

Lennoilla ja kopterilla tuotetun LAS- datan hyödyntäminen metsäalalla

**Ongelmia, vertailua sekä ratkaisumahdollisuuksia LAS-
datan käytöstä taimikon ja nuorenmetsän hoidossa**

Sanna Räisänen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), ohjelmistotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Räisänen, Sanna	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä toukokuu 2017
	Sivumäärä 39 + 5	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Lennoilla ja kopterilla tuotetun LAS-datan hyödyntäminen metsälalla Ongelmia, vertailua sekä ratkaisumahdollisuuksia LAS-datan käytöstä taimikon ja nuoren metsän hoidossa		
Tutkinto-ohjelma Ohjelmistotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Luostarinen Hannu, Hämäläinen Raija		
Toimeksiantaja(t) JAMK/Maaseutu 2.0 -projekti		
<p>Maaseutu 2.0 -projektissa pyritään parantamaan maaseudun, metsänhoidon ja palveluntarjoajien välistä viestintää sekä lisäämään tuottavuutta uudella teknologialla. Näihin uusiin teknologioihin kuuluu kaukokartoituksen käyttö metsänhoidossa.</p> <p>Uuden tekniikan avulla metsän inventointi dataa voidaan kerätä käyttäen kuvauksia tai keilauksia, jotka on suoritettu GPS-tekniikalla paikannetuista lennokeista, koptereista tai lentokoneista. Uusi tekniikka luo mahdollisuuden mitata metsäalueita huomattavasti nopeammin kuin perinteisillä menetelmillä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään saadun datan vertailuun, hyödyntämiseen taimikkojen ja nuorten metsien hoidossa sekä löydettyihin ongelmiin datan jalostamisessa hyödylliseksi metsänhoidon kannalta.</p> <p>Lennoista ja kopterista suoritettiin mittauksia, joissa metsä valokuvattiin ja muunnettiin saman tyyppiseksi pistetiedoksi kuin lentokoneella tapahtuvassa laserkeilauksessa. Kuvat muutettiin 3D-koordinaation pisteiksi ja tallennettiin LAS-tiedostoon. Tällä tavoin saatiin tietoja maaston ja puuston korkeudesta tietyissä GPS-pisteissä. Pääasiallisesti opinnäytetyö keskittyy tarkastelemaan sekä vertailemaan eri menetelmillä saadusta sekä käsitellystä LAS-datasta löydettyjä taimikoita. Näiden LAS-datan tietueiden tarkastelu mahdollistaa metsän kehityksen arvioinnin sekä energiapuusaantojen ja työmäärien laskemisen kyseiselle alueelle.</p> <p>Opinnäytetyön aikana törmättiin erilaisiin ongelmiin kuten mittaustekniset ongelmat sekä metsän kehitysluokan ja hoitotöiden kiireellisuuden määrittäminen. Syitä sekä mahdollisia ratkaisuja näihin ongelmiin on eritelty opinnäytetyössä.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Lennokki, Kopteri, LAS, Kaukokartoitus, GPS, Ortokuvaus, Pikselitarkkuus		
Muut tiedot		

Author(s) Räisänen, Sanna	Type of publication Bachelor's thesis	Date Month Year Language of publication:
	Number of pages 39 + 5	Permission for web publication: x
Title of publication Using LAS data gathered with drones and choppers in forestry Problems, comparison of technologies and viable solutions when using LAS data with growing seedlings and young stands		
Degree programmer Software Engineering		
Supervisor(s) Luostarinen Hannu, Hämäläinen Raija		
Assigned by JAMK/Maaseutu 2.0 -project		
<p>Maaseutu 2.0 project focuses on enhancing communication between agriculture and service providers by introducing recent technologies. These technologies include, e.g. remote sensing in forestry, which is the center of this study.</p> <p>In remote sensing, the inventory data of forestry is gathered by using laser scanning or photomapping from GPS located drones, copters or airplanes. New techniques make possible to measure forest much faster than with old techniques. This thesis focuses on comparing inventory data, studying how to use this data for forestry, especially with seedling and young stands, and solving problems with this technology.</p> <p>Drones and choppers are used for photomapping, and airplanes for laser scanning. The images from photomapping are transformed to LAS data, which is the same data type as the data from laser scanning. LAS data includes the specific height in a specific GPS coordinate, i.e. one point's x, y and z location in 3D coordinates. The LAS data can then be calculated to provide the development class for the forest, estimates of treatment needs locally and workhours.</p> <p>There were problems with the recent technologies, for example difficulties with defining the development class for the forest and a map of treatment needs for seedling and young stands. The thesis discussed the reasons for these problems and provides viable solutions for these problems.</p>		
Keywords/tags (subjects http://vesa.lib.helsinki.fi/) drones, copters, LAS, GPS, photomapping, remote sensing		
Miscellaneous		

Sisältö

Termit ja lyhenteet	4
1 Työn lähtökohdat	6
1.1 Opinnäytetyön tausta.....	6
1.2 Toimeksiantaja Maaseutu 2.0 -projekti	6
2 Johdanto metsänhoitoon.....	7
2.1 Metsänhoidon osapuolet	7
2.1.1 MML, Maanmittauslaitos	7
2.1.2 SMK, Suomen metsäkeskus.....	7
2.1.3 LUKE, Luonnonvarakeskus.....	7
2.1.4 Metsaan.fi.....	8
2.2 Metsän kehitysluokat	8
2.3 Perinteiset metsänmittausmenetelmät	9
3 Kaukokartoituksella tuotettu metsänmittaus.....	12
3.1 Tietoformaatit	12
3.1.1 LAS-tiedosto.....	12
3.2 Tietokoneohjelmia ja algoritmeja	13
3.2.1 Python (ohjelmointikieli)	13
3.2.2 Kyyt-algoritmi	13
3.2.3 Aalto-algoritmi.....	13
3.3 Kuvauksen ja laserkeilauksen erot	15
3.4 Maanpintatason ja metsien kehitysluokkien määrittäminen	16
3.5 Koordinaattijärjestelmä: ETRS-TM35FIN.....	16
3.6 Kopterikuvauksen ajotilannekaavio	17
4 Algoritmien kehitystyötä ja testausta	19
4.1 Tuloksien vertailu ja analysointi.....	19
4.2 Ilmenneet ongelmat	27

	2
4.2.1 Puuston kehitysluokan vääristyminen.....	27
4.2.2 Mäntyjen ja kuusien erottaminen toisistaan	29
4.2.3 Maanpinnan määrittelyn vaikeus.....	29
4.2.4 Siirtymät koordinaatistossa	31
4.2.5 Muuttuvat tietueet.....	32
4.2.6 Värikoodit ja merkkikoot	33
4.2.7 Kuusien etäisyyksien määrittely	34
4.3 Testauksen tulokset.....	34
5 Pohdintaa.....	38
5.1 Omat kokemukseni.....	38
5.2 Jatkokehitysmahdollisuudet.....	38
Lähteet	39
Liitteet.....	40
Liite 1. Konneveden kopterikuvaus, kuvattu lokakuussa 2016.....	40
Liite 2. Laajavuoren kopterikuvaus, kuvattu huhtikuussa 2017.....	41
Liite 3. 3D-mallinnus ohjelma.....	42
Kuvio	
Kuvio 1. Puuston korkeusluokitus	9
Kuvio 2. Relaskooppi puiden paksuutta arvioidessa	10
Kuvio 3. Kepillä mittaaminen	10
Kuvio 4. 25 neliömetrin rajattu alue, jolla 7 kuusta	11
Kuvio 5. txt-tiedostomuotoon muutettu LAS-tiedosto	12
Kuvio 6. Esimerkki aallosta, kopterikuvaus Konnevedeltä.....	14
Kuvio 7. Erot lentokorkeuksissa	15
Kuvio 8. ETRS-TM35FIN-koordinaatiston kattama alue	16
Kuvio 9. Ajokaavio kopterin toiminnasta kuvauksessa ja tietojen saamisesta	18
Kuvio 10. Pisteet Kopterilla kuvaamalla saadusta LAS-tiedostosta	19
Kuvio 11. Pisteet Lennokilla kuvaamalla saadusta LAS-tiedostosta	19

Kuvio 12. Pisteet Lentokoneella laserkeilauksella saadusta LAS-tiedostosta.....	20
Kuvio 13. Konnevedellä kuvaus lennokilla	22
Kuvio 14. Konnevedellä kuvaus kopterilla	23
Kuvio 15. Lammenlenkki 3D-koordinaatistossa	26
Kuvio 16. 1024 neliömetrin alue Lammenlenkiltä	26
Kuvio 17. Muun metsän puu 3D-koordinaatistossa.....	27
Kuvio 18. Kapealatvainen ja "normaali" kuusi	28
Kuvio 19. Laajavuoreissa olleita kapealatvaisia kuusia	28
Kuvio 20. Oikeassa reunassa näkyy "metsän sulkeutuma" ja vasemmalla korkea heinikköä	30
Kuvio 21. Koealueen ruuduttaminen	30
Kuvio 22. Maapallon epämuotoisuus ja koordinaattien vaikutus	31
Kuvio 23. Siirtymä sovitetussa koordinaatistossa verrattuna oikeaan.	32
Kuvio 24. Käytetyt värikoodit kehitysluokille	33
Kuvio 25. Lammenlenkki algoritmin läpiajamisen jälkeen	34
Kuvio 26. Laajavuoreissa mitattuja puita	36
Kuvio 27. 3D-kuvio mitatuista taimista sivulta.....	36
Kuvio 28. 3D-kuvio mitatuista taimista sivulta.....	37

Taulukot

Taulukko 1. lukumääräjakauma kasvuston korkeuden funktiona	14
Taulukko 2. Vertailu tulostuksia eri tavoin saadusta LAS-datasta	21
Taulukko 3. Kuvauksen ja keilauksen hyvät ja huonot puolet	24
Taulukko 4. Painotusten muuttaminen puiden pituudessa.....	24
Taulukko 5. Löydetty kuusi.....	35
Taulukko 6. 10 mitatun taimen tiedot	37

Termit ja lyhenteet

O2, nuori kasvatusmetsikkö: Metsikkö, jonka keskiläpimitta rinnankorkeudelta on 8–16 cm. Havupuuvaltaisissa metsiköissä valtapituus on yli 7 metriä ja koivikossa yli 9 metriä. 6m-12m käytetty ohjelmassa.

Dynaaminen tyypitys (Heikko tyypitys): Ohjelmointikielen muuttujia ei ole määritetty tietyn tyyppiseksi ja ne tarkistetaan ajonaikana. Tämä tarkoittaa sitä, että muuttuja voi vaihtua toisen tyyppiseksi ohjelman ajonaikana. ks. Staattinen tyypitys.

Funktionaalinen ohjelmointi: Perustuu matemaattisten funktioiden käyttöön ohjelmoidessa eli ohjelmointiparadigma perustuu pitkälti lambdakalkyylin käyttöön.

GPS: Koordinaattitieto.

Kaukokartoitus: Alueen kartoitus etäältä käyttäen esimerkiksi kuvausta tai laserkeilausta.

Kopteri: Tässä opinnäytetyössä tarkoittaa kopteri-mallinen kauko-ohjattava, miehittämätön lentoalus.

Lambdakalkyyli: Käytetään käsittelemään matemaattisia sekä laskennallisia ongelmia ja sillä voidaan kuvata mitä tahansa matemaattista laskennan ongelmaa.

Lennokki: Tässä opinnäytetyössä lentokone-mallinen kauko-ohjattava, miehittämätön lentoalus.

Maapiste: Saatu piste maanpinnasta.

Moniparadigmainen: ohjelmointikieli, joka tukee useampaa eri ohjelmointiparadigmaa.

Mosaiikkikuva: Kokoelma kuvia, jotka on yhdistetty toisiinsa muodostamaan yhdessä suuremman kuvan.

MM, Muu metsä: Kasvusto, joka on taimikkoa ja nuorta kasvatusmetsää korkeampaa.

Ohjelmointiparadigma: Kuvaa ohjelmien keskeisiä toteutusperiaatteita eli millaisista komponenteista se rakentuu ja kuinka ohjelman kontrollin eteneminen määritellään.

Oliopohjainen ohjelmointi: Ohjelmat sisältävät olioita, joilla on tiettyjä ominaisuuksia ja metodeja. Ajon aikana tieto tallennetaan luotuihin olioihin sekä luokkiin.

Ortokuva: Ilmasta suoraan alaspäin otettu kuva, josta näkee hyvin maaston.

Ortomosaiikkikuva: Ilmasta suoraan alaspäin kuvattu oikean mittakaavan omaava mosaiikkikuva.

Pikselitarkkuus (osumatiheys): Ortokuvauksen pikselitarkkuus riippuu käytetystä ohjelmasta ja vaihtelee 80-800 pikseliä yhdelle neliömetrille. Maanmittauslaitoksen käyttämä keilauksen pikselitarkkuudet ovat 0,9 ja 2,0 osumaa/pikseliä neliömetrille.

Piste: LAS-tiedostossa oleva yksi tietue, jolla on ainakin x, y ja z sijainti.

Pistetiheys: Tässä opinnäytetyössä LAS-tiedostossa olevien tietueiden määrä yhdellä neliömetrillä.

Proseduraalinen ohjelmointi: Yksi aikaisimmin luoduista ohjelmointiparadigmoista. Ohjelmat jakaantuvat aliohjelmiin eli proseduureihin.

Staattinen tyyppitys (Vahva tyyppitys): Ohjelmointikielen muuttujat on määritelty tietyn tyyppisiksi ja ne tarkistetaan käänösvaiheessa. Muuttuja ei voi saada kuin juuri kyseisen tyyppin arvoja. ks. Dynaaminen tyyppitys.

T1, pieni taimikko: Taimikko, jonka kasvatettavien puiden pituus on 0,3-1,3m.

T2, varttunut taimikko: Taimikko, jonka kasvatettavien puiden keskipituus on yli 1,3 metriä. 1,3m – 6m

UAV-laitteet: Kauko-ohjattava miehittämätön lentoalus.

1 Työn lähtökohdat

1.1 Opinnäytetyön tausta

Metsäalalla on monia toimijoita ja metsän kasvatusta vaatii vuosikymmeniä aikaa. Metsänkasvatusta vaatii paljon pitkäjänteistä työtä ja saattaa muuttua helposti kalliiksi, jos sen laiminlyö. Opinnäytetyössä etsitään uusia tapoja valvoa metsänkasvua nykyisiä menetelmiä helpommilla tavoilla käyttäen kuvausta tai laserkeilausta, joka voidaan suorittaa lentokoneesta, kopterista tai lennokista. Miehistämättömistä lentoaluksista tehtyä kuvausta käytetään työnlaadun ja -tarpeiden seurantaan kohdistetuilla alueilla, kun taas keilausta käytetään Suomen tasolla suurien alueiden hallintaan. Tämä mahdollistaa metsän kunnon määrittämisen huomattavasti nopeammin verrattuna perinteisiin keinoihin. Opinnäytetyö kuuluu osaksi Maaseutu 2.0 -projektia ja keskittyy tuotekehitystyöhön. Opinnäytetyössä vertaillaan erilaisia tekniikoita ja etsitään ratkaisuja ongelmiin taimikoiden ja nuoren metsän inventointi datan keräämiseksi ja jalostamiseksi.

1.2 Toimeksiantaja Maaseutu 2.0 -projekti

Maaseutu 2.0 -projekti on maatalouden ja metsänhoidon parantamiseen keskittyvä projekti, jossa Jyväskylän ammattikorkeakoulu (JAMK) on yhtenä koordinoijista. Lainaus JAMKin sivuilta kuvaamaan Maaseutu 2.0 -projektia:

Metsänomistaja kävelee maillaan älypuhelin kädessään. Hän klikkaa puhelimen sovelluksesta alueen puustotiedot näkyville, nappaa maastosta kuvan ja lähettää sen sähköiseen markkinapaikkaan metsäpalveluyrittäjille tarjolle. Paikalliset yrittäjät tekevät tulevasta harvennustyöstä digitaalisen tarjouksen, joista metsänomistaja valikoi parhaan ja hyväksyy sen suoraan puhelimensa näytöltä. Aikaa vievää soittelu- ja tarjouskierrosta ei tarvita.

(Minkkinen 2016)

Maaseutu 2.0 -projektissa pyritään kehittämään tekniikan avulla metsänhoitoa ja hyödyntämistä kestävästi sekä tuomaan asiakas lähemmäs palvelun tarjoajaa. (Tutustu ja menesty n.d.)

2 Johdanto metsänhoitoon

2.1 Metsänhoidon osapuolet

2.1.1 MML, Maanmittauslaitos

Maanmittauslaitos on tuottanut kartta-aineistoa, paikkatiedon tutkimusta, lohkomisia ja tilusjärjestelyjä yli 200 vuotta. Sillä on toimipaikkoja ympäri Suomea 37 paikkakunnalla. Maanmittauslaitoksen tehtäviin kuuluu ylläpitää kiinteistöjen tietoja rekistereissä, jolloin voidaan turvata maanomistus ja luototusjärjestelmä kuluttajille.

Maanmittauslaitos laatii myös maanpintamalleja tekemällä laserkeilauksia lentokoneista. Muuttunutta tietoa, kuten tiestöä ja nimistöä, päivitetään jatkuvasti, kun taas rakennuksia ja hallintorajoja päivitetään vuosittain, ja muita harvemmin muuttuvia tietoja 5-10 vuoden välein. Tätä aineistoa voi käyttää ilmaiseksi, mutta siihen voi liittyä muita kuluja, kuten käsittely- ja palvelumaksuja. (Tietoa Maanmittauslaitoksesta n.d.)

2.1.2 SMK, Suomen metsäkeskus

Suomen metsäkeskus pyrkii edistämään metsätaloutta ja alan elinkeinoja, ja se neuvoo metsänomistajia metsänhoidossa ja -hyödyntämisessä maa- ja metsätalousministeriön valvonnassa ja ohjauksessa. Sen toiminta alkoi 1917 vuonna Läänin metsälautakuntana, josta se laajeni Suomen metsäkeskukseksi 2010 mennessä. Se kouluttaa vuosittain runsaasti metsänomistajia ja metsäalan ammattilaisia sekä tekee työtä oppilaitoksissa lasten ja nuorten parissa varmistaakseen tuleville sukupolville hyvät metsävarat, monimuotoisen luonnon sekä hyvinvointia tuottavan metsäalan. (Metsäkeskus - metsäalan asiantuntijatalo 2016.)

2.1.3 LUKE, Luonnonvarakeskus

LUKE aloitti toimintansa 2015 ja se on oikeastaan neljän muun yhdistyksen yhdistymä: METLAn eli Metsäntutkimuslaitoksen, MTT:n eli Maa- ja elintarviketaloudentutkimuskeskuksen, RKTL eli Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen sekä Tike eli Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksen yhdistymä. (Luke 2016.)

METLA tarjosi mm. teknologiaa, välineistöä ja asiantuntevaa henkilöstöä tilaustehtäviin, kuten tutkimuksiin ennen kuin se yhdistyi vuonna 2015 LUKEn. Se myös teki julkaisuja liittyen metsiin, metsäntutkimukseen sekä metsätalouteen. (Metla palvelee 2016.)

MTT toimi 14 eri paikkakunnalla Suomessa ja kehitti ruokajärjestelmän vastuullisuutta, kilpailukykyä ja luonnonvarojen kestävästä hyödyntämisestä. Lisäksi se teki työtä maatalous- ja elintarvikealan yritysten, järjestöjen ja oppilaitosten sekä viranomaisten kanssa. (Laadukas ruoka, puhdas ympäristö - hyvinvoiva ihminen 2014.)

RKTL oli tutkimuslaitos, joka tuotti tieteellistä tietoa riistasta ja kalasta. Tutkimustietoa voitiin käyttää näiden kestävästä hyödyntämiseen sekä luonnon monimuotoisuudesta huolehtimiseen.

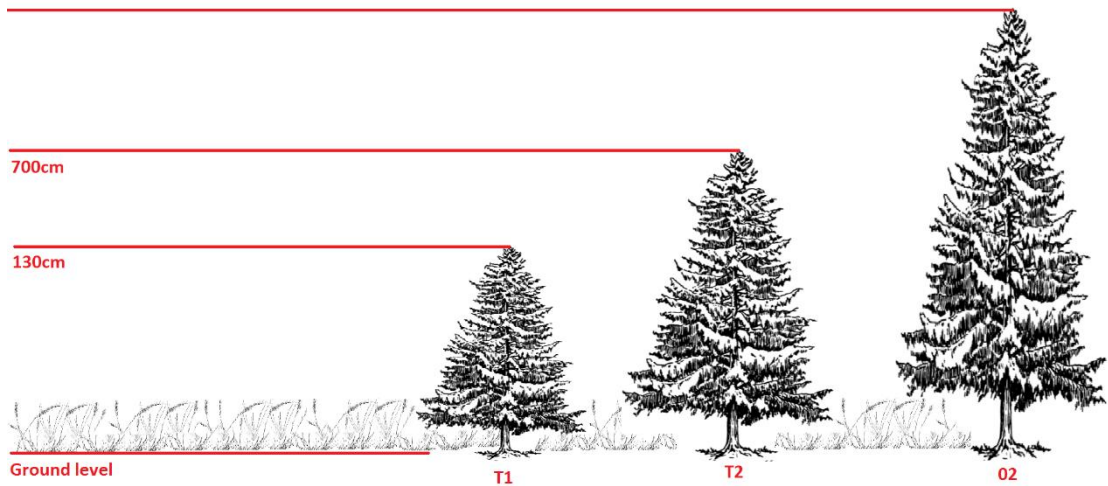
Tike tuotti tilastoja maataloudesta ja elintarvikeketjusta ja oli maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalan ICT-palvelukeskus.

2.1.4 Metsaan.fi

Metsaan.fi on palvelu, josta yksityiset ja muut metsänomistajat näkevät maksuttomat perustiedot metsistään. Palvelun on tarkoitus helpottaa metsäasioiden hoitamista parantamalla yhteydenpitoa alan palveluntarjoajiin ja Metsäkeskukseen. (METSÄÄN.FI-asiointipalvelu 2016.)

2.2 Metsän kehitysluokat

Opinnäytetyössä käsitellään neljää eri taimien kehitysluokkaa: T1, T2, O2 ja MM. Näiden lisäksi on maataso, josta mitataan taimien pituus. Pituus maatasosta taimen latvaan määrittelee, mihin kehitysluokkaan taimi kuuluu. (ks. Kuvio 1).

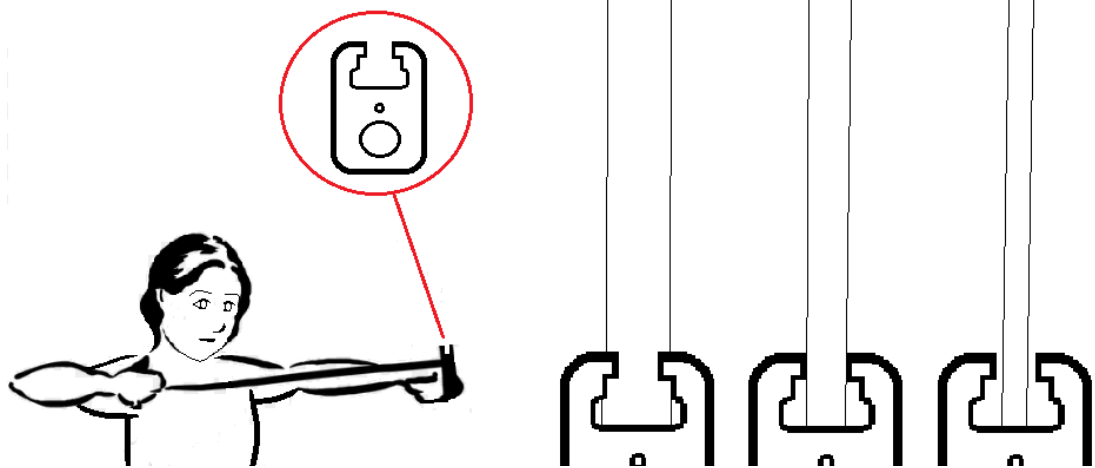


Kuvio 1. Puuston korkeusluokitus

2.3 Perinteiset metsänmittausmenetelmät

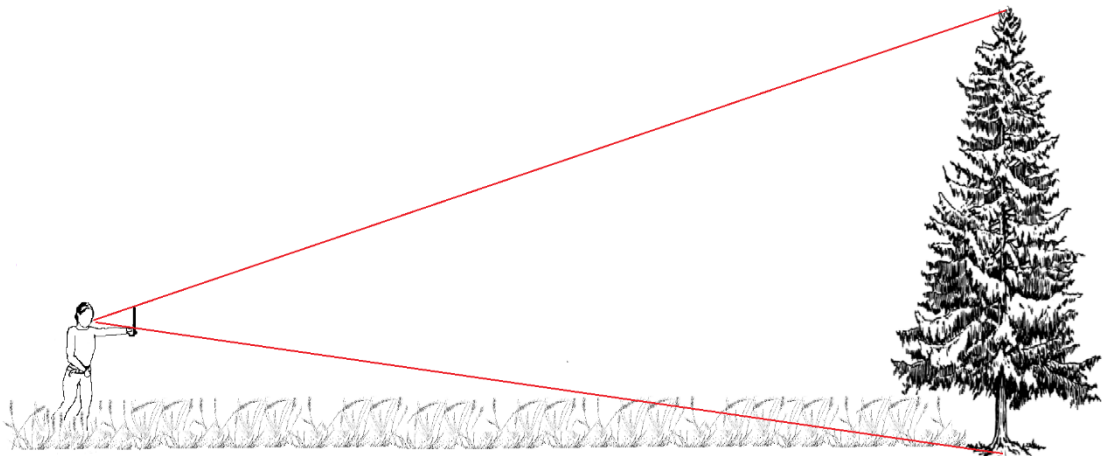
Ensimmäiset 25 vuotta metsän kasvatuksen aloittamisesta on kallista ja aikaa vievää, jolloin metsä ei käytännössä tuo lainkaan tuloja. Metsän kehitystä on järkevää seurata, koska parhaimman tuloksen metsänkasvatuksesta saa reagoimalla ajoissa metsän tarpeisiin ja pitämällä huolen sen kasvun etenemisestä. Reagoimatta jättäminen ajoissa voi tulla kalliiksi, koska hyvin huonokuntoinen metsä pitää kunnostaa, ja se tulee kalliimmaksi kuin tasainen ylläpito. Huonokuntoinen metsä myös hidastaa puiden kasvua ja sen saamista myyntiin sopivaksi tukkipuiksi. Huolletussa metsässä puut kasvavat parhaimmillaan sopiviksi tukkipuiksi noin 55 vuodessa riippuen maaperästä ja sijainnista. Jos metsän jättää huoltamatta, se voi hidastaa puiden kasvua myyntiin sopiviksi tukkipuiksi jopa 20 vuodella. (Pietikäinen 2017; Remes 2017)

Yleisin menetelmä metsän kunnon tarkkailuun on ollut paikan päälle meneminen ja katsominen. Perinteisesti silmän apuna on käytetty keppimittausta (ks. Kuvio 3), rajatun alueen puuston mittaamista (ks. Kuvio 4) ja laskua sekä relaskoopia (ks. Kuvio 2) metsän koko puuston arvioimiseksi.



Kuvio 2. Relaskooppi puiden paksuutta arvioidessa

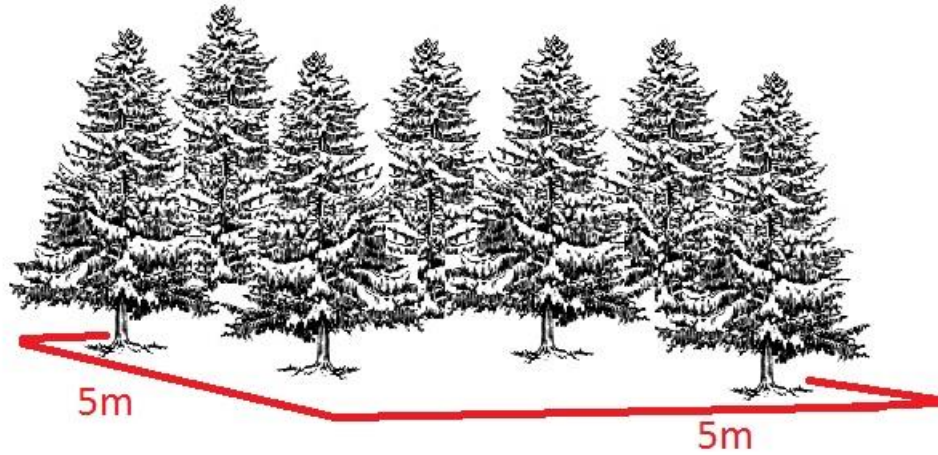
Relaskooppia käytetään puuston tiheyden laskemiseen. Mittaaja kiertää paikallaan 360 astetta ympäri ja laskee kaikki hahlon täyttävät puunrungot. Tästä tiedosta voidaan laskea kertoimen avulla puiden tiheys alueella. Tätä tekniikkaa käytetään yleensä varttuneempaan metsään.



Kuvio 3. Kepillä mittaaminen

Kepillä mittaaminen tapahtuu seisomalla tietyllä etäisyydellä puusta ja vertaamalla kädessä olevan kepin pituutta puun pituuteen. Kepin pituuden ja etäisyyden puusta perusteella voidaan laskea puun pituus. Kokematon mittaaja voi kuitenkin määritellä metsän puuston pituuden väärin, jos puut ovat esimerkiksi rinteessä, kasvavat kallellaan tai mittaaja pitää mittakeppiä väärin kädessään.

Taimien tiheyden arvioiminen tapahtuu rajaamalla tietyn kokoinen alue ja laskemalla siltä taimet ja niiden etäisyydet. Tällä tavoin voidaan karkeasti arvioida taimien määrä koko alueella, jos istutustiheys oletetaan samaksi kaikkialla.



Kuvio 4. 25 neliömetrin rajattu alue, jolla 7 kuusta

Tämä tapa voi luonnollisesti tuottaa useilla sadoilla taimilla väärän tuloksen hehtaaria kohti, jos aluetta edustavaksi taimikoksi käytetään tavallista tiheämpää tai harvempaa rajattua aluetta. Kokenut taimenistuttaja saa istutettua taimet suunnilleen tasaisin välein oikeaoppisesti, jolloin merkittävää heittoa laskelmissa ei pitäisi tapahtua, mutta luonnostaan alueella kasvamaan alkaneet taimet saattavat olla aluksi hyvin tiheässä ennen kuin heikommat kuihtuvat pois vahvempien edestä. Liian tiheä alue vaatii harvennuksia ajoissa, jotta puusto pääsee kasvamaan mahdollisimman hyväkuntoisena ja nopeasti.

Alueelle tuleminen, sen mittaaminen ja laskeminen ei kuitenkaan aina ole käytännöllistä, jos metsä sijaitsee kaukana kotipaikasta. Koska metsänkasvatus on vuosikymmeniä vaativa prosessi, se vaatii tasaisin väliajoin käyntejä sekä alueen tarkistuksia. Metsänkasvatus vaatii tasaisia tarkastuskäyntejä metsässä, jotta sen kunnosta voidaan olla jatkuvasti tietoisia. Lisäksi valtion alueella olevien metsien kartoittaminen on hyödyksi valtiolle.

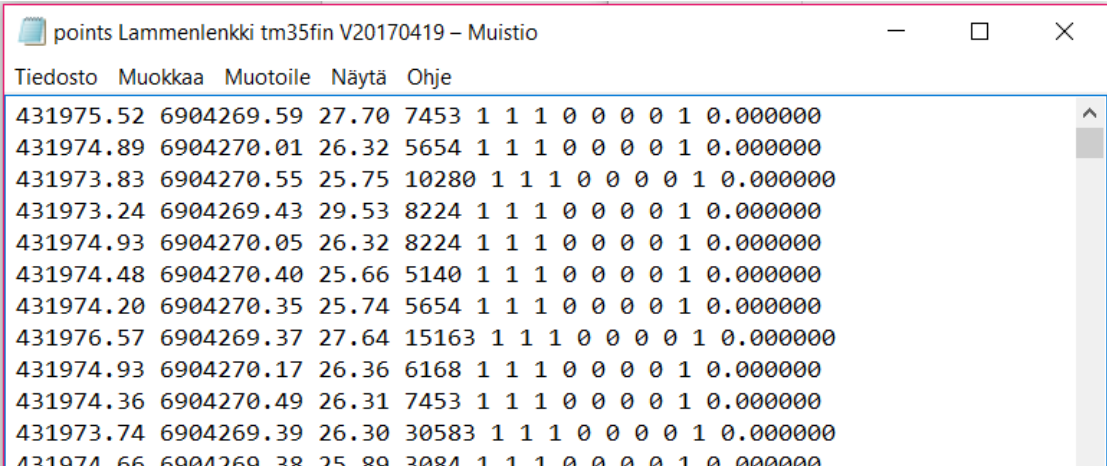
3 Kaukokartoituksella tuotettu metsänmittaus

3.1 Tietoformaatit

3.1.1 LAS-tiedosto

LAS-tiedosto voidaan muodostaa laserkeilauksen pistetiedosta tai muuttamalla väri-analyysillä kuvia pistetiedoiksi. Pistetiedoista muodostuu pistepilvi, josta voidaan nähdä keilatun maanpinnan kolmiulotteinen malli. Kuvaamalla saadaan yhdelle neliömetrille noin 80-500 pisteen pistetiheys. Lentokoneella laserkeilauksessa pisteitä on neliömetrille noin 2 pistettä. Jos pisteitä on alueella vähän, sen sisällöstä ei voida saada täysin varmaa tietoa. Hyvin suuri määrä pisteitä taas muuttaa algoritmin hitaaksi ja raskaaksi ja vaatii sitä enemmän muistia tietokoneelta.

LAS-tiedoston tietojen määrä riippuu käytetystä pisteformaatista, josta löytyy lisätietoa LAS-formaattimäärytyksissä. LAS-tiedosto voi koostua esimerkiksi 13 tiedosta, joista tärkeimmät tiedot ovat algoritmin kannalta pisteen x, y ja z sijainti (ks. Kuvio 5).



Tiedosto	Muokkaa	Muotoile	Näytä	Ohje
431975.52	6904269.59	27.70	7453	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000
431974.89	6904270.01	26.32	5654	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000
431973.83	6904270.55	25.75	10280	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000
431973.24	6904269.43	29.53	8224	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000
431974.93	6904270.05	26.32	8224	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000
431974.48	6904270.40	25.66	5140	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000
431974.20	6904270.35	25.74	5654	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000
431976.57	6904269.37	27.64	15163	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000
431974.93	6904270.17	26.36	6168	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000
431974.36	6904270.49	26.31	7453	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000
431973.74	6904269.39	26.30	30583	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000
431974.66	6904269.38	25.89	30821	1 1 1 0 0 0 0 1 0.000000

Kuvio 5. txt-tiedostomuotoon muutettu LAS-tiedosto

Tietueen x, y ja z sijaintitiedot ovat vasemmalta oikealle kolme ensimmäistä tietoa, joissa x on koordinaattisijainti leveys suunnassa metreinä, y on koordinaattisijainti pituus suunnassa metreinä ja z on korkeussijainti metreinä.

LAS-tiedoston yhteen tietueeseen tulevat tiedot ovat pääasiassa peräisin laserkeilauksesta saaduista tiedoista, joten suurin osa kohdista jää tyhjiksi, kun kuvat muunnetaan

LAS-tiedostomuotoon. Neljäs luku vasemmalta oikealle on intensity eli intensiteetti, joka on laserilla palautuvan signaalin valon voimakkuus.

3.2 Tietokoneohjelmia ja algoritmeja

3.2.1 Python (ohjelmointikieli)

Python on ohjelmointikieli, joka on syntaksiltaan yksinkertainen ja sisältää korkeantasoisia tietorakenteita. Python pyrkii selkeään ja helposti luettavissa olevaan koodiin. Se käy oliopohjaiseen, proseduraaliseen ja funktionaaliseen ohjelmointiin eli on moniparadigmainen sekä dynaamisesti tyyppitetty.

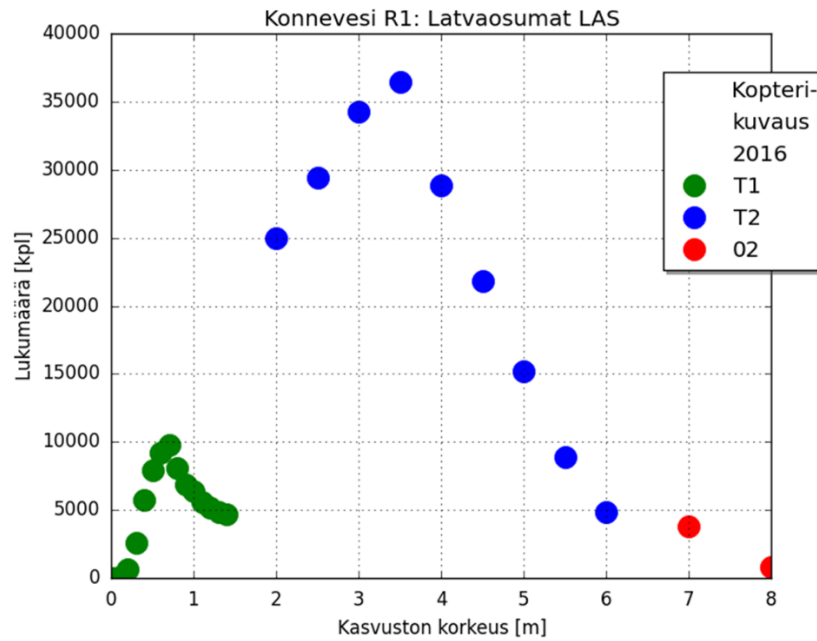
Opinnäytetyön aikana käytettiin Python 3.6.0 -versiota. Merkittävin moduuli kaavioiden piirtämiselle ja algoritmien tulosten havainnollistamiseen oli matplotlib.

3.2.2 Kyyt-algoritmi

Kyyt-algoritmi on Aalto-algoritmia edeltävä algoritmi, joka kehitettiin puuston kasvuston arvioimiseen ja soveltuu etenkin laserkeilatululle pistetiedolle. Aluksi laserkeilataan haluttu alue, joka jaetaan pienempiin ruutuihin, joista jokaista ruutua tarkastellaan erikseen. Algoritmi käy läpi saadut pisteet tietyllä ruudulla ja määrittelee peräkkäisille pisteille kehitysluokan sekä kiireellisyyden antamalla samaan kehitysluokkaan kuuluville vierekkäisille pisteille pisteitä. Saaduista kehitysluokista valitaan eniten pisteitä saanut, joka määrittelee ruudun kehitysluokan. Alue koostuu tällä tavoin saaduista ruuduista, joiden avulla voidaan määritellä koko alueen eri osien kehitys- ja kiireellisyyslukat.

3.2.3 Aalto-algoritmi

Tässä opinnäytetyössä keskitytään tarkastelemaan Aalto-algoritmia, jota on kehitetty puuston kasvuston arvioimiseen. Se perustuu LAS-tiedostojen pisteiden korkeuksien lukumääräjakaumiin, jolloin metsän kasvun eteneminen muodostaa aalto-kuvion (ks. Kuvio 6). Tästä aaltomuodosta Aalto-algoritmi on saanut nimensä.



Kuvio 6. Esimerkki aallosta, kopterikuvaus Konnevedeltä

Aalto-algoritmi jakaa alueen ruutuihin, joiden sisällä se määrittelee jokaiselle pisteelle kehitysluokan. Näille kehitysluokille määritellään lukumääräjakaumat kasvuston korkeuden funktiona, jotta aalto-kuvio pysyy selkeänä (ks. Taulukko 1).

Taulukko 1. lukumääräjakauma kasvuston korkeuden funktiona

Kehitysluokka	Jakoväli (m)
T1, pieni taimikko	0,1
T2, varttuneempi taimikko	0,5
O2, nuorimetsä	1
MM, muu metsä	2

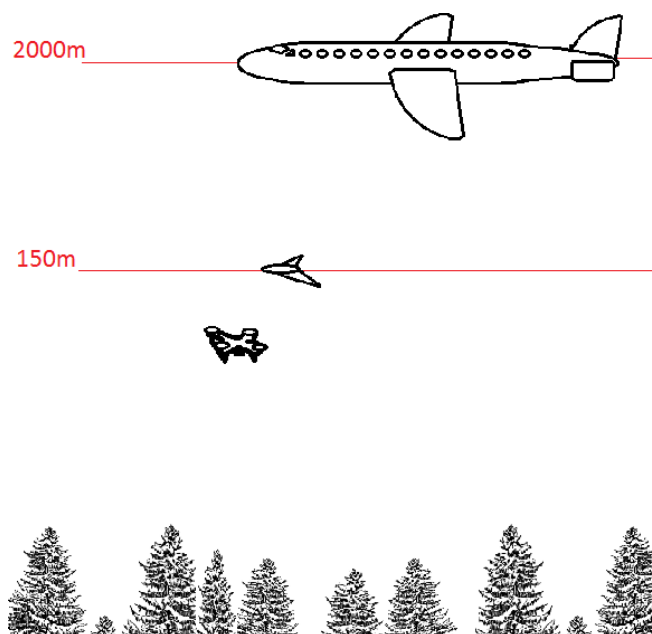
Aalto-algoritmin tuottama aaltokuvio muodostuu osumalukumääristä tiettyyn kasvuston korkeuteen. Suurin aalto määrittelee, mihin kehitysluokkaan puusto kuuluu ja kertoo missä vaiheessa se on kasvamassa. Koska latvoja on vaikea havaita kuvauksella tai keilauksella, tulee aallon laskeumaa painottaa, sillä puusto on yleensä pidempää kuin LAS-tiedosto antaa ymmärtää. Tätä käsitellään opinnäytetyössä myöhemmin (ks. Puuston kehitysluokan vääristyminen).

3.3 Kuvauksen ja laserkeilauksen erot

Maasto valokuvataan ilmasta käsin lennokilla tai kopterilla, jonka jälkeen otetuista kuvista voidaan muodostaa yksi suuri ortomosaiikkikuva maastosta sekä LAS-tiedosto erillisellä ohjelmalla. (ks liite 1 lokakuussa 2016 tehdystä kopterikuvauksesta Konnevedellä ja siitä muodostetusta ortomosaiikkikuvasta). Kuvista muodostetaan erillisellä ohjelmalla LAS-tiedosto, joka on käytännössä pistedatapilvi, josta näkee maaston korkeuden löydetyissä pisteissä.

Laserkeilatessa mittakeilain lähettää lasersäteitä kohti maastoa ja lasersäteen törmätessä pintaan se kimpoaa takaisin. Tällä tavoin keilain pystyy selvittämään kimpoamispaikkeen sijainnin ja intensiteetin. Laserkeilauksen koko tulos näyttää pistepilveltä, josta voidaan hahmottaa kolmiulotteinen kuva maastosta. Laserkeilaamiseen käytetään lentokoneita, jotka lentävät noin kahdessa kilometrissä ja mittaavat tästä korkeudesta arviolta 400-500 metriä leveitä kaistoja edetessään.

Lentokone lentää huomattavasti korkeammalla kuin kopteri tai lennokki (ks. Kuvio 7). Trafan verkkosivuilla on määritelty erilaisia asetuksia lentämiseen ja siellä lentokorkeudeksi koptereille ja lennokeille on suuntaa antavasti asetettu korkeintaan 150 metriä törmäyksien välttämiseksi. Tämä kuitenkin vaihtelee alueittain. (Missä saan lentää? 2017; Linnake 2014.)



Kuvio 7. Erot lentokorkeuksissa

Kuvausta varten laitteen ei tarvitse lentää 150 metrin korkeudessa vaan kuvaus voidaan suorittaa myös matalampaa. Kuvaus on myös nopea operaatio ja 2-5 hehtaaria voidaan kuvata noin 3-5 minuutin aikana. (ks. Tuloksien vertailu ja analysointi)

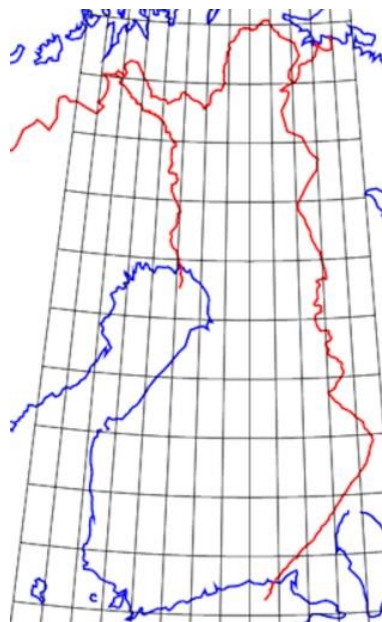
3.4 Maanpintatason ja metsien kehitysluokkien määrittäminen

Kaukokartoituksessa määrittäminen voi tapahtua joko kuvaamalla tai laserkeilauksena. Saa- dusta materiaalista tunnistetaan maa-alueet ja määritellään latvojen korkeus. Latvoihin osuneiden pisteiden määrä ja korkeus määräävät, mihin kehitysluokkaan puusto kuuluu.

Maanpintataso määritellään yhden neliömetrin alueelta, jotta epätasainen maasto ei vaikuttaisi vääristävästi. Voidaan myös käyttää valmiita maanpintamalleja (DEM), joita Maanmittauslaitos on laatinut. Latvojen korkeus lasketaan maanpintatasosta.

3.5 Koordinaattijärjestelmä: ETRS-TM35FIN

Käytämme ETRS-TM35FIN -koordinaattijärjestelmää, koska se on Suomessa yleisesti käytettävä järjestelmä (ks. Kuvio 8). Se perustuu metreinä mitattuihin koordinaatteihin lähimmästä vaakaviivasta ja pystyviivasta. (JHS 154 ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatit ja karttalehtijako, 2008, Liite 5: Muunnos ykj ↔ ETRS-TM35FIN 2017.)

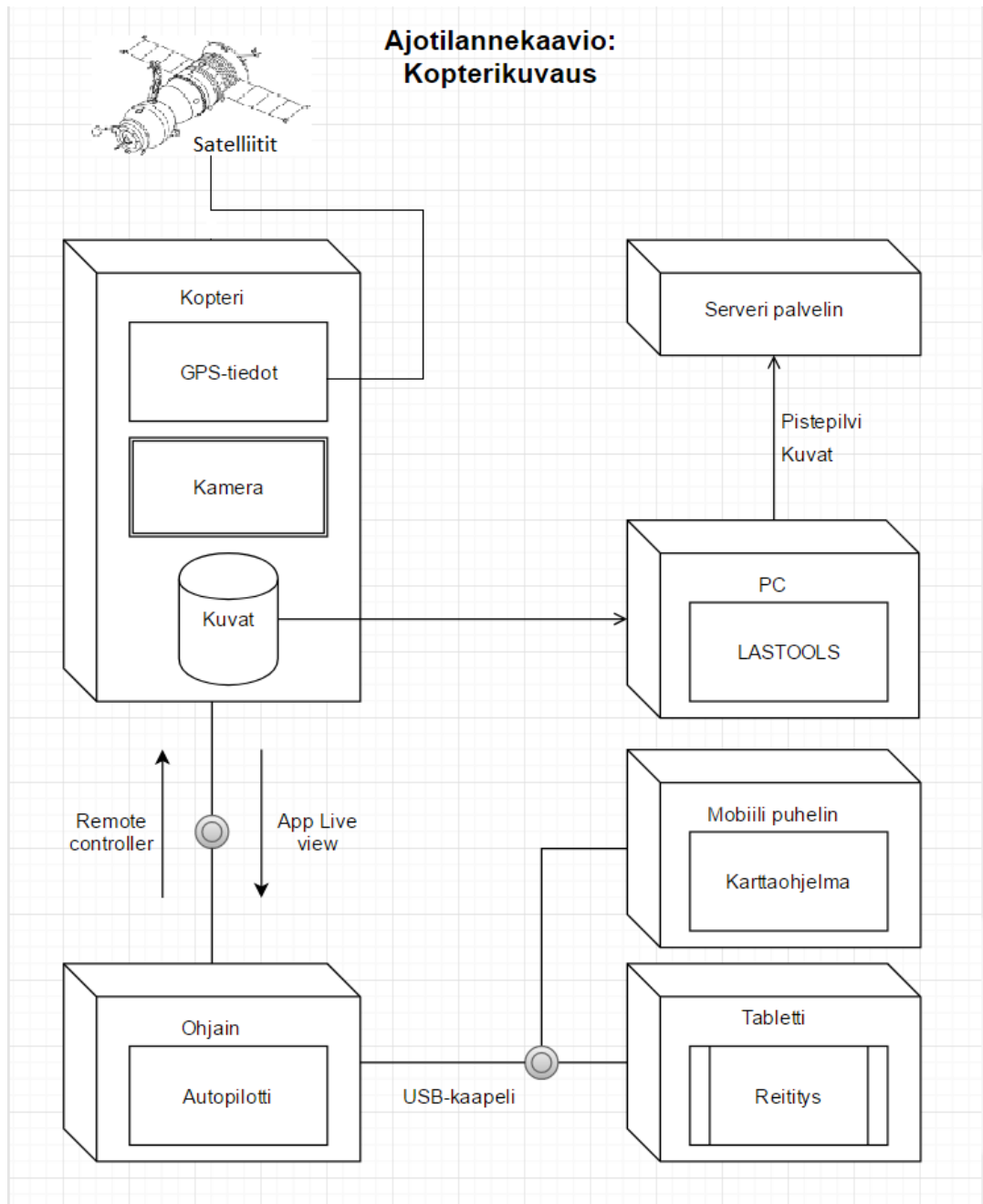


Kuvio 8. ETRS-TM35FIN-koordinaatiston kattama alue

Verrattuna aiemmin Suomessa käytetyn KKJ-yhtenäiskoordinaatistoon nykyisen ETRS-TM35FIN-koordinaatiston pohjoiskoordinaatti poikkeaa joitakin kilometrejä, mutta itäkoordinaatti poikkeaa noin 3000 km. (Oman sijainnin määrittäminen kartalla GPS-paikantimen avulla 2017.)

3.6 Kopterikuvauksen ajotilannekaavio

Ajotilannekaavio kertoo, kuinka kopterikuvaus tapahtuu ja mistä komponenteista ja ohjelmista mittaus- ja kuvausjärjestelmä pääasiallisesti koostuu (ks. Kuvio 9). Tärkeimmät komponentit ovat kopteri ja kopterin ohjain, joilla kuvaaminen, paikantaminen ja ohjaus tapahtuvat. Kopterin ohjain ja sen lennättäjä saavat tietoja karttaohjelmilta, joiden avulla voidaan tehdä kopterille lentoreitti, jota pitkin autopilotti ohjaa kopterin lentämään. Kuvauksen jälkeen kuvat siirretään koneelle jatkokäsittelyä varten LAS-tiedostoksi.

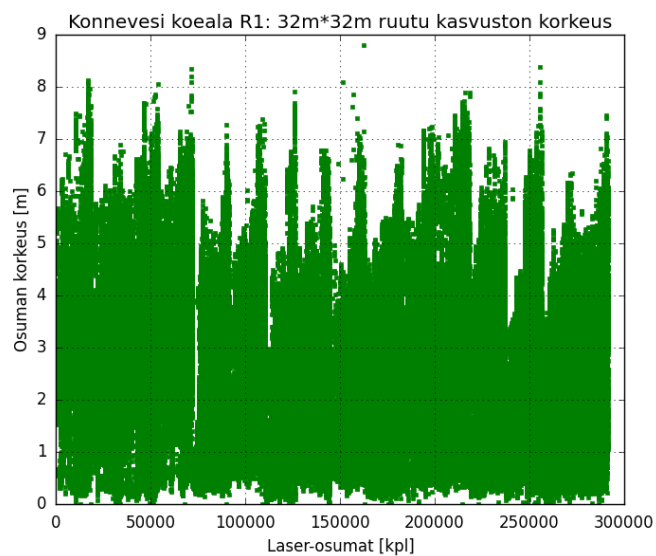


Kuvio 9. Ajokaavio kopterin toiminnasta kuvauksessa ja tietojen saamisesta

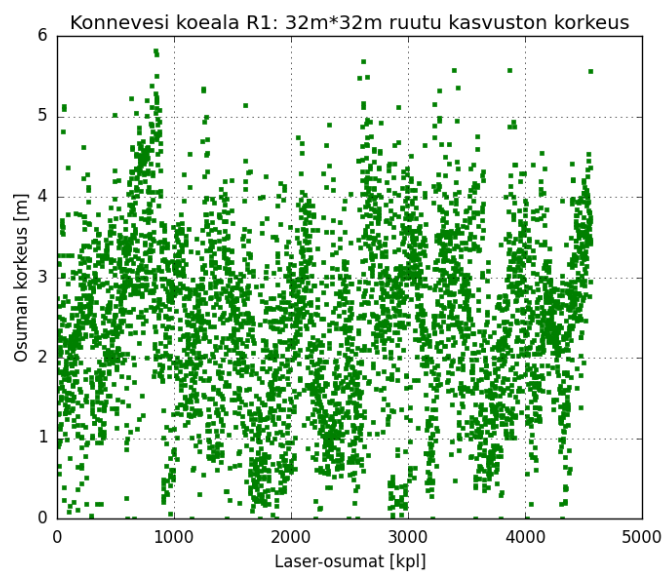
4 Algoritmien kehitystyötä ja testausta

4.1 Tuloksien vertailu ja analysointi

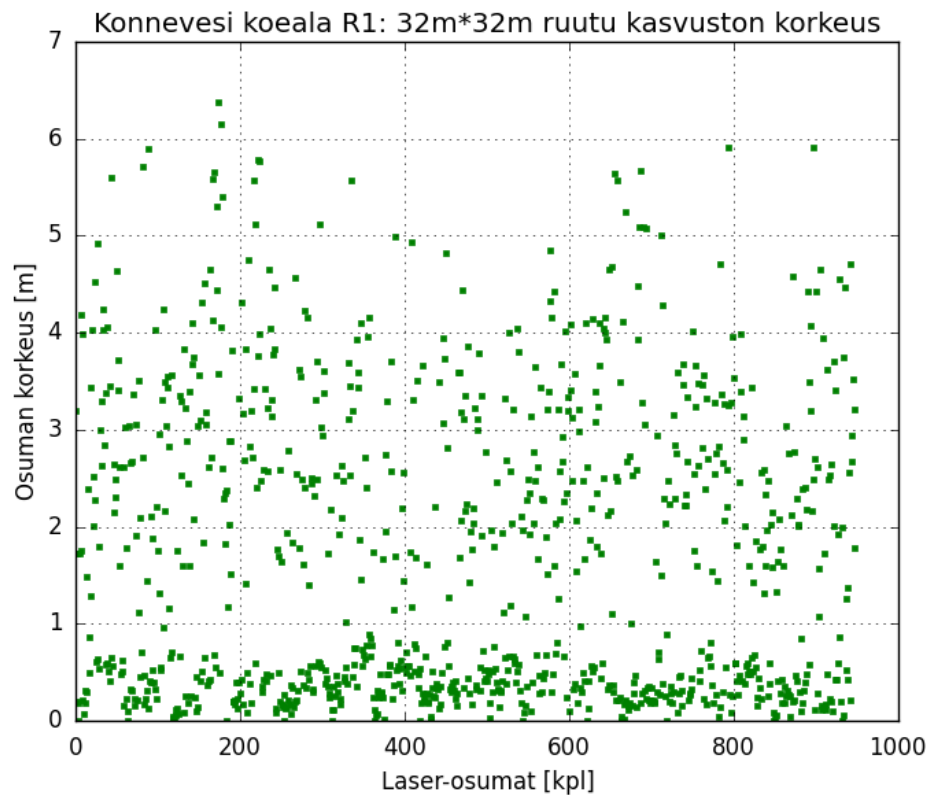
Kun vertaillaan kopteri- ja lennökkikuvauksista saatujen LAS-tiedostojen pistemääriä, huomataan, että kopterilla ja lennokilla tehdyillä kuvauksilla on pisteitä enemmän kuin lentokoneella tehdyssä laserkeilauksessa (ks. Kuviot 10-12).



Kuvio 10. Pisteet Kopterilla kuvaamalla saadusta LAS-tiedostosta



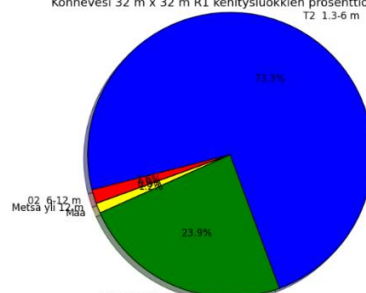
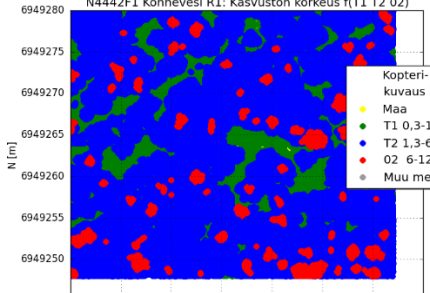
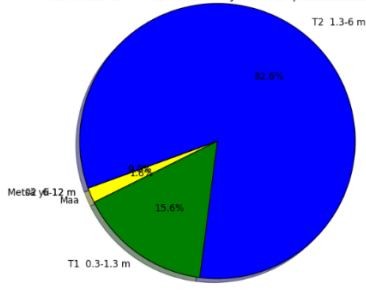
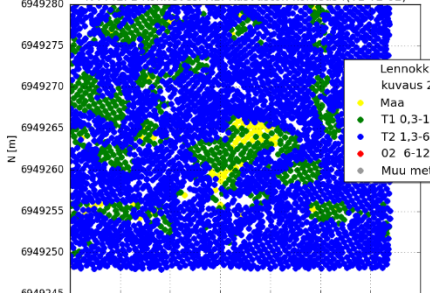
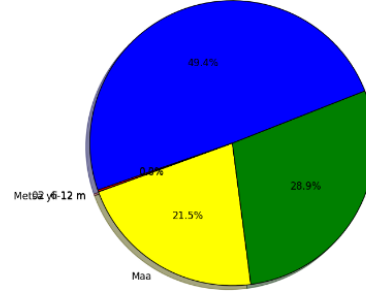
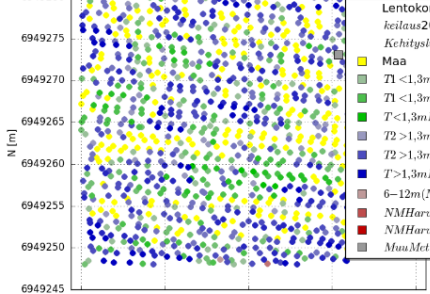
Kuvio 11. Pisteet Lennokilla kuvaamalla saadusta LAS-tiedostosta



Kuvio 12. Pisteet Lentokoneella laserkeilauksella saadusta LAS-tiedostosta

Taulukosta 2 näemme, että mitä suurempi pistetiheys, sitä tarkemmin Aalto-algoritmi havaitsee erilaisia kehitysluokkia samalla alueella. Kopterikuvauksesta ajettu suurin pistetiheys havaitsee neljä eri kehitysluokkaa, kun taas hieman harvempi lennökkikuvauksista havaitsee vain kolme. Nämä kaksi pistetiheyttä arvioivat kuitenkin pitkälti saman verran suurimpia kehitysluokkia. Lentokonekeilaus arvioi kehitysluokat huomattavasti karkeammin ja poikkeaa rajusti tiheämpien LAS-tiedostojen tuloksista, mutta arvioi kuitenkin alueen suurimman kehitysluokan oikein, koska se oli selkeästi havaittavissa. Lentokonekeilaus ei todennäköisesti pystyisi arvioimaan suurinta kehitysluokkaa oikein, jos alueella on monia eri kehitysluokkia sekaisin keskenään.

Taulukko 2. Vertailu tulostuksia eri tavoin saadusta LAS-datasta

	Löydettyjen kehitysluokkien prosenttiosuudet	Kehitysluokkien esiintyminen alueella
Kopteri	<p>Konnevesi 32 m x 32 m R1 kehitysluokkien prosenttiosuudet</p> <p>T2 1.3-6 m</p>  <p>T1 0.3-1.3 m</p> <p>O2 6-12 m</p> <p>Metsä yli 12m</p>	<p>N4442F1 Konnevesi R1: Kasvuston korkeus f(T1 T2 O2)</p>  <p>N [m]</p> <p>E [m]</p>
Lennokki	<p>Konnevesi 32 m x 32 m R1 kehitysluokkien prosenttiosuudet</p> <p>T2 1.3-6 m</p>  <p>T1 0.3-1.3 m</p> <p>Metsä y6-12m</p> <p>Maa</p>	<p>N4442F1 Konnevesi R1: Kasvuston korkeus f(T1 T2 O2)</p>  <p>N [m]</p> <p>E [m]</p>
Lentokone	<p>Konnevesi 32 m x 32 m R1 kehitysluokkien prosenttiosuudet</p> <p>T2 1.3-6 m</p>  <p>T1 0.3-1.3 m</p> <p>Metsä y6-12m</p> <p>Maa</p>	<p>N4442F1 R1: Taimikon(T) ja Nuoren Metsän(NM) Hoito</p>  <p>N [m]</p> <p>E [m]</p>

Laserkeilatessa pisteitä tulee vähemmän, koska mittakeilain ei saa yhtä paljon osumia laserilla kuin mitä voidaan ottaa värianalyysillä kuvasta. Kuvauksessa koko alue kuvataan ja kuvista muodostetaan LAS-tiedosto erillisellä ohjelmalla, jolloin pisteitä saadaan paljon enemmän, koska kuva sisältää mahdollisen pisteen joka pikselille. Kun lennokilla ja kopterilla saadut kuvat muutettiin LAS-tiedostoiksi, niihin käytettiin eri pistetiheyksasetuksia, minkä vuoksi lennokki- ja kopterikuvauksilla on eri pistetiheydet. Lennokilla suoritetusta kuvauksesta tehtiin harvempi kuin kopterilla suoritetusta.

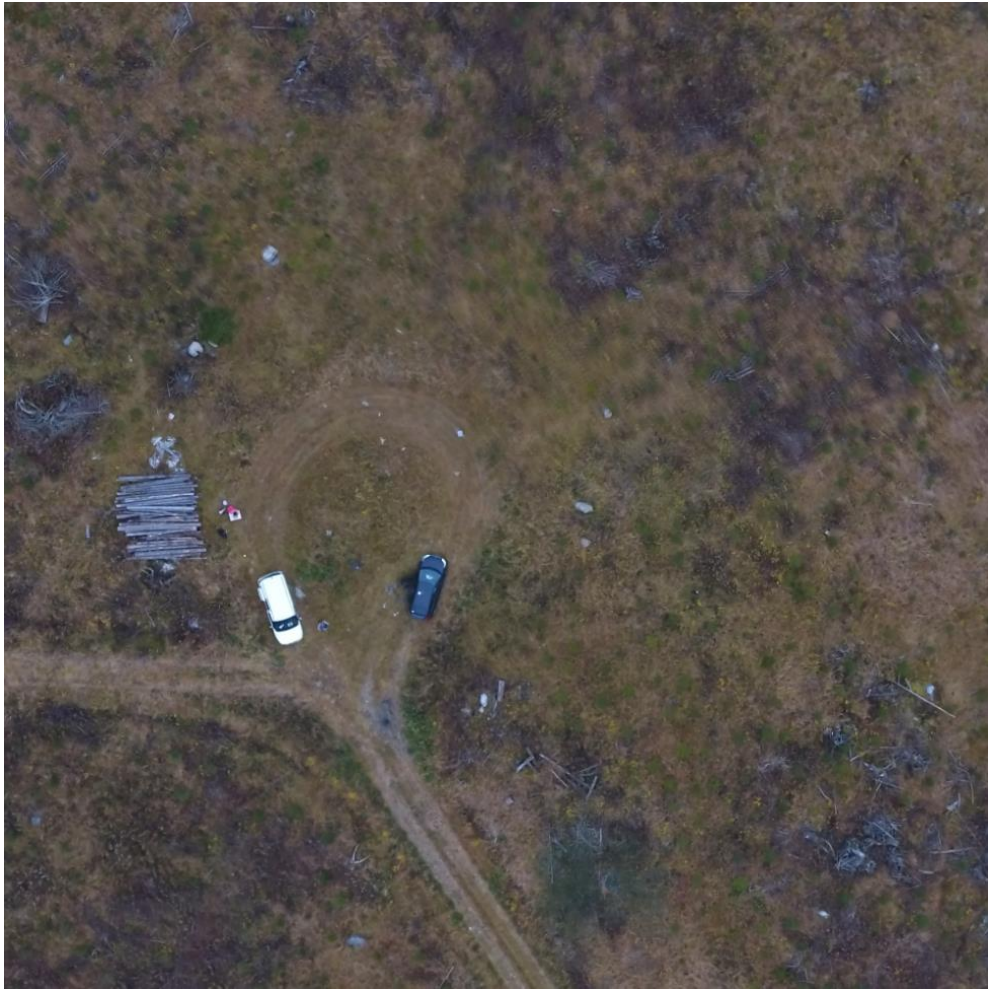
Mahdolliset erot kuvauksissa johtuvat laitteistoeroista, kuten käytetystä kamerasta ja sen asetuksista. Eroja voi syntyä myös erilaisten sääolosuhteiden takia (ks. Kuviot 13-

14). Kirkkaalla, tyynellä ja aurinkoisella säällä on hyvä valokuvata kopterista tai lennokista käsin, koska laitteen lento on vakaata ja kuvattava metsä on hyvin valaistu. Huono sää sekä hämäryys samentavat kuvia ja muuttavat ne epätarkoiksi.

Kuviossa 13 näkyy selkeästi auringon tekemät varjot, jotka tulee eliminoida tunnistuksessa. Varjo voi sotkea väripohjaista tunnistusta, kun kuvasta muodostetaan LAS-dataa. Esimerkiksi Kuviossa 13 huomataan alareunassa korkean koivun jättämä varjo, joka osuu lähes valkoisen auton päälle. Tämän tyyppiset isommat varjot tummentavat alle jäävien taimien värejä ja saattavat aiheuttaa sen, että taimet määritellään väärän korkuisiksi.



Kuvio 13. Konnevedellä kuvaus lennokilla



Kuvio 14. Konnevedellä kuvaus kopterilla

Kuusentaimien korkeusjakauma voidaan kuitenkin muuten mitata varjoista huolimatta. Esimerkiksi tummemmat kivet kuuluisi mitata oikeisiin korkeuksiin. Lisäksi kuvissa pitää huomioida vuodenaika ja sen mukana vaihtuva luonnon värimaailma varsinkin lehtipuissa. Kuvista voidaan värin perusteella tunnistaa puulajeja sekä kasvillisuuspeitteitä.

Taulukossa 3 on vertailtu kuvauksen ja keilauksen hyviä ja huonoja puolia. Lennokista ja kopterista tehdyt kuvaukset ovat aika samanlaisia vahvuuksineen ja heikkouksineen. Kun vertailee keilausta ja kuvausta, havaitsee että keilaus on paljon tarkempi ja varmempi kuin kuvaus. Sen pistetiheys on kuitenkin harva, mikä tekee siitä epäluotettavan.

Kuvista värianalyysillä saatu korkeustieto ei ole yhtä luotettava kuin laserilla mitattu, mutta kuvista voidaan hyödyntää väriin perustuvaa tunnistusta toisin kuin laserilla.

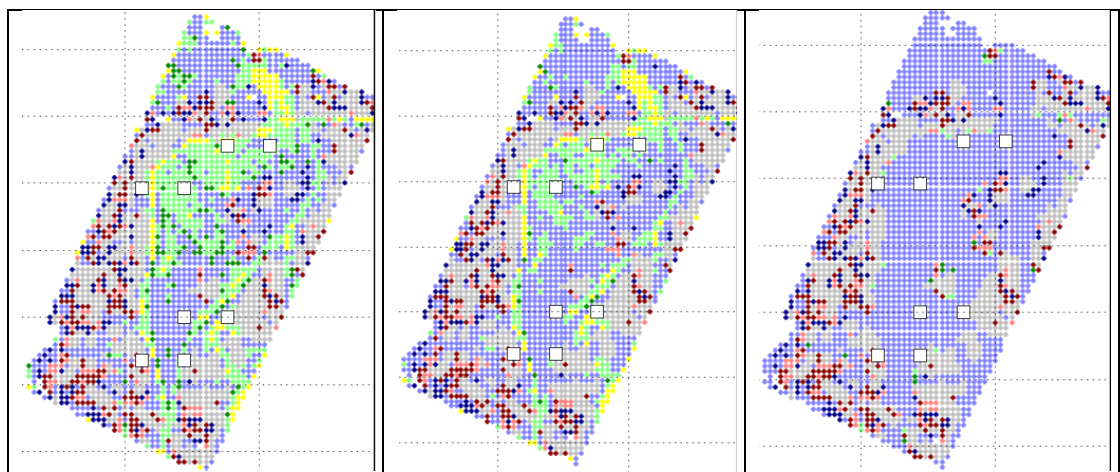
Koska maanmittauslaitos suorittaa laserkeilauksia lentokoneista käsin, tällä tavoin mitatut alueet ovat suuria Suomen mittapuulla. Kuvauksissa tietoa voidaan helposti rajoittaa käsittelemään vain tiettyä aluetta ohjeistamalla autopilotti ajamaan vain haluttu alue, mutta kuvauksessa täytyy huomioida, kuinka kauan ilma-alus pystyy pysymään ilmassa ennen akun loppumista.

Taulukko 3. Kuvauksen ja keilauksen hyvät ja huonot puolet

Kuvaus		Keilaus
Lennoikki	Kopteri	Lentokone
- Suuret pistetiheydet		+ Tarkin mittatulos
- Suuret tiedostot		- Harva pistetiheys
+ Kohdistettu mittaus		- Suuret alueet
+ Väriin perustuva tunnistus		
- Mittatulos epätarkka		
- Aukkoja kuvissa		
- Valoisuus ja vuodenaikariippuvuus		
T1:sen mittaustarkkuus vaihtelee		

Taulukossa 4 on neljä erilaista Aalto-algoritmin ajoa, joissa ollaan painotettu erillä tavoin kasvuluokan määrittelyä. Siirtämällä pituusrajoja ylös- tai alaspäin sovitettiin alue muistuttamaan todellista tilannetta.

Taulukko 4. Painotusten muuttaminen puiden pituudessa



Vihreä väri kuuluu T1-kehitysluokkaan, siniharmaa T2-kehitysluokkaan, harmaa muuhun metsään ja keltainen kuvastaa maaosumia. Vasemmalla olevasta kuviossa keski-alue on liian matalaksi määriteltyä eli raja on liian matalalla. Oikealla olevassa kuviossa raja on asetettu liian korkealle. Keskimäinen kuvio osuu kaikkein lähimmäs todellista tilannetta. Voidaan myös havaita, että paikoin muu metsä on määritelty väärin, koska Aalto-algoritmi on erehtynyt luulemaan puiden oksistoa maatasoksi ja mitannut puun pituudeksi ainoastaan kyseisen puun latvan.

Esimerkki koodi Aalto-algoritmin kehitysluokkajaosta:

```
# Taimikko ali 0.1 - 0,3 - 0.5 - 1,3 m
elif Hkasvusto >= 0.3 and Hkasvusto < 1.3:
    p.classification = 16

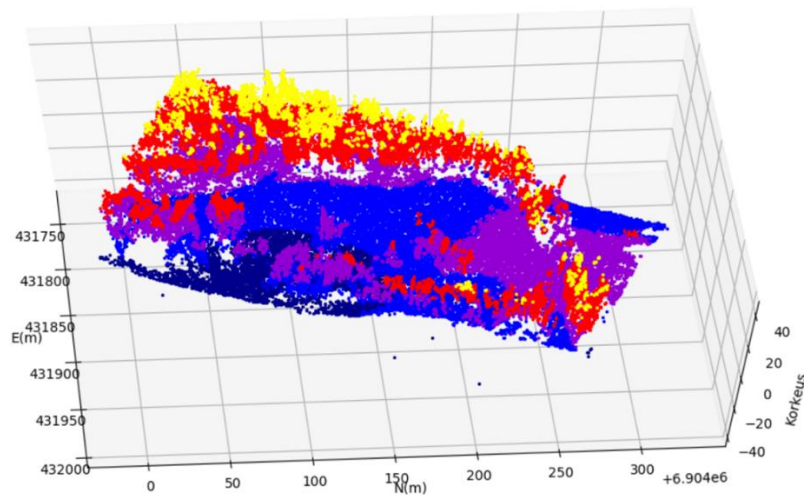
# Taimikko 1,3 - 6,0 m
elif Hkasvusto >= 1.3 and Hkasvusto < 6.0:
    p.classification = 21

# Nuori metsa
elif Hkasvusto >= 6.0 and Hkasvusto < 12.0:
    p.classification = 26

# Muu metsa yli 12 m
elif Hkasvusto >= 12.0:
    p.classification = 30

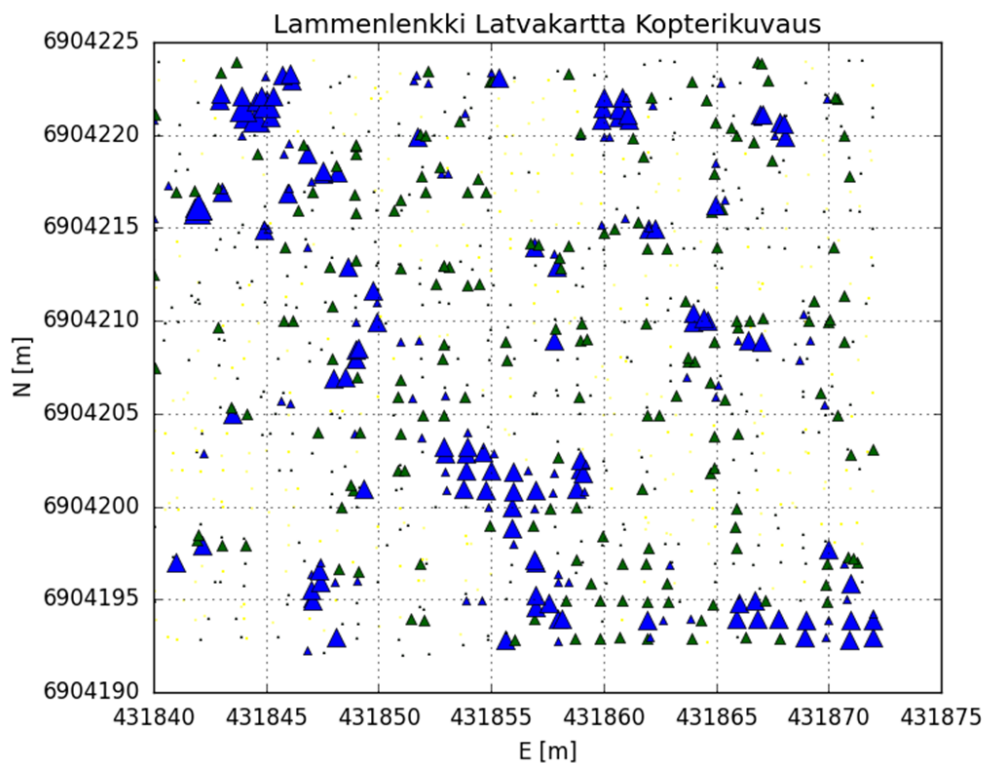
else:
    p.angle = 0
    p.classification = 1
```

Kuviossa 15 on 3D-malli LAS-tiedostosta. Kuvioista voidaan nähdä, miltä kuvasta värianalyysinä ajettu LAS-tiedosto näyttää tietokoneelle. Kyseiseen 3D-malliin on otettu ainoastaan joka viideskymmenes piste, mutta siitä voidaan tästä huolimatta erottaa maaston muotoa ja muun metsän puut. (ks. liite 3)



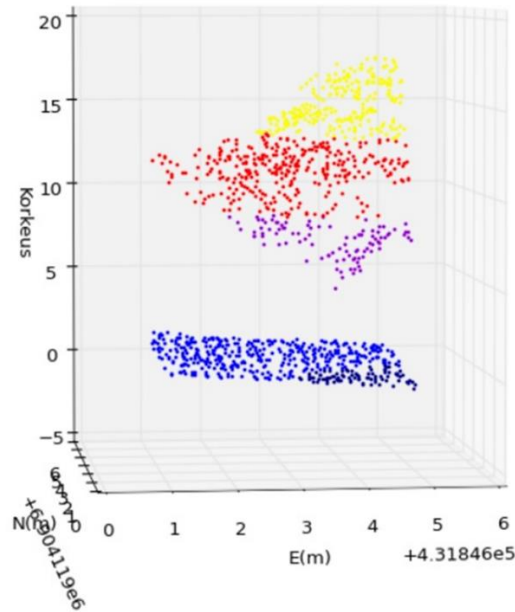
Kuvio 15. Lammenlenkki 3D-koordinaatistossa

Kuvio 16 on pienempi, 1024 neliömetrin alue, jolla pitäisi kasvaa pääasiallisesti taimikoita sekä muutamia isompia muun metsän puita jätettynä siemenpuiksi. Kokeilun vuoksi kuva jaettiin ainoastaan kahteen eri ryhmään, jossa kaikki tietyn rajan alapuolella olevat puut värjätään vihreiksi ja yllä olevat sinisiksi. Kolmion merkkikoko kerrottiin puun pituudella, joten suuremmat kohteet esiintyvät suuremmilla merkeillä ja pienemmät pienemmillä.



Kuvio 16. 1024 neliömetrin alue Lammenlenkiltä

Kuvion 16 vasemmassa yläreunassa erottuva sininen kolmiorykelmä on todellisuudessa yksi suuri muun metsän puu, jonka pituus on LAS-tiedoston mukaan arviolta 18 metriä. Kuviossa 17 näemme 3D-mallina kyseisen puun LAS-tiedostosta. Tällaiset usealle ruudulle jakaantuvat kohteet tulisi havaita LAS-tiedostosta ja osata lukea yhtenä puuna. Lisäksi pitäisi tarkistaa, ettei maanpinta heittelehdi voimakkaasti, jotta maataso ei päätyisi todellisen maan sijaan muun metsän latvaan.



Kuvio 17. Muun metsän puu 3D-koordinaatistossa

4.2 Ilmenneet ongelmat

4.2.1 Puuston kehitysluokan vääristyminen

Puuston kehitysluokka saattaa vääristyä laserkeilauksessa, jos puusto on suureksi osaksi kapealatvaista (ks. Kuvio 18). Tällöin laserin on hankala osua todelliseen latvakorkeuteen ja se osuu todennäköisemmin leveämpään varteeseen luullen sitä latvaksi. Tällöin algoritmi merkitsee alueelta kehitysluokan vääräksi, etenkin jos puuston korkeus on lähellä kahden kehitysluokan rajaa.



Kuvio 18. Kapealatvainen ja "normaali" kuusi

Myös kuvaamalla saadussa LAS-datassa on hyvin vähän latvaan osuneita pisteitä, koska latvat on hankala tunnistaa kuvista (ks. Kuvio 19).



Kuvio 19. Laajavuorella olleita kapealatvaisia kuusia

Vääristymä aiheuttaa useimmissa tapauksissa sen, että T2-kehitysluokan puut merkitään T1-kehitysluokkaan.

4.2.2 Mäntyjen ja kuusien erottaminen toisistaan

Tällä hetkellä algoritmi tunnistaa vain korkeimmat pisteet pistepilvestä, jolloin ei voida tietää onko kyseinen löydetty piste kuusi vai jotain muuta, kuten mänty tai kivi. Tunnistusta voidaan parantaa esimerkiksi vertailemalla eri pisteiden aiheuttamia aaltoja ja pyrkiä tunnistamaan kuusien aiheuttamat aallot muista aalloista. Vertailua voidaan tehdä myös kuvista värin ja muodon perusteella, missä on huomioitava vuodenajan vaikutus luontoon.

4.2.3 Maanpinnan määrittelyn vaikeus

Jotta puiden korkeus voidaan arvioida, tulee ensin määritellä maataso. Maataso määritellään alueen maapisteiden perusteella ja näistä pisteistä arvioidaan maatason korkeus koko ruudulle. Kahdeksan ja neljän neliömetrin ruuduilla maataso voidaan arvioida suhteellisen luotettavasti, mutta tätä pienemmillä ruuduilla maatasoa ei voida arvioida kunnolla, koska alueella ei välttämättä ole tarpeeksi maapisteitä.

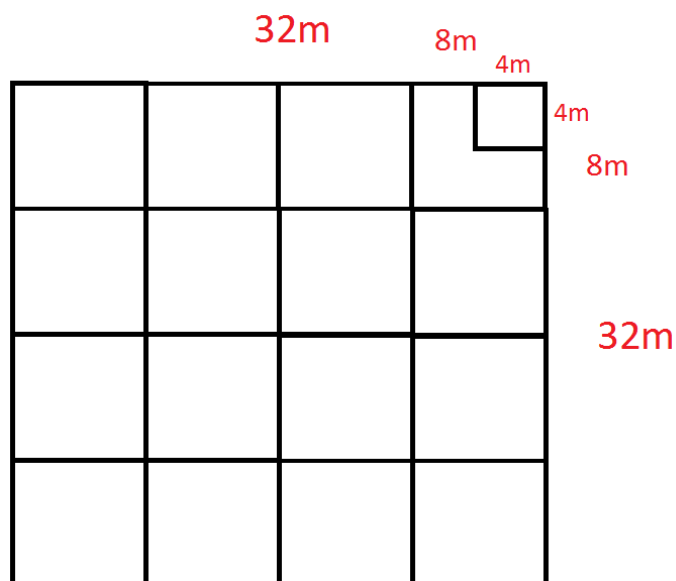
Maapisteet saattavat vääristyä, esimerkiksi jos heinikko on pitkää tai ”metsä on sulkeutunut” eli ei saada pisteitä maasta vaan ainoastaan maanpintatason yläpuolelta (ks. Kuvio 20). Tämä vaikuttaa varsinkin pienellä ruutukoolla. Jos ruutukoko menee liian suureksi, voi tapahtua vääristymää, jos alue sijaitsee rinteessä. Alueen sijaitessa rinteessä voi tapahtua vääristymää, jos maankorkeus määritetään liian suurella ruutukoolla (ks. Kuvio 21).



Kuvio 20. Oikeassa reunassa näkyy "metsän sulkeutuma" ja vasemmalla korkeaa heinikkoa

Ongelmaa voidaan ratkaista käsittelemällä aluksi isompia ruutuja ja määrittelemällä niille maataso. Isommista ruuduista siirrytään asteittain pienempiin ruutuihin määrittellen joka kerta ruudulle maataso. Vertailemalla kaikkien ruutujen maatasoja toisiinsa voidaan arvioida, onko pienillä 2 ja 1 neliömetrin ruuduilla kyse todellisesta maatasosta vai onko kyseessä vääristymä. Tämäkään ei ole välttämättä täysin luotettava menetelmä, koska kuten kuviossa 20 näkyy, vaikeasti määriteltävä maa-alue saattaa sijaita epätasaisella maa-alueella.

Toinen tapa ratkaista ongelma olisi liittämään ohjelmaan maanmittauslaitoksen tekemiä maanpintamalleja (DEM) ja laskea kasvuston korkeus sen perusteella.

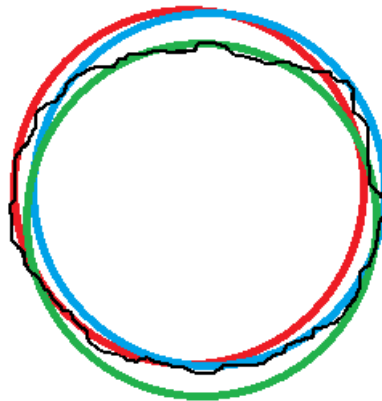


Kuvio 21. Koealueen ruuduttaminen

4.2.4 Siirtymät koordinaatistossa

Tietyn laitteen sijainti voidaan laskea satelliittien sijainneista. Laite ottaa vastaan vähintään kolmen eri satelliitin tiedot, joista se voi laskea oman sijaintinsa. Tärkeimmät satelliittien lähettämät tiedot laitteen sijainnin kannalta ovat satelliitin aika ja paikka. Paikka on satelliitin sijainti ja aika on satelliitin sen hetkinen aika, kun se lähettää tietonsa. Näistä laite voi laskea oman sijaintinsa. (Carbony 2013.)

On kuitenkin olemassa monia eri koordinaattijärjestelmiä maapallon eri alueille. Koska maapallo ei ole täydellinen pallo, kuten kuviossa 22 on havainnollistettu, sama koordinaattijärjestelmä ei sovi kaikille maapallolla. Koordinaattijärjestelmät olettavat, että maapallo olisi täydellisen pyöreä, minkä vuoksi eri korkeudella maapallon keskipisteestä sijaitsevat maanpinnat vaativat oman koordinaattijärjestelmänsä. (A Simple Explanation of Datum 2014.)



Kuvio 22. Maapallon epämuotoisuus ja koordinaattien vaikutus

Työn aikana syntyi hankaluuksia suuren kuvatun alueen muuttamisessa tiheäpisteiseksi LAS-tiedostoksi (ks. Liite 1). LAS-tiedosto sisälsi pisteiden sijainnin x, y ja z puhtaassa koordinaatistossa metreinä, ilman maaston koordinaattitietoja. Tällöin pistedatan sijoittaminen oikein kuvatun alueen koordinaatteihin vaikeutui huomattavasti.

Asiaa pyrittiin korjaamaan lisäämällä koordinaatit, jotka vaikuttivat oikeilta alueelle. Isomman alueen koordinaatit osoittautuivat vaikeaksi sovittaa oikein (ks. Kuvio 23). Tämä johti myöhemmin koordinaattien väärin sijoittumiseen, kun pisteitä yritettiin

poimia sijainnin perusteella listoihin. Tämä johti tyhjiin alueisiin piirroissa ja maanpintatason heittelemiseen useilla metreillä.



Kuvio 23. Siirtymä sovitetussa koordinaatistossa verrattuna oikeaan.

Jos sijaintitiedot menetetään tai ne vääristyvät rajusti, kuvia pitäisi pystyä sovittamaan oikeisiin koordinaatteihin kyseisen alueen aikaisempien kuvien maamerkkien perusteella. Muussa tapauksessa kuvat pitää muuttaa uudelleen LAS-tiedostoksi tai alue pitää kuvata uudelleen, jotta mukaan saadaan myös sijaintitiedot.

4.2.5 Muuttuvat tietueet

Ongelma alkoi muodostua, kun kaikki laserkeilatessa pisteelle saadut tiedot otettiin mukaan txt-tiedostoon. LAS-tiedosto muutetaan txt-tiedostomuotoon ohjelman käsittelyä varten, minkä seurauksena txt-tiedostosta tulee tarpeettoman suuri.









Laserkeilauksella kaukokartoittamalla ja kuvauksen värianalyysillä saaduilla kohdetiedoilla on selkeitä eroja. Laserkeilaamalla muodostettu LAS-tiedosto sisältää paljon enemmän tietoja yhdestä pisteestä verrattuna kuvaamalla muodostettuun LAS-tiedostoon. Yhteisiä tietoja näillä on x, y ja z -sijaintitieto. Yksi LAS-tiedoston tietue voi sisältää tai olla sisältämättä aikakoodin, tietoformaatin ja muita tietoja. Näille tiedoille on kuitenkin turhaan paikat LAS-tiedostosta muunnetussa txt-tiedoston tietueessa.

Tämä kasvattaa ennestään jo suuren txt-tiedoston kokoa suuremmaksi kuin sen tarvisi olla.

Aluksi täytyisi ongelman korjaamiseksi tehdä erillinen ohjelma, joka muuttaisi laserkeilauksesta saadun LAS-tiedoston vain ohjelman kannalta hyödyllistä tietoa sisältäviksi tietueiksi ohjelman ajoa varten. Tämän jälkeen pitäisi muokata ohjelma ottamaan vastaan erikokoisia txt-tiedostojen tietueita. Toisin sanoen ohjelma olisi hyvä saada tietueen koosta riippumattomaksi.

4.2.6 Värikoodit ja merkkikoot

Eri väreillä on merkitys siihen, miltä tulostukset tulevat näyttämään. Kuviossa 24 näkyy, miten nykyinen ohjelma on käyttänyt värejä kuvaamaan eri kehitysluokkia tulostuksissa. On havaittu, että harmaa ei välttämättä ole hyvä väri kuvaamaan muuta metsää, joka on suurempikokoista kuin T1, T2 tai O2. Samoin hoitotöiden kiireellisyysluokat käyvät huonosti ilmi nykyisillä väreillä.

	T1
	T1
	T1 Heti
	T2
	T2 Heti
	O2
	O2 Heti
	MuuM

Kuvio 24. Käytetyt värikoodit kehitysluokille

Aalto-algoritmin merkkikoko tulisi olla ainakin pistetiheyssidonnainen, koska suurella pistetiheydellä merkit alkavat kasaantua toistensa päälle. Tämä johtaa siihen, että osa kehitysluokista saattaa kadota näkyvistä joillain alueilla, koska suuremmat merkit peittävät ne alleen. Opinnäytetyössä kokeiltiin sitoa merkkikokoa kasvuston pituuteen, joka osoittautui hyväksi ratkaisuksi. Tässä on kuitenkin huomioitava, etteivät pienien taimikoiden merkit muutu tunnistamattoman värisiksi liian pienen kokonsa vuoksi ja etteivät muun metsän suurilla puilla ole niin suuret merkit, että ne peittävät alleen muita kehitysluokkia.

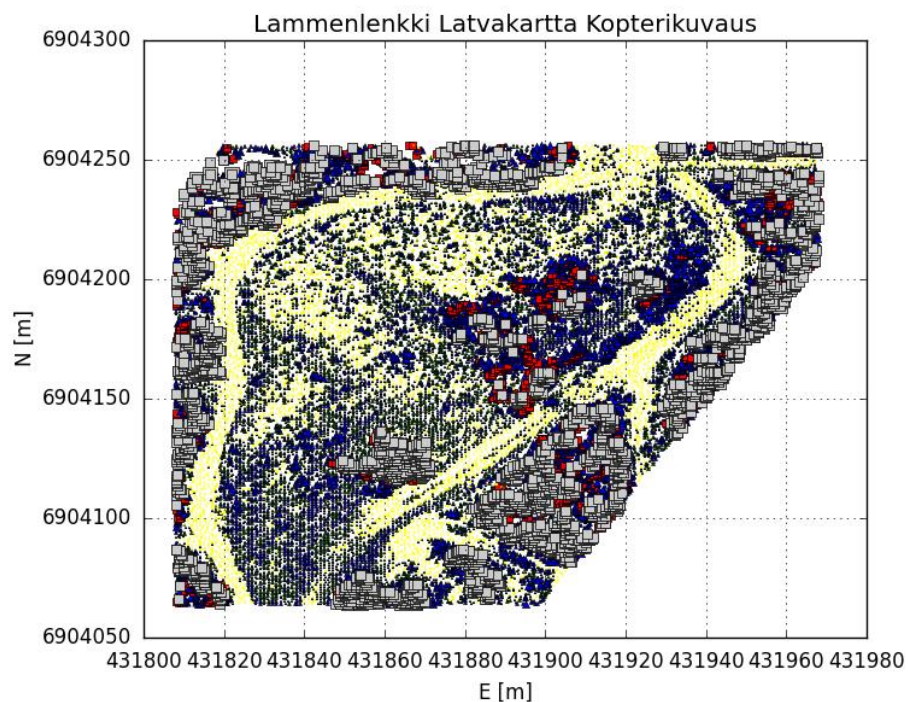
4.2.7 Kuusien etäisyyksien määrittely

Kuusien etäisyyksien määrittely on merkityksellistä tietoa alueen tiheyden kartoittamiseksi. Tämä kuitenkin aiheutti ongelmia algoritmin pitämisenä tehokkaana. Kuusentaimet tulisi istuttaa 2-3 metrin välein, joten mitattavia välejä kuusien kesken on hyvin paljon.

4.3 Testauksen tulokset

Jyväskylässä Laajavuorella huhtikuussa 2017 tehdystä kopterikuvauksesta havaitsimme selkeämmin ongelmia maaston määrittelyssä johtuen epätasaisesta maastosta ja joistain kohdin sulkeutuneesta metsästä. Kuvattu alue Laajavuorella sijaitsi mäessä ja laskeutui paikoin jyrkästi alaspäin. Kuvion 25 reunoilta on myös näkyvissä hieman sulkeutunutta muuta metsää. Alueesta saadusta LAS-tiedostosta voidaan hyvin havaita haastavan kohteen vaikutus Aalto-algoritmiin.

Kun verrataan aalto-algoritmilla saatua kuviota 25 ja Laajavuoren ortomosaiikkikuvaa (Liite 3), huomaamme kuvion vasemmalla puolella olevassa polussa virheen. Kyseisessä kohdassa sijaitsee jyrkästi laskeutuva polku, joka aiheuttaa sen, että ohjelma luulee kyseessä olevan pientä taimikkoa.

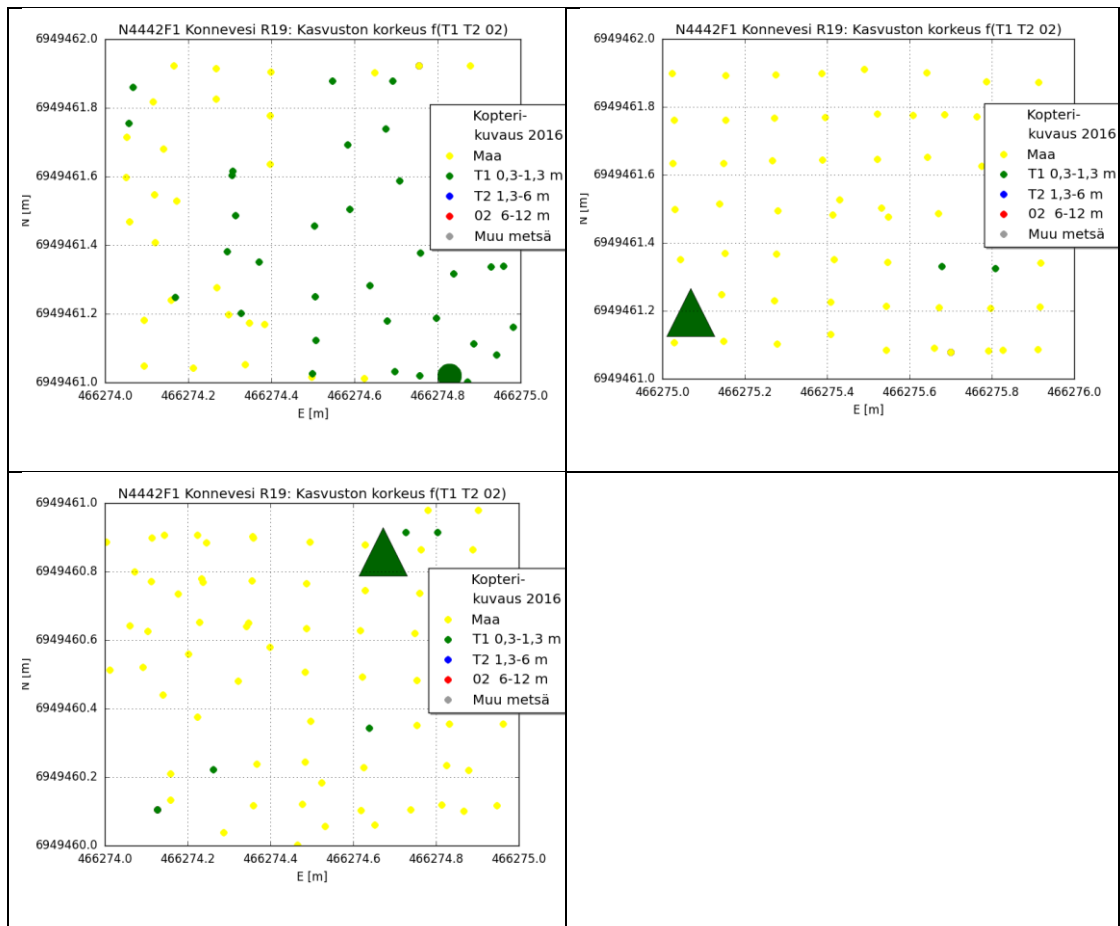


Kuvio 25. Lammenlenkki algoritmin läpiajamisen jälkeen

Muuttamalla algoritmia niin, että se laskee maksimikorkeuspisteen sijainnin yhdelle neliometrille, johti taulukossa 5 näkyviin tuloksiin. Algoritmin ajossa löydettiin kuusi, joka oli osunut keskelle useampaa ruutua, jolloin sama kuusi näkyi kolmessa eri ruudussa. Tämän takia algoritmissa tulisi huomioida useammalle ruudulle jakaantuvat taimet, jotta samaa taimea ei laskettaisi useaan kertaan.

Jos sama taimi laskettaisiin useana eri puuna, se aiheuttaisi ongelmia puiden määrässä sekä etäisyyksissä. Taimien määrä olisi erittäin todennäköisesti huomattavasti suurempi tarkastellessamme pisteitä yhden neliometrin ruudulla, koska moni taimista jakaantuu useammalle ruudulle. Taimien etäisyyksien keskiarvo muuttuisi liian pieneksi, koska joukossa olisi paljon taimen latvan ja sen alaoksien välisiä etäisyyksiä. Esimerkiksi taulukon 5 vasemmassa yläreunassa oleva kuvio on kuusen runko ja latva. Muut kuviot ovat saman kuusen alempia oksia.

Taulukko 5. Löydetty kuusi

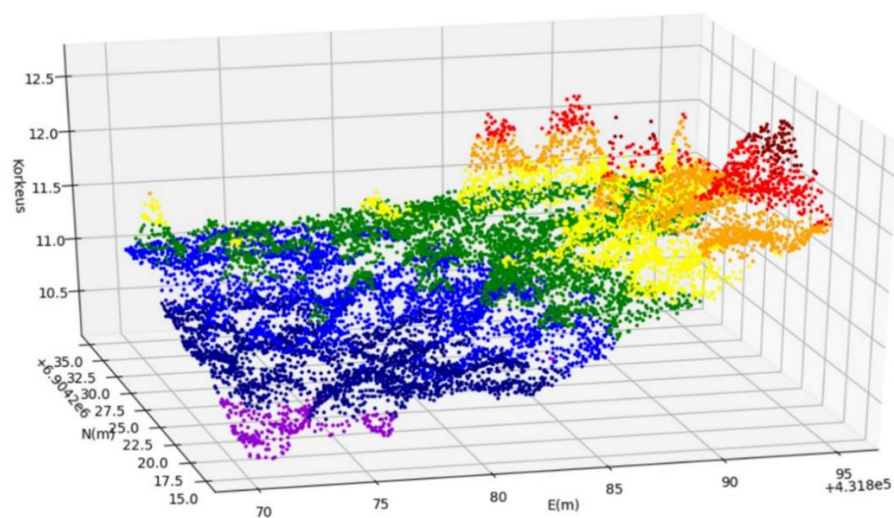


Laajavuorella mitattiin yhdeksästä kuusesta ja yhdestä männyn taimesta tyvien halkaisijat, pituudet sekä etäisyydet ympärillä oleviin mittaukseen kuuluviin taimiin (ks. Taulukko 6). Taimet sijaitsivat polun reunassa ja niiden vieressä oli iso pino, jota käytettiin maamerkinä, kun puita alettiin etsiä LAS-tiedostosta (ks. Kuvio 26).

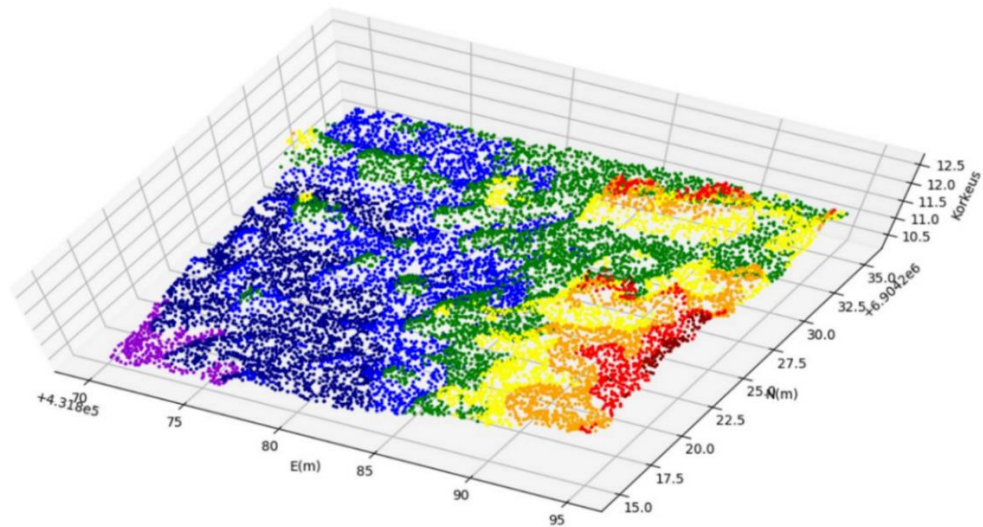


Kuvio 26. Laajavuorella mitattuja puita

Kuvioissa 27 näkyy 3D-mallina kyseiset mitatut kuuset sivulta ja ylhäältä päin. LAS-tiedostosta kuusien löytäminen on hankalaa. Verratessa valokuvaa ja 3D-mallia samasta alueesta, havaitaan että suuremmat kuuset on helppo nähdä ja tunnistaa, mutta pienemmät taimet ovat hankalia.



Kuvio 27. 3D-kuvio mitatuista taimista sivulta



Kuvio 28. 3D-kuvio mitatuista taimista sivulta

Taulukko 6. 10 mitatun taimen tiedot

Kuusen numero	Tyvihalkaisija (cm)	Pituus (m)
1	4	2,3
2	4	2,9
3	4,5	3
4	3	1,2
5	4	2,5
6	7	3,6
7	5	3,3
8	6	3,4
9	4,5	2,5
10	3	1,6

Valitsemalla 11 etäisyyttä puiden väliltä ja laskemalla ne yhteen, saadaan etäisyyksien keskiarvoksi noin 2,5 metriä. Tästä tiedosta voidaan laskea, että alueella on noin 1600 taimea yhdellä hehtaarilla. Lisäksi voimme karkeasti arvioida, että noin 10% alueesta olisi luonnon kasvattamia männyn- tai kuusentaimia, koska mitatuista taimista yksi oli männyn- tai kuusentaimi ja alueella näkyi myös muita männyn- tai kuusentaimia kuusentaimien joukossa.

5 Pohdintaa

5.1 Omat kokemukseni

Metsän määrittäminen on aikaa vievä ja mahdollisesti myös kallis operaatio. Kävin itse muutaman kerran kokeilemassa metsän mittaamista. Aikaa itse mittaamiseen kului joka kerralla noin puoli tuntia hyvin pieneltä alueelta.

Kun tässä opinnäytetyössä esitelty kaukokartoitustekniikka saadaan toimimaan, se lyhentää huomattavasti metsän arviointiin vaadittua aikaa ja mahdollisesti säästäisi rahaa. Se myös lisäisi tarkkuutta metsien arvioinnissa ja sen voisi suorittaa myös kokemattomampi henkilö. Tämä madaltaisi kynnystä yksittäisiltä henkilöiltä ryhtyä metsänkasvatukseen ja -hoitoon.

Tällä hetkellä mittauksien suorittaminen värianalyysina kuvista ei ole tarpeeksi kehittynyttä, jotta saatu tieto metsästä olisi täysin oikein. Kuitenkin ottaen huomioon tekniikan kehitysnopeuden, ei todennäköisesti mene kauan ennen kuin tämä tekniikka muuttuisi toimivaksi ja helposti hyödynnettäväksi.

5.2 Jatkokehitysmahdollisuudet

Opinnäytetyöni on tuottanut Maaseutu 2.0 -projektia varten materiaalia, jota voidaan käyttää jatkossa taimikoiden ja nuoren metsän hoitotöiden tunnistamiseksi kaukokartoittamalla. Uuden tekniikan tuomia mahdollisuuksia on paljon ja työssä on paljon tilaa kehitykselle monilla eri tasoilla. Kehitettäviä sekä tutkittavia aihealueita ovat esimerkiksi:

- Kasvillisuuden peitteen tutkiminen ja hyödyntäminen
- Ohjelmakoodin rakenteiden parantaminen
- Helposti käytettävän käyttöliittymän kehittäminen
- Mittaustekniikan ja algoritmien kehittäminen
- Muistinkäytön ja nopeuden parantaminen
- Maanpintamallien hyödyntäminen

Lisäksi jatkuvasti kehittyvä tekniikka luo uusia aihepiirejä, esimerkiksi järjestelmien kehitys mahdollistaa suurien tietomäärien käsittelyn entistä tehokkaammin.

Lähteet

A Simple Explanation of Datum. 2014. GIS & GPS Tips and Techniques. Youtube. Viitattu 25.5.2017. https://www.youtube.com/watch?v=xKGImp_jog

Carbony, A. 2013. How GPS Works. Seekers. Youtube. Viitattu 25.5.2017. <https://www.youtube.com/watch?v=lorQINFzT0k>

JHS 154 ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatistot ja karttalehti-jako, Liite 5: Muunnos ykj ↔ ETRS-TM35FIN. 2008. JHS-suositukset. Viitattu 23.4.2017. http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS154_liite5/JHS154_liite5.html

Laadukas ruoka, puhdas ympäristö - hyvinvoiva ihminen. 2014. MTT verkkosivut. Viitattu 16.4.2017. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/esittely>

Linnake, T. 2014. Lennokkien käytölle rajoituksia Suomessa: Pois ihmisten päältä. Iltasanomat. Viitattu 26.4.2017. <http://www.is.fi/digitoday/art-2000001849583.html>

Luke. 2016. Luken verkkosivut. Viitattu 16.4.2017. <https://www.luke.fi/luke/>

Malmi, L. 2006. Ohjelmointiparadigmat. Luentodiat. Viitattu 20.4.2017. <http://www.cs.hut.fi/Opinnot/T-106.3100/K2006/Luennot/Luento-1.pdf>

Metla palvelee. 2016. Metlan verkkosivut. Viitattu 16.4.2017. <http://www.metla.fi/palvelut/>

Metsäkeskus - metsäalan asiantuntijatalo. 2016. Metsäkeskuksen verkkosivut. Viitattu 14.4.2017. <http://www.metsakeskus.fi/metsakeskus#.WBoCUfqLRPY>

METSÄÄN.FI-asiointipalvelu. 2016. Metsäkeskuksen verkkosivut. Viitattu 15.4.2017. http://www.metsakeskus.fi/metsaanfi#.WBoFV_qLRPY

Minkkinen, T. 2016. Maaseutu 2.0 siirtää metsänomistajan digiaikaan. Viitattu 15.4.2017. <https://www.jamk.fi/fi/Tietoa-JAMKista/Materiaalit/asiakaslehti-12016/maaseutu-2.0-siirtaa-metsanomistajan-digiaikaan/>

Missä saan lentää? 2017. Trafifin verkkosivut. Viitattu 26.4.2017. https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu/missa_saan_lentaa

Oman sijainnin määrittäminen kartalla GPS-paikantimen avulla. 2017. Luontoon.fi verkkosivut. Viitattu 23.4.2017. <http://www.luontoon.fi/retkeilynabc/retkeilytaidot/suunnistaminen/gpspaikantimet/omansijainninmaarittaminen>

Pietikäinen, K. 2017. Metsäpuolen algoritmiasiantuntija ja TKL. Keskustelut 1.5.-25.5.2017

Puuntuottaja, P. 2013. Puustontilavuuden määrittäminen relaskoopin ja kepin avulla. Viitattu 22.5.2017. <http://www.puuntuottaja.com/puustontilavuuden-maarittaminen-relaskoopin-ja-kepin-avulla/>

Remes, M. 2017. Taimikonhoidolla tuottoa metsällä. Metsämme messut dia-esitys. Viitattu 25.5.2017. <https://www.slideshare.net/Metsakeskus/taimikonhoito-22042017remes>

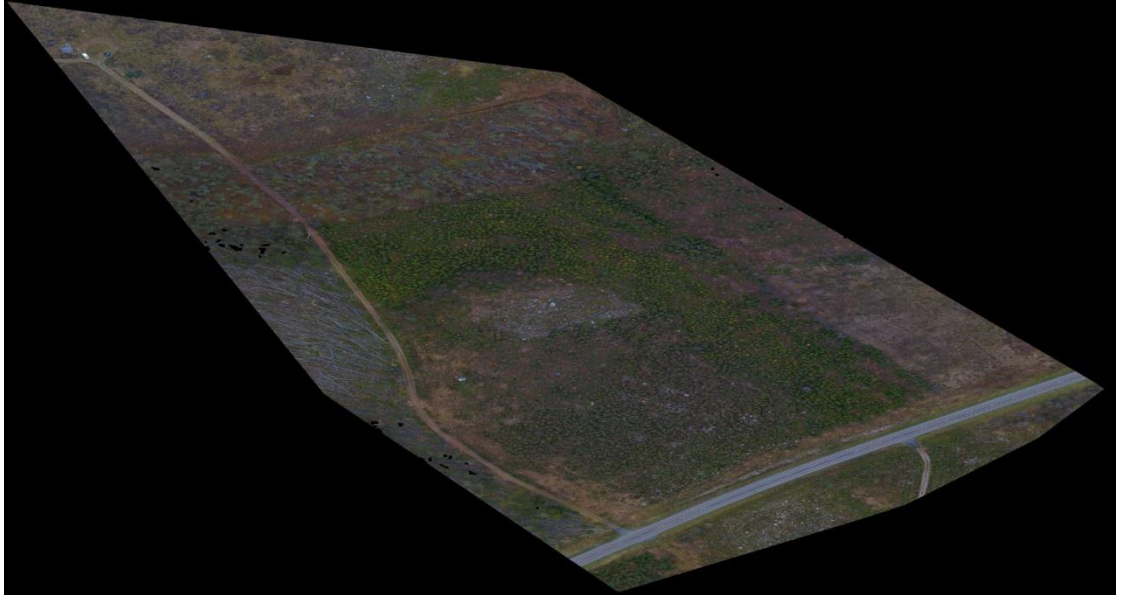
Tietoa Maanmittauslaitoksesta. N.d. Maanmittauslaitoksen verkkosivut. Viitattu 15.4.2017. <http://www.maanmittauslaitos.fi/organisaatio>

Tutustu ja menesty. N.d. Jyväskylän ammattikorkeakoulun verkkosivut. Viitattu 15.4.2017. <https://www.jamk.fi/fi/Tietoa-JAMKista/Tutustu-JAMKiin/>

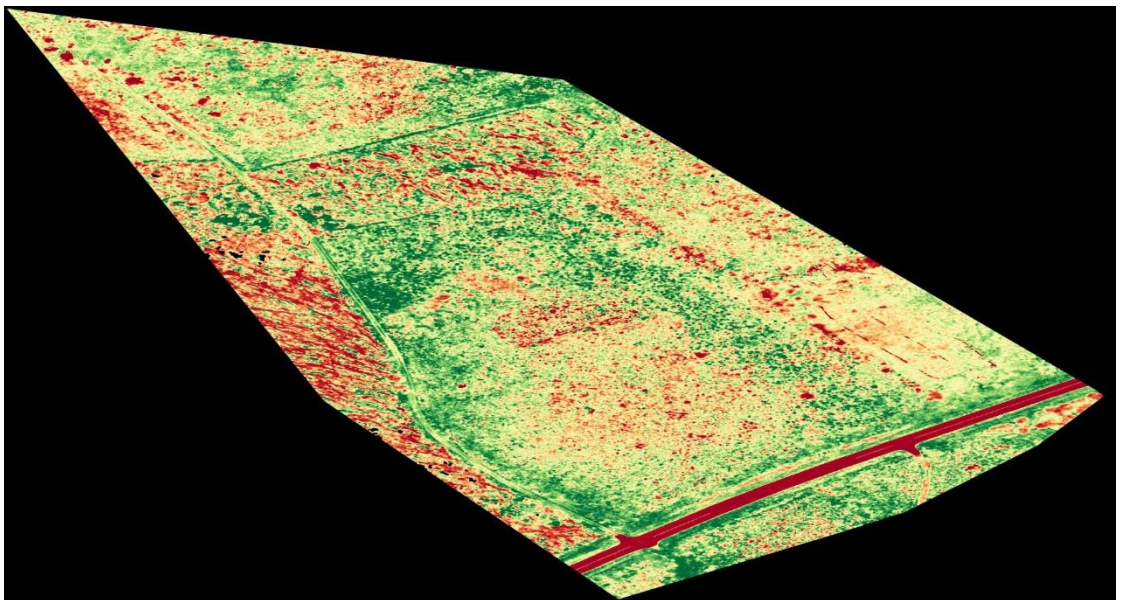
Liitteet

Liite 1. Konneveden kopterikuvaus, kuvattu lokakuussa 2016

Ortomosaiikki



Kasvillisuusindeksi



Liite 2. Laajavuoren kopterikuvaus, kuvattu huhtikuussa 2017

Ortomosaikki



Liite 3. 3D-mallinnus ohjelma

```
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

__author__ = 'Sanna Räisänen'

# kuinka monennen pisteen ottaa mukaan
# number = 1 ottaa kaikki pisteet
number = 1
pSize = 3

#mitatut kuuset
xOrigo = 466274.0
yOrigo = 6949460.0
xSize = 2
ySize = 2

file = open('../Conf/TXT/Konnevesi_kuvio_22_leikkaus1.txt', 'r')

points = []
xs = []
ys = []
zs = []
j=0
Z=0
Zmin=1000
for line in file:
    # toimi 50:lla
    if j==number:
        line = line.split(' ')
        x = float(line[0])
        y = float(line[1])
        z = float(line[2])
```

```

if x>xOrigo and x<xOrigo+xSize:
    if y>yOrigo and y<yOrigo+ySize:
        points.append([x,y,z])
        #suurin z muistiin
        if z>Z:
            Z=z
        #pienin z muistiin
        if z<Zmin:
            Zmin=z
        xs.append(x)
        ys.append(x)
        zs.append(x)
    j = 0
else:
    j += 1
file.close()

print ( 'Pisteiden määrä: ', len (points), 'korkeimmalla oleva piste: ', Z, 'alimpana oleva piste: ',
Zmin)

zh = Z-Zmin
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
for i in points:
    x=i[0]
    y=i[1]
    z=i[2]
    #print(str(x)+' '+str(y)+' '+str(z))

#toimii vain jos minimi on suurempi tai yhtä suuri kuin 0
if z<0:
    ax.scatter(x,y,z,s=pSize,color='violet')
if z>0 and z<=(zh/8)+Zmin:
    ax.scatter(x,y,z,s=pSize,color='darkviolet')
if z>(zh/8)+Zmin and z<=(zh/4)+Zmin:

```

```
ax.scatter(x,y,z,s=pSize,color='darkblue')
if z>(zh/4)+Zmin and z<=((3*zh)/8)+Zmin:
    ax.scatter(x,y,z,s=pSize,color='blue')
if z>((3*zh)/8)+Zmin and z<=(zh/2)+Zmin:
    ax.scatter(x,y,z,s=pSize,color='green')
if z>(zh/2)+Zmin and z<=((5*zh)/8)+Zmin:
    ax.scatter(x,y,z,s=pSize,color='yellow')
if z>((5*zh)/8)+Zmin and z<=((3*zh)/4)+Zmin:
    ax.scatter(x,y,z,s=pSize,color='orange')
if z>((3*zh)/4)+Zmin and z<=((7*zh)/8)+Zmin:
    ax.scatter(x,y,z,s=pSize,color='red')
if z>((7*zh)/8)+Zmin and z<=zh+Zmin:
    ax.scatter(x,y,z,s=pSize,color='darkred')
ax.set_xlabel('E(m)')
ax.set_ylabel('N(m)')
ax.set_zlabel('Korkeus')
plt.show()
```