

**PAIKKATIETOAINEISTOJEN HYÖDYNTÄMINEN
UUDISTAMISKYPSÄSSÄ METSÄSSÄ**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Evo, Metsätalous

Syksy, 2018

Saku Oksala

Metsätalous

Evo

Tekijä	Saku Oksala	Vuosi 2018
Työn nimi	Paikkatietoaineistojen hyödyntäminen uudistamiskypsässä metsässä	
Työn ohjaaja	Risto Viitala	

TIIVISTELMÄ

Työn tavoite oli selvittää paikkatietoaineistojen hyödyntämiskelpoisuus uudistuskypsässä metsässä. Paikkatietoaineistoja hyödynnetään nykyisin paljon, joten niiden tarkkuus oli hyvä selvittää. Työssä tarkasteltiin monilähdeinventoinnista (MVMI) saatua tietoa sekä laserkeilausta, jossa on ollut apuna maastokoealoja. Työn referenssikoealoina toimivat Helsingin yliopiston Evon opetusmetsän alueelle arpomat koealat, jotka on mitattu viimeksi vuonna 2014.

MVMI-tieto oli vuodelta 2015 ja laserkeilausestimaatti 2014, joten kasvun aiheuttama vääristymä tuloksissa oli vähäinen. Tuloksista kävi ilmi, että MVMI vähätteli puuston kokonaistilavuutta. Yksityiskohtaisemmassa tarkastelussa havaittiin, että MVMI vähätteli tukkipuun osuutta merkittävästi, mutta liioitteli kuidun määrää. Poikkeuksena tähän oli lehtipuukuitu, jonka määrää MVMI arvioi lähes oikein. Laserkeilaus puolestaan pääsi lähelle todellisuutta, vaikka antoikin männyn kokonaistilavuudelle pienen aliarvion ja kuusen kokonaistilavuudelle pienen yliarvion. Tukki- ja kuitu-osuuksissa ei ollut laserkeilausten kohdalla suuria heittoja.

Lähtökohtaisesti MVMI soveltui huonosti hakkuukypsien metsien arviointiin, kun taas laserkeilaus antoi huomattavasti paremman kokonaiskuvan, vaikka silläkin metodilla osa yksittäisistä koealoista antoi hyvin paljon todellisuudesta poikkeavia arvoja. Osa MVMI:n ja laserkeilausten epätarkkuudesta johtui käytetystä aineistoista. Aineistoja leikattiin hilaruudukosta ja painotettiin pinta-alla, mutta jos koealaa vain vähän leikaavassa hilaruudukossa oli koivua, päättyi sitä laskuihin pieniä määriä, vaikka koealalla ei koivua ollutkaan. Tästä huolimatta voitiin todeta, että uudistamiskypsässä metsässä laserkeilaus on huomattavasti MVMI:tä tarkempi, mutta vielä tässä kehitysvaiheessa ei yksinään kelpaa hakkuiden määrittelyyn.

Avainsanat LIDAR, Laserkeilaus, MVMI, paikkatieto, puutavaralajisuhteet.

Sivut 11 sivua

Forestry

Evo

Author Saku Oksala

Year 2018

Subject Utilizaion of geographic data in planning regeneration fellings

Supervisor Risto Viitala

ABSTRACT

The goal of this thesis was to find out if it is possible to utilize open geographic data when planning regeneration fellings. Open geographic data is used quite often in today's world, so figuring out how exact the data is is very important. This thesis studies the multi-source national forest inventory (MS-NFI) and laser scanning that used experimental plots as reference. Actual reference plots were made by the University of Helsinki in Evo's educational forest by randomly placing experimental plots. These experimental plots were last measured in 2014. MS-NFI data is from 2015 and laser scanning estimates from 2014 so the natural growth of forest is a very minor factor in calculations. In the results it is found out that MS-NFI is significantly diminishing the total volume of trees. On closer inspection it can be seen that the difference between the actual volume and this estimate comes from the quantity of log which is significantly lower in MS-NFI. The amount of pulpwood is higher in estimate than in reference plots with the exception of broad-leaved trees of which MS-NFI had almost the correct amount. Laser scanning gets a lot closer with its estimate but gives pine overall slightly larger and spruce a bit smaller volume than actual. Otherwise differences between log and pulpwood are minor. Overall MS-NFI is not suitable for planning regeneration fellings and laser scanning gives a vastly better estimate overall, but differences in certain experimental plots were greatly different from actual values. Some differences in both methods are there because of the way the data is calculated. MS-NFI and laser scanning both use a coordinate grid that does not exactly match with experimental plots. Because of this some grids only partly cut the experimental plot, so their values are weighted averages by area. However, when doing this some trees like birches for example might get added to calculations because that grid has them while the experimental plot does not. In conclusion laser scanning is superior compared to MS-NFI but still it alone is not accurate enough alone to be used when planning regeneration fellings.

Keywords LIDAR, laser scanning, MS-NFI, geographical data, regeneration felling

Pages 11 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Hilaruudukko	1
1.2	Lidar ja laserkeilaus	1
1.3	Pistepilvi	1
1.4	K:n lähimmän naapurin menetelmä	2
1.5	RMSE	2
1.6	BIAS	2
2	TUTKIMUKSEN PERUSTA	3
2.1	Työn perusta.....	3
2.2	Monilähde-VMI	3
2.3	MVMI:n maastoinventointi	3
2.4	Laserkeilaus ja tulosten estimointi.....	3
2.5	Referenssikoealat	4
3	AINEISTO JA TUTKINTAMENETELMÄT	4
3.1	Tausta	4
3.2	Koealojen valinta	4
3.3	Aineistojen käsittely	5
3.4	Tulosten laskeminen	5
4	VERTAILUN TULOKSET	6
4.1	MVMI-tilavuus.....	6
4.2	Laserkeilaustilavuus	7
4.3	Puutavaralajiluokkien vertailu.....	7
4.3.1	Tukki.....	8
4.3.2	Kuitu.....	9
5	TULOSTEN TARKASTELU, POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	11
5.1	Monilähde-VMI	11
5.2	Laserkeilaus	12
	LÄHTEET	13

1 JOHDANTO

Olen ollut pitkään kiinnostunut digitaalisten aineistojen käyttökelpoisuudesta metsäalalla ja halusin opinnäytetyössäni verrata metsävaratietojen täsmällisyyttä mitattujen koalojen puustotietoihin. Asia on myös ajankohtainen, sillä kaukokartoitusaineistoja käytetään yhä enemmän pohjana mahdollisille metsänhoidollisille toimenpiteille. Työn ideana oli verrata näitä aineistoja koaloihin ja selvittää kuinka tarkkoja ne todella ovat. Valitsin tarkastelukohteeksi päätehakkuuikäisen puuston, sillä koin paikkatietoaineistojen mahdollisten epätarkkuuksien kuten puulajisuhteiden, puutavaralajisuhteiden ja tilavuuden heijastuvan eniten juuri tässä kehitysluokassa. Tarkasteltavia asioita olivat puutavaralajisuhteiden, eli puiden tukki- ja kuituosuuksien, tarkkuus kaukokartoitusaineistossa.

1.1 Hilaruudukko

Hilaruudukko on 16 x 16 metrin karttaruudukko, jossa jokaiseen hilan soluun on estimoitu puustotieto. Näitä estimoituja eli arvioituja puustotunnuksia ovat keskimääräinen puuston läpimitta, pituus, pohjapinta-ala ja tilavuus puulajeittain.

1.2 Lidar ja laserkeilaus

Lidar-käsite (eng. Light Detection and Ranging) tarkoittaa lasersäteiden lähettämistä maanpinnalle ja takaisinsirontasäteilyn rekisteröimistä. Laserkeilaimen ja kohteen välinen etäisyys mitataan laskemalla, kuinka kauan laserpulsilla kestää palata keilaimen. Tuloksen parantamiseksi keilaimella on kolme kulmaa, jotka kaikki rekisteröidään. Keilaimen kulumista, paikkatiedosta ja pulssin kulkemasta matkasta voidaan laskea kaiuin sijainti. Kun tähän yhdistetään gps-sijainti sekä tieto suunnasta, josta keilaimen lähettämät laserpulssit tulevat, puhutaan laserkeilauksesta. LIDAR ei itsessään vaadi sijaintitietoa tai suunnan määrittämistä. (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta, 2013, s. 11–13)

1.3 Pistepilvi

Pistepilvi on kolmiulotteinen malli, joka muodostuu laserkeilaimen mitaamista laserpulsien takaisinsironnoista. Pistepilvien prosessoinnissa tuotetaan erilaisia malleja. Useimmin käytettyjä malleja ovat maan pinnan maastomalli (engl. Digital Terrain Model – DTM), korkeimpien kohteiden avulla määritelty pintamalli (engl. Digital Surface Model – DSM) sekä

puuston pituutta kuvaava pituusmalli (engl. Canopy Height Model – CHM). (Holopainen ym., 2013, s. 13)

1.4 K:n lähimmän naapurin menetelmä

Luonnonvarakeskuksen aineiston tuottamiseen on käytetty k:n lähimmän naapurin menetelmää. Menetelmää varten mitatut pisteet sijoitellaan piirteiden lukumäärän mukaiseen, monimutoiseen hahmo- tai piirreavaruuteen. Jokaiselle hilaruudulle estimoidut puustotunnukset saadaan sijoittamalla haluttu hilaruutu piirreavaruuteen ja laskemalla lähinnä sijaisvilta ja maastomittaustiedot sisältäviltä (k-lukumääräisiltä) soluilta puustotunnusten keskiarvot. Luken tapauksessa k:n arvoksi on valittu viisi. (Kämäräinen, 1999)

1.5 RMSE

RMSE:tä eli keskineliövirhettä käytetään, kun halutaan kuvata mitattujen ja estimoitujen arvojen eroa. Mitä pienempi saatu arvo on, sitä tarkempi on estimaatti. Estimaatti lasketaan kaavalla 1, jossa y_i on maastokoealoilta laskettu puustotunnusten keskiarvo ja \hat{y}_i mallin antama estimaatti. N on solujen lukumäärä. (Anttila & Lehikoinen, 2002, s. 385)

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (1)$$

1.6 BIAS

Harhalla (BIAS) määritellään, kuinka paljon ja mihin suuntaan käytetyn mallin tulos puoltaa. Kun tulos on nolla, malli on harhaton. Kun tulos on positiivinen tai negatiivinen saatu arvo osoittaa yli- ja aliarvion määrää. Harha johtuu tuntemattoman muuttujan tai virheellisten mallien vaikutuksesta saatuun estimaattiin. Harha lasketaan kaavalla 2, jossa y_i on maastokoealoilta laskettu puustotunnusten keskiarvo ja \hat{y}_i mallin antama estimaatti. N on solujen lukumäärä. (Anttila & Lehikoinen, 2002, s. 385)

$$\sum_{i=1}^n \frac{\hat{y}_i - y_i}{n} \quad (2)$$

2 TUTKIMUKSEN PERUSTA

2.1 Työn perusta

Työssä vertaillaan kaukokartoitusaineistoja referenssikoealoihin. Vertailtavina kaukokartoitusaineistoina toimivat monilähdeinventointi sekä laserkeilausaineisto. Monilähdeinventointi on tehty vuonna 2015 ja perustuu samana vuonna otettuihin satelliittikuviin. Laserkeilaus on tehty vuonna 2014. Referenssikoealoiksi, joihin monilähdeinventointia ja laserkeilausestimaatteja verrataan, on valittu Helsingin yliopiston koealat, jotka on mitattu vuonna 2014.

2.2 Monilähde-VMI

Työssä on käytetty monilähteisesti tuotettua valtion metsien inventointidataa, lyhennettynä MVMI. Monilähde-VMI:n tuottaminen tapahtuu metsässä otettujen koealojen lisäksi satelliittikuvien informaation ja numeeristen menetelmien, eli peruskarttojen, korkeusmallien ja laskutoimitusten avulla. Näin saatu tieto täydentää harvaa koealaverkkoa, ja niiden väliin jääville alueille saadaan laskettua puustotietoa k:n lähimmän naapurin menetelmän avulla. Saadusta tiedosta muodostetaan hilaruudukko, jonka yksittäisen ruudun koko on 16 x 16 m. (Luonnonvarakeskus, 2015)

2.3 MVMI:n maastoinventointi

Maastoinventoinnissa mitataan kiinteitä maastokoealoja, joiden tuloksia käytetään vertailutietona. Näiden pohjalta suoritetaan k:n lähimmän naapurin laskuja. Koealojen sijainti määritellään valmiiksi annettujen GPS-koordinattien avulla. Koealoilta mitataan kaikista relaskoopin täyttävistä puista rinnankorkeusläpimitta, puulaji, puuluokka ja latvus. Tämän lisäksi joka seitsemäs näistä puista on koepuu, josta lasketaan vielä lisäksi läpimitta kuuden metrin korkeudelta, ikä, kasvu, kuoren paksuus, tukin ja kuidun osuudet sekä mahdolliset tuhot. (Metla, 2010)

2.4 Laserkeilaus ja tulosten estimointi

Tässä opinnäytetyössä käytettiin Arbonaut oy:n tulkitsemaa laserkeilausta. Tulkinta on tehty tilaustyönä Hämeen ammattikorkeakoululle vuonna 2014. Vuosina 2011–2014 mitattiin kaikkiaan 507 koealaa, joista tälle alueelle osui 484 koealaa. Näistä koealoista poistettiin 77 epäilyttävinä. Lopullinen koealamäärä on 407. (Arbonaut oy, 2015)

Estimointimallit tehtiin käyttämällä Sparse Bayesian -menetelmää. Vanhaa kuviotietoa hyödynnettiin niissä kohteissa, joissa se arvioitiin luotettavaksi. Luotettavuus arvioitiin vertaamalla kuviotietojen keskipituutta ja

-tilavuutta laserkeilauksessa saatuun kasvillisuuden keskikorkeuteen ja puuston keskitilavuuteen. Vanha kuviotieto osoittautui päteväksi 308 koealla. Näiden pohjalta laskettiin hilaruudukon jokaiselle solulle arvot. Soluihin tuli myös merkintä, käyttäkö arviointi vanhaa kuviotietoa pohjanaan vai ei. (Arbonaut oy, 2015)

2.5 Referenssikoealat

Tässä työssä käytetyt vertailukoealat ovat Helsingin yliopiston Evon opetusmetsän alueelle arpomalla perustamia koealoja. Koealat on mitattu vuonna 2014. Jokainen koeala on kooltaan 32 x 32 m. Koealoilta mitattiin puuston laatuluokka, rinnankorkeusläpimitta, pituus, tilavuus sekä pinta-ala rinnankorkeudelta.

3 AINEISTO JA TUTKINTAMENETELMÄT

3.1 Tausta

Tässä työssä vertailtiin Helsingin yliopiston referenssikoealoilta mitattuja tietoja Luken monilähdeinventointitietoon (MVMI) sekä Arbonaut oy:n laser-aineistosta analysoimaan tietoon. MVMI-tieto oli vuodelta 2015 kuten myös siinä käytetyt satelliittikuvat. Arbonautin estimaatit olivat vuodelta 2014, samalta vuodelta kuin yliopiston koealamittaukset.

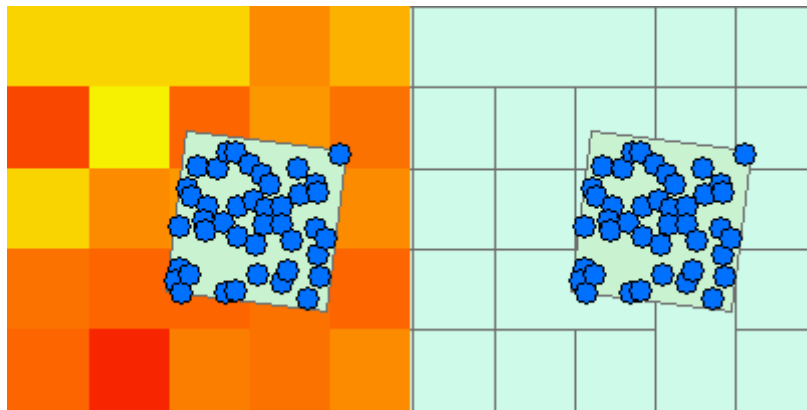
3.2 Koealojen valinta

Saatuja koealoja oli paljon ja tutkittaviksi valittiin uudistamiskypsiin metsiin sijoittuneet koealat. Tämä rajaus tehtiin käyttämällä vanhaa 04-luokan metsän rajausta keskiläpimitan avulla. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, 2014, s. 14) Rajausmenetelmään päädyttiin, koska sen koettiin parhaiten erottelevan kasvatus- ja hakkuukypsen metsän. Helsingin yliopiston koealoista laskettiin keskiläpimitat ja tuloksia verrattiin 04-luokkaan määritteisiin. Koealoilta oli mitattu kaikki puusto, joten tutkittavaksi jäi alikasvos ja sen aiheuttama keskiläpimitan lasku. Tämä tehtiin jotta kaikki otolliset alat saatiin mukaan. Taimia ei huomioida valtapuuston mittauksessa, mutta nämä tiedot löytyivät koealatiedoista ja niiden tässä kohtaa huomiotta jättäminen oli tarpeen lopullisten koealojen valinnassa. Lopulta koealoja jäi kaksikymmentä. Koealat 1001, 1003, 1026, 1028, 1049, 1050, 1051, 1057 ja 2100 ovat pääpuulajiltaan mäntyä ja alat 1042, 1058, 1059, 1061, 1062, 1068, 1089, 1123, 2092, 2096 ja 2110 pääpuulajiltaan kuusta.

3.3 Aineistojen käsittely

Koealat siirrettiin ArcMap-ohjelmaan, jossa poistettiin työhön soveltumattomat koealat. Tämän jälkeen MVMI-aineisto ladattiin luonnonvarakeskuksen latauspalvelusta ja siirrettiin ArcMapiin. MVMI-aineistoja ei voinut suoraan leikata koealoilla, joten ne piti ensin muuttaa vektorimuotoon, jonka jälkeen leikkaus onnistui. Leikkauksesta muodostui koealojen muotoiset alueet, joissa näkyi metsävaratieto sekä alueen pinta-ala. Laserkeilausaineisto oli valmiiksi vektorimuodossa, mutta muuten sille tehtiin samat toimenpiteet kuin MVMI-aineistolle.

Mittaustulosten saattaminen vertailtavaan muotoon sisälsi niiden käsittelyä Excelissä. Koealojen pinta-ala oli 32 x 32 metriä, eli 0,1024 hehtaaria. Kuten kuvasta 1 huomataan, koealat eivät sijoittuneet täysin hilaruudukon mukaan. Tästä johtuen leikkauksen jälkeen jäi alueita, jotka eivät olleet kokonaisen hilaruudun kokoisia, mutta sisälsivät koko hilaruudun tiedon. Tämän takia kaikki tulokset painotettiin pinta-alalla, jotta tulosten vääristymät jäisivät pieniksi. Tämä tuotti myös ongelman, sillä jos hilaruudussa oli puulajia, jota referenssikoealalla ei ollut, näkyi kyseinen puulaji myös lopullisissa tuloksissa. Tähän ongelmaan ei löytynyt ratkaisua, sillä oli otettava huomioon, että myös aineistoissa saattoi olla väärin tunnistettuja puita, jotka vaikuttavat puutavaralajikohtaisiin tilavuuksiin, joita työssä tutkitaan. Lopuksi saaduista tuloksista tehtiin hehtaariohtaisia kertomalla luvulla 9,765625, joka saatiin jakamalla yksi hehtaari koealan pinta-alalla.



Kuva 1. Koeala 2092 hilaruudukossa (vasen) ja vektoroidussa aineistossa. Siniset täplät edustavat koealan puita. Hilaruudukko on luonnonvarakeskuksen MVMI-aineistosta.

3.4 Tulosten laskeminen

Kaukokartoitusestimaatteja verrattiin referenssikoealoihin ja niistä laskettiin keskineliövirhe (RMSE) ja harha (BIAS). Tämä tehtiin jokaisen puulajin tukki- ja kuituosuuksille. Referenssikoealojen tiedoista ei löytynyt erikseen puu kohtaisia tukki- ja kuituosuuksia, joten ne piti laskea kaikille koealojen

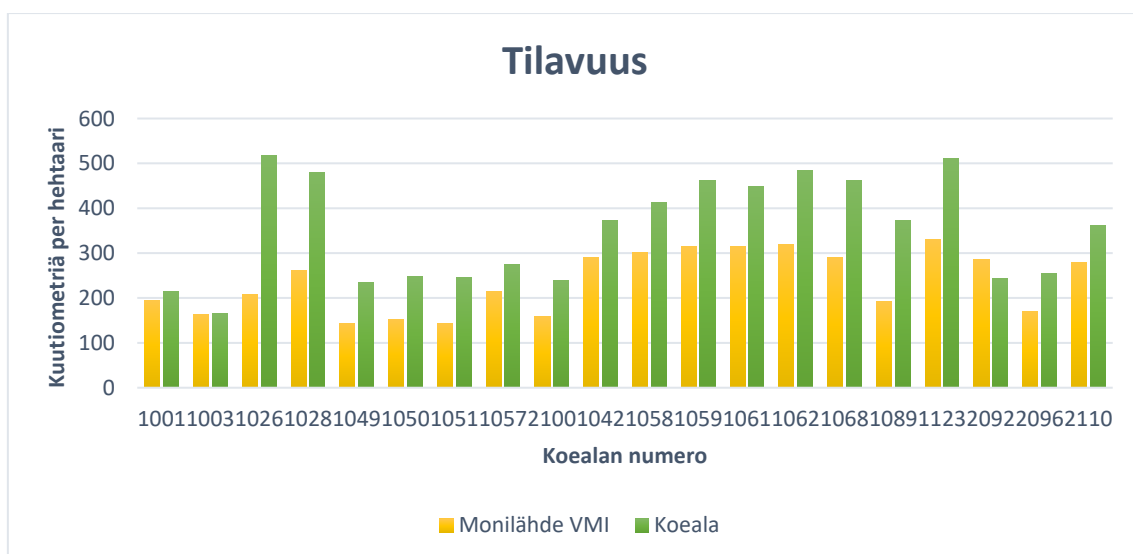
puille. Tässä käytin apuna Metsäkustannuksen metsätaitokansion tukki- ja kuitutilavuustaulukoita. (Metsäkustannus Oy, 2010, s. 12–13)

4 VERTAILUN TULOKSET

Tuloksissa oli paikoittain suurta heittoa. Koealoilta mitatut luvut olivat lähes aina suurempia kuin MVMI-aineiston vastineet. Ajalliset erot mitausten välillä eivät yksin riitä selittämään eroja. Lopputulema on, että MVMI:n käyttämä metodi verrata ja keskiarvoistaa tuloksia johtaa suurten metsien arvojen vähättelyyn. Laserkeilaus aineistoissa tulokset ovat hyvin paljon parempia kuin monilähde-VMI:ssä.

4.1 MVMI-tilavuus

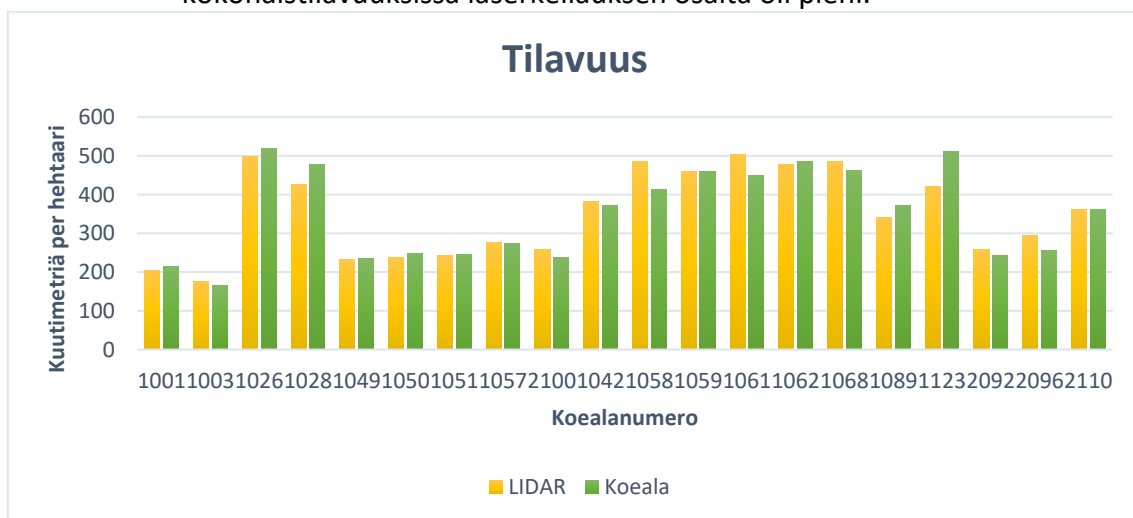
Tilavuutta tarkastellessa huomataan, että lähempänä kahtasataa kuutiometriä hehtaarilla olevat tulokset ovat lähempänä toisiaan. Kuten kuvasta 2 huomataan, tilavuuksien mennessä yli kahden sadan motin hehtaarilla huomataan MVMI-tuloksissa suurempia eroavaisuuksia. Erojen kasvuun vaikuttaa k:n lähimmän naapurin menetelmä, joka keskiarvoistaa MVMI-tuloksia. Suuremmissa tilavuuksissa verrattavat arvot ovat koelaa huomattavasti pienempiä, joka johtaa suuriin eroavaisuuksiin. Keskimääräinen keskivirhe mäntyvaltaisilla koealoilla oli 142,4 m³/ha ja kuusivaltaisilla koealoilla 133,6 m³/ha. Erot keskimääräisten keskivirheiden välillä johtuvat todennäköisesti siitä, että kuusivaltaiset alat olivat tilavuudeltaan suurempia kuin mäntyvaltaiset. Harha mäntyvaltaisilla aloilla oli -108,5 m³/ha ja kuusivaltaisilla -117,9 m³/ha. Tästä huomataan, että MVMI aliarvioi puuston tilavuutta huomattavasti.



Kuva 2. Monilähde inventointitulokset verrattuna referenssikoealoihin.

4.2 Laserkeilaustilavuus

Laserkeilatulla aineistolla saatu tulos on tarkempi kuin MVMI. Kuvasta 3 huomataan tilavuuksien olevan lähes identtiset. Keskimääräinen keskivirhe mäntyvaltaisilla aloilla oli 21,2 m³/ha. Harhan arvo männiköissä on -7,4 m³/ha. Kuusivaltaisilla aloilla keskimääräinen keskivirhe oli 42,4 m³/ha ja harha oli 8,1 m³/ha. Tämä on pienempi kuin luonnonvarakeskuksen vastaava, mutta kaksi kertaa niin suuri kuin mäntyvaltaisilla aloilla. Uskon eron johtuvan siitä, että männyllä latvus alkaa korkeammalta kuin kuusilla, joilla oksat peittävät enemmän runkoa aiheuttaen sirontaa ja lukuisia laserpulssin kaikuja. Tätä tukee myös Holopaisen ym. (2013, s. 20–21) kirja, jossa kerrotaan laserpulssien tunkeutumisesta lehvästön läpi ja kuinka se aiheuttaa pulssissa hajontaa, sekä heikentää ja vähentää keilaimeen palaavien impulssien voimakkuutta ja lukumäärää. Harhan määrä kokonaistilavuuksissa laserkeilauksen osalta oli pieni.



Kuva 3. Laserkeilaus estimaatit verrattuna referenssikoealoihin.

4.3 Puutavaralajiluokkien vertailu

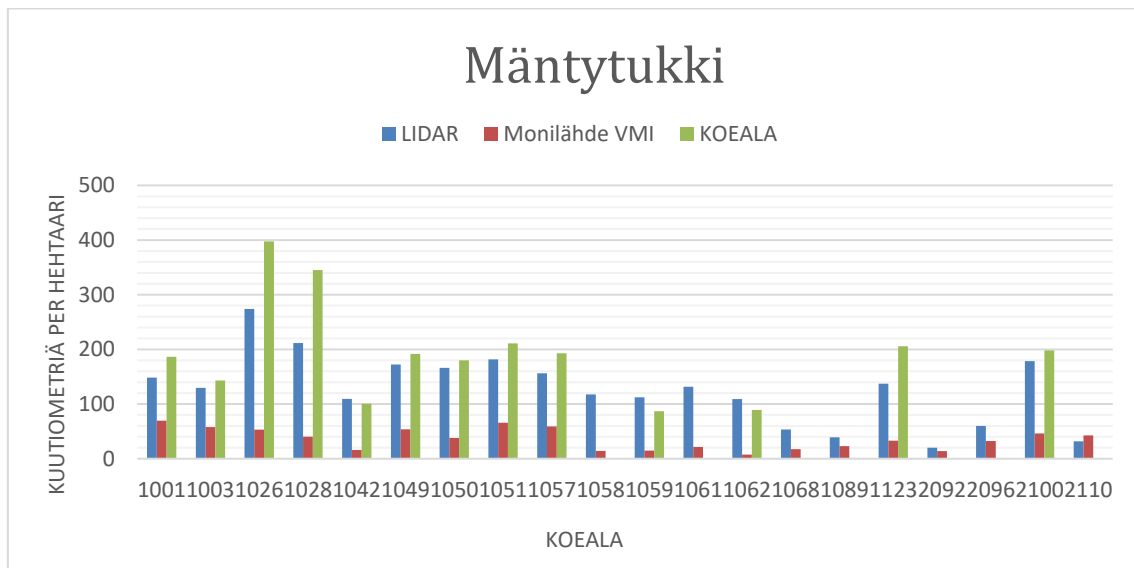
Puutavaralajiluokat on jaettu mäntytukkiin ja -kuituun, kuusitukkiin ja -kuituun sekä lehtitukkiin ja -kuituun. Puutavaralajiluokkien vertailu tuo esille kuinka tarkkaa tietoa avoimet paikkatietoaineistot tuottavat. Pelkän tilavuuden tietäminen itsessään ei ole suureksi hyödyksi, jollei tiedä, mistä saatu tilavuus koostuu. Vertaillen aineistojen välisiä eroja havaitaan laserkeilauksen olevan yhä suhteellisen tarkka, vaikka siinäkin esiintyy heit-toja. Osa aineistojen eroista johtuu menetelmästä, jolla ne on tuotettu. Monilähde-VMI- ja laserkeilausaineistot eivät kata pelkkää koealaa vaan myös alueita sen ympäriltä, kuten kuvasta 1 (s. 5) näkyy. Vaikka kaikki arvot on painotettu pinta-alalla, joka omalta osaltaan vähentää koealan ylittävien alueiden vaikutusta, ei se niitä kokonaan poista. Esimerkiksi puhtaasta kuusikosta otetun koealan ei pitäisi sisältää muuta kuin kuusta, mutta avoimien paikkatietoaineistojen ja käytettyjen menetelmien takia

sisältyy niistä saatuihin koealaa vastaaviin alueisiin pieniä määriä muitakin puulajeja.

4.3.1 Tukki

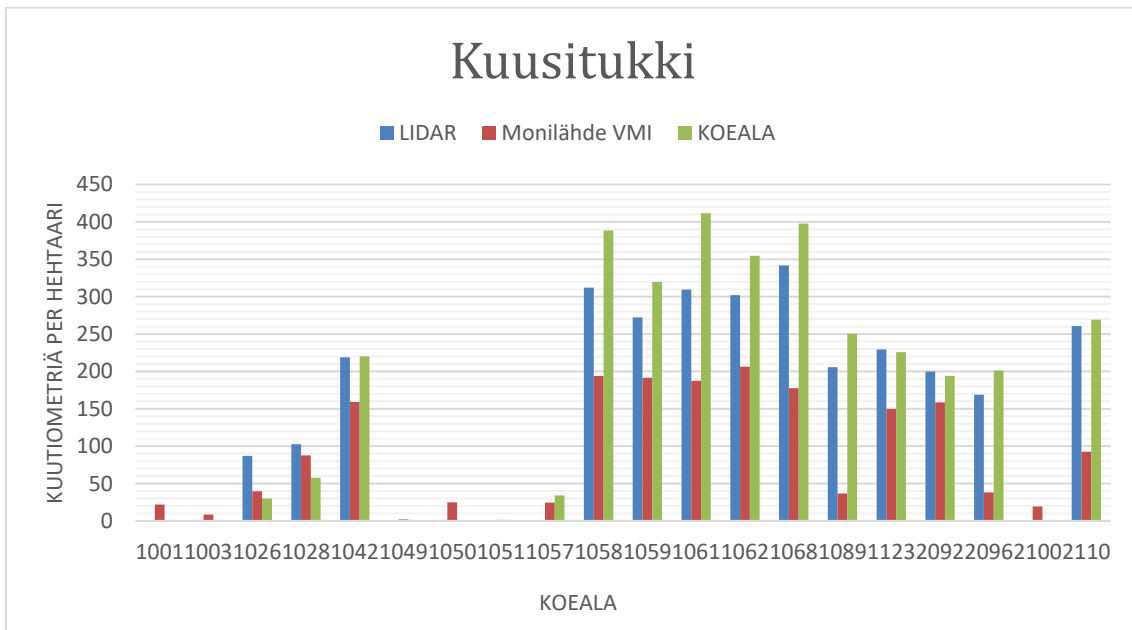
Pylväsdiagrammeissa on esitelty koealakohtaisesti laserkeilauksen, monilähde-VMI:n sekä koealamittausten tulokset m³/ha.

Mäntytukin laserkeilauksella saadussa estimaatissa keskimääräinen oli 64,9 m³/ha. Harhan arvo laserkeilauksessa oli 0,6 m³/ha. Keskimääräinen MVMI:n estimaatin osalta oli 139,1 m³/ha. Harhaa oli -90,4 m³/ha. Koeala kohtaiset tiedot ovat kuvassa 4.



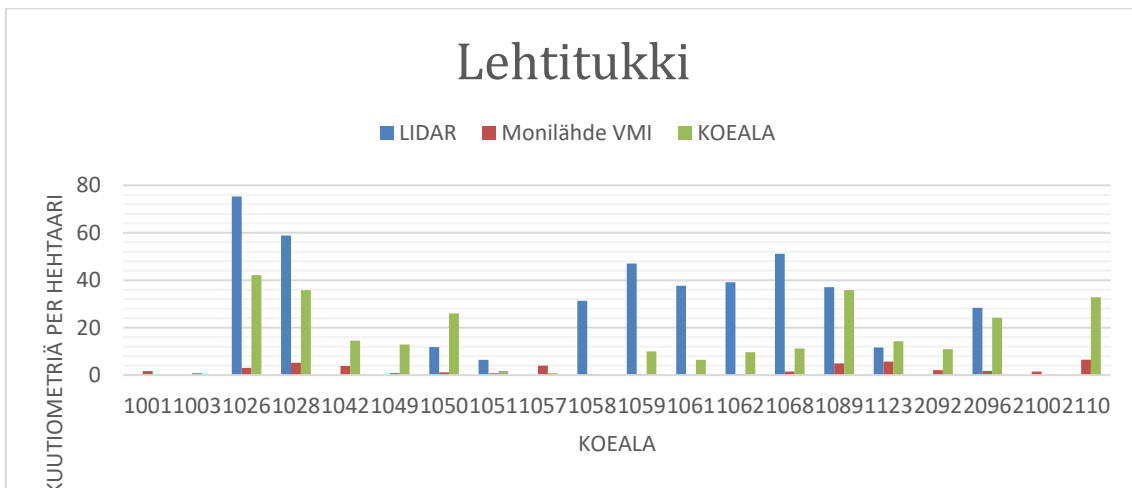
Kuva 4. Mäntytukin laserkeilaus ja MVMI-estimaatit sekä referenssikoealojen mittaustulokset.

Kuusitukissa laserkeilauksen keskimääräinen oli 41,2 m³/ha ja harha 17,2 m³/ha. MVMI:n keskimääräinen oli 120,8 m³/ha ja harha -76,7 m³/ha. Kuviokohtaiset tiedot ovat kuvassa 5 (s. 9).



Kuva 5. Kuusitukin laserkeilaus- ja MVMI-estimaatit sekä referenssikoealojen mittaustulokset.

Lehtitukissa laserkeilauksen keskimääräinen oli 21,5 m³/ha ja harha 7,3 m³/ha. MVMI:n keskimääräinen oli 17,3 m³/ha ja harha -12,1 m³/ha. Koealakohtaiset tulokset ovat kuvassa 6.

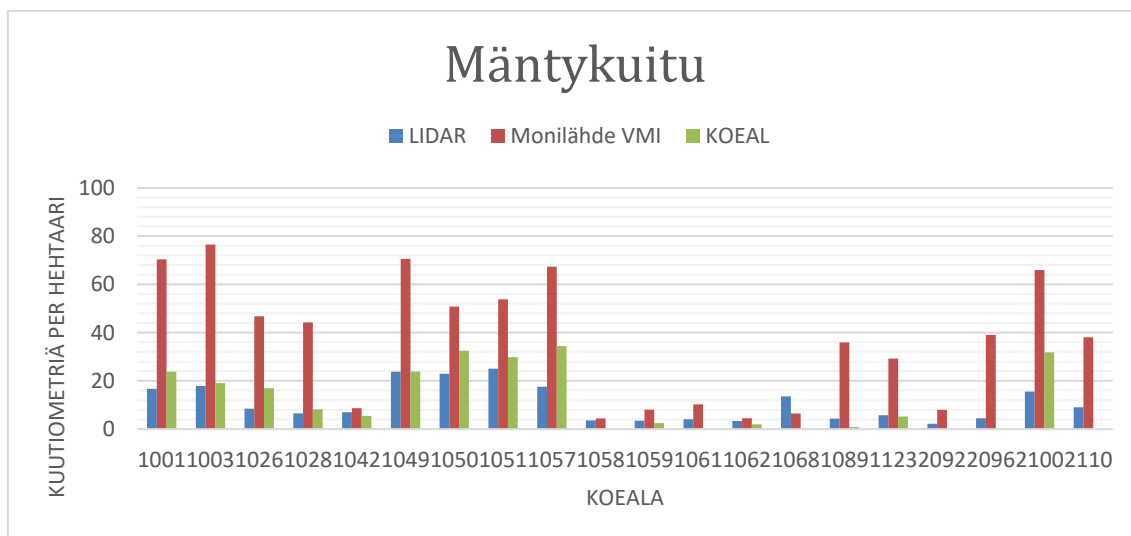


Kuva 6. Lehtitukin laserkeilaus- ja MVMI-estimaatit sekä referenssikoealojen mittaustulokset.

4.3.2 Kuitu

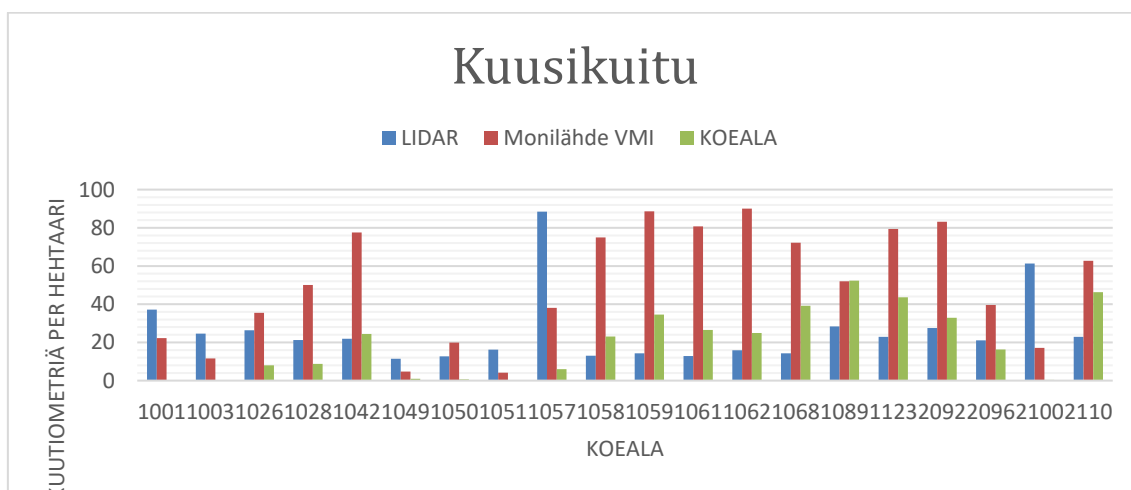
Pylväsdiagrammeissa on esitelty koealakohtaisesti laserkeilauksen, monilähde-VMI:n sekä koealamittausten tulokset m³/ha.

Mäntykuidussa laserkeilauksen keskivirhe oli 7,5 m³/ha ja harha -1,0 m³/ha. MVMI:n estimaatissa keskivirhe oli 30,0 m³/ha ja harha 25 m³/ha. Koealakohtaiset tiedot ovat kuvassa 7.



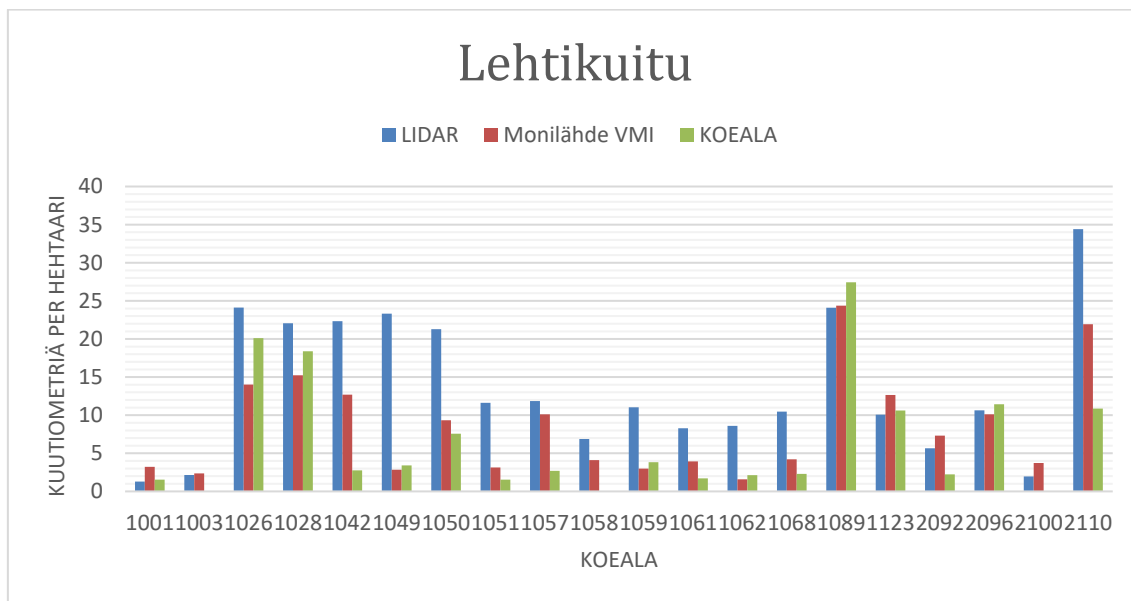
Kuva 7. Mäntykuidun laserkeilauksen ja monilähde inventoinnin estimaatit sekä referenssikoealojen mittaustulokset.

Kuusikuidussa laserkeilauksen keskivirhe oli 28,7 m³/ha ja harha 6,3 m³/ha. MVMI:n keskivirhe oli 36,2 m³/ha ja harha 30,8 m³/ha. Koealakohtaiset tiedot ovat kuvassa 8.



Kuva 8. Kuusikuidun laserkeilauksen ja MVMI-tulokset sekä referenssikoealojen mittaustulokset.

Laserkeilauksessa lehtikuidun keskivirhe oli 10,0 m³/ha ja harha 7,1 m³/ha. Lehtikuidun osalta MVMI:n keskivirhe oli 4,6 m³/ha ja harha 2,0 m³/ha. Koealakohtaiset tiedot ovat kuvassa 9 (s. 11).



Kuva 9. Laserkeilauksen ja MVMI-estimaatit sekä referenssikoealojen mittaustulokset lehtikuidun osalta.

5 TULOSTEN TARKASTELU, POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Monilähde-VMI

MVMI-aineistoista voidaan todeta, että sen antamat tulokset ovat pääsääntöisesti todellisuutta pienempiä. Monilähde-VMI liioittelee kuitupuun osuutta hakkuukypsissä metsissä ja vähättelee reilusti tukin osuutta. Todennäköisin selitys eroon johtuu MVMI:n käyttämässä k:n lähimmän naapurin menetelmässä. Tulosten pohjalta on myös hyvin vaikeaa sanoa, kuinka hyvin puulajit on tunnistettu, koska heitto estimaattien ja referenssikoealojen välillä on niin valtava. Kuudella koealalla MVMI löysi mäntyä, vaikka sitä ei ollut koealalla. On kuitenkin vaikea todeta, onko kyseessä yksinään väärä tunnistus tai hilaruuduista johtuva ylimääräisen puulajin löytyminen, sillä saadut tilavuudet ovat hyvin pieniä. MVMI löysi myös kuusitukkia, vaikka sitä ei kyseisillä koealoilla ollut. Tämä antaa viitteitä, että referenssikoealalta löytymättömien puulajien löytyminen MVMI estimaateista on hilaruudukkopohjainen. Tämä tarkoittaisi sitä, että MVMI tunnistaa puulajit, mutta ei kykene estimoimaan puutaveralajikohtaisia tilavuuksia näin kookkaassa metsässä. Lisäksi MVMI tuntuu arvioivan puut pienemmiksi kuin ne todellisuudessa ovat, mistä johtuen kuitu- ja tukkiosuudet ovat nurinkuriset. Tämä saattaa johtua siitä, että MVMI:n vertailuaineistossa ei ole tuon kokoluokan puustoa ja ohjelma olettaa puut pienemmiksi kuin ne ovat, jonka jälkeen se vertailee niitä oletetun kokoluokan puustoon. Kokonaistilavuuksista voidaan todeta, että MVMI tuntuu tietävän minkä kokoista puustoa koealoilla on, sillä sen ko-

konaistilavuudet seurailevat referenssikoealojen kokonaistilavuuksia varsin hyvin, mutta tavassa, jolla lopulliset tilavuudet lasketaan on puutteita, joiden takia lopullinen kokonaistilavuus jää pieneksi.

5.2 Laserkeilaus

Laserkeilaukseen perustuva menetelmä, joka hyödyntää jo olemassa olevia koealoja, antaa suhteellisen tarkan kuvan metsän tilasta. Tarkkuus voi johtua siitä, että alueella oli paljon koealoja, joihin keilausta verrattiin. Tarkastelussa voidaan kuitenkin huomata sen hieman vähättelevän tukkipuun osuutta ja liioittelevan kuitupuun osuutta. Tämän lisäksi on havaittavissa laserkeilauksen liioittelevan lehtipuun tilavuuksia etenkin kuidun osalta. Tämä johtuu LIDAR-pistepilvestä. Pistepilvessä puihin osuneet laserpulssit osuvat hyvin harvoin aivan puiden reunoihin; tämä johtaa siihen, että puut arvioidaan läpimitaltaan pienemmiksi, mikä vähentää tukin osuutta ja kasvattaa kuidun osuutta. Tästä voivat johtua myös kuusikuidun suuri keskivirhe ja harha, sillä latvan oksaisuuden takia laserpulssit siroilevat, mikä aiheuttaa ongelmia puun rungon tunnistuksessa. Syytä, miksi lehtipuuta yliarvioidaan niin paljon, on vaikeaa sanoa, mutta kyseessä voi olla hilaruudukon, pistepilven, matemaattisen estimoinnin ja väärin tunnistuksien summa.

LÄHTEET

Anttila, P. & Lehikoinen, M. (2002). Kuvioittaisen puustotunnusten estimointi ilmakuvilta puoliautomaattisella latvusten segmentoinnilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002. Haettu 4.12.2018 osoitteesta <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/533723/AnttilaP.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Arbonaut Oy. (2015). *ArboLiDAR Inventointi*. (Sisäinen dokumentti, HAMK)

Holopainen, M., Hyyppä, J. & Vastaranta, M. (2013). *Laserkeilaus metsävartatietojen hallinnassa*. Helsinki: Helsingin yliopiston metsätieteiden laitos.

Kämäräinen, J. (1999). 4.1.1 k:n lähimmän naapurin menetelmä. Päivitetty 8.12.1999. Haettu 18.10.2018 osoitteesta <http://www.it.lut.fi/project/52105/thesishtml/node16.html>

Luonnonvarakeskus. (n.d.). Avoimien aineistojen tiedostopalvelu. Haettu 4.10.2018 osoitteesta <http://kartta.luke.fi/>

Metla. (2015). Valtakunnan metsien inventointi (VMI). Monilähteinen VMI. Päivitetty 4.11.2015. Haettu 4.10.2018 osoitteesta <http://www.metla.fi/ohjelma/vmi/vmi-moni.htm>

Metla. (2010). Valtakunnan metsien inventointi (VMI). Valtakunnan metsien 10. inventointi (VMI10). Päivitetty 7.7.2010. Haettu 4.10.2018 osoitteesta <http://www.metla.fi/ohjelma/vmi/vmi10-maasto.htm>

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. (2014). *Maastotaulukot*. 5. uudistettu painos. Helsinki: Metsäkustannus Oy.

Metsäkustannus Oy. (2010). *Metsätaitokansio*. 2. painos. Helsinki: Metsäkustannus Oy.