

Iiro Försti

LASERKEILAUSAINEISTO
MAANMITTAUSLAITOKSEN
MAASTO- JA RAJATIEDON
TUOTANNOSSA

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka


Toukokuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU <small>Mikkeli University of Applied Sciences</small>	Opinnäytetyön päivämäärä 28.5.2013	
Tekijä(t) Iiro Försti	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Maanmittaustekniikka	
Nimeke Laserkeilausaineisto maanmittauslaitoksen maasto- ja rajatiedon tuotannossa		
Tiivistelmä Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin laserkeilausaineiston hyödyntämistä maanmittauslaitoksen maasto- ja rajatiedon tuotannossa. Tämä opinnäytetyö antaa myös yleiskuvaa ilmalaserkeilauksesta ja maanmittauslaitoksen tavasta tuottaa uutta valtakunnallista korkeusmallia (KM-2), joka suoritetaan ilmalaserkeilauksella. Laserkeilausaineiston pistepilvistä saadaan paljon muutakin tietoa, kuin pelkkä maanpinta korkeusmallia varten. Pistepilvestä voidaan erottaa esimerkiksi rakennuksien katot kasvillisuuden seasta. Tarkemman mittaustilanteen käyttö ja saatavuus esimerkiksi määräaikaisen ajantasaistuksen maastokäynneillä on monesti aikataulusyistä vähäistä. Tästä johtuen muuttuvat tai puuttuvat kohteet, esimerkiksi rakennukset havaitaan ja lisätään maastotietokantaan huonommilla sijaintitarkkuuksilla. Tätä ongelmaa varten keräsin työharjoitteluni ohella maastotietokannan kohteita, joita voidaan havaita laserkeilausaineistosta. Suoritin myös mittauksen, jonka tarkoituksena oli havainnollistaa millaisella tarkkuudella esimerkiksi epäsymmetrisiä kohteita voidaan päivittää maastotietokantaan kasvillisuuden alta. Havainnoissani olen todennut että suhteellisen pieniäkin maastokohteita voidaan erottaa pistepilvestä ja päivittää maastotietokantaan, mutta se poikkeuksellisesti edelleen tarvitsee fyysistä paikalla käyntiä kohteessa, jotta varmistutaan kohdeluokasta ja sijainnista. Tein myös muutaman kokeellisen päivityksen, joilla havainnollistan kuinka pisteaineistoa voidaan hyödyntää nykyisillä ohjelmilla määräaikaisessa ajantasaistuksessa. Lopputuloksena laserkeilausaineistoa voidaan käyttää hyödyksi puuttuvien tai muuttuneiden maastotietokannan kohteiden, kuten rakennuksien ja ojien päivittämisessä, jos ei ole saatavissa kunnollista mittaustilanteistoa tai ulkopuolisen toimittamaa aineistoa. Maastotarkastuksen yhteydessä voidaan laserkeilausaineistoa käyttää tarkemman sijaintitarkkuuden saamiseksi niille kohteille, jotka ovat havaittavissa laseraineistosta. Pistepilven ja korkeusmallin avulla voidaan digitoida nykyisessä Espä-ohjelmistoympäristössä esimerkiksi rakennuksien ja ojien vektorit maastotietokantaan, mutta kehitystyötä tulee vielä tehdä niin ohjelmistolle, kuin myös työskentelytavoille. Samalla kun laserkeilauksen tekninen kehitys menee eteenpäin, tulee myös pohtia laajempaa automatisointia pisteiden luokitteluun sekä pohtia mahdollisia uusia ohjelmistoja, joita voidaan räätälöidä maastotietokannan ylläpidon ja maanmittauslaitoksen tuotannon tarpeisiin.		
Asiasanat (avainsanat) Ilmalaserkeilaus, LiDAR, Maanmittauslaitos, Maastotietokanta, Maasto- ja rajatieto, Määräaikainen ajantasaistus		
Sivumäärä 61+2	Kieli Suomi	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013052911583
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Esa Hannus	Opinnäytetyön toimeksiantaja MAMK	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 28.5.2013
Author(s) Iiro Försti	Degree programme and option Surveying	
Name of the bachelor's thesis Airborne laser scanning data in the updating process of national land survey of Finland's topographical database		
Abstract <p>This bachelor's thesis is about updating the national land survey of Finland's topographical data base by using airborne laser ranging data as assistance in the updating process. This bachelor's thesis will also give general information on principles of airborne laser scanning and the making of Finland's new national elevation model (KM-2), which is made by airborne laser scanning. There is much more information in the point cloud of laser data than only the ground points for elevation model. For example the roofs from buildings can be recognized from the point cloud beneath the vegetation.</p> <p>In my observations I have found out, that relatively small objects can be separated from the point cloud and update to the data base, but this will exceptionally need physical observation from the object, that confirmation can be made from the object class and position. The usage of accurate measurement equipment in the updating process is relatively small, because time issues and low equipment availability occur quite often during the field work. Because of this, the objects that have changed or missing will be usually added to the data base in the lower accuracy class. By combining laser scanning data with the field observations, better positions to the objects can be achieved, if the object can be recognized from the laser data.</p> <p>As for conclusion, laser scanning data can be used to achieve better position class for example buildings and trenches, if there aren't available accurate measurement equipment or third party measurement data. For example buildings and trenches can be updated to the data base in the current Espa program environment by using the point cloud and elevation model, but more development work should be made to the working habits and also to programs that are used. As the continuing development in the laser scanners go ahead, attention to better automatic point classification should be made and consider better programs that can be adjust to the needs of the topographic data base and national land and survey of Finland.</p>		
Subject headings, (keywords) Airborne laser scanning, LiDAR, National land survey of Finland, Topographical data base		
Pages 61+2	Language Finnish	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013052911583
Remarks, notes on appendices		
Tutor Esa Hannus	Bachelor's thesis assigned by Mikkeli's university of applied science	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ILMALASERKEILAUS	2
2.1	Mittausmenetelmät	3
2.2	Laservalo.....	4
2.3	Ilmalaserkeilain.....	8
2.3.1	Komponentit	9
2.3.2	Pulssin havainnointi	12
2.3.3	CW-laser	15
2.4	Ilmasta suoritettava laserkeilaus	17
2.4.1	Laitteistokokonaisuus	18
2.4.2	Lentosuunnitelma ja tiedon prosessointi.....	20
3	MAANMITTAUSLAITOKSEN ILMALASERKEILAUS	24
3.1	Uusi valtakunnallinen korkeusmalli	26
3.2	Laseraineiston käsittely maanmittaustoimistoilla.....	29
3.3	Maasto- ja rajatiedon prosessi	32
3.3.1	Määräaikainen ajantasaistus.....	34
3.3.2	Jatkuva ajantasaistus	38
4	LASERAINEISTON HYÖDYNTÄMINEN MAASTO- JA RAJATIEDON TUOTANNOSSA	39
4.1	DEM- ja visualisointikuvan hyödyntäminen	40
4.2	Pistepilven hyödyntäminen.....	47
5	POHDINTA	56
	LIITE/LIITTEET	
	1 GPS- & GLONASS-TIEDOT	
	2 TESTIKIVI	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni käsitellään laserkeilausta ja maanmittauslaitoksen laserkeilausaineiston hyödyntämistä maasto- ja rajatiedontuotannossa. Laserkeilaus mahdollistaa tietyin poikkeuksin mahdollisuuden havaita lentokoneesta kasvillisuuden alla olevia maastokohteita. Esimerkiksi ojat ja talot voidaan kasvillisuuden alta tulkita maastotietokannan kohteiksi tarkastelemalla pistepilveä ja korkeusmallia. Opinnäytetyöni tärkein kysymys on, voidaanko maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa hyödyntää maasto- ja rajatiedon tuotannossa. Tarkastelen tätä aihetta tarkemmin määräämääräisen ajantasaistuksen kannalta.

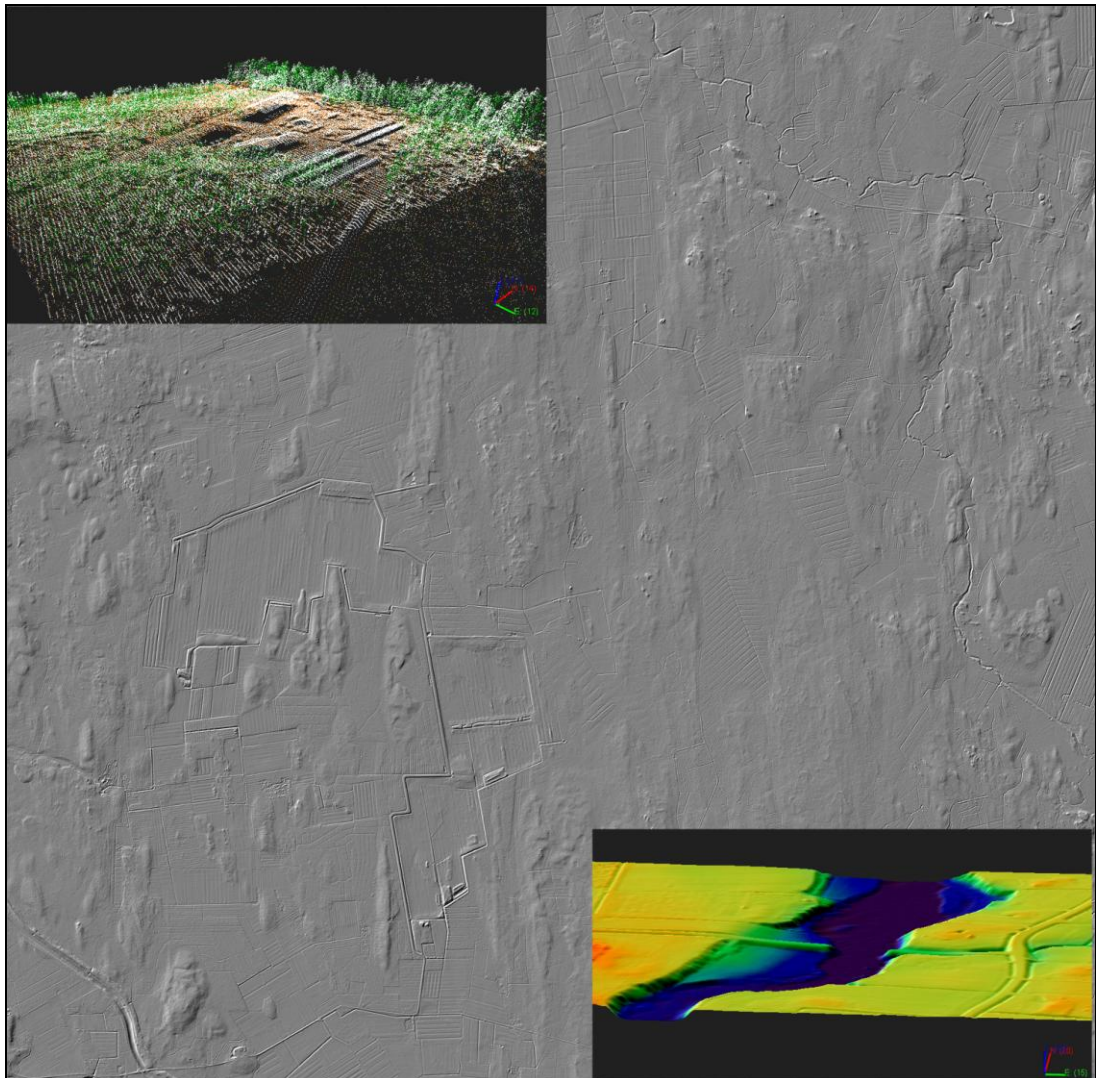
Määräämääräisen ajantasaistuksen maastokäynneillä käytetään tarkkoja takymetri- tai GPS-laitteita hyvin vähän, johtuen niiden saatavuudesta ja aikataulusyistä. Kasvillisuuden peittämällä alueilla pienten GPS-laitteiden tarkkuus on myös arveluttavaa. Maastossa havaitut puuttuvat tai muuttuneet kohteet korjataan tietyissä tapauksissa silmämääräisesti ns. maastolätkille. Uudet ja muuttuneet kohteet lisätään näiltä maastolätkiltä myöhemmin toimistoilla maastotietokantaan huonommilla sijaintitarkkuusluokituksilla. Laserkeilausaineisto voi tässä kohtaa tuoda merkittävän hyödyn näiden kohteiden päivittämisessä.

Kerron myös opinnäytetyössäni taustatietoa ilmalaserkeilauksesta sekä maanmittauslaitoksen toimenkuvasta Suomessa tapahtuvassa laserkeilauksessa. Opinnäytetyöni sisällöllisesti jakautuu kolmeen osioon. Kappaleet 2 ja 3 käsittelevät aiheen teoreettista taustaa ja kappale 4 aiheen toteutusta. Viimeinen kappale (5) käsittää johtopäätöksiä ja pohdintaa sekä kehitysideoita laserkeilausaineistoon liittyen.

Idean tähän aiheeseen sain suorittaessani harjoittelua kesällä 2010 Seinäjoen maanmittaustoimistolla. Tästä suuri kiitos silloiselle esimiehelleni, Kari Hautamäelle ja koko MARA-väestölle, joista suurin kiitos Petri Ruostetajalle.

2 ILMALASERKEILAUS

Tässä osassa käsitellään laserkeilauksen mittausmenetelmiä keskittyen LiDAR- (*light detection and ranging*) mittausmenetelmään sekä ilmasta käsin suoritettavaan laserkeilaukseen. Laservaloa ja sen muodostamiseen tarvittavaa välineistöä tarkastellaan vain lyhyesti tässä osiossa, kuten myös laserkeilaimen ja kohteen välisen etäisyyden ratkaisuun käytettäviä fysiikan peruslähtökohtia. Tarkoituksena on antaa tiivistetty kuvaus ilmalaserkeilauksesta ja sen käyttötarkoituksista keskittyen pulssimittausmenetelmään sekä korkeusmallituotantoon.



KUVA 1. Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineiston tuotteita

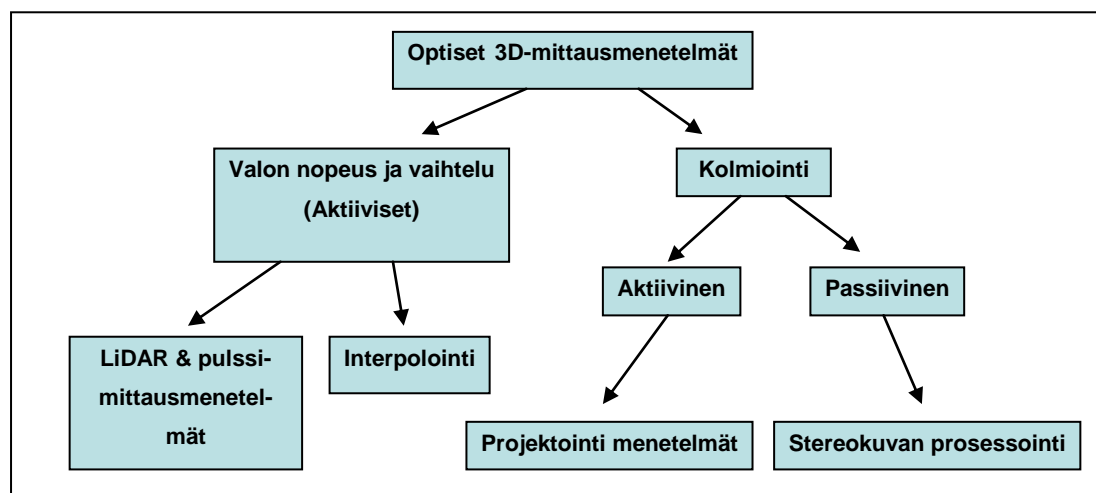
Laserkeilaus mahdollistaa monia visuaalisia tuotteita, ja niitä voidaan käyttää suunnittelussa hyödyksi. Kuvassa 1 on havainnollistettu laserkeilauksen tuotteita. Oikeassa

yläkulmassa näkyy 3D pistepilvi ja alakulmassa DEM-korkeusmallikuva (*digital elevation model*). Taustalla näkyvä visualisointikuva on maanmittauslaitoksen uudesta korkeusmallituotannosta.

Laserkeilauksen on mahdollistanut viimeisten 50-vuoden aikana tapahtunut kehitys tietotekniikassa ja elektroniikassa. Laserkeilaus on varsinaisesti otettu maanmittauksen käyttöön 1990-luvulla /1,s.1/. Nimenomaan tietotekniikassa tapahtunut kehitys on mahdollistanut suurien laseraineistotiedostojen käsittelyn ja esittämisen visuaalisessa muodossa 3D-mallina (kuva 1). Yleisesti laserkeilaimilla saadaan nopeasti yksityiskohtaista mittaustietoa mitattavasta alueesta, jota voidaan käyttää esimerkiksi maastomallinnuksessa ja yhdyskuntarakentamisessa tehokkaasti hyödyksi. Yhdyskuntarakentamisessa laserkeilauksella saadaan katutaso kaikkine kohderyhmineen mallinnettu nopeasti ja näin ollen sillä on merkittävä hyöty suunnittelussa. Laserkeilaus voidaan jakaa joko ilmasta tai maanpinnalta suoritettavaan keilaukseen. Opinnäytetyössäni käsitellään ilmasta suoritettavaa laserkeilausta (*airborne laser scanning*). Tänä päivänä laserkeilaus on kehittynyt varsin laajaksi toimialaksi, ja sitä käyttävät valtiot, yksityiset yritykset sekä tutkimuslaitokset.

2.1 Mittausmenetelmät

Optiset 3D-mittausmenetelmät voidaan jakaa useampaan kategoriaan, joita on havainnollistettu oheisessa kuvassa 2. Keskityn opinnäytetyössäni LiDAR-mittausmenetelmään, sillä sitä käytetään maanmittauslaitoksen uudessa korkeusmallituotannossa.



KUVA 2. Optiset 3D-mittausmenetelmät /1,s.2/

Valon nopeuteen ja vaihteluun perustuvissa mittauksissa (kuva 2) käytetään pääperiaatteena valon kulku-aikaa tai taajuuden vaihtelua valonlähteestä heijastuvaan pintaan ja siitä takaisin valonlähteeseen. Tällaisista mittauksista käytetään myös nimitystä LiDAR, eli *light detection and ranging* /1,s.2/. Kolmiointimenetelmissä mittaus ja mallinnus tapahtuvat esimerkiksi yhdistelemällä useampaa ilmakuvaa.

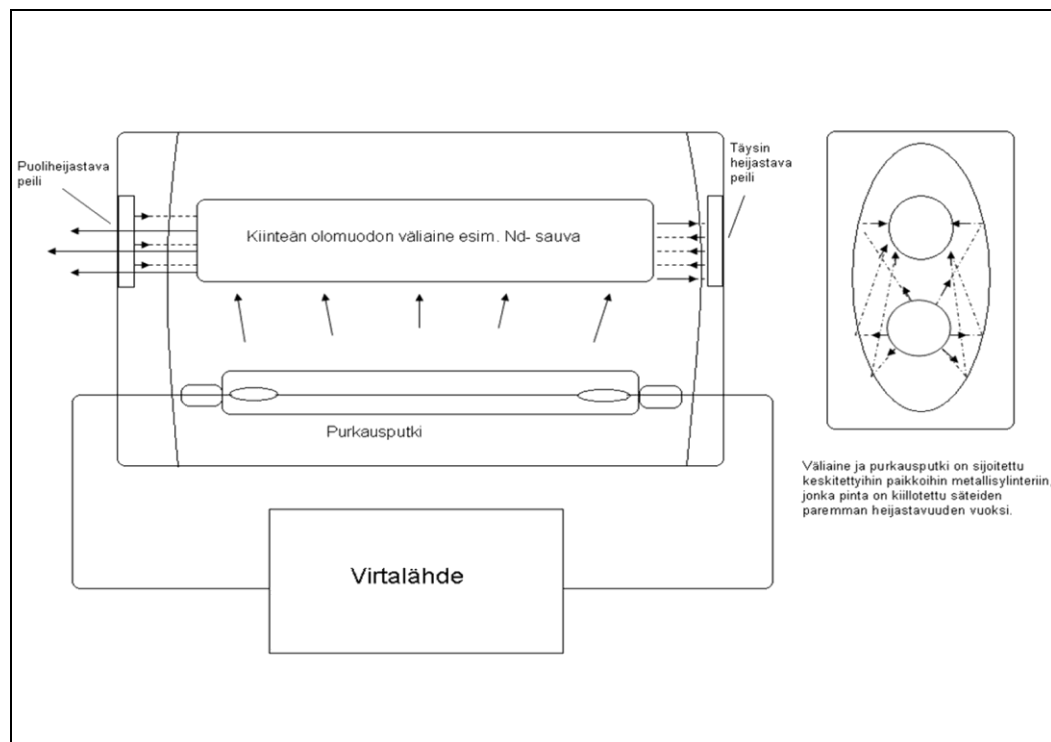
LiDAR-menetelmä on aktiivinen tapa mitata etäisyyttä. Aktiivisella tarkoitetaan sitä, että laitteistolla mitataan mittaustapahtumassa kokoajan valon säteiden välimatkaa kohteeseen ja valon pirstaloitumista kohteesta ns. heijastesäteinä ja näin ollen saadaan etäisyystietoa. Valona käytetään laservaloa, joka ominaisuuksiltaan sopii parhaiten mitattavaksi valoksi, jos lähtökohtana pidetään sitä että valo kulkee laitteen ja kohteen välillä. Laservalon mittaamiseen kehitetyt laserkeilaimet ovat riippumattomia ulkopuolisesta valaistuksesta, joten niillä voidaan mitata vuorokaudenajasta riippumatta /4/. Laservalo on koherenssivaloa, eli kaikki valoallot ovat samanpituisia ja ns. värähtelevät samaan suuntaan samalla taajuudella. Koherenssista johtuen aallot vahvistavat toisiaan ja näyttävät keskittyvän tiettyyn kohtaan kolmiulotteisessa tilassa. Laservalonsäteilylle on ominaista, että se on säde- tai pulssimaista. Laserista voidaan mitata sen kulkema matka joko ajallisesti, polarisoimalla tai valo-aallon jaksoa tai amplitudia vertailemalla. Ilmasta käsin suoritettavaan etäisyysmittaukseen käytetään yleensä jompaakumpaa kahdesta LiDAR- menetelmästä. Nämä menetelmät ovat *Time of flight* (TOF), eli valon lähtö- ja saapumisajan erotukseen perustuva sekä usean taajuuden tai jakson vaihteluun perustuva *Continuous wave* (CW) menetelmä. /1,s.12; 2,s.8,15,218./

2.2 Laservalo

Laser (*Light amplification by stimulated emission of radiation*) kuvastaa pikemminkin laitetta, jolla tuotetaan koherenssivaloa. Lasereita on valmistettu eri käyttötarkoituksiin ja tärkeimmät ovat kaasu-, puolijohdelaserit sekä kiinteän olomuodon laserit. Ilmasta suoritettavaan laserkeilaukseen tarvitaan voimakkaita lasereita ja tähän tarkoitukseen soveltuvat ominaisuuksiltaan parhaiten tietynlaiset kiinteän olomuodon laserit ja puolijohdelaserit. Tässä kappaleessa käsitellään lyhyesti laservalon muodostamista ja sen ominaisuuksia.

Laserin valo tuotetaan stimuloitun emission avulla, eli tähän tarvitaan väliaine joka reagoi säteilyyn ja energiaan (kuva 3). Kaikissa lasereissa on kolme tärkeää komponenttia. Ensimmäisenä tarvitaan materiaali, jonka atomit voidaan nostaa suurempaan metastabiiliin energiatilaan. Toisena tärkeänä komponenttina on energianlähde, jonka avulla saadaan aikaiseksi stimuloitu emissio. Kolmantena asiana mainittakoon optinen laitteisto, jonka avulla emission laservalo keskitetään haluttuun suuntaan. Yleisin materiaali kiinteän olomuodon lasereissa on neodmiumilla seostettu yttriumalumiini putki (Nd:YAG) ja puolijohdelaserissa yleensä käytetty materiaali on galliumarsiini (GaAs) /2,s.9/.

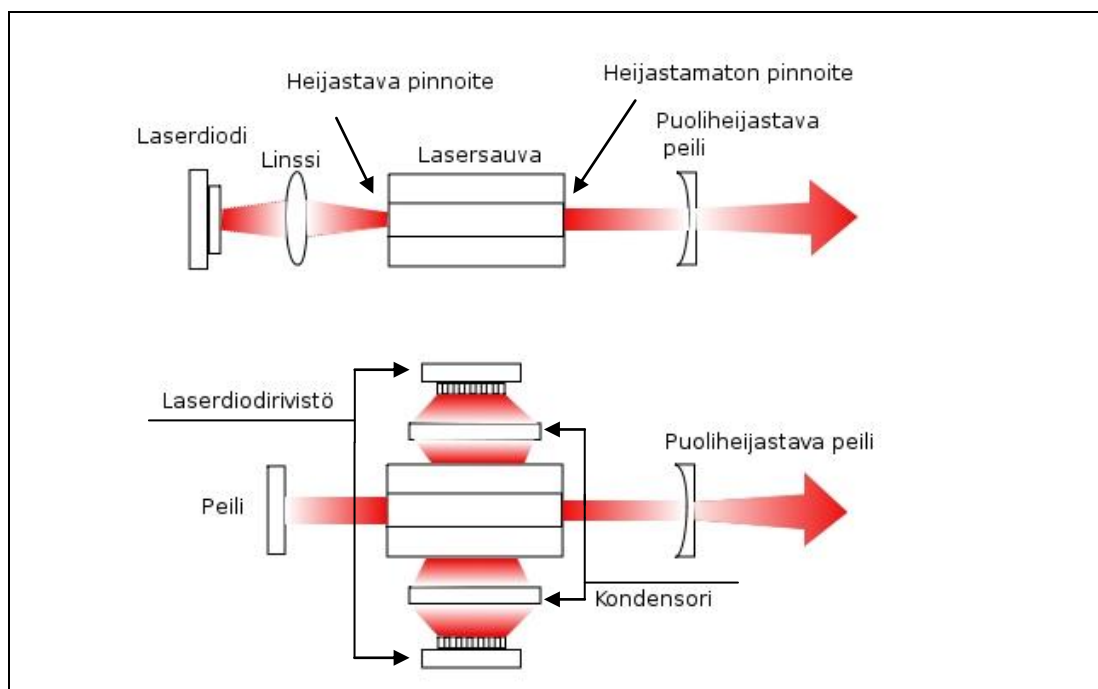
Lyhyesti ilmaistuna stimuloitu emissio tapahtuu seuraavasti: Energia aiheuttaa väliaineen atomien siirtymisen virittyneeseen tilaan. Tässä virittyneessä tilassa atomin elektronit nousevat suurempaan ja epätasapainoisempaan energiatilaan. Elektronien laskeutuessa tästä energiatilasta ne saavuttavat keskimääräisen energiatason, eli metastabiilin tilan. Tässä tilassa elektronit alkavat säteillä energiaa fotoneina (emissio). Jatkamalla säteilyn ja energian syöttämistä väliaineeseen tässä metastabiilissa tilassa, saadaan aikaiseksi ns. populaation inversio, mikä tarkoittaa sitä, että suurin osa atomeista on siirtynyt ja pysyy tässä metastabiilissa tilassa. Tämän seurauksena muutkin atomit alkavat lähettää fotoneita samalla taajuudella ja vaihejaksolla (stimuloitu emissio). /2,s.8-12./



KUVA 3. Kiinteän olomuodon laserin toimintaperiaate /2,s.10/

Kiinteän olomuodon lasereissa käytetään optiikkaa, täysin heijastavaa peiliä sekä puoliheijastavaa peiliä laservalon suuntaamiseen. Kuvassa 3 havainnollistetaan Neodymium-sauvalla muodostettua laservaloa. Kiinteän olomuodon ja puolijohdelasereiden valon muodostaminen tapahtuu eri tavalla.

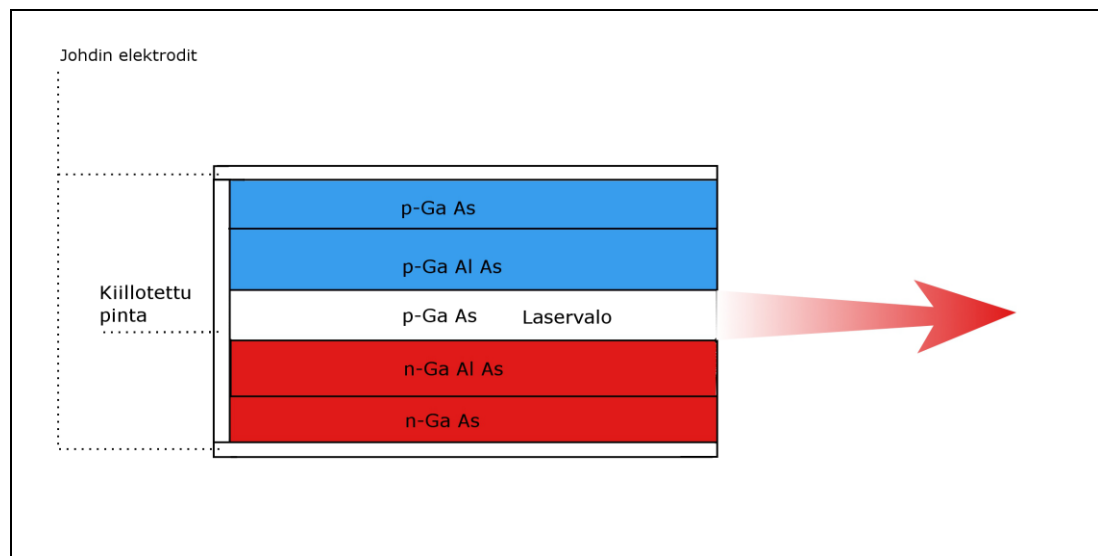
Tarkoituksena laserissa on saada stimuloitun emission avulla väliaineen säteilevät fotonit heijastumaan nähtäväksi lasersäteeksi. Energialähteenä käytetään yleensä ksenonlamppua tai kryptonpurkausputkea. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää laserdiodeja energian lähteenä, joka kohdistetaan linssien ja kondensorien avulla väliaineeseen, jossa se myös aloittaa stimuloitun emission (kuva 4). Sitä energiavirran määrää, joka tarvitaan aloittaa stimuloitu emissio, kutsutaan lasersäteilyn kynnykseksi (*lasing threshold*). /2,s.8-12./



KUVA 4. Diodeilla käynnistetty emissio /2,s.11/

Puolijohdelaserit ovat pieniä, mutta silti tehokkaita laservalon muodostamisessa. Puolijohdelasereissa laservalon muodostukseen käytetään puolijohdemateriaalia, jonka sähköisiä ominaisuuksia muunnellaan seostamisella, jotta saadaan stimuloitu emissio aikaiseksi. Tärkein puolijohdemateriaali, jota käytetään perustana laserkeilaimissa ja –etäisyysmittareissa, on galliumarsenidi (GaAs). Puolijohdelaser on rakenteeltaan kerrosmainen, joka koostuu useasta GaAs-kerroksista ja niiden läpi johdetaan sähkövirtaa

metallijohdimien avulla (kuva 5). Seostamisella on saatu aikaan ylimmässä GaAs-kerroksessa elektronivajausta, joka jättää jälkeensä ns. ”positiivisia reikiä” atomien rakenteeseen. Alimmassa GaAs-kerroksessa on seostamisella saatu aikaan negatiivisesti varautuneiden elektroneiden ylijäämä. Näiden kahden positiivisen ja negatiivisen varauksen omaavien kerrosten välissä on ns. liitoskerros. Kun puolijohdelaseriin lisätään virtaa, elektronit siirtyvät negatiivisesta kerroksesta ja positiivisen kerroksen reistä liitoskerrokseen, jossa tapahtuu atomien populaation inversio ja saadaan aikaiseksi stimuloitu emissio. /2,s.14./



KUVA 5. Puolijohdelaserin toimintaperiaate /2,s.13/

Laservaloa käyttäessä tulee huomioida siihen liittyvät riskit. Tehokas laservalo aiheuttaa kudonvaurioita ja silmävammoja sekä tuli- ja räjähdysvaaran tietyille aineille. Laserit jaetaan kansainvälisesti neljään eri vaarallisuusluokkaan, joista muutamat vielä omiin alaluokkiinsa. Luokittelussa käytetään sääntönä niin lasereiden vaarallisuutta elävään kudokseen, kuin myös niiden tehokkuutta. Laserluokka I on pienitehoisin laser, joita esiintyy mm. maanpäällisissä laserkeilaimissa. Ilmasta käsin suoritettussa laserkeilauksessa etäisyys keilattavaan kohteeseen määrittelee tarvittavan laser voimakkuuden. Esimerkiksi lentokoneella kahdenkilometrin korkeudessa tehdyllä laserkeilauksella tarvitaan neljännen luokan laseria. Tästä keilauskorkeudesta johtuen on myös melko turvallista keilata asutetulla alueella, sillä laservalo pirstaloituu merkittävästi ennen saapumista maahan, jolloin hetkellinen altistuminen ei aiheuta iho- tai kudonvaurioita. Silmiin suoraan kohdistuva laservalo on aina haitallista. Ihmisen silmän sarveiskalvoneste taittaa yli 1400nm heikkoa CW laservaloa, mutta pulssityyppiset voimakkaat laserit ovat aina vaarallisia silmille. /2,s.20–21./

2.3 Ilmalaserkeilain

Tässä kappaleessa käydään tiivistetysti läpi lentovälineeseen asennettavan pulssityyppisen laserkeilaimen peruslaitteisto ja toimintatapa. Pulssimittauksesta käsitellään lyhyesti analogista ja fotonien määrään perustuvia havainnointimenetelmiä. Lisäksi käsitellään lyhyesti amplitudin modulaatioon perustuvaa CW-mittausmenetelmää. Kappaleessa 2.2 käydään tarkemmin ilmasta suoritettavan laserkeilauksen toimintatapoja sekä muita laitteita tarkemmin lävitse.

Laserkeilaimet voidaan jakaa käyttötarkoitukseltaan maanpinnalla tai ilmassa käytettäviin laitteisiin. Erona näillä kahdella laserkeilaimella muutaman komponentin lisäksi on niiden koko johtuen mitattavista etäisyyksistä. Laserkeilaimen paino voi kokonaisuudessa olla lähemmäs 100 kg lentokoneeseen asennettuna /3,s.2/. Lentokoneesta suoritettavassa laserkeilauksessa etäisyydet ovat sadoista metreistä useampiin kilometreihin /2,s.15/. Tästä johtuen laserkeilain tulee olla tehokas, jotta riittävä määrä laservaloa heijastuisi takaisin keilaimeen. Lisäksi paluupulssia tai sädettä varten tarvitaan hiukan kookkaampaa optista laitteistoa.

TAULUKKO 1 Pegasuksen teknisiä tietoja /3,s.2/

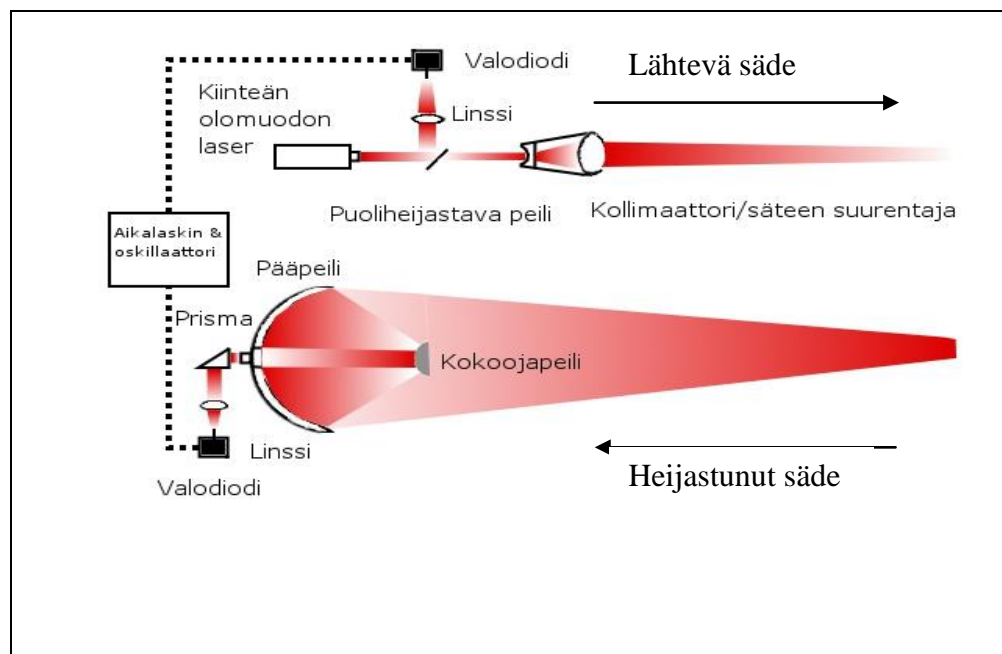
Toiminta- korkeus	Aallon- pituus	Etäisyys- tarkkuus	Laser- lähetysopeus	Keilaus- leveys (FOV)	Kohteiden erotus- korkeus	Kaikujen tal- lennuskyky pulssia kohden
150- 5000m	1064nm	<5-20cm	ohjelmoitava max. 500kHz	0-75°	<0.7m	Max.4 ja 12bittinen voimakkuus tallennus

Käytän tässä kappaleessa usein esimerkkinä Optech Pegasus HA500-laserkeilainta. Pegasus on Optechin laserkeilain, joka on suunniteltu laajojen alueiden keilauksiin. Laserkeilaimia valmistaa monet tunnetut takymetrivalmistajat. Taulukossa 1 on listattu joitakin Pegasuksen teknisiä tietoja. Sen etäisyysmittaus perustuu pulssimittaukseen, ja se tallentaa etäisyysmittaustiedot omalle kovalevyilleen. Laserkeilain myös olennaisesti tarvitsee tietokoneen hallinnoimaan ja tarkkailemaan sen toimintoja lennonaikana.

Laserkeilaus perustuu keilaimen ja kohteen välisen etäisyyden ratkaisemiseen käyttäen laservaloa mitattavana peruselementtinä. Nykyisin ilmasta käsin suoritettussa laserkeilauksessa päästään ihannetilanteessa jopa 5 cm parempaan etäisyydstarckkuuteen /3,s.2/. Laserkeilaimen ominaisuuksista, lentokorkeudesta ja ohjelmoinnista riippuen päästään yksittäisten pulssien osalta esimerkiksi 20 cm:n laseralueeseen (*footprint*) yhden kilometrin lentokorkeudesta keilattaessa /1,s.26/. Tämä laseralueen koko myös vaikuttaa yksittäisen laserpisteen sijaintitarkkuuteen. Keilauskulma (*field of view*, FoV) on säädettävissä 0 ja 75 asteen väliltä ja laserkeilaimella päästään jopa 500 kHz:n pulssilähetystiheyteen (taulukko 1).

2.3.1 Komponentit

Pulssimittausmenetelmässä etäisyyttä mitataan laserpulssein matka-ajalla keilaimesta kohteeseen. Jotta tämä välimatka saadaan ratkaistuksi, tarvitaan tarkkaa laserpulssein ajallista kulkua mittaavaa laitteistoa. Kuvassa 6 on havainnollistettu pulssityyppisen laserkeilaimen etäisyydmittauksen toimintatapaa ja laitteistoa. Laserpulssiin perustuvassa mittauksessa tärkeimmät komponenttikokonaisuudet ovat itse laser ja laserpulssein lähdön ja paluun mittaavalaitteisto.



KUVA 6. Pulssimittauslaitteiston toimintaperiaate /2,s.15/

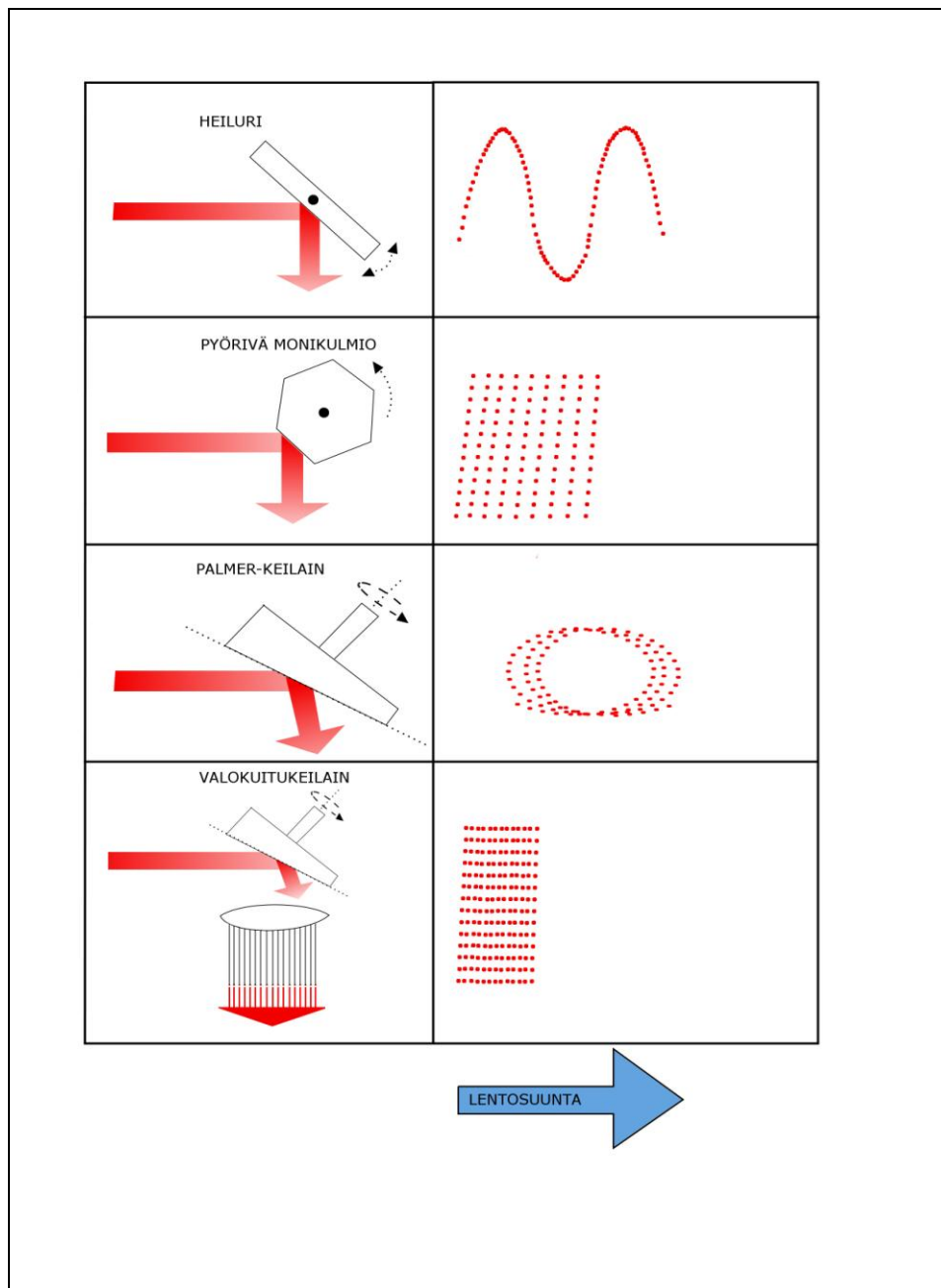
Laserpulssein lähtiessä osa sen valosta heijastuu puoliheijastavan peilin ja linssin kautta valodiodiin, jonka avulla pulssin lähtö rekisteröidään oskillaattorilla ohjattuun ajasti-

meen. Laserpulssin lähtiessä keilaimesta sitä pitää keskittää kollimaattorin avulla, jotta lähetetty valo ei pirstaloidu liikaa ennen keilattavaa kohdetta, ja päästään haluttuun maanpäällä näkyvään laseralueen kokoon yhdessä keilauskorkeuden kanssa. Laserpulssi matkaa keilaimesta kohteeseen ja kohteen muodosta riippuen lasersäde heijastuu eri suuntiin keilattavasta pinnasta. Näin ollen laserkeilaimen voi heijastua suoraan vain murto-osa lähetetystä pulssista.

Heijastuneesta paluu pulssista pyritään rekisteröimään valoa ajastinlaitteeseen optiikan ja valodiodin avulla. Optiikasta vastaa pääpeili tai heijastuspeili, joka heijastaa säteet kokoojapeilin ja muun optiikan avulla valodiodiin. Valodiodeilla on näin ollen tärkeä tehtävä oskillaattorin ohella määrittää pulssin lentoaika. Jotta saavutettaisiin 1 cm:n tarkkuus etäisyysmittauksessa, ajastimen pitää pystyä mittaamaan 66 pikosekunnin (ps) aikajaksoja /2,s.15/. Kellotaajuuden tulee näin ollen olla 15 GHz luokkaa /2,s.15/.

Ilmasta suoritettu laserkeilaus vaatii kattavan maanpäällisen ns. pistekuvioinnin saamiseksi laserkeilaimen asennetun laservalon heijastajan. Tähän tehtävään käytetään erilaisia peilejä tai valokuituja (kuva 8). Riippumatta käytettävästä keilaintyyppistä, tulee laserpistetiheyden olla vaatimuksia vastaava. Laserkeilaus mahdollistaa 0,2 ja 50 pisteen väliltä neliötä kohden pistetiheydeksi ja pistetiheyden tarve kasvaa tarkkuusvaatimusten mukaan /1,s.22/. Pistetiheyteen vaikuttaa käytettävä keilauskulma, laserpulssin lähetystiheys sekä lentovälineen korkeus ja nopeus /1,s.17/.

Nykyään laserkeilainten pulssien lähetysnopeudet voivat olla suuria, sillä laserkeilaimen ei tarvitse odottaa edellistä paluupulssia, jotta se voisi lähettää uuden pulssin jo matkaan. Toisin sanoen laserkeilain pystyy muistamaan edellisen lähetetyn laserpulssin ja odottaa siitä paluupulssia, vaikka uusi laserpulssi olisi jo lähetetty. Haluttu pistetiheys voidaan näin ollen saavuttaa käyttämällä tarkoitukseen sopivaa laserkeilainta, lentokorkeutta ja -suunnitelmaa.



KUVA 7. Erilaisia keilainkuvioita /1,s.17;2,s.146/

Yksi usean laserkeilain valmistajan käyttämä valonheijastaja on ns. heiluva peili (kuva 7), jonka edestakaisella liikkeellä saadaan aikaiseksi lentosuuntaan nähden aaltomainen laserpistekuviointi. Laserpistekuviointi tihenee jokaista huippukohtaa kohden joutuessaan peilin edestakaisesta liikkeestä. Heiluvaan peiliin perustuvassa laserkeilaimessa täytyy ottaa huomioon vaadittava pistetiheys ja säätää peilin heilunta halutun pistetiheyden saamiseksi. Tämä edellyttää lentokorkeuden ja nopeuden sekä laserpulssitiheyden hallintaa. Tiheimmillään ja tasaisesti säädetty peili muodostaa ns. sik-sak-kuvioinnin. Heiluvan peilin hyvä ominaisuus on sen säätömahdollisuudet. Näin ollen lentokorkeus voi olla 100 ja 6000 metrin väliltä sekä keilauskulma 0 ja 75 asteen välil-

tä. Pyörivä monikulmio on nopea keilausmetodi ja muodostaa erittäin säännöllisen ja tiheän pistekuvioinnin ja mahdollistaa noin 30 ja 60 asteen väliltä olevan keilauskulman. /1,s.16-18./

Niin kutsuttu Palmer-keilain muodostaa elliptisen laserpistekuvioinnin maahan ja sama kohde tulee kaksi kertaa heijastettua. Tämä metodi on erittäin hyvä korkeiden ja katveisten alueiden keilaamiseen, sillä esimerkiksi kaupungeissa isoista rakennuksista saadaan myös osa seinästä mallinnettua ilmasta käsin. Valokuitukeilain on erittäin vakaa metodi, sillä se koostuu useasta yhteen liimatusta valokuidusta. Laservalo heijastetaan jokaiseen valokuituun, josta se matkaa kohteeseen ja kohteesta takaisin heijastunut laservalo vastaanotetaan myös valokuituja pitkin. Normaali valokuitulaserkeilain käsittää 128 yhteen liitettyä valokuitua keilauskulman ollessa 14 astetta. /1,s.16–19;2,s.44–47,146./

2.3.2 Pulssin havainnointi

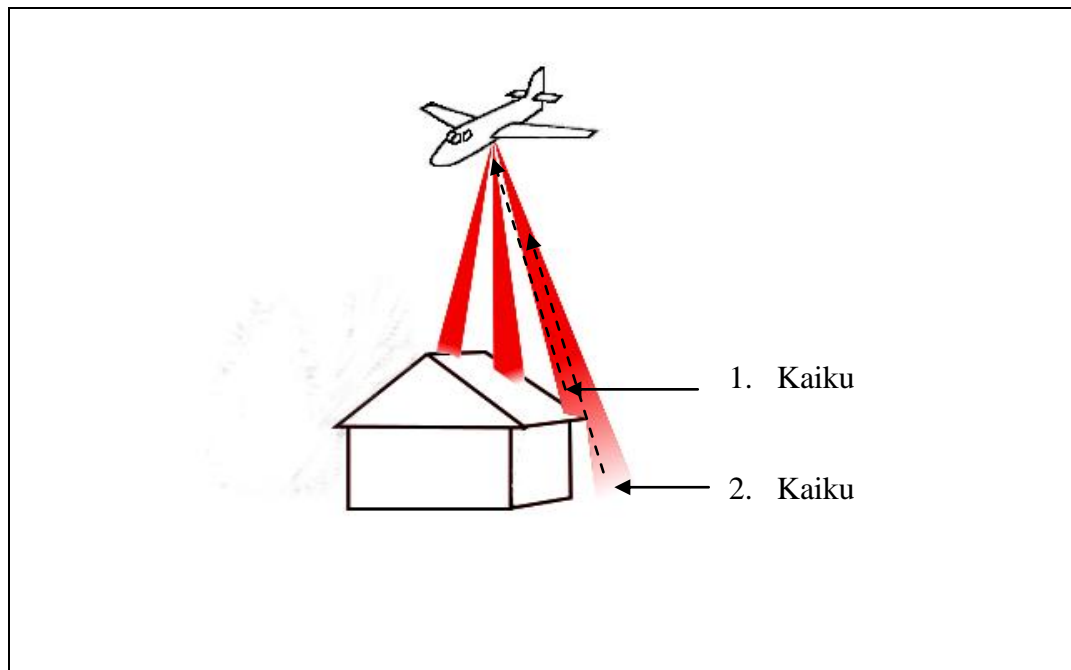
Pulssityyppiset laserkeilaimet käyttävät paluupulssien rekisteröimiseen ja tallentamiseen mm. perinteistä analogista tunnistamista sekä useamman fotonin (*multiphoton detection*) ja yksittäisen fotonin (*single-photon detection*) havaintomenetelmiä /2,s.178,187,219/. Analogisessa menetelmässä pyritään saamaan erittäin voimakas laservalopulssi, jotta diodi aktivoituisi. Paluupulssi voi näin ollen käsittää tuhansia fotoneita /2,s.178/. Fotonien havaitsemismenetelmissä riittää yksittäiset fotonit aktivoimaan diodin /2,s.187/.

Analogisessa ja fotonien havaitsemismenetelmissä valon rekisteröimiseen tarvitaan herkkiä valodiodeja. Laserkeilaimissa käytetään muun muassa APD- (*avalanche photodiode*) ja PIN- (*positive- intrinsic- negative*) valodiodeja /2,s.16/. Erimallisia diodeja käytetään eri laseraallonpituuksilla, ja myös itse diodi tarvitsee optisen suodattimen auringonvalon ja muun optisen kohinan vaimentamiseksi /2,s.16/.

Valodiodin toimintaperiaate analogisessa laserkeilauksessa perustuu sen kykyyn muuttaa valoa jännitteeksi ja ilmoittaa tämä jännitearvo ajastimeen, joka aloittaa ajan laskennan ja loppumisen. Jännitearvo on verrannollinen saapuvan pulssin voimakkuuteen /2,s.219/. Näin ollen voidaan digitoida paluupulssin koko aallonmuoto (*full waveform*) /1,s.28;2,s.141,179/. Paluupulssin aallonmuodon mallintaminen auttaa keilaus-

pinnan tulkitsemisessa ja voidaan esimerkiksi tunnistaa katon kaltevuus ja tulkita rakennukset muusta laseraineistosta /1,s.177;2,s.179/. Analogisessa menetelmässä voidaan myös etsiä ja rekisteröidä paluupulssista pelkästään voimakkaimpia huippuja /2,s.182/. Analogisiin menetelmiin määritellään tietty jännitearvo, minkä tulee täyttyä, jotta se rekisteröi ajastimeen laserpulssin alun ja lopun. Näin ollen paluupulssin tulee olla tarpeeksi voimakas. Fotonien havaitsemismenetelmässä yksittäiset fotonit rekisteröidään paluupulssista, joten lähetetyn pulssin ei tarvitse olla tehokas. Useamman fotonin menetelmässä valodiodi rekisteröi kaikki ne paluufotonit, jotka ovat tarpeeksi voimakkaita. Yksittäisen fotonin menetelmässä ajastimella kontrolloidaan valodiodiin saapuvien fotonien rekisteröintiä /2,s.190/. Laserkeilaimet voidaan myös ohjelmoida niin, että paluupulssien rekisteröiminen alkaa vasta tietyn ajan kuluessa /2,s.179/. Näin vältetään yksittäisiltä virhekaiuilta, jotka esimerkiksi ilmenisivät 100 metriä maanpinnan yläpuolella.

Koska lähetetty pulssi pirstaloituu ja muodostaa ympyrän tai ovaalin muotoisen alueen, voidaan myös tallentaa pulssista useampi paluukaiku. Paluukaikujen määrään vaikuttaa keilattavan kohteen muoto. Lisäksi laserkeilaimen tallentamien kaikujen määrään vaikuttavat keilaimen toimintatapa ja asetukset. Kuvassa 8 on havainnollistettu laserpulssien kaikuja rakennuksen kattopinnasta.



KUVA 8. Paluukaikujen havainnointi /1,s.28/

Kaikujen voimakkuus riippuu lähetetystä laserinpulssin voimakkuudesta, esteistä sekä keilauspinnasta ja sen heijastavuudesta. Keilauspinnan valon heijastavuus vaikuttaa etäisyysmittaukseen siten, että vähän heijastavat pinnat yleensä saavat liian suuria etäisyyksiä laserkeilaimen nähden. Tämä johtuu siitä, että paluukaiun amplitudi on alhainen. Tätä ongelmaa voidaan kompensoida esimerkiksi aikakorjauksella vähän heijastaville pinnoille. Karrikoidusti ilmaisten vähän heijastavat pinnat ovat tummia ja paljon heijastavat pinnat vaaleita. /1,s.14–15,29./

Useamman paluukaiun tallennus vaatii tarkkaa pulssin ajallista laskentaa sekä valodiodien kykyä rekisteröidä tarpeeksi voimakkaita heijastussäteitä. Esimerkiksi Optechin Pegasus-laitteisto voi tallentaa yhdestä pulssista jopa neljä paluukaikua /3,s.2/. Huomioitavaa paluukaiuissa on se, että tulkitakseen kohteet omaksi kaiukseen niiden vertikaalinen etäisyys toisiinsa nähden tulee olla tietyn suuruinen, jotta laserkeilain pystyy erottamaan ne toisistaan. Esimerkiksi pulssin aallonmuodon mediaanin ollessa 5 ns pitää kohteiden olla 0,75 metriä erillään /1,s.29/. Saapuvista paluukaiuista voidaan myös tallentaa niiden voimakkuus (*intensity*) 16- tai 8-bittisinä kuvina. Näiden mustavalkoisten bittikuvien avulla voidaan myös tulkita kohteen laatua. /1,s.14-15./

Pulssimenetelmässä pyritään saamaan voimakas hetkellinen laservalo, joka aluskasvillisuudesta huolimatta pääsisi maanpintaan asti ja myös heijastuisi samaa reittiä takaisin laserkeilaimen. Lisäksi pulssin lentonaikana valoa pirstaloituu osittain jo ilmassa olevien hiukkasten takia /2,s.174/. Etäisyysmittaustarkkuuteen vaikuttaa lievästi näin ollen keilaushetkellä vallitseva ilmasto ja keilattavan kohteen heijastavuus sekä muoto. Myös käytettävä laitteisto vaikuttaa etäisyystarkkuuteen. Etenkin sen kyky lähettää tarpeeksi voimakasta laservaloa sekä vastaanottaa ja rekisteröidä sitä.

Vaikka laservalo on keskitettyä laserkeilaimesta lähtiessään, on se kohteeseen saavuttaessa laajentunut huomattavasti. Se muodostaa keilattavaan pintaan ympyrän tai soikean muotoisen laseralueen. Tämän alueen kokoon vaikuttaa keilausetäisyys sekä laservalon aallonpituus. Hyvän arvion tämän laseralueen d koosta antaa alla oleva kaavio (1), jossa w on säteen hajonta ja R etäisyys kohteeseen. /2,s.21–22,136./

$$d = w \cdot R \tag{1}$$

$w = 2.44 \frac{\lambda}{D}$, jossa λ on aallonpituus ja D laserkeilaimen valoaukon halkaisija.
/2,s.136./

Etäisyys kohteen ja laserkeilaimen välillä voidaan ratkaista pulssityyppisillä laserkeilaimilla käyttämällä perusvakiona valonnopeutta ja sitä aikaa, mikä valolla kestää saapua kohteesta takaisin valonlähteeseen, eli laserkeilaimeen. Tämä aika saadaan selville valodiodien avulla, jotka rekisteröivät laservalon sen lähtiessä ja saapuessa takaisin laserkeilaimeen. Näin ollen tarvitaan kahdella jakamista, jotta saadaan selville pelkästään laserkeilaimen ja kohteen välimatka. Lisäksi yhtälössä täytyy ottaa muita fyysisiä tekijöitä huomioon, kuten ilman taitekerroin, johon on sovellettava ilmanpaineen ja kosteuden sekä lämpötilan muutokset /1,s.2-3/. Kaavassa 2 on esitetty välimatkan ratkaisutapa tyhjiö olosuhteissa. Laserkeilaimen ja kohteiden välisten ilmanpaine-, kosteus- ja lämpötilaeroihin riittää lentokoneen ja maanpäällisten mittauslaitteistoiden tiedot ilmanpaineesta, lämpötilasta etc. Nämä tiedot ovat riittävän tarkat normaalin laserkeilauksen tarkkuusvaatimukseen. /1,s.14./

$$R = \frac{c}{n} \cdot \frac{\tau}{2} \quad (2)$$

R = etäisyys, $c = 299\,792\,458$ m/s, τ = käytetty aika, n = ilman taitekerroin laservalon aallonpituudelle, joka vaihtelee käytettävästä laserista sekä eri ilmanpaine-, -kosteus- ja -lämpötilasta. /1,s.3;2,s.134./

2.3.3 CW-laser

CW-lasereissa lasersäde on jatkuvaa ja etäisyyden mittaus perustuu laservalon taajuuden jaksonpituuden selvittämiseen. Topografisissa laserkeilaimissa käytetään amplitudin modulaatioon perustuvaa tekniikkaa, jossa käytetään kanto- ja mittausaaltoa. Käytännössä laserkeilaimesta lähetetään laservaloa (kantoaalto), johon yhdistetään moduloitumittausaalto. Mittausaalto pidetään samalla voimakkuudella oskillaattorin avulla, jolloin mittausaallolla kontrolloidaan kantoaallon amplitudia. Kohteesta heijastuu osa säteestä suoraan takaisin laserkeilaimen silikonipohjaiseen valodiodiin. Tämän jälkeen vastaanotettu säde, tai tässä tapauksessa signaali täytyy purkaa uudestaan kanto- ja mittausaaltoihin. Näitä vastaanotettuja aaltoja verrataan alkuperäisiin lähetettyihin aaltoihin, jolloin saadaan vaihdejaksojen (tai jaksokulmien) erotus tietoon. /2,s.18-19./

Tämä yksittäinen jakso on pieni osa tarvittavasta kokonaisuudesta, jota käytetään etäisyyden ratkaisemiseksi. Yhdestä mittauksesta ei saada kokonaisetäisyyttä ratkaistuksi. Kokonaisetäisyys voidaan ratkaista esimerkiksi tekemällä useita taajuusmuutoksia lähetettyyn lasersäteeseen, jonka monitaajuusmittaukseen perustuva keilain tekee automaattisesti. Keilaimen tarkkuuden määrittelee sen käyttämä modulaatiosignaali, yhdessä sen aallonpituuden ja jaksokulmien erottelukyvyn kanssa (kaava 3). Esimerkiksi 10 MHz moduloidun signaalin aallonpituus on 30 m, joka 1° vaiheresoluutiolla antaa tarkkuudeksi noin 8cm. /2,s.18-19./

$$R\Delta = \frac{\lambda\Delta}{4\pi\Delta} \cdot \phi\Delta \quad (3)$$

CW-menetelmässä mittaussignaalin aallonpituus λ ja vaihejakso ϕ määrittelevät myös etäisyysmittauksen tarkkuuden $R\Delta$ /2,s.134/.

Edellä mainitut kaaviot antavat vain perustan etäisyyden ratkaisemiseksi pulssi- ja CW-mittauksissa. Varsinaisen etäisyysmittauksen suorittaa mittauslaitteisto, jonka erillisissä komponenteissa on jo määritettyjä virheiden suodattimia tai virherajoja, joiden toimintaan mittauksessa ihminen ei vaikuta. Lisäksi lentokoneella suoritettavaan laserkeilaukseen tulee sisällyttää myös GPS-tukiasemien tiedot sekä keilausalueella oleva referenssi-alue, johon voidaan verrata laserkeilausaineistoa. Näin mahdollisia laitteisto-, toimintatapa- tai ohjelmistovikoja voidaan kontrolloida.

Vertailemalla näitä kahta etäisyysmittausmenetelmää hyvänä puolena CW-mittausmenetelmässä voidaan pitää sen keilausresoluutiota, eli saadaan erittäin yksityiskohtaista tietoa keilattavasta kohteesta. Tämä johtuu tietysti jatkuvasta lasersäteestä, mutta myös siitä että CW- menetelmässä on yksi fysikaalinen tekijä enemmän, jonka avulla voidaan säätää etäisyysmittauksen tarkkuutta. Aallonpituutta muuttamalla pienemmäksi saadaan CW-keilaimissa tarkkuuteen merkittävä lisä. Esimerkiksi 1 Ghz mittaussignaalilla, jonka aallonpituus on 30 cm ja vaiheresoluutio 0,4°, saavutetaan etäisyysmittaustarkkuudeksi 0,2 mm. Vastaavaan tarkkuuteen pulssityyppisellä laserillä tarvitaan mittauslaitteistoa, joka pystyy mittaamaan 1 ps pulssivälejä. Huonona puolena CW-lasereissa on sen energian kulutus. Se rajoittaa keilauskorkeutta merkittävä-

ti, joten sitä käytetäänkin pääsääntöisesti pienten kohteiden ja alueiden tarkkuuskeilauksiin. /2,s.134-135./

Suurien alueiden ja etenkin valtakunnallisten hankkeiden kartoitukseen on pulssityyppinen laserkeilain vakiinnuttanut asemansa. Tämä johtuu keilaimen ominaisuuksista mukautta eri keilausvaatimuksiin. Sen tuottaman laseraineiston avulla voidaan havaita mm. kasvillisuus, rakennukset sekä maanpinta. Pulssityyppistä laserkeilainta käytetään esimerkiksi uudessa Suomen valtakunnallisessa korkeusmallituotannossa. Tätä aihetta käsitellään myöhemmissä kappaleissa.

2.4 Ilmasta suoritettava laserkeilaus

Tässä kappaleessa käydään ilmasta suoritettavan laserkeilauksen toimintaperiaate tiivistetysti läpi. Laitteistokokonaisuutta, kalibrointia ja pisteiden prosessointia sekä keilauslennon suunnittelua käsitellään myös lyhyesti. Tarkoitukseni on antaa yleiskuvaus koko ilmalaserkeilausprosessista, ja se käsittää vain yleiset toimintatavat. Maanmittauslaitoksen tapaa tuottaa ilmalaserkeilausta käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.

Tiivistettynä ilmasta käsin suoritettu laserkeilaus tarkoittaa lentovälineeseen esimerkiksi lentokoneeseen, lennokkiin tai helikopteriin kiinnitettyä laserkeilainta, jonka lähetetyt laserpulssit paluukaikuineen saadaan koordinaatistoon korkeudenosalta desimetritarkkuudella ja sijaintitarkkuuden ollessa 0,2 ja 1 metrin välillä /1,s.29/. Tämä tarkkuus on mahdollista lentovälineen paikannuslaitteen, lentoratatallentajan sekä lennon jälkeisen jälkilaskennan avulla /1,s.22-29;2,s.130/.

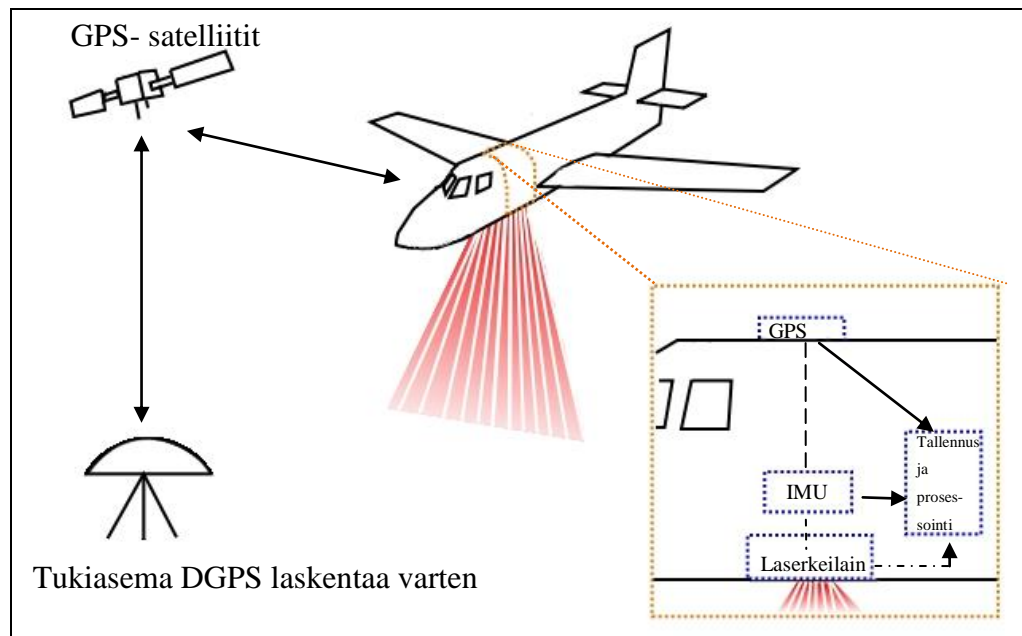
Ilmasta käsin suoritettussa laserkeilauksessa on hyötytekijöinä mm. suurien alueiden nopea kartoitus ja mallintaminen, kustannustehokkuus sekä vuorokaudenajasta riippumaton keilausmahdollisuus. Ilmalaserkeilausta käytetään hyödyksi esimerkiksi yhdyskuntarakentamisen suunnittelussa, geologiassa, korkeusmallien teossa sekä metsien mallintamisessa.

Metsien keilauksella voidaan mm. seurata puuston kasvua. Pienissä määrin ilmalaserkeilausta käytetään myös rannikkoalueilla ja laivojen väyläreittien keilaukseen /7/.

Nykyään on paljon kiinnitetty myös huomiota 3D-mallinnukseen ja rakennuksista voidaan tehdä rautalankamallinnuksia ilmalaserkeilauksen avulla /9/.

2.4.1 Laitteistokokonaisuus

Ilmasta suoritettuun laserkeilaukseen tarvitaan laitteiston osalta itse lentoväline, jossa on laserkeilaimen lisäksi GPS-paikannusjärjestelmä, lentovälineen lentoradan tallentava laite (IMU) sekä tiedon tallennus ja prosessointilaitteisto (kuva 9). Lisäksi oleellisen osan muodostavat maanpäälliset GPS-tukiasemat, joiden avulla lasketaan differentiaaliset GPS-koordinaatit (DGPS) lentokoneelle jälkilaskennassa.



KUVA 9. Kaukokeilauksen toimintaperiaate /1,s.21-22/

IMU, eli *inertial measurment unit* on lentolaitteen pysty- ja vaaka-akselin sekä suunnan muutokset tallentava laite. IMU sijaitsee laserkeilaimessa tai sen välittömässä läheisyydessä. Laitteesta käytetään myös nimitystä INS (*inertial navigation system*). INS on enemmänkin yleisnimitys, sillä vastaavia laitteita käytetään missä tahansa navigointia tarvitsevassa laitteessa (laivat, lentokoneet, ohjukset etc.). Inertiaalla tarkoitetaan tässä tapauksessa lentovälineeseen kohdistuvia liikeradan muutoksia ja IMU ilmaiseekin kuljetun matkan ns. avaruudessa. Nykyiset IMU-laitteistot tallentavat lentoratatietoa keskimäärin 200 Hz taajuudella, eli 200 kertaa sekunnissa /1,s.23/. Yleisesti IMU-laitteisto käsittää kolme hyrrää ja kolme kiihtyvyyttä mittaavaa laitetta, jotka on asetettu ilmaisemaan liikkeitä ja kiihtyvyydet vertikaalisissa ja horisontaalisissa suun-

nissa. Myös laserhyrrät ovat yleisiä suunnistusjärjestelmissä ja niiden toiminta perustuu kahteen vastakkaisiin suuntiin pyörivään lasersäteeseen. /5,s.144-148,186-189./

Lennon aikana GPS-koordinaatteja käytetään myös IMU:n kalibroimisessa, sillä IMU-laitteisto kärsii aina systemaattisesta suunta- ja matkavirheestä. Tämä johtuu gyrokoopin tavasta jähmettyä tiettyyn asentoon, jos lentokonetta ei kallisteta vähään aikaan. Samalla myös IMU:n lentoratatietoja käytetään täydentämään lentokoneen sijaintitietoja, jos lentokoneen GPS-signaali katoaa. /1,s.25;2,s.207./

GPS (*global position system*) on paikannusjärjestelmä, jossa satelliitit lähettävät radio-signaaleja käyttäjän vastaanottimeen /6/. Satelliitit lähettävät signaalissa tiedot omasta kellonajastaan sekä sijainnistaan. Useamman satelliitin tiedot tarvitaan, jotta voidaan laskea vastaanottimen sijainti. Paikannus perustuu radiosignaalin kulku-aikaan satelliitin ja vastaanottimen välillä. Vastaanotin sijaitsee yleensä lentokoneen rungon yläosassa (kuva 9). Rungon yläpuolelta saadaan paras ja esteetön näkymä taivaalla oleville satelliiteille ja vähennetään signaalin katkeamisriskiä lennonaikana.

DGPS-tukiasemat sijaitsevat tunnetuilla pisteillä, jotka lähettävät vastaanottimiin GPS-signaalin virhekorjausta. Satelliittien antamia paikannustuloksia verrataan tukiaseman tunnettuihin pisteisiin, jonka jälkeen virhearvo tukiaseman läheisyydessä voidaan lähettää vastaanottimiin. Tästä johtuen etäisyys tukiaseman ja lentokoneen välillä ei saisi olla yli 30 kilometriä /1,s.32/. Tukiasemien ei tarvitse olla tietoyhteydessä lentokoneen kanssa, vaan tukiaseman keräämät tiedot laserkeilauksen ajalta yhdistetään lentokoneen paikannustietoihin jälkilaskennassa. Monissa maissa, kuten Suomessa on kiinteiden GPS-tukiasemien verkko, joten keilausta varten ei yleensä tarvitse pystyttää erillistä tukiasemaa.

Lentokoneessa tai laserkeilaimessa voi lisänä olla kamera ilmakeilaukseen varten, jonka avulla voidaan ottaa kuva keilaushetkellä olevasta tilanteesta maassa olevien kohteiden osalta /1,s.43/. Ilmakeilaukseen ja sivuttaiskuvaa voidaan käyttää myös 3D-mallinnuksessa hyödyksi lisäämällä kuva-aineisto esimerkiksi rautalankamallinnukseen /9/. Tämä vaatii yleensä myös maanpäällistä kuvausta ja laserkeilaimen käyttöä täydentämään katutason näkymää, jos halutaan tarkempi mallinnus.

Lentokoneen GPS ja IMU tallentavat keilauslennon aikana paikannustietoa prosessointitietokoneelle. GPS tallentaa koordinaatistotietoa noin kaksi kertaa sekunnissa ja IMU-laitteisto tallentaa lentokoneen kallistus-, kiihtyvyy- ja suunnanmuutokset /1,s.22-23/. Laserkeilaimen etäisyysmittaus-, intensiteetti- sekä keilauskulmatiedot yleensä tallennetaan laserkeilaimen omalle tietokoneelle /2,s.153/. GPS:n PPS-signaalilla (*pulse per second*) saadaan aikaleimoja GPS:n ajassa, joiden avulla voidaan yhdistää ja jäljittää laserkeilaimen tiedot koordinaatteihin ja lentoratatietoihin /1,s.23-24/.

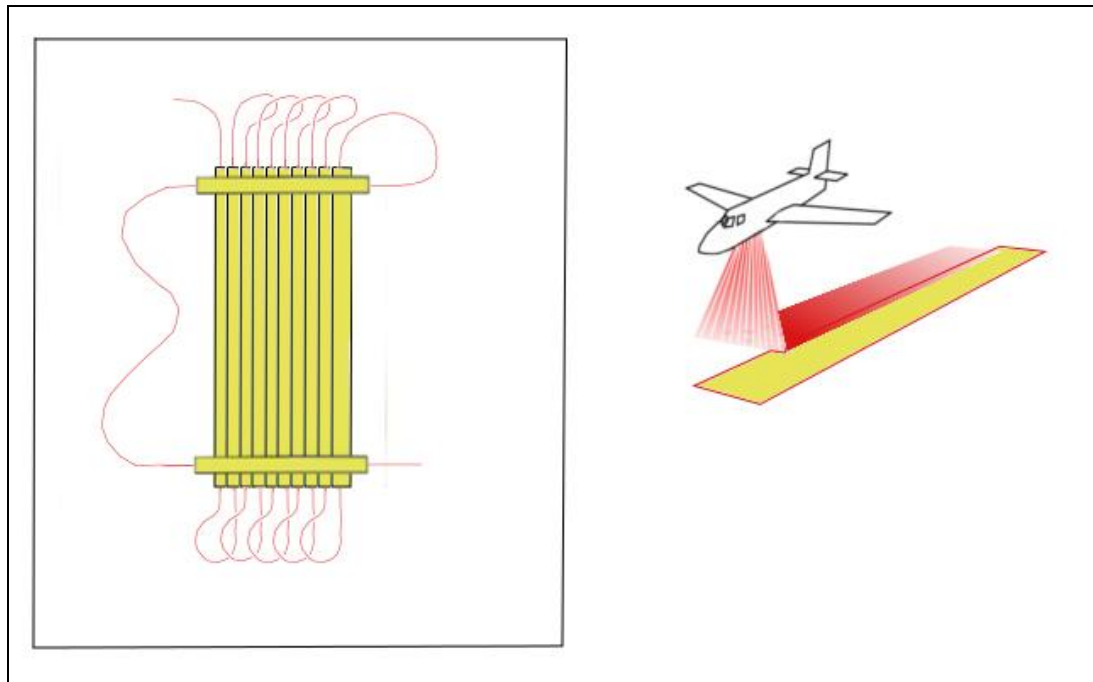
Edellä mainittujen laserkeilaimen, GPS-laitteen sekä IMU:n väliset etäisyydet lentokoneen sisällä ja ajalliset poikkeavuudet toisistaan on tiedettävä, jotta etäisyyden mitaustieto ja lentoradan muutokset voidaan yhdistää GPS-koordinaatteihin. Näiden laitteiden välille luodaan oma koordinaatisto, joka voidaan toteuttaa takymetrimittauksena tarkkuuden ollessa yhden senttimetrin luokkaa. DGPS-laskennan sekä lentoratatiedon avulla voidaan mallintaa lennetty lentorata desimetrin tarkkuudella. Tukiasemien käyttäminen on välttämätöntä, jos halutaan päästä desimetrin tarkkuuteen, sillä tukiasemien käytön myötä ilmakehästä johtuvat häiriöt lentovälineen GPS-tarkkuuteen voidaan kompensoida jälkilaskennassa. Tästä johtuen tukiasemien ja lentovälineen etäisyys ei tulisi ylittää yli 30 kilometriä. /1,s.21–25;2,s.40-43,130,152./

Laitteistokokonaisuus tulee kalibroida säännöllisin ajoin laserkeilauksessa, varsinkin ennen pitempiaikaista keilausprosessia. Näin voidaan varmistua tuotteen laadusta. Itse laserkeilaimen osalta tärkeimmät tarkastelut tehdään heijastuspeilin toimivuuteen sekä pulssilähetysnopeuteen. Nämä tulee ohjelmoida vaatimuksia vastaaviksi. Muiden laitteiden sekä etäisyysmittauksen kalibroimiseksi voidaan suorittaa koekeilaus, jossa maastoon on tehty selkeästi muusta maastosta erotettavia alueita /2,s.158-159/. Nämä alueet yleensä ovat tasaisia ja ne voidaan signaloida siten, että ne erottuvat keilauksen jälkeen laseraineistosta. Näille alueille mitataan GPS-koordinaatit, joita voidaan verrata laserkeilausaineiston tietoihin /2,s.160/.

2.4.2 Lentosuunnitelma ja tiedon prosessointi

Laitteisto muodostaa vain teknillisen osan laserkeilauksesta. Onnistuneen keilauksen saavuttamiseksi tulee laserkeilaus myös suunnitella. Keilaussuunnitelma rakennetaan tilaajan vaatimusten mukaan ja tätä varten täytyy tietää ennen kaikkea tilaajan tark-

kuus- ja pistetiheysvaatimukset. Tämän pohjalta rakennetaan suunnitelma ja kalibroidaan laserkeilain tarkkuusvaatimuksia varten. Keilaimen kalibrointiin yleensä käytetään laserkeilainvalmistajan toimittamaa ohjelmaa. Ohjelmaan syötetään mm. keilauskorkeus, -nopeus sekä keilauskulma, jotta halutut vaatimukset tarkkuuden ja keskimääräisen pistetiheyden osalta toteutuisivat. Keilauskulma ja pistetiheys tulisi saada mahdollisemman laajaksi, jotta saadaan vähennettyä keilauskustannuksia. /1,s.30;2,s.161./



KUVA 10. Lentosuunnitelma ja keilausjonojen limittäminen /1,s.31/

Tärkeintä taloudellisuuden kannalta on myös lentosuunnitelma. Hyvän lentosuunnitelman perusteella saadaan lentokoneen lentoradat optimoitua keilausalueeseen nähden. Monissa laserkeilaimissa on myös kallistuksen kompensoija, jonka avulla voidaan suunnitella vielä tarkemmin laserkeilauksen lentoradat.

Lentosuunnitelmaan käytetään tarkoituksen mukaista ohjelmaa ja se siirretään lentokoneen navigointijärjestelmään. Lentosuunnitelmassa keilattava alue jaetaan ns. keilauskaistoihin (kuva 10). Niiden pituudet ovat yleensä 30 ja 40 kilometrin väliltä. Tällä välimatkalla IMU-laitteiston systemaattiset virheet ovat vielä hallittavissa. Keilauskaistat myös limitetään toistensa päälle noin 20-prosenttisesti, jotta saadaan yhtenäinen ja aukoton aineisto aikaiseksi. Keilaussuunnan yleensä määrittelee keilattavan alueen muoto, ja jonojen kanssa ristiin meneviä keilauksia tulisi sisällyttää ainakin

yhteen keilausalueeseen. Päälekkäin menevillä keilausaineistolla voidaan tarkastella keilausalueen sisäistä tarkkuutta, kun myöhemmässä vaiheessa tätä aineistoa prosessoidaan. /1,s.30-31./

Keilauslennon ajankohta on myös otettava huomioon, varsinkin sääolosuhteiden ja kasvillisuuden näkökulmasta /1,s.31/. Valtakunnallisen korkeusmallin kannalta keilaus suoritetaan keuhällä, koska aluskasvillisuutta on vähän ja se on painautunut maata vasten lumen painosta. Näin ollen aluskasvillisuus on vähemmän haitaksi keilaushetkellä. Lisäksi maanpäällisten GPS-tukiasemien pystyttäminen tai saatavuuden tarkistaminen DGPS-mittausta varten tulee jo suunnittelussa ottaa huomioon. Tukiasemia tulisi olla ainakin kaksi, joista toinen toimii vara-asemana /1,s.32/.

Itse keilaus suoritetaan mahdollisemman tarkkaan lentosuunnitelman mukaisesti ja keilausryhmä koostuu luonnollisesti lentäjistä sekä yleensä myös operaattorista. Lentäjän tehtävänä on noudattaa suunniteltuja lentoratoja korkeuksineen ja operaattori seuraa laserkeilaus toimintaa tietokoneelta ja mahdollisesti kirjaa epäilyttäviä tapahtumia tai ilmoituksia. Nämä ilmoitukset voivat auttaa myöhemmin aineiston prosessoinnissa. Etenkin silloin, kun laseraineistossa ilmenee virheitä. /1,s.31-32./

Laadun varmistusta varten tulee varsinaisella keilausalueella käyttää referenssialueita, jotka ovat tasaisia ja ilmaan näkyviä selkeitä alueita /1,s.32/. Nämä alueet tulisi valita keilauskaistojen limittämiskohtien perusteella. Korkeustarkkuutta varten voidaan mitata tasaisia tiealueita sekä urheilukenttiä. Sijaintitarkkuuden seuranta voidaan tehdä esimerkiksi talojen kattopinnoilta /1,s.32/. Näitä referenssialueita tulisi olla korkeuden seuranta varten ainakin kolme sekä sijainnin seuranta varten viisi /1,s.32/. Näille alueille mitataan koordinaatit esimerkiksi Trimblen R-8:lla tai vastaavan tarkkuusluokan omaavalla laitteella.

Keilauslennon jälkeen edessä on aineiston prosessointi, jotta siitä saadaan haluttu tuote aikaiseksi. Lennon jälkeen prosessointia varten on kolme pääaineistoa: tukiasematiedot, lentokoneen paikannustiedot sekä laserkeilaimen mittaustiedot. Pääaineiston prosessointiin käytetään yleensä laserkeilainvalmistajan sovellusta /8,s.8/. Ensimmäisenä mallinnetaan lennetty lentorata GPS-, IMU- ja DGPS-tietojen avulla. Lentorata-mallinnuksen jälkeen yhdistetään siihen laserkeilaimen tiedot aikaleimojen avulla.

Tässä vaiheessa myös kaikki laitteiston kalibrointiin liittyvät tiedot otetaan huomioon, kuten myös lentovälineen mittauslaitteiden etäisyydet toisiinsa. /1,s.32./

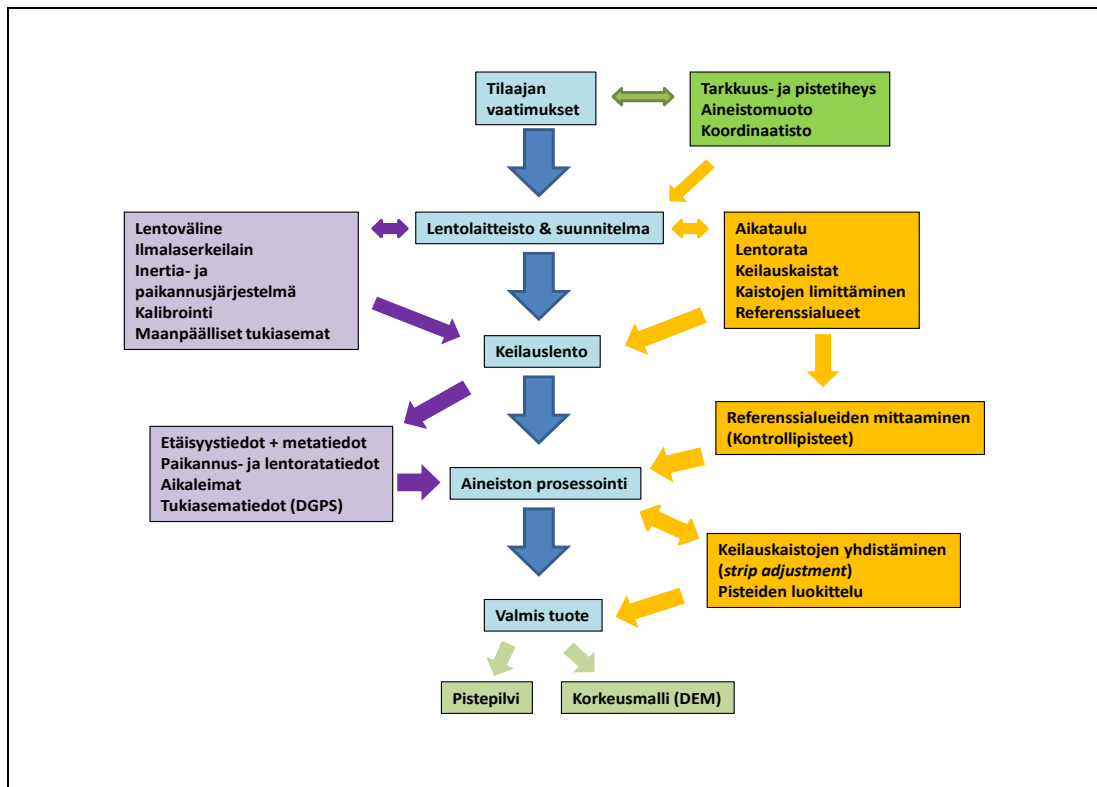
Sijainti- ja etäisyystietojen prosessoinnin jälkeen on muodostunut 3D-pistepilvi, joka koostuu useasta keilauskaistasta. Tämä pistepilvi on LAS-muotoa, josta on tullut yleisin tiedostomuoto keilaustiedolle /1,s.32/. Yleensä pistepilvi on WGS-84 koordinaattijärjestelmässä, josta se voidaan kumminkin muuntaa tilaajan haluamaan koordinaatistoon. Pistepilvi ei kumminkaan ole vielä valmis, vaan se käy läpi tarkastusprosessin. Prosessointia varten on markkinoilla tarjolla useita ohjelmia. Mainittakoon näistä ohjelmista Terrasolid, joka on yksi vanhimmista ja eniten käytetyistä laserkeilausalalla. Tärkeimpänä tehtävänä tarkistusvaiheessa on keilauskaistojen yhdistäminen (*strip adjustment*) ja pisteiden luokittelu. Keilauskaistojen välillä ilmenee korkeus- sekä sijaintipoikkeavuutta, ja ne tulevat selvästi esille keilauskaistojen limittämialueilla.

Jotta pistepilvestä tulisi yhtenäinen koko keilausalueelta, pitää keilauskaistat sovitella yhteen. Sovitustapoja on erilaisia, mutta pääsääntöisesti ne ovat joko aineistopohjan (*data driven*) tai keilausparametrien mukaan tehtyjä. Pisteaineistosta tulee löytää selvät ja monimuotoiset alueet tähän tarkoitukseen, jotka ovat noin 10 ja 50 metrin väliltä kokoluokaltaan /2,s.258/. Korkeustarkkuutta varten tulisi löytää jo aiemmin mainittuja tasaisia alueita ja sijaintitarkkuutta varten kookkaita kolmiulotteisia kohteita, esimerkiksi rakennuksia. Aineistopohjaista yhdistämistapaa käytetään yleensä normaalin tarkkuusvaatimusten mukaisiin alueisiin /2,s.259/. Aineistopohjaisessa eri keilauskaistat sovitellaan yhteen niiden korkeus- ja sijaintieroavaisuuksien perusteella ja pyritään löytämään ns. keskiarvo, jonka mukaan koko alue yhtenäistetään /2,s.261/. Keilausparametrien muutosta käytetään yleensä paremman tarkkuusluokan vaatimuksissa ja siinä keilausparametreja muuntamalla lasketaan koko pisteaineisto uudelleen kaistojen sovittamiseksi /2,s.259/. Molempiin menetelmiin on kumminkin tärkeää sisällyttää referenssialueiden tiedot, jotta saadaan laatukontrollia ja tarkkuutta aineistoon. /2,s.237-239./

Pisteet voidaan luokitella aineistosta automaattisesti esimerkiksi niiden voimakkuuden, aallonmuodon tai kaikonumeronsa mukaisesti. Esimerkiksi maanpinnaksi voidaan luokitella tasainen ja voimakas pulssi tai viimeinen paluukaiku. Aallonmuodon mukaan luokittelu on kehityksessä kokoajan ja nykyään voidaan rakennukset luokitella omaksi luokakseen kattojen perusteella /9,s.7-9/. Automaattisella luokituksella

sella myös luokitellaan *unclassified*-luokkaan pisteet, jotka ovat voimakkuudeltaan heikkoja tai virhekaikuja.

Automaattisen luokituksen jälkeen aineisto on käytännössä valmis. Vielä voidaan hienotyyönä käydä aineisto läpi ja luokitella tarkemmin vesistöjä, rakennuksia etc. Lopuksi maanpintapisteyden avulla voidaan laskea korkeusmalli ja saadaan aikaiseksi DEM. Edellä mainitut asiat ilmalaserkeilauksen prosessista on havainnollistettu kuvassa 11.



KUVA 11. Keilausprosessi

Ilmalaserkeilauksessa tarkkuus koostuu useamman vaiheen yhteistuloksesta. Virheet laitteistokokonaisuudessa ja suunnittelussa kasvavat prosessointivaiheeseen mentäessä. Suunnitelman tulee alusta pitäen ohjata prosessia haluttuun tarkkuustavoitteeseen, ja kommunikatio maasto- sekä suunnitteluryhmien kesken on tärkeää.

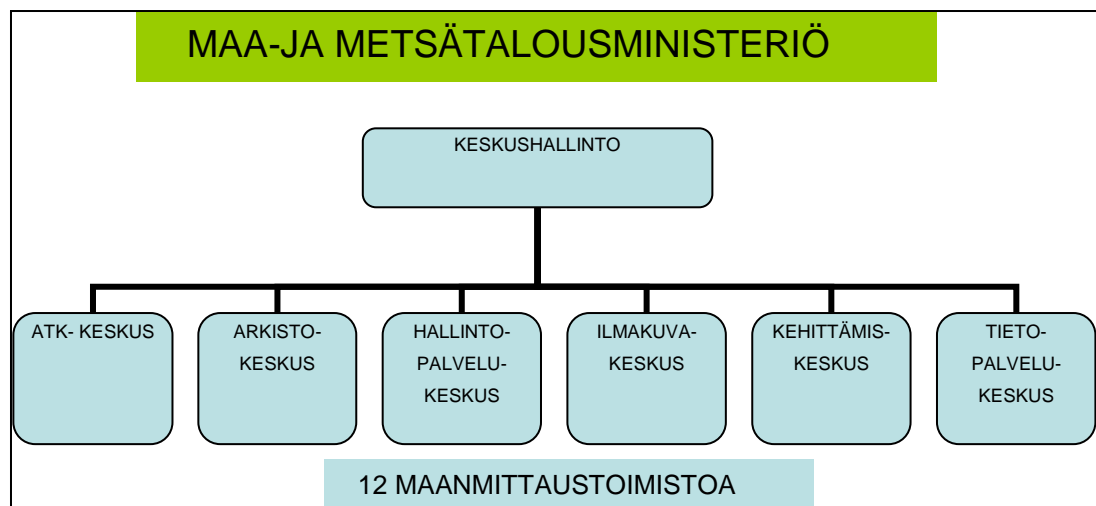
3 MAANMITTAUSLAITOKSEN ILMALASERKEILAUS

Tässä osiossa käsitellään ilmasta käsin suoritettavaa laserkeilausta, keskittyen maanmittauslaitoksen tekemään korkeusmallituotantoon. Tärkeimmät tahot korkeusmallituotannossa ovat maanmittauslaitos (ilmakuvakeskus ja maanmittaustoimistot) sekä

keilauksia suorittavat alihankkijat. Maanmittauslaitoksen maasto- ja rajatiedon (MARA) prosessista kerrotaan myös lyhyesti.

Maanmittauslaitoksen historiasta kerron lyhyesti, jotta maanmittauksesta ja sen kehityksestä ja tarpeesta menneestä nykypäivään saisi asiaan vähemmin perehtynytkin henkilö yleiskuvan. Maanmittaus käynnistyi Suomessa 1600-luvulla Ruotsin vallan alla. Olof Gangius sai silloin tehtäväkseen kartoittaa valtakunnan itäistä aluetta, Suomea. Tällä hienolla matkalla ovat nykyisetkin maanmittarit, jotka tänä päivänä ovat vakiinnuttaneet paikkansa yhteiskuntaan maasta saatavalla tiedollaan. Maanmittauslaitos sai nykyisen nimensä vuonna 1994 ja ennen tätä nimikettä ovat edeltäneet maanmittaushallitus, maanmittauksen ylihallinto ja päämaanmittauskonttori. /11/

Nykyään maanmittauslaitos toimii maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa suorittamassa julkista tehtäväänsä: joihin kuuluvat mm. maanmittaustoimitukset, kiinteistötietojen ylläpito, kartta-aineiston tuottaminen sekä tietojen ylläpitäminen lainhuudoista ja kiinnityksistä (kuva 12). Tämä tehtävä on jaettu useammalle toimielimelle, joista tärkeimpinä asiakkaan kannalta ovat maanmittaustoimistot. Asiakkaana ovat kansalaiset, kunnat ja yksityiset yritykset. /12/



KUVA 12. Maanmittauslaitoksen rakenne

Ilmakuvakeskus toimii maanmittauslaitoksen alaisena yksikkönä ja ilmakuvakeskuksen tärkeimpänä tehtävänä on tukea maanmittauslaitosta maastotietokannan ylläpitäjänä ja seurata alan kehitystä, jotta maanmittauslaitos pysyy teknisesti ajan tasalla fotogrammetriassa, ilmakuvien laadussa ja lasertuotannossa. Ilmakuvakeskuksen tuotantotehtäviä ovat mm. ilmakuvaukset ja kuvien valmistus, ilmakuva-arkiston ylläpito, ilma-

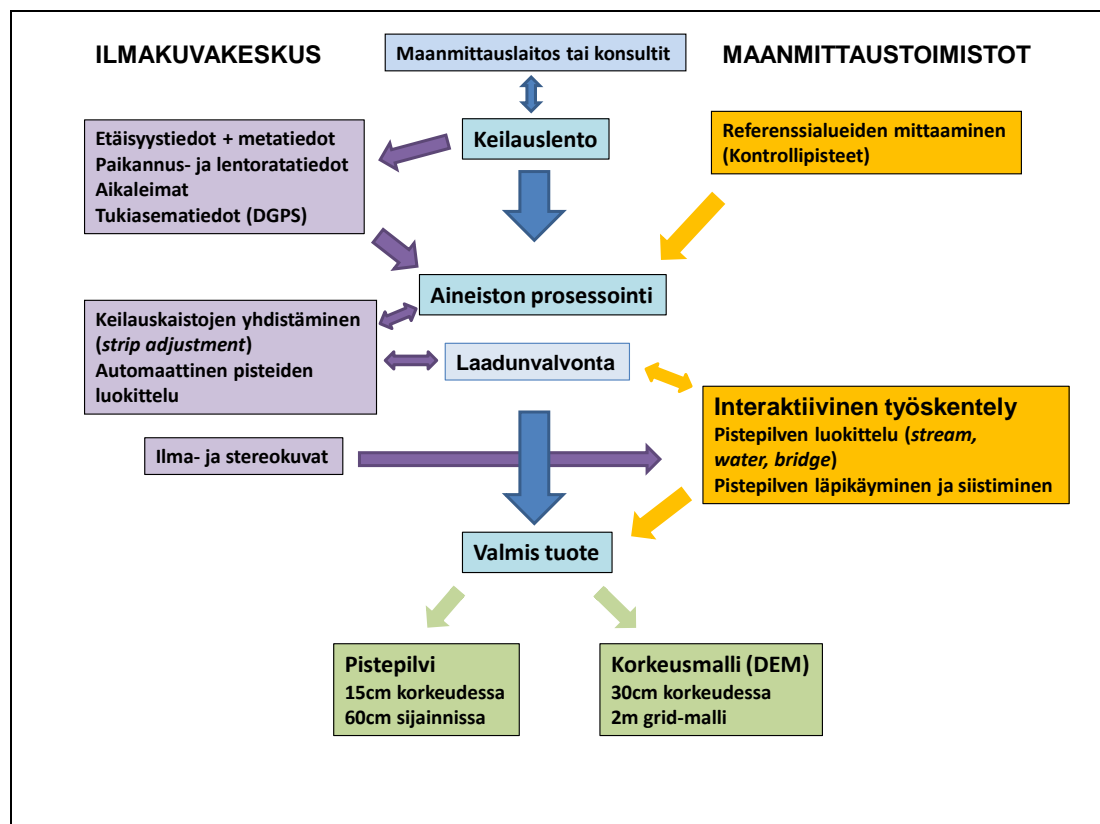
kolmiointi ja stereomallituotanto sekä valtakunnalliseen laserkeilaukseen liittyvät tehtävät. Laserkeilauksen osalta ilmakuvakeskus mm. vastaa laserkeilauksista ja niiden hankinnasta, laserkeilausaineistojen käsittelystä, korkeusmallituotannosta Espanympäristössä sekä korkeusmallituotantoon liittyvästä yhteistyöstä muiden organisaatioiden kanssa. /19,s.8-9,27./

3.1 Uusi valtakunnallinen korkeusmalli

Suomessa laserkeilauksen taustana on ollut tarve valtakunnalliselle digitaaliselle korkeusmallille, joka vastaa nykyisiä tarkkuusvaatimuksia. Uuden korkeusmallin tulee olla myös homogeeninen, eli sen arvot olisivat yhden mittaustavan aikaansaamia ja känsäinvälisesti yhteensopivia. Maanmittauslaitoksen tekemät korkeusmallit MML25 ja MML10 eivät vastaa tämän päivän kaikkiin korkeustarkkuusvaatimukseen. MML 25 ja MML 10 tunnukset kuvaavat tapaa esittää korkeus 25 tai 10 metrin ruutukoossa. MML25 tehtiin digitoimalla 90- luvulla suoraan sen aikaisesta pohjakartasta, ja ESPA-stereotyöasemilla tehtiin MML10- korkeusmallia aina vuoteen 2008 asti. /10,s.8./

Vuonna 2005 maa- ja metsätalousministeri asetti työryhmän, jonka tarkoituksena oli arvioida uuden valtakunnallisen korkeusmallin uudistamistarpeet ja vaihtoehdot. Työryhmä esitti, että Suomella olisi kolme eri vaihtoehtoa toteuttaa korkeusmallin uudistaminen. Ensimmäisenä vaihtoehtona työryhmä piti nykyisen menetelmän jatkamista, eli MML10- korkeusmallin tuotantoa, joka ei tarkkuudeltaan kumminkaan riitä yleisiin tarkoituksiin. Toisena vaihtoehtona työryhmä piti uuden korkeusmallituotantomenetelmän aloittamista ja parhaana vaihtoehtona pidettiin ilmasta käsin suoritettavaa laserkeilausta. Valtakunnallisen laserkeilauksen aloittamisessa on suuret kustannukset ja niiden jakaminen eri alueille ja toimijoille, sekä usean eri alueen toimintatavat voisivat aiheuttaa pahimmassa tapauksessa paikallisia korkeusmalleja, joita voi olla hankala yhdistää toisiinsa. Viimeisenä vaihtoehtona työryhmä piti MML10:n kehittämistä ja yhteistyötä laserkeilauksen kanssa. Tämä vaihtoehto mahdollistaisi MML10:n jatkokäytön ja laserkeilaus aloitettaisiin alustavasti vain tärkeimmiltä alueilta, kuten pohjanmaan tulva-alueilta. Uuden valtakunnallisen korkeusmallin tuotantotavaksi valittiin MML10 menetelmä ja yhteistyö laserkeilauksen kanssa. Siirtyminen laserkeilaukseen tarkoitti myös MML10:een saamista nopeasti valmiiksi, joten käytettiin laskennallisia menetelmiä tuotteen saamiseksi valtakunnalliseksi. /10,s.44-47./

Ilmakuvakeskus suoritti geodeettisen laitoksen kanssa testityön vuosien 2006 ja 2007 aikana laserkeilaukseen pohjautuvasta korkeusmallista /8,s.4/. Testityön tuloksena todettiin laserkeilauksen sopivan uuden valtakunnallisen korkeusmallin tarkkuusvaatimuksiin. Laserkeilauksen mahdollistaa valtakunnallisesti 30 cm tarkkuuden korkeudessa ja uudeksi korkeusmallin (KM-2) resoluutioksi on määritetty 2 metriä, eli 2 metrin ruutukoon grid-malli /8,s.6/. Ensimmäiset korkeusmallituotantoa koskevat laserkeilaukset aloitettiin vuonna 2008 /8,s.4/.



KUVA 13. Maanmittauslaitoksen laserkeilausprosessi

Maanmittauslaitoksen tapa tuottaa ilmalaserkeilausta on havainnollistettu kuvassa 13. Itse laserkeilausprosessi noudattaa hyvin paljon yleisiä kansainvälisiä toteutustapoja, joita käsiteltiin aikaisemmassa kappaleessa. Vuosittain maanmittauslaitos suunnittelee keilattavat tuotantoalueet ja keilauksia suorittavat pääsääntöisesti konsulttiyritykset /8,s.10/. Konsultteja ovat olleet mm. Blom kartta Oy ja FM-International Oy /8,s.10/. Vuoteen 2013 saakka maanmittauslaitos on käyttänyt omissa keilauksissa vuokrattua laserkeilainta. Kevään 2013 keilauksista lähtien maanmittauslaitos käyttää omaa laserkeilainta ja suorittaa myös ilmakuvauksen laserkeilauksen kanssa samaan aikaan

/21/. Valtakunnallisen korkeusmallin teko aloitettiin vuonna 2008, ja päätökseen se tulisi saattaa vuoteen 2020 mennessä /8,s.4;21/. Suomessa keilattavaa aluetta on noin 338 000 neliökilometriä, josta vuosittain keilataan noin 30 000 neliökilometriä /8,s.7/. Keilaukset noudattavat TM35-lehtijakoa, jossa Suomi esitetään yhdessä kaistassa ja karttalehdet ovat suorakulmaisia /25/. Isoin karttalehti on kooltaan 4608 neliökilometriä ja se jakautuu neljään 1152 neliökilometrin karttalehteen /25/. Keilaukset suoritetaan pääsääntöisesti tämän 1152 neliökilometrin alueissa, ja tämä alue käsitellään maanmittauslaitoksella vielä pienimmissä 9 neliökilometrin alueissa.

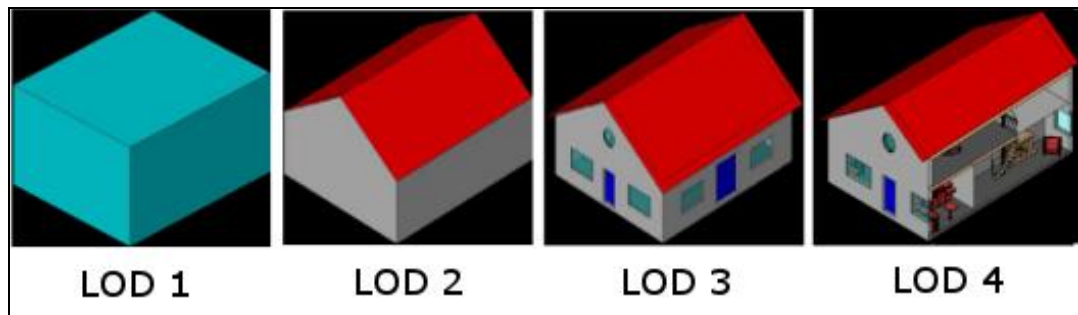
Ilmakuvakeskus vastaa pääosin maanmittauslaitoksen ilmalaserkeilauksen toteutuksesta /23/. Se myös tuottaa ja toimittaa ilma- ja stereokuvat maanmittaustoimistoille /23/. Riippumatta kuka keilauksen suorittaa, on keilaukselle asetettu samat tarkkuusvaatimukset. Tarkkuusvaatimuksena pistepilvelle on yksiselitteisillä pinnoilla 15cm korkeudessa ja 60 cm sijainnissa /20,s.5;22,s.2/. Yksiselitteisillä pinnoilla tarkoitetaan sellaisia pintoja, joiden päällä voi olla puustoa, mutta pinta itsestään on rakenteellisesti selkeä /22,s.2/. Korkeusmallin osalta tarkkuusvaatimuksena on 30cm korkeudessa ja siitä tehdään 2 metrin ruutukoon grid-malli /20,s.5;22,s.2/.

Jotta nämä tarkkuusvaatimukset pisteiden sekä korkeusmallin kannalta toteutuisivat, käytetään yhtenäisiä keilausparametreja. Keilaus suoritetaan keväällä, jolloin minimoidaan aluskasvillisuuden vaikutukset tarkkuuteen /8,s.5;20,s.5/. Keilauskorkeutena on noin 2 kilometriä ja pistetiheys tulee olla minimissään 0,5 pistettä neliömetriä kohden /22,s.2;20,s.5/. Laseralue (*footprint*) on 50 ja 60 senttimetrin välillä ja keilauskulma noin (FOV) 40 astetta. /8,s.5;20,s.5;22,s.2/. Keilausjonojen päällekkäisyys tulee olla noin 20 prosentin luokkaa /20,s.5/. Huomioitavaa on pistetiheyden vaihtelu ja se on keskimäärin ollut lähemmäs 1,5 pistettä neliötä kohden /20,s.5/.

Keilauksen jälkeen laserkeilaustiedostot toimitetaan ilmakuvakeskukseen 9 neliökilometrin UTM-karttalehtialueissa /23/. Lisäksi keilaukseen liittyvät metatiedot tallennetaan keilauksen sekä karttalehden mukaan. Metatietona on mm. keilauskokoonpano sekä laserkeilaimen mittaustiedot. Pistepilven formaattina on LAS sekä koordinaatistojärjestelmä on ETRS-TM35FIN ja korkeudet on N2000- järjestelmässä /8,s.6;22,s.1-2/. Terrasolid-ohjelmaan luodaan työtiedosto tuotantoalueittain, jonka jälkeen aineiston prosessointi suoritetaan. Pistepilven pisteet luokitellaan automaattisesti omiin

luokkiinsa. Ensimmäiset ja välikaiut luokitellaan kasvillisuusluokkaan ja viimeiset kaiut maanpinnaksi /23/.

Luokittelun jälkeen suoritetaan laadunvalvonta, jossa karkeat virheet korjataan ja katsotaan keilausjonojen yhteensopivuus sekä verrataan aineistoa kontrollipisteisiin. Tarvittaessa lasketaan uusilla keilausparametreilla aineisto uudestaan, jos virheet ovat merkittävät. Automaattisen pisteluokituksen jälkeen, suoritetaan maanmittaustoimistoilla interaktiivinen tarkastelu vielä alueelle. Kun koko tuotantoalue on saatu valmiiksi maanmittaustoimistolla, siirretään aineisto takaisin ilmakuvakeskukselle, jonka tehtävä on varastoida valmiit tuotantoalueet /23/. Tiedon siirtäminen tapahtuu maanmittaustoimistojen ja ilmakuvakeskuksen välillä palvelinverkon kautta. Varmuuskopioita myös säilytetään maanmittaustoimistoilla kovalevyillä /21/.



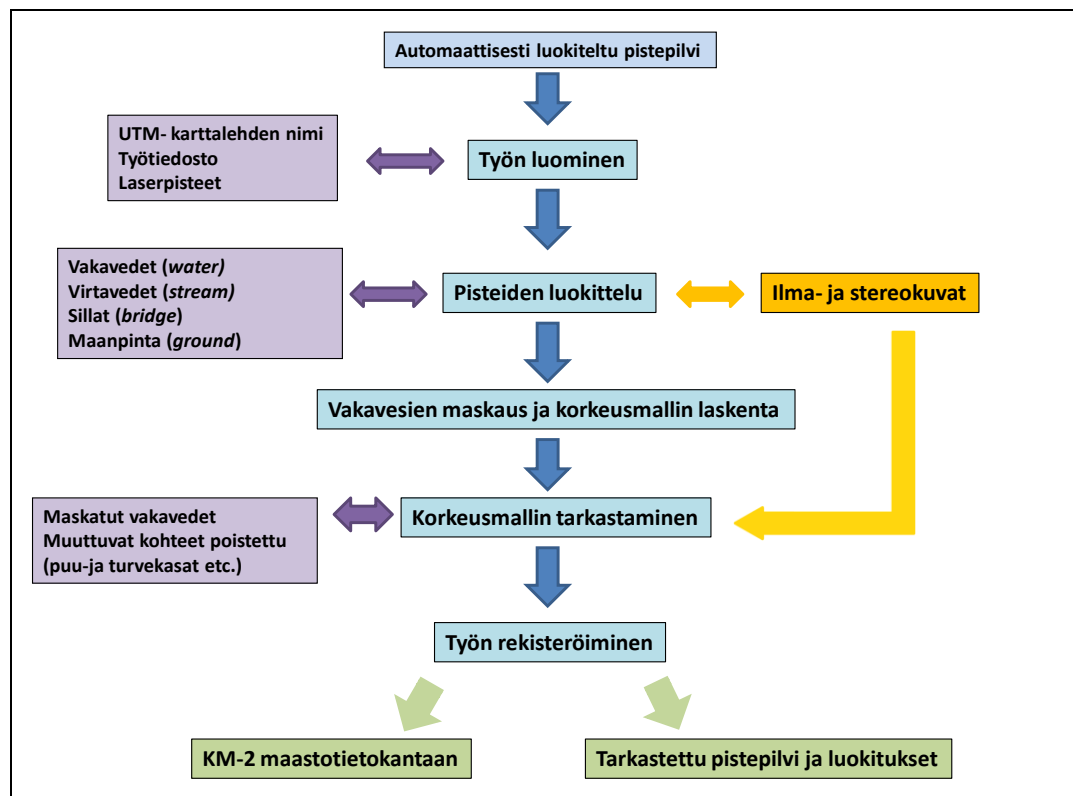
KUVA 14. CityGML:n rakennusluokitukset (Häfele 2010) /28/

Maanmittauslaitos pyrkii aktiivisesti löytämään laseraineistolle uusia käyttömahdollisuuksia, joita voidaan hyödyntää sen omassa tuotannossa. Esimerkiksi KM-2:n visualisointikuvaa käytetään hyödyksi määräaikaaisessa ajantasaistuksessa, jossa sillä voidaan havaita oja ja maastonmuotoja, joita ei ilmakuvilla näy. Maanmittauslaitoksella on ollut myös projekti, jossa johdetaan pisteaineistosta rakennuksille korkeudet /21;26/. Projektin tavoitteena oli saada mahdollisemman automaattisesti luokiteltua rakennukset, joista voitaisiin mallintaa (kuva 14) CityGML:n LoD1-luokan (*level of detail*) laatikkorakennuksia /26/. Tämä projekti ei kumminkaan saavuttanut täysin sille asetettuja vaatimuksia, mutta kehitystyö rakennuksien mallintamiselle maanmittauslaitoksen laseraineistosta jatkuu edelleen. Muita kehitysprojekteja on mm. matalien vesien syvyyksien mittaaminen laseraineistosta /21/.

3.2 Laseraineiston käsittely maanmittaustoimistoilla

Ilmakuvakeskus toimittaa automaattiluokituksen käyneen laseraineiston sekä UTM 1:50 000 karttalehtijaon mukaiset ilmakuvat maanmittauslaitoksen sisäiseen verkkoon. Maanmittaustoimistoilla käydään tämän jälkeen laseraineisto läpi operaattorin toimesta, ja hänen tehtävänä on luokitella aineistosta vakavedet (*water*), virtavedet (*stream*), maanpinta (*ground*) sekä sillat (*bridge*). Tässä työskentelyssä käytetään samaa ESPA- ja PLANAR-stereotyöasemaa, mitä käytetään määrääkaikaisessa ajantasaisuudessa ja samanaikaisesti operaattori tarkastelee laserpistepilveä sekä ilmakuvaa.

Operaattori aloittaa laseraineiston käsittelyn tekemällä uuden työtiedoston karttalehden numerolla (kuva 15). Tähän tallennetaan tarvittava materiaali. Työskentelyä varten tarvitaan stereokuvat käsiteltävältä alueelta ja ne avataan EspaCity-ohjelmalla. Karttalehden reuna tallennetaan työtiedostoon. Maastotietokannasta tuodaan JAKOMTJ-ohjelmaa käyttämällä vakaavesien sekä virtavesien rantaviivat, sekä vihje-kohteet EspaCityyn ja nekin tallennetaan työtiedostoon. Seuraavaksi tuodaan tietokannasta KM-2 korkeusmalli ilman laskentaa ja sekin tallennetaan työtiedostoon. Tämän jälkeen avataan EspaEngine-ohjelma. EspaEngineen luodaan oma projekti, joka tallennetaan karttalehden numerolla.

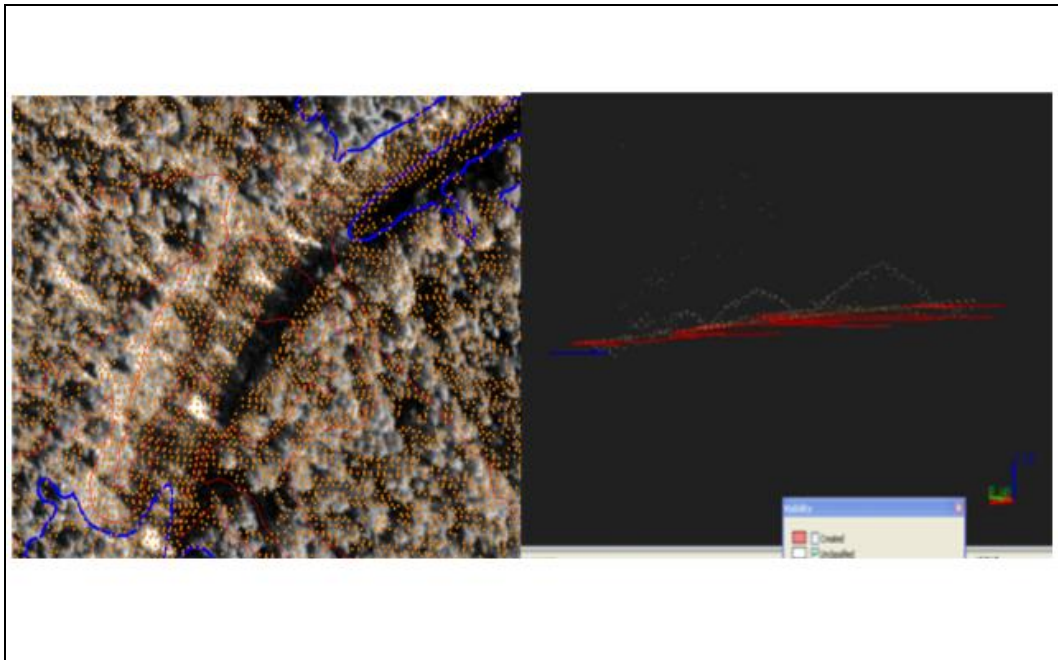


KUVA 15. Interaktiivinen pisteiden luokittelu ja korkeusmallin tarkastaminen

Projektiin ladataan laserpisteet sisäisestä verkosta ja tuodaan karttalehdenreuna EspaCityyn taustakohteeksi työtiedostosta. Tämän jälkeen aletaan varsinaisesti luokitella vesistöjä ja aukaistaan työtiedostosta tallennetut vakaavesien ja virtavesien rantaviivat EspaCityyn. Rantaviivat tuodaan yksitellen EspaCitystä EspaEngineen aloittaen vakaavesistä ja tuodessa pitää muistaa valita oikea kohdeluokitus EspaEnginen puolelta, eli *water*. EspaEnginessa näkyy nyt rantaviivat ja seuraavaksi luokitellaan rantaviivan sisällä olevat pisteet *water*-luokkaan. Seuraavaksi tehdään samat toimenpiteet virtavesien luokituksen kanssa. Vesistöjen nyt ollessa luokitettuja lasketaan alueelle korkeusmalli. Korkeusmallin laskennan jälkeen maskataan vakavesistöt, eli vakavedelle lasketaan yhtenäinen korkeus *water*-luokituksen saanneista pisteistä. Ilman tätä toimenpidettä, ilmenee esimerkiksi järvessä syviä kuoppia korkeusmallissa. Vakavesien maskauksen jälkeen aletaan tarkastella pistepilveä ja käydään kokoalue läpi stereokuvan kanssa.

Tärkeimpänä tehtävänä ovat korkeusmallin siistiminen ja luokitella pois maanpinta-luokitukselta sellaiset pisteet, jotka eivät todellisuudessa ole maanpintaa. Näitä ovat mm. puupinot, sorakasat, turvekasat, rakennukset, virhekaiut, kasvillisuus etc. Eräs hitaimmista prosesseista on korjata jokien, eli *stream*-luokituksen pisteitä, sillä yleensä tähän luokkaan on luokittunut kasvillisuutta.

Jos pisteitä ei ole tarpeeksi laskentaa varten ja korkeusmallissa ilmenee monttuja, niin tulee EspaCityn puolella lisätä piste stereokuvassa ja tuoda se projektiin. Jokaisen korjauksen jälkeen tulee laskea korkeusmalli, joko pieneltä alueelta tai sitten kokoalueelta, jotta korjaukset päivittyvät näkymään. Pisteitä voi lisätä myös EspaEnginen puolelta, mutta itse koin tämän jokseenkin hitaammaksi. Korkeille pisteille saadaan EspaEnginen puolella, joko lähimmäisestä pisteestä tai useamman pisteen keskiarvona. Jälkimmäinen metodi osoittautui ainakin peitteisillä alueilla hyväksi ja sillä saadaan ns. siistiä korkeusmallia. Tukkipasojen siivouksen jälkeen ojiin jää yleensä pistepilveen aukkoja, joita voidaan paikata kätevästi keskiarvolaskennalla (kuva 16).



KUVA 16. Korkeusmallin siistiminen ja EspaEngine-ohjelma

Kun kokoalue on tarkistettu ja virheet korjattu, voidaan tarkastettu ja laskettu korkeusmalli tuoda EspaEnginesta EspaCityyn, jossa korkeusmallista tehdään visualisointikuva, jossa vielä tarkastetaan että korkeusmalli on eheä. Tämän jälkeen katkaistaan yhteys EspaEngineen ja otetaan yhteys JAKO/MTJ:n, jonne viedään tarkastettukorkeusmalli ja lopuksi rekisteröidään työ. Ajallisesti yhden laseraineiston läpikäyminen kestää noin 4 tuntia. Päivässä keskimäärin itse rekisteröin 2 työtä, mutta tekemässäni tuotantoalueessa oli pääsääntöisesti turvetuotantoa, jolloin maasto on tasaista ja varsinkaan jos ei jokea alueella ole, on laseraineiston läpikäyminen jouhevaa.

3.3 Maasto- ja rajatiedon prosessi

Maanmittauslaitoksen tehtävät on jaoteltu maanmittaustoimistoille erilaisiin prosesseihin. MARA, eli maasto- ja rajatiedon tuottaminen ja keruu ovat vain yksi näistä prosesseista. Opinnäytetyössäni keskitytään tarkemmin tähän prosessiin, sillä MARA-prosessin mahdollisuudet käyttää ilmakuvakeskuksen tuottamaa laserkeilausaineistoa oman prosessinsa tukemiseksi ovat kokoajan kehittymässä. MARA-prosessi käytännössä sisältää maastokohteiden päivittämistä maastotietokantaan, jonka pohjalta tuotetaan mm. kartta-aineistoa asiakkaille. Maastokohteiden päivittämiseen käytetään mm. GPS- ja takymetrimittauksia sekä perinteistä ilmakuvatarkastelua ESPA/PLANAR-stereotyöasemien avulla.

Maastokohteita, jotka liittyvät ilmakuvasta saataviin tietoihin ovat mm. vesistöt, tiestöt, ojat ja rakennukset. Osa aineistosta saadaan kunnilta digitaalisessa muodossa, etenkin rakennusten ja tiestön osalta. Aineiston päivittäminen maastotietokantaan jaetaan määräaikaiseen sekä jatkuvaan ajantasaistukseen. Kerron näistä ajantasaistusmenetelmistä käytännön työn näkökulmasta. Maastotietokantaa ylläpidetään JAKO/MTJ-sovelluksella, joka perustuu *Smallworld* GIS paikkatieto-ohjelmistoon /16,s.1/.

Maasto- ja rajatietoa tuotetaan asiakkaan sekä maanmittauslaitoksen määräaikaisen ja jatkuvan ajantasaistuksen tarpeen mukaan. Perinteisten karttatulosteiden lisäksi maasto- ja rajatietoa saa myös maanmittauslaitokselta rajapintapalveluna, jossa asiakas hakee tarvitsemansa tiedon maanmittauslaitoksen palvelimelta /15/. Rajapintapalvelu vaatii asiakkaan sovellukselta yhteensopivuuden WMS- ja WFS- tiedostopohjille. WMS, eli *web map service* on http (*hypertext transfer protocol*) pohjainen käyttöliittymä tai rajapinta, joka pyytää halutun geokoodatun karttatiedoston halutuilla rajauksilla ja tiedoilla palvelimen tietokannasta /14/. WFS, eli *web feature service* mahdollistaa tietokannasta kyselyt eri ominaisuuksilla, kuten nimellä, sijainnilla etc. /13/. Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta voidaan yhdistellä asiakkaan tarpeen mukaan rasterikarttoja sekä aineistokokonaisuuksiin.

Maastotietokohteet voidaan jakaa kohderyhmiin sekä kohdetyyppeihin. Nämä muodostavat JAKO/MTJ:n maastotietokannan luokkaryhmät, joita muokataan tietokannassa. Kohderyhmiä ovat tiestö, rautatiestö, vesikulkuväylästä, johtoverkosto, maasto1, maasto2, rakennukset, korkeussuhteet, erityiskäyttöalueet, suojelukohteet, hallinnollinen jaotus, kiintopisteet, paikannimet, selitteet, karttasymbolit ja muut kohteet. Kohdetyyppejä ovat piste, viiva, alue sekä teksti. Ominaisuustietona näillä kohdetyypeillä on mm. yksilöllinen id-tunnus, sijainti- ja korkeustarkkuus sekä alku- ja loppupäivämäärä. Alkupäivämäärä kertoo kohteen lisäämis- tai muutoshetken ja loppupäivämäärä kohteen tuhoamispäivän maastotietokannasta. /16,s.10,18-20./

Viivoja on kahdenlaisia maastotietojärjestelmässä, murto- sekä käyräviivoja. Viivakohdetyypit muodostetaan esimerkiksi tiestölle. Murtoviivoja käytetään lähinnä kaikkien symmetristen kohteiden, esimerkiksi rakennuksien mallintamiseen, kun taas käyräviivat sopivat paremmin kuvaamaan maaston korkeusmuotoja. Käyräviivoissa viivan aloitus- ja lopetuspisteen väliin lisätään automaattisesti interpoloituja pisteitä.

Aluekohdetyypit muodostetaan viivoilla eristettyyn alueeseen. Alueita ovat mm. pelot, turvetuotantoalueet etc. /16,s.20-24./

Maanmittauslaitos on määritellyt laatumallissaan kaikille tuottamilleen maastotietokannan kohteille sijaintitarkkuusvaatimukset. Ne jaetaan A- ja B- luokkiin riippuen kohteen mittaustavasta tai saadun aineiston laadusta. Esimerkiksi ajoteiden ja rakennuksien A-luokan sijaintitarkkuusvaatimus on 3 metriä ja B-luokan sijaintitarkkuus on 12,5 metriä /27,s13,22/. Aluekohteilla tarkkuusluokat ovat 5 ja 40 metrin välillä /27,s17-21/. Lyhyesti ilmaistuna ihmisen tekemille ja käyttämille kohteille on tiukemmat tarkkuusvaatimukset, kuin mitä maastossa luonnostaan ilmeneville ja muuttuville kohteille.

A-luokan tarkkuuksiin päästään stereotyöasemilla sekä takymetri- ja GPS-mittauksilla. Myös esimerkiksi kunnilta saadun aineiston mittaustapa tulee tietää, jotta voidaan määrittellä se sopivaan tarkkuusluokkaan. Tarkimmillaan voidaan mitata 0,5 metrin tai paremmalla tarkkuudella maastotietokannan kohteita ja siihen luokkaan käytännössä päästään ainoastaan takymetrillä sekä hyvällä GPS-laitteella.

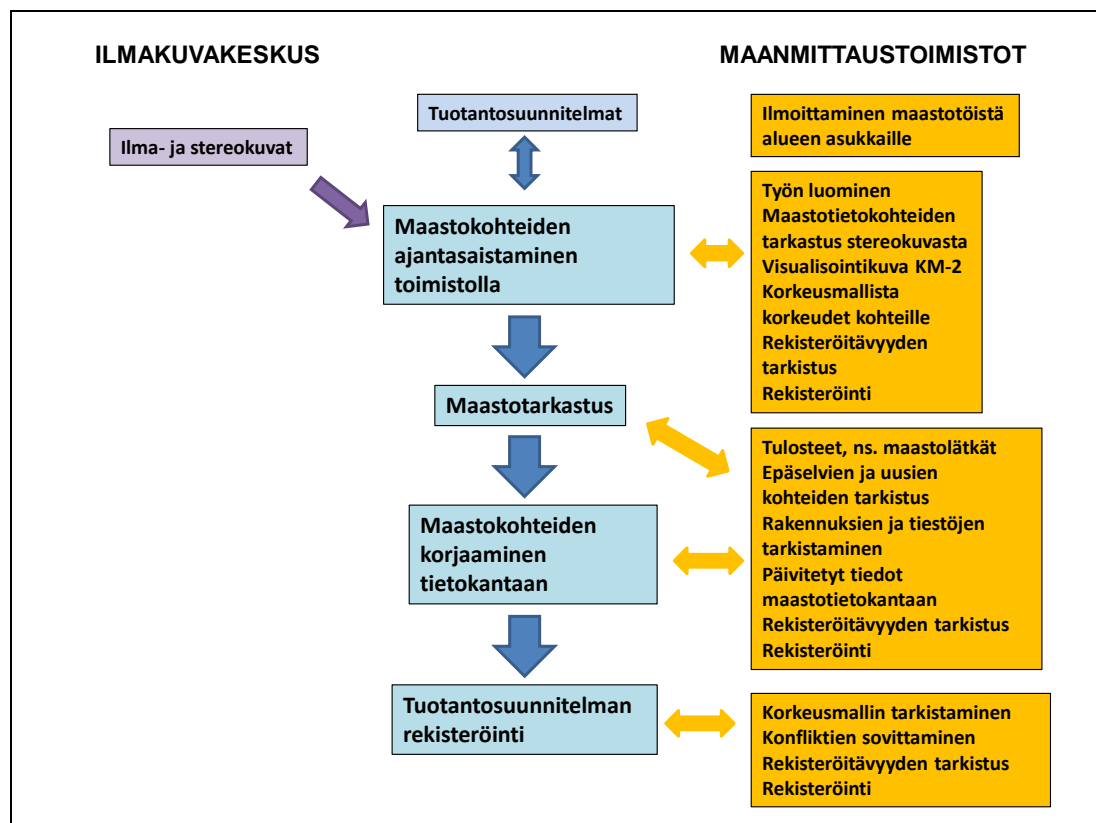
3.3.1 Määräaikainen ajantasaistus

Määräaikaisella ajantasaistuksella tarkoitetaan maastokohteiden päivittämistä 5 ja 10 vuoden välein maastotietokantaan, ja tätä tehtävää suorittaa MARA-työryhmä maanmittaustoimistoilla. Tämä pääsääntöisesti toteutetaan ilmakuvia tarkastelemalla ESPA- ja PLANAR-stereotyöasemilla. Maanmittauslaitos kuvaa vuosittain n. 15 % Suomen valtakunnan alueesta maastotietokannan ajantasausta varten /16,s.126/. Normaalisti ilmakuvien mittakaava on 1:16 000 lentokorkeuden ollessa 3400 metriä. Metsäisillä ja haja-asutusalueilla kuvataan myös 1:31 000 ilmakuvia lentokorkeuden ollessa 4600 metriä /16,s.126/. Keväällä 2013 laserkeilataan ja ilmakuvataan samanaikaisesti, joten ilmakeuviakin otetaan n. 2 kilometrin korkeudelta /21/. Ilmakuvauksen sekä laserkeilauksen yhdistäminen mahdollistaa ajantasaistuksessa paremmat kohteiden tulkintamahdollisuudet laseraineistosta.

Kuvaukset suoritetaan pääsääntöisesti keväällä, mahdollisemman nopeaa lumensulamisen jälkeen. Topografikunnan kuvaamia 1: 60 000 korkeakuvauksia hyödynnetään tiestön vihjetiedon keruuseen. Yksi korkeakuva kattaa yhden peruskarttalehden alu-

een. Maanmittauslaitoksen ilmakuvakeskuksessa tehdään keskitetyt stereokuvat, jotka toimitetaan maanmittaustoimistoille orientoituna. /16,s.126/

Maanmittaustoimistoissa tehdään ESPA- ja PLANAR-stereotyöasemilla varsinainen maastotietokannan päivitys, joissa käytetään aineistona ortokuvia, kunnilta saatavia tiestö-, rakennus- ja maastomalliaineistoja sekä DIGIROAD ja tiehallinnolta saatavaa aineistoa. Nämä tiedot muunnetaan ETRS-TM35FIN-koordinaatistojärjestelmään, jollei aineisto jo sitä ole. Aineisto täytyy muutenkin käydä läpi, jotta se soveltuu maastotietokantaan. Esimerkiksi tiestö tulee olla mitattu keskeltä, ei tien reunoilta. Näiden tietojen saaminen maanmittaustoimistoille on sopimuksenvarainen ja paikka-kuntaakohtaisesti digitaalinen sisältö voi vaihdella. /16,s.128/



KUVA 17. Määräaikaisen ajantasaistuksen prosessi /23/

Kuvassa 17 on havainnollistettu määräaikaisen ajantasaistuksen eri vaiheita. Vuosittain tehdään TM35-karttalehtien mukaiset tuotantosuunnitelmat, jonka pohjalta maanmittaustoimistoissa jaetaan MARA-työryhmän kesken työalueet. Yksi työ koostuu 9 neliökilometrin alueesta ja kartoittajaa kohden niitä on useampia tuotantoalueen laajuuden mukaan. Varsinainen muokkaaminen tapahtuu tuotantosuunnitelman sisällä, johon aineisto on ns. irrotettu maastotietokannasta. Näin voidaan turvallisesti työ-

kennellä ilman sitä vaaraa, että suoraan mahdollisesti aiheutetaan konflikteja varsinaiseen maastotietokantaan.

Työn seuranta tehdään mm. Excel-taulukoilla, joista nähdään missä on auki töitä ja missä on valmiita. Seuranta täytyy tehdä niin tulostavoitteessa pysymisen kannalta, kuin myös sen takia, ettei aukaista päällekkäisiä tai vierekkäisiä töitä, etteivät työt ole keskenään konfliktissa. Toimistoilla tehdään käytännössä talven ja kevään aikana maastokohteiden ajantasaistaminen työasemalla omille työalueille, joista löytyy stereokuvat. Maastotarkastukset tehdään yleensä kesän ja syksyn aikana, jolloin nähdään kohteet parhaiten.



KUVA 18. EspaCity- ja JAKO-ohjelmien näkymät

Toimistolla tehdyssä ajantasaistuksessa operaattori käyttää EspaCity-ohjelmaa ja avaa karttalehden stereokuvat ohjelmalle (EspaCitylle) sekä JAKO/MTJ:stä saman alueen maastotietokanta kohdan (kuva 18). Näiden kahden ohjelman tarkastelu tehdään erillisiltä näytöiltä. Maastotietokannan tiedot tuodaan EspaCitylle ja ne näkyvät stereokuvassa piste-, viiva- ja aluekohteina. Karttalehti käydään läpi maastotietokohderyhmien mukaisesti tiestöstä ja kulkuväylistä lähtien. Apuna tässä voidaan käyttää kiinteistörekisterikarttaa (KRK), jolloin esimerkiksi saadaan peltojen rajat peitteisiltä alueilta joita on hankala ilma- ja stereokuvalta hahmottaa /16,s.127/. Korkeusmallituotannon visualisointikuvaa käytetään myös hyödyksi määräaikaissa ajantasaistuksessa /21/.

Ojat ja muut selkeät maanpinnan kohteet voidaan havaita visualisointikuvasta ja JAKO/MTJ:llä digitoida kohteita kuvan mukaisesti.

Puuttuvat ja virheelliset havaitut kohteet lisätään ja korjataan kuhunkin kohderyhmään kursoria ja stereonäkymää käyttäen. Korkeus kohteelle saadaan hiiren rullauspainiketta käyttämällä. Operaattorin havaitessa uuden kohteen tai väärällä korkeudella olevan kohteen hän tarkastelee stereokuvaa ja rullaa kursorin samalle korkeudelle, millä havaittu kohde on ja lisää tai korjaa sen oikealle korkeudelle näkymässä. Uuden korkeusmallin myötä johdetaan kaikille maastotietokannan kohteille korkeudet korkeusmallista /21/. Näin ollen stereonäkymässä käytännössä vain tarkistetaan sijainnit ja seurataan että itse korkeusmallissa ei ole karkeita virheitä. Muutoksia tehdessä tulee ottaa huomioon että ei päivitä karttalehden toiselta puolelta olevia kohteita, sillä muuten lehdet ovat konfliktissa keskenään. Konflikti tulee esille etenkin korkeusmallia laskettaessa, jolloin ns. puskurivyöhykkeen yli menevät kohteet voivat saada eriarvoisia sijainti- ja korkeustarkkuuksia.

Kun karttalehti on käyty kokonaisuudessaan läpi ja maastokohteet ovat päivitetty, suoritetaan aineistolle tarkistukset. Kaikille kohteille johdetaan korkeudet KM-2:sta, jos alueelle on tehty uusikorkeusmalli. Tämän jälkeen ajetaan rekisteröitävyys testit ja sovitellaan konfliktit, jos niitä ilmenee vielä. Lopuksi karttalehti esirekisteröidään JAKO/MTJ-ohjelmaan.

Keväällä alkavat maastotarkistukset, jossa tarkistetaan alueen kohdeluokitukset esimerkiksi peltojen, tiestöjen ja rakennusten osalta. Koko tiestö ajetaan autolla läpi ja tarkistetaan ns. maastolätkistä, vastaako toimistolla tehty työ todellista tilannetta maastossa. Uudet ajotiet yms. kohteet, jotka ovat selkeillä alueilla, voidaan mitata kartoittajan mukana olevalla GPS-laitteella. Lomarakennukset, kuten mökit, voivat olla erittäin puuston peittämällä alueilla, jolloin GPS-laitteella mittaaminen ei välttämättä onnistu. Joitakin kohteita joutuu tällaisissa tapauksissa lisäämään silmämääräisesti tietokantaan huonolla tarkkuusluokituksella.

Toimistolla lisätään tietokantaan maastolätkille tehdyt muutokset. Tässä vaiheessa myös ajetaan samat tarkistukset läpi ja tarkistetaan rekisteröitävyys työlle. Varsinainen rekisteröinti tapahtuu tuotantoalueen laajuudessa ja ennen rekisteröintiä voidaan vielä yksittäisille karttalehdille tehdä muutoksia, jos ilmenee vielä konflikteja. Monel-

la tarkistusajolla pyritään suodattamaan kaikki mahdolliset virheet ennen varsinaiseen tietokantaan siirtämistä.

3.3.2 Jatkuva ajantasaistus

Jatkuvassa ajantasaistuksessa päivitetään tiestö ja rakennukset ajantasaiseksi sitä mukaan mitä ne valmistuvat. Tiestö ja rakennukset pyritään mittaamaan mahdollisemman nopeasti niiden valmistuttua ja aineistoa kerätään niin kunnilta itseltään, DIGIROAD-aineistona tai sitten maanmittaustoimiston omana mittauksena. DIGIROAD on tiehallinnon ylläpitämä Suomen kattava tie- ja katutietojärjestelmä. Kunnat lisäävät ominaisuustietoa tiestön osalta DIGIROAD-järjestelmään ja tiehallinto ja maanmittauslaitos ovat pääsääntöisesti tuottaneet geometrian tiestölle. Maanmittauslaitos myös ylläpitää osoiterekisteriä. /16,s.128-130./

Maanmittaustoimistot mittaavat omien toimialueiden tiestöä sitä mukaa, kun ne ovat valmistuneet tai ns. ajokelpoisia. Tämä kiireys sen takia, että pelastuslaitokset tarvitsevat ajantasaiset tiestö- ja reittikartat osoitetietoineen. Tiestö mitataan tienkeskiviivan mukaan ja samaan aikaan kerätään ominaisuustieto tiestöstä. Mittaus suoritetaan GEO XT-laitteella, johon on mittaustarkkuuden lisäämiseksi, kiinnitetty ulkopuolinen vastaanotin GPS-signaalille. Vastaanotin kiinnitetään autonkatolle. Tiestöä mitatessa valitaan oikea kohdeluokka esimerkiksi autotie I, ajotie yms. ja aloitetaan mittaus, jolloin ohjelma mittaa automaattisesti pisteitä auton liikkuesssa. Kaarroissa pitää manuaalisesti lisätä muutama lisäpiste, jotta tie saa oikeanlaisen geometriamuodon. Ajaessa tulee ottaa huomioon vastaanottimen sijainti katolla ja ajaa tien oletettua keskiviivaa pitkin. Mittauksessa tallennetaan vain sijaintitieto, ei korkeutta. Korkeus lasketaan tiestölle myöhemmin korkeusmallista. /17/

Mittaus voidaan tallentaa suoraan GEO XT-laitteeseen tai kannettavaan tietokoneeseen kaapeleiden avulla. Pelkästään GEO XT-laitteella mittaamalla käytetään Terasync-ohjelmistoa, jossa mittaustulokset tallennetaan Shape-muotoon. Aineistoa käsitellään 3D-Win-ohjelmalla, jonka vuoksi yleensä mittaus suoritetaan GEO XT-laitteella, johon on kytketty kannettava tietokone 3D-Win-ohjelmistolla. Näin mittausaineisto voidaan käsitellä yhtä aikaa mittauksen kanssa. Mittausalueesta tuodaan rasterikartta taustalle, jolloin saadaan yleiskuva alueesta ja nähdään, miten uusi mitattuaineisto sijoittuu muihin kohteisiin nähden. Mitattaessa peitteisillä alueilla, joissa on

paljon kasvillisuutta ja rakennuksia, tulee mittajaan kiinnittää huomiota GEO XT-laitteen sijaintitarkkuuteen sekä satelliittigeometriaan. Kun tiestön mittaus on suoritettu loppuun, käydään vielä mitattu tiestö läpi ja poistetaan virhe- ja hajapisteet ja lisätään tarvittaessa lisää pisteitä. /18/

Rakennuksien tiedot saadaan väestörekisterikeskuksen rakennus- ja huoneistorekisteristä. Kunnat ilmoittavat valmistuneista rakennuksista rekisteriin koordinaattitiedolla ja ominaisuustietona tallennetaan rakennuksen käyttötarkoitus ja kerroslukumäärä. Maanmittauslaitos päivittää tietokantaa jatkuvassa ajantasaistuksessa. Rakennuksesta mitataan rakennuksen nurkat ja lisätään ominaisuustiedot, joista maanmittauslaitoksella tulee lisäksi osoitetieto, joka on tärkeä etenkin pelastuslaitoksen tarpeisiin. /16,s.131-132./

4 LASERAINEISTON HYÖDYNTÄMINEN MAASTO- JA RAJATIEDON TUOTANNOSSA

Tässä kappaleessa käsitellään tarkemmin laserkeilausaineiston hyödyntämistä maanmittauslaitoksen määräaikaisessa ajantasaistuksessa. Tarkoituksena on tuoda esille laserkeilausaineiston mahdollisia hyötyjä kohteiden tulkinnessa ja päivittämisessä maastotietokantaan. Lopputuloksissa otan myös kantaa siihen, missä vaiheessa tuotantoa voitaisiin käyttää hyödyksi korkeusmallia sekä pisteaineistoa.

Osa käsiteltävistä menetelmistä sovelletaan jo määräaikaisessa ajantasaistuksessa. Omat havainnot ja menetelmät perustuvat harjoittelujaksooni Seinäjoen maanmittaus-toimistolla vuosina 2010 ja 2011. Työalueina olivat Etelä-Pohjanmaan eri määräaikaiset sekä KM-2:n karttalehdet, ja varsinaisten töiden ohella tein opinnäytetyöhön liittyviä havaintoja ja tarkasteluja EspaCity-, EspaEngine- sekä JAKO/MTJ-ohjelmilla.

Työalueet olivat pääsääntöisesti haja-asutus- sekä taajama-alueita. Alueina tämän tutkielman kannalta ne olivat sekä hyviä että huonoja. Hyviä siinä mielessä, että esimerkiksi rakennukset olivat peitteisillä alueilla, jolloin pääsin tarkastelemaan niiden näkyvyyttä pistetiheyden näkökulmasta. Huonoja alueita ne olivat siinä mielessä, että en löytänyt montaa samanlaista kohdetta, joita olisin voinut verrata keskenään esimerkiksi pistetiheyden kannalta. Monet havainnot ovat pelkästään yksittäisten kohteiden tulkintaa.

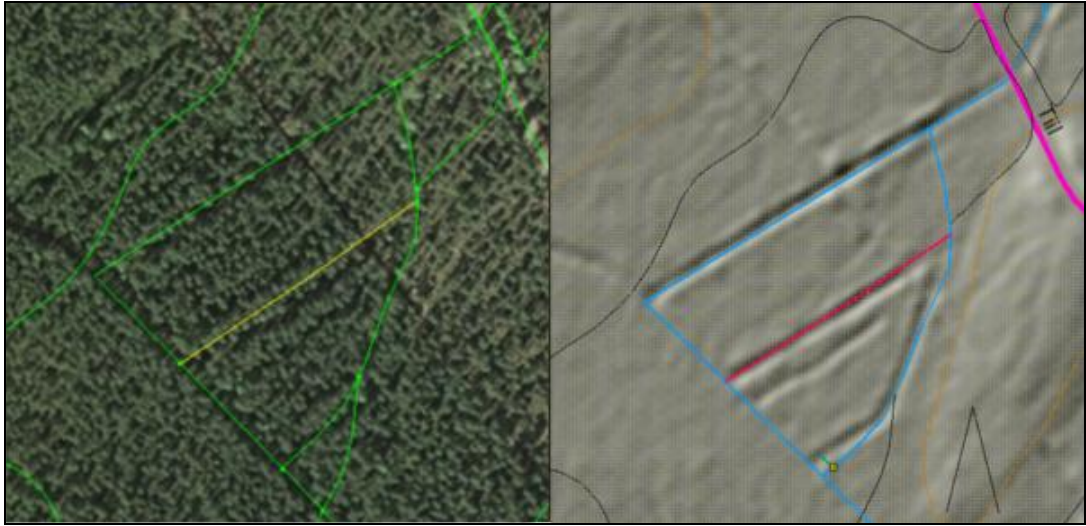
Lähtökohtana pidin laseraineiston hyödyntämisessä sitä, mitä aineistosta voidaan konkreettisesti havaita ja tulkita maastotietokannan kohteiksi. Myös sijaintitarkkuus tarvitsi tutkimista etenkin pienten maastokohteiden kannalta. Näitä asioita myös käsitellään tulevissa kappaleissa. Ensimmäisenä tutustuin visualisointikuvan käyttöön, jonka tuoma hyöty etenkin ojien ajantasaistuksessa on merkittävä, mutta sillä voidaan käytännössä toimia vain maanpinnan tasolla. Pisteaineistosta taas voidaan havaita kaikki maanpinnan yläpuolella olevat kohteet, kuten rakennukset.

Aikaisemmassa kappaleessa mainitut tarkkuusvaatimukset mm. tiestölle ja rakennuksille saavutetaan stereotyöasemilla tehdyllä ajantasaistamisella. Tämä kuitenkin edellyttää esteetöntä näköyhteyttä kohteeseen. Metsien ja peitteisten alueiden alla olevat kohteet on mahdotonta havaita ja päivittää maastotietokantaan pelkästään stereonäkymästä. Maastotarkistuksen yhteydessä nämä epäselvät kohteet ja alueet kumminkin tarkistetaan. Tässä yhteydessä pistepilvestä voi olla apua, etenkin rakennusten tarkastuksen suhteen.

Seuraavissa kappaleissa käsittelen visualisointi- ja DEM-kuvan käyttöä sekä esimerkitapauksina pistepilven avulla digitoituja rakennuksia. Pistepilven tarkkuuteen liittyen suoritin myös pienen mittauksen, jossa tutkin pienintä yksittäistä kohdetta, mitä voidaan mielestäni havaita pistepilvestä säännöllisesti. Isot kivet, noin 2 metriä halkaisijaltaan erottuvat vielä pisteaineistosta ja suoritin heinäkuussa 2011 mittauksen tähän liittyen. Tästä aiheesta lisää kappaleessa pistepilven hyödyntäminen.

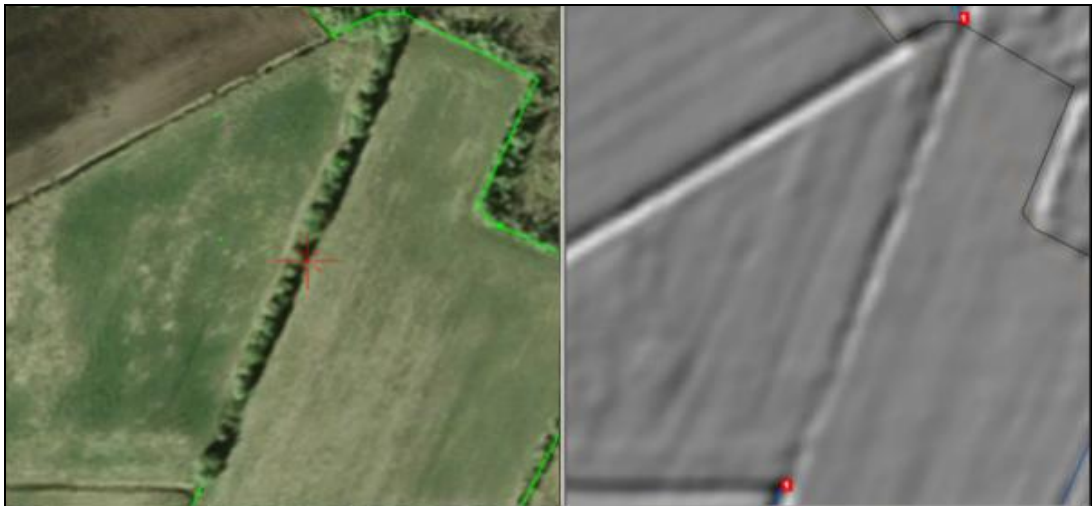
4.1 DEM- ja visualisointikuvan hyödyntäminen

Kuten aikaisemmin olen maininnut, korkeusmallin visualisointikuvaa käytetään määrälläisessä ajantasaistuksessa jo aktiivisesti hyödyksi. Korkeusmallista tehdään harmaa värinen visualisointikuva EspaCity:llä, joka viedään JAKO/MTJ-ohjelmaan omaksi elementiksi. Kuvassa 19 on näkyvillä vasemmalla EspaCity:n ilmakehä ja oikealla JAKO/MTJ-ohjelmaan siirretty visualisointikuva korkeusmallista.



KUVA 19. Visualisointikuva päivittämisen apuna

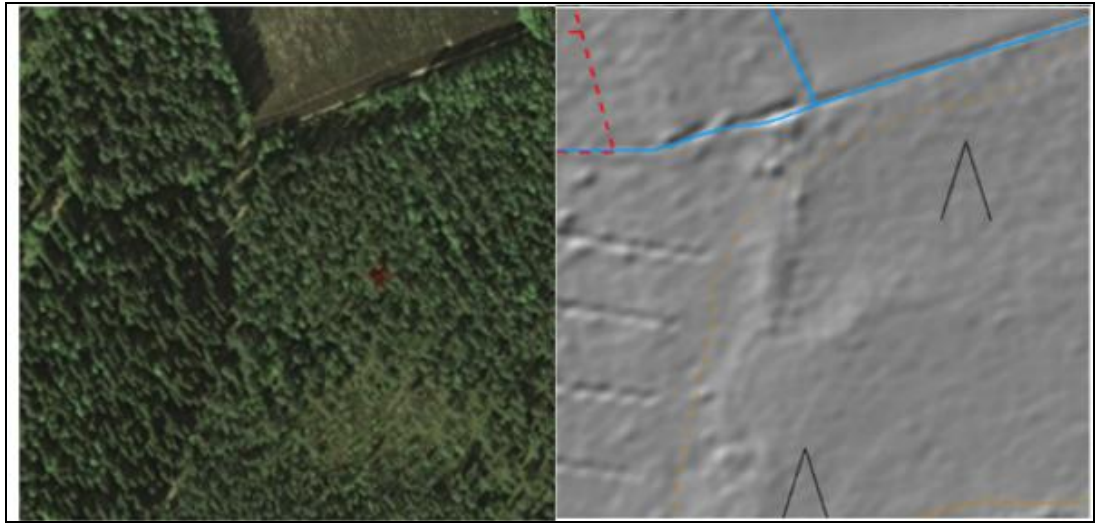
Visualisointikuva orientoidaan karttalehden kulmanurkkien avulla, ja kuten kuvasta 19 ja 20 näkee, varjoisilla ja peitteisillä alueilla visualisointikuvasta on merkittävästi hyötyä. Visualisointikuvasta näkyy varsin selvästi jatkuvat kohteet, kuten jyrkät maastonmuodot, ojat ja tiet. Ojien ajantasaistuksessa tärkeintä on digitoida ne ojat, jotka ovat veden virtauksen kannalta oleellisemmat.



KUVA 20. Kasvillisuuden peittämä oja

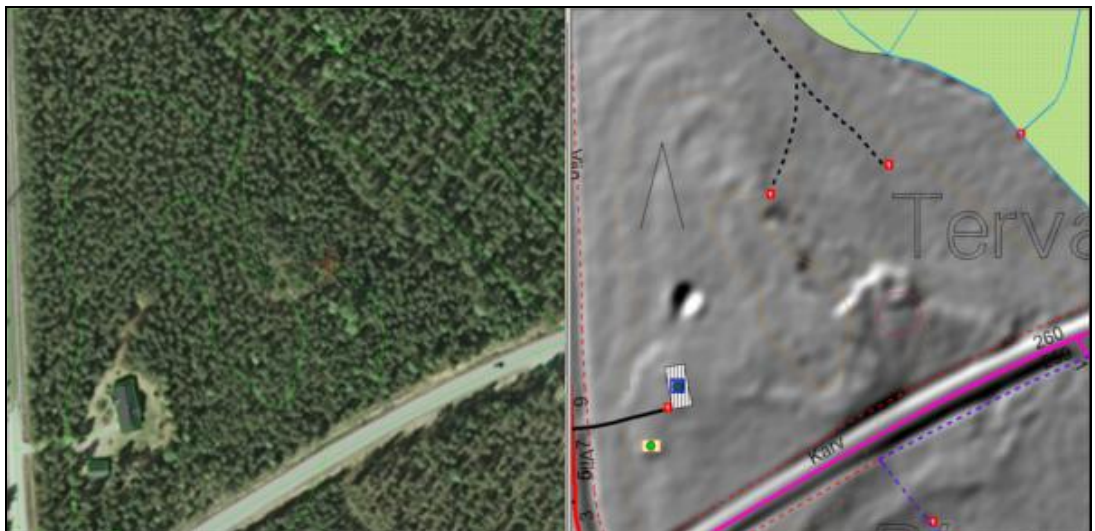
Tiestö erottuu vain niissä tapauksissa, kun se on korotettu tai ojitettu. Esimerkiksi kuvassa 21 stereokuvassa näkyvä ajopolku ei näy visualisointikuvassa. Ajopolun määrittely on traktorilla, mönkijällä tai maastoajoneuvolla kuljettava reitti /16,s.26/. Käytännössä tiestöstä voi havaita visualisointikuvassa vain ajotiestä parempiluokkaiset kohteet. Ajotiet ovat lähinnä yksikaistaisia, alle 3 metrin levyisiä ajoneuvolla ajet-

tavia teitä /16/. Ajotiestä leveämmät ja paremmin ns. pohjustetut tiet ovat autoteitä /16,s.31/.



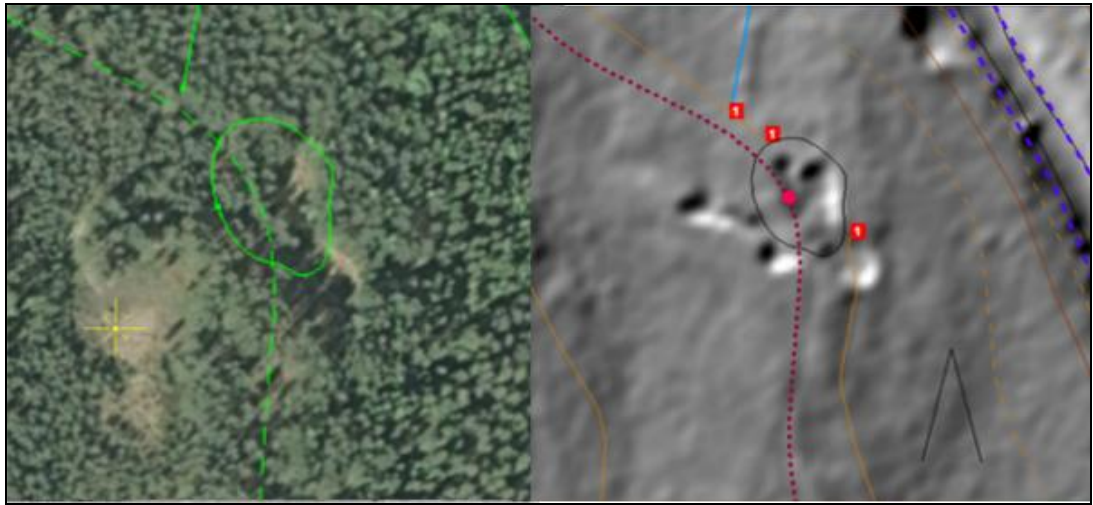
KUVA 21. Ajopolku ja visualisointikuva

Yksittäisten kohteiden osalta visualisointikuvassa voi nähdä myös peitteisillä alueilla mm. vesikuopat, tervahaudat, kivennäisalueet (maanottoalueet) etc. Kuvassa 22 näkyy visualisointikuvassa tervahauta ja siitä katsottuna länteen erottuu selvästi mahdollinen vesikuoppa. Tässä tapauksessa voidaan korjata tervahaudan paikkaa hiukan pohjoisemmaksi maastotietokannassa. Luokitukset kumminkin tarkistetaan maastotöiden yhteydessä. Huomaa myös selvästi erottuva autotie visualisointikuvan alaosassa.



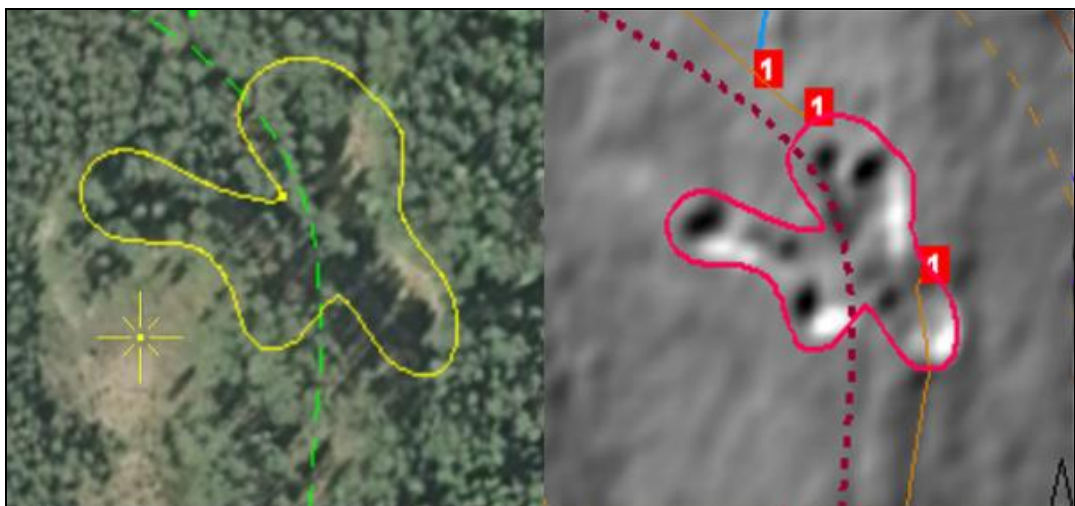
KUVA 22. Tervahauta ja mahdollinen vesikuoppa

Kuvassa 23 on maa-aineksenottoalue, joka on laajentunut viime ajantasaistuskerrasta. Stereokuvassa näkymä on myös osittain peitteinen. Varsinkin tällaisissa tapauksissa voidaan visualisointikuvan avulla digitoida kohde tarkemmin.



KUVA 23. Päivittämätön maa-aineksenottoalue

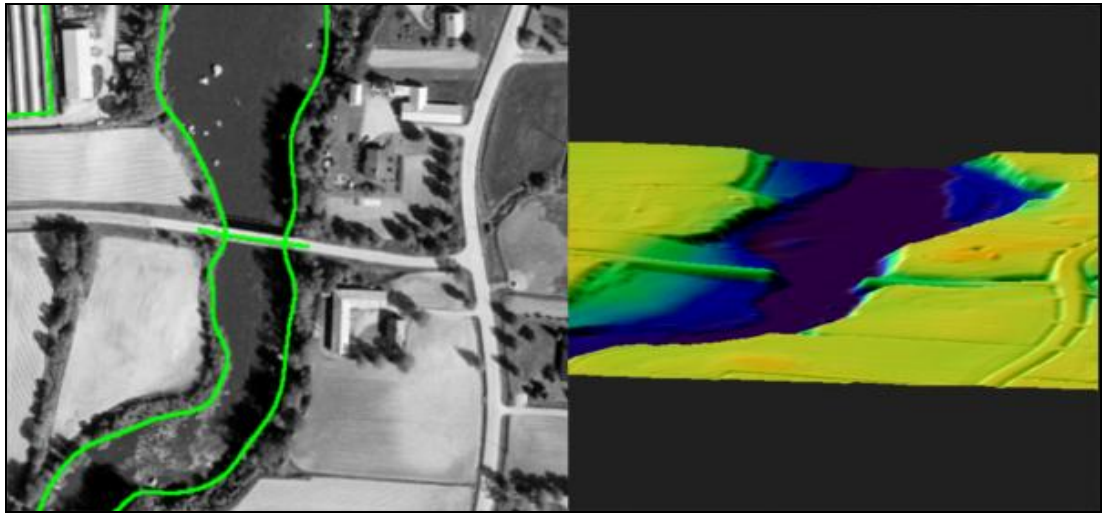
Maa-aineksenottoalueelle on määritetty 15 metrin tarkkuusluokka, johon päästään visualisointikuvan avulla vaivattomasti /27,s.17/. Kuvassa 24 olen visualisointikuvaa myötäillen muokannut alueen rajat uudestaan. Myös korkeuskäyrää täytyy hiukan lyhentää, jotta se ei ole monttuun nähden ns. ilmassa.



KUVA 24. Päivitetty maa-aineksenottoalue

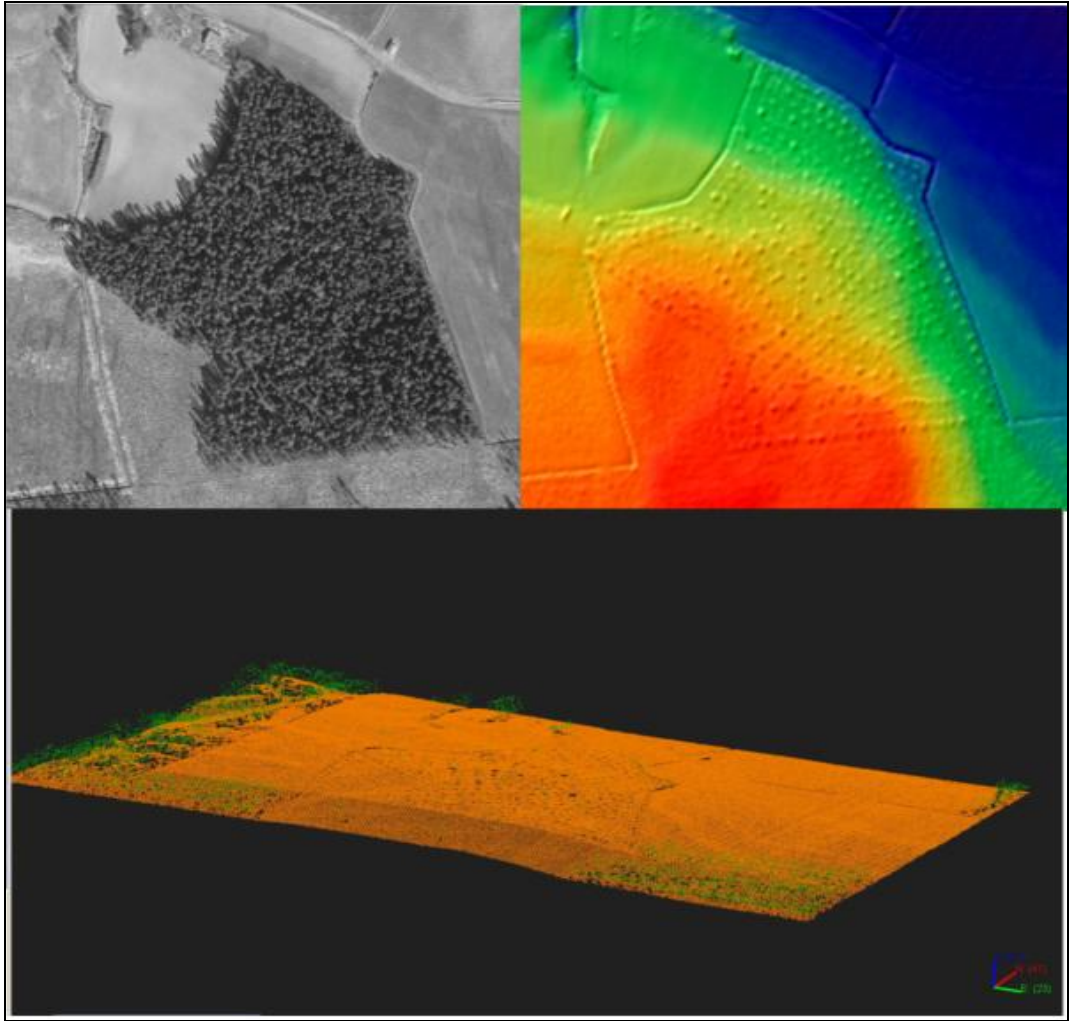
JAKO-ohjelman puolella visualisointikuvaa voidaan tarkastella vain ilmakuvaperspektiivistä, joten siitä kohteiden tarkempi havainnointi puuttuu. EspaEngine-ohjelmassa voidaan DEM-korkeusmallia tarkastella kolmiulotteisesti ja ns. liikkua

vapaasti karttalehdellä. Kuvassa 25 nähdään jokialue, josta on silta luokiteltu pois korkeusmallin takia. Ilman luokittelua ns. siltapadot katkaisevat joet. DEM-kuvassa näkyy myös selkeästi autotiet.



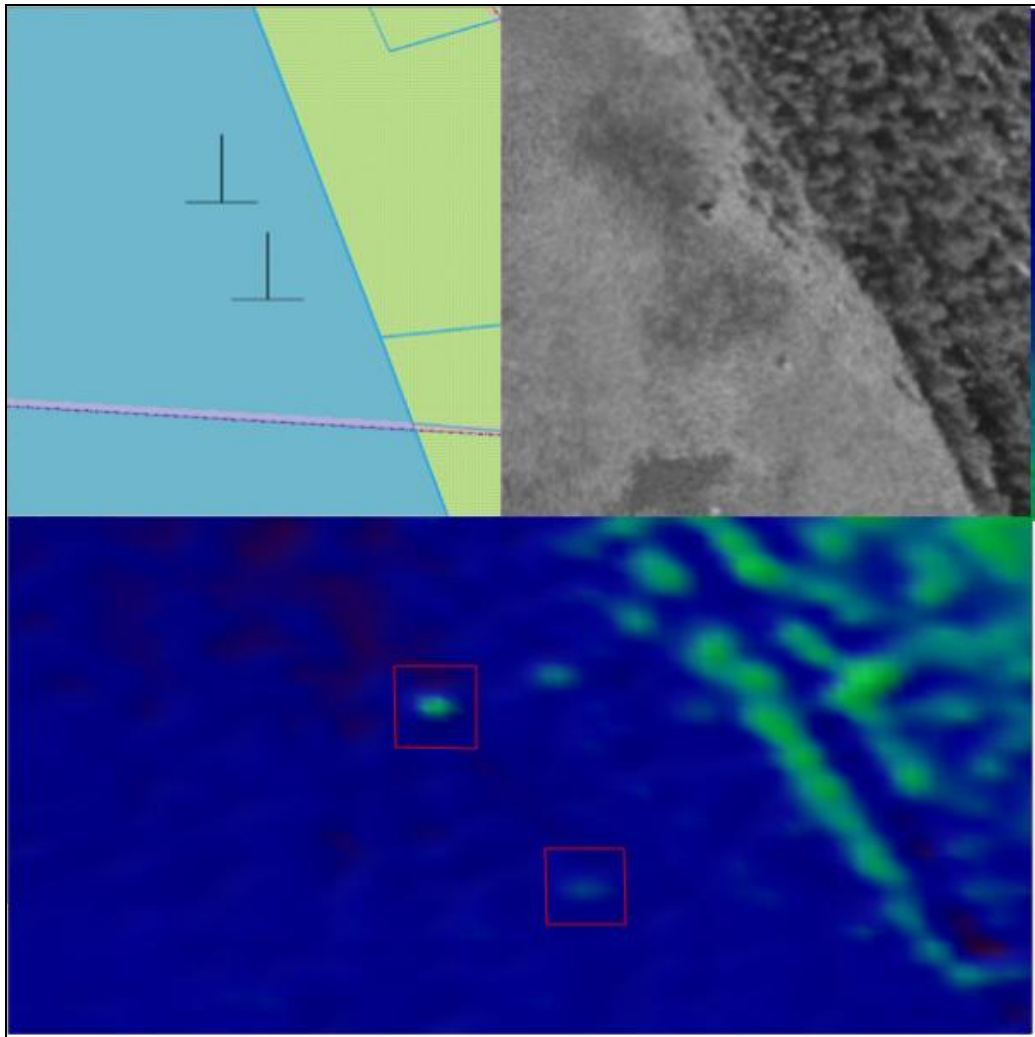
KUVA 25. Ilmakuva ja EspaEnginen DEM-kuva

Alueiden tulkinnassa DEM-kuvasta on myös hyötyä. Kuvassa 26 näkyy ilmakuvasa havumetsää, joka DEM-kuvassa näyttää pikemminkin pelkiltä kannoilta enää. Laserkeilausaineisto on tässä tapauksessa uudempi, joten sen tuomaan vihjetietoon voidaan enemmän luottaa. Pistepilvikuva myös puoltaa enemmän sitä, että alueelle olisi suoritettu hakkuu.



KUVA 26. DEM-kuva alueen tulkinnessa

DEM- ja visualisointikuvasta erottuu jatkuvat kohteet hyvin, mutta EspaEnginen DEM-kuva on monipuolisempi sen vapaan tarkastelun perusteella. Vapaalla alueen tarkastelulla päästään jo osittain ”maastoon” ja voidaan erottaa korkeuseroja sekä mitasuhteita paremmin kuin pelkässä visualisointikuvassa. Pieniäkin kohteita voidaan havaita DEM-kuvasta ja kuvassa 27 on suolta luokiteltu kaksi kiveä osittain maanpinnaksi.



KUVA 27. DEM-kuva ja kivet

Koska DEM- ja visualisointikuvan tarkoituksena on mallintaa vain maanpintaluokituksen luokiteltuja pisteitä, ei korkeusmalleista voida havaita pieniä yksittäisiä kohteita, muuta kuin siinä tapauksessa, jos kohteen pisteitä on luokiteltu maanpinnaksi tai korkeusmallin laskentaan on otettu mukaan muitakin luokkia, kuin pelkkä maanpinta. Yleensä automaattisen pisteluokituksen tuloksena joitakin pisteitä luokituu maanpinnaksi, jos paluukaiku on viimeinen tai tarpeeksi voimakas. Pelkästään DEM- tai visualisointikuvalla ei voida tarpeeksi hyvin erottaa näin pieniä kohteita ja tulkita niitä maastokohteiksi.

Yhteenvedona visualisointikuvan hyödyntämisestä on se, että sen hyödyt liittyvät ojiin, tiestön, korkeuserojen sekä laajojen ja jatkuvien kohteiden tulkintaan. Korkeusmallia voi käyttää varsinkin sijaintitarkkuuksien päivittämisessä esimerkiksi ojille ja muille selkeille maastonmuodoille. Korkeusmallista havaittavien kohteiden sijaintitarkkuus määräytyy pistesijaintitarkkuuden mukaan ja näin ollen voidaan päästä n. 1

metrin tarkkuuteen digitoimalla visualisointikuvan mukaan. Erittäin peitteisillä alueilla voi esiintyä katkonaisuutta ja epäselvyyttä myös korkeusmallissa. Esimerkiksi kuvassa 18 ilmakuvalla näkyy selvästi luoteesta kaakkoon suuntautuva oja, joka epäselvästi näkyy visualisointikuvassa. Tämä voi johtua keilaushetkellä ojassa olevasta lumesta, vedestä, aluskasvillisuudesta tai muusta lasersäteen kulkua häiritsevistä tekijästä. Visualisointikuvaa tuleekin käyttää silloin, kun ilmakuvulta ei näy kohdetta tai se on epäselvä.

DEM-kuvaa voidaan mielestäni käyttää myös tiestön keskiviivan tarkastukseen, kun tiestö siirretään EspaEngineeseen. Varsinkin maastotarkastuksessa lisätyn tien osalta voidaan katsoa sen sijaintitarkkuus vertaamalla vektoria DEM-kuvaan ja pistepilveen. Esimerkiksi pitäisi katsoa että vektori asettuu ”paljaalle” maanpinnalle eikä metsään. Tein harjoittelujaksoni lopulla muutaman kokeilun ja irrotin JAKO/MTJ-ohjelmasta tiestöt *shape*-formaattissa ja toin ne EspaEngineeseen. Kaikki näytti hyvältä yläperspektiiviltä, mutta jostain syystä korkeuksia ei tiestölle tullut, joten DEM-kuva ”kellui” tiestön yläpuolella DEM-kuvaa pyörittäessä. Toinen vaihtoehto olisi tuoda tiestön vektorit EspaCityyn ja tallentaa ne omaksi tasokseen ja viedä tätä kautta vektorit EspaEngineeseen. Harjoittelujaksoni loppui kuitenkin liian aikaisin, jotta tähän asiaan olisin saanut lisävarmuutta. Joten, DEM-kuvan hyödyntäminen EspaEnginen puolella jää vielä avoimeksi.

4.2 Pistepilven hyödyntäminen

Korkeusmallin kannalta oleellisten ryhmien; vesistöjen, siltojen sekä maanpinnan luokittelun jälkeen voidaan tarkastella pistepilveä vielä määräaikaiseen ajantasaistukseen liittyen yksittäisten kohteiden osalta. Pistepilvi auttaa hahmottamaan mm. rakennuksia, tiestöä, jyrkänteitä, oja, puuston pituutta (varvikot, uudet hakkuut etc.) sekä sähkölinjoja.

Suoritin heinäkuun lopulla 2011 maastotarkistusten yhteydessä mittauksen Kauhavan Huhmarkosken lähetyvillä, jonka tarkoituksena oli selvittää pistepilven tarkkuutta havainnoida pientä epäsymmetristä kohdetta. Selvyyttä täytyi myös saada siihen, että voidaanko pistepilveä käyttää apuna tällaisen kohteen sijainnin päivittämisessä tai lisäämisessä. Sopivia kohteita etsin Huhmarkosken alueelta ja muutaman liian peittei-

sen kiven jälkeen löytyi sopiva kivi, joka voitiin ”tarkasti” mitata GPS-laitteella (liite 2).

Mittaus suoritettiin 27. heinäkuuta 2011 VRS-verkossa (*virtual reference station*) Trimblen R-8 GNSS-laitteella. VRS-verkossa mittaaminen mahdollistaa senttimetrien tarkkuuden sijainnissa ja tavoitteena oli saada mahdollisemman tarkat koordinaatit keskeltä kiveä. Mittasin kolme uudelleen alustettua mittausta kiven keskeltä n. klo 11.35 jälkeen. Jokaisessa uudessa alustuksessa mittauslaite hakee uudestaan yhteyden satelliitteihin ja näin ollen voidaan havaita virheet yksittäisessä mittauksessa, jotka johtuvat esimerkiksi vähäisestä satelliittien määrästä tai niiden huonoista lentoradoista vastaanottimeen nähden. GPS-lentoratatiedot lupailivat Huhmarkosken etelä-puolelle vähäisiä häiriöitä peitteettömillä alueilla, ja liitteessä 1 on esitetty GPS- ja GLONASS-satelliittien tiedot puoleen päivään asti. Tärkeintä mittauksen kannalta oli DOP-arvojen (*delution of precision*) vähäisyys ja mittauksen aikana päästiin alle kahden kaikissa DOP-arvoissa.

TAULUKKO 2 Mittaustulokset

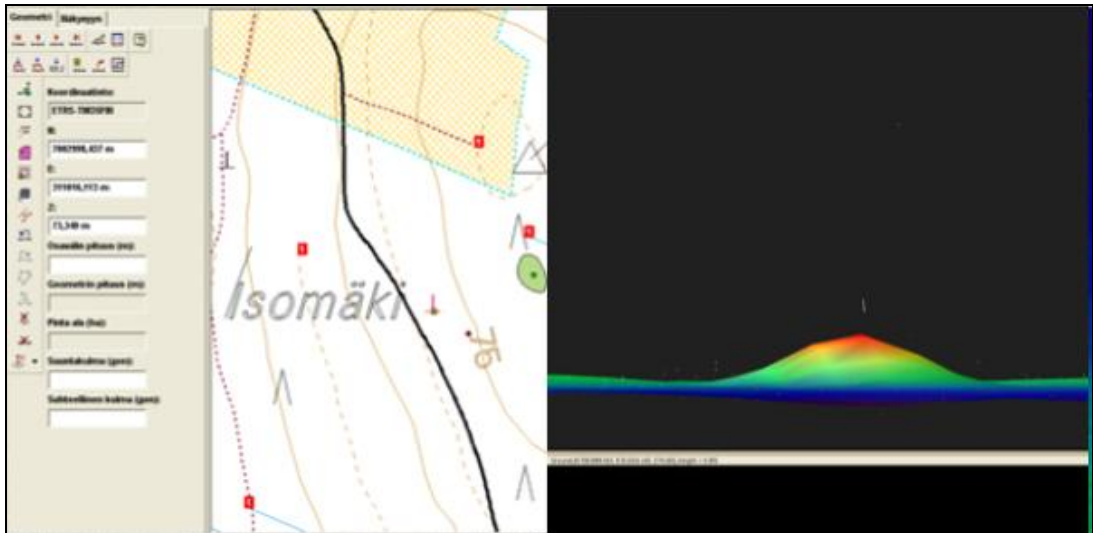
ETRS-TM35FIN	POHJOINEN (m)	ITÄINEN (m)	KORKEUS (m)
GPS-MITTAUKSET	7002998,898	311016,382	74,695
	7002998,879	311016,379	74,696
	7002998,869	311016,391	74,705
KESKIARVO	7002998,882	311016,384	74,699
KESKIVIRHE +/-	0,009	0,004	0,003
JAKO/MTJ	7002998,437	311016,113	73,349
ESPAENGINE	7002999,015	311016,145	74,681
	SIJAINTIERO	KORKEUSERO	
GPS VS ESPAENGINE	0,274	0,018	
GPS VS JAKO/MTJ	0,521	1,350	
E.ENGINE VS JAKO/MTJ	0,579	1,332	

Taulukossa 2 on esitetty kiveä koskevat mittaukset. Keskiarvo kuvastaa kiven keskustan ”tarkinta” sijaintia ja keskiarvon keskivirheestä voidaan päätellä, että mittaus oli onnistunut ja luotettava siltä osin, että sijaintivirhettä kolmen alustuksen yhteydessä ei juuri ollut. Keskiarvon keskivirheen laskentaan on käytetty keskihajontaa, joka näkyy kaavassa 4. Kiven keskusta on minun oma tulkinta mittaushetkellä, joten todellinen keskusta voi olla mitatuista arvoista 20cm:n säteellä.

$$\frac{\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}}}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

\bar{x} = Mittauksien keskiarvo, n = Mittauksien lukumäärä

Taulukossa 2 näkyy myös JAKO/MTJ:n koordinaatit kiville sekä EspaEnginen piste-pilven mukaan otetut koordinaatit kiville. Itse en kiveä nähnyt suoraan stereokuvasta, joten JAKO/MTJ:n tiedot ovat aikaisemmalta ajantasaistuskerralta. Kivi on mitattu silloin todennäköisemmin vanhemmalta stereokuvaalta, koska korkeuspoikkeama GPS-laitteen antamaan korkeuteen on 1,350 metriä. EspaEnginen puolelta otin koordinaatit pisteestä, joka parhaiten kuvaa oletetun kiven keskustaa. Kuvassa 28 näkyy JAKO/MTJ:n sekä EspaEnginen näkymät kivistä.

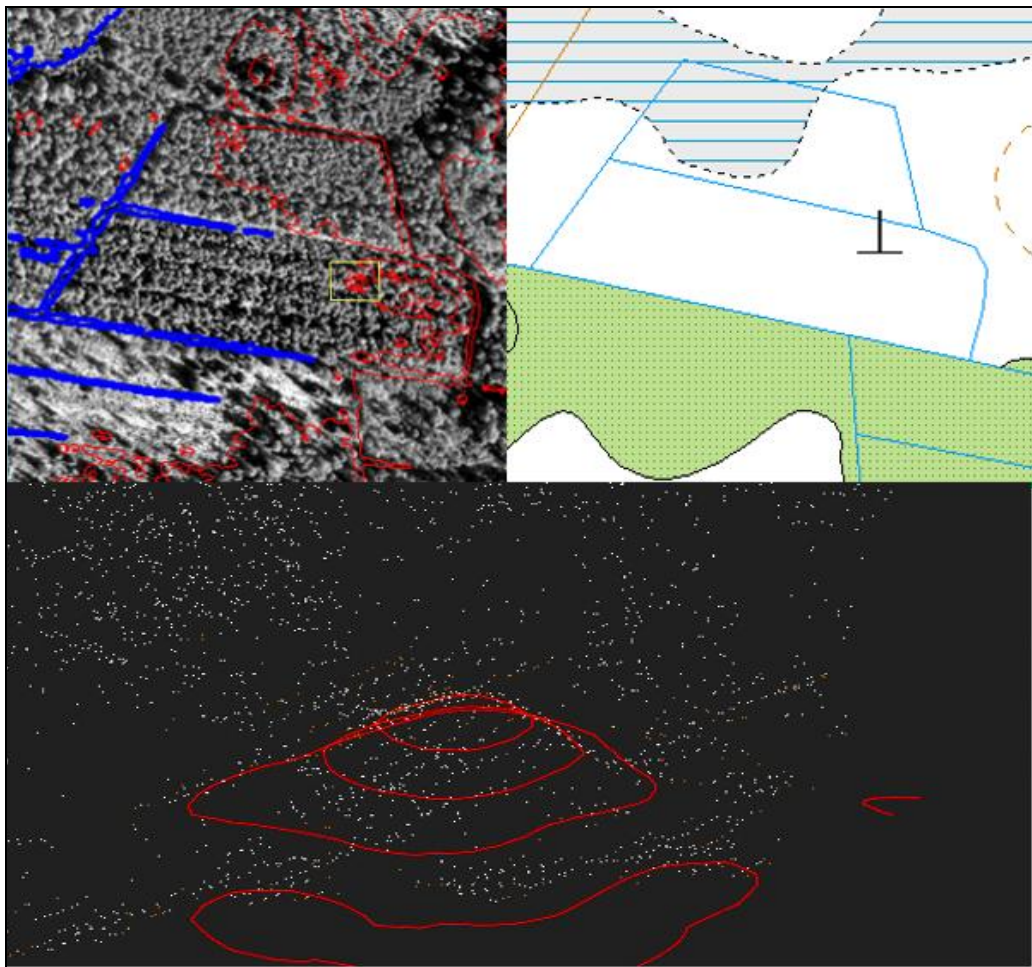


KUVA 28. JAKO/MTJ:n ja EspaEnginen tiedot kivistä

Vaikka erot GPS-mittauksen ja piste-pilven välillä ovat tässä kokeessa melko pienet ja paremmat mitä stereomittauksessa, niin pelkästään tämän tapauksen perusteella ei voi tehdä johtopäätöstä siitä, että laserkeilaamalla saadaan tarkempia tuloksia, kuin mitä stereo- tai ilmakuvilta digitoiden. Mutta tämä tapaus antaa viitteitä siitä, että piste-pilveä voidaan käyttää hyödyksi peitteisten ja epäsymmetristen kohteiden päivittämisessä maastotietokantaan, jos kohteessa on tarpeeksi pisteitä mallintamaan sitä. Tarkkuus piste-pilven avulla päivittämisessä olisi melkein sama sijainnissa, kuin mitä se on peitteettömällä alueella stereotyöskentelyssä. Kiveä ei tässä tapauksessa ympäröinyt tiheä aluskasvillisuus, mitä voidaan nähdä liitteen 2 alakuvasta, joten kivi tuli hyvin keilatua. Näin ollen korkeuskin tuli lähelle ns. todellisuutta.

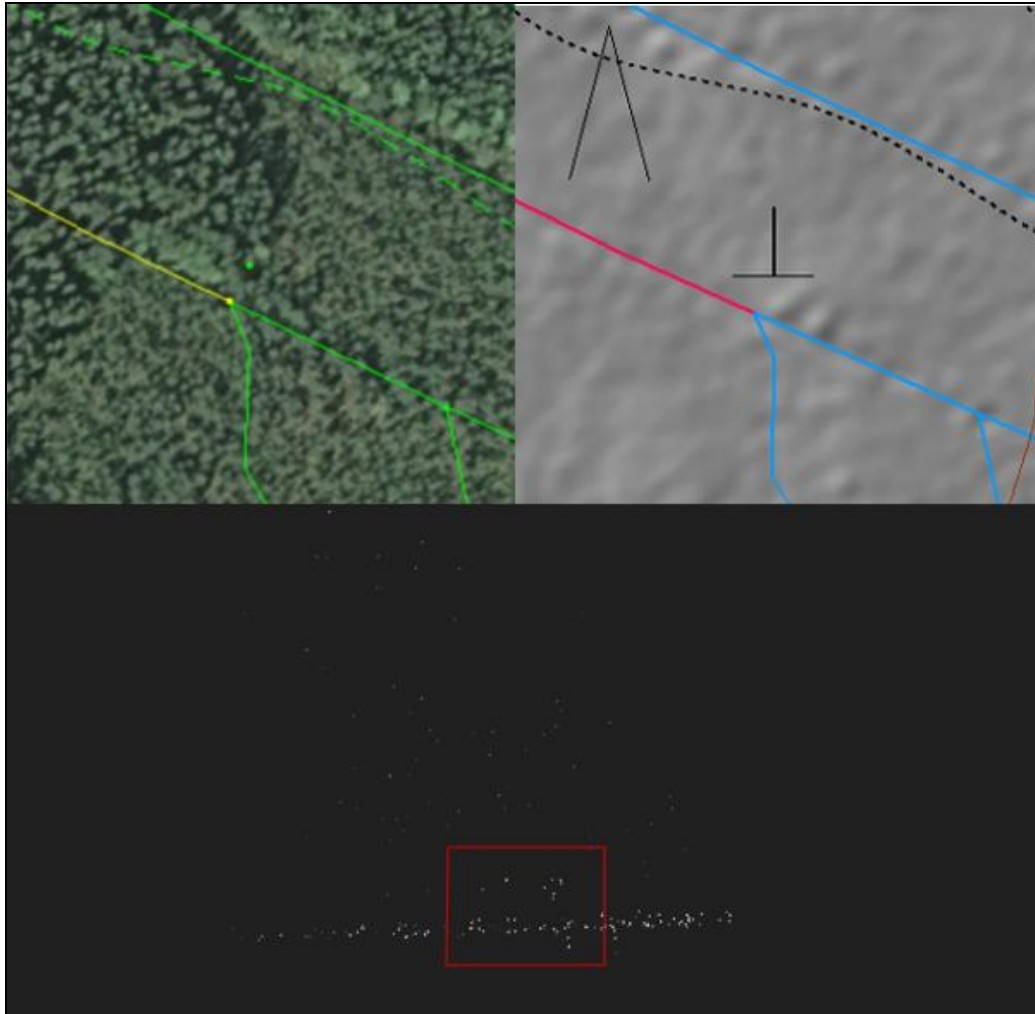
Kivet erottuvat omien kokemusteni mukaan erittäin usein pisteaineistosta sekä myös korkeusmallista. Kuvassa 29 näkyy selvästi pisteaineistosta ja korkeuskäyristä erottuva ”kasa”, joka on todennäköisemmin maastotietokannankin mukaan kivi. Kiven päälle on luokiteltu maanpintapisteitä, jolloin korkeusmalli nousee ns. kasaksi pisteiden mukaan. Vastaavissa näin selvissä tilanteissa mielestäni voidaan päivittää kiven sijaintia, jos se on yli 5 metrin päässä pisteaineistoon nähden.

Maastotietokannassa kivi kohdeluokalle on määritelty 15 metrin sijaintitarkkuus, mihin käytännössä päästään peitteisillä alueilla GPS-laitteellakin, jos sellainen sattuu kartoittajan mukana olemaan. Mutta vertailemalla mitattuja tai karttaan pelkästään merkittyjä tietoja pisteaineiston kanssa, voidaan mille tahansa kohteelle saada tarkempi sijainti, jos se näkyy pistepilvestä.



KUVA 29. Maanpintaluokkaan luokitnutun kivi

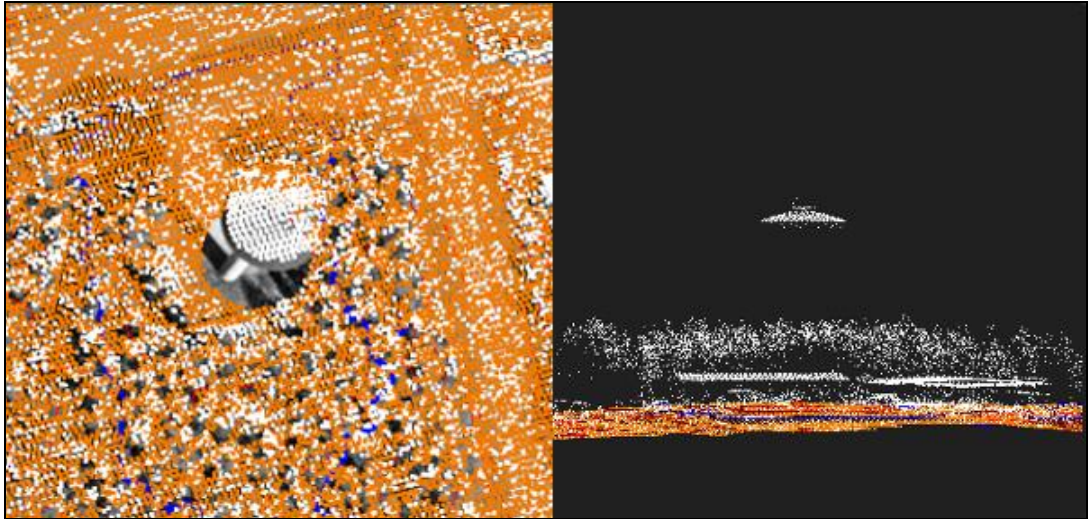
Erittäin kasvillisuuden peittämällä kivillä ei välttämättä luokituta yhtäkään pistettä maanpinnaksi ja ainut mitä näkyy, on vain epämääräinen *unclassified*-luokan pistepilvi. Tällöin voidaan katsoa intensiteettikuvaa, jossa voidaan erottaa voimakkaat paluukaiut. Kuvassa 30 näkyy alhaalla intensiteettikuva, josta voidaan havaita maanpinnan ja voimakkaan paluukaiun yhteys. Myös kuvassa oletettu kivikin on saanut suuremman intensiteettiluokituksen kuin yllä oleva kasvillisuus. Intensiteetti-arvot voivat näin ollen myös auttaa kohteen tulkinnessa.



KUVA 30. Intensiteettinäkö ja EspaEngine

Symmetriset kohteet, kuten rakennukset, näkyvät selvästi pisteaineistosta, jos katosta on paluukaikuja tullut. Liian jyrkät ja heijastavat kattopinnat voivat heijastaa paluukaiun valodiodin ulottumattomiin, jolloin valodiodi ei aktivoitu eikä pisteen rekisteröintiä tapahdu. Myös erittäin tummat pinnat voivat jäädä paluukaiuttomiksi, jolloin valoa ei heijastu tarpeeksi kohteesta, jotta se aktivoisi valodiodin. Kuvassa 31 nähdään vesitorninhuippu selvästi pistepilvestä, mutta itse runko on jäänyt pimentoon.

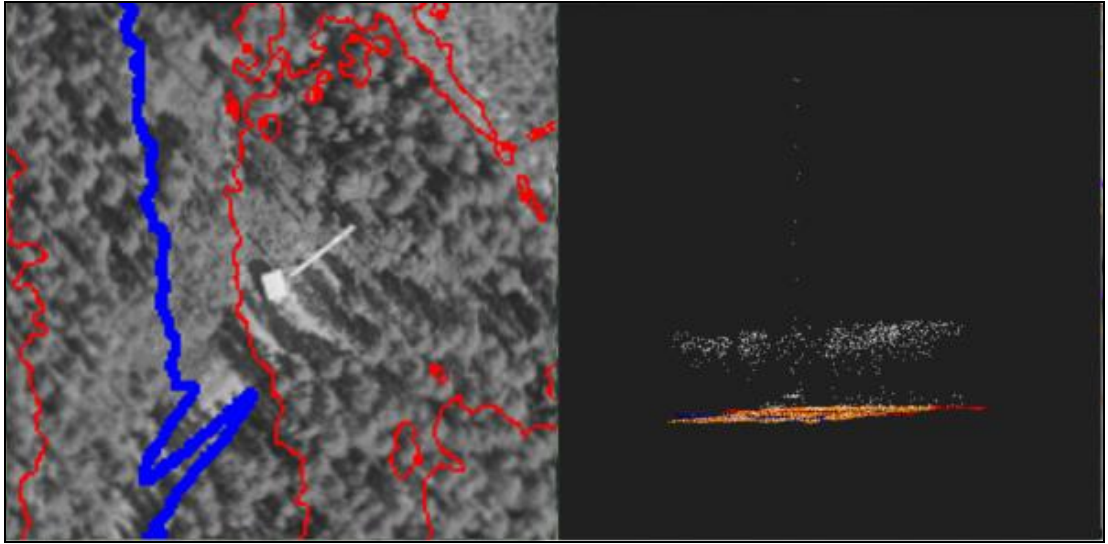
Vasemmalla olevasta kuvasta näkee myös sen, että maanpintapisteisiin jää selvä ”aukko” kattorakennelman mukaan. Eli, vaikka katto ei sisältäisi yhtäkään pistettä, voidaan silti erottaa esimerkiksi rakennus pisteaukon perusteella. Koska ainakaan vielä (2013 kevät) ei luokitella pistepilvestä rakennuksia omaan luokkaansa, näkyvät ne *unclassified*-luokassa toistaiseksi.



KUVA 31. Vesitorni

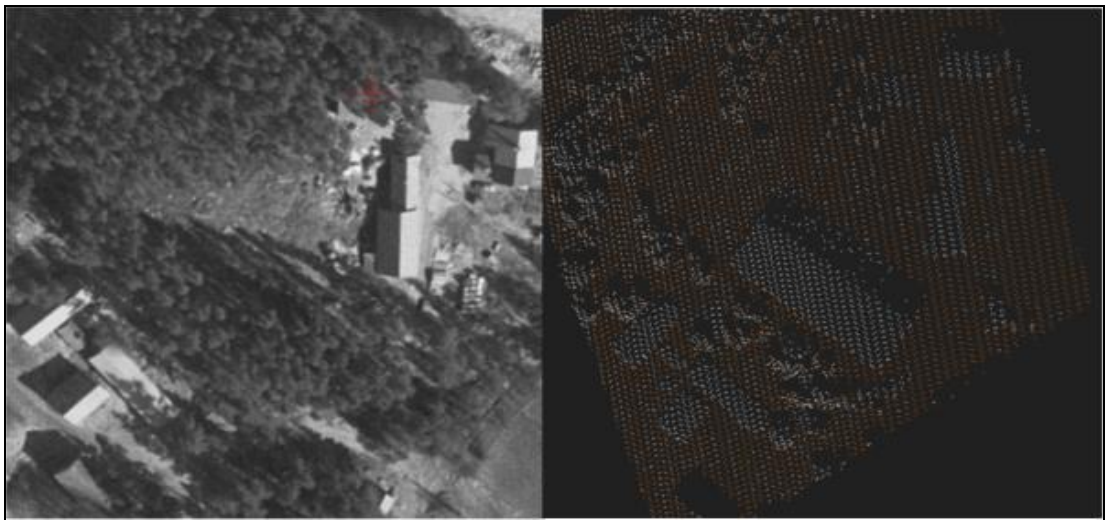
Myös sellaiset rakennelmat voivat näkyä pisteaineistosta, jotka eivät ole ns. kauttaaltaan yhtenäisiä. Kuvassa 32 näkyy radiomasto, joka on heijastunut harvinaisen hyvin. Rakennelman korkeutta on hankala sanoa, sillä korkeimmat pisteet eivät välttämättä ole heijastuneet maston päältä.

Omissa työalueissani ei pisteaineistossa näkynyt hirveän usein esimerkiksi sähkölinjatolppia vaan niitä linjassa esiintyi satunnaisesti. Yleensä niistä oli tullut vain yksi paaluukaiku ja eri kohdista runkoa. Tällaiset kapeat rakennelmat voivat tulla laserkeilatuksi joiltakin osin, mutta koin itse hankalaksi erottaa niitä pisteaineistosta. Koska työskentelyalueeni olivat haja-asutus- sekä taajama-alueita, olivat ne rakennuksien tulkinnan kannalta rajoittuneet lähinnä vain omakotitaloihin ja muihin vastaaviin rakennuksiin, joten esimerkiksi kaupungin katutasen tai kerrostalojen mallinnukseen ei ole tässä opinnäytetyössä esimerkkejä.



KUVA 32. Radiomasto

Kuvassa 33 näkee hyvin vanhemman stereokuvan ja ilmalaserkeilauksen välisen viijetietoeron. Maastotöiden yhteydessä havaittu rakennus näkyy myös ajantasaisemmassa pistepilvessä. Uuden rakennuksen toinen kattopuolisko ei ole kokonaisuudessa heijastunut laserkeilaimeen. Myös alhaalla vasemmassa kulmassa oleva rakennus ei ole saanut pisteitä. Todennäköisin syy on katon jyrkkä profiili, mutta jopa pisteaukon avulla voidaan digitoida rakennuksille niiden oletetun ulkoseinän äärioviiva.



KUVA 33. Stereokuva ja pistepilven uusi rakennus

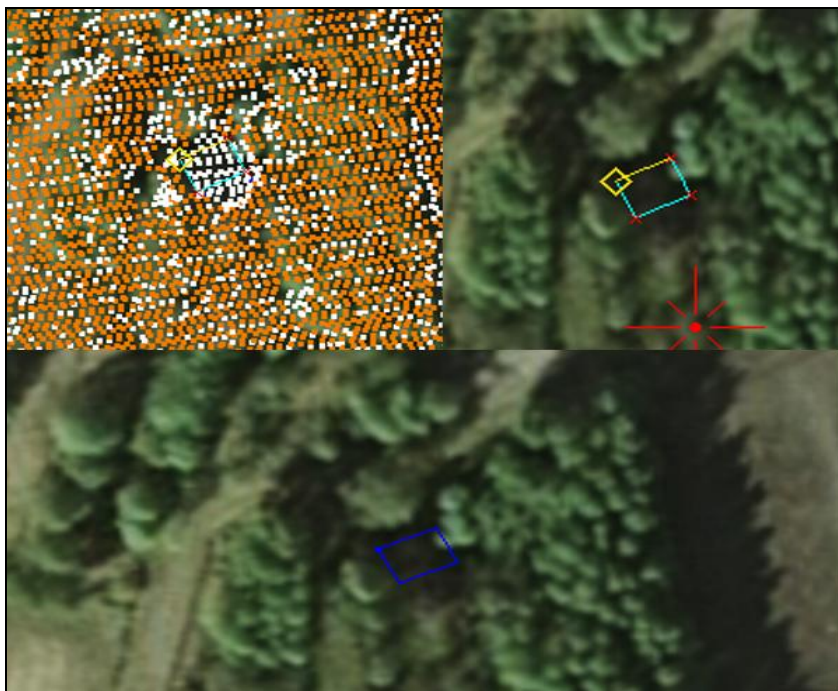
Rakennuksien digitointiin pistepilven avulla tein myös pieniä testejä karttalehdillä P4211A2 sekä P4211B3. Ohjelmat, joita käytin, olivat vuonna 2011 käytössä olleet versiot EspaCity-, EspaEngine- ja JAKO/MTJ-ohjelmista. Ensimmäisessä esimerkissäni digitoin maastotarkastuksen jälkeen rakennukset seuraavasti: Paikannetaan puut-

tuva rakennus stereokuvalta sekä pisteaineistosta ja yhdistetään EspaCity EspaEngineen. Tuodaan alueelta pisteet (*ground & unclassified*) EspaCityyn, kuten kuvassa 34 näkyy.



KUVA 34. Rakennuksen digitointi pistepilven avulla

EspaCityn puolella nauhatyökalulla digitoidaan suorakulmaisesti rakennukselle ääri-
viivat oletetun ulkoseinän mukaisesti (kuva 35). Otin tässä vaiheessa myös korkeuden
lähimmältä maanpintapisteeltä. Lopuksi suljetaan nauha ”sulje suorakulmaisesti” toi-
minnolla. Seuraavaksi suljetaan yhteys EspaEngineen ja otetaan yhteys JAKO/MTJ-
ohjelmaan ja digitoidaan nauhan mukaisesti kohde maastotietokantaan.



KUVA 35. Rakennuksen digitointia

Toisessa esimerkissä olen luokitellut katot omaksi luokakseen, jotta ne erottuvat paremmin muusta aineistosta. Kuvassa 36 stereokuvaalta rakennukset jäivät katveeseen ja pistepilveä kääntelemällä havaitsin ja luokittelin katot omaksi luokakseen pistepilvestä. Muuten digitointi tapahtui samalla tavalla, kuin aikaisemmassa esimerkissä. Ajallisesti muutaman kohteen digitointi pistepilven avulla ns. manuaalisesti ei vienyt kuin noin 15 minuuttia. Tähän vaikuttaa suuresti se, että maastotöiden jälkeen tietää mitä kohdetta pisteet esittävät sekä mitä luokkaa kohde on. Rakennukset on varsinkin helppo tunnistaa pistepilvestä, mutta luokka täytyy selvittää vielä maastotöissä.



KUVA 36. Puuttuvien rakennuksien katot luokiteltuna

Tietotaitoni EspaCity-, EspaEngine- ja JAKO/MTJ-ohjelmien käytössä rajoittuvat niihin toimintoihin, mitä käytetään KM-2:n ja määräaikaisen ajantasaistuksen tuotannossa. Esimerkiksi jos EspaCity-ohjelmalla digitoidut nauhat voidaan tallentaa ja siirtää yhtenä kokonaisuutena luokka kerrallaan JAKO/MTJ-ohjelmaan, niin näin saatai-

siin nopeammin suuret muutokset päivitettyä, jos päivitetään tietokantaa kuten esimerkeissäni.

Ilmakuvien ja stereokuvien avulla voidaan havaita yksittäisiä kohteita rakennuksista suuriin kiviinkin, mutta kasvillisuuden alta kohteita on lähes mahdotonta havaita ilma- ja stereokuvista. Maastotietokannan yksittäisiä kohdetietoja käyttämällä ja maastotarkistuksen havainnoilla saadaan apua taas pistepilven tulkintaan ja pistepilveä voidaan käyttää kohteen tarkemman sijaintitarkkuuden määrittämiseksi, etenkin kasvillisuuden peittämällä alueilla. EspaCitylle voidaan kumminkin tuoda pisteet, jotka kuvastavat kohdetta ja digitoida se nauhatoiminnon avulla maastotietokantaan.

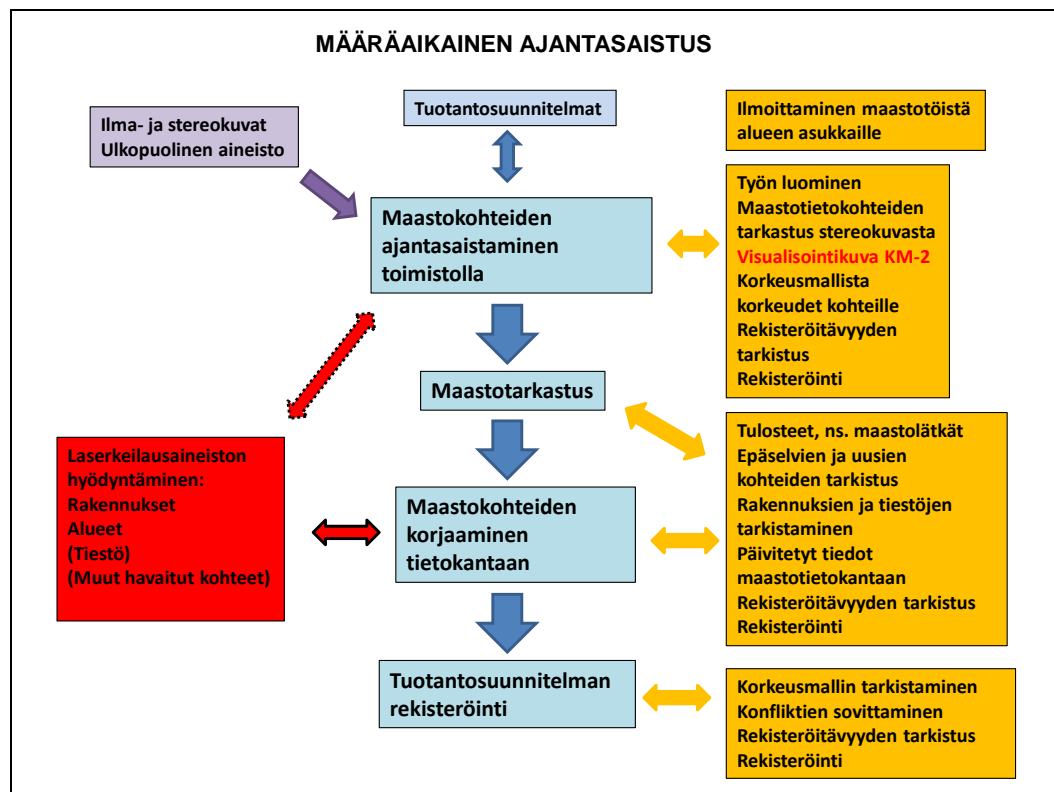
Rakennuksien mallintaminen ja varsinkin sen kattopisteiden luokittelu omaan luokkaansa, onnistuu myös automaattisella luokituksella. Kuten aikaisemmin mainitsin, maanmittauslaitos on aloittanut vuonna 2011 pilottityön, jonka tarkoituksena oli selvittää laserkeilausaineiston soveltuvuutta johtaa rakennuksille korkeudet /26/. Vuonna 2012 se saatiin päätökseen ja vaikka projekti ei kaikkia tavoitteita vielä täyttänyt, Ilmakuvakeskuksella on mahdollisuudet alkaa luokittelemaan automaattisesti pistepilvestä ne rakennukset omaan luokkaansa, jotka ovat saaneet tarpeeksi monta pistettä mallintamaan sitä. Tämä myös mahdollistaisi ajantasaistuksen kannalta merkittävän hyödyn, koska silloin voitaisiin tuoda EspaCity-ohjelmaan pelkästään rakennukset pistepilvestä ja katsoa onko muutoksia tai puutteita tietokannassa rakennuksien osalta.

5 POHDINTA

Mielestäni korkeusmallia sekä pistepilveä voidaan käyttää tukemaan jo nykyisiä maastotietokannan ajantasaistusmenetelmiä. Visualisointikuvan käyttö on ollut ensimmäinen hyöty laserkeilausaineiston soveltamisesta ajantasaistukseen, ja seuraavaksi voidaan pistepilvi ottaa laajemmin tähän tehtävään mukaan. Laserkeilausaineiston tarkkuus on verrattavissa stereotyöaseman tarkkuuteen sijainnissa ja korkeustarkkuudessa laserkeilausaineisto on jopa parempi. Tämä edellyttää kumminkin sen, että kohde voidaan tulkita laseraineistosta. Käyttämällä laserkeilausaineistoa hyödyksi, voidaan välttää B-luokan tarkkuusluokituksia epäselville kohteille. Itse määrääikainen ajantasaistaminen tulisi hoitaa mielestäni siinä vihjetieto- ja työjärjestyksessä että stereo-, ilma- ja visualisointikuvat muodostavat edelleenkin ensimmäisen tiedonkeruuta-

son. Toisena on kuntien sekä muiden ulkopuolisten tahojen toimittama aineisto ja viimeisen tiedonkeruutason muodostavat laserkeilausaineisto maastotarkastuksen kanssa.

Laserkeilausaineistoa voidaan mielestäni hyödyntää kuvan 37 mukaisesti määräaikaisessa ajantasaistuksessa. Visualisointikuvan käyttöä jatketaan kuten aikaisemmin ja kiinnitetään myös huomiota pieniin maanpinnan kohteisiin, kuten maanaineksenottoalueisiin, tervakuoppiin, vesikuoppiin etc. Maastotarkistuksen jälkeen, kun on havaittu muutokset ja merkitty ne maastolätkään, voidaan hyödyntää pistepilveä muutoksien päivittämisessä paremman sijaintitarkkuuden saamiseksi. Pistepilvestä etenkin rakennukset voidaan erottaa aineistosta ja digitoida maastotietokantaan. Kartoittaja itse päättää, onko tarvetta käyttää pisteaineistoa kohteelle, mutta jos kohteelle ei saada A-tarkkuusluokan luokitusta suoraan, tulisi silloin käyttää pisteaineistoa hyödyksi.



KUVA 37. Ehdotus laserkeilausaineiston hyödyntämisessä

Mielestäni laseraineistoa tulisi hyödyntää vasta maastotarkastuksen jälkeen, koska sen jälkeen osataan yhdistää kohde pistepilveen sekä myös tiedetään kohteen luokka. Tiestön käsittely EspaEnginen puolella jäi kokeiluissa vähäiseksi, joten tiestön päivittäminen on vain luonnoksessani ehdolla. Keväällä 2013 myös ilmakuvaan samanai-

kaisesti laserkeilauksen yhteydessä, joten tämä voi mahdollistaa pistepilven tulkinnan jo ennen maastotarkastusta. Ajantasaiset ilmakuvat laserkeilauksen kanssa ei tuo peitteisille kohteille kumminkaan helpotusta, mutta tällä on tulevaisuuden kannalta merkittäväkin hyöty, koska voidaan yhdistää ilmakuva pisteaineistoon ja tuottaa 3D-malleja alueista, joissa kohteet saavat tekstuurit ilmakuvalta.

Suurin ongelma laseraineiston käsittelyssä piilee ohjelmistossa. Käytettävissä maanmittaustoimistoilla on kolme ohjelmaa, joista EspaCity voidaan yhdistää vain molempiin yksi kerrallaan. Tämä tuo tiettyä hitautta työskentelyyn, kun pitää aluksi EspaCityllä ottaa yhteys EspaEngineen, jonka jälkeen siirretään aineistoa näiden ohjelmien kesken. Tämän jälkeen katkaistaan yhteys EspaEngineen ja otetaan yhteys JAKO/MTJ-ohjelmaan ja tehdään varsinainen maastotietokantaan lisääminen. Itse näkisin, että jos JAKO/MTJ-ohjelmasta voisi ottaa yhteyden suoraan EspaEngineen ja muokata EspaEnginen vapaassa 3D-ympäristössä yksittäisiä ja vektorikohteita suoraan maastotietokantaan, olisi aineiston käsittely paljon jouhevampaa.

Kehitystyötä ohjelmistolle ja työskentelytavoille tulee kumminkin vielä tehdä. Esimerkkini ovat vain yksitapa käyttää hyödyksi laserkeilausaineistoa nykyisessä Espa-ohjelmistossa. Pistepilven käyttö on melko hidasta ja epäkäytännöllistä esimerkissäni, mutta sillä digitoiminen kumminkin onnistuu ja päästään esimerkiksi rakennuksien kohdalla 3 metrin A-tarkkuusluokitukseen.

Tämän opinnäytetyön tekeminen on ollut omalla kohdallani harvinaisen pitkä prosessi. Omat lähtötietoni laserkeilauksesta olivat rehellisesti sanoen olemattomat, kun aloin tätä opinnäytetyötä tehdä. Varsinkin ilmalaserkeilaus on uutta asiaa, mitä ei käymilläni maanmittauskursseilla otettu juurikaan esille, joten tältä osin teoria-aineisto on ollut itselleni haasteellista. Ilmalaserkeilauksen teoriaosuus on ehkä turhankin laaja, mutta koska aihe itsessään on niin uusi ja ns. tulevaisuutta, koin että melko perusteellinen teoriaosuus olisi tarpeen niin itselleni kuin myös lukijalle. Muilta osin teoriaa olen pyrkinyt tiivistämään, mutta siellä on aiheen kannalta myös turhan laajoja osuuksia. Esimerkiksi laseraineiston ja määräaikaisten ajantasaistuksen työskentelytavat voisivat olla vielä suppeampia. Teoriaosuus on omasta mielestäni kumminkin tukenut opinnäytetyön aihetta ja luonut perustaa omalle työlleni ja lopputulokselleni.

Omat havaintoni laserkeilausaineiston hyödyntämisessä ovat mielestäni käsitelleet vain pientä osaa laserkeilausaineiston mahdollisista käyttötavoista ja laajempaa testaustyötä pitää vielä tehdä asiaan liittyen, mutta näkisin, että opinnäytetyöstäni hyötyy maanmittauslaitos siltä osin, että se herättää ideoita maanmittaustoimistojen käytännöntyön kannalta sekä nykyisten ohjelmistojen soveltuvuudesta laseraineiston käsitteilyyn määräaikaaisessa ajantasaistuksessa.

Mielestäni opinnäytetyössäni ilmalaserkeilauksen mahdollisuudet ja tarkkuus tulivat esille siinä määrin, että laserkeilausaineiston käytöllä päästään maanmittauslaitoksen asettamiin A-tarkkuusvaatimuksiin maastotietokannan kohteiden osalta. Tällä tiedolla ja nykyisellä ohjelmistokokoonpanolla voidaan laserkeilausaineistoa käyttää hyödyksi maastotietokannan päivittämisessä. Nykyisillä ohjelmistoilla ajantasaistaminen onnistuu, mutta kehitystyötä tämän suhteen tulisi vielä jatkossakin tehdä. Esimerkiksi rakennuksien mallintamiseen suuntautuvat projektit tulisi pitää jatkossakin aktiivisena.

Itselläni herää vielä kysymyksiä laserkeilausaineistoon liittyen, joihin opinnäytetyöni ei vastaa. Esimerkiksi voidaanko EspaCity ja EspaEngine yhdistää yhdeksi sovellukseksi? Yhdistäminen mahdollistaisi perinteisen ilmakuvan sekä kolmiulotteisen tarkastelun kohteille kuin myös yhteistoiminnan maastotietokannan kanssa. Rakennuksien mallintaminen myös tarvitsee mielestäni paremmat toiminnot, kuin mitä nykyiset ohjelmistot tarjoavat. Koska nyt laserkeilausaineistosta pääsääntöisesti tehdään vielä korkeusmallia, riittävät nykyiset ohjelmistot tähän tarkoitukseen. Mutta jos kehitystä viedään kartta- ja paikkatietotuotteiden osalta enemmän 3D-mallintamiseen, niin ohjelmistojen tulisi myös vastata tätä kehitystä.

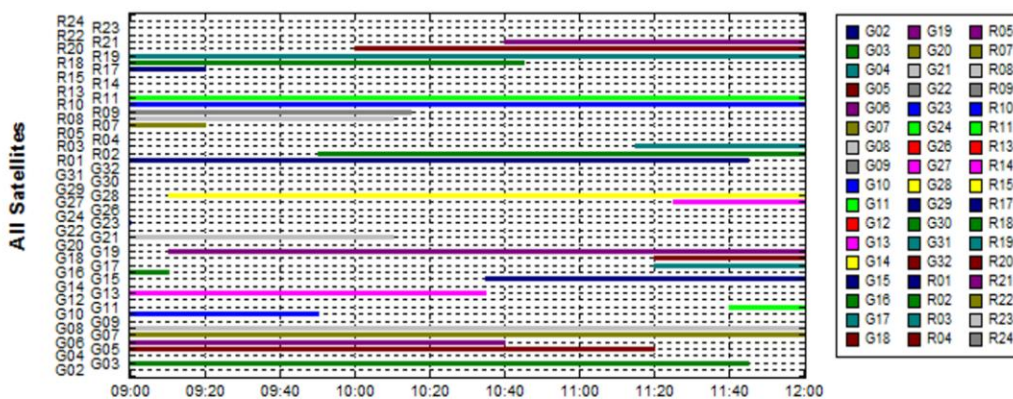
Toinen merkittävä kysymys liittyy pisteiden automaattiseen luokitteluun. Kuinka pitkälle voidaan automatisointi viedä? Intensiteetti-arvot sekä *full waveform*-analyysit paluupulssista voivat antaa merkittävää tietoa kohteen muodosta ja pinnasta. Laserkeilainten kehittyessä tulisi myös mielestäni pohtia laajempaa automatisointia pisteiden osalta ja ehkä kenties tulevaisuudessa ilmakuvan pikselit osataan yhdistää laserkeilaimen intensiteettitietojen kanssa sillä tarkkuudella, että voidaan jopa tätä kautta johtaa kasvillisuuden alla oleville kohteille ”kuva”.

LÄHTEET

1. Vosselman, George & Maas, Hans-Gerd. Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Dunbeath, Caithness. Skotlanti. Whittles Publications. 2010.
2. Shan, Jie & Toth, Charles K. Topographic laser ranging and scanning, principles and processing. Boca Raton, Florida. Yhdysvallat. CRC Press/Taylor & Francis Group. 2009.
3. Optech. Laserkeilainten esite. ALTM Product Comparison Chart. Verkkodokumentti. <http://www.optech.ca/pdf/ALTM-Product-Comparison-Chart-130131-WEB.pdf>. Julkaistu 31.1.2013. Luettu 25.3.2013.
4. Optech. Laserista. Verkkodokumentti. <http://www.optech.ca/aboutlaser.htm>. Julkaistu 7.5.2012. Luettu 27.3.2013.
5. Toivonen, Rauno. Tekniikan tietokeskus 2. Helsinki. WSOY. 1982.
6. Maanmittauslaitos. GPS- paikannusjärjestelmä. Verkkodokumentti. <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/kartoitus/gps-mittaus>. Luettu 19.4.2013.
7. Optech. Hydrokeilainesite. CZMIL-Summary specification sheet. Verkkodokumentti. <http://www.optech.ca/pdf/CZMIL-specsheet-121105-WEB.pdf>. Julkaistu 5.11.2012. Luettu 22.4.2013.
8. Ilves, Risto 2009. Airborne laser scanning based DTM production workflow in the national land survey of Finland. Lidar Conference 24-26.6 2009 Toronto, Canada. Kopio esitelmästä.
9. Soininen, Arttu 2013. Maanmittauspäivät 21-22.3.2013. Teksturoitu kaupunkimalli viistokuvien avulla. Verkkodokumentti. http://www.kuopio.fi/c/document_library/get_file?uuid=d4ba0c7c-92fd-4a4a-9445-5f360238b5b7&groupId=12117. Julkaistu 19.3.2013. Viitattu 22.4.2013.
10. Vertanen, Antti & Vilhomaa, Juha. Valtakunnallisen korkeusmallin uudistamistarpeet ja -vaihtoehdot. Työryhmämuistio. Helsinki. 2006.
11. Maanmittauslaitos. Organisaatiokuvaus. Verkkodokumentti. <http://www.maanmittauslaitos.fi/toiminta/organisaatio/historia/tietoa-maasta-jo-vuosisatoja>. Luettu 18.4. 2013.
12. Maanmittauslaitos. Tehtävät. Verkkodokumentti. <http://www.maanmittauslaitos.fi/toiminta/organisaatio/toiminta-tehtavat>. Luettu 18.4.2013.
13. OGC. Web feature service. Verkkodokumentti. <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>. Luettu 23.4.2013.
14. OGC. Web map service. Verkkodokumentti. <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>. Luettu 23.4.2013.

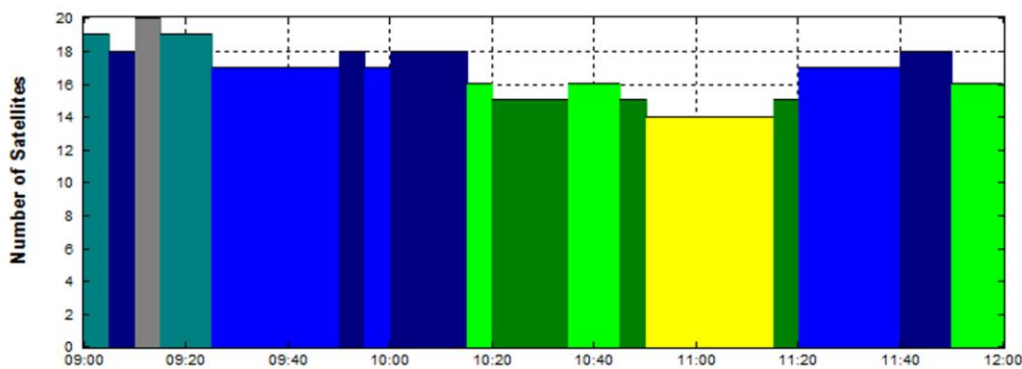
15. Maanmittauslaitos. Rajapintapalvelu. Verkkodokumentti.
<http://www.maanmittauslaitos.fi/aineistot-palvelut/rajapintapalvelut/rajapintapalvelut-abc>. Luettu 23.4.2013.
16. Maasto- ja rajatiedon ydinprosessitiimi. Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet. Helsinki. Edita Prima Oy. 2005.
17. Maanmittauslaitos 2005. Trimble GeoXT ja Terrasync- tiedonkeruuhjelmisto lyhyt käyttöohje. Päivitetty 10.10.2005.
18. Maanmittauslaitos 2005. 3D-Win-tiedonkeruuhjelmisto, lyhyt käyttöohje tiestön mittaukseen. Päivitetty 21.9.2007.
19. Ilmakuvakeskus 1999. Ilmakuvakeskuksen laatukäsikirja. Päivitetty 21.10.2013.
20. Sirkiä, Olli 2010. Production of new national DEM. Kopio esitelmästä. 19.08.2010.
21. Petri Ruostetoja. Sähköpostikeskustelu 24-26.4.2013. Tiedottaja: Maanmittauslaitos.
22. Maanmittauslaitos 2007. Määrittelyt maanmittauslaitoksen maastotietojärjestelmän osana olevalle laserpisteaineistolle ja korkeusmallituotteelle sekä niiden laadulle ja metatiedolle. Dokumentti. Julkaistu 12.11.2007. Päivitetty 28.11.2008.
23. Maanmittauslaitos 2011. Laserkeilaus ja korkeusmallin tuotantoprosessi. Maasto- ja rajatiedon prosessitiimi. Kaavio. 17.02.2011.
24. Maanmittauslaitos 2011. Maastotietojen määräaikainen ajantasaistusprosessi. Maasto- ja rajatiedon prosessitiimi. Kaavio. 17.02.2011.
25. Maanmittauslaitos. Koordinaatit ja maastokartta. Verkkodokumentti.
<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/maastokartat/tm35-lehtijako>. Luettu 30.4.2013.
26. Saario, Mervi 2012. Maastotietokannan 3D-rakennukset. Maasto- ja rajatiedon päivät 30.03.2012. Kopio esitelmästä.
27. Maanmittauslaitos 1995. Maastotietojen laatumalli. Verkkodokumentti.
http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/Maastotietojen_laatumalli%5B1%5D.pdf. Luettu 02.05.2013.
28. Häfele, Karl-Heinz. CityGML Model of the FZK-Haus. 1.12.2010. Verkkodokumentti. <http://www.iai.fzk.de/www-extern-kit/fileadmin/download/download-vrsys/FZK-Haus-Lod1-LoD4-public-V2.pdf>. Päivitetty 6.12.2010. Luettu 23.5.2013.

Visibility



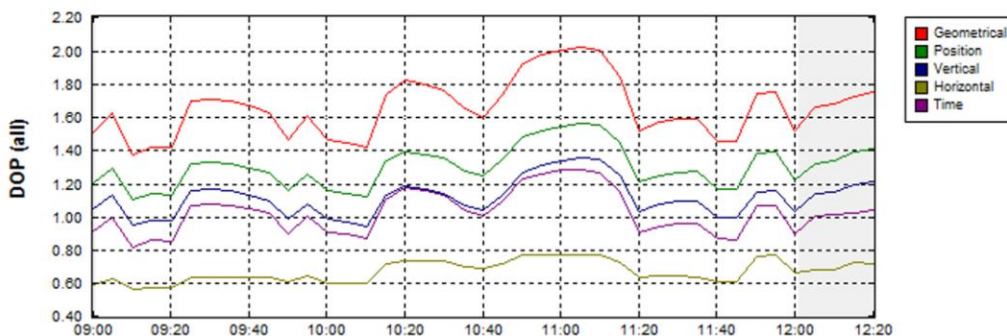
Station Huhmarkoski k3 North 63° 6' East 23° 15' Height 75m Elevation cutoff 10° Obstacles 0%
 Time 27.7.2011 08:00 - 28.7.2011 08:00 (UTC+3.0h) Satellites 51 GPS 30 Glonass 21 [almanac.alm (30.7.2010)]

Visibility



Station Huhmarkoski k3 North 63° 6' East 23° 15' Height 75m Elevation cutoff 10° Obstacles 0%
 Time 27.7.2011 08:00 - 28.7.2011 08:00 (UTC+3.0h) Satellites 51 GPS 30 Glonass 21 [almanac.alm (30.7.2010)]

DOP (all)



Station Huhmarkoski k3 North 63° 6' East 23° 15' Height 75m Elevation cutoff 10° Obstacles 0%
 Time 27.7.2011 08:00 - 28.7.2011 08:00 (UTC+3.0h) Satellites 51 GPS 30 Glonass 21 [almanac.alm (30.7.2010)]

LIITE 2.
TESTIKIVI

