

Metsäbiomassan kartoitus ja seuranta yksityiskohtaisella kaukokartoituksella

BEST TASK 2.1.3

Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos (HY)
Geodeettinen laitos (FGI)
Metsähallitus

Vastuulliset PI:t: Markus Holopainen (HY) & Juha Hyyppä (FGI)
Tutkijat: Ville Kankare, Mikko Niemi, Mikko Vastaranta

BEST-hankkeen keskeiset tulokset

BEST-hankkeen keskeiset tulokset (HY/FGI) olivat seuraavat: 1) Maanmittauslaitoksen (MML) harvapulssinen lentolaserkeilausaineisto (ALS), joka on saatavilla lähes koko Suomesta ilmaiseksi, tuottaa huomattavasti tarkempaa puustobiomassan kartoitustietoa kuin perinteinen satelliittikuvatulkintaan perustuva valtakunnan metsien monilähdeinventointi. Menetelmä on tarkka ja kustannustehokas vaihtoehto tuottaa bioenergiapotentiaaliin liittyviä kartoituksia sekä kivennäismailla että heikkotuottoisilla soilla. 2) Todistettiin, että puustobiomassan estimointitarkkuus on MML:n ALS-aineistolla lähes yhtä hyvä kuin korkeapulssisella ALS-aineistolla. 3) MML:n ALS-aineiston kustannustehokkaan hyödyntämisen yhtenä pullonkaulana on keilauksessa käytettävien laitteiden ja keilausparametrien vaihtelu. BEST-tutkimuksissa kehitettiin uusi menetelmä, jolla keilauslaitteista/-parametreista aiheutuvia virheitä pystytään poistamaan. 4) MML:n ALS-aineisto on erinomainen lähtökohta puustobiomassassa tapahtuvien muutosten seurantaan. Muutostulkintaan kehitettiin kahden ajankohdan ALS-pintamalleihin perustuvia menetelmiä. 5) Tarkka 3D-kaukokartoitustulkinta vaatii entistä tarkempaa referenssitietoa. BEST-hankkeen aikana (muulla rahoituksella) on kehitetty maastolaserkeilaukseen perustuvia referenssikoealojen mittausmenetelmiä.

Results of the BEST project

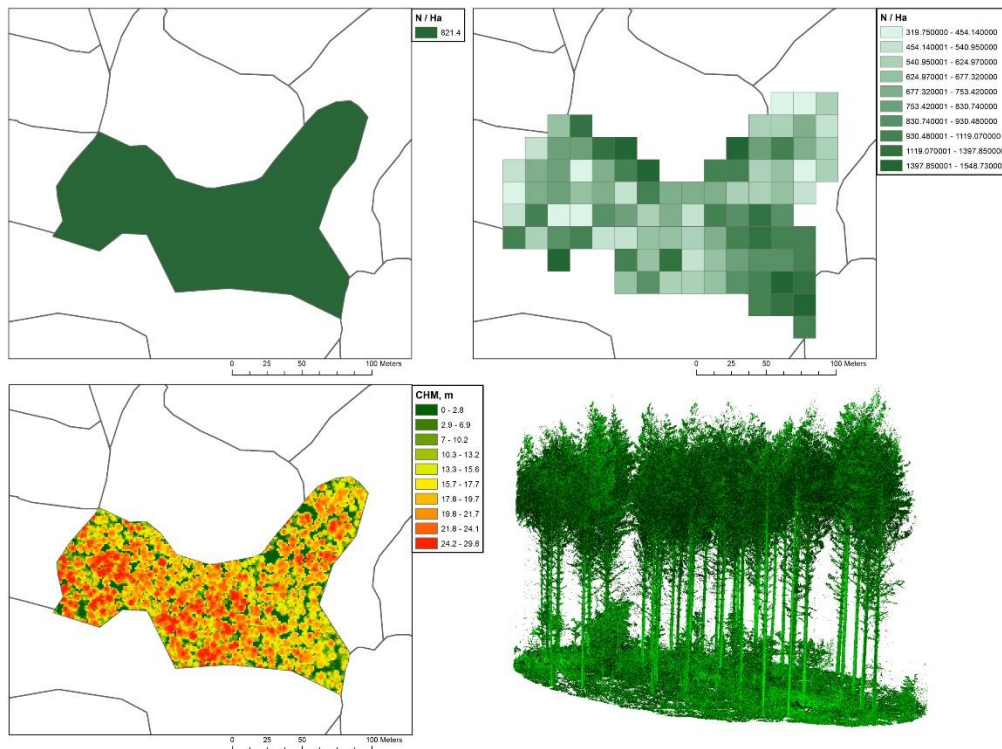
Main results of the BEST studies (HU,FGI) were as follows: 1) low density ALS data collected by NLS can be used for plot- and stand level AGB mapping in mineral soils and peatlands with higher accuracy compared to traditional multisource national forest inventory, which is based on satellite images. ALS data provided by NLS is free of charge, which makes this dataset potentially cost-efficient approach if up-to-date field reference is available. 2) The accuracy of AGB estimation based on low-density ALS data was almost as accurate as high-density ALS data. 3) A novel approach was introduced to minimize the uncertainty caused by multiple sensors and varying data acquisition parameters used to collect ALS data over large areas. 4) Studies also presented methods for biomass change detection based on multi-temporal ALS data. 5) In addition to BEST-project studies, new approaches to measure e.g. the required reference data accurately and cost-efficiently were developed based on terrestrial laser scanning technique (TLS / MLS).

1. Johdanto

Yksityiskohtainen ja ajantasainen metsävaratieto on erityisen tärkeässä asemassa rakennettaessa uuden sukupolven metsätietojärjestelmiä, joihin metsien kestävä käyttö sekä puunhankinta pohjautuvat niin kansallisesti kuin maailmanlaajuisesti. Yksityiskohtainen metsävaratieto, erityisesti metsäbiomassan kartoituksessa ja seurannassa, on vähimmäisvaatimus tulevaisuuden metsäsovelluksissa. Yksityiskohtaista metsäbiomassatietoa (yksittäisen puun tasolta laajoihin alueisiin) voidaan hyödyntää metsiin sitoutuneen hiilen määrän (hiilitaseen) laskentaan, joka on tällä hetkellä keskeinen

ilmastopoliittinen kysymys maailmanlaajuisesti. Hiilitaseen seurannan ohella toinen tärkeä biomassainventointien sovelluskohde on metsien bioenergiapotentiaalin kartoitus.

Perinteisesti puuston biomassaa on laajoilla alueilla estimoitu satelliittikuvatulkintaan perustuen, jolloin pyritään tuottamaan koko alueen (ns. wall to wall) kattava rasteriaineisto. Tällä hetkellä tyypillinen metsäbiomassan kartoitusmenetelmä perustuu keskiresoluution kaukokartoitusaineistoihin (esimerkiksi satelliittikuvat) ja laajaan maastokoealaverkostoon. Menetelmässä maastokoealaverkoston tietoja yleistetään laskennallisesti laajemmille alueille. Haasteena tässä lähestymistavassa on käytettävän kaukokartoitusaineiston heikko resoluutio eli kuvattavan pikselin koko liian suuri metsäbiomassan yksityiskohtaiseen tarkasteluun. Tämä aiheuttaa tietohävikkiä, koska metsikön rakenne vaihtelee mahdollisesti hyvinkin voimakkaasti jo pienilläkin alueilla. Alla olevassa kuvassa (Kuva 1) on havainnollistettu tätä vaihtelua runkolukumäärässä metsähoidollisen kuvion sisällä.



Kuva 1. Runkolukumäärän vaihtelu metsähoidollisella kuviolla. Vasen ylänurkka: yksi keskiarvotunnus kuviolta, joka on useasti metsäsuunnitelmista saatava tieto; Oikea ylänurkka: 16m x 16m pikseliruudukolle ennustettu puustotieto; Vasen alanurkka: Tiheäpulsseisen lentolaserkeiluksen latvusmalli, josta erottaa yksittäiset puut; Oikea alanurkka: Maastolaserkeilauksella mitattu ”virtuaalimetsä”.

Kaukokartoitusaineiston resoluution lisäksi toinen tärkeä tekijä metsäbiomassan kartoituksessa on yksityiskohtaisen maastomittaustiedon tuottaminen. Tarkka ja harhaton metsäbiomassakartoitus laajoilla alueilla vaatii yksityiskohtaista puustotietoa yksittäisen puun tasolta. Puun biomassan määrittäminen tarkasti on perinteisesti pystytty tekemään ainoastaan kaatamalla ja punnitsemalla puun osat. Tämä lähestymistapa on kuitenkin erittäin kallista ja aikaa vievää, eikä sitä ole mahdollista toteuttaa laajoilla alueilla. Tämän vuoksi yksittäisen puun biomassan ennustaminen on perustunut biomassamalleihin, joissa biomassaa ennustetaan helposti mitattavien puustotunnusten, kuten läpimitta ja pituus, kautta. Nämä mallit kuitenkin hyvin harvoin hyödyntävät mittaustietoa puuston latvuksesta, jonka ennustamisessa onkin erityisesti ollut epätarkkuutta.

Viimeisen vuosikymmenen aikana uudet kolmiulotteista mittaustietoa tuottavat laserkeilaustekniikat ovat kehittyneet. Lento- maasto- ja mobiililaserkeilaus mahdollistavat yksityiskohtaisen puuston tarkastelun monella eri tasolla. Lentolaserkeilausta (Airborne laser scanning, ALS) voidaan hyödyntää

yksittäisen puun tasolta laajemmille alueille. Esimerkiksi Suomessa uudet metsäsuunnittelujärjestelmät perustuvat lentolaserkeilaustekniikkaan. Maasto- ja mobiililaserkeilaus (Terrestrial / Mobile laser scanning, TLS / MLS) puolestaan mahdollistavat erittäin yksityiskohtaisen, jopa oksatason, tiedon mittaamisen kohteesta. Lasermittaukset ovat tämän vuoksi erinomainen lähtökohta biomassakartoituksessa: maasto- ja lentolasermittausten avulla saadaan tarkkaa tietoa puiden latvuksista sekä puiden tilajärjestyksestä, joita on työlästä mitata perinteisin maastomittausmenetelmin. Voidaankin siis olettaa, että laserkeilauksen avulla on mahdollista tarkentaa olemassa olevia biomassan estimointimenetelmiä kaikilla tarkkuustasoilla yksittäisen puun biomassan määrittämisestä globaaleihin sovelluksiin.

Lukuisissa metsäsuunnitteluinventointeihin liittyvissä tutkimuksissa on todistettu, että lentolaserkeilaukseen perustuvalla menetelmällä pystytään tuottamaan tarkkaa rasteri- ja kuviotason puustotietoa. Laserkeilausinventointi pitäisikin ottaa lähtökohdaksi myös metsäbiomassan kartoituksessa. Kustannustehokkuus varmistetaan käyttämällä jo olemassa olevia laserkeilausaineistoja: Maanmittauslaitos (MML) tuottaa laserkeilaukseen perustuvaa maastomallia ja heidän laserkeilausaineisto on ilmaiseksi kenen tahansa käytettävissä. Tällä hetkellä MML:n laserkeilausaineisto kattaa noin puolet Suomesta, lähimmän 4-5 vuoden aikana koko Suomen.

2. BEST-hankkeet – HY/FGI

2.1 Maanmittauslaitoksen ALS-aineisto puustobiomassan kartoituksessa ja seurannassa

Hankkeen tavoitteena on tutkia laserkeilausinventointien tarkkuutta puu-, koeala- ja kuviotason puustobiomassan inventoinnissa sekä kehittää MML:n valtakunnalliseen laserkeilausaineistoon perustuva kustannustehokas bioenergiapotentiaalin kartoitusmenetelmä. Menetelmällä on pystyttävä tuottamaan tarkkaa, kuvio- ja rasteritason (rasterikoko esim. 16m x 16m) tietoa, joka on lähtökohta bioenergian korjuun suunnittelussa, optimoinnissa ja logistiikassa.

2.2 Laserkeilausaineiston hyödyntäminen heikkotuottoisten turvemaiden puuston kartoituksessa (HY & Metsähallitus)

Uudessa metsälaissa poistettiin metsän uudistamisvelvoite heikkotuottoisilta ojitetuilta turvemailta, joilla puuston vuotuinen kasvu on kiertoaajan aikana keskimäärin alle 1 m³/ha. Lakimuutos koskee 576 000 ha suopinta-alaa (Metsäntutkimuslaitos 2013) ja mahdollistaa aiempaa paremmat taloudelliset lähtökohdat kyseisten kohteiden puunkorjuulle, koska hakkuun jälkeen metsätaloudellisesti kannattamattomat kohteet voidaan jättää palautumaan kohti luonnontilaa.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millä tarkkuudella MML:n laserkeilausaineiston avulla voidaan kartoittaa heikkotuottoisten turvemaiden puustoon sitoutunut biomassa. Metsätalouden operatiivisen suunnittelun kannalta on oleellista tutkia, saadaanko aluepohjaisella laserkeilausinventoinnilla riittävän luotettavaa tietoa kitumaasoiden puuston määrästä ja laadusta, jotta sitä voitaisiin käyttää kyseisten kohteiden rajaamiseen ja energiapuun korjuun kannattavuuden tarkasteluun. BEST-tutkimusohjelmaan kuuluva selvitys tehdään Metsähallituksen toimeksiannosta Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen ja Arbonaut Oy:n yhteistyönä vuoden 2014 aikana.

3. BEST-tutkimustulokset

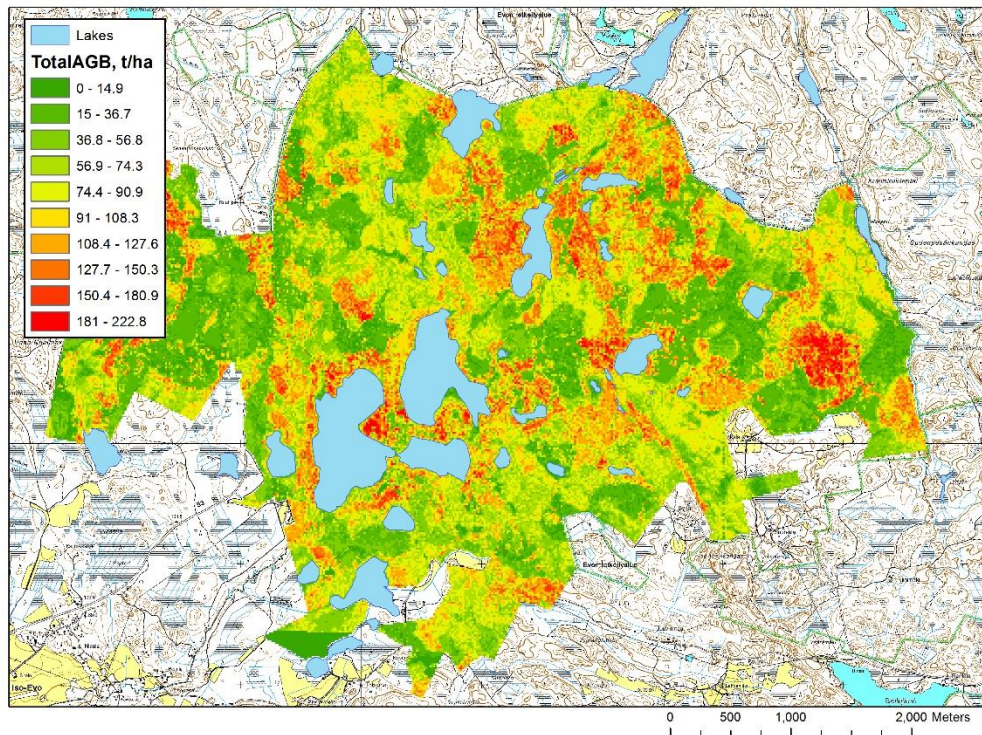
3.1 Maanmittauslaitoksen ALS-aineisto puustobiomassan kartoituksessa ja seurannassa

Uusien metsäbiomassainventointimenetelmien tuonti käytännön metsätalouteen edellyttää sen, että uudet menetelmät ovat vähintään samalla tarkkuustasolla kuin jo käytössä olevat menetelmät. Jotta metsäbiomassassa tapahtuvia muutoksia voidaan estimoida tarkasti, on ensin tiedettävä yhden ajankohdan laserkeilausaineiston tarkkuus niin yksittäisten puiden kuin laajempien alueiden maanpäällisen biomassan (above ground biomass, AGB) estimoinnissa. Laserkeilausinventointi

voidaan käytännössä tehdä joko aluepohjaisesti tai yksittäisen puun tasolla. Aluepohjaisen menetelmän etuna on, että siinä voidaan hyödyntää halpaa, harvapulssista laserkeilausaineistoa mutta menetelmä toisaalta vaatii tarkan maastossa mitatun referenssikoeala-aineiston (500-800 koealaa / inventointialue). Yksittäisen puun tasolla tapahtuva inventointi vaatii lähtötiedokseen korkeapulssisen (kalliimman) laserkeilausaineiston, mutta tällöin referenssiksi tarvittavan perinteisesti maastossa mitatun aineiston tarve on huomattavasti pienempi kuin aluepohjaisessa tulkinnassa.

Kankare ym. (2013a, 2013b, 2013c) tutkivat ALS-inventoinnin tarkkuutta puu- ja koealatasolla sekä kehittivät TLS:ään perustuvaa puutason referenssimittausta. Kankareen ym. (2013a ja 2013b) tutkimuksissa selvitettiin yksittäisen puun biomassan ennustamistarkkuutta. ALS:n avulla yksittäisen puun kokonaisbiomassan ennustamisvirhe oli n. 26 % (rmse%, erinomainen tulos). Haasteena tutkimuksessa oli latvusbiomassan määrittäminen, jossa ennustevirheet olivat selkeästi suurempia. TLS:n hyödyntäminen vaaditun referenssiaineiston mittaamisessa avaa mielenkiintoisia mahdollisuuksia ALS-tulkintojen tarkentamiseen niin yksittäisten ajankohtien kartoituksessa kuin muutostulkinnassa. Kankare ym. (2013b) tutkivat TLS-aineiston hyödyntämistä yksittäisten puiden biomassan mittaamisessa saaden tarkkoja tuloksia niin puun kokonaisbiomassan kuin biomassaositteiden (runko, oksat, neulaset) osalta. TLS:n käyttö erityisesti tarkensi ALS:ssä haastavaksi havaittujen latvusbiomassaositteiden ennustamisessa. Kankare ym. (2013c) puolestaan kehittivät menetelmän, jossa yhdistetään ALS-yksinpuintulkinta ja –aluepohjainen menetelmä siten, että yksinpuintulkintaa hyödynnetään aluepohjaisen tulkinnan referenssikoealojen mittauksessa. Tulokset olivat lupaavia ja menetelmällä on kansainvälisesti suuri potentiaali (esim. Venäjän metsien biomassahiilitaseinventointi).

Vuoden 2013 aikana aloitettiin tutkimushanke, jossa selvitetään MML:n ALS-aineistojen tarkkuus koealataso biomassan kartoituksessa ja muutostulkinnassa. MML keräämä ALS-aineisto kattaa koko Suomen vuoteen 2019 mennessä, joten se omaa suuren potentiaalisen metsäinventointisovelluksissa. Samankaltaisia koko valtion kattavia aineistoja on jo myös useasta muusta maasta. Haasteena aineiston käytössä kuitenkin on vaihtuva mittauskalusto sekä –parametrit, jotka aiheuttavat virhettä ennusteisiin. Aineisto on myös kerätty lehdettömään aikaan, joten sen vaikutus lehtipuuvaltaisten alueiden biomassan ennusteisiin tulee selvittää. Kankare ym. (2014, käsikirjoitus) osoitti, että tämän aineiston avulla on mahdollista kartoittaa ositetason (runko, latvus) metsäbiomassaa tarkasta. Tutkimuksen tuloksia verrattiin VMI:n monilähdeinventoinnin ennusteisiin samoilla koealoilla ja tässä tutkimuksessa saadut ennusteet olivat selkeästi tarkempia. Syy tarkentuneeseen ennusteeseen, johtui käytetyn kaukokartoitusaineiston tarkemmasta resoluutiosta, jonka avulla metsikön vaihtelu kuvattiin luotettavammin. Alla olevassa kuvassa (Kuva 2) on havainnollistettu MML:n ALS-aineiston avulla tehdystä kokonaisbiomassaennusteesta Evon opetusmetsien (HAMK) alueella.

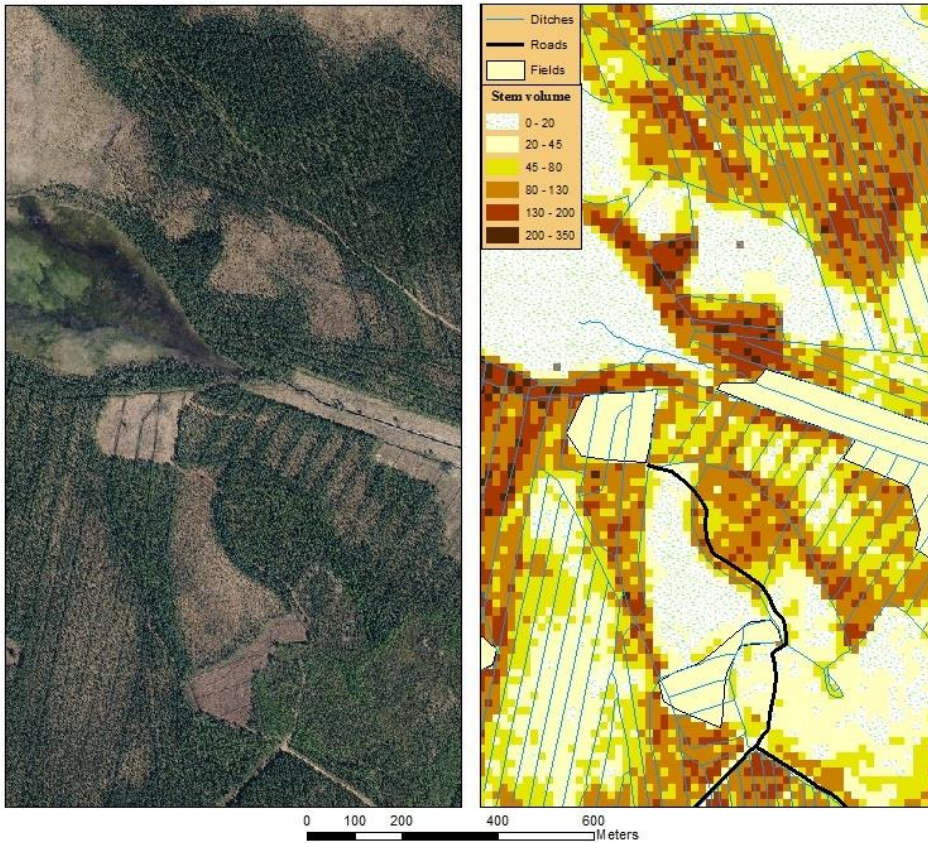


Kuva 1. Metsäbiomassakartta (kokonaisbiomassa, TotalAGB) Evon alueelta, Hämeenlinnasta.

3.2 MML:n laserkeilausaineiston hyödyntäminen heikkotuottoisten turvemaiden puuston kartoituksessa (HY & Metsähallitus)

Tutkimusalueeksi valittiin Haapajärvellä sijaitseva runsaan 1500 km² laajuinen alue, josta oli saatavissa MML:n lehdettömään aikaan keilaama ALS-aineisto, vääräväri-ilmakuvat ja Suomen metsäkeskuksen yksityismetsien inventointia varten mittaama 799 ympyräkoelalan aineisto vuodelta 2012. Syksyllä 2013 Arbonaut Oy täydensi koelaa-aineistoa mittaamalla 53 koelaa ojitetuilla turvemaidella sijaitsevilta potentiaalisilta kitumaakohteilta.

Tutkimuksessa havaittiin, että kitumailta pitää mitata noin 30 lisäkoelaa täydentämään tavanomaista metsämaiden koelaoetosta, jotta aluepohjaista ALS-inventointia voidaan luotettavasti ja lähes harhattomasti soveltaa kitumaasoiden puuston arviointiin. Tulosten luotettavuutta arvioitiin RMSE:n (keskineliövirheen neliöjuuri) avulla, jolloin puuston tilavuudelle saatiin RMSE:ksi 10.5 m³/ha, pohjapinta-alalle 1.6 m²/ha ja keskipituudelle 1.3 m. (Niemi ym. 2014). Saavutettua tarkkuustasoa voidaan pitää hyvänä ja tutkimuksen päätelmänä on, että MML:n harvapulssinen ALS-aineisto soveltuu heikkotuottoisten turvemaiden puuston kartoitukseen erinomaisesti. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki laserkeilausinventoinnilla tuotetusta puuston määrää kuvaavasta rasterikartasta tutkimusalueelta.



Kuva 2. Heikkotuottoisen turvemaan puuston määrä (m^3/ha). Esimerkki Haapajärven tutkimusalueelta.

4. Päätelmiä, jatkotutkimuksia ja käytännön mahdollisuuksia

Harvapulssisen lentolaserkeilausaineisto mahdollistaa entistä tarkemman ja myös kustannustehokkaan vaihtoehdon laajojen alueiden metsäbiomassakartoitukseen ja seurantaan. Menetelmän tarkkuus oli selkeästi parempi verrattuna käytössä olevaan, satelliittikuviin perustuvaan VMI-monilähdeinventointiin, mutta operatiivisen menetelmän näkökulmasta haasteita on vielä ratkaistavana (Kankare ym. 2014, käsikirjoitus). Niitä ovat erityisesti lehdettömään aikaan tehdyt mittaukset, jotka tulee kalibroida sekä usean eri laserkeilauslaitteiston käyttö. Kankare ym. (2014, käsikirjoitus) osoitti että eri laitteistoista johtuvaa harhaa on mahdollista minimoida pohjaamalla biomassaennusteet ALS-aineistosta muodostettuun latvuspintamalliin.

Maastolaserkeilaus on erittäin potentiaalinen menetelmä millimetrin tarkan tiedon mittaamiseen yksittäisistä puista tai pienalueista. Menetelmää voidaan tämän vuoksi hyödyntää referenssitiedon mittaamiseen, joka edellytetään aluepohjaisessa tulkinnassa. Tulevaisuudessa todennäköisin käytännönsovellus onkin se, kuinka yhdistää ALS sekä TLS mittaukset entistä tarkemman tiedon tuottamisessa sekä pienalueella että laajemmilla alueilla. Tällöin TLS:n tuottamaa tietoa voitaisiin yleistää laajemmille alueille. TLS:n tärkeä sovellus tulee myös olemaan uusien biomassamallien luominen pystypuusta mitattujen tunnusten avulla. Kankareen ym. (2013b) tutkimus osoitti TLS:n tarkentavan erityisesti juuri latvusbiomassan ennustetarkkuutta.

Lähteet

Kankare, V., Rätty, M., Yu, X., Holopainen, M., Vastaranta, M., Kantola, T., Hyyppä, J., Hyyppä, H., Alho, P. & Viitala, R. Single tree biomass modelling using airborne laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2013a, 85: 66-73.

Kankare, V., Holopainen, M., Vastaranta, M., Puttonen, E., Yu, X., Hyyppä, J., Vaaja, M., Hyyppä, H. & Alho, P. Individual tree biomass estimation using terrestrial laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2013b, 75: 64-75.

Kankare, V., Vastaranta, M., Holopainen, M., Rätty, M., Yu, X., Hyyppä, J., Hyyppä, H., Alho, P., Viitala, R. Retrieval of forest aboveground biomass and volume with airborne scanning LiDAR. *Remote Sensing*. 2013c, 5: 2257-2274.

Kankare, V., Vauhkonen, J., Holopainen, M., Vastaranta, M., Hyyppä, J., Hyyppä, H. & Alho, P. The accuracy of aboveground biomass mapping in Finland with sparse density, leaf-off airborne laser scanning data. Manuscript 2014.

Niemi, M., Vastaranta, M., Peuhkurinen, J. & Holopainen, M. Forest inventory attribute prediction using airborne laser scanning in low-productive forestry-drained boreal peatlands, submitted Manuscript (2014).

Muu aiheeseen liittyvä tutkimus (HY/FGI)

Vastaranta, M., Holopainen, M., Karjalainen, M., Kankare, V., Hyyppä, J. & Kaasalainen, S. 2014. TerraSAR-X stereo SAR and airborne scanning LiDAR height metrics in imputation of forest above-ground biomass and stem volume. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(2):1197-1204.

Vastaranta, M., Wulder, M. A., White, J., Pekkarinen, A., Tuominen, S., Ginzler, C., Kankare, V., Holopainen, M., Hyyppä, J. and Hyyppä, H. 2013c. Airborne laser scanning and digital stereo imagery measures of forest structure: Comparative results and implications to forest mapping and inventory update. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 39(5):382-395.

Vastaranta, M., Niemi, M., Karjalainen, M., Peuhkurinen, J., Kankare, V., Hyyppä, J. & Holopainen, M. 2014. Prediction of forest stand attributes using terraSAR-X stereo imagery. *Remote Sensing*, 6, 3227-3246; doi:10.3390/rs6043227.