

LASERKEILAUKSEN LUOTETTAVUUS TAIMIKOISSA



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma

Evo 14.11.2013

Tapio Kamppila

EVO
Metsätalouden koulutusohjelma

Tekijä	Tapio Kamppila	Vuosi 2013
Työn nimi	Laserkeilauksen luotettavuus taimikoissa	

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, saadaanko tiheille metsikkökuvioille laadittua oma, tarkempi malli puustotietojen laskemiseen harvapulssisen laserpisteaineistojen avulla. Aineistona on käytetty Evon opetusmetsän alueella 2012 mitattuja referenssikoalojen tietoja ja keilattua laserpisteaineistoa. Aineistoa tutkittiin lineaarisella regressiomallilla, jolla koetettiin luoda mahdollisimman hyvä selitysaste runkoluvulle eri selittäjien avulla. Tutkimus oli osa Jyväskylän ammattikorkeakoulun Metsävaramittaus kunnostamattomissa metsissä -projektia.

Tulokset eivät antaneet erityisen hyviä malleja puuston määritykseen. Taimikon runkolukua selittävien mallien selitysasteet vaihtelivat 23-57 prosentin välillä. Heikoin selitysaste oli kuusitaimikon mallissa. Ylispuutoisen koivutaimikon visuaalisessa tarkastelussa osoittautui, että pisteiden jakautuminen koaloille ei ole riippumatonta. Toisin sanoen laserpulssit, jotka on ammuttu esimerkiksi yli 10 asteen kulmassa, eivät lankea tasaisesti eri koaloille vaan ovat riippuvaisia mm. koalojen ympärillä olevista ylispuista.

Tutkimusta voisi jatkaa laskemalla tarkempia muuttujia tai käyttämällä tiheämpipulssista laseraineistoa. Myös toimenpidemallien luominen harvennustarpeen määrittämiseksi voisi tuottaa käytännöllisempää ja tarkempaa tietoa.

Avainsanat laserkeilaus, regressioanalyysi, selitysaste, taimikot

Sivut 23 s. + liitteet 16 s.

EVO
Degree Programme in Forestry

Author	Tapio Kamppila	Year 2013
Subject of Bachelor's thesis	Reliability of Airborne Laser Scanning on Sapling Stands	

ABSTRACT

The objective of this thesis was to find out if it's possible to create a more accurate model for dense forests using low density pulse laser data. Data used in the thesis was measured from the educational forest in Evo and obtained by airborne laser scanning in 2012. The data was analyzed with a linear regression model in search of the best possible coefficient of determination for the number of stems, using different explanatory variables. The study was part of the Jyväskylä University of Applied Sciences project Forest Resource Measuring in Unmanaged Forests.

The results didn't provide particularly good models for the determination of the sapling stands. Coefficient of determination for the number of stems varied between 23 to 57 percent. The weakest coefficient of determination was in the spruce sapling stand model. In visual examination the birch sapling stand with retain trees it was shown that the distribution of point plots are not independent. In other words, laser pulses, which are fired for example at an angle greater than 10 degrees, do not fall evenly over the test plots, but are dependent for example on the retain trees around the experimental plots.

This research could be continued by calculating more accurate variables from the laser material, or by using a denser pulse data. Also, creating a model for determination of thinning needs could provide more practical and accurate information.

Keywords airborne laser scanning, regression analysis, coefficient of determination, sapling stands

Pages 23 p. + appendices 16 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TUTKIMUKSEN TAUSTAA.....	3
2.1	Kaukokartoitus	3
2.2	Laserkeilaus.....	3
2.3	Kuvioittainen arviointi	5
2.4	Edelliset opinnäytetyöt ja tutkimukset	5
3	AINEISTO.....	6
3.1	Tutkimusalue.....	6
3.2	Laserkeilausaineisto	6
3.3	Ilmakuva-aineisto ja maanpintamalli	7
3.4	Maastoaineisto.....	7
4	MENETELMÄT.....	10
4.1	Maastoaineiston keruun valmistelu.....	10
4.2	Maastoaineiston keruu.....	12
4.3	Aineiston käsittely.....	14
4.4	Regressioanalyysi.....	16
5	TULOKSET	18
6	TULOSTEN TARKASTELU	19
7	LOPUKSI	21
	LÄHTEET	22
Liite 1	MAASTOMITTAUSTIEDOT JA MALLIEN TULOKSET	
Liite 2	PIIRTEIDEN SELITYKSET	
Liite 3	MAASTO- JA PAIKKATIIETOKUVAT	

1 JOHDANTO

Kaukokartoitusaineiston käyttö taimikoiden puustotietojen keräämisessä on teknisistä syistä ollut vähäistä, vaikka varttuneempien kuvioiden puustotunnuksia pystytäänkin arvioimaan hyvin. Pääasiallinen syy taimikoiden arvioimisen vaikeudessa ovat alle kahden metrin pisteissä tapahtuvat maanpinnan tausta- ja pensaskerrostojen heijastukset (Næsset 2004). Käytännössä alle kahden metrin taimikoita ei siis vielä pystytä laserkeilausaineistolla kartoittamaan. Edellisissä tutkimuksissa kohteeksi onkin yleensä valittu yli kahden metrin korkuista puustoa. Närhen ym. (Närhi, Maltamo, Packalén, Peltola & Soimasuo 2008, 7) mukaan laserkeilausta voidaan tulevaisuudessa hyödyntää varttuneiden taimikoiden inventoinnissa ja taimikonhoidon kiireellisyyden määrittämisessä. Taimikoiden inventointiin on koetettu luoda suorja malleja, mutta niissäkin puustovaratiiedon arvioiminen on ollut hankalaa, toisaalta hyviäkin luokitustuloksia on saatu (Maa- ja metsätalousministeriö 2012).

Merkittävä laserkeilauksella saatava maanpinnan malliin vaikuttava tekijä on puuston ja kasvimassan vaihtelu. Suurimmat virheet tulevat tiheissä kuusikoissa, kesäaikaan kuvatuissa lehtimetsissä ja tiheän aluspuuston vaivaamissa metsissä. Optimaaliset kuvaukset tulisi siis suorittaa keväisin, ennen lehtisilmujen puhkeamista. (Hyypä & Hyypä 2010, 6–8.)

Opinnäytteeni aihepiiri tuli jo alustavasti selville ensimmäisillä Evon kaukokartoituksen tunneilla 2010–2011. Lukuvuoden 2011 aikana aihe varmistui Evolla kesällä 2011 tehtäviin referenssikoealojen mittauksiin ja laserkeilaukseen liittyväksi tutkimukseksi. Liityin kesäksi harjoittelijajoukkoon näitä koealoja mittaamaan. Maastomittausten valmistuttua kävi kuitenkin syksyn ja talven aikana ilmi, ettei kohteiden ilmakuvaukset ja keilaus ollut onnistunut. Mitattu tieto jäikin käytännössä turhaksi tutkimukseni tarkoituksiin. Keväällä 2012 tutkimus päätettiin aloittaa alusta, kun Maanmittauslaitos kuvasi ja keilasi alueen keväällä 2012, ja maastomittaustöihinkin palkattiin jälleen harjoittelijoita.

Lopulta aiheeksi rajautui kuitenkin, samaan aikaan toteutettavan, Jyväskylän ammattikorkeakoulun Metsävaramittaus kunnostamattomissa metsissä -projektin perusteella tiheiden metsien tutkimiseksi. Projektin tarkoituksena oli metsävaratioiden mittaamisen ja hyödyntämisen kehittäminen erityisesti energiapuun korjuussa kunnostamattomista (nuorista) metsistä. (Jyväskylän ammattikorkeakoulu 2011.)

Tutkimme ohjaajani Risto Viitalan kanssa menetelmiä taimikoiden mittaukseen ja päädyimme lopulta perustamaan Evon tutkimusmetsiin omat koealahilastot, jotka mittasin kesän 2012 aikana. Samaan aikaan maanmittauslaitos tuotti laserkeilausaineiston Evon metsistä. Lidar-maastomittauksissa käytetty viiden sentin minimiläpimitta rajasi nuorimmat puut kokonaan mittausten ulkopuolelle, joten taimikoita mitatessa lidar-maastotiedoista ei olisi ollut hyötyä.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, saadaanko epätasaiselle puustolle ja taimikoille luotua tarkkoja tiheyttä ja hoitotarvetta kuvaavia malleja laserpisteaineiston avulla. Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, ettei aihe ole helppo, joten odotettavissa ei välttämättä ollut mitään hyödyllistä aineistoa. Maanmittauslaitoksen tuottaman laserkeilausaineiston ja mitatun maasto-tiedon avulla pyritään löytämään riippuvuussuhteita, ja luomaan taimikoiden ja tiheiden metsien hoitotarvetta kuvaavia malleja laserkeilauspiirteiden avulla.

2 TUTKIMUKSEN TAUSTAA

Tutkimukseeni liittyivät oleellisesti laserkeilauksen ja kaukokartoituksen perusteet. Kaukokartoitusmenetelmät ovat yksi tapa vähentää metsänmittauksen kustannuksia ja maastokäyntien tarvetta. Evolla on aikaisemmin tehty laserkeilaukseen liittyviä opinnäytetöitä, mutta ei varsinaisesti yhtään laser-taimikko -opinnäytetyötä. Pyrin hyödyntämään tutkimukseni edellisten opinnäytetöiden ja tutkimusten pohjatietoa, mutta käytännössä työn suunnittelun, maastotöiden ja laskentatapojen toteutukset ratkaistiin itse.

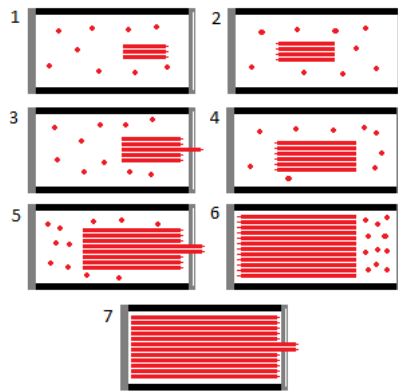
2.1 Kaukokartoitus

Kaukokartoituksella voidaan kerätä tietoa sähkömagneettisen säteilyn avulla. Sähkömagneettinen säteily on poikittaista aaltoliikettä sähkökentässä ja tätä vastaan kohtisuorassa magneettikentässä. Kohteeseen tuleva sähkömagneettinen säteily käyttäytyy eri tavoin kohteen heijastussuhteesta ja ominaissäteilystä riippuen. Säteilyn aallonpituus ja kohteen ominaisuudet vaikuttavat heijastussuhteeseen ja ominaissäteilyllä kuvataan kohteen ominaisuutta heijastaa, lähettää tai imeä sähkömagneettista säteilyä. (Tolkien, Hyppänen, Miina, Vesa & Anttila 1998, 1–24.) Kaukokartoitusta on sekä passiivista että aktiivista, joista ensin mainitussa kerätään kohteiden heijastamaa tai lähettämää säteilyä, kun taas aktiivisessa kaukokartoituksessa mittalaite lähettää itse kohteesta heijastumalla palaavan energian. (Kangas, Päivinen, Holopainen & Maltamo 2011.)

Kaukokartoituksella pyritään metsänmittauksessa säästöihin maastokäyntejä vähentämällä. Metsäkeskuksissa pyritään säästämään kuluissa 40 % muun muassa maastomittauksia vähentämällä (Laserkeilaus viilaa pois puolet metsänmittauksen kustannuksista. Maaseudun tulevaisuus 19.1.2011, 10). Koko Suomi olisi tarkoituksena keilata harvapulssisella laserilla (alle pulssi per neliometri) 2020 mennessä (Metsätietoa taivaista, sentilleen. Helsingin Sanomat 7.9.2010, D1). Uuden laserkeilaussuunnitelman mukaan koko Suomi keilattaisiin 2019 mennessä (Maanmittauslaitos 2013).

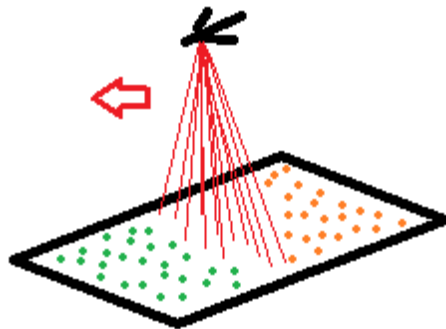
2.2 Laserkeilaus

Laser-säde (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) on laserlaitteessa stimuloitun emission avulla tuotettua yhdenmukaista, hyvin järjestäytyntä valoa. Stimuloidussa emissiossa laservalo tuotetaan peilin ja puoliläpäisevän peilin välissä kimpoilevasta valosta. Peilien laseroivaan väliaineeseen syötetään energiaa fotonin muodossa, jolloin atomin virittyneet elektronit palaavat perustilaansa vapauttamalla toisen, syötetyn kaltaisen fotonin. Näin syntyy lisää samansuuntaista laservaloa. Laservalo on siis koherenttia, eli sen kaikki valoallot värähtelevät samansuuntaisesti ja samalla aallonpituudella sekä taajuudella. Valon kulkiessa edestakaisin peilien välissä siitä katoavat heterogeeniset komponentit, ja puoliläpäisevä peili päästää osan valosta ulos tarkkana lasersäteenä. (Paschotta 2013.)



Kuva 1. Simuloitu emissio

Itse laserkeilaus koostuu laserpulssien lähettämisestä ja heijastumien tulokinnasta. Lasersäteet eivät ole maahan osuessaan pistemäisiä, vaan etäisyyden ja lidarin avauskulman perusteella muodostuvia ympyrämäisiä aloja. Aktiiviseen kaukokartoitukseen perustuvassa laserkeilauksessa laserkeilain (Lidar, Light Detection and Ranging) on yleensä ilmassa kulkevan lentävän laitteen (lentokone, helikopteri, miehittämätön lennokki tms.) mukana, jolloin laserin lähettämän pulssin kulkuajasta ja laserin sijainnista (GPS) sekä kulmasta voidaan päätellä kohteen etäisyys ja sijainti. Näistä tiedoista voidaan määrittellä pisteiden X, Y ja Z koordinaatit. Tällä menetelmällä on perinteisesti kuvattu korkeusmalleja, mutta sen perusteella voidaan yhtä hyvin tuottaa puuston pituusmalleja. Metsien inventoinnissakin käytettyä, ilmasta käsin tapahtuvaa lähi-infran aallonpituudella toimivaa aluepohjaista menetelmää kutsutaan ALS-menetelmäksi (airborne laser scanning). (Jonas 2003.)



Kuva 2. ALS-menetelmä

Laserkeilausaineistossa kaiut luokitellaan tyyppin mukaan ainoaksi kaikuhavainnoksi, ensimmäiseksi kaiuksi, välikaiuksi tai viimeiseksi kaiuksi. Kaiun tyyppejä vastaavat koodit ovat yleisesti 0, 1, 2, 3. Tässä tutkimuksessa LAsTools-ohjelma listasi laserkeilaimen luokittelemat kaiut koodeilla C1, C2 ja C3. Luokiteltu (C = classified) arvo 2 kuvasi maanpintaa ja muut puustoa (1 = kasvillisuus, 3 = matalaa kasvillisuutta). (ASPRS 2005.)

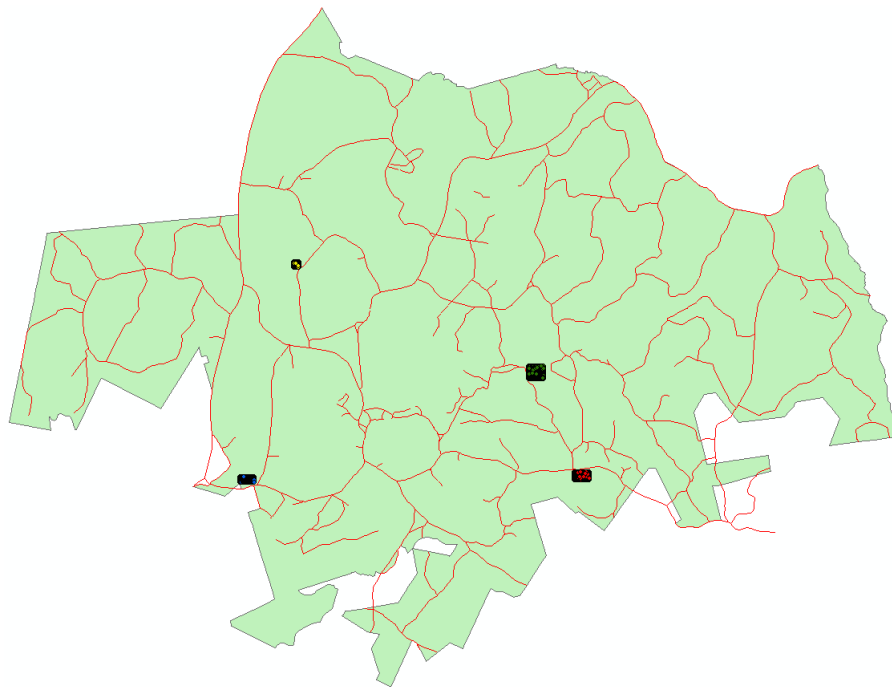
Metsien inventointi voidaan jakaa aluepohjaiseen (area based approach) ja yksinpuinlukumenetelmään (individual tree detection). Yksinpuinluku

3 AINEISTO

Tutkimuksen maastomittaukset suoritettiin kesällä 2012 Evon alueen metsissä, jossa Maanmittauslaitos oli samana vuonna suorittanut laserkeilausta ja ilmakuvausta. Ville Kankareen (2013) maanpintamallia käytettiin apuna puuston todellisen korkeuden määrittämiseen laserkeilausaineiston piste-tiedoista.

3.1 Tutkimusalue

Tutkimusalue sijaitsee Hämeen ammattikorkeakoulun opetusmetsissä. Opetusmetsän laajuus on kokonaisuudessaan noin 2000 hehtaaria. Opetusmetsästä valittiin harvennustarpeessa olevia taimikoita, joihin perustettiin neljä maastokoealalahilastoa. Hilat sisälsivät yhteensä 478 ympyrä-koealaa. Ympyräkoealojen yhteenlaskettu pinta-ala oli 23 900 m². Koko koealalenttien viemä yhteispinta-ala oli 30 592 m².



Kuva 3. Tutkimusalue ja hilastot

3.2 Laserkeilausaineisto

Vanhempaa laserkeilausaineistoa Evolta on vuosilta 2006 ja 2009. Viimeisin laserkeilaus tehtiin toukokuussa 2012. Maanmittauslaitoksen M2-maastomallia varten 2012 keilattu aineisto on harvapulssista, eli metsien kaukokartoituksessa yleisesti käytetyintä laserkeilaustekniikkaa.

Taulukko 1. Laserkeilaimen tiedot

Koordinaatisto	TM35FIN
Korkeusjärjestelmä	N2000
Pistetiheys	0,74 pistetta/m ²
Korkeustarkkuus	0,15 m
Lentokorkeus	1830 m
Keilain	Optech ALTM GEMINI
Multipulse	Ei
Keilauspäivä	7.5.2012
Keilausaikaikkuna	A

3.3 Ilmakuva-aineisto ja maanpintamalli

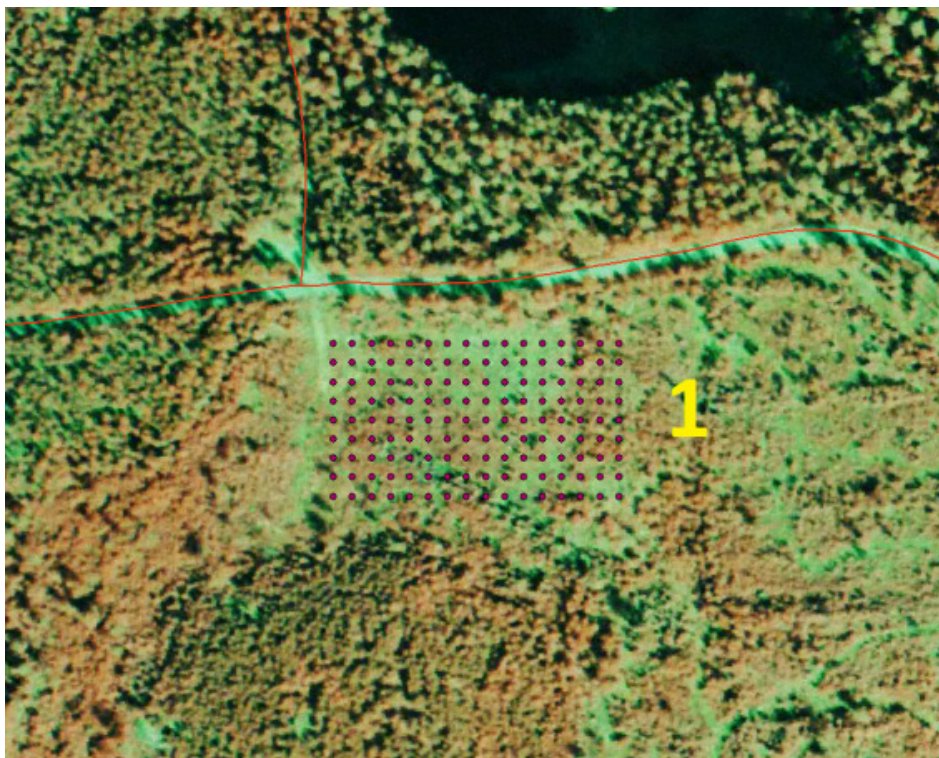
Työssä käytettiin Maanmittauslaitoksen 2012 kuvaamia vääräväri-ilmakuvia. Maanpintamalli (DTM) oli tutkija Ville Kankareen (2013) laatima. Ilmakuvien oikaisussa käytetty korkeusmalli oli 10 m ja koordinaatisto Etrs-tm35fin. Pikselikoko ilmakuvissa 0,5 m * 0,5 m.



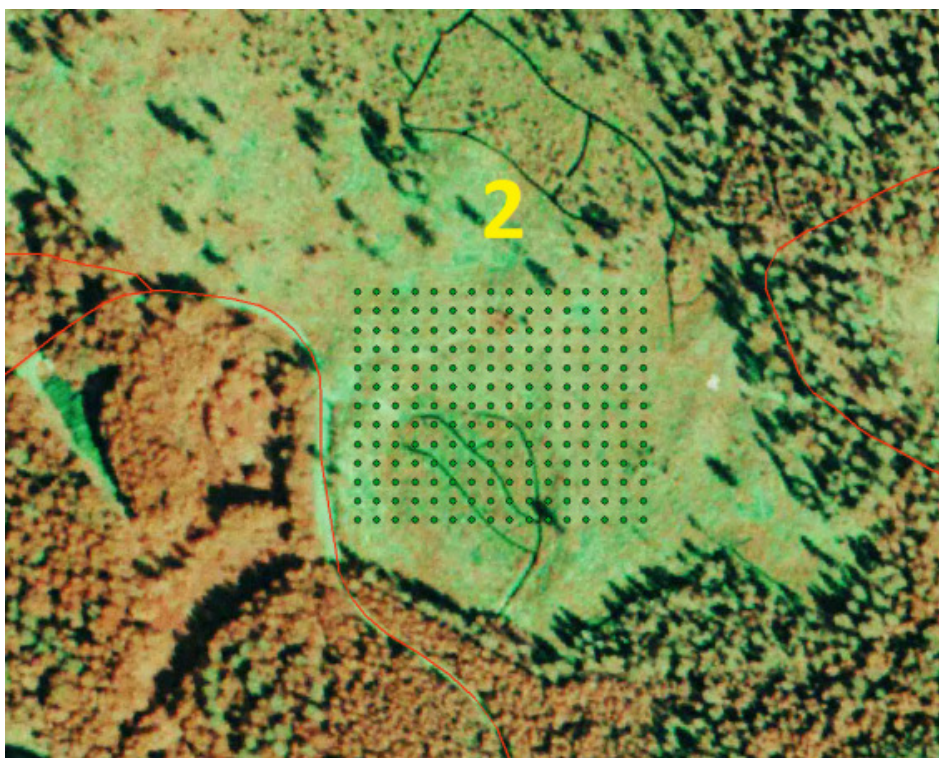
Kuva 4. Koealahilastot

3.4 Maastoaineisto

Maastoaineiston keruuta varten suunniteltiin ja luotiin maastoon koealahilastoja eri puulajeja sisältäviin taimikoihin. Hilastoissa koealojen keskipisteet ovat 8 metrin välein nelikulmaisessa muodostelmassa. Hilastot suunniteltiin nelikulmaisiksi, koska alun perin oli tarkoituksena muodostaa mahdollisimman paljon vierekkäisiä neljän ympyräkoealan muodostamia koealaryppäitä lasertulkintaa varten. Näiltä ympyräkoealoilta (50 m²) kerättiin 3,99 metrin säteeltä puulajikohtaiset tiedot kappalemäärästä, keskipituudesta, keskiläpimitasta, sekä erikseen suurimman puun pituus (valta-puu). Runkoluvut saatiin kertomalla kappalemäärät kahdellasadalla. Puulajit lajiteltiin tutkimuksessa viiteen luokkaan: mänty (1), kuusi (2), koivu (3), muu lehtipuu (4) ja muu puu (5). Puulajien lisäksi joka koealan kohdalle merkittiin huomiokenttään mahdolliset lasertulkintaan vaikuttavat tekijät, kuten isot kivet, ojat ja kaatuneet puut.



Kuva 5. LT1201



Kuva 6. LT1202



Kuva 7. LT1203



Kuva 8. LT1204

4 MENETELMÄT

Tutkimuksen toteutus koostui maastomittauksista ja kootun aineiston käsittelystä. Maastoaineistosta saatiin laskelmiin selitettävät arvot. Laserkeilausaineistosta ja ilmakuvien väriarvoista saatiin selittävät muuttujat. Lopuksi maastomittaustiedot ja muu aineisto liitettiin yhteen laskemalla runkolukumallit regressioanalyysillä.

4.1 Maastoaineiston keruun valmistelu

Maastoaineiston keruuta varten luotiin kesäkuussa 2012 ennalta määrättyihin koordinaattipisteisiin koealojen nurkat oransseilla muovikepeillä ja reunat sinisillä. Näiden sisälle sijoitettut loput koealojen keskipisteet merkittiin noin 30–40 cm pituisilla punaisella korostetuilla puukepeillä. Koordinaatteihin hakeuduttiin Trimble Nomad -laitteella johon oli liitetty GPS Pathfinder ProXRT -sauva-GPS. Näillä päästiin parhaimmillaan 10 cm tarkkuuteen. Koealapisteet haettiin 10+5 cm tarkkuudella, joskin parhaimmillaan päästiin 10+1 cm tarkkuuteen. Maastomittauksissa haettiin pisteitä niin, että laite ilmoitti tarkkuudeksi alle viisi senttiä (todellisuudessa siis 15 cm tarkkuuden sisään). Puuston peitteisyyden takia GPS-koordinaatteja ei huonoimmillaan saatu edes metrin tarkkuudella (LT1204), jolloin pisteet oli haettava manuaalisesti tiedetyistä koordinaattipisteistä bussolin ja mittanauhan avulla.

Keppihin kirjoitettiin pisteen tunnus, joka määräytyi koealapisteiden sijainnin perusteella. Esimerkiksi ensimmäisen koealahilaston ensimmäisen rivin ja sarakkeen piste on muotoa "LT12010101" (Lasertaimikoealan 2012 ensimmäisen hilaston ensimmäisen rivin ensimmäinen piste länsi-itäsuunnassa). Keppien läheltä poistettiin näkyvyyttä haittaavaa aluskasvillisuutta, ja jos keppi osui puiden latvusten alle tai näkyvyyden kannalta muuten huonoon paikkaan, merkittiin läheisiin puihin punaisella ohjausmerkki tai laitettiin toinen keppi ohjaamaan koealaan päin.



Kuva 9. Koelakeppi



Kuva 10. Sauva-GPS

4.2 Maastoaineiston keruu

Kun jokaisella koealaympyrällä oli keskipistekeppi, alettiin tietoa kerätä teleskooppivartisella vavalla 3,99 metrin säteellä keskipisteestä. Kaikki pienetkin puut laskettiin mukaan, vain pihlajat ja katajat laskettiin puskin niiden kasvutavan takia. Koivuja tuli tämän vuoksi varsinkin peratuissa kohteissa todella paljon. Keskiläpimitat ja pituudet koettiin mitata medianipuusta jos puusto oli tasaista. Usein oli kuitenkin laskettava keskiarvoja, koska puiden joukossa oli sekaisin todella isoja ja todella pieniä yksilöitä. Valtapituuden (pisin puu) ja runkoluvun arviointi oli helpompaa, koska koealalta tarvitsi ottaa ylös vain selkeästi esillä olleet asiat. Kaikkein suurimpien puiden pituudet mitattiin vielä erikseen Haglöf Vertex III:lla. Tiedot kerättiin Excel-taulukkoihin samalla Trimble Nomadilla, jolla haettiin hilapisteidenkin koordinaatit.



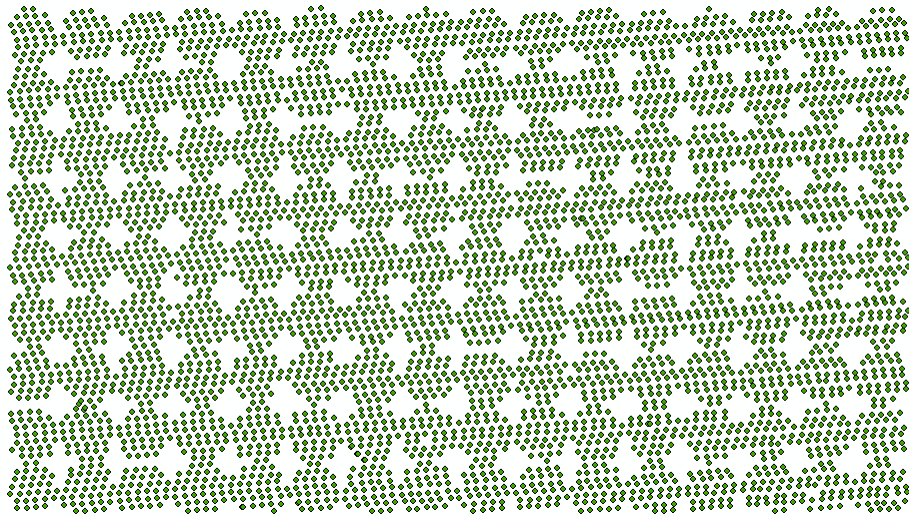
Kuva 11. Trimble Nomad



Kuva 12. Mittavälineitä

4.3 Aineiston käsittely

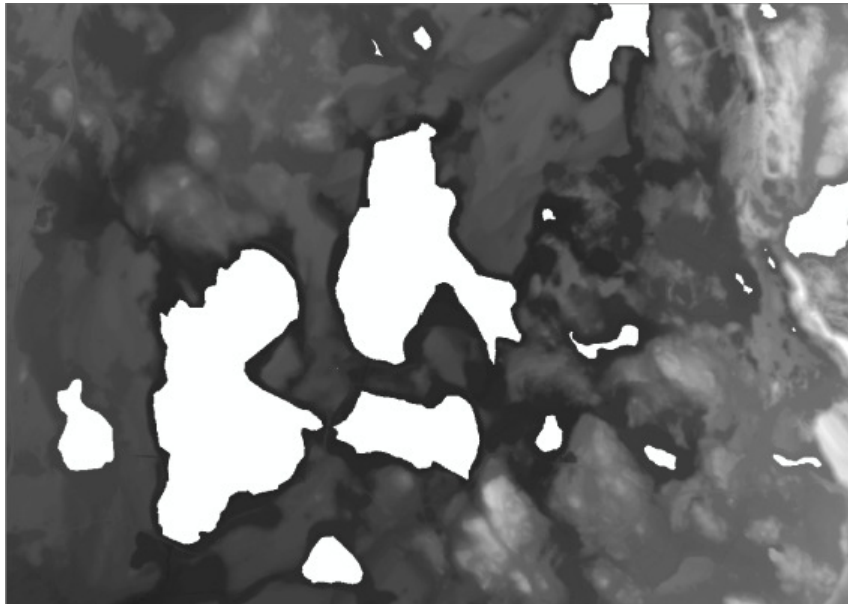
Koealatietaa käsiteltiin ArcGIS-paikkatieto- ja R-tilasto-ohjelmilla. Laserkeilausaineisto haettiin Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalvelimelta LAZ-muodossa, josta se saatiin purettua ja rajattua LAS-tools-ohjelmistoon kuuluneella laszip.exe-ohjelmalla. Koealahilastojen koordinaattien perusteella LAsToolsissa pystyi määrittämään tarkasti leikkavat alueet, ja ArcGISillä bufferoitiin koealaympyrät niin, että vain koealoille osuvat laserpisteet tulivat mukaan tulkintaan. Pisteitä tutkittiin vielä ArcScenellä, jotta selvästi ylimääräiset laserpisteosumat saatiin poistettua.



Kuva 13. LT1201-koealahilaston laserpisteosumat

Pistetietoihin lisättiin korkeusmalli ja vääräväri-ilmakuvan väriarvot. Laserpisteet normalisoitiin maanpinnan suhteen vähentämällä ArcGISillä merenpinnan korkeusarvosta (z) pisteen kohdalla olevan maanpinnan korkeusarvo (Ville Kankareen maanpintamalli). Käytännössä lasertiedoissa oli siis kasvillisuuden korkeusarvo ja maanpintamallissa maanpinnan korkeus, jolloin ne toisistaan vähentämällä saadaan merenpinta-arvot muutettua todelliseksi puuston korkeusarvoiksi.

Tämän jälkeen laserpisteistä voitiin laskea tilastollisia muuttujia. Pisteet ositeltiin luokituksen (C1, C2, C3) mukaan. Kuvissa C1-luokan pisteet kuvattiin vihreällä (luokiteltu kasvillisuus), C2 keltaisella (maanpinta) ja C3 punaisella värillä ("matala kasvillisuus"). Tilastomuuttujat jaetaan yleensä sijainti- (korkeuden ja intensiteetin keskiarvot) ja hajontamuuttujiin (keskihajonnat). Mukaan näistä muuttujista otettiin oleellisimpina korkeusarvo, intensiteetti ja ilmakuva väriarvot. Näiden lisäksi muuttujiksi lisättiin koealakohtaiset frekvenssi-arvot ja selitettävät maastomittaustiedot. C3-arvot jätettiin aluksi taimikkoa heikosti kuvaavina ja määrältään hyvin vähäisinä kokonaan pois taimikohteista. LT1204-koealoilla C3-pisteitä syntyi puiden korkeuden johdosta melko paljon, joten LT1204 laskeettiin uudestaan C3-pisteet mukana.



Kuva 14. Maanpintamalli



Kuva 15. Vääräväri-ilmakuva

Maastotiedoista laskettiin keskiarvot ja maksimit kaikille tunnuksille (rkl, h, lpm) koealoittain (painotetut ja painottamattomat keskiarvot) ja puulaeittain.

Laserpistetiedot ja maastotiedot yhdistämällä saatiin tilastollista laskentaa varten 81 varsinaista eri muuttujaa. Näistä 63 oli laserpisteaineistosta laskettuja selittäviä piirteitä ja 18 maastossa mitattua muuttujaa. Jokaista C-arvoa kohden saatiin siis 21 kappaletta piirteitä. Vain LT1204-koealoilla käytettiin kaikkia C-arvojen muuttujia, joten muilla koealahilastoilla oli käytössä ainoastaan 42 selittäjää. C-arvoja kohden saatiin siis 21 kappaletta selittäviä piirteitä. Tilastolaskennassa käytettiin avoimen lähdekoodin R-ohjelmaa. Koealojen tiedot yhdistettiin Excel-ohjelmalla ja tulostettiin

R-ohjelmaa varten CSV-muodossa (comma-separated values, pilkulla erotetut arvot). Piirteiden selitykset liitteissä.

4.4 Regressioanalyysi

Regressio tarkoittaa palaamista kohti keskiarvoa (Regression towards mean). Regressioanalyysillä pyritään siis selvittämään paras mahdollinen selittäjien yhdistelmä, joilla saadaan parhaiten ennustettua selitettävä muuttuja. (Mäkelä 2010.)

Regressioanalyysin avulla tutkitaan yhden tai useamman selittävän muuttujan vaikutusta selitettävään muuttujaan. Regressioanalyysillä voidaan tutkia yhtä aikaa monen eri selittävän muuttujan vaikutusta kohteeseen olevaan selitettävään muuttujaan. Tällöin tuloksen kertovat, mikä on yksittäisen selittävän muuttujan painoarvo kun muiden selittäjien vaikutus selitettävään muuttujaan huomioidaan. (KvantiMOTV 2008.)

Regressioanalyysin kaava:

$$y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n$$

b_0 on vakiotermin, b_n n:s regressiokerroin ja x_n n:en selittävän muuttujan arvo.

Esim. $y = -7356.7 + 2289.58 * \text{MEANIC1} - 154.22 * \text{MEANB2IKC1}$

Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-7356.7	8291.29	-0.887	0.3764
MEANIC1	2289.58	367.85	6.224	5.21E-09
MEANB2IKC1	-154.22	74.86	-2.06	0.0412

Tutkimuksessa käytettiin R-ohjelman AICstep-regressiota, joka on useamman muuttujan kaksisuuntainen askeltava (lineaarinen) regressiomallinnustekniikka. Mallinnuksessa testataan muuttujia, lisätään tai poistetaan riippuen siitä, heikentävätkö vai parantavatko ne mallin selitystasetta.

Tutkimuksessa regressiomalli laskettiin siten, että runkolukujen summa valittiin selitettäväksi muuttujaksi, koska haimme tiheydelle selittäjiä. Laskentaa toistettiin niin kauan, että T-arvot saatiin kaikissa selittäjissä yli kahden. Pienen T-arvon muuttujien vaikutusta mallin hyvinä selittäjinä ei voitu pitää varmoina, eikä tilastollisesti merkittävänä. C3-selittäjät poistettiin myös tästä syystä taimikohteista. Suuremmalla muuttujamäärällä mallit antoivat välillä parempia selitystasetta, mutta osa muuttujista ei ollut tilastollisesti tarpeeksi merkittäviä.

Pisteiden korkeusarvojakaumia tarkasteltiin myös normitetulla aineistolla. Normitetussa aineistossa muuttujien arvot oli standardoitu vähentämällä havaintoarvosta (x_i) muuttujan keskiarvo (\bar{x}) ja jakamalla näin saatu arvo vielä muuttujan keskihajonnalla (s):

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$$

5 TULOKSET

Tulokset laskettiin 478 maastokoealamittauksen (23900 m²) ja laserkeilaustiedon perusteella. R-ohjelmalla suoritettulla regressioanalyysillä (StepAIC) laskettiin selittäjien sopivuutta malleihin. Regressiomallinnus ajettiin aina uudestaan valiten muuttujat, joiden t-testisuureen arvo oli yli 2, mukaan uuteen laskentaan.

Regressioanalyysillä ei saatu kovin kummoisia arvioita taimikoiden tiheydestä, koska parhaassakin tapauksessa päästiin taimikoissa vain 50 % selitysteeseen (LT1202 männikkö). Kuusikossa päästiin oletetusti heikoimpaan tulokseen 23 prosenttiin ja koivikossa 34 prosenttiin. Normituksesta huolimatta mallin selitysaste ei parantunut.

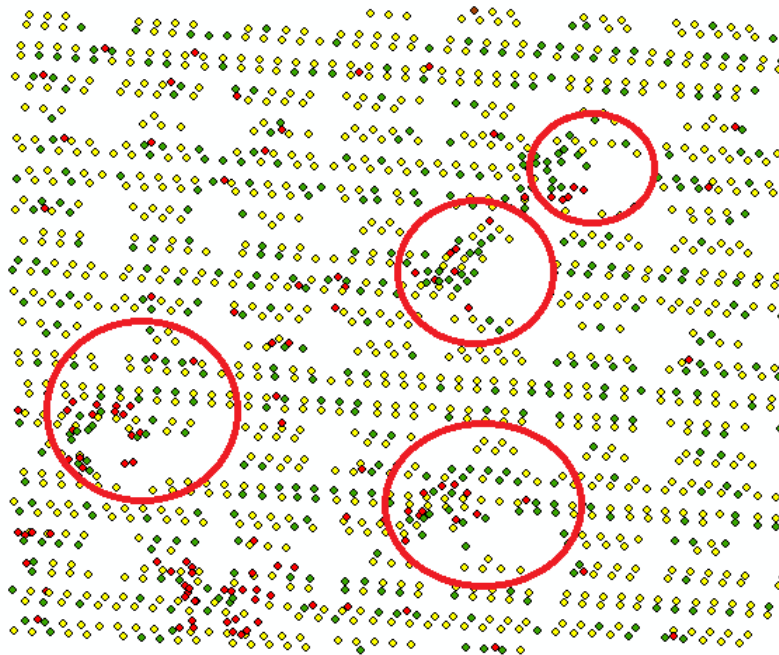
LT1204-männikössä saatiin runkoluku 34 % selitysasteella ja keskipituus 56 % selitysasteella ilman C3-arvoja. Kun C3-arvot lisättiin mukaan, päästiin 57 % selitysteeseen runkoluvussa ja 56 % selitysteeseen keskipituudessa.

6 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, saadaanko tiheille - ja hoitamattomille taimikoille luotua malleja harvapulssisen laserkeilausaineiston avulla. Tutkimusta varten perustettiin neljä hyvin erityyppistä maastokoealaa - kenttää ja näiden sisälle luotiin yhteensä 478 kpl 50 m² maastokoealaa. Koska monimutkaisempia koealatulintoja ei lopulta käytetty tutkimuksessa, olivat tasaisesti muodostetut koealahilastot vain maastomittausten kannalta käytännöllisiä. Tasaisesti kahdeksan metrin välein sijoitetut koealat voivat myös helpottaa mahdollisia jatkotutkimuksia.

Tuloksia tarkastellessa ei löydetty laskettujen muuttujien ja maastoaineiston välille luodulle mallille kuin korkeintaan 57 prosentin selitysaste. Harvapulssinen laserpisteaineisto on lähtökohtaisesti huono aineisto tiheiden ja matalien kohteiden tarkastelussa, mutta tarkemmalla tutkimisella ja selittäjien hakemisella olisi ehkä voitu päästä parempiin tuloksiin. Kaikki työ tehtiin myös alusta asti itse, eikä käytössä ei ollut tarkkoja laskettuja tekstuuripiirteitä ja muita hienouksia. Kokemattomuus mallien laskennassa saattoi siis myös osaltaan vaikuttaa laskelmien ja mittausten hyvytyteen.

Tutkimuksessa kävi myös ilmi, että ylispuut vaikuttavat laserpisteiden jakautumiseen tasolle. Koivuvaltaisella LT1203:lla isot ylispuut olivat estäneet tietystä kulmasta tulleita lasersäteitä lankeamasta joillekin koealoille. Tästä johtuen LT1203:lla oli koealoja, joista puuttui tai oli ylimääräisiä laserpisteitä koealan ulkopuolisista syistä. Tämän ehdollisen riippuvuuden vuoksi joidenkin koealojen mallintaminen yksinkertaisilla regressiomalleilla ei tuottanut mitään järkeviä tuloksia. Selitysaste koivikossa laski todennäköisesti myös tämän takia.



Kuva 16. Ylispuiden vaikutus laserpisteosumiin

Tarkempiin tuloksiin olisi voitu päästä esimerkiksi prosenttipistearvot (p05...p95) tai tekstuuripiirteitä laskemalla. Koealamittauksissa koivuryypät olisi myös voitu laskea tietyltä alalta, jokaisen rungon laskemisen sijaan. Taimikoiden inventoinneissa lasketaan aina tietyn alan sisältä vain yksi runko, mutta tässä tutkimuksessa jokainen kantovesakin laskettiin runkolukuun, koska halusimme oikeasti jokaisen alle rinnankorkeuden kasvupisteen rungon mukaan. Edellisissä isompaa puustoakaan mittaavissa tutkimuksissa (Heikkilä 2010) ei ole mallin hyvyyden suhteen päästy korkeisiin lukemiin, vaikka toimenpidetarvetta mallinnettaessa hyvin tarkkoja hakkuutoimenpidearvioita.

7 LOPUKSI

Tuloksien perusteella taimikoille ei saatu yksinkertaisilla menetelmillä luotua sopivia mallinnusmenetelmiä, ja vaikka ne olisikin saatu, niin ne olisivat todennäköisesti olleet vain paikallisesti (kuten kaikki lasketut lasersmallit) sovellettavissa. Varsinkin taimikkoihin sopivat paremmin puustotietomallien avulla luotavat toimenpidemallit.

Olisi kuitenkin mielenkiintoista tietää, pystytäisiinkö maastomittausaineistoa ja maastomittauskoealoja vielä hyödyntämään pidemmälle ja tarkemmin. Tarkempia tekstuuripiirteitä laskemalla (prosenttipistearvot yms.), koealojen tarkemmalla rasteroinnilla, tiheäpulsisella laseraineistolla ja esimerkiksi aluksi kaavailemallamme vierekkäisten koealojen neliövertailulla voitaisiin saavuttaa tarkempia malleja. Myös toimenpidearviomalleja voitaisiin luoda näiden tietojen perusteella.

Kiitokset opinnäytettä tiiviisti ohjanneelle Risto Viitalalle, tallennusvälineiden kanssa auttaneille Antti Komulaiselle, Esa Lientolalle ja Antti-Miikka Majorannalle, kaikille 2011–2012 kesinä mukana olleille mittaus-tiimien jäsenille, Jyväskylän ammattikorkeakoululle sekä kaikille muillekin tukena olleille.

LÄHTEET

- ASPRS. 2005. LAS Specification. Viitattu 11.11.2013.
http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/asprs_las_format_v11.pdf
- Haara, A. & Korhonen, K.T. 2004. Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus. *Metsätieteen aikakauskirja*. 4:2004, 489–508.
- Heikkilä, A. 2011. Laserkeilauksen hyödyntäminen hakkuutarpeen määrittämisessä. Hämeen ammattikorkeakoulu. *Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö.*
- Hyyppä, J., & Hyyppä, H. Kansallisen laserkeilauksen mahdollisuudet. *Maankäyttö* 1/2007, 6–8.
- Jonas, David. 2003. Airborne Laser Scanning – Cost effective spatial data. *GIS Development*. Viitattu 11.11.2013.
<http://www.gisdevelopment.net/technology/rs/ma03001.htm>
- Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 2011. Metsävaramittaus kunnostamattomissa metsissä. Viitattu 9.10.2013. <http://www.jamk.fi/projektit/1180>
- Kangas, A., Päivinen, R., Holopainen, M. & Maltamo, M. 2011. Metsänmittaus ja kartoitus. *Silva Carelica* 40. Itä-Suomen yliopisto.
- Kankare, V. 2013. Maanpintamalli.
- Komulainen, A. 2009. Varkauden laserkeilausaineistosta laaditun prosenttipistemallin käytettävyys Evolla. Hämeen ammattikorkeakoulu. *Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö.*
- Kulha, P. 2009. Laserkeilauksen intensiteetti metsänhoitotarpeen arvioinnissa. Hämeen ammattikorkeakoulu. *Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö.*
- Laserkeilaus viilaa pois puolet metsänmittauksen kustannuksista. *Maaseudun tulevaisuus* 19.1.2011, 10.
- Lindberg, A. 2009. Laserpisteaineiston hyödyntäminen manuaalisessa ennakkokuvioinnissa. Hämeen ammattikorkeakoulu. *Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö.*
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2012. Laser- ja ilmakuvaperusteinen taimikoiden inventointi (taimilaser). Itä-Suomen yliopisto, Metsäkeskus Keski-Suomi, Tapio, Metsähallitus.
- Maanmittauslaitos. 2013. Viitattu 22.10.2013.
<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilausindeksit/laserkeilaussuunnitelma-2014-2019>

Mattila, M. 2008. Regressioanalyysi. KvantiMOTV oppimisympäristö. Tampereen yliopisto. Viitattu 9.9.2013.
<http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/regressio/analyysi.html>

Metsätietoa taivaista, sentilleen. Helsingin Sanomat 7.9.2010, D1.

Mäkelä, T. 2010. SPSS-ohjeistus 17. Matemaattiset ja tilastolliset menetelmät -opintojakson verkkoaineisto. Hämeen ammattikorkeakoulu, Moodle2. Viitattu 9.9.2013. <https://moodle2.hamk.fi/>

Næsset, E. 2004. Practical large-scale forest stand inventory using a small footprint airborne scanning laser. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19, 164–179.

Närhi, M., Maltamo, M., Packalén, P., Peltola, H. & Soimasuo, J. 2008. Kuusen taimikoiden inventointi ja taimikonhoidon kiireellisyyden määrittäminen laserkeilauksen ja metsäsuunnitelmätietojen avulla. *Metsätieteen aikakauskirja*. 1:2008, 5–15.

Paschotta, R. 2013. Stimulated Emission. Amplifiers. RP Photonics Consulting GmbH. Viitattu 11.11.2013. http://www.rp-photonics.com/stimulated_emission.htm

Tokola, T., Hyppänen, H., Miina, S., Vesa, L. & Anttila P. 1998. Metsän kaukokartoitus. *Silva Carelica* 32. Joensuu: Metsätieteellinen tiedekunta.

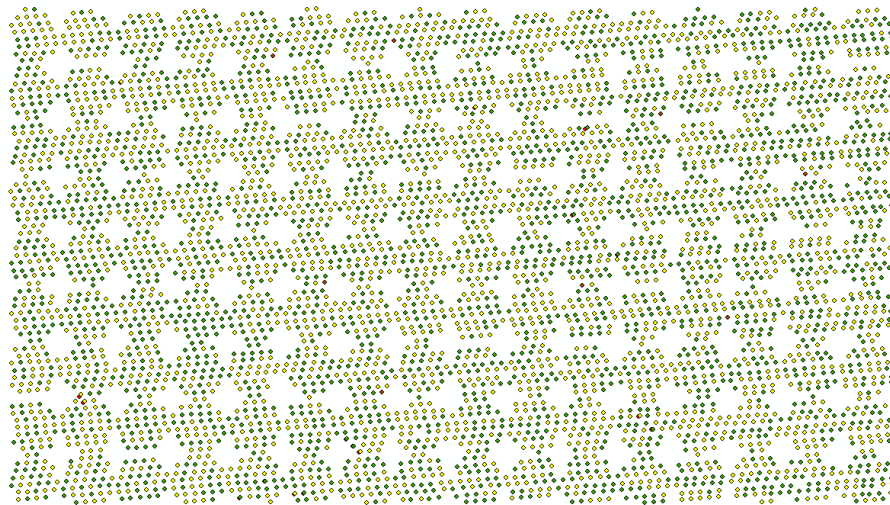
MAASTOMITTAUSTIEDOT JA MALLIEN TULOKSET

LT1201	
Pääpuulaji	Kuusi (runsas koivualikasvos)
Koelakentän pinta-ala	9216 m ²
Ympyräkoalojen pinta-ala	7200 m ²
Ympyräkoaloja	144 kpl
Ensimmäisen ympyräkoalan koordinaatit	X 400032 Y 6785640
Koelakentän keskipiste	X 400092 Y 6785608

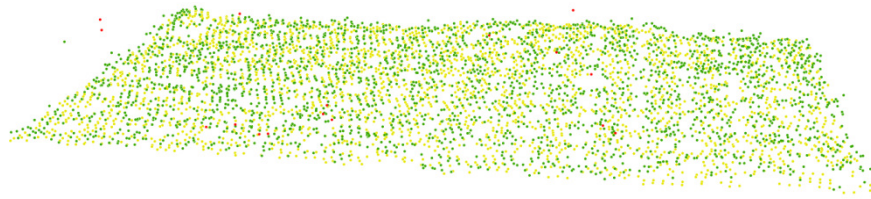
rkl_sum	h_avg	h_avgp	lpm_avg	lpm_avgp
19046	1.2	1.3	0.4	0.3



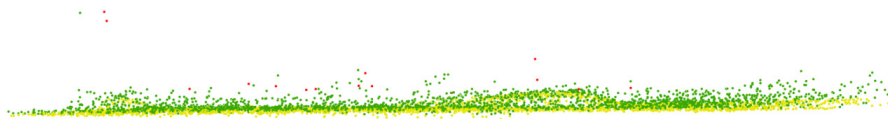
Kuva 17. LT1201



Kuva 18. LT1201 laserpisteosumat



Kuva 19. LT1201 laserpisteosumia



Kuva 20. LT1201 poikkileikkaus

Call:

```
lm(formula = rklsum ~ MEANIC1 + MEANB2IKC1 + FREQSUM, data = data1)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max
-14076 -4944 -1500 4436 19702
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	Signif.
(Intercept)	18840.18	14846.81	1.269	0.2066	
MEANIC1	2394.88	366.79	6.529	1.13E-09	***
MEANB2IKC1	-174.05	74.55	-2.335	0.021	*
FREQSUM	-727.56	343.91	-2.116	0.0362	*

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 6835 on 140 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.2437, **Adjusted R-squared: 0.2275**

F-statistic: 15.04 on 3 and 140 DF, p-value: 1.539e-08

Malli LT1201 runkoluku:

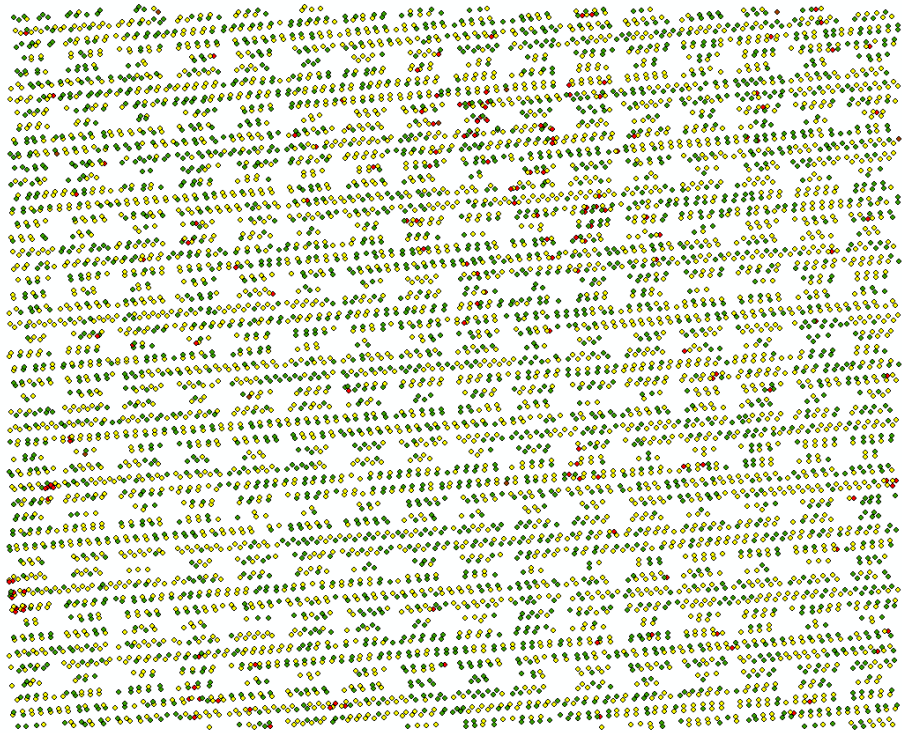
$$y = 18840.18 + 2394.88 * \text{MEANIC1} - 174.05 * \text{MEANB2IKC1} - 727.56 * \text{FREQSUM}$$

LT1202	
Pääpuulaji	Mänty (runsas koivualikasvos)
Koelakentän pinta-ala	13312 m ²
Ympyräkoalojen pinta-ala	10400 m ²
Ympyräkoaloja	208 kpl
Ensimmäisen ympyräkoalan koordinaatit	X 399655 Y 6786510
Koelakentän keskipiste	X 399715 Y 6786462

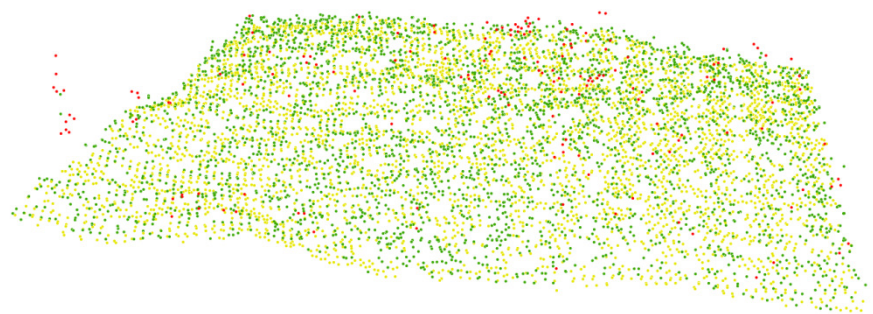
rkl_sum	h_avg	h_avgp	lpm_avg	lpm_avgp
13898	2.6	2.9	1.8	2.1



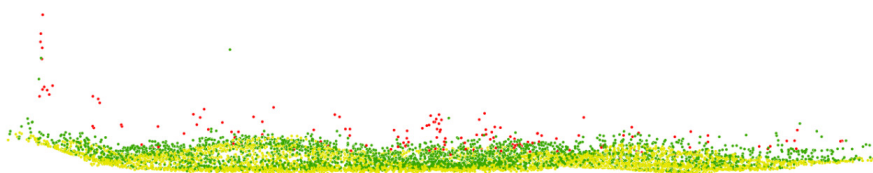
Kuva 21. LT1202



Kuva 22. LT1202 laserpisteosumat



Kuva 23. LT1202 laserpisteosumia



Kuva 24. LT1202 poikkileikkaus

Call:

lm(formula = rklsum ~ MEANB3IKC2 + MEANIC1 + MEANB1IKC2 + MEANB2IKC2 + STDDZC2 + MAXB2IKC2 + FREQC1 + RANGEDZC2, data = data1)

Residuals:

Min 1Q Median 3Q Max
-7646.0 -2459.4 -267.3 2081.1 14094.7

Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	Signif.
(Intercept)	1492.42	4876.95	0.306	0.75991	
MEANB3IKC2	-1160.03	183.79	-6.312	1.76E-09	***
MEANIC1	1015.81	146.58	6.93	5.71E-11	***
MEANB1IKC2	301.17	65.86	4.573	8.45E-06	***
MEANB2IKC2	800.12	144.16	5.55	9.03E-08	***
STDDZC2	-41749.68	15927.49	-2.621	0.00944	**
MAXB2IKC2	-41.07	20.22	-2.031	0.04354	*
FREQC1	184.73	87.81	2.104	0.03666	*
RANGEDZC2	8430.06	4186.07	2.014	0.04537	*

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3675 on 199 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5211, **Adjusted R-squared: 0.5019**

F-statistic: 27.07 on 8 and 199 DF, p-value: < 2.2e-16

Malli LT1202 runkoluku:

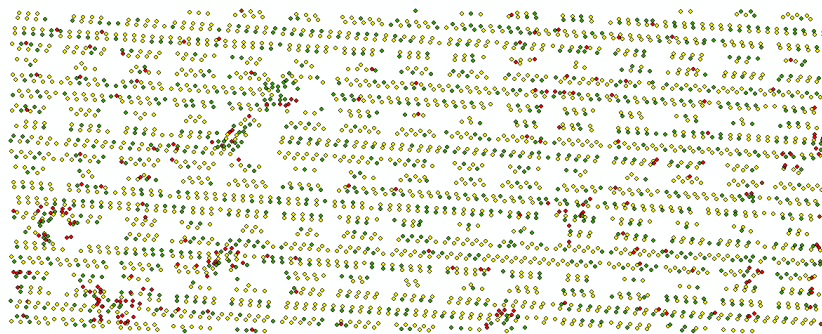
$y = 1492.42 - 1160.03 * \text{MEANB3IKC2} + 1015.81 * \text{MEANIC1} + 301.17 * \text{MEANB1IKC2} + 800.12 * \text{MEANB2IKC2} - 41749.68 * \text{STDDZC2} - 41.07 * \text{MAXB2IKC2} + 184.73 * \text{FREQC1} + 8430.06 * \text{RANGEDZC2}$

LT1203	
Pääpuulaji	Koivu
Koalaketän pinta-ala	5760 m ²
Ympyräkoealojen pinta-ala	4500 m ²
Ympyräkoealoja	90 kpl
Ensimmäisen ympyräkoealan koordinaatit	X 397275 Y 6785600
Koalaketän keskipiste	X 397331 Y 6785580

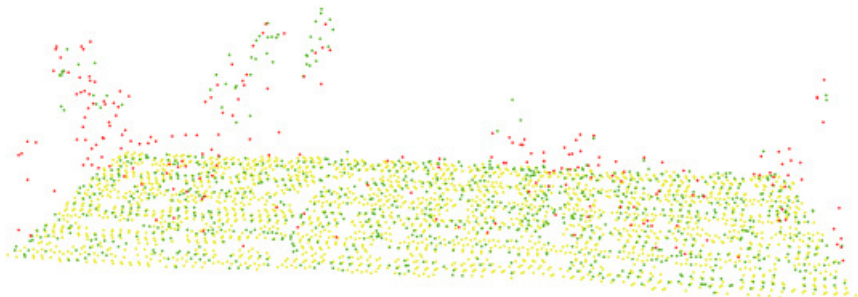
rkl_sum	h_avg	h_avgp	lpm_avg	lpm_avgp
19698	2.6	2.8	1.4	1.3



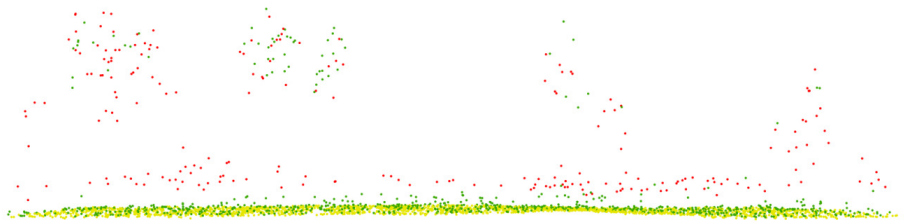
Kuva 25. LT1203



Kuva 26. LT1203 laserpisteosumat



Kuva 27. LT1203 laserpisteosumia



Kuva 28. LT1203 poikkileikkaus

Call:

lm(formula = rklsum ~ MAXB3IKC2 + MAXIC2, data = data1)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-13913.5	-3649.3	-5.3	3017.6	18016.9

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	Signif.
(Intercept)	68842.9	7200.3	9.561	3.19E-15	***
MAXB3IKC2	-247.4	47.6	-5.198	1.32E-06	***
MAXIC2	-691.2	236.4	-2.924	0.00441	**

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 5854 on 87 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.3539, **Adjusted R-squared: 0.3391**

F-statistic: 23.83 on 2 and 87 DF, p-value: 5.588e-09

Malli LT1203 runkoluku:

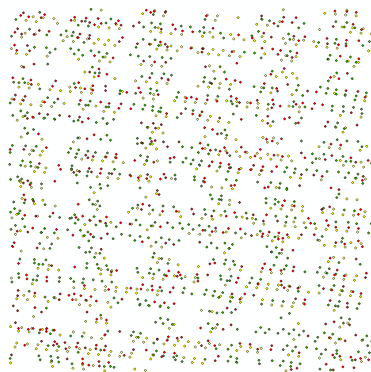
$$y = 68842.9 - 247.4 * \text{MAXB3IKC2} - 691.2 * \text{MAXIC2}$$

LT1204	
Pääpuulaji	Mänty
Koalaketän pinta-ala	2304 m ²
Ympyräkoealojen pinta-ala	1800 m ²
Ympyräkoealoja	36 kpl
Ensimmäisen ympyräkoealan koordinaatit	X 397716 Y 6787372
Koalaketän keskipiste	X 397736 Y 6787352

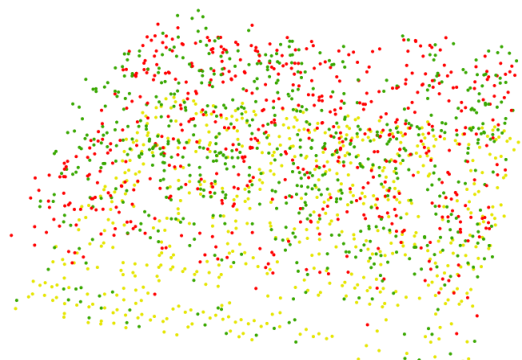
rkl_sum	h_avg	h_avgp	lpm_avg	lpm_avgp
4178	6.2	8.4	4.8	7.1



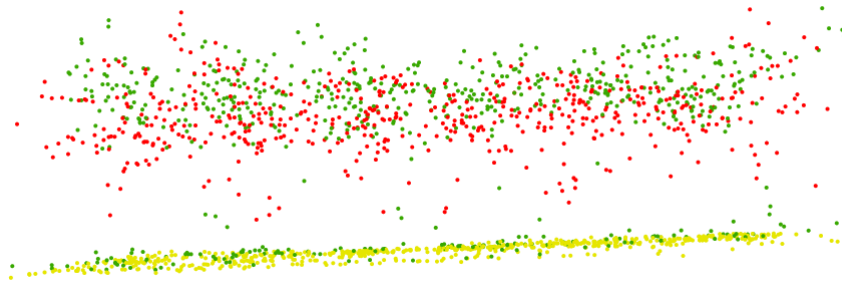
Kuva 29. LT1204



Kuva 30. LT1204 laserpisteosumat



Kuva 31. LT1204 laserpisteosumia



Kuva 32. LT1204 poikkileikkaus

Call:

```
lm(formula = rklsum ~ RANGEIC2 + RANGEIC1 + MEANDZC2 +
  STDIC1 +
  STDDZC1 + FREQC3 + MAXIC2 + FREQSUM, data = data1)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1453.79	-469.82	-29.07	492.31	1271.85

Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	Signif.
(Intercept)	-380.49	1619.99	-0.235	0.816079	
RANGEIC2	667.49	181.9	3.669	0.001054	**
RANGEIC1	302.49	84.89	3.564	0.001387	**
MEANDZC2	-12822.92	3989.66	-3.214	0.003379	**
STDIC1	-992.14	357.44	-2.776	0.009881	**
STDDZC1	607.56	159.57	3.808	0.000735	***
FREQC3	-239.18	68.3	-3.502	0.001626	**
MAXIC2	-561.75	194.2	-2.893	0.007464	**
FREQSUM	93.19	43.35	2.15	0.040703	*

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 780.3 on 27 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6662, **Adjusted R-squared: 0.5674**

F-statistic: 6.737 on 8 and 27 DF, p-value: 7.476e-05

Malli LT1204 runkoluku:

$$y = -380.49 + 667.49 * \text{RANGEIC2} + 302.49 * \text{RANGEIC1} - 12822.92 * \text{MEANDZC2} - 992.14 * \text{STDIC1} + 607.56 * \text{STDDZC1} - 239.18 * \text{FREQC3} - 561.75 * \text{MAXIC2}$$

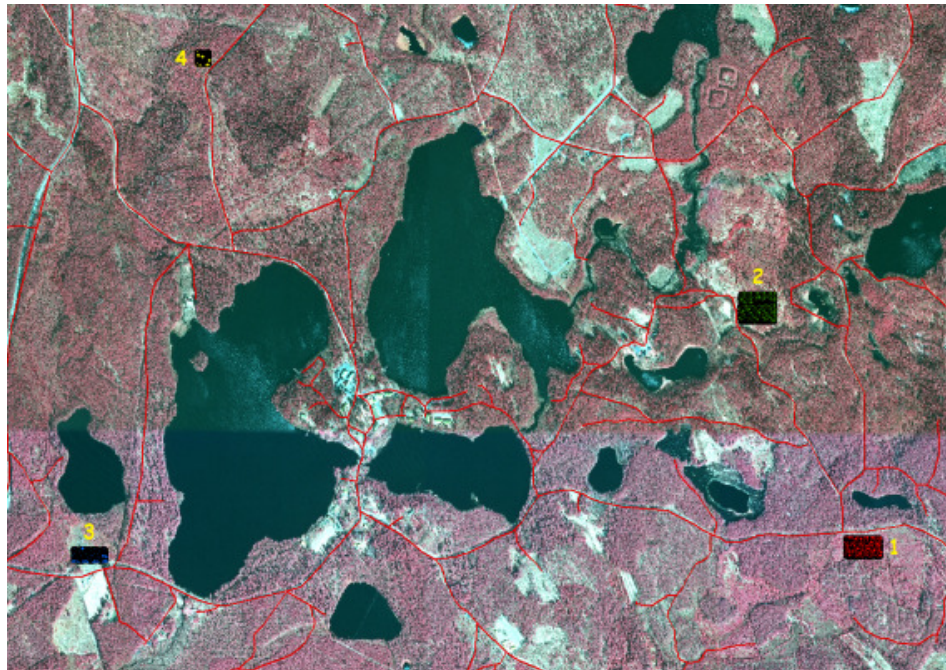
PIIRTEIDEN SELITYKSET

FREQC1 = koealan laserpisteosumien määrä C1 luokkaan kuuluvilla pisteillä
MEANDZC1 = korkeuden keskiarvo
STDDZC1 = korkeuden keskihajonta
RANGEDZC1 = korkeuden vaihteluväli
MEANIC1 = intensiteetin keskiarvo
STDIC1 = intensiteetin keskihajonta
RANGEIC1 = intensiteetin vaihteluväli
MEANB1IKC1 = keskiarvo C1 luokkaan kuuluvien pisteiden kohdalle osuvien infrapuna-ilmakuvapikselien lasketuista kanava-arvoista
STDB1IKC1 = keskihajonta C1 luokkaan kuuluvien pisteiden kohdalle osuvien infrapuna-ilmakuvapikselien lasketuista kanava-arvoista
RANGEB1IC1 = vaihteluväli C1 luokkaan kuuluvien pisteiden kohdalle osuvien infrapuna-ilmakuvapikselien lasketuista kanava-arvoista
MEANB2IKC1 = keskiarvo C1 luokan punaisten ilmakuvapikselien kanava-arvoista
STDB2IKC1 = keskihajonta C1 luokan punaisten ilmakuvapikselien kanava-arvoista
RANGEB2IC1 = vaihteluväli C1 luokan punaisten ilmakuvapikselien kanava-arvoista
MEANB3IKC1 = keskiarvo C1 luokan vihreiden ilmakuvapikselien kanava-arvoista
STDB3IKC1 = keskihajonta C1 luokan vihreiden ilmakuvapikselien kanava-arvoista
RANGEB3IC1 = vaihteluväli C1 luokan vihreiden ilmakuvapikselien kanava-arvoista
MAXDZC1 = korkeusarvojen maksimi C1 luokan pisteillä
MAXIC1 = intensiteettiä arvojen maksimi
MAXB1IKC1 = maksimi arvo C1 luokkaan kuuluvista infrapuna-ilmakuvapikselien arvoista
MAXB2IKC1 = maksimi arvo C1 luokkaan kuuluvista punaisten ilmakuvapikselien arvoista
MAXB3IKC1 = maksimi arvo C1 luokkaan kuuluvista vihreiden ilmakuvapikselien arvoista
FREQSUM = kaikkien laserpisteosumien määrä koealalla

Muut samoja, mutta C2- ja C3-luokkien pisteillä.

Väärävärikuivissa (NRG) B1 on infrapuna-arvot, B2 punaisen aallonpituuden intensiteettiä arvot ja B3 vihreän aallonpituuden intensiteettiä arvot.

MAASTO- JA PAIKKATIETOKUVAT



Kuva 33. Koelat vääräväri-ilmakuvassa



Kuva 34. Runkoluvun laskentaa teleskooppivavalla



Kuva 35. Koalapisteen koordinaattien



Kuva 36. Vertex ja transponderi rinnankorkeuskepin päässä



Kuva 37. Koealahilaston nurkkakeppi



Kuva 38. Koalahilaston reunakeppi



Kuva 39. Koalahilaston puukeppi