

Vesa Ahlqvist

Laserkeilausaineistojen ja niistä johdettujen tuotteiden hyödyntäminen Puolustusvoimissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriyö

22.5.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Vesa Ahlqvist Lasekeilausaineistojen ja niistä johdettujen tuotteiden hyödyntäminen Puolustusvoimissa 41 sivua + 1 liitettä 22.5.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikan koulutusohjelma
Ohjaaja(t)	lehtori Jussi Laari tuotantopäällikkö, insinöörimajuri Janne Filpus osastoinsinööri, insinööriyliluutnantti Meri Louhisola
<p>Tässä insinööriyössä käsiteltiin laserkeilausaineiston hyödyntämistä Puolustusvoimissa. Lisäksi työssä selvitetään laserkeilauksen peruseriaatteita. Työssä keskityttiin Maanmittauslaitoksen tuottaman avoimen ilmalaserkeilausaineiston käsittelyyn ArcGIS paikkatietosovelluksessa.</p> <p>Työtä varten suoritettiin haastatteluita eri organisaatioihin, jotka hyödyntävät laserkeilausaineistoja tai voisivat hyötyä laserkeilausaineistosta tuotetuista tuotteista omassa toiminnassaan. Näihin organisaatioihin kuului sekä Puolustusvoimien yksiköitä että Puolustusvoimien ulkopuolisia toimijoita. Haastattelut antoivat ideoita erilaisista hyödyntämiskohteista.</p> <p>Lisäksi insinööriyöhön kuului esimerkkitapausten laatiminen erilaisista hyödyntämistavoista. Näissä esimerkeissä laserkeilausaineistojen tarkkaa korkeustietoa hyödynnetään yhdessä muiden lähtöaineistojen kanssa.</p> <p>Työn avulla lukija saa perustiedot laserkeilauksesta ja sen tuottaman korkeustiedon hyödyntämismahdollisuuksista.</p>	
Avainsanat	Puolustusvoimat, laserkeilaus

Author(s) Title Number of Pages Date	Vesa Ahlqvist Laser scanning and las-data applications in Finnish Defence Forces 41 pages + 1 appendices 22 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Jussi Laari, Senior Lecturer Janne Filpus, Production Manager, Major Meri Louhisola, Department Engineer, First Lieutenant
<p>This final year project studied laser scanning data and how the Finnish Defence Force could make use of the data. Furthermore, the basic principles of laser scanning were gathered. This project focused to open laser scanning data provided by National Land Survey. The data was then processed with ESRI ArcGIS geographic information system.</p> <p>Several organizations were interviewed to find out how they exploit laser scanning data or what products they generate from the data. The organizations included both units in The Finnish Defence Forces and mostly public sector organizations. The interviews were a valuable source of ideas about how to exploit the data.</p> <p>Additionally, examples about how to make use of lasers canning data were drafted. In these examples, the accurate height information from the laser scanning data was combined and utilized with other source material.</p> <p>This final year project gives the reader the basic knowledge about laser scanning and the height information in the data, as well as information about ways to use the data. Instructions on how to implement the examples are included in this Bachelor's thesis. The steps of the instructions can also be applied to other tasks.</p>	
Keywords	Finnish Defence Forces, laserscanning

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Insinööriyön tarkoitus	1
1.2	Työnantaja	1
1.3	Käytetty ohjelmisto	1
2	Laserkeilaus	2
2.1	Perusteet	2
2.2	Etäisyyden mittauksen menetelmät	3
2.2.1	Pulse round trip	3
2.2.2	Phase shift measurement	4
2.2.3	Triangulation	4
2.3	Ilmalaserkeilaus	4
2.3.1	Instrumentit	4
2.3.2	Keilauksen parametrejä	6
2.3.3	Keilauskuviot	8
2.3.4	Helikopteri	10
2.3.5	Lentokone	11
2.4	Maanpäällinen keilaus	11
2.5	Laserkeilausaineisto	11
2.5.1	MML:n avoin laserkeilausaineisto	12
2.6	Laserkeilauksesta johdetut tuotteet	15
2.6.1	Korkeusmalli	15
2.6.2	3D-malli	17
2.6.3	Kohteen tunnistus	17
3	Haastattelut	17
3.1	MML	18
3.2	METLA	19
3.3	ELY-keskus	20
3.4	ESRI Finland	20
3.5	Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos, PVTT	21
3.6	Viestirykmentti, VIESTIR	22
3.7	Maanpuolustuskorkeakoulu, MPKK	23
3.8	Tykistörikaati, TYKPR	24

4	Las-tiedoston avaaminen ArcMapissa ja rasterimuotoisen korkeusmallin luominen	25
5	Case: Tykistöammuksen osumaan vaadittavan tulokulman määrittäminen rakennetulla alueella	26
5.1	Tavoite	26
5.2	Menetelmä	26
5.2.1	Korkeusmallin luominen	26
5.2.2	Hillshade-analyysi	28
5.2.3	Katvealueiden tunnistaminen	29
5.3	Havainnollistaminen	31
5.4	Menetelmän ongelmat	31
6	Case: Korkeusarvot maastotietokannan rakennuksille	33
6.1	Tavoite ja lähtöaineistot	33
6.1.1	Maastotietokanta	33
6.1.2	Maastotietokannan rakennukset	33
6.2	Menetelmä	34
6.2.1	Korkeusmallien luominen	34
6.2.2	Rakennusvektorien valitseminen	35
6.2.3	Korkeuden määrittäminen rakennuksien alueilta	35
6.2.4	Korkeusarvojen liittäminen rakennusvektoreihin	37
6.3	Menetelmän ongelmia	38
7	Pohdinta	40
	Lähteet	42
	Suulliset lähteet	44
	Liitteet	
	Liite 1. MML:n laserkeilaukset 2008–2013	

Lyhenteet

DEM	<i>Digital Elevation Model</i> , digitaalinen maastomalli eli maan pinnanmuotoja kuvaava korkeusmalli
DSM	<i>Digital Surface Model</i> , maanpintaa ja sen päällisiä kohteita kuvaava korkeusmalli
DTM	<i>Digital Terrain Model</i> , digitaalinen maastomalli ks. DEM
FGDBR	<i>File Geodatabase Raster</i> , ArcGIS:ssä käytettävä rasteritiedostomuoto
GIS	<i>Geographic Information System</i> , paikkatietojärjestelmä
IMU	<i>Inertia Measurement Unit</i> , inertian mittaussyksikkölaite, jolla mitataan ja seurataan lentoaluksen asennon muutoksia laserkeilausta tehdessä
JPEG	<i>Joint Photographic Experts Group</i> , häviöllinen kuvatiedostomuoto
LAS	<i>LASer File Format</i> , ASPRS:n kehittämä ja ylläpitämä tiedostomuoto pistepilville
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i> , kaukokartoitusmenetelmä
MML	Maanmittauslaitos
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i> , häviötön kuvatiedostomuoto
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i> , pisteisiin ja niiden välisiin vektoreihin perustuva korkeusmalli
TOPK	Topografikunta

1 Johdanto

1.1 Insinööriyön tarkoitus

Tämän insinööriyön tarkoituksena on kartoittaa käytössä olevia laserkeilausaineistojen ja esittää mahdollisia uusia laserkeilausaineiston hyödyntämiskohteita Puolustusvoimissa. Työssä keskitytään Maanmittauslaitoksen julkaisemien avointen laserkeilausaineistojen käyttötapojen ja -kohteiden selvittämiseen. Tavoitteena on, että lukija saa käsityksen, mitä laserkeilaus on ja mitä siitä saatavasta aineistosta voidaan tuottaa. Lisäksi muutamalla case-tapauksella esitellään mahdollisia hyödyntämiskeinoja Puolustusvoimien näkökulmasta.

1.2 Työnantaja

Insinööriyön tilaajana oli Puolustusvoimien tiedustelukeskuksen Topografikuntaniminen osasto. Topografikunnan tehtävänä on Puolustusvoimien kartta-, paikkatieto- ja olosuhdetietovalmius, asejärjestelmien ja simulaattorien paikkatietojen tuotteistus. Topografikunta käyttää Maanmittauslaitoksen dataa lähtöaineistonaan Suomen osalta. Laserkeilausaineisto on yksi mielenkiintoisista uusista valtakunnanlaajuisista paikkatietoaineistoista. Topografikunta tuotteistaa Puolustusvoimille tuotteita sekä MML:n raakakeilausdatasta että Korkeusmalli 2 m:stä.

1.3 Käytetty ohjelmisto

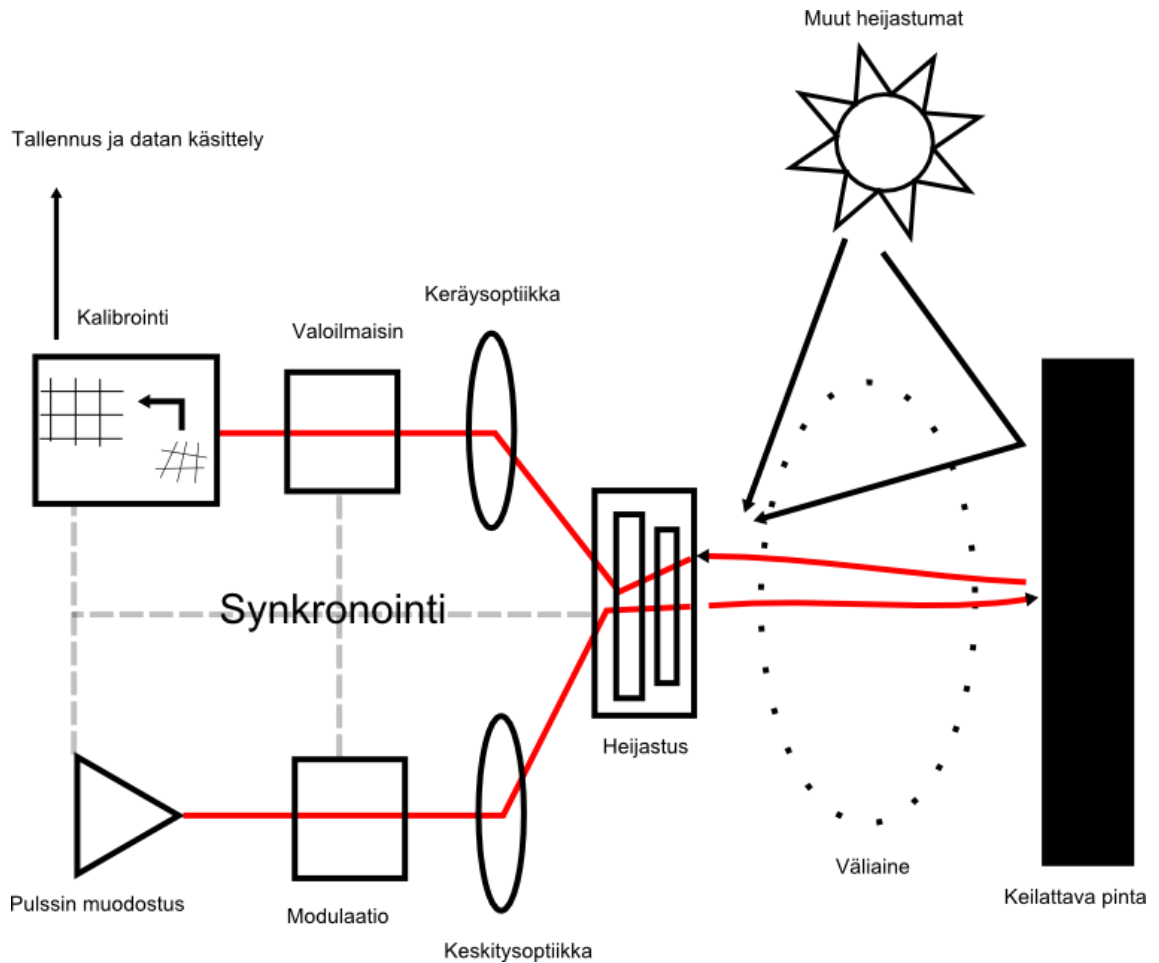
Insinööriyössä käytettiin pääosin ArcGISiä, joka on ESRI:n kehittämä paikkatieto-ohjelmisto. Työssä käytettiin ohjelmiston versiota 10.1. Ohjelmisto sisältää eri ohjelmia, joista käytössä olivat ArcMap, ArcCatalog ja ArcScene, jotka sisältävät erilaisia paikkatietoanalyysityökaluja. Uutena ominaisuutena versiossa 10.1 on suora tuki las-tiedostomuodon lukemiseen ja käsittelyyn ArcMap-ohjelmassa.

2 Laserkeilaus

2.1 Perusteet

Laserkeilain on elektro-optinen laite, joka on peruseriaateiltaan hyvin samankaltainen perinteisen tutkan kanssa. Radioaaltojen sijaan laserkeilauksessa käytetään optisen alueen säteilyä. Keilain lähettää säteen, joka heijastuu kohteesta takaisin keilaimen sensoriin. Matkaan kuluneesta ajasta ja säteen aallon vaihe-erosta voidaan laskea etäisyys kohteeseen. [1, s. 3.] Laite voi lähettää ja vastaanottaa kymmeniätuhansia yksittäisiä laserpulsseja sekunnissa [1, s. 26].

Laser on laite, jolla tuotetaan koherenssivaloa. Koherentissa valossa kaikki valoallot ovat samanpituisia, ja ne värähtelevät samassa suunnassa ja samalla taajuudella. Ilmalaserkeilauksessa laserpulssi tuotetaan yleensä kiinteän olomuodon laserin tai puolijohdelaserin avulla. Lähetettävän laserpulssin ominaisuuksia, kuten aallonpituutta ja -taajuutta, muokataan modulaation avulla. Pulssi keskitetään ja suunnataan optiikan avulla. Pulssi heijastetaan kohti keilattavaa pintaa usein peilien avulla. Kohteesta heijastuneet pulssit kerätään peilien ja optiikan avulla ja ohjataan valoilmaisimeen. Pulssi siirretään digitaaliseen muotoon ja siitä korjataan esimerkiksi väliaineen ja muiden heijastumien tuottamat virheet pois. Lopuksi pulssin muodostama data tallennetaan. [1, s. 11.] Kuvassa 1 esitellään laserkeilaimen toimintaperiaate kaaviokuvana.



Kuva 1. Laserkeilaimen toimintaperiaate

2.2 Etäisyyden mittauksen menetelmät

Etäisyyden määrittämiseen laserpulssin avulla on useita eri menetelmiä. Niiden välillä on eroavaisuuksia mittausetäisyydessä, -nopeudessa ja -tarkkuudessa. Eri menetelmillä on omat vahvuutensa sekä heikkoutensa ja ne soveltuvat erilaisiin tehtäviin. [1, s. 2.]

2.2.1 Pulse round trip

Pulse round trip -menetelmässä pulssin kulkema matka mitataan aikaerosta pulssin lähetyksen ja vastaanoton välillä. Valo kulkee aineessa rajatulla ja tasaisella nopeudella. Kun aine ja sen ominaisuudet tunnetaan, voidaan säteen paluuseen

kuluneesta ajasta laskea valon kulkema matka. [1, s. 3.] Ilmalaserkeilauksessa väliaineena on yleensä ilmakehä, jolloin tarvittavia ominaisuustietoja ovat esimerkiksi ilmanpaine, lämpötila ja kosteus. Menetelmä soveltuu pidemmille etäisyyksille ja kykenee senttimetrin tarkkuuteen. Ilmalaserkeilauksessa käytetään lähes poikkeuksetta pulse round trip -menetelmää.

2.2.2 Phase shift measurement

Phase shift measurement eli vaihe-eromittaus perustuu jatkuvan lasersäteen aallonpituuden muutosten mittauksiin [1, s. 6]. Lähtevän säteen ja heijastuvan säteen vaihe-eroja, amplitudia tai taajuutta verrataan keskenään ja muutoksista voidaan laskea etäisyys kohteeseen. Menetelmällä pystytään mittaamaan jopa 1 mm:n tarkkuudella ja suurella nopeudella, mutta tällöin mittausetäisyys ei voi olla kovin suuri. Menetelmällä rekisteröidään vain yksi kaiku per pulssi. Jos pulssi heijastuu useasta kohteesta, tulee mitattu arvo niiden väliin. [1, s. 7.] Menetelmää ei juuri käytetä ilmalaserkeilauksessa rajatun etäisyyden ja kaikujen rekisteröinnin takia.

2.2.3 Triangulation

Triangulation eli kolmiointi eroaa edellisistä menetelmistä. Etäisyyttä ei havainnoida suoraan vaan kulmien laskennan kautta. Laserpulssi lähetetään kohteeseen tarkasti mitatulla kulmalla. Pulssi osuu kohteeseen, hajoaa ja heijastuu. Pulssin heijastukset osuvat sensoriin, jonka sijainti ja kulmat verrattuna laserpulssin alkuperään tunnetaan. Tunnettujen kulmien ja etäisyyksien avulla voidaan laskea laserpulssin heijastuspisteelle koordinaatit. Menetelmä on nopea ja erittäin tarkka, jopa alle 1 mm, mutta etäisyys on rajattu muutamiin metreihin. Menetelmää käytetään lähinnä pienten kohteiden, kuten teollisuuden komponenttien, tarkkaan mittaukseen. [1, s. 11.]

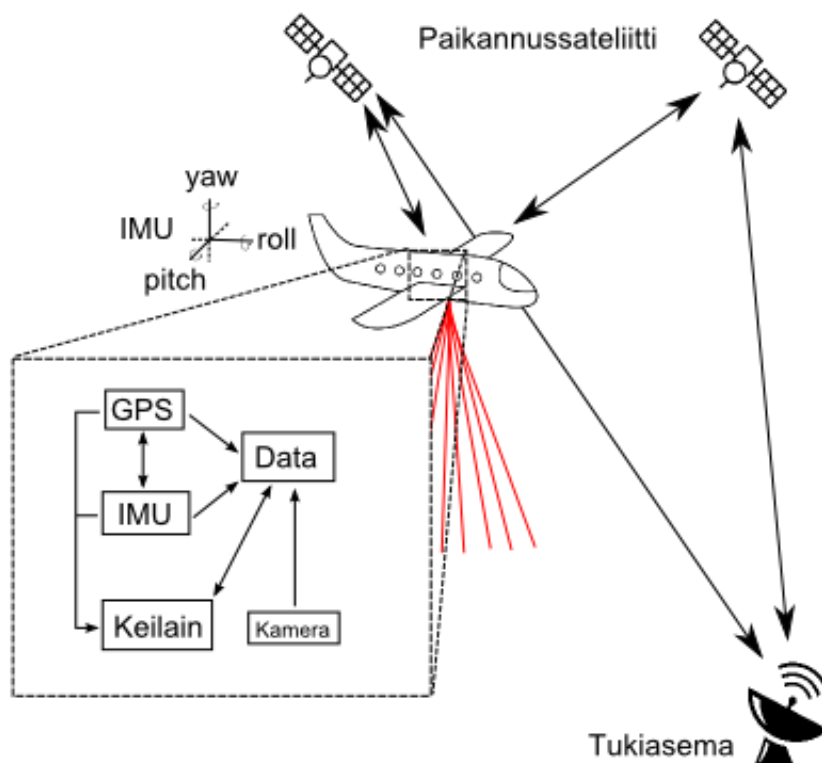
2.3 Ilmalaserkeilaus

2.3.1 Instrumentit

Ilmalaserkeilauksessa keilain on asennettuna ilma-alukseen, tyypillisesti helikopteriin tai lentokoneeseen. Kuvassa 2 on esitetty ilmalaserkeilauksen periaate kaaviokuvana.

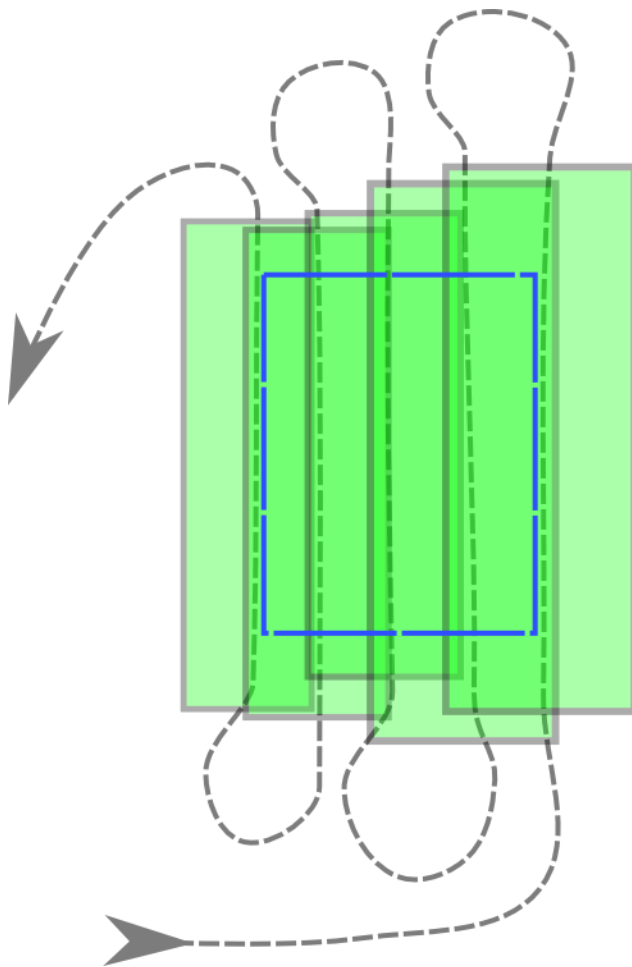
Mittaukselle tuotetaan sijaintitieto satelliittipaikannuksen avulla. Lisäksi alukseen asennetaan inertian mittaussyksikkö (IMU), jonka avulla saadaan seurattua aluksen orientaatiota tarkasti ja lentoaluksen kallistukset sekä värinä saadaan korjattua pois lopullisista mittaustuloksista. Molemmat laitteet tukevat toistensa toimintaa ja mahdollistavat tarkan sijainnin määrittämisen mitatuille pisteille. [1, s. 22] Esimerkiksi satelliittipaikannuksen keskeytyessä voidaan inertiayksikön datan avulla laskea aluksen sijainti katkon aikana. IMU:n suurimpia ongelmia on virheiden kertyminen. Koska laite lisää mittaamansa arvot aina edellisen mittauksen tuloksiin, kertyy mahdollinen, hyvinkin pieni, virhe mittauksen edetessä. [1, s. 24]

Mukana voi olla digitaalikamera laserkeilausta tukemassa, jolloin samalla lennolla saadaan ilmakuvia. [1, s. 23] Näistä ilmakuvista voidaan määrittää pistepilvälle todelliset värit. Keilausta voidaan suorittaa myös pimeään aikaan, koska laserkeilain tuottaa tarvitsemansa valon [1, s. 35]. Tällöin tavallisesta digitaalikamerasta ei ole hyötyä lennolla.



Kuva 2. Ilmalaserkeilauksen periaate

Lisäksi lentoaluksessa on datan tarkkailu- ja tallennusyksikkö, joka synkronisoi ja tallentaa eri laitteiden tuottaman datan. Lennolla mukana oleva keilausoperaattori seuraa tämän laitteen kautta koko keilausjärjestelmää ja varmistaa keilauksen teknisen onnistumisen. Pilotti seuraa omien navigaatiolaitteidensa avulla ennaltalaadittua lentosuunnitelmaa, jolloin mittaus saadaan suoritettua oikealta korkeudelta, oikealla lentonopeudella ja riittävällä sivuttaispeitolla. [1, s. 23] Sivuttaispeittoa ja lentosuunnitelman lentojonoja on havainnollistettu kuvassa 3.



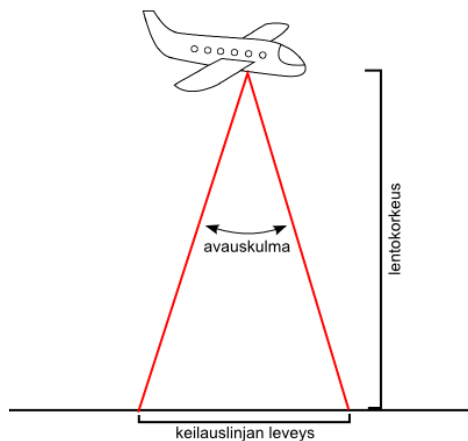
Kuva 3. Sivuttaispeitto

2.3.2 Keilauksen parametrejä

Kun ilmalaserkeilauksella havainnoidaan maanpintaa ja sen päällä olevia objekteja, käytetään tyypillisesti 800–1550 nm:n aallonpituisia lasersäteitä [1, s. 25]. Eri materiaalit heijastavat eri aallonpituuksia eri tavoin. Käytettävä aallonpituus täytyy

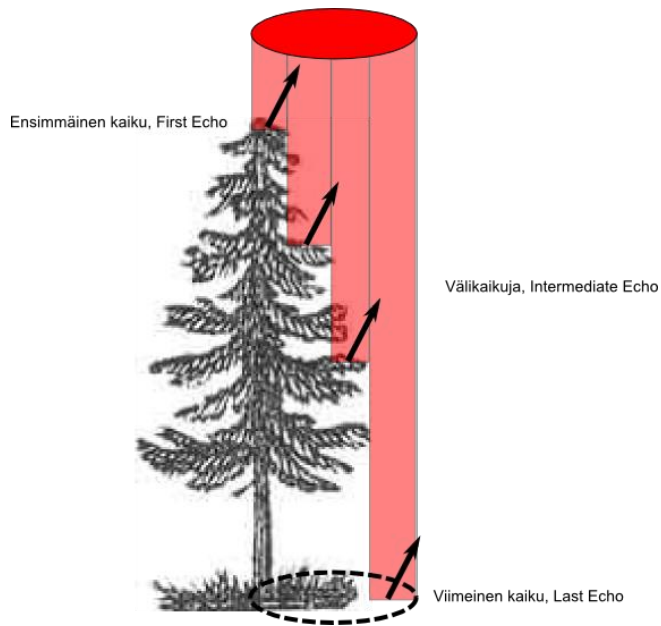
määrittää etukäteen keilauksen suunnittelun yhteydessä. Esimerkiksi vesi absorboi tehokkaasti maanpinnan keilaukseen käytettävät aallonpituudet. Tämän takia vesialueet ovat usein suurimmaksi osin tyhjiä aukkoja pistepilvessä.

Avauskulma eli scan angle kertoo, montako astetta on reunimmaisten pulssien ero. Yhden keilauslinjan leveys eli swath width määrittyy lentokorkeuden ja käytettävän avauskulman perusteella. [1, s. 25–26.] Asiaa havainnollistetaan kuvassa 4.



Kuva 4. Avauskulma, lentokorkeus ja keilauslinjan leveys

Yksittäisestä laserpulssista voidaan vastaanottaa useita kaikuja (echo) tai heijastumia. Useat kaiut johtuvat laserjalanjäljen koosta, joka muuttuu lentokorkeuden mukaan. Laserjalanjälki eli laser-footprint on alue, jonka yksi laserpulssi kattaa kohteesta. Keilauksessa käytettävä laserpulssi ei ole teräväreunainen, vaan laser hajoaa kulkiessaan ilmakehän läpi ja jakaantuu alueelle, jonka voi olettaa olevan pyöreä. Pulssi on voimakkain jäljen keskellä ja heikentyy kohti reunoja. 1000 metrin lentokorkeus aiheuttaa noin 0,2 m:n jalanjäljen. [1, s. 26.] Tämä mahdollistaa ilmalaserkeilauksessa maanpinnan havainnoinnin esimerkiksi puuston läpi. Laserjalanjälkeä havainnollistetaan kuvassa 5.



Kuva 5. Laserjalanjälki

2.3.3 Keilauskuviot

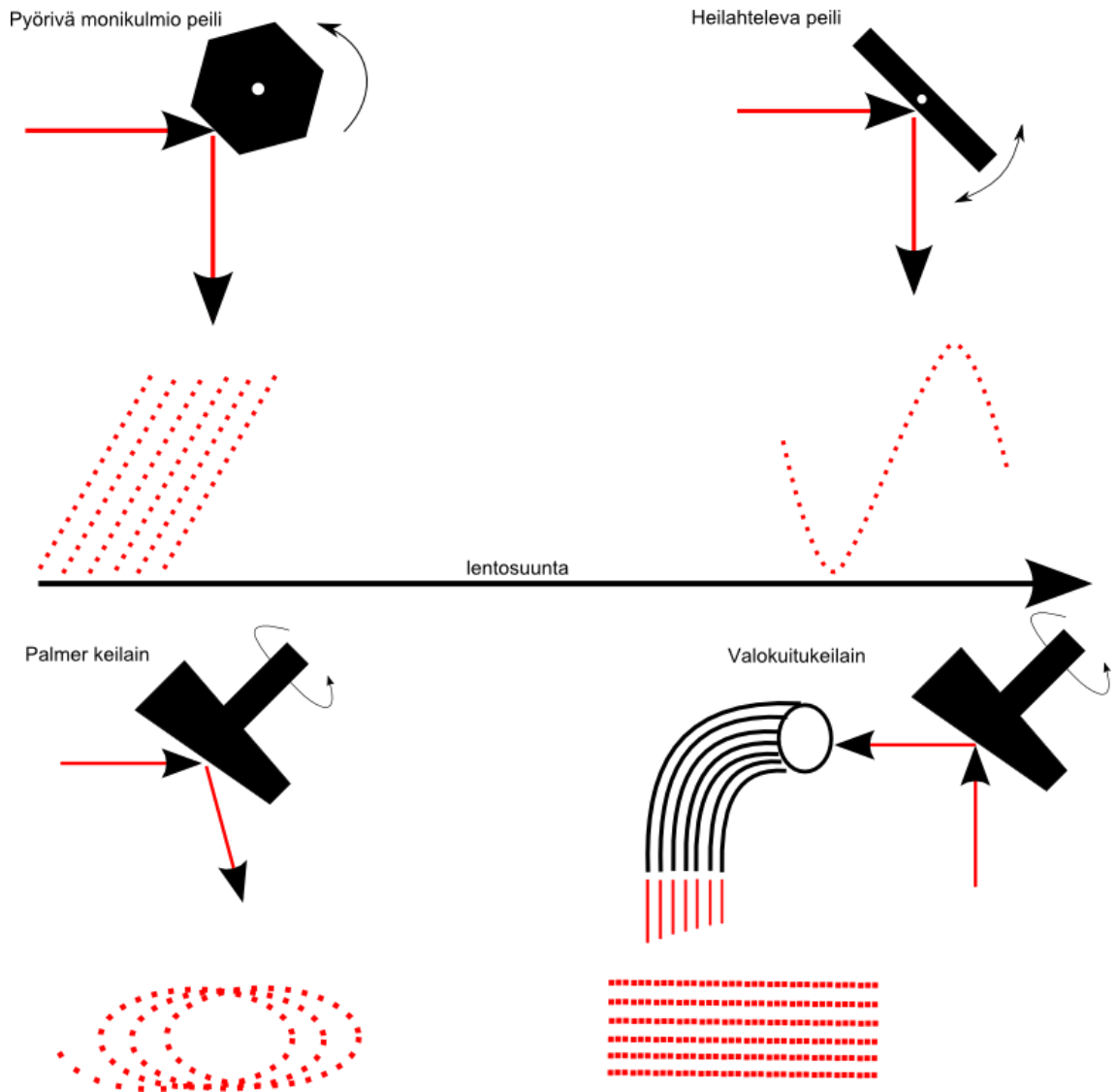
Keilaimen lähettämä laserpulssi pitää saada heijastettua kohteeseen. Yleisimmin heijastus tapahtuu peilien avulla, joita kääntämällä muodostetaan keilaimen avauskulma. Erilaisilla projisointimenetelmillä saadaan aikaiseksi erilaisia keilauskuvioita. Kuvassa 6 on esitetty erilaisia projisointimenetelmiä ja niiden tuottama keilauskuvio. Säättämällä pulssitiheyttä, avauskulmaa ja lentokorkeutta voidaan erilaiset keilaimet sovittaa vaihteleviin tehtäviin. [1, s. 16.]

Pyörivällä monikulmio peilillä (rotating polygonal mirror) saadaan aikaiseksi tasainen ja säännöllinen keilauskuvio, jonka tiheyttä voidaan muokata peilin pyörimisnopeuden avulla. Menetelmän avauskulma on noin 30 ja 60 asteen välillä. [1, s. 18.]

Heilahtelevan peilin (oscillating mirror) avulla keilauspisteet muodostavat aaltomaisen tai siksak-kuvion. Pistetiheys vaihtelee vuorostaan kiihtyvän ja hidastuvan peilin takia. Tiheimmillään pisteet ovat kuvion huippukohtissa, joissa peili hidastuu ja kääntyy takaisin. Pistetiheyden vaihtelua voidaan kompensoida säätelemällä peilin heilahduksen kiihtyvyyttä ja laserpulssien tiheyttä. Menetelmän etuna on säädettävyys. Avauskulma voi olla nollan ja 75 asteen väliltä. [1, s. 16–18.]

Palmer-keilaimessa peili ja sen pyörimisakseli muodostavat kulman, joka on poikkeava suorasta 90 asteen kulmasta. Ylilennon aikana keilain muodostaa ellipsin muotoista keilauskuviota, ja sen takia samaan maastonkohtaan osuu laserpulssi kahteen kertaan, ensimmäinen ellipsin ”etupuolelta” ja toisen kerran myöhemmän ellipsin ”takaosasta”. [1, s. 18.] Palmer-keilausta käytetään enemmän maassa tapahtuvissa keilauksissa, mutta siinä on etunsa myös ilmalaserkeilauksessa. Koska sama maaston kohta keilataan kahdesti eri suunnista, mahdolliset katvealueet vähenevät. Tämä on suuri etu esimerkiksi korkeista rakennuksista muodostuvaa kaupunkialuetta keilattaessa.

Valokuitukeilaimessa laserpulssi heijastetaan useisiin rinnakkaisiin valokuituihin, joiden kautta pulssi ohjataan maata kohti. Mekanismi on hyvin vakaa, koska kuidut ovat kiinnitetty paikoilleen. Sivuttaissuunnassa pistetiheys on hyvin säännöllinen. Lentosuunnassa pistetiheyttä voidaan muokata pulssitiheyden avulla ja nopealla pulssitiheydellä saadaan laserjalanjälkien päällekkäisyyttä lisättyä. Tyypillisesti kuitukeilain koostuu 128 rinnakkaisesta kuidusta, joiden avauskulma on 14 astetta. [1, s. 18.]



Kuva 6. Projisointimenetelmiä

2.3.4 Helikopteri

Helikopteri soveltuu ketteryytensä ansiosta nauhamaisille kohteille, matalille lentokorkeuksille ja yleensäkin pienemmille keilausalueille. Voimalinjat, jokiuomat ja tielinjaukset ovat tavallisia keilauskohteita. Matala lentokorkeus ja -nopeus tuottaa tarvittaessa suuremman pistetiheyden ja pienemmän laserjalanjäljen [1, s. 35].

2.3.5 Lentokone

Lentokoneella keilattavat alueet ovat yleensä suuria. Lentokorkeuden ja -nopeuden ollessa suuria saadaan katettua laajojakin alueita. [1, s. 35] Suuri mittausetäisyys aiheuttaa pienemmän pistetiheyden ja heikentää tarkkuutta. Käytettävä avauskulma ja lentokorkeus määrittävät keilattavan alueen leveyden yhdellä ylilennolla. Alue katetaan lentämällä useita ylilentoja hieman päällekkäin siten, että sama maastonkohta mitataan useammalla ylilennolla. Näin saavutetaan riittävä sivuttaispeitto.

2.4 Maanpäällinen keilaus

Laserkeilausta käytetään paljon myös rakennusten kartoittamiseen. Keilaus tapahtuu yhdestä tai useammasta asemapistestä ja syntyneet pisteet yhdistetään yhdeksi pistepilveksi yhteisten tähysmerkkien avulla. Pistepilven avulla voidaan luoda millimetritarkka pohjapiirros tai 3D-malli CAD-ohjelmaan. Teollisuudessa uusien tuotantolinjojen ja -laitteiden mitoitus sekä suunnittelu vaatii tarkat tiedot erilaisten putkien sijainneista ja tilan riittävydestä. Vanhoja rakennuksia kunnostaessa ja alkuperäisten dokumenttien puuttuessa voidaan keilata kohde ja käyttää pistepilveä referenssinä. [25] Ainutlaatuisia historiallisia rakennuksia, patsaita ja muita kohteita sekä museoiden esineitä dokumentoidaan laserkeilauksen avulla. Näin voidaan korjata vahingoittuneita kohteita ja jopa korvata alkuperäinen 3D-mallin mukaan luodulla kopiolla.

Laserkeilausta suoritetaan myös liikkuvasta ajoneuvosta. Yleensä auton katolle tai lavalle asennetaan kaksi keilainta ja ajetaan pitkin teitä samalla keilaten. Menetelmällä voidaan luoda esimerkiksi 3D-malli kaupungin katutasosta tai etsiä tienpinnan routavaurioita sekä muita kulumia. [25]

2.5 Laserkeilausaineisto

Laserkeilauksesta syntyy joukko pisteitä, jotka kuvaavat maanpintaa ja maanpinnalla olevia kohteita kolmiulotteisesti. Jokaisella pisteellä on taso- ja korkeuskoordinaattitieto, jotka on muodostettu yhdistämällä keilaimen,

paikannusyksikön ja inertiayksikön tuottama data. Näitä suuria joukkoja pisteitä kutsutaan yleisesti pistepilviksi (point cloud).

Pistepilvi tallennetaan yleisesti las-tiedostoon, joka on julkinen kolmiulotteisen pistemuotoisen aineiston tallentamiseen ja jakeluun kehitetty tiedostomuoto. Las-formaatti kehitettiin vaihtoehdoksi eri laserkeilainvalmistajien patentoiduille tiedostomuodoille ja yleiselle ASCII-tiedostomuodolle. Patentoitujen tiedostomuotojen tuki eri ohjelmissa vaihtelee ja ASCII-tiedoston suorituskyky ei ole riittävä laserkeilausaineistolle. Las-tiedostomuotoa ylläpitää American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). Viimeisin versio on 1.4, joka julkaistiin vuonna 2011, ja se tukee esimerkiksi 256 pisteluokkaa sekä 15 paluukaikua per pulssi. [2, s. 2.]

Laserkeilausaineistot vievät paljon tallennustilaa, ja käsiteltäessä ne vaativat tietokoneelta paljon resursseja.

2.5.1 MML:n avoin laserkeilausaineisto

Maanmittauslaitos avasi kaikki digitaaliset maastotietoaineistot ilmaiseen ja vapaaseen käyttöön 1.5.2012. Myös MML:n hankkima ilmasta keilattu laserkeilausaineisto on vapaasti kaikkien käytettävissä. Maanmittauslaitos jakaa omat laserkeilausaineistonsa 3 x 3 kilometrin paloissa. Formaattina on las-tiedosto. Yhden palan tiedostokoko on noin 300 megatavua ja se sisältää miljoonia pisteitä. Aineiston pistetiheys on vähintään puoli pistettä neliometriä kohden. Korkeustarkkuuden keskivirhe on enintään 15 senttimetriä ja tasotarkkuuden keskivirhe enintään 60 senttimetriä. Keilaukset on suoritettu noin 2 000 metrin korkeudelta ja 20 asteen avauskulmalla. Maanpinnalla laserpulssin jalanjälki on halkaisijaltaan noin 50 senttimetriä. Koordinaattitietojen x,y ja z lisäksi jokaiselle pisteelle on tallennettu myös muita tietoja, kuten pisteen luokka, lentojono, lähtöpulssin aikaleima, intensiteettiarvo eli paluupulssin voimakkuusarvo sekä paluupulssin numero. Maanmittauslaitos kerää laserkeilausaineistoa Korkeusmalli 2 m:n tuotantoa varten. Korkeusmallin laatimiseen käytettävä aineisto on kuvattu lumettomaan ja lehdettömään aikaan joko keväällä tai syksyllä. [3]

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto maanpintaluokitellaan automaattisesti ja tarkistetaan stereomalliavusteisesti ilmakuvien avulla. Stereomalliavusteisen

tarkistuksen aikana ei tuhota pisteitä, vain pisteen luokka voi muuttua. Pisteluokat on esitelty taulukossa 1. Samassa prosessissa luokitellaan vesialueet Maastotietokannan rantaviivojen mukaisesti. Lisäksi sillat luokitellaan manuaalisesti. Tarkistuksen yhteydessä lisätään tarvittaessa pisteitä korkeusmallin tuotannossa tarvittaviin luokkiin, jos aineiston pisteet ovat liian harvassa. Lisättävät pisteet lasketaan viereisien mitattujen laserpisteiden avulla ja tallennetaan erilleen varsinaisista laserpisteistä.

Taulukko 1. MML:n laserkeilausaineiston pisteluokat

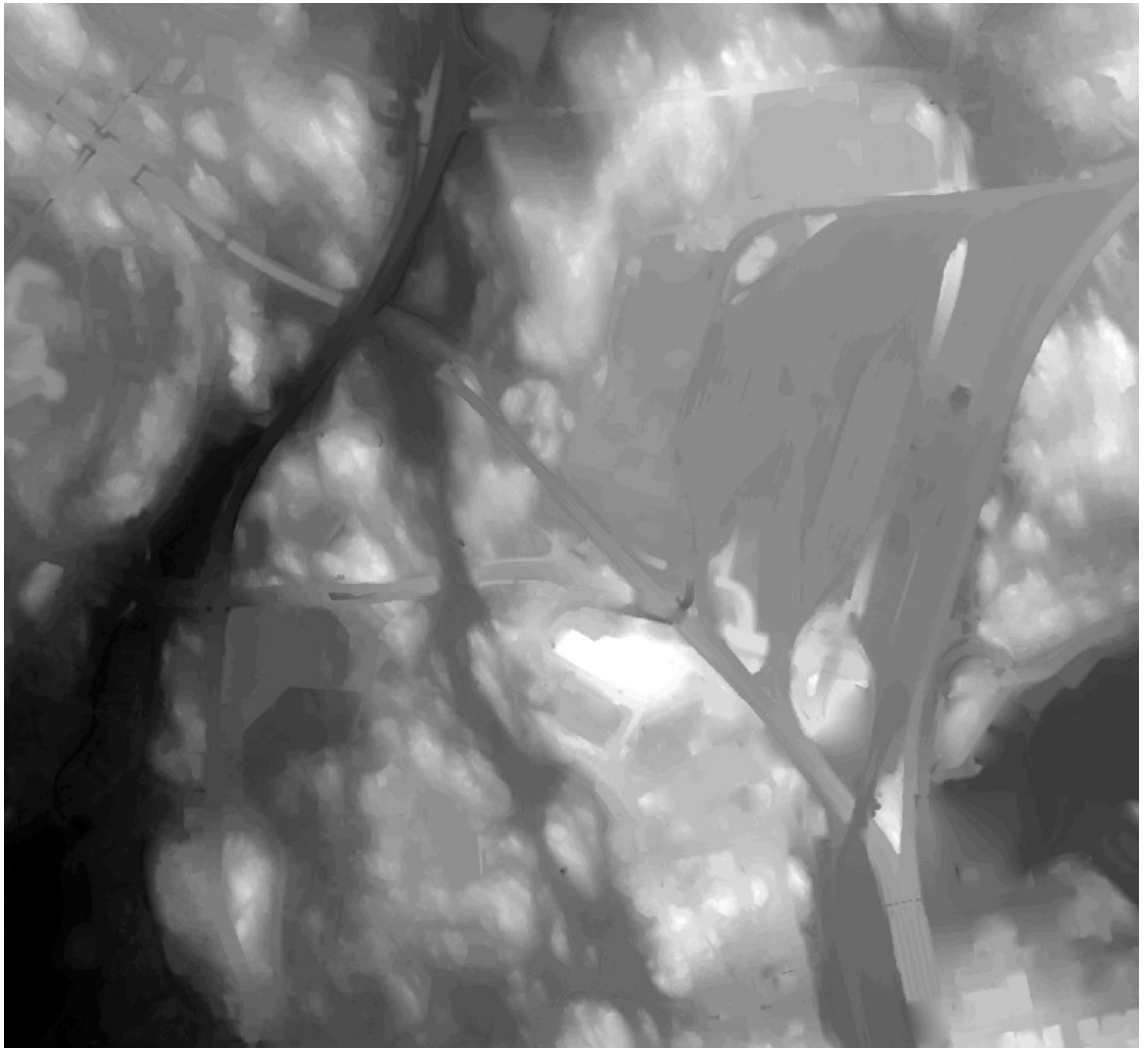
Luokan nimi	Luokan nimi englanniksi	Luokan numero	Selite
Peittoalue	Overlap	13	Vuoden 2010 keilauksista alkaen. Lentojonojen päällekkäisiltä alueilta vain yhden jonon pisteet ovat mukana jatkokäsittelyssä, muut pisteet on sijoitettu tähän luokkaan.
Matala kasvillisuus	Low Vegetation	3	Yleisluokka pisteille, jotka eivät vastaa laserpulssien ainoita tai viimeisiä paluukaikuja.
Matalat virhepisteet	Low Point	7	
Maanpintapisteet	Ground	2	Merkittäviä, havaittuja automaattisen maanpintaluokittelun virheitä, eli maanpintaan kuulumattomia tai maan pinnasta poikkeavia kohteita on korjattu. Korjauksessa pisteen luokka muuttuu luokasta 2 luokkaan 1 tai päinvastoin.
Vakavedet	Water	9	Näiden pisteiden korkeus maskataan maastotietokannan vedenkorkeuden sekä keilausten vakavesipisteiden korkeuksien keskiarvon mukaan.
Virtavedet	Stream	14	
Siltapisteet	Bridge	10	Nämä pisteet on luokiteltu manuaalisesti. Tähän luokkaan on luokiteltu sillat, joiden alla on vapaa veden virtauskohta.
Luokittelematon	Unclassified	1	

Laserkeilausaineistoa ei ole vielä koko Suomen alueelta. Vuosina 2008–2013 suoritettujen keilaukset kattavat suurimman osan Etelä- ja Länsi-Suomesta sekä Pohjois-Pohjanmaasta (liite 1). Maanmittauslaitoksen tavoitteena on keilata ja julkaista koko Suomen laserkeilausaineistot vuoden 2019 loppuun mennessä. Aineistolle ei ole vielä julkaistu päivityssuunnitelmaa vuodesta 2019 eteenpäin. [3]

2.6 Laserkeilauksesta johdetut tuotteet

2.6.1 Korkeusmalli

Mahdollisesti yleisin tuote, mitä laserkeilausaineistosta johdetaan, on korkeusmalli. Korkeusmalli voi olla, joko rasteri- tai vektorimuotoinen. Jos korkeusmalli esittää vain maanpinnan muotoja, on kyseessä Digital Elevation Model (DEM) tai Digital Terrain Model (DTM) eli digitaalinen maastomalli (kuva 7).



Kuva 7. Maastomallirasteri (ArcMap) Pohjois-Pasilan alueelta

Kun korkeusmallissa on maanpinnan muotojen lisäksi maanpinnan päällisiä kohteita, on kyseessä Digital Surface Model (DSM) eli digitaalinen pintamalli (kuva 8).



Kuva 8. Pintamallirasteri (ArcMap) Pohjois-Pasilan alueelta

Maanmittauslaitos tuottaa laserkeilausaineistostaan maanpinnan korkeusmallirastereita kahden ja 10 metrin pikselikoolla. Korkeusmalli usein esitetään värien avulla tai harmaasävyillä. Väritys on helppo muuttaa useissa korkeusmalleja käsittelevissä ohjelmissa. Korkeusmallin päälle voi myös asettaa ilmakuvan.

Korkeusmalleja voidaan hyödyntää useissa eri tehtävissä. Esimerkiksi tulva-analyysit, maanvyörymien riskin kartoitus, puuston kartoitus, arkeologia ja meluanalyysit voivat hyödyntää korkeusmalleja.

2.6.2 3D-malli

Korkean tarkkuuden pistepilvistä voidaan luoda rakennusten tai jopa kaupunkien 3D-malleja. Ilmalaserkeilauksen avulla saadaan selville kattojen muodot ja korkeudet, joiden avulla voidaan luoda kattojen reunojen mukaisia rakennusten malleja. Jos tähän lisätään vielä maanpinnalta kuvattua pistepilveä rakennuksen sivuista, saadaan seinienkin yksityiskohdat mukaan malliin.

2.6.3 Kohteen tunnistus

Pistepilveä tai korkeusmalleja voidaan hyödyntää myös kohteiden kokonaan tai osittain automaattisessa tunnistuksessa. Leena Matikainen kirjoittaa Maankäyttölehdessä [4, s. 7–10] tekemästään rakennusten automaattisesta tunnistuksesta. Lähtöaineistona on Maanmittauslaitoksen aineistoa pistetiheydeltään tiheämpi Optech-laserkeilausaineisto. Automaattinen rakennusten tunnistus onnistui hyvällä tarkkuudella, mutta menetelmää voisi vielä kehittää eteenpäin.

3 Haastattelut

Insinööriyötä varten haastateltiin Maanmittauslaitos (MML), Metsäntutkimuslaitos (METLA), Varsinais-Suomen ELY-keskus ja ESRI. Lisäksi haastateltiin Puolustusvoimista eri yksiköitä. Ensin suoritettiin Puolustusvoimien ulkopuolisten organisaatioiden haastattelut. Haastattelujen tarkoituksena oli hankkia tietoa MML:n tarjoamasta laserkeilausaineistosta sekä sen eri käyttötarkoituksista.

Puolustusvoimien sisältä haastateltiin edustajia Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitoksesta (PVTT), Maanpuolustuskorkeakoulusta (MPKK), Viestirykmentistä (VIESTIR), Tykistöprikaatista (TYKPR) ja Topografikunnasta (TOPK). Haastatteluilla pyrittiin kartoittamaan käyttökokemuksia laserkeilausaineistoista ja hankkimaan ideoita laserkeilausaineistojen käyttöön Puolustusvoimissa.

3.1 MML

Maanmittauslaitokselta haastattelussa olivat Olli Sirkiä ja Heli Laaksonen [17]. Maanmittauslaitos huolehtii maanmittaustoimituksista, kiinteistötiedoista, kartta-aineistoista sekä lainhuudoista ja kiinnityksistä [5]. Maanmittauslaitos on avannut kaikki digitaaliset maastotietoaineistonsa kansalaisten ja yritysten ilmaiseen ja vapaaseen käyttöön [6].

Maanmittauslaitos hankkii laserkeilausaineistoja yrityksiltä. Aineistojen kerääminen aloitettiin vuonna 2008. Laserkeilausdatan toimittajia Maanmittauslaitokselle ovat Blom ja Fugro Aerial Mapping. Aikaisemmin aineistoa on toimittanut myös Finnmap International. Ideana on käyttää useampaa aineiston toimittajaa samanaikaisesti, jotta aineiston saatavuus turvataan. Maanmittauslaitos on hankkinut myös oman laserkeilaimen vuoden 2013 alussa, ja toistaiseksi oma keilain on MML:n testikäytössä. Omalla keilaimella ei alustavasti ole tarkoitus keilata laajoja alueita vaan keskittyä erityiskohteisiin ja yhteistyökumppaneiden tarpeisiin. Yksi mahdollinen keilauskohde on itärajan rajavyöhykkeen alueet, jotta laserkeilausdataa saataisiin myös valtakunnan rajojen läheisyydestä.

Suomessa maastomallin tuottamiseen soveltuvan laserkeilausaineiston hankinnassa on ongelmana keilaukseen soveltuvien päivien vähyys. Maassa ei saa olla lunta eikä puissa lehtiä. Keväällä ja myöhään syksyllä on lyhyet aikaikkunat, joiden aikana kuvatusta aineistosta voidaan tuottaa tarkkaa maastomallia. Toisaalta kuvauksia voidaan suorittaa myös yöaikaan, sillä keilain tuottaa tarvitsemansa valon itse.

MML käsittelee keilausaineistot Terrasolid-ohjelmistolla. Aineisto pilkotaan 3 x 3 km paloihin ja luokitellaan automaattisesti. Aineistoa jatkokäsitellään stereomalliavusteisesti ja samalla luokitellaan sillat, lisätään tarvittaessa pisteitä sekä tarkistetaan veden raja-alueet.

MML:n tavoite on saada koko Suomen alueen laserkeilausaineistot ladattaviksi vuoden 2019 loppuun mennessä. Tämän jälkeisestä aineistonhankintaa ja päivityksiä ei ole vielä suunniteltu. Suomen lentoasemien alueet saatetaan kuvata noin viiden vuoden välein. Suomen 27 lentoasemasta 25 on Finavian ylläpitämiä [16]. Finavia kartoittaa lentoesteitä laserkeilausaineiston avulla. Osittain tästä syystä pääkaupunkiseutu

keilattiin uudelleen 2013. Metsäalalla inventointeja tehdään noin 9–10 vuoden sykleissä ja samalla aineistolla voidaan päivittää myös korkeusmallia.

3.2 METLA

Metsäntutkimuslaitoksella haastateltavana oli vanhempi tutkija Sakari Tuominen [18]. Metsäntutkimuslaitos on tutkimus- ja asiantuntijaorganisaatio, joka kehittää ratkaisuja metsien hoitoa, käyttöä, tuotteita, palveluja ja aineettomia arvoja koskeviin haasteisiin ja kysymyksiin [7].

METLA käyttää toiminnassaan MML:n tuottamaa laserkeilausaineistoa vaikka aineisto onkin kuvattu lehdettömänä aikana. Muu laserkeilausaineisto tulee lähinnä Metsäkeskuksen kautta, joka suorittaa metsäinventaarioita eri asiakkaille.

METLA ei käsittele aineistoja las-formaatissa vaan muuntaa ne tekstimuotoiseen ASCII xyz -formaattiin. Ohjelmistoina käytetään puustontulkintaan erikoistuneita ohjelmistoja, joista osa on luotu laitoksen sisällä. ArcGIS-ohjelmistosta löytyvää 3D-Analyst-työkalua käytetään välillä pistepilven visualisointiin.

MML:n tuottama laserkeilausaineisto on riittävän tarkkaa METLAN tarpeisiin eikä suurempia virheitä ole havaittu. Maanpinnan pisteillä ei ole suurta merkitystä vaan METLAA kiinnostavat kasvillisuudesta lähtöisin olevat pisteet ja niiden korkeus verrattuna maanpintaan. Karkeat virhepisteet siivotaan pois aineistosta raja-arvojen avulla. Esimerkiksi kaikki maanpinnasta yli 40 metrin korkeudella sijaitsevat pisteet poistetaan automaattisesti. Aineiston avulla tarkastellaan metsien ominaisuuksia alueellisesti. Yksittäisten puiden erotteluun ei ole tarvetta eikä aineiston pistetiheys olisi siihen riittävä. Puustotulkintaa suoritetaan yleensä 16 x 16 metrin hilalla/pikselikoolla. Maailmalla on tehty erilaisia kokeiluita myös yksittäisten puiden tunnistamisessa, mutta lähtöaineiston pistetiheys on todella suuri. Laajimmillaan on käsitelty jopa 200 000 ha:n kokoisia alueita, mutta ne pilkotaan pienempiin osiin käsittelyn mahdollistamiseksi.

3.3 ELY-keskus

Haastattelu Varsinais-Suomen ELY-keskukseen suoritettiin puhelinhaastatteluna ja kysymyksiin vastasi mittausteknikko Ilkka Myllyoja [19].

ELY-keskus on käyttänyt MML:n toimittamaa laserkeilausaineistoa jo useamman vuoden ajan. Aineistoa käytetään lähinnä tulvakartoitukseen, tulvavyöhykkeiden määrittämiseen ja riskiarviointeihin. Myös maa-aineuksen ottoa valvotaan las-aineiston avulla. EU:n peltolohkotukia on valvottu las-aineiston intensiteetin avulla. Pistepilvi esitettynä intensiteetin avulla vastaa mustavalkoista ilmakuvaa, mutta siinä ei metsästä johtuvia varjoja häiritsemässä pellon reunan määrittämistä. Lisäksi pistepilvien avulla on laskettu ruoppausmassojen määriä saaristossa.

Käsiteltäväksi tuleva las-aineisto puretaan LasTools-ohjelmalla. Varsinainen aineiston käsittely ja jatkojalostus tapahtuu AutoCAD-ohjelmalla tai ArcGIS-ohjelmistolla. AutoCADissa voidaan käsitellä pieniä pistepilviä sellaisenaan. ArcGISissä käsitellään lähinnä korkeusmallirastereita.

Las-aineisto on aina menneen kuvausta ja muutaman vuoden takainen aineisto voi olla todella virheellistä, varsinkin rakennetussa ympäristössä. Datan keilausaika on ELY-keskukselle tärkeä tieto. Las-aineistoa käytettäessä aikatieta selviää metatiedoista, mutta valmiin korkeusmallin lähtötietojen keilausajankohdan selvittäminen on vaikeampaa.

Keilauksen suurimpia etuja on maastomittausten tarpeen väheneminen. Pistepilvi on riittävän tarkkaa ELY-keskuksen tarpeisiin ja las-aineistosta johdettu Korkeusmalli 2 m on erittäin hyvä. Kun aineistot tulivat ensimmäistä kertaa saataville, oli osassa aineistoa huomattavia virheitä. Kun virheestä reklamoiitiin, Maanmittauslaitos korjasi aineiston.

3.4 ESRI Finland

ESRI Finland Oy:stä haastateltavana oli Janne Saarikko [20]. ESRI Finland on paikkatietoratkaisujen asiantuntija ja Esrin ArcGIS-tekniikan edustaja Suomessa [8].

ArcGIS ei ole tarkoitettu järeään las-aineiston muokkaamiseen. Esimerkiksi pistepilven automaattinen luokittelu algoritmien avulla ei ole mahdollista. Exelis VIS:n ENVI-tuotteet toimivat ESRI:n ArcGIS-ohjelmiston yhteydessä ja ENVI for ArcGIS sekä ENVI Lidar tuovat lisää toiminnallisuutta las-aineistojen käsittelyyn.

Rakennusten luokittelu MML:n aineistosta on vaikeaa. Pistetiheys on riittämättömän pieni.

3.5 Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos, PVTT

Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos (PVTT) on teknillistä ja luonnontieteellistä tutkimustoimintaa harjoittava Pääesikunnan alainen tutkimuslaitos. Laitos tuottaa puolustusvoimien ja maanpuolustuksen kehittämiseksi ja päätöksenteon tueksi elektroniikan ja informaatiotekniikan, räjähdde- ja suojelutekniikan sekä asetekniikan tutkimuspalvelut. [9]

Puolustusvoimauudistuksen myötä PVTT lakkautettiin ja toiminta siirtyi Puolustusvoimien tutkimuslaitokseen (PVTUTKL) 1.1.2014 alkaen [10].

PVTT:llä haastateltavana oli erikoistutkija insinöörikapteeniluutnantti Bernt Åkesson [21].

PVTT on käyttänyt MML:n laserkeilausaineistoa lokakuusta 2010. Las-aineistosta luodaan maastomallirasteri geotiff-formaatissa ja varsinainen analyysitoiminta tapahtuu Sandis-ohjelmistossa. Aineiston luokkia ei ole muokattu vaan tarkoituksen mukaan käytetään joko maanpinnan pisteistä tai kaikista pisteistä luotua maastomallia. Mahdollisia virhepisteitäkään ei ole toistaiseksi etsitty tai poistettu. Kerrallaan käsitellään 3 x 3 km:n alueita eli MML:n valmiiksi rajattuja alueita.

Laserkeilauksesta johdettua korkeusaineistoa on hyödynnetty tykistön vaikuttavuuden analyyseissä [26, s. 5–6]. Tykistömalli 2006 ei ottanut lainkaan maastonmuotoja huomioon. Uusi tykistön vaikutusmalli, jota alettiin kehittää vuonna 2010, käyttää laskennassa laserkeilausaineistosta luotua maastomallia. 25 x 25 metrin maastomalli todettiin liian karkeaksi tykistömallille. MML:n laserkeilausaineistosta on luotu jopa 1 x 1

metrin maastomallirasteria, joka mahdollistaa paljon tarkemman simuloinnin kohteeseen vaikuttamisesta. Maastomallin avulla voidaan määrittää kranaattien räjähdyspisteet sekä arvioida maaston antaman suojan sirpalevaikutukselta. Malliin voidaan tarvittaessa lisätä kohteita, kuten poteroita tai hiekkasäkkisuoja ja ottaa nämä huomioon analyysissä. Malliin voidaan lisätä myös laskelmia materiaalien, kuten seinien tai panssarien, läpäisystä. Analyysin avulla voidaan arvioida millä kalustolla, ammuksilla ja tulimäärillä saadaan sopivin vaikutus kohteeseen. Lisäksi mallin avulla voidaan tukea Puolustusvoimien materiaalihankintoja. Toistaiseksi tarkka aineisto sekä analyysi ovat olleet vain tutkimuskäytössä ja operatiivinen käyttö on vielä vuosien päässä.

Yksi kehityksen kohteista on puuston huomioon ottaminen analyysissä. PVTT tarvitsisi tarkkaa dataa puustosta, tiheydestä, korkeudesta ja lajeista. Näitä elementtejä voisi ottaa huomioon vaikutusmallissa. Lisäksi rakennusten erottaminen omaksi luokakseen pistepilvestä olisi hyödyllistä. PVTT odottaa myös ampuma-alueilta tarkkaa Las-aineistoa, jolloin simulaation ja todellisten vaikutusten vertaaminen mahdollistuu.

3.6 Viestirykmentti, VIESTIR

Viestirykmentti Riihimäen varuskunnassa on Puolustusvoimien merkittävin johtamisjärjestelmäalan, viestiaselajin ja elektronisen sodankäynnin osaamis- ja koulutuskeskus [11].

Viestirykmentistä haastateltavina olivat insinöörikapteeni Marko Saarela ja insinöörikapteeni Tommi Hytönen [22].

Viestirykmentti käyttää linkkiyhteyksien suunnittelussa korkeus- ja puustomallia, joka on tarkkuudeltaan 25 x 25 metriä. Aineiston avulla voidaan laskea, missä maastonkohdissa linkkimastoilla on näkyvyys toisiinsa. Asemapaikkojen suunnittelu ja ennakkokartoitus ovat tärkeimmät sovellutusalueet korkeusaineistolle. Viestirykmentti haluaa tietää "varmat paikat", joista on näkyvyys toiseen asemapaikkaan.

3.7 Maanpuolustuskorkeakoulu, MPKK

Maanpuolustuskorkeakoulu (MPKK) on Puolustusvoimiin kuuluva sotatieteellinen korkeakoulu. Sen keskeisenä tehtävänä on tuottaa korkeasti koulutettua henkilökuntaa Puolustusvoimille ja Rajavartiolaitokselle. [12]

Maanpuolustuskorkeakoululta haastateltavana oli everstiluutnantti Juhana Nenonen [23]. Haastattelu keskittyi laserkeilausaineiston käyttökohteiden ideoimiseen. Keskustelussa nousi esille useita ideoita mahdollisiksi käyttökohteiksi.

Laserkeilausaineistoa voisi hyödyntää prikaatin tai armeijakunnan kuvitteellisen taistelutilanteen tilannekuvan havainnollistamisen apuna. Koko prikaatin kattava näkemäanalyysi vaatii paljon havaintopisteitä ja suuren analyysialueen.

Rakennetun alueen taistelujohdossa ja tilannekuvan muodostamisessa voidaan hyödyntää laserkeilausaineiston mahdollistamaa tarkempaa korkeusmallia. Aineiston avulla voidaan muodostaa näkemäalueet ja ampumasektorit kaupunkiympäristössä. Menetelmän voi myös jalostaa VIP-suojeluun ja kaupunkikohteiden turvallisuusanalyysiksi.

Las-aineiston avulla voidaan laskea patoamisen tai padon tuhoamisen aiheuttamaa sulkuvaikutusta.

MML:n julkaisema laserkeilausaineisto on avointa kaikille ja aineistoa voisi tarkastella myös tiedustelun näkökulmasta. Aineistoa voi ladata ja käyttää myös ulkomailla, joten kenellä tahansa on pääsy tarkkaan korkeusdataan ja muihin paikkatietoaineistoihin Suomen alueelta. Aineistoa tutkimalla voisi selvittää, miten erilaiset kohteet erottuvat aineistosta ja mitä informaatiota käyttäjä saa haltuunsa pelkästään korkeustiedon perusteella.

3.8 Tykistörikaati, TYKPR

Tykistörikaati tuottaa ja kouluttaa sodan ajan tehtäviin soveltuvia ja taistelukentän olosuhteissa toimintakykyisiä sodan ajan joukkoja ja henkilöstöä sekä ylläpitää sotilaallista valmiutta Pohjois-Satakunnan alueella [13].

Haastateltavana oli erikoissuunnittelija Keijo Kostiainen [24].

Tykistörikaati käyttää nykyisin 25 x 25 metrin korkeusmalleja. Näiden korkeusmallien avulla analysoidaan sekä tähystys- että maalialueita. Kaikki paikkatieto on TOPK:n toimittamaa.

Tähystyspaikkojen etsimisessä ja analysoinnissa käytetään erikseen sekä maanpinnan korkeusmallia että puuston korkeuden kertovaa korkeusmallia. Analyysit lasketaan puuston kanssa ja ilman puustoa. Tähystyspaikkoja etsitään yleensä alle 2 km:n etäisyydellä kohteesta näkemäanalyysin avulla.

Maalialueiden analyysit suoritetaan pienemmällä, yleensä noin 300 x 200 metrin alueella. Maanpinnan muodot vaikuttavat tykistön ammuksen osuman todennäköisyyksiin. Vastamäkeen on helpompi osua tarkasti kuin myötämäkeen. Puusto ja rakennukset voivat aiheuttaa ammuksen liian aikaisen räjähdysten ja heikentää sirpalevaikutusta. Tarkka korkeusmalli voi mahdollistaa näiden muuttujien paremman ennustamisen.

Hyödyllisiä analyysien kohteita ovat esimerkiksi kaupunkialueet, tärkeät liikenteen ja yhdyskuntatekniikan kohteet sekä sillat. Esille tulleita laserkeilausaineiston hyödyntämiskohteita olivat tähystysanalyysien vertailu eri korkeusmallien kesken kaupunkialueella ja kohteeseen vaikuttamiseen vaaditun tulokulman selvittäminen korkeiden rakennusten keskellä.

4 Las-tiedoston avaaminen ArcMapissa ja rasterimuotoisen korkeusmallin luominen

Las-tiedostot kannattaa ladata omalle työasemalle sujuvamman työskentelyn takaamiseksi. ArcMapiin las-tiedostot saa tuotua Create LAS Dataset -työkalulla. Tuotuja pisteitä voi tarkastella sellaisenaan ja LAS Datasetin Layer Properties -valikon kautta pisteitä voi suodattaa esimerkiksi pisteluokan tai kaiun mukaan.

Ennen kuin pisteistä muodostetaan korkeusmallirasteri, pitää tietää, minkälaisen korkeusmallin haluaa luoda ja suodattaa ei-toivotut pisteluokat pois. Maanpinnan muotoja kuvaavan maastomallin (DEM) luomiseen tarvitaan vain maanpintaa (luokka 2) vastaavat pisteet. Pintamallin (DSM) luomiseen käytetään sekä maanpinnan että sen päällä olevien kohteiden pisteitä (luokka 3). Kumpikaan korkeusmalli ei sisällä kaikkien luokkien pisteitä. Luokittelemattomat (luokka 1) ja matalat virhepisteet (luokka 7) on hyvä suodattaa pois kaikista korkeusmalleista. Peittoaluepisteet (luokka 13) voivat olla mukana.

Korkeusmallirasteri luodaan LAS Dataset To Raster -työkalulla. Value Field -kohtaan valitaan ELEVATION, jotta rasterin arvot ovat korkeustietoja. Interpolation Type voidaan jättää useimmiten oletusarvoihin, sillä se tuottaa tyydyttävän lopputuloksen lähes aina. Cell Assignment Type -kohtaan kannattaa maastomallia varten asettaa AVERAGE ja pintamallia varten MAXIMUM. Output Data Type -kohtaan valitaan float, jos rasterin arvojen halutaan olevan liukulukuja, tai valitaan integer, jos arvot halutaan kokonaislukuina. Liukulukujen etuna on desimaalitarkkuus ja mahdollisuus muuttaa myöhemmin kokonaisluvuiksi. Sampling Type -kohta voi jäädä oletusarvoon. Sampling Value -kohdassa voi määrittää pikselinkoon, arvolla 10 pikselin sivu on maastossa 10 metriä. Z Factorin avulla voidaan manipuloida korkeusarvoja kertoimella. Luotavalle korkeusmallille voi asettaa rajat Enviroments-valikon kautta. Painamalla OK ArcMap laskee las-tiedostosta korkeusmallirasterin, jonka pikseliarvoina ovat laserkeilausaineistosta lasketut korkeusarvot.

Oletuksena korkeusmallirasteri esitetään harmaasävyjen avulla. Matalimmat kohdat esitetään mustina ja vaaleampi väri kuvaa korkeampaa kohtaa. Väriytyksen voi muokata haluamakseen rasterin Layer Properties -valikon kautta.

5 Case: Tykistöammuksen osumaan vaadittavan tulokulman määrittäminen rakennetulla alueella

5.1 Tavoite

Tavoitteena on selvittää ja havainnollistaa, millä tulokulmalla tykistön ammuksiset ohittavat mahdolliset vertikaaliset esteet. Hillshade-analyysin avulla muodostetaan rakennuksille varjoalueet eri valaistuskulmilla ja -suunnilla. Syntyneiden rastereiden avulla voi arvioida karkeasti voiko kohteeseen vaikuttaa esimerkiksi 20 tai 55 asteen tulokulmalla.

Tulokseksi halutaan saada rasteri tai rastereita, joiden avulla voi karkeasti arvioida muiden karttatasojen ja ortokuvan avulla, onko kohteeseen mahdollista vaikuttaa ja minkälaisella tulokulmalla.

5.2 Menetelmä

Analyysi aloitetaan materiaalien keruulla. Haetaan kohdealueen kartta, ilmakeku sekä laserkeilausaineisto tai valmiiksi luotu korkeusmalli.

5.2.1 Korkeusmallin luominen

Laserkeilausaineistosta luodaan rasterimuotoinen korkeusmalli, jossa on mukana myös maanpinnan päälliset kohteet. Kuvassa 9 on muodostettu pintamalli. Analyysin tarkkuuden parantamiseksi on laserkeilausaineistosta kannattaa poistaa virheellisiä pisteitä. Esimerkiksi Locate Outliers -työkalulla voidaan paikantaa yksittäisiä virhepisteitä, joko raja-arvojen tai laskennan kautta.



Kuva 9. Muodostettu pintamalli (ArcMap).

Puustosta johtuvia pisteitä voidaan vähentää valitsemalla käytettäväksi vain Last Return -pisteet. Tällöin korkeusmallin laskennassa otetaan huomioon vain laserpulssien viimeisistä heijastuksista muodostuvat pisteet ja kasvillisuuden yläosien pisteet vähenevät. Kuvassa 10 on muodostettu pintamalli Last Return -pisteiden avulla.



Kuva 10. Vain last return -pisteistä muodostettu pintamalli (ArcMap).

Korkeusmallirasterin kuvapistekoko kannattaa olla mahdollisimman pieni eli 2 x 2 metriä MML:n laserkeilausaineistosta johdettuna, koska rakennukset halutaan kuvata mahdollisimman tarkasti.

5.2.2 Hillshade-analyysi

Hillshade-työkalu ei mallinna ammuksen lentorataa. Työkalulla on alun perin tarkoitus mallintaa auringon valaistuksen vaikutusta korkeusmallin avulla. Työkalulla voidaan laskea korkeusmallirasterin avulla alueet, joihin auringon valo osuu, ja laskea mikä alue jää varjoon. Korkeusmalli voi sisältää myös rakennukset, jolloin voidaan analysoida kaupunkialueita. Valaistus toimii, kuten suora viiva ja työkalu voi sopia ammuksen lentoradan karkeaan arviointiin, koska ammuksen lentorata on lähellä suoraa viivaa lähellä osumahetkeä. Tarkoituksena on luoda graafinen esitys siitä, minkälaiset

katvealueet eri rakennukset luovat eri tulokulmille eri ampumasuunnissa. Tätä tietoa voidaan käyttää hyväksi ammunnan parametrien määrittämiseksi.

Hillshade-analyysille on annettava suunta (azimuth) ja korkeuskulma (altitude). Jotta eri tulokulmia voitaisiin vertailla, on analyysi suoritettava samasta suunnasta useammalla korkeuskulmalla. Model Shadows -kohta on valittava, jotta työkalu laskee kokonaan varjoon jäävät alueet ja varjot saavat ulostulevassa rasterissa arvon 0. Z-factor on 1, jolloin korkeusarvoja ei muuteta alkuperäisestä. Kuvassa 11 on hillshade-analyysin tuottama rasteri.



Kuva 11. Hillshade-rasteri (ArcMap) 270°:n suunnalla (idästä länteen) ja 45°:n korkeuskulmalla.

5.2.3 Katvealueiden tunnistaminen

Con-työkalulla voidaan erottaa katvealueet omaksi rasteriksi. Ehtolauseella "Value" = 0 saadaan irroitettua katvettä kuvaavat pikselit. Annetaan katvepikseleille arvo 1 ja

poisjääville arvo 0. Asetetaan nollapikselit läpinäkyviksi ja annetaan katvealueille jokin väriarvo. Koska nollapikselit ovat läpinäkyviä, voidaan katvealueet havainnollistaa jonkin muun kartta- tai kuvatason päällä. Kuvissa 12 ja 13 katvealueet on irroitettu, värjätty ja esitetty pintamallin sekä ortokuvan päällä.



Kuva 12. 30°:n katvealueet pintamallin päällä (ArcMap).



Kuva 13. 45°:n katvealueet ortokuvan päällä (ArcMap).

5.3 Havainnollistaminen

Näitä katvealuerastereita voidaan luoda lisää eri korkeuskulmille. Kun vertaillaan eri korkeuskulmien välisten katvealueiden eroja, asetetaan katvealuerasterit päällekkäin. Rasterit on järjestettävä siten, että jyrkimpää korkeuskulmaa havainnollistava rasteri on päällimmäisenä. Havainnollisuutta voi yrittää parantaa asettamalla katvealueet osittain läpinäkyviksi. Myös Swipe-työkalu on toimiva apuväline havainnollistamiseen.

5.4 Menetelmän ongelmat

Menetelmässä on useita ongelmia. Virhepisteet laserkeilausaineistossa aiheuttavat virheellisiä korkeusarvoja korkeusmalliin. Jos virheelliset pikselit ovat korkeampia kuin

ympäristönsä, ne muodostavat ylimääräisiä katvealueita hillshade-analyysiin. Tätä ongelmaa voi ehkäistä siivoamalla pistepilvestä epätoivotut pisteet pois esimerkiksi Locate Outliers -työkalulla. Myös pelkkien Last Return -pisteiden käyttö voi ehkäistä ongelmaa ja lisäksi kasvillisuudesta aiheutuvat pisteet vähenevät koko aineistosta.

Todellisuuden ja pistepilven eroavaisuudet haittaavat analyysien luotettavuutta. Kaupunkialue muuttuu, ja kuvaushetken jälkeen rakennettuja tai purettuja rakennuksia ei saa analyysiin mukaan. Käyttäjän pitää selvittää keilausajankohta ja ottaa se huomioon analyysejä tehdessään.

Malli ei ota huomioon eri materiaalien läpäisyä. Puut muodostavat analyysissä katveen, mutta todellisuudessa alueeseen voisi vaikuttaa. Mallissa ei ole mukana myöskään ammusten vaikutusalueita.

Kun rastereita tarkastellaan läheltä, ne alkavat näyttää ”sotkuisilta”. Tähän suuri osatekijä on puusto, joka aiheuttaa varsinkin loivilla valaistuskulmilla suuria katvealueita. Ongelman ratkaisu olisi luokitella laserkeilausaineistosta rakennusten pisteet omaksi luokakseen. Maanmittauslaitoksen aineistossa ei tätä ole tehty. Myös tarkkojen 3D-mallien avulla saisi tarkempia ja siistimmän näköisiä analyysejä.

6 Case: Korkeusarvot maastotietokannan rakennuksille

6.1 Tavoite ja lähtöaineistot

Analyysin tavoitteena on määrittää MML:n maastotietokannan rakennuksille korkeusarvot laserkeilausaineiston avulla.

6.1.1 Maastotietokanta

Maastotietokanta on Maanmittauslaitoksen koko Suomen kattava maastoa kuvaava avoin paikkatietoaineisto. Se sisältää erilaisia kohderyhmiä vektorimuotoisina elementteinä. Maastotietokannan tärkeimpiä kohderyhmiä ovat liikenneväyläverkosto, rakennukset ja rakenteet, hallintorajat, nimistö, maankäyttö, vedet ja korkeussuhteet. [14].

Maastotietokantaa ylläpidetään jatkuvasti keskeisten elementtien osalta. Muuten päivitykset tapahtuvat pääosin aluekohtaisesti 5–10 vuoden välein. Joidenkin kaupunkien alueita päivitetään vuosittain.

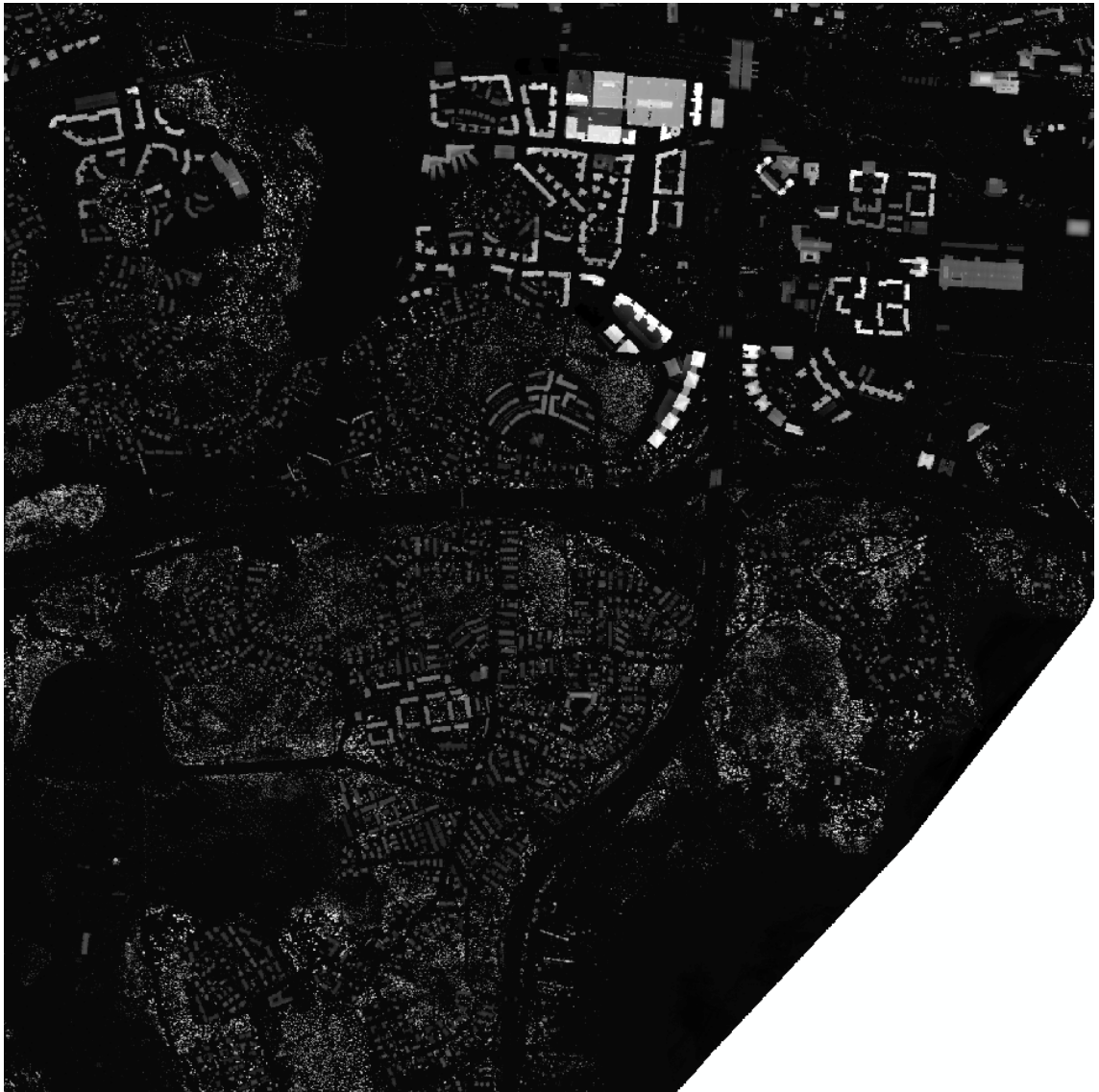
6.1.2 Maastotietokannan rakennukset

Rakennukset on kuvattu kivijalan mukaan joko viivoina tai aluemaisina elementteinä. Maastotietokannan kohdeluettelon määritelmän mukaan rakennuksia ovat maanpäälliset rakennukset, kuten asuin-, loma-, hallinto-, teollisuus-, kaupallinen tai julkinen rakennus, kirkko, kirkollinen, talous-, varasto-, suoja- tai huoltorakennus, maa-, metsä-, tai kalatalouden tuotantorakennus, saunarakennus tai muu vastaava, tai maanpäällisistä yhteen liitettyistä rakennuksista muodostuva yhtenäinen rakennusmassa tai sisäpihallinen rakennus/rakennusmassa (kortteli) tai useiden lähekkäin sijaitsevien rakennusten tai katosten muodostama kokonaisuus [15]. Maastotietokannan rakennusten sijaintitarkkuus on noin 5 metriä. Rakennuksilla ei ole tarkkaa korkeustietoa. Maastotietokannan rakennukset ovat jaoteltuna 1–2 ja yli 3-kerroksisiin rakennuksiin rakennustyyppien mukaan.

6.2 Menetelmä

6.2.1 Korkeusmallien luominen

Laserkeilausaineistosta luodaan kaksi korkeusmallia, yksi maastomalli (DEM) ja pintamalli (DSM). Näille korkeusmalleille suoritetaan rasterien vähennyslasku Raster Calculator -työkalulla siten, että kaikista pintamallista vähennetään maastomalli. Tuloksena on korkeusmalli, joka kuvaa maanpinnan yläpuolisia kohteita tasamaalla (kuva 14). Tästä korkeusmallista voidaan irroittaa korkeustietoa maastotietokannan rakennuksille.



Kuva 14. Pintamallista on vähennetty maastomallin arvot (ArcMap).

6.2.2 Rakennusvektorien valitseminen

Korkeuden määrittämistä varten on kerättävä haluttujen rakennusten aluemaiset elementit. Maastotietokannan kohteet avataan ArcMap-ohjelmaan ja niistä valitaan olennaiset kohteet. Valinnan voi suorittaa monella tavalla, esimerkiksi Selection by Location -työkalulla. Korkeusmallista luodaan polygoni Raster Domain -työkalulla. Tämä polygoni toimii rajaavana alueena Selection by Location -työkalussa. Maastotietokannan rakennuksista valittiin kohteet, jotka sijaitsivat kokonaisuudessaan polygonin sisällä (are completely within source layer feature). Valituista rakennuksista luodaan uusi tiedosto Export Data -toiminnon avulla.

6.2.3 Korkeuden määrittäminen rakennuksien alueilta

Vektorimuotoisille rakennuksille halutaan antaa korkeusarvo korkeusmallin rasterin arvoista. Tämä onnistuu Zonal Statistics as Table -työkalulla. Työkalu laskee rasterin pikseliarvoista erilaisia tilastolaskuja erikseen rajatuilta alueilta. Laskujen tulokset ovat taulukkomuodossa ja ne voidaan myöhemmin yhdistää rakennusten aluemaisiin elementteihin yhteisen sarakkeen arvojen avulla. Työkaluun syötetään kohtaan "feature zone data" rakennusten alue-elementit rajaamaan käsiteltävät alueet. "Zone field" kohtaan valitaan alueet yksilöivä kenttä, kuten OBJECTID. "Input value raster" eli lähtöarvorasteriksi lisätään aikaisemmin luotu korkeusmalli, josta maanpinnan muodot on laskettu pois. Laskennassa voidaan ottaa huomioon myös tyhjät NoData -kuvapisteet, oletuksena ne kuitenkin jätetään huomiotta. Zonal Statistics as Table -työkalun avulla voidaan laskea seuraavat laskennat:

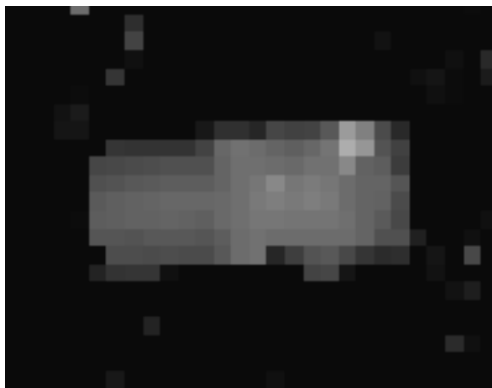
- All Laskee kaikki alla olevat kohdat omiksi sarakkeiksi.
- Mean Keskiarvo
- Majority Eniten esiintyvä arvo
- Maximum Suurin esiintyvä arvo
- Median Mediaani eli järjestettyjen arvojen keskimäinen tai kahden keskimäisen keskiarvo
- Minimum Pienin esiintyvä arvo
- Minority Vähiten esiintyvä arvo

- Range Suurimman ja pienimmän arvon erotus
- STD Keskihajonta, keskimääräinen poikkeama odotusarvosta
- Sum Kaikkien arvojen summa
- Variety Esiintyvien arvojen lukumäärä.

Kun "Input value raster" on tyyppiä Float, ei seuraavia laskuja voida suorittaa: majority, median, minority ja variety.

Rakennuksen korkeutta määrittäessä oleellisia laskuja ovat maximum, majority ja median. Jos haluaa pienentää tiedostokokoa, kannattaa valita vain haluttu laskenta.

Maximum antaa tulokseksi suurimman yksittäisen kuvapisteen arvon elementin rajojen sisäpuolella eli rakennuksen korkeimman kohdan. Soveltuu parhaiten pienten kohteiden, kuten omakotitalojen korkeuden määrittämiseen. Pieniä kohteita tarkasteltaessa laskennassa käytettäviä kuvapisteitä on vähän ja mahdolliset rajojen sisällä olevat maanpinnan pisteet tai muuten poikkeavat arvot voivat vaikuttaa merkittävästi majority ja median laskuihin. Suurten ja epäsäännöllisten rakennusten korkeuden määrittämiseen maximum soveltuu heikosti. Esimerkiksi Olympiastadionin korkeusarvoksi tulisi stadionin tornista peräisin oleva noin 72 metriä. Lisäksi mahdolliset antennit, savupiiput, muut ulokkeet tai virhepisteet voivat aiheuttaa helposti karkeita virheitä tuloksiin. Kuvassa 15 on esitetty eräs kohde, joka soveltuu heikosti menetelmälle.



Kuva 15. Kilon kartanon päärakennus rakennuksia kuvaavasta korkeusmallista. Vaaleammalla näkyvät kuvapisteeet rakennuksen koillisosassa ovat kartanon torni ja ne aiheuttavat maximum-arvon yli 17 metriä. Loput katosta on kahdessa tasossa noin 13 ja 10 metrin korkeudessa.

Majority voidaan laskea vain, jos rasterin arvot ovat kokonaislukuja (integer). Lasku etsii rajatulta rasterin alueelta arvon, joka esiintyy useimmiten. Jos useampi arvo esiintyy täsmälleen yhtä monta kertaa, valitaan pienin arvo. Soveltuu hyvin tasakattoisten rakennusten korkeuden laskemiseen, sillä erilaisten pienten kohteiden antamat arvot jäävät huomioitta. Vinoilla katoilla menetelmä antaa todennäköisesti jonkun muun arvon kuin harjakorkeuden. Harjakorkeuden kuvapisteitä on vähemmän kuin muiden korkeuden pisteitä, joita on useammilla lappeilla. Poikkeuksena pulpettikatto.

Median vaatii myös, että rasterin arvot ovat kokonaislukuja. Menetelmä järjestää kaikki rajatun alueen kuvapisteiden arvot suuruusjärjestykseen ja valitsee keskimmäisen arvon tai kahden keskimmäisen keskiarvon. Tämä neutralisoi tehokkaasti karkeat virhearvot.

6.2.4 Korkeusarvojen liittäminen rakennusvektoreihin

Zonal Statistics as Table -työkalu tuottaa taulukon, joka sisältää halutut laskentatulokset jokaiselle eri elementille eli rakennukselle (kuva 16). Tämän taulukon sisältämät korkeusarvot voidaan yhdistää rakennusten polygoneihin Add Join -työkalulla. Jos taulukoiden yhdistämisen haluaa pysyväksi, voi halutuista kohteista luoda uuden tiedoston Export data -toiminnolla.

OBJECTID*	OBJECTID_1*	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	53	212	0,487581	10,59647	10,10889	7,646775	1,931902	405,2791
2	2	65	260	0,142908	11,05372	10,91081	7,746963	1,898275	503,5526
3	3	22	88	1,228659	8,770721	7,542063	6,273516	1,848335	138,0173
4	4	54	216	0,763968	6,223669	5,459702	4,56491	1,049853	246,5052
5	5	38	152	2,370819	4,969294	2,598475	4,028373	0,687359	153,0782
6	6	46	184	2,298965	6,404068	4,105103	4,757935	0,980862	218,865
7	7	155	620	0	8,062767	8,062767	5,796934	2,334461	898,5247
8	8	23	92	0	8,297379	8,297379	5,878109	1,790854	135,1965
9	9	32	128	1,233738	7,611126	6,377388	5,676632	1,431675	181,6522
10	10	12	48	3,599361	7,480501	3,88114	5,986557	1,247294	71,83869
11	11	2	8	1,901937	5,307352	3,405415	3,604645	1,702707	7,20929
12	12	100	400	0	5,505835	5,505835	4,105265	1,216319	410,5265
13	13	48	192	0,549936	10,15401	9,604078	6,786665	2,523626	325,7599
14	14	22	88	2,412428	7,482397	5,069969	6,195351	1,260128	136,2977
15	15	77	308	0	8,508026	8,508026	6,789914	1,785812	522,8234
16	16	48	192	0	7,825296	7,825296	5,208897	2,195138	250,0175
17	17	28	112	1,072615	7,712439	6,639824	6,000907	1,916346	168,0254
18	18	22	88	0	0,265842	0,265842	0,019447	0,058622	0,427839
19	19	26	104	0	10,05324	10,05324	4,954924	2,156221	128,828
20	20	60	240	0	7,811192	7,811192	4,723959	2,836474	283,4376
21	21	34	136	0	6,751485	6,751485	4,670746	1,565202	158,8054

Kuva 16. Ote rakennusten korkeustietoa sisältävästä taulukosta (ArcMap).

6.3 Menetelmän ongelmia

Kuvassa 16 turkoosilla korostettu rivi on esimerkki tavanomaisesta virheestä, joka aiheutuu laserkeilausaineiston ja maastotietokannan ajallisista eroista. Rakennus ei ole olemassa laserkeilausaineiston kuvausajankohtana, mutta se löytyy myöhemmin päivittyneestä maastotietokannasta. Zonal Statistics as Table -työkalu laskee rakennuksen alueelle tulokset, mutta ne ovat lähellä nollaa korkeusmallin puutteellisuuden takia.

Tulosten laatu on riippuvainen molempien lähtöaineistojen ajantasaisuudesta. Rakennustietoja päivitetään osassa maata vuosittain [14], mutta aineisto voi olla jopa viidestä kymmeneen vuotta vanhaa.

Rakennusten kattojen korkeusvaihtelut eivät tule esille, koska koko rakennuksen alue on samaa polygonia. Kattojen eri tasojen kuvaus vaatisi, että ne esitettäisiin erillisinä alueina jokaisen rakennuksen kohdalla. Laserkeilausaineistosta on automaattisesti tunnistettu ja luokiteltu rakennusten kattoja [4, s. 7–10]. Automaattinen luokittelu vaatii

kuitenkin tiheään pistepilven ja ohjelmiston, joka on tarkoitettu laserkeilaus aineiston vaatimaan käsittelyyn.

Rakennuksille voisi myös määrittää kokonaiskorkeuden ja peruskorkeuden suorittamalla Zonal Statistics as Table -työkalun kahteen kertaan. Peruskorkeuden saisi maanpintaa kuvaavasta korkeusmallista (DEM) ja kokonaiskorkeuden pintamallista (DSM). Näiden taulukoiden välisellä vähennyslaskulla saisi selville rakennuksen korkeuden. Tämä operaatio suoritettiin käytännössä, kun suoritettiin näiden kahden rasterin välinen vähennyslasku.

7 Pohdinta

Insinööriyössä selvitettiin, mitä laserkeilaus on ja mitä sen tuottamalla aineistolla voisi tehdä Puolustusvoimissa. Työssä keskityttiin Maanmittauslaitoksen tarjoaman avoimen ilmalaserkeilausaineiston käsittelyyn ArcGIS-paikkatieto-ohjelmistossa. Aineiston käyttökohteiden selvittämiseksi suoritettiin haastatteluja eri organisaatioille. Osa haastatteluista oli työn kannalta hyvin hyödyllisiä.

Laserkeilausaineistojen käyttämisen etuna on mahdollisuus luoda korkeusmallit tehtävän alueelta ja sopivalla tarkkuudella. Maanmittauslaitoksen tarjoamat Korkeusmalli 2 m ja Korkeusmalli 10 m soveltuvat moniin käyttötarkoituksiin, mutta tarvittaessa laserkeilausaineistosta voidaan tuottaa korkeusmalleja muilla tarkkuuksilla ja parametreilla eri tehtävien tarpeisiin.

Aineisto on korkealaatuista, mutta käyttäjän kannattaa olla aina valppaana mahdollisten virhepisteiden takia. Lisäksi käyttäjän pitää ottaa huomioon keilausajan ajankohta ja miten keilausaineiston ikä mahdollisesti voi vaikuttaa tuotettavan korkeusmallin laatuun. Keilaus aloitettiin vuonna 2008, joten käsiteltävä aineisto saattaa olla muutaman vuoden kuluttua lähes vuosikymmenen ikäistä. Aineistolle ei ole julkistettua päivityssuunnitelmaa vuoden 2019 jälkeiselle ajalle, joten toistaiseksi uuden aineiston saatavuus ei ole varmaa.

Suuri heikkous on aineiston kattavuudessa. Vaikka keilauksia on suoritettu vuodesta 2008 alkaen on Itä- ja Pohjois-Suomessa laajoja alueita, joilta tarkkaa korkeusaineistoa ei ole saatavilla. Näillä alueilla on odotettava jopa vuoteen 2019 asti ja käytettävä vanhaa 25 metrin korkeusaineistoa. Maanmittauslaitoksen oma keilain avustaa testiajan jälkeen erikoisempien kohteiden keilaamisessa.

Insinööriyöhön kuului myös muutaman esimerkkitapauksen tekeminen aineiston hyödyntämiseksi. Esimerkkitapaukset jäivät prototyypivaiheeseen eivätkä jalostuneet valmiiksi tuotteiksi. Aineiston käytön yleistyessä uusia käyttötapoja tulee löytymään. Potentiaalisia käyttökohteita aineistolle on, mutta käytössä ollut ArcGIS-paikkatieto-ohjelmisto asettaa hieman rajoitteita aineiston hyödyntämiselle. ArcGIS-ympäristössä ei ole työkaluja laserkeilausaineiston raskaampaan käsittelyyn. Pistepilven käsittelyyn työkalut ovat hyvin rajalliset eikä esimerkiksi aineiston luokittelu onnistu. Ohjelmalla

onnistuu lähinnä pienten pistepilvien tarkastelu ja värjääminen erilaisilla suodattimilla. ArcGIS soveltuu paremmin laserkeilausaineistosta johdettujen tuotteiden, kuten maastomallien käsittelyyn. ArcGISin toiminnallisuutta laserkeilausaineiston kanssa voisi olla mahdollista parantaa lisäosilla. Myös erillisen ohjelmiston hankkiminen on harkinnan arvoinen vaihtoehto.

Lähteet

- 1 Vosselman, George. 2010. Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Dunbeath, Scotland: Whittles Publishing.
- 2 LAS Specification. 2011. American Society for Photogrammetry & Remote Sensing. Bethesda, United States of America
- 3 Laserkeilausaineisto. 2014. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laserkeilausaineisto>>. Luettu 28.2.2014.
- 4 Matikainen, Leena. 2009. Rakennusten automaattinen tunnistus ja muutoskuvatulkinta laserkeilaus- ja ilmakuva-aineistoista. Maankäyttö 3/2009, s. 7–10
- 5 Toiminta ja tehtävät. 2014. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/toiminta/organisaatio/toiminta-tehtavat>>. Luettu 24.2.2014.
- 6 Ilmaiset aineistot. 2013. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata>>. Luettu 28.10.2013.
- 7 Metsäntutkimuslaitos (Metla). 2013. Verkkodokumentti. Metsäntutkimuslaitos. <<http://www.metla.fi/metla/>>. Luettu 28.10.2013.
- 8 Esri Finland pähkinänkuoressa. 2013. Verkkodokumentti. Esri Finland. <<http://www.esri.fi/yritysinfo/>>. Luettu 28.10.2013.
- 9 Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos. 2013. Verkkodokumentti. Puolustusvoimat. <<http://www.puolustusvoimat.fi>>. Luettu 28.10.2013.
- 10 Puolustusvoimien tutkimuslaitos aloitti toimintansa. 2014. Verkkodokumentti. Puolustusvoimien tutkimuslaitos. <<http://www.puolustusvoimat.fi>>. Luettu 21.3.2014.
- 11 Viesti vain perille vietynä ratkaisee! 2013. Verkkodokumentti. Viestirykmentti. <<http://www.puolustusvoimat.fi>>. Luettu 28.10.2013.
- 12 Suomen ryhdikkäin yliopisto. 2013. Verkkodokumentti. Maanpuolustuskorkeakoulu. <<http://www.puolustusvoimat.fi>>. Luettu 29.10.2013.

- 13 Tykistöprikaati. 2013. Verkkodokumentti. Tykistöprikaati.
<<http://www.puolustusvoimat.fi>>. Luettu 29.10.2013.
- 14 Maastotietokanta. 2014. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos.
<<http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/maastotietokanta>>.
Luettu 20.1.2014.
- 15 Maastotietokohteet_2013.pdf. 2013. Verkkodokumentti.
Maanmittauslaitos. <http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/Maastotietokohteet_2013.pdf>. Luettu 21.1.2014
- 16 Lentoasemat. 2014. Verkkodokumentti. Finavia.
<<http://www.finavia.fi/fi/lentoyhtiaille/lentoasemat/>>. Luettu 22.5.2014.
- 25 Schulz, Thorsten. 2004. Terrestrial Laser Scanning – Investigations and Applications for High Precision Scanning. Switzerland.
- 26 Lappi, E., Sysikaski, M., Åkesson, B. & Yildirim, U. 2012. Effects of Terrain in Computational Methods for Indirect Fire. Riihimäki, Suomi.

Suulliset lähteet

- 17 Sirkiä, Olli. Laserkeilauksen prosessivastaava, Maanmittauslaitos.
Laaksonen, Heli. Paikkatietoasiantuntija, Maanmittauslaitos.
Haastattelu. 17.5.2013.
- 18 Tuominen, Sakari. Vanhempi tutkija, Metla. Haastattelu. 28.5.2013.
- 19 Myllyoja, Ilkka. Mittausteknikko, Varsinais-Suomen ELY-keskus.
Puhelinhaastattelu. 17.5.2013.
- 20 Saarikko, Janne. Konsultti, Esri Finland Oy. Haastattelu. 31.5.2013.
- 21 Åkesson, Bernt. Insinöörikapteeniluutnantti, Puolustusvoimien Teknillinen
Tutkimuslaitos. Haastattelu. 6.6.2013.
- 22 Saarela, Marko. Insinöörikapteeni, Viestirykmentti. Hytönen, Tommi.
Insinöörikapteeni, Viestirykmentti. Haastattelu. 10.6.2013.
- 23 Nenonen, Juhana. Everstiluutnantti, Maanpuolustuskorkeakoulu.
Haastattelu. 17.6.2013.
- 24 Kostiainen, Keijo. Erikoissuunnittelija, Tykistörikaati. Haastattelu.
18.6.2013.

MML:n laserkeilaukset 2008–2013

Kartta, josta ilmenevät Maanmittauslaitoksen tilaamat laserkeilaukset vuoteen 2013 asti.

