeilausaineiston käyttö myös tulevia hankkeita varten. Tiemallinnukseen tämä aineisto todettiin liian epätarkaksi.

---

Asiasanat: laserkeilaus, maastomalli

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Civil Engineering

**HJULGREN, MATTI:**

Utilization of Laser Scanning Data Provided by National Land Survey of Finland

Bachelor's thesis 40 pages, appendices 3 pages  
December 2014

---

The purpose of this thesis was to learn to use laser scanning data provided by National Land Survey of Finland as a tool in planning, and to investigate if it is possible to produce terrain models of sufficient accuracy for planning by using these materials. In addition, laser scanning was studied more closely and compared with current GPS- and tachymeter measuring techniques.

The example site for this thesis was upcoming expansion of Rantala residential area in city of Ulvila, for whose planning it was tried to produce a terrain model of sufficient quality from laser scanning data. Further uses for this scanning data were also investigated, such as road modeling. Additionally, accuracy of this data was studied using previously surveyed data.

As a result of this work, a terrain model of acceptable accuracy was produced to be used as a basis of planning. The use of laser scanning material was also learned to be used in future projects. The road model produced from this data was deemed too inaccurate for further use.

---

Key words: laser scanning, terrain model

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	6
1.2	Ulvilan kaupunki.....	6
1.3	Opinnäytetyön rakenne .....	6
2	Nykyisin käytössä olevia mittausmenetelmiä .....	7
2.1	GPS- mittaus .....	7
2.1.1	Järjestelmän osat .....	7
2.1.2	Toimintaperiaate .....	8
2.1.3	Vahvuudet ja ongelmat .....	9
2.2	Takymetrimittaus .....	10
2.2.1	Mittauksen suorittaminen.....	10
2.2.2	Vahvuudet ja ongelmat .....	11
3	Laserkeilaus.....	13
3.1	Toimintaperiaate .....	13
3.2	Mittausmenetelmät.....	13
3.2.1	Ilmasta suoritettava keilaus .....	14
3.2.2	Maasta suoritettava keilaus .....	16
3.3	Tarkkuus ja laatu.....	18
3.4	Edut ja haitat .....	19
3.5	Keilaus kaupungeissa.....	21
4	Maanmittauslaitoksen laserkeilaukset .....	22
4.1	Tarve keilauksille.....	22
4.2	Keilausten suorittaminen .....	22
4.3	Maanmittauslaitoksen aineistot.....	22
5	Keilausaineiston muita mahdollisia käyttökohteita.....	24
6	Laserkeilaus, case Rantala.....	25
6.1	Taustaa .....	25
6.2	Mittausaineiston hankinta .....	26
6.3	Aineiston käsittely .....	26
6.4	Maastomallin tekeminen.....	28
6.5	Tiemallinnus .....	29
6.6	Tarkkuustarkastelu.....	31
6.7	Muu käyttö .....	35
7	YHTEENVETO .....	36
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET .....	38

Liite 1. Suomi loppuun - keilaussuunnitelma. Maanmittauslaitos 27.2.2013 .....	38
Liite 2. Muokkaamaton pistepilvi kohdealueesta .....	39
Liite 3. Muokattu pintamalli kohteesta.....	40

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön aiheena on laserkeilausaineiston käyttö maastomallin tekemisessä, erityisesti Maanmittauslaitoksen tuottaman ilmaiseksi saatavilla olevan keilausaineiston hyödyntäminen. Lisäksi vertaillaan laserkeilauksen etuja ja haittoja nykyisin käytettyjen takymetri- ja GPS-järjestelmien kanssa.

Työn toimeksiantaja on Ulvilan kaupunki, jossa ollaan aloittamassa uuden asuinalueen suunnittelu nykyisen Rantalan asuinalueen jatkoksi. Tarvetta työlle olisi ollut jo 2013, kun eräästä vaikeahkosta tieosuudesta tehtiin maastomallia, eikä tuolloin vielä ollut taitoa hyödyntää laserkeilausaineistoja.

Työn tavoitteena on siten opetella Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineiston hankinta, muokkaus ja käyttö siinä määrin, että sitä voidaan käyttää hyväksi suunnittelussa. Näin voitaisiin vähentää kaupungin suorittamien mittausten määriä. Lisäksi tarkastellaan, onko aineisto riittävän tarkkaa kyseisen suunnittelun pohja-aineistoksi.

## 1.2 Ulvilan kaupunki

Ulvila on Satakunnassa sijaitseva kaupunki, ja se on perustettu vuonna 1365, ollen siten maamme kolmanneksi vanhin kaupunki. Asukasluku vuoden 2014 syyskuussa oli 13 434.

## 1.3 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyöhön kuuluu teoriaosuus ja laserkeilausaineiston käsittelyosuus. Teoriaosuudessa on käytetty hyväksi Internetistä saatuja aineistoja ja henkilökohtaisia kokemuksia.

Toisessa osiossa käydään läpi aineiston hankinta, muokkaus ja lopputuotteet, sekä mahdolliset hyödyntämiskohteet ja tarkkuuden tarkastelu.

## 2 Nykyisin käytössä olevia mittausmenetelmiä

### 2.1 GPS- mittaus

GPS (Global Positioning System) on Yhdysvaltain kehittämä ja ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä, jonka kehitystyö aloitettiin 1970-luvulla ja joka valmistui nyky muodossaan vuonna 1994. Järjestelmä kehitettiin ensisijaisesti sotilaskäyttöön, mutta myös siviilikäytön tarpeet on alusta asti huomioitu järjestelmän kehityksessä. Siviilikäyttöön lähetettyä signaalia kuitenkin häirittiin tarkoituksella sen tarkkuuden heikentämiseksi, mutta tästä käytännöstä luovuttiin vuonna 2000.

GLONASS on venäläisten kehittämä ja ylläpitämä vastaava järjestelmä, jonka satelliitit kiertävät pohjoisemmilla radoilla kuin GPS-järjestelmän, ja antavat siten tarkempaa paikkatietoa Suomen leveysasteilla. Lisäksi Euroopan Unioni on toteuttamassa omaa satelliittipaikannusjärjestelmäänsä Galileoa, jonka kehitys kuitenkin on aikataulusta jäljessä poliittisten, teknisten ja taloudellisten ongelmien takia. Intia, Japani ja Kiina ovat myös suunnittelemassa ja toteuttamassa omia järjestelmiään. (Laurila 2010, 289-290).

#### 2.1.1 Järjestelmän osat

GPS- järjestelmä koostuu kolmesta lohkoista, jotka ovat satelliitti-, valvonta- ja käyttäjälohko.

Satelliittilohko koostuu vähintään 24 satelliitista, jotka kiertävät maapalloa noin 20 200 kilometrin korkeudella kuudella eri ratatasolla. Satelliitit on järjestetty ratatasoilleen niin, että vähintään kuusi satelliittia on aina näkyvissä lähes mistä tahansa pisteestä maan pinnalta katsoessa. Joulukuussa 2012 järjestelmään kuului 32 satelliittia, ja näiden "ylimääräisten" satelliittien avulla järjestelmän tarkkuutta ja toimintavarmuutta on parannettu näkyvyyden ja vikojen kannalta.

Valvontalohko muodostuu päävalvonta-asemasta ja seuranta-asemista. Näiden tehtävänä on satelliittien ratojen ja kellovirheiden määrittäminen ja seuraaminen, sekä satelliittien mahdollisten siirtojen suorittaminen.

Käyttäjälohko muodostuu järjestelmän käyttäjistä, jotka satelliittien lähettämien signaalien perusteella määrittävät sijaintia, nopeutta ja aikaa.

### **2.1.2 Toimintaperiaate**

Satelliittipaikannuksen toiminta perustuu etäisyyksien mittaamiseen satelliiteista. Kun satelliittien sijainnit tunnetaan, voidaan niiden etäisyydet havaitisijaan laskea satelliittien lähettämien signaalien perusteella. Virheiden hallinnan takia tulee etäisyydet laskea vähintään neljään satelliittiin. (Laurila 2010, 298).

Tarkempaa mittaustulosta haluttaessa on kuitenkin syytä käyttää monimutkaisempaa menetelmää, joista nykyään tarkimpia ja käytetyimpiä ovat RTK-mittaus (Real Time Kinematic) ja VRS-mittaus (Virtual Reference Station).

RTK-menetelmässä pystytetään tunnetulle pisteelle GPS-vastaanotin, joka vertaa sijaintiaan GPS-järjestelmän avulla laskettuun sijaintiinsa, ja näiden erojen perusteella laskee korjaussignaalin, joka sitten lähetetään varsinaiselle mittausvastaanottimelle. Signaalin perusteella mittausvastaanotin pystyy korjaamaan sijaintilaskelmiaan, ja näin ollen saadaan vastaanottimen sijainti tarkasti ratkaistua. Tukiaseman on oltava esteettömällä paikalla, jotta saadaan yhteys vähintään viiteen satelliittiin, mutta käytännössä tarvitaan 6-7 satelliittia luotettavan tuloksen saamiseksi. Mittausvastaanottimen etäisyys tukiasemasta vaikuttaa myös tarkkuuteen, ja käytännössä yli 10 kilometrin päässä ilmakehän aiheuttamat virheet kasvavat liian suuriksi. (Laurila 2010, 323).

VRS-mittauksessa käytetään virtuaalista tukiasemaa, jolle lasketaan korjausdata kiinteiden tukiasemien mittaustulosten perusteella. Virtuaalinen tukiasema muodostetaan mittaajan lähelle GSM-verkosta saadun likimääräisen sijainnin

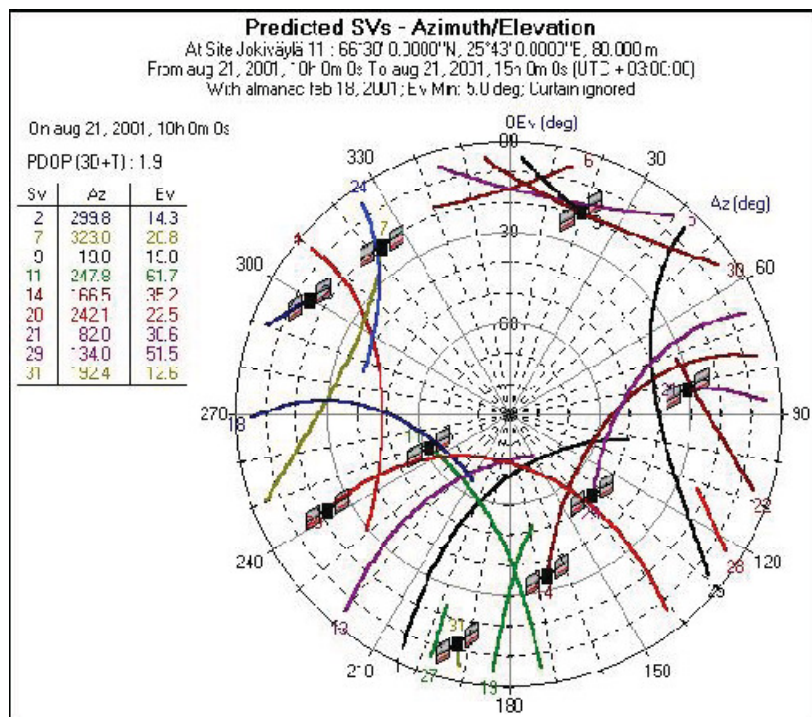


perusteella. Omaa tukiasemaa ei tarvitse pystyttää kuten RTK-mittauksessa. Näin saadaan mittauskustannuksia pienennettyä ja mittausta nopeutettua.

### 2.1.3 Vahvuudet ja ongelmat

Satelliittipaikannuksen tärkeimpänä etuna takymetrimittaukseen verrattaessa on sen nopeus. VRS-laitteistoa käytettäessä mittauksen voi aloittaa heti, kun laitteisto saa ratkaistua sijaintinsa ja tukiasema on laskettu, mikä yleensä kestää alle minuutin. Satelliittipaikannus myös toimii risukossa ja pensaikossa, kunhan vastaanottimen saa nostettua tarpeeksi korkealle esteiden yläpuolelle, jotta yhteys satelliitteihin säilyy esteettömänä.

Suurimmat ongelmat satelliittipaikannuksen käytössä johtuvat siitä, että vastaanottimella pitää olla esteetön näkyvyys taivaalla kiertäviin satelliitteihin. Suomen pohjoisesta sijainnista johtuen GPS-satelliitit ovat usein matalalla horisontissa (Kuva 1), mistä johtuen ne jäävät usein puiden tai rakennusten taakse katveeseen.



KUVA 1. Satelliittien kulku Rovaniemen taivaalla 21.8.2001 klo 10-15.  
 (Laurila 2010, 293).

Jos satelliitit sijaitsevat matalalla horisontissa, 10-15 asteen korkeudella, ei niiden lähettämää signaalia voida pitää luotettavana tarkkoja mittauksia varten, koska se joutuu

kulkemaan pidemmän matkan ilmakehän halki ja on siten alttiina häiriöille. Näitä satelliitteja ei yleensä huomioida sijainnin laskemisessa.

Rakennetussa ympäristössä mitattaessa ongelmaksi saattaa muodostua monitieheijastus. Monitieheijastukseksi kutsutaan signaalia, joka heijastuu vastaanottimeen esimerkiksi rakennuksen seinän kautta, jolloin se antaa virheellistä tietoa.

Yleisin ongelma on satelliittien lukumäärän ja sijainnin, jota kutsutaan satelliittigeometriaksi, ja näkemäesteiden aiheuttamien katvealueiden yhdistelmä. Vaikka taivaalla olisi näkyvissä runsaasti satelliitteja, ovat ne usein puiden tai rakennusten takana ja siten niitä ei voi käyttää mittauksessa. Lisäksi näkyvissä olevat satelliitit eivät saisi sijaita samalla suoralla tai pienessä ryhmässä, vaan niiden tulisi olla erillään toisistaan riittävän tarkkojen tulosten saamiseksi. Näistä syistä johtuen mittaus voi olla suhteellisen avoimella paikallakin mahdotonta tiettyinä aikoina.

## **2.2 Takymetrimittaus**

Takymetri on kulma- ja etäisyydenmittauskoje, jolla mitataan pysty- ja vaakakulmia sekä etäisyyksiä. Näiden mittaustulosten perusteella lasketaan koordinaatteja ja korkeuksia. Takymetrien käyttö yleistyi 1980-luvulla, ja nykyään se on mittaajan yleistyökalu. Nykyiset takymetrit ovat pitkälti automatisoituja robottilaitteita, joita voidaan etäohjata ja joilla voidaan myös suorittaa skannauksia ja ottaa valokuvia mittauskohdeista. (Laurila 2010, 223).

Takymetrin toiminta perustuu koneen sisällä oleviin vaaka- ja pystykulmakehiin, sekä elektro-optiseen etäisyysmittariin. Kulmakehät ovat sähköisesti luettavia, ja niiden avulla voidaan määrittellä kulmia jopa milligoonien kymmenesosien tarkkuudella. Elektro-optisen etäisyysmittarin toiminta perustuu takymetrin lähettämään signaaliin, jota vertaillaan mittauspisteellä olevasta prismasta takaisin heijastuneeseen signaaliin.

### **2.2.1 Mittauksen suorittaminen**

Takymetrimittauksen suorittamiseen tarvitaan vähintään kaksi pistettä, joiden sijainnit tunnetaan tarkasti. Niiden on oltava näköyhteydessä toisiinsa tai jollekin kolmannelle

pisteelle, jotta takymetri voi ratkaista sijaintinsa koordinaatistossa tunnettujen pisteiden avulla, ja varsinainen mittaus voidaan aloittaa.

Takymetri pystytetään kolmijalan päälle, joko tunnetun pisteen kohdalle tai vapaasti valittavalle asemapisteele. Kun laite on paikallaan ja tasattu vaakatasoon, suoritetaan suunnan ja etäisyyden mittaus toiselle tunnetulle pisteelle vietyyn prismatähykseen. Vapaan asemapisteen menetelmässä suoritetaan mittaukset vähintään kahdelle tunnetulle pisteelle. Näiden mittausten perusteella takymetri ratkaisee sijaintinsa ja pohjoissuunnan koordinaatistossa, jolloin voidaan suorittaa varsinainen mittaustyö. Vapaan asemapisteen menetelmässä kojeaseman sijainti voidaan valita mittausten kannalta parhaaseen paikkaan, minkä vuoksi se on yleisesti käytössä merkintä- ja kartoitusmittauksissa.

Nykyaikaisissa takymetreissä on myös mahdollisuus prismattoman mittauksen suorittamiseen, jolloin voidaan suorittaa mittauksia vaikeapääsyisistä kohteista, esimerkiksi rakennusten katoista. Tämä mittausmenetelmä ei kuitenkaan ole yhtä tarkka kuin prismaan suoritettava mittaus, eikä sillä voida mitata yhtä kauas.

Aiemmin takymetrimittaus vaati kahden henkilön yhteistyötä, jolloin toinen kuljetti tähtäysprismaa mittaushohteelle ja toinen tarkensi takymetrin prismaan. Nykyiset takymetrit ovat ns. robottitakymetrejä, jotka automaattisesti seuraavat prisman kulkua maastossa, ja mittaukset voi suorittaa yksin. Laite osaa myös etsiä prisman uudelleen, mikäli se jostain syystä kadottaa näköyhteyden prismaan.

### **2.2.2 Vahvuudet ja ongelmat**

Takymetrimittauksessa suurimmat ongelmat syntyvät siitä, että laitteen ja mittaushohteen välillä on oltava esteetön näköyhteys. Maastomittauksissa kojeasemat on suunniteltava siten, että niiltä on esteettömät näkemät tunnetuille pisteille, jotta laite voidaan asemoida mittausta varten. Puiden, rakennusten, autojen ja muiden esteiden taakse jääneet pisteet on usein mitattava toiselta kojeasemalta, mikäli niiden interpolointi ympäröivien pisteiden avulla ei onnistu.

Takymetrin pystytys ja asemointi vie oman aikansa, eikä sitä voi suorittaa ilman olemassa olevia tunnettuja pisteitä. Mittaus on kuitenkin tarkempaa ja luotettavampaa

kuin GPS-mittaus, ja sitä voidaan suorittaa GPS-signaalien katvealueilla. Koska takymetrimittaus perustuu lasersäteen kulkuun, on se alttiimpi säästä aiheutuville häiriöille. Lämpimän ilman väräily, pöly ja kova sade haittaavat säteen kulkua aiheuttaen mittavirheitä ja mittausetäisyyden laskua.

Robottitakymetriä prismanseuraamistoiminto saattaa joskus erehtyä luulemaan muita kohteita prismaksi, kuten esimerkiksi heijastimia tai autojen valoja, ja tästä aiheutuu selviä virhemittauksia. Nykyisissä laitteissa on kuitenkin olemassa lisätoimintoja varmistamaan, että takymetri on tähdätty prisman suuntaan.

Prismattomalla mittauksella on helppo mitata pisteitä esimerkiksi rakennusten seinistä, hankalista paikoista kuten ojien reunoilta ja muista kohteista, jonne GPS-vastaanottimen sijoittaminen olisi vaikeaa tai mahdotonta.

### 3 Laserkeilaus

Laserkeilaus on mittausmenetelmä, jonka ideana on tuottaa tarkkaa kolmiulotteista tietoa kohteesta siihen koskematta.

#### 3.1 Toimintaperiaate

Laserkeilaus toimii samalla periaatteella kuin prismaton takymetrimittaus: laite lähettää mittauskohteeseen lasersäteitä, joiden kulkuajasta, vaihe-eroista ja pysty- ja vaakakulmista voidaan laskea koordinaatit jokaiselle heijastuskohdalle. Yhdellä säteellä voi olla kohteesta riippuen useita heijastuskohtia (esimerkiksi puun latva, oksa ja maanpinta).

Laserkeilauksella muodostetaan kohteesta pistepilvi, jossa voi olla kohteesta riippuen miljoonia tai jopa yli miljardi pistettä, joista jokaiselle on laskettu sijainti koordinaatistossa. Koska mittaus tapahtuu lasersäteen avulla, pöly, lumi- ja vesisade saattavat heijastaa, absorboida tai poikkeuttaa säteitä aiheuttaen virheellisiä mittaustuloksia. (Koski 2001, 24.)

Koordinaattien lisäksi jokaiselle pisteelle saadaan intensiteettiarvo palautuneesta laserpulsseista. Intensiteetti vaihtelee kohteen pinnan värin, materiaalin, koon ja kaltevuuden muutosten mukaan. Valaistuksella on myös vaikutusta säteeseen, ja keilaamista valonlähdettä kohti tulisikin välttää.

#### 3.2 Mittausmenetelmät

Laitteistokohtaisien menetelmien kannalta mittalaitteet voidaan jakaa *skannereihin* ja *keilaimiin*. Skannauksessa kone kiertää itsensä ympäri mitaten kohtisuoraan ylös ja lähes kohtisuoraan alas, tuottaen näin pistepilven kaikkialta ympäriltään, vaikkei tarvetta olisikaan kuin tietyltä suunnalta. Tämä mittaustapa soveltuu hyvin tunnelien ja sisätilojen mittauksiin, mutta maastomittauksiin se ei sovellu. (Koski 2001, 24.)

Keilauksella tarkoitetaan menetelmää, jossa määritetään avauskulmat tai alue, josta mittaus halutaan suorittaa. Tällä menetelmällä saadaan huomattavasti tarkempi pistepilvi, joka soveltuu mallien tekemiseen. (Koski 2001, 24.)

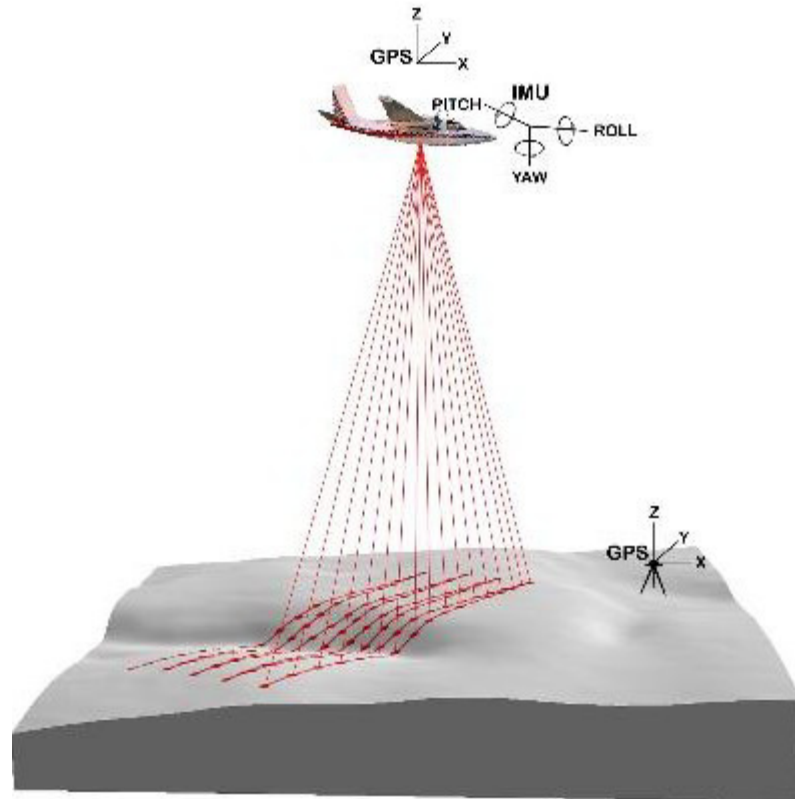
### 3.2.1 Ilmasta suoritettava keilaus

Ilmasta käsin suoritettavat keilaukset voidaan jakaa lentokoneista ja helikoptereista tehtäviin mittauksiin. Lentokonepohjaiset mittaukset ja laitteet soveltuvat suurten alueiden kartoittamiseen, kun taas helikopteri pystyy lentämään matalalla ja saa näin tarkempia mittaustuloksia. Lisäksi helikopterilla on helpompi seurata nauhamaisia kohteita, kuten teitä. (Soininen 2003, 2.)

Ilmasta käsin toimivat keilaimet sisältävät normaalisti itse keilainlaitteen lisäksi GPS-vastaanottimen, jolla keilaimen XYZ-sijainti saadaan selville, ja inertiajärjestelmän (Inertial Measurement Unit, IMU) josta saadaan selville laitteen asentotieto. Näiden kolmen laitteen yhdistetyistä tiedoista voidaan määrittää keilattujen pisteiden tarkat sijainnit. (Kuva 2) (Soininen 2003, 2.)

Mitattujen pisteiden määrä vaihtelee lentokorkeuden ja mittauskulman mukaan, ja voi tehokkailla laitteilla olla jopa 250 000 pistettä sekunnissa. Ilmasta keilattaessa otetaan yleensä myös ilmakuvia keilatusta alueesta. (Salolahti 2010.) Mittatarkkuuteen vaikuttaa suuresti lentokorkeus, sillä laserkeilauksen sädeviuhka leviää etäisyyden kasvaessa. Myös säde itsessään leviää, ja korkealla lennettäessä saattaa säteen osumakohta maassa olla kymmeniä senttejä halkaisijaltaan. Helikopterilla lennettäessä pistetiheys voikin olla jopa 30 pistettä neliömetrille, kun taas lentokoneella pistetiheys voi laskea jopa 0,5 pisteeseen neliölle.

Ilmalaserkeilaukselle, kuten muillekin maastomittaustöille, otollisimmat ajankohdat ovat keväällä ja syksyllä, jolloin aluskasvillisuus on vähäistä ja lehdetöntä. Laserkeilauksella on kuitenkin etuna se, että matalalla lennettäessä lasersäteitä pääsee jonkin verran myös lehvästöjen läpi, jolloin saadaan heijastuksia myös maan pinnasta, vaikka puissa onkin lehdet.



KUVA 2. GPS- ja IMU-järjestelmien periaate. (Salolahti 2010.)

Laserkeilauksen suorittamista lennokeilla rajoittaa jonkin verran keilauslaitteiston paino, minkä vuoksi useimmat ilmakuvauksessa käytetyt lennokit eivät jaksaa kantaa tarkkoja laserkeilaimia. Tarkoitusta varten on kuitenkin kehitetty sopivia keilaimia ja lennokeita, esimerkiksi Itävaltalaisen RIEGLin RiCOPTER, joka esiteltiin Berliinin Intergeo 2014 - messuilla, (Kuva 3), ja jota varten RIEGL on kehittänyt kevyen, 3,6 kg painavan keilaimen. Muut valmistajat ovat myös esitelleet omia lennokeihin soveltuvia keilauslaitteitaan vuoden 2014 aikana. Lennokeilla saadaan lyhyemmän etäisyyden ansiosta erittäin tarkkaa keilausaineistoa kohteesta, kuten rakennustyömaasta, avolouhoksesta tai kaupunkiympäristöstä. Lennokin käyttökustannukset ovat myös huomattavasti helikopteria alhaisemmat.

Lennokkien käyttöä ei tällä hetkellä ole juurikaan säännelty, mutta Trafi on aloittanut niitä koskevien sääntöjen ja rajoitusten laatimisen. Näissä määritellään muunmuassa lennokkien maksimipaino 25kg, maksimilentokorkeus 150m, joka on helikopterien minimilentokorkeus taajamien ulkopuolella, ja maksimietäisyys lennättäjästä 500m. Lisäksi lennättäjällä tulisi olla näköyhteys lennokkiin. Näiden ehtojen täytyessä ei toiminnasta tarvitse tehdä ilmoitusta, joskin lentokorkeuden yläraja on ehdoton.

Toimittaessa valvotussa ilmatilassa on lupa toimintaan saatava lennonjohdolta. Säädöksille onkin tarvetta, sillä maailmalla on ollut useita läheltä piti-tilanteita, joissa lennokki ja laskeutuva/nouseva lentokone ovat olleet törmäysvaarassa.

Tulevaisuudessa lennokkien käyttö tulee todennäköisesti yleistymään kustannusten ja käytön helppouden takia, jolloin niillä voidaan tuottaa tarkempaa aineistoa kuin nykyisten kameralennokkien fotogrammetriaan perustuvilla menetelmillä.



KUVA 3. RiCOPTER lentovalmiudessa. (Nordic Geo Center 2014.)

### 3.2.2 Maasta suoritettava keilaus

Maasta suoritettava keilaus voidaan jakaa paikallaan suoritettuun ja liikkuvasta ajoneuvosta toteutettuun keilaukseen. Maalaserkeilaimiin luokitellaan kaikki laitteet, jotka mittaavat staattisen jalustan päältä, olivatpa niiden käyttökohteet sitten teollisuudessa, rakentamisessa tai maastomittauksissa. (Heiska 2010, 15.)

Kiinteältä alustalta keilattaessa on usein käytettävä tähyksiä, joiden sijainnit koordinaatistossa tunnetaan. Näiden avulla pistepilvi voidaan sijoittaa tarkasti koordinaatistoon ja saada siten tarkkoja tuloksia, sekä liittää mittaustulokset toisen keilauksen pistepilveen. Maastomittauksissa käytettävien keilaimien pistetarkkuus on parhaimmillaan alle 1 cm, ja toimintasäde voi olla muutamia satoja metrejä (Koski



2001, 26). Uudempien laitteiden mittausnopeus voi olla jopa yli miljoona pistettä sekunnissa (Heiska 2010, 14).



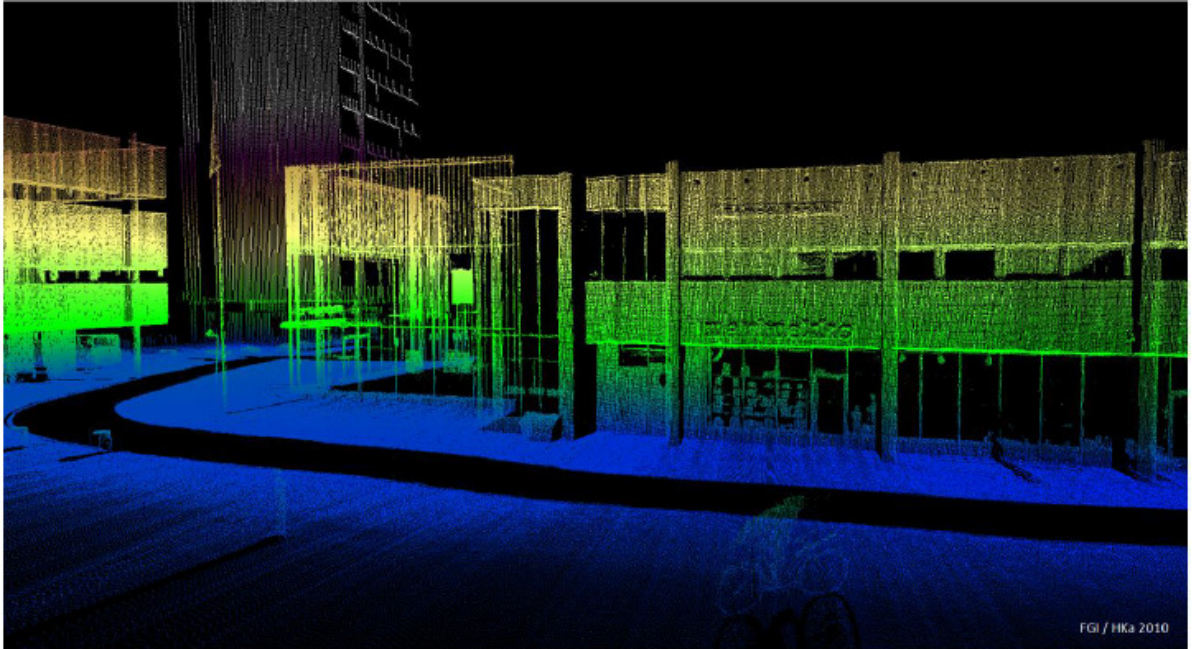
KUVA 4. Kartoitustilanteiston asentamista auton katolle. (Positio 2/2010, 7. )

Liikkuvassa kartoituksessa käytetään auton katolle asennettua laserkeilainta ( tai useampia keilaimia), sekä paikannuslaitteistoa, joka koostuu GPS- ja IMU-laitteistoista (Kuva 4). Lisälaitteena on mahdollisesti digitaalikamera. Menetelmällä saadaan ilmalaserkeilausta tarkempia tuloksia, ja se soveltuu hyvin tie- ja katualueiden kartoittamiseen ja mallintamiseen. Käyttö- ja mobilisointikustannukset ovat ilmalaserkeilausta huomattavasti halvemmat. (Kukko – Hyypä – Kaartinen – Ahlavo – Vaaja 2010, 6-7. )

Liikkuvan kartoituksen tuottaman aineiston pohjalta voidaan laatia tarkkoja 3D-malleja mitatusta ympäristöstä, sillä aineisto voi sisältää jopa tuhansia mittauspisteitä neliömetrillä, riippuen mitatun kohteen etäisyydestä. Aineistosta voidaan luoda mallit rakennusten julkisivuista, katualueesta ja siihen kuuluvista liikennemerkeistä ja pylväistä, puista ja melusteista (Kuva 5). (Matikainen - Hyypä - Karila - Vaaja - Kukko 2011, 110.)

Toisin kuin ilmakeilauksella, liikkuvalla kartoitusmenetelmällä voidaan tuottaa riittävän tarkkoja pintamalleja liikenneväylien ja niiden ympäristön muutos- ja kunnostustöiden

suunnittelua varten, ja sillä voidaan seurata rakenteiden, kuten siltojen ja tunneleiden, muodonmuutoksia toistamalla mittauksia tietyin väliajoin.



KUVA 5. Liikkuvan kartoituksen pistepilvi Tapiolasta. (Matikainen ym. 2011, 110.)

### 3.3 Tarkkuus ja laatu

Sekä lentäen että maan pinnalla suoritetun liikkuvan kartoituksen tarkkuus on täysin riippuvainen GPS-paikannuksen tarkkuudesta. Erilaisista satelliitti- ja yhteysolosuhteista johtuen on tarkkuus parhaimmillaan muutaman sentin luokkaa, mutta yhteysongelmien ja katvealueiden takia siirrytään pahimmillaan useampien metrien virheluokkaan. Tätä tarkkuutta voidaan kuitenkin parantaa käyttämällä apuna kohteita, joiden sijainnit tunnetaan ennestään, tai ne on mitattu muilla menetelmillä, kuten rakennusten seinät, ja joiden perusteella pistepilveä voidaan korjata oikeaan suuntaan. (Matikainen - Hyypä - Karila - Vaaja - Kukko 2011, 111.)

Lentäen suoritetussa mittauksessa laserpulssin tulisi heijastua maan pinnasta takaisin sensoriin, kun halutaan tarkkaa aineistoa. Kasvillisuus kuitenkin usein katkaisee pulssin etenemisen, mutta riittävän tiheä pisteverkko yleensä saa tuloksia myös maanpinnasta (Kuva 6). Lentomittaus on myös alttiimpi olosuhteille, sillä sade, usva ja pilvet keilaimen ja kohteen välissä haittaavat mittauksia. Lisäksi kovin tuulisella säällä on

vaikea lentää suoria mittauskaistoja. Myös lumikerros ja mahdollinen tulvavesi aiheuttavat vääristyneitä tuloksia. (Vilhomaa 2010, 31.)



KUVA 6. Laserkeilauspistepilveä kasvillisuuden aiheuttamista katkoksista.

(Maanmittaus 85:2 2010, 31.)

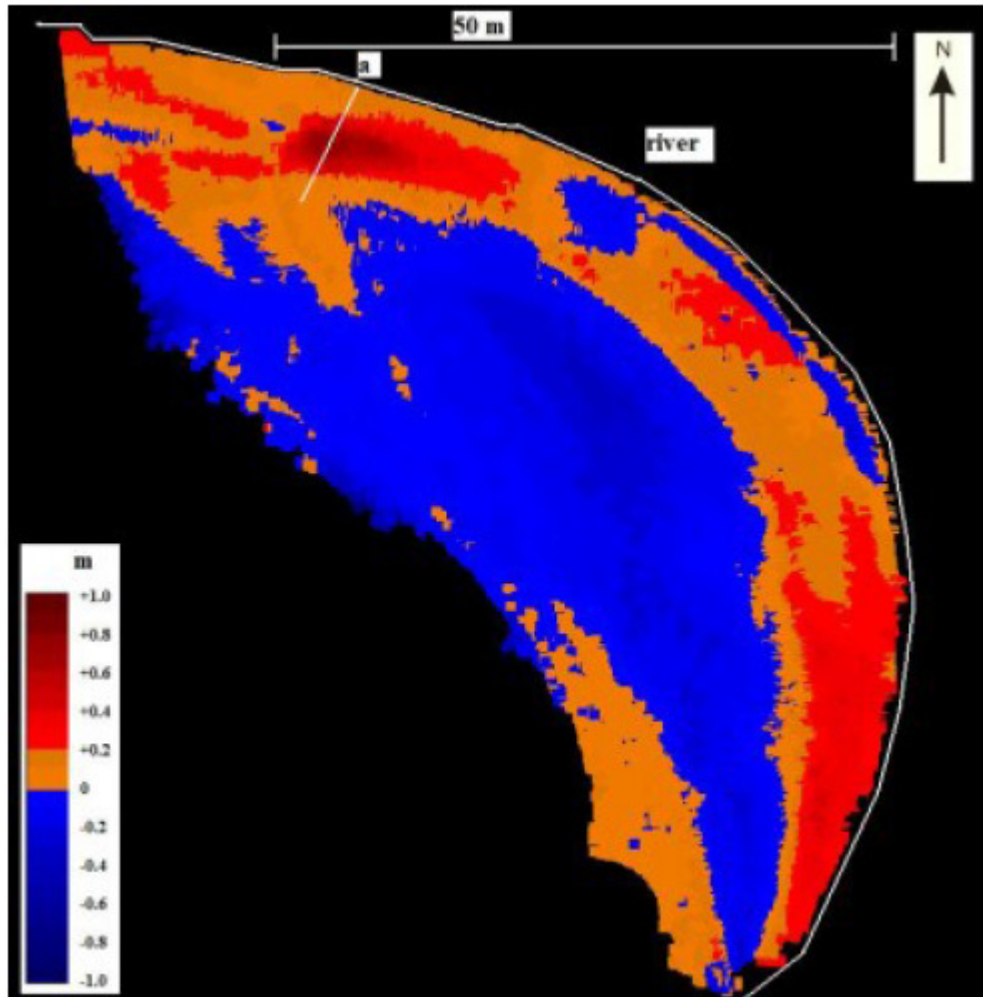
Itse laserkeilainten tarkkuus on yleensä maasta mitatessa millimetrituokkaa, mutta lentomittauksissa GPS- ja IMU-järjestelmien virheet sekä mittausetäisyydestä johtuva epätarkkuus voivat kasvattaa virheen noin 30cm luokkaan. (Soininen 2003, 2.)

### 3.4 Edut ja haitat

Maasta suoritettulla keilauksella saadaan laadittua erittäin tarkkoja malleja mittauskohteista, koska mitattujen pisteiden määrä muihin menetelmiin verrattuna on valtava. Rakennusten ja ympäristön muutoksia on helppo selvittää vertailemalla samasta paikasta tehtyjä keilauksia (Kuva 7). Tunnelinrakennuksessa laserkeilauksella voidaan tuottaa malli toteutuneesta louhinnasta, ja verrattaessa tätä suunnitelmiin poikkeamat ovat helposti havaittavissa.

Ilmasta käsin voidaan kerralla keilata laajoja alueita nopeasti, ja laserkeilauksia voidaan perinteisistä stereomittauksista poiketen suorittaa myös yöllä. Koska osa lasersäteistä pääsee yleensä tunkeutumaan kasvillisuuden läpi, saadaan mittauksia myös maan pinnasta, vaikka mittaus suoritettaisiin aikana, jolloin puissa on lehdet. Liian tiheä lehdistö ja aluskasvillisuus kuitenkin estävät mittauksien saamisen maan pinnalta.

Kohteesta takaisin heijastuneen laserpulssein intensiteetin perusteella voidaan tehdä päätelmiä mitatun kohteen ominaisuuksista, kuten materiaalista ja väristä. Ilmakeilausten ohessa yleisesti otetut ilmakuvat auttavat myös kohteiden tunnistuksessa ja luokittelussa.



KUVA 7. Pulmankijoen tulvaeroosion aiheuttamia korkeusmuutoksia.  
(Matikainen ym. 2011, 111.)

Laserkeilauksen huonoiksi puoliksi voidaan laskea mitattujen pisteiden määrä, joka voi pienissäkin kohteissa olla miljoonien luokassa. Tästä johtuen aineiston muokkaus vaatii enemmän työtä kuin samasta kohteesta GPS- tai takymetrimittauksilla tuotettu aineisto. Mittaustuloksia voidaan kuitenkin käsitellä automaattisesti tietokoneohjelmilla, esimerkiksi pisteiden luokittelu maanpinnaksi, puiksi tai rakennuksiksi, mutta niiden tuloksia on syytä tarkistaa valokuvien avulla. Menetelmän ollessa suhteellisen uusi on sen käyttöä hallitsevien määrä vielä pieni, mutta tulevaisuudessa varmasti kasvava.

Lentäen suoritettussa keilauksessa pisteiden etäisyys toisistaan on niin suuri, ettei aineistosta välttämättä saa tehtyä suunnittelun kannalta tarpeeksi tarkkaa mallia. Tätä voidaan kuitenkin korjata suorittamalla keilaus helikopterista tai lennokista, jolloin lentokorkeuden madaltuessa pistetiheys kasvaa. Lentomittaus on kuitenkin altis sääolosuhteille, erityisesti lumi- ja vesisateelle, jotka voivat aiheuttaa lasersäteiden heijastumista ennenaikaisesti.

Laserkeilaus tuottaa aineistoksi vain yksittäisiä pisteitä, kun taas GPS- ja takymetrimittauksilla voidaan mitata maaston taiteviivoja. Jotkin kohteet voivat jopa jäädä pois mittauksista, jos pisteiden välimatka on suurempi kuin kyseinen kohde. Suurella pistevälillä maanpinnan taiteviivojen tarkka sijainti voi myös jäädä epäselväksi. Korkealta mitatessa yksittäisen pisteen halkaisija maanpinnalla voi olla jopa 50cm, jolloin pisteen sattuessa kaltevalle tai epätasaiselle pinnalle voi mittaustulos olla virheellinen.

### **3.5 Keilaus kaupungeissa**

Kattavia laserkeilauksia on suoritettu muutamissa kaupungeissa, hyvänä esimerkkinä Yli- ja Alavieskan keskustan keilaus vuonna 2004. Keilaus suoritettiin 10 pistettä/m<sup>2</sup> pistetiheydellä ja siihen liittyvien kuvien pikselikoko on 10 cm. Aineistoa on sittemmin käytetty moniin tarkoituksiin, kuten kaavoitukseen, kunnallisteknilliseen suunnitteluun, kanta- ja viemärikarttojen tekoon sekä puistojen suunnitteluun ja hoitoon. Aineistoa on myös saatu myytyä Tiehallinnolle, Ympäristökeskukselle ja paikallisille yrityksille ja rakentajille. (Korpela 2008, 37.)

Helsingin kaupunki on tehnyt kaupunkisuunnittelua varten malleja laserkeilatuilta alueiltaan, joissa yhdistyy laserkeilaus ja takymetrimittaus. Takymetrillä mitattuja rakennusten kivijalkoja ja keilausainestosta saatavia kattotasoja yhdistelemällä saadaan varsin tarkka 3D-malli, mutta sen tarkkuus ei silti vielä riitä yksityiskohtaiseen rakennussuunnitteluun. (Korpela 2008, 38.)

## **4 Maanmittauslaitoksen laserkeilaukset**

### **4.1 Tarve keilauksille**

Maa- ja metsätalousministeriö asetti 2005 työryhmän selvittämään uuden valtakunnallisen korkeusmallin tarpeen. Tämän seurauksena Maanmittauslaitos aloitti uuden korkeusmallin tuotannon keväällä 2008. Korkeusmalli tuotetaan laserkeilaamalla, ja se pyrkii vastaamaan yhteiskunnallisiin tarpeisiin, jotka vaativat tarkkaa korkeustietoa. Vanhat korkeusmallit KM25 ja KM10 (25 ja 10 metrin ruudukkoina) on tuotettu fotogrammetrisellä menetelmällä, eivätkä ne vastaa korkeusmallille asetettavia uusia vaatimuksia. (Vilhomaa 2011, 82.)

Vuoden 2013 keilauksien jälkeen oli laserkeilausaineistoa saatavilla 235 000 neliökilometrin alueelta, ja vuonna 2014 on keilauksia toteutettu lähes 70 000 neliökilometrille. Maanmittauslaitos on yhdessä Suomen metsäkeskuksen kanssa laatinut keilaussuunnitelman, jonka mukaan laserkeilausaineistot kattavat koko Suomen vuoteen 2019 mennessä (LIITE 1). Tästä aineistosta tuotetaan uusi korkeusmalli KM2, jossa maaston korkeustiedot ovat 2 metrin ruuduissa 30cm korkeustarkkuudella. (MML.)

### **4.2 Keilausten suorittaminen**

Keilaukset suoritetaan lentäen. Vuosien 2008-2013 aineistot keilattiin pääosin keväisin, jolloin aluskasvillisuuden, lumen ja lehtien vaikutukset keilaustuloksiin jäivät vähäisiksi. Vuodesta 2013 eteenpäin on keilauksia suoritettu myös kesäisin, jolloin saadaan metsäkeskuksen käyttöön aineistoa metsien inventointiin.

Pääosa keilauksista tilataan muilta toimijoilta, mutta Maanmittauslaitoksella on myös käytössään oma laserkeilain, jolla vuonna 2014 keilattiin noin 8 000 neliökilometriä. (MML.)

### **4.3 Maanmittauslaitoksen aineistot**

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistot ovat avointa dataa ja näin ollen kaikille käyttäjille ilmaiseksi saatavilla. Aineistoja voi hankkia Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen Tiedostopalvelusta heti, kun niiden laaduntarkastus ja automaattinen

maanpintaluokitus on valmistunut. Palvelusta voi myös ladata maastokarttoja, yleiskarttoja ja ilmakuvia. Tiedostopalvelussa on lataamiseen seuraava ohjeistus:

- Valitse ladattava tuote listalta
- Osoita kartalta karttalehdet, joiden alueelta haluat aineistoa
- Anna sähköpostiosoite, jonne toimitamme lataussivun osoitteen
- Lataa tilaamasi tiedostot lataussivun linkeistä

Sivulla on myös nähtävissä ajantasaisuustaulukko tuotteiden päivitysajankohdista ja tulevista päivitysajoista. (MML.)

## 5 Keilausaineiston muita mahdollisia käyttökohteita

Teiden, katujen ja rautateiden suunnittelussa perinteisesti käytetyn maastomallin tuottamisen lisäksi laserkeilausaineistoa voidaan myös hyödyntää muissakin tarkoituksissa. Kaupungeista tuotettuja 3D-malleja voidaan käyttää mm. kaavoituksen, maankäytön, maisemasuunnittelun, näkyvyysanalyysien ja rakennussuunnittelun ja -valvonnan tarpeisiin. Sähkölinjojen kunnossapidossa voidaan keilainaineistosta nähdä puuston etäisyys linjoihin, ja tästä voidaan suunnitella toimenpiteitä ja aikatauluja linjan aukipitämiseksi. Laserkeilausaineistosta on mahdollista saada hyvinkin tarkkaa tietoa puiden pituuden määrittämiseksi metsien inventointitarkoituksiin, ja toistettavilla keilauksilla voidaan selvittää puiden kasvu ja mahdolliset myrskytuhot. (Hyypä 2003, 3)

Lentäen tuotettua keilausaineistoa voidaan hyödyntää myös seuraavissa tarkoituksissa:

- korkeuskäyräkarttojen teko,
- tulvakartoitus,
- ortokuvatuotanto,
- kaivosalueiden mallit (avolouhokset),
- rantaviivojen muutostarkastelu.

(Soininen 2003, 3)



## 6 Laserkeilaus, case Rantala

### 6.1 Taustaa

Ulvilan kaupunki on aloittamassa uuden asuinalueen suunnittelua nykyisen Rantalan alueen jatkoksi (Kuva 8). Suunnittelua varten alueelta olisi saatava maastomalli, jonka tuottamiseksi päätettiin kokeilla ilmaiseksi saatavilla olevia Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoja. Aikaisempaa kokemusta laserkeilausaineiston käytöstä ei kaupungin suunnitteluosastolla vielä ollut, joten tästä muodostui myös menetelmän käytön opetteluun ja Maanmittauslaitoksen aineiston käyttökelpoisuuden arvioinnin kannalta tärkeä suoritus. Samalla tutkittiin myös aineiston käyttöä tien mallintamisessa. Suunnittelussa käytettiin Microstation-ohjelman lisäksi Terrasolidin TerraScan- ja Terramodeler-ohjelmia.



KUVA 8. Rantalan asuinalue päättyy peltoon, johon uutta aluetta suunnitellaan. Alueen pinta-ala on noin 0,2km<sup>2</sup> (Fonecta karttakuva 2014.)

## 6.2 Mittausaineiston hankinta

Mittausaineisto hankittiin Maanmittauslaitoksen Tiedostopalvelusta kyseisen alueen kohdalta, ja varmuuden vuoksi otettiin myös viereisiltä alueilta laserkeilausaineisto (Kuva 9). Keilausaineisto ei ollut työtä tehdessä uusimman, kesällä 2014 suoritettun keilausaineistoa, sillä se ei ollut vielä ehtinyt käydä läpi Maanmittauslaitoksen tarkastusta, mutta kyseiseen kohteeseen kelpasi hyvin myös käytössä ollut muutama vuotta vanha aineisto.

The screenshot shows the MML (Maanmittauslaitos) web application interface. The main map displays a grid of data layers over a geographic area, with several pink-shaded polygons representing laser scanning data. The interface includes a search bar at the top right, a list of selected products on the left, and a list of search results on the right. The search results are for 'Laserkeilausaineisto' (Laser scanning data) with 4/100 points. The search results list includes M3411F2, M3411F4, M3411F3, and M3411F1. The map also shows various place names and a scale bar at the bottom left.

KUVA 9. Tiedostojen haku tiedostopalvelusta.

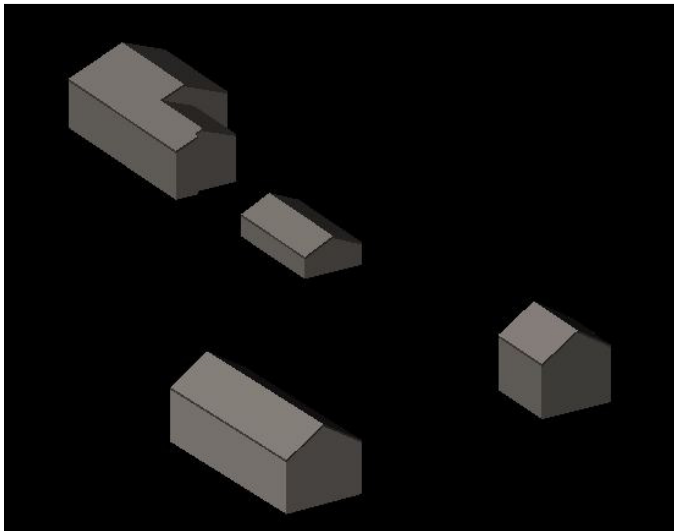
## 6.3 Aineiston käsittely

Aineisto saatiin LAZ-muodossa, josta se purettiin TerraSolid:in sovellukseen sopivaan LAS-formaattiin erillisellä purkuohjelmalla. Aineisto oli saatavilla pelkästään ETRS-TM35FIN koordinaatistossa, josta se oli muutettava ETRS-GK22-koordinaatteihin, jotta se olisi kaupungin muun mittausaineiston kanssa yhtenevä. Pienten ongelmien jälkeen tässä onnistuttiin Terrasolidilta kysytyjen neuvojen avulla. Korkeusjärjestelmiin ei tässä ollut tarvetta tehdä muutoksia.

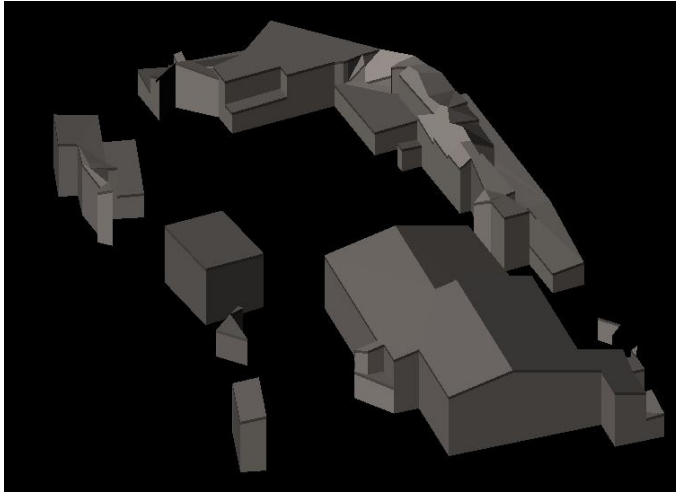
Maanmittauslaitoksen aineisto on automaattisesti luokiteltua, ja tässä työssä tärkeimmät pisteluokat olivat maanpinta ja luokittelemattomat pisteet. Muita luokkia ovat matala kasvillisuus, matalat virhepisteet, vaka- ja virtavedet ja siltapisteet. Lisäksi peittoalueilla on oma luokkansa, mutta se ei sisälly tässä työssä käytettyyn LAS 2.0-formaattiin.

Rakennukset sisältyivät pääosin luokittelemattomiin pisteisiin, mutta luokittelumenetelmän seurauksena osia rakennuksista löytyi myös matalan kasvillisuuden pisteistä. Rakennukset luokiteltiin omaan luokkaansa TerraScanin työkaluilla. Tämä luokittelu tehtiin niin, että ensin luokiteltiin matalasta kasvillisuudesta kaikki 2-50m korkeudella olevat pisteet luokittelemattomiin pisteisiin, jonka jälkeen luokittelutyökalu etsi pistejoukosta rakennukset halutun pinta-alan perusteella.

Luokittelun jälkeen tehtiin rakennuksista 3D-malleja (Kuva 10), jotka pitivät yllättävän hyvin paikkansa pohjakartan sijaintitietojen kanssa. Jotkin rakennusmallit olivat kuitenkin epäilyttävän muotoisia, mikä saattoi johtua vähäisestä pistetiheydestä ja viereisten puiden peittovaikutuksesta (Kuva 11).



Kuva 10. 3D-mallinnettuja rakennuksia.



Kuva 11. Epämääräisen näköisiä rakennuksia.

Varsinaisella suunnittelualueella kulkee pellolla muutamia kuivatusoja, mutta aineiston suhteellisen harvan pistetiheyden takia,  $0,5 \text{ pistettä/m}^2$ , kohtisuoraan keilauslinjoja vastaan kulkevat pienet ojat eivät ole helposti hahmotettavissa. Jos keilauspiste ei satu aivan ojan kohdalle, ei ojan todellista syvyyttä saada tietää ilman erillisiä mittauksia. Suuremmat ojat näkyivät hyvin aineistossa, ja muuten kohdealueen pistepilvi oli varsin hyvän näköinen jatkosuunnittelua varten (Liite 2).

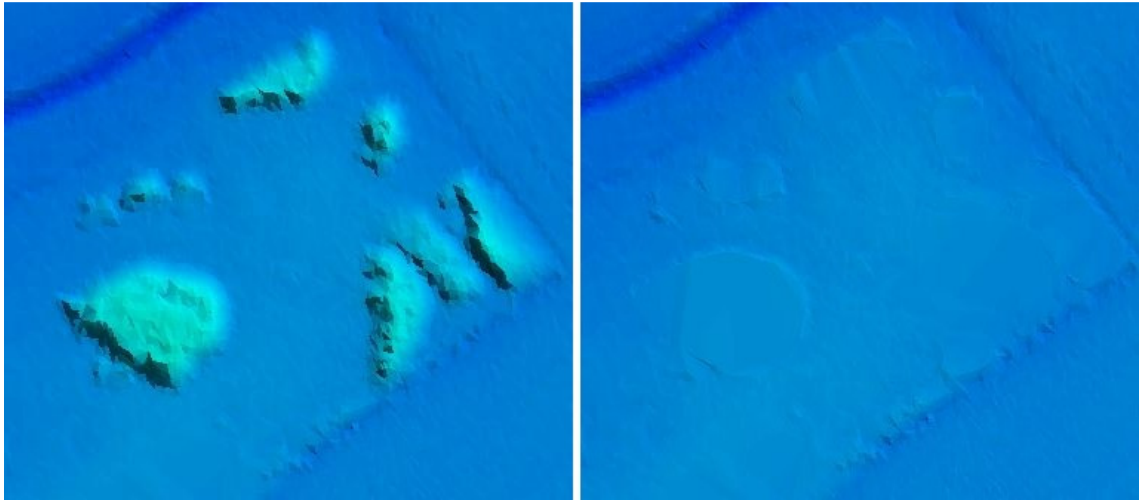
#### 6.4 Maastomallin tekeminen

Ennen pintamallin tekoa luokiteltiin pellolla olevat luokittelemattomat pisteen maanpinta-luokkaan. Koska aineistossa oli yli kymmenen miljoonaa pistettä näkyvillä, rajattiin mallinnusalue Microstationin Fence-työkalulla. Näin saatiin mallinnus keskitettyä vain kohdealueelle, pistemäärä vähennettyä muutamisiin satoihin tuhansiin ja säästettiin tietokonetta turhalta rasitukselta mallia pyöritellessä ja muokatessa, näin ollen nopeuttaen toimintaa.

Pintamalli tehtiin maanpintapisteistä kolmioimalla TerraModeler-ohjelmalla, ja mallia muokattiin poistamalla muutamia selviä virhepisteitä sekä hieman edellä mainittuja oja muokkaamalla. Lopputuloksena saatu maastomalli (Liite 3) on riittävän tarkka suunnittelun aloittamiseksi.

Mallinnetun pistepilven muokkausta harjoiteltiin myös eräällä tontilla olevilla hiekkakasoilla (Kuva 12), jolloin katsottiin miten muokkaus on järkevintä ja helpointa toteuttaa.

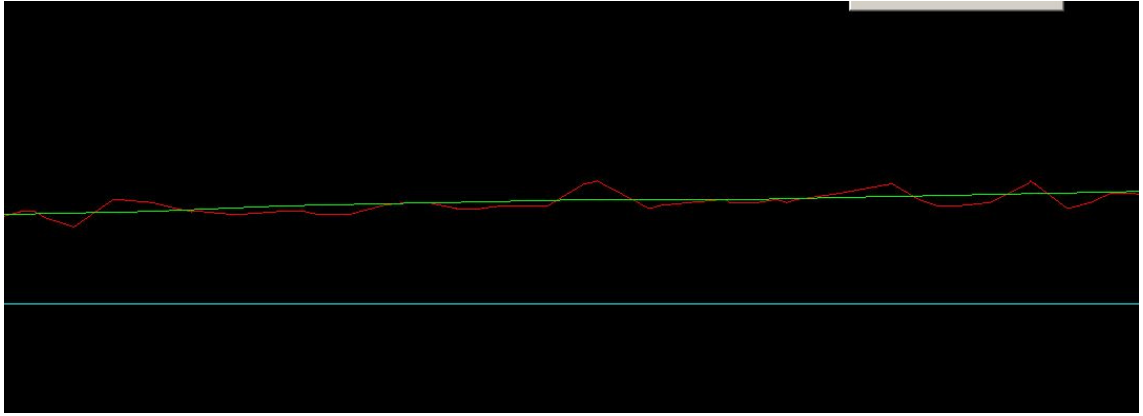
Lisäksi kokeiltiin korkeuskäyrien piirtämistä keilatun maastomallin avulla, jota varten pisteistä noin 10% luokiteltiin korkeuskäyrän tekoa varten. Tätä luokittelua varten TerraScanissa on oma työkalu, joka luokittelee pisteet korkeuskäyriin sopivasti. Näistä tuotettuun pintamalliin piirretyt käyrät vastasivat hyvin saman alueen pohjakartalla olevia korkeuskäyriä.



KUVA 12. Hiekkakasat mallissa ja mallista poistettuina.

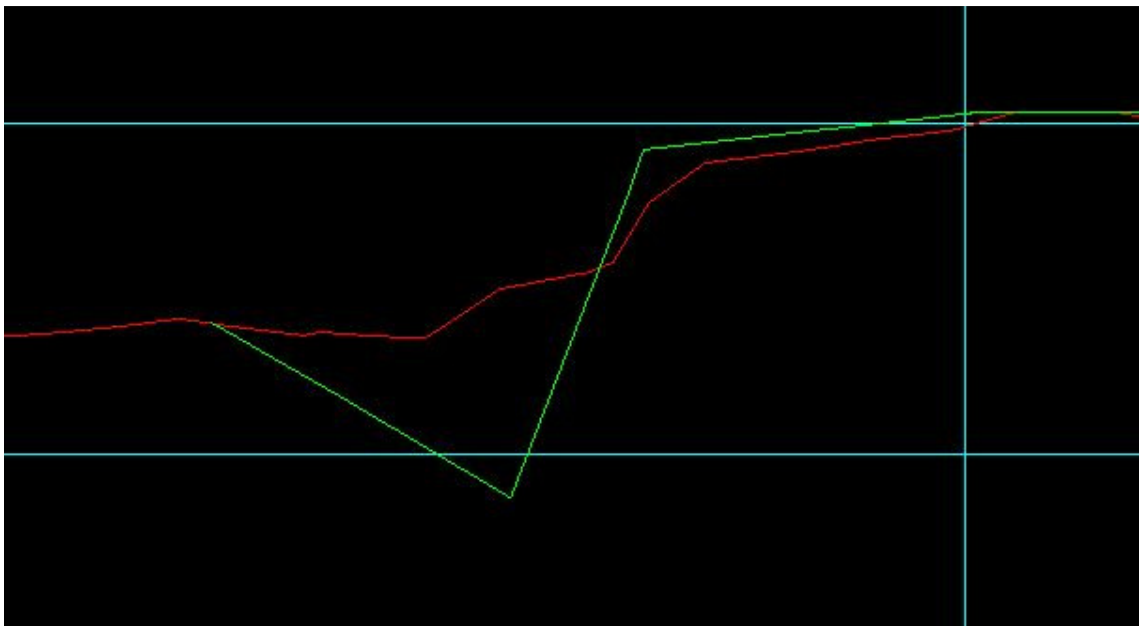
## 6.5 Tiemallinnus

Työssä mallinnettiin myös 500 metriä läheistä Pitkärannantietä, koska haluttiin selvittää minkälaisen mallin laserkeilausaineistosta saa. Mallia tarkennettiin MicroStationin ja TerraModelerin työkaluilla lisäämällä taiteviivoja, jotka ohjelma sovitti keilausmallin pinnan korkeuteen (Kuva 13).



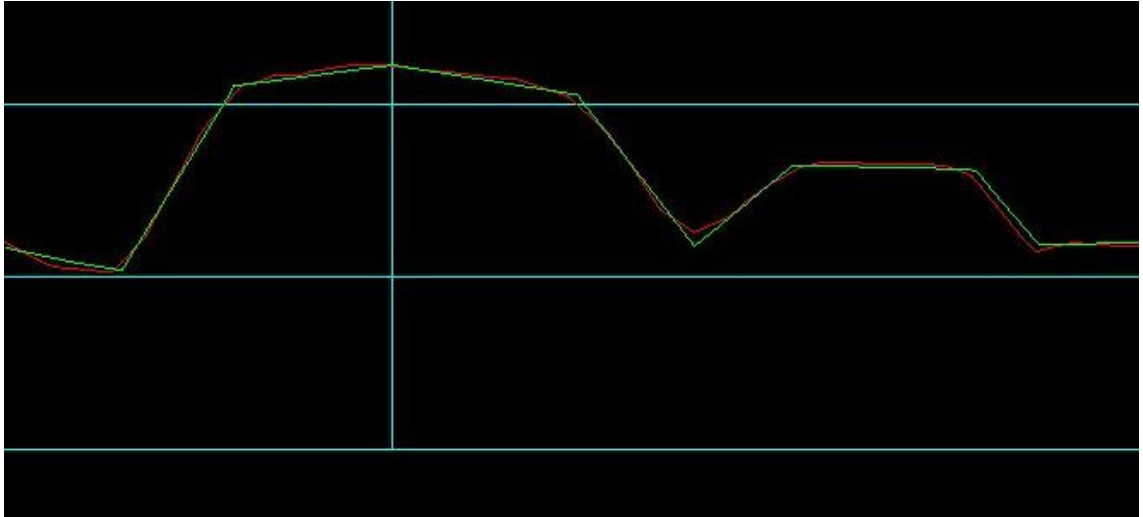
KUVA 13. Taiteviivoilla (vihreä) ja laserpisteillä (punainen) tehtyjen mallien eroja pituusleikkauksessa keskiviivan kohdalla.

Ojien pohjat muodostuivat taas tarkempaa käsittelyä vaativiksi kohteiksi, mikä näkyi hyvin eräissä poikkileikkauksissa (Kuva 14), joissa laserpisteet ovat jääneet kenties kasvillisuuden takia varsinaista ojanpohjaa ylemmäksi. Tarkemmalla pistetiheydellä tämäkin ongelma mahdollisesti ratkeaisi.



KUVA 14. Yksityiskohta poikkileikkauksuvasta ojan kohdalla. Punainen keilausaineisto ja vihreä taiteviivoilla tehty malli eivät kohtaa.

Pääosin poikkileikkaukset kuitenkin vastasivat hyvin toisiaan, ja suurimmat eroavaisuudet löytyivät juurikin ojien pohjilta (Kuva 15).

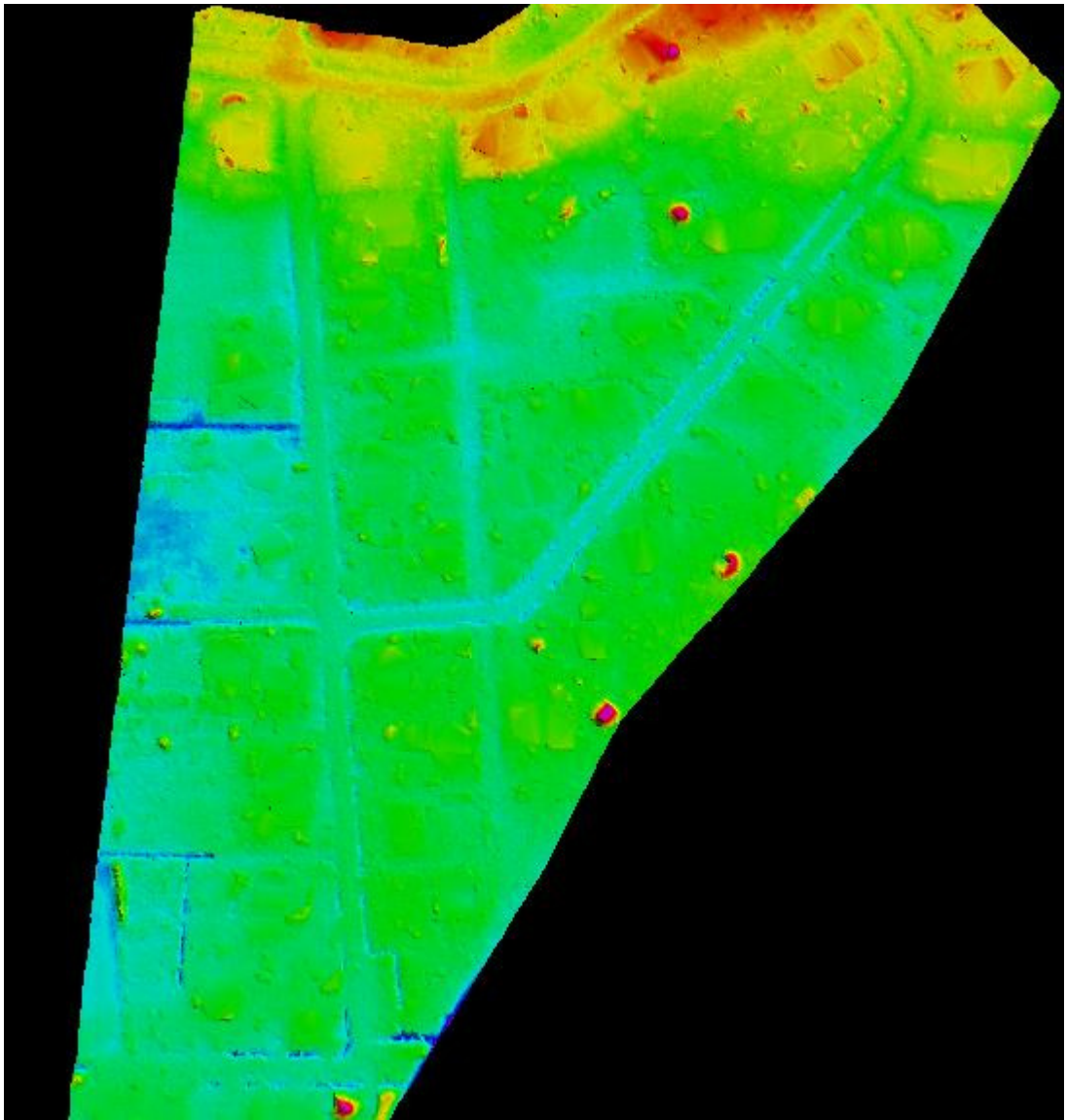


KUVA 15. Mallien poikkileikkaukset vastaavat toisiaan.

Varsinaiseen tiesuunnitteluun teiden kunnostusta tai uusien teiden rakentamista varten aineisto ei kuitenkaan ole riittävän tarkkaa, vaikka sillä saavutettaisiinkin korkeustarkkuuden kannalta hyväksyttäviä arvoja. Koska aineiston pistetiheys on vain 0,5 pistettä neliömetrillä, siitä jää puuttumaan paljon tärkeitä yksityiskohtia, kuten esimerkiksi reunakivilinjat ja taitteiden tarkat sijainnit.

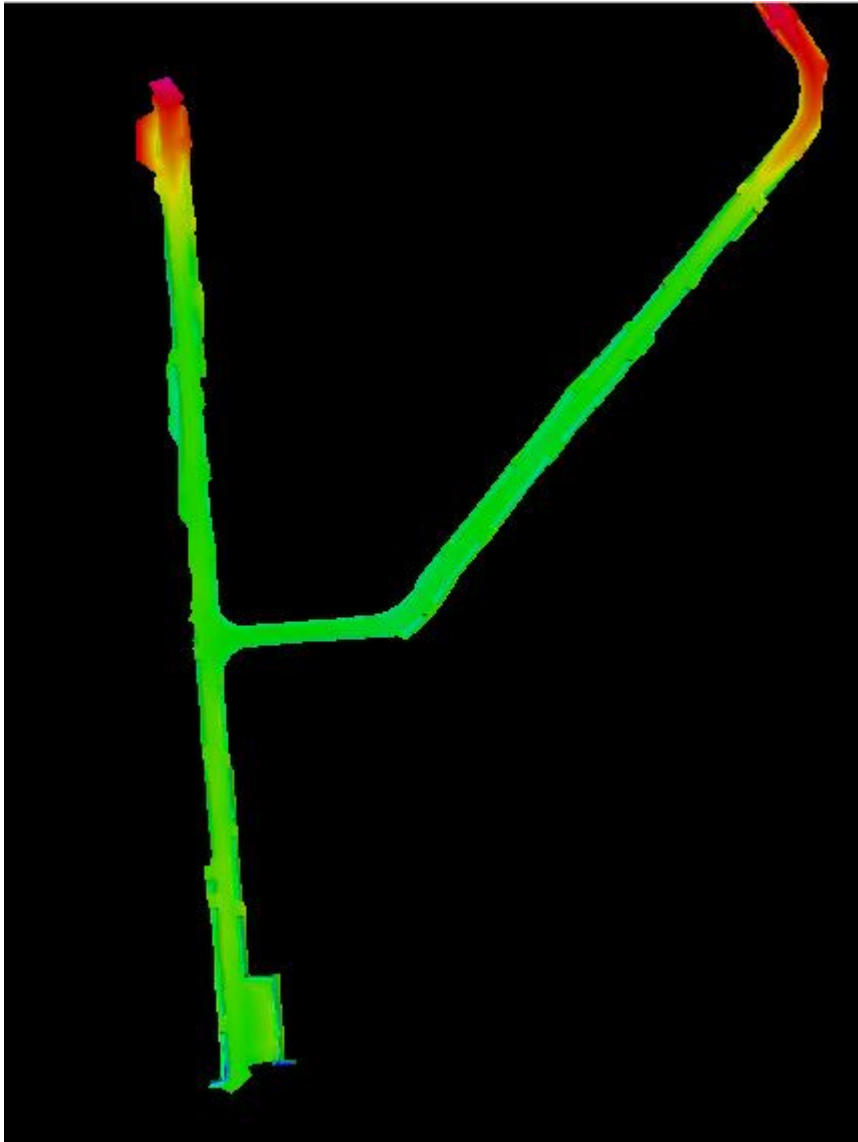
## 6.6 Tarkkuustarkastelu

Aineiston tarkkuutta tutkittiin vertailemalla laserkeilauspisteistä tehtyä pintamallia (Kuva 16) ja aikaisemmin takymetrillä mitatun mallin (Kuva 17) eroja Nappatien alueella. Laserkeilausmallia parannettiin lyhyeltä osuudelta lisäämällä taiteviivoja, ja myös tämä paranneltu malli otettiin mukaan vertailuun.



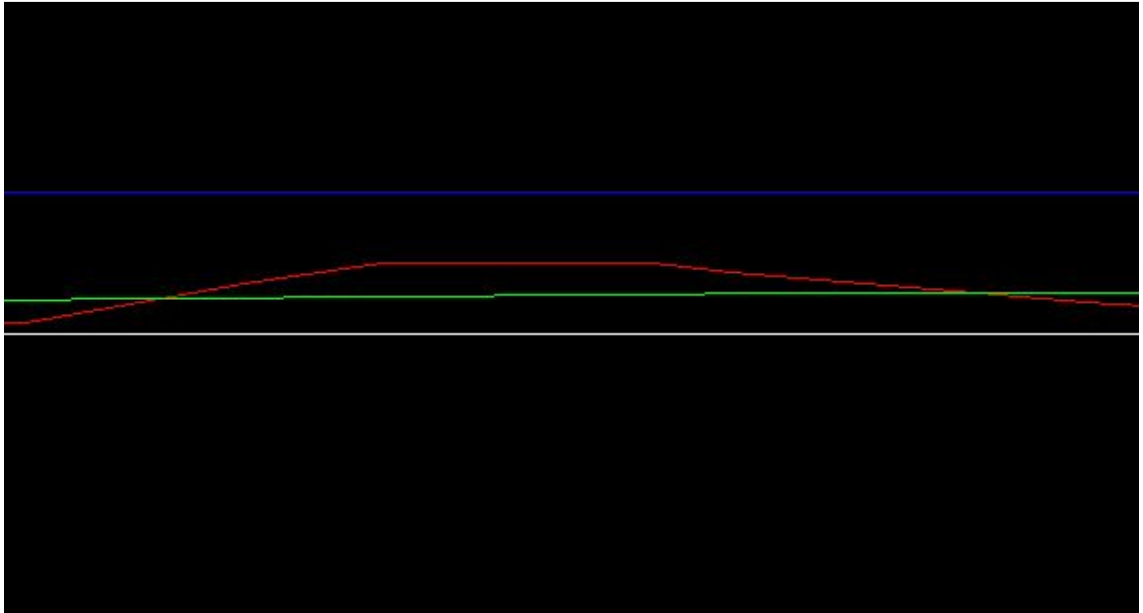
KUVA 16. Laserkeilausaineistosta tehty pintamalli.



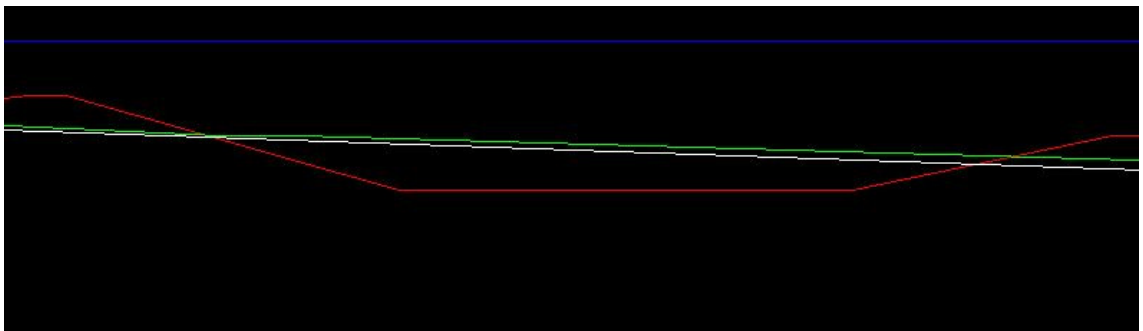


KUVA 17. Takymetrillä tuotettu pintamalli.

Ajoradan kohdalla laserkeilausmallin poikkeamat takymetrimallista olivat suurimmalta osin alle kymmenen senttimetriä, ja taiteviivoin parannellulla mallilla eroa oli enimmillään kuusi senttimetriä (Kuva 18). Taiteviivoin paranneltu malli seurasi hyvin tienpintaa, kun taas laserkeilausmallin korkeus vaihtelin ylös- ja alaspäin (Kuva 19). Ojissa kuitenkin korkeuserot kasvoivat huomattavasti, parannellun mallin päästessä 20cm ja keilausmallin noin 40cm eroavaisuuksiin. Suurin syy tähän on todennäköisesti keilauspisteiden harvuus, jolloin ne eivät osu ojien pohjalle ja tarkkaa korkeustietoa ei synny. Myös laserin osumapisteen ollessa suuri, tässä tapauksessa lähes 50cm luokkaa, ei sen osuessa vinolle pinnalle välttämättä saada tarkkaa korkeustietoa.

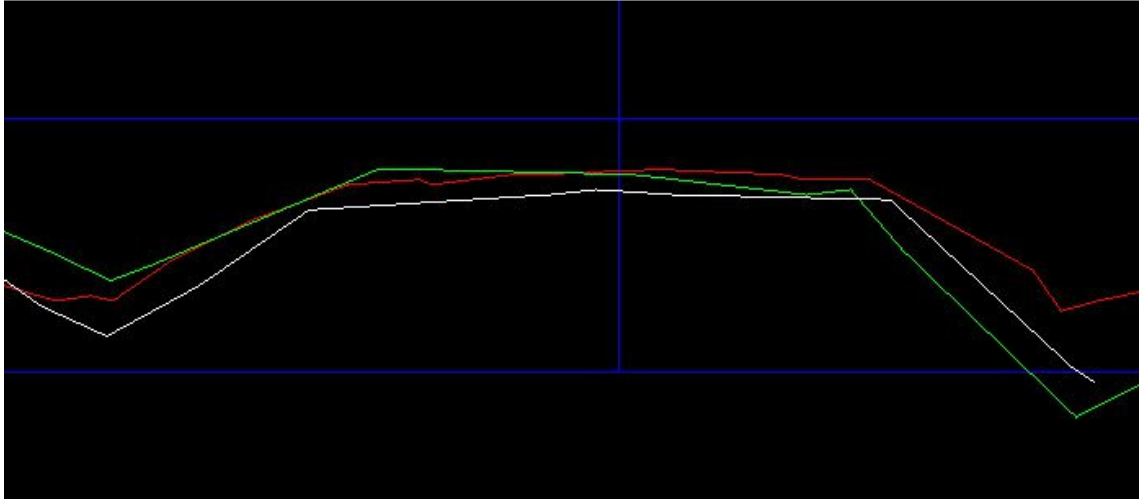


KUVA 18. Suurimmat erot pituusleikkauksessa olivat noin 10cm (Punainen laserkeilauspinta, vihreä taiteviivoin paranneltu ja valkoinen takymetrillä tuotettu pinta).



KUVA 19. Laserkeilausmallin epätarkkuuksia toisiin malleihin verrattuna.

Poikkileikkauksista näkyivät kuitenkin hyvin suurimmat epätarkkuuskohdat, luiskien reunat ja ojat (Kuva 20). Koska pistetiheys keilauksessa on vain puoli pistettä neliömetrille, keilausaineistosta ei ole helposti hahmoteltavissa luiskan reunan sijaintia. Ojanpohjien korkeudetkin poikkesivat paikoitellen puolikin metriä takymetrimallista, erityisesti tonttiliittymien kohdalla ja jyrkissä luiskissa. Suuremmalla pistetiheydellä näistä ongelmakohdista päästäisiin eroon.



KUVA 20. Poikkileikkauksessa näkyy ojanpohjien ja luiskan reunojen eroavaisuudet mallien välillä.

## 6.7 Muu käyttö

Laserkeilausaineistosta on saatavilla helposti suhteellisen tarkka maastomalli jopa metsästä, mikä havaittiin ottamalla poikkileikkauksuvia tiheän metsän alueelta (Kuva 21), missä muilla menetelmillä mittaaminen olisi vaikeaa ja työlästä.



KUVA 21. Poikkileikkaus metsässä olevasta rinteestä.

## 7 YHTEENVETO

Tässä työssä tarkasteltiin Maanmittauslaitoksen laserkeilausdatan sopivuutta kunnan suunnittelutoimintaan, ja opeteltiin aineiston hankintaa, käyttöä ja muokkausta. Kyseiset keilaukset on toteutettu lentäen korkealla, joten matalla lentäen tai helikopteria käyttäen tehtyjen keilausten tarkkuus ja sen myötä soveltuvuus suunnittelun lähtötiedoiksi olisi oleellisesti parempi.

Kuitenkin keilausaineisto on ilmaiseksi saatavilla ja kattaa koko kunnan alueen, joten sen avulla voidaan toteuttaa alustavaa suunnittelua varsin hyvin, kuten uusien asuinalueiden suunnittelua. Tarkempia suunnitelmia, kuten katujen korjaussuunnitelmia varten aineistoa on syytä täydentää maastokäynneillä, tai jättää keilausaineisto kokonaan käyttämättä. Lisäksi aineistoa voi käyttää hyväksi pohjakartan täydentämisessä Kullaan alueella, josta nykyiset tiedot ovat kovin puutteelliset.

Tällä hetkellä keilausaineisto on vielä ajankohtainen, mutta ympäristön muuttuessa ei aineisto enää pidä paikkaansa. Todennäköisissä käyttökohteissa ei kuitenkaan oletettavasti ole suuria muutoksia tapahtumassa, joten aineisto voi säilyä käyttökelpoisena hyvinkin pitkään. Jos tulevaisuudessa keilaus hintataso asettuu riittävän alhaiseksi, esimerkiksi lennokkien kehityksen ansiosta, voidaan keilaus hankinnalla korvata perinteisiä maastomallien mittaustapoja, takymetri- ja GPS-mittauksia.

Tässä työssä aineiston käsittelyyn ja muokkaamiseen käytetyt ohjelmistot ovat ennestäänkin kunnan suunnittelutoimen käytössä, joten laserkeilausdatan hyödyntämiseksi ei ole tarvetta tehdä uusia ohjelmistohankintoja.

## LÄHTEET

Laurila P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Wikipedia. Global Positioning System. Luettu 18.4.2014.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)

Maanmittauslaitoksen www-sivut. Luettu 13.10.2014.  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus>

Nordic Geo Center blogi. Luettu 3.12.2014.  
<http://www.geocenter.fi/blogi/ricopter-riegl-vux-1/>

Heiska, Heiska, Korpela, Koski, Lehtonen, Suominen. Maankäyttö-lehti 1/01, 4/01, 2/08, 1/09, 4/10, 2/13.

Hyypä H. & Hyypä J. 2003. Laserkeilauksen laatu ja sen osatekijät. Maanmittaustieteiden päivät 2003.

Joala V. 2003. Laserkeilaimien toimintaperiaatteet ja kalibrointi. Maanmittaustieteiden päivät 2003.

Soininen A. 2003. Laserkeilauksen sovellusalueet. Maanmittaustieteiden päivät 2003.

Lampinen J. 2011. Laserkeilauksen hyödyntäminen kunnan suunnittelu- ja mittaustoiminnassa. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

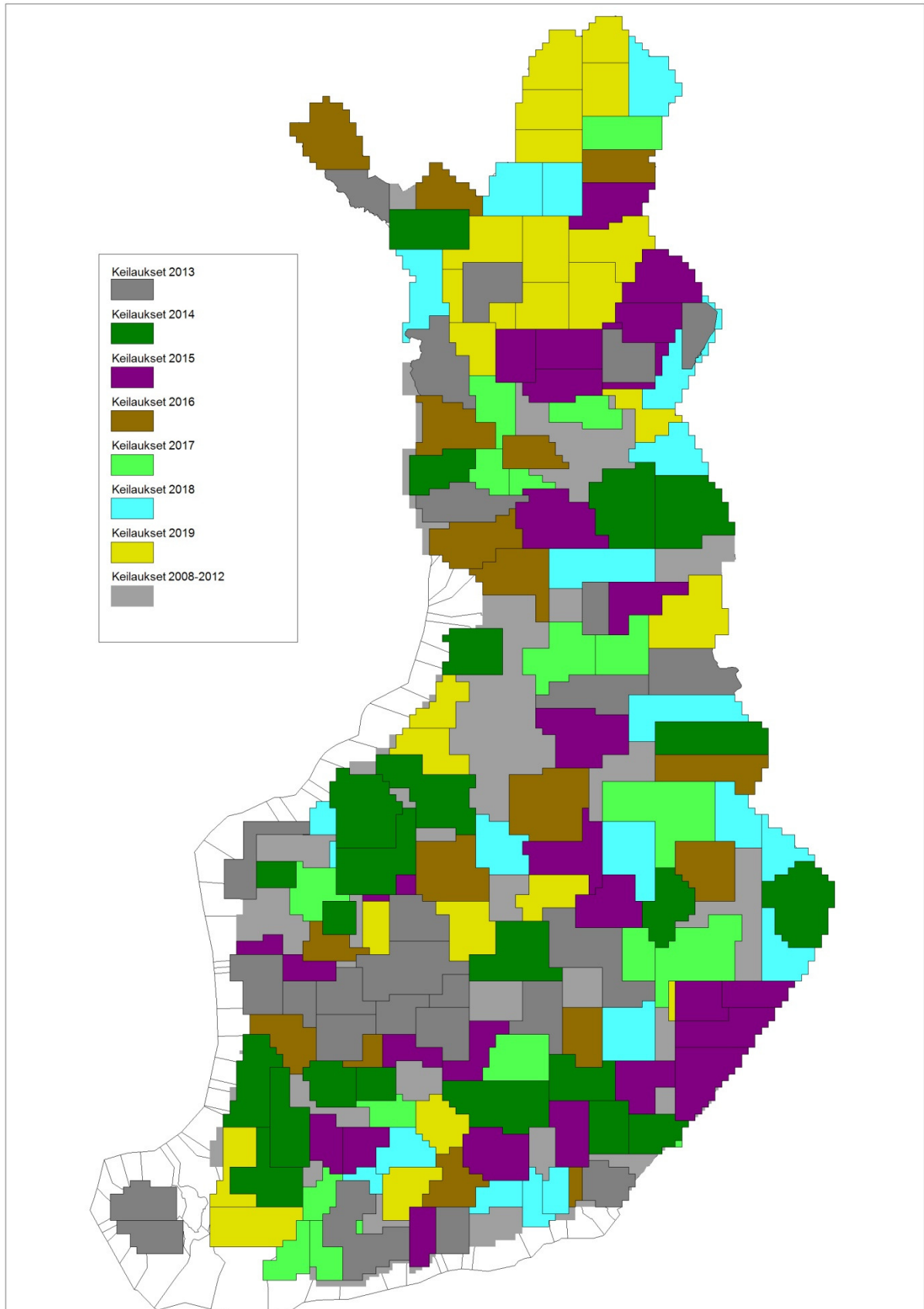
Kukko, Antero – Hyypä, Hannu – Kaartinen, Harri – Ahlavuo, Marika – Vaaja, Matti 2010. Liikenneympäristö kolmiulotteiseksi liikkuvalla kartoituksella. Positio 2/2010, s. 6-8.

Matikainen, Leena - Hyypä, Juha - Karila, Kirsi - Vaaja, Matti - Kukko, Antero 2011. Laserkeilaus- ja kuva-aineistojen automaattinen tulkinta karttojen ajantasaistuksessa. The Photogrammetric Journal of Finland, Vol 22, No. 3, 2011, s. 104-114.

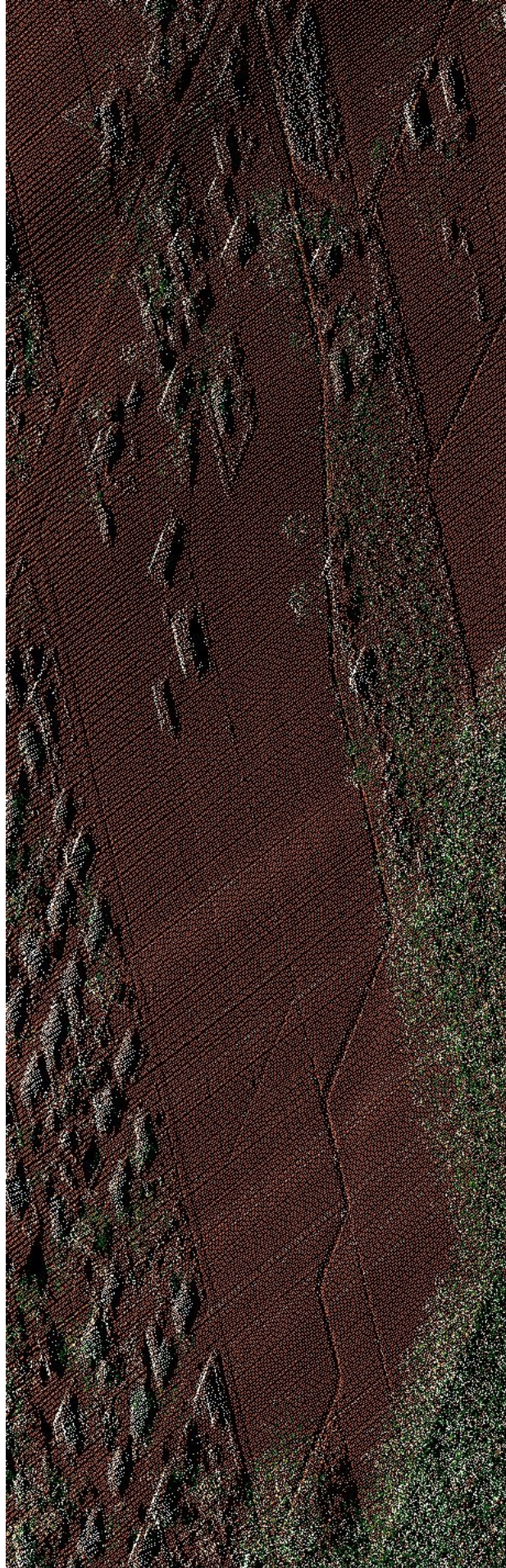
Vilhomaa, Juha - Laaksonen, Heli 2011. Valtakunnallinen laserkeilaus - testityöstä tuotantoon. The Photogrammetric Journal of Finland, Vol 22, No. 3, 2011, s. 82-91.

**LIITTEET**

## Liite 1. Suomi loppuun - keilaussuunnitelma. Maanmittauslaitos 27.2.2013



Liite 2. Muokkaamaton pistepilvi kohdealueesta.



Liite 3. Muokattu pintamalli kohteesta.

