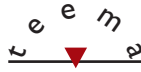


Markus Holopainen ja Juha Hyyppä

Kohden lasermittauksiin perustuvaa täsmämetsätaloutta



Johdanto

Suomen metsätalous on parhaillaan suurimman muutoksen kourissa viimeiseen sataan vuoteen. Maailmanlaajuinen lama ja tuotteiden kysynnän nopeat vaihtelut ovat tehneet metsäteollisuuden toimintaympäristön vaikeaksi. Raakapuun hinta sahaa jo lähes pörssikurssien muutoksen tahtiin. Pyrkimys ilmastonmuutoksen hidastamiseen on puolestaan luomassa metsillemme uusia käyttömuotoja energia-puun ja hiilensidonnan kautta. Uusia käyttömuotoja arvioitaessa on kuitenkin pidettävä mielessä myös metsien monimuotoisuuteen, virkistyskäyttöön ja maisemaan liittyvät arvot. Ilmastonmuutos tuo myös uhkakuvia puun kasvatukselle: tuhoriskit lisääntyvät ja muuttuvat ilmasto-olosuhteet aiheuttavat uusia ongelmia tulevaisuuden metsänhoidolle, esimerkiksi puulajien kuivuuden kestävyys kautta.

Muutoksen suuruutta ja vauhtia vaikeroitaessa on yllättävän pienelle huomiolle jäänyt yksi ratkaiseva kilpailuetu verrattaessa maamme tilannetta kansainvälisesti: Suomen metsistä on olemassa jo nykyisin yksi maailman tarkimmista inventointitiedoista. Tarkka tieto on olennaista metsän käyttömuotoja arvotettaessa ja suunniteltaessa. Tiedolle on mahdollista laskea myös taloudellinen arvo. Ilouutinen on myös se, että kansainvälistä tunnustusta jo aiemmin saaneita metsien inventointimenetelmiämme on mahdollista vielä nykyisestäänkin tarkentaa ja tehostaa.

Metsävarojen inventointi on kokenut viimeisen kymmenen vuoden aikana merkittävän teknologia-

harppauksen, jonka ansiosta niin laajojen alueiden metsien inventointia (valtakunnan metsien inventointi, VMI) kuin operatiivista metsäsuunnitteluakin on mahdollista parantaa. Teknologisen kehityksen taustalla on yksityiskohtaisen kaukokartoituksen, eli lähinnä digitaaliseen fotogrammetriaan sekä laserkeilaukseen (Airborne Laser Scanning, ALS) perustuvien kolmiulotteisten mittausten nopea kehittyminen. Viime vuosien tutkimustulokset ovat todistaneet, että niin kuviokohtaisen kokonaistilavuuden arvioinnissa kuin yksittäisten puiden tunnusten mittaamisessakin yksityiskohtaisella kaukokartoituksella päästään samaan tarkkuustasoon kuin perinteisillä maastomittausmenetelmillä. Laserkeilaukseen perustuvat mittaukset soveltuvat parhaiten maaston korkeusmallien laadintaan, minkä vuoksi Maanmittauslaitos on aloittanut koko Suomen kattavan laserkeilausaineiston hankinnan. Useat metsäalan organisaatiot Suomessa ovat parhaillaan rakentamassa operatiivisia järjestelmiä hyödyntääkseen uusia yksityiskohtaiseen kaukokartoitukseen perustuvia menetelmiä.

Suomessa on viime vuosina ollut käynnissä useita tutkimushankkeita, joiden tavoitteena on tukea yksityiskohtaisen kaukokartoitustiedon siirtoa operatiiviseen metsien inventointiin ja käytön suunnitteluun. Suomen Akatemia käynnisti vuonna 2008 ”Metsäteollisuuden älykkäät tuotteet ja prosessit” -tutkimusohjelman, jonka yhdeksi hankkeeksi valittiin Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen ja Geodeettisen laitoksen johtama hanke ”Impro-

ving forest supply chain by means of advanced laser measurements (L-Impact)”. Tähän teemaan liittyvien kirjoitusten tarkoituksena on esitellä L-impact -hankkeen tavoitteita, tähän mennessä saavutettuja tuloksia sekä tutkimuksista kummunneita tulevaisuuden visioita.

L-Impact -hankkeen tavoitteet ja yhteistyötahot

L-impact -hanketta suunniteltaessa ensimmäisenä lähtökohtana oli metsäteollisuuden puuhoito. Tulevaisuudessa Suomen metsäteollisuuden puuhoitoon ja itse asiassa koko metsätalouden keskeinen kysymys on, kuinka laadukasta raakapuuta saadaan tehtaille kustannustehokkaasti riittävä määrä ottaen kuitenkin samalla huomioon metsien muut kuin puuntuotannolliset arvot. Ratkaisuna tähän monimutkaiseen ongelmaan on kaiken aikaa tarkentuvan metsien inventointitiedon aiempaa parempi hyödyntäminen operatiivisessa metsä- ja leimikkosuunnittelussa sekä puunhankinnan logistiikassa. Olemme L-impact -hankkeen kuluessa alkaneet kutsua kyseistä kokonaisuutta lasermittauksiin perustuvaksi täsmämetsätaloudeksi (precision forestry).

Lasermittaukset ovat tieteenalana osa maanmittaustieteisiin kuuluvaa fotogrammetriaa. Toisaalta lasermittauksiin perustuvan täsmämetsätalouden voidaan nähdä hyödyntävän koko metsätaloudellista tuotantoketjua. Näin ollen tutkimussuunnitelman toisena lähtökohtana oli yhdistää metsien lasermittaukseen liittyvää maanmittaustieteellistä tietämystä metsänarvioimistieteellisen, metsäteknologisen, metsäekologisen ja metsäekonomisen tietämyksen kanssa.

Laserkeilaustutkimusten alkuaikoina keskityttiin yleensä puuston keskitunnusten, eli esimerkiksi metsikön keskipituuden ja tilavuuden arviointiin. Operatiivisessa metsä- ja leimikkosuunnittelussa on kuitenkin huomattavasti mielenkiintoisempaa tietää keskitunnusten sijaan se, kuinka tarkasti eri puutaralajit pystytään arvioimaan. Nostettaessa inventointitarkkuuteen liittyvää tavoitetta olisi pystyttävä kehittämään myös kaukokartoitusaineiston tulkinnan referenssinä käytettävän maastoaineiston tarkkuutta ja mittaamisen tehokkuutta. Tulevaisuudessa maastoaineistoa on mahdollista kerätä perinteisten

menetelmien ohella maastossa tehtävillä maalasermittauksilla (Terrestrial laser scanning TLS) ja mobiililasermittauksilla (Vehicle based Laser Scanning, VLS), sekä hakkuukonemittauksilla puiden kaadon yhteydessä.

Entistä tarkemman metsävarojen inventointitiedon kerääminen ei kuitenkaan saa olla itsetarkoitus. Metsäsuunnittelun ja siihen liittyvän metsien inventoinnin keskeisiä tutkimuskohteita ovat seuraavat: i) Miten tarkentunut inventointitieto liitetään osaksi metsäsuunnittelulaskelmia ja leimikkosuunnittelua, ii) mitä hyötyä tarkemmasta inventointitiedosta saadaan, eli mikä on tiedon arvo metsien käyttöön liittyvässä päätöksenteossa sekä iii) kuinka entistä tarkempaa ja ajantasaisempaa inventointitietoa voidaan hyödyntää puunhankinnan logistiikkaketjun tehostamisessa. Erityisen tärkeää on selvittää keinoja, kuinka kerran tarkasti mitattu tieto pidetään logistiikkaketjussa mukana pystyvuusta aina tehtaalle asti.

Näistä lähtökohdista L-impact -hankkeen tavoitteet ovat seuraavat:

1. Aluepohjaiseen ja yksittäisten puiden mittaukseen perustuvien laserkeilausinventointimenetelmien kehittäminen
2. Metsässä tapahtuvien maalaser- ja mobiililasermitausten kehittäminen
3. Laserkeilaukseen, maalaserkeilaukseen ja hakkuukoneen mittaustietoon perustuvan metsävaratietojen päivityssysteemin kehittäminen
4. Metsässä tapahtuvien GPS-mittausten kehittäminen liittyen esimerkiksi metsäkoneesta tehtävään puiden kartoittamiseen
5. Laserinventointien hyödyntäminen metsäsuunnittelulaskennassa: inventointimenetelmiin liittyvä epävarmuus ja sen hallinta
6. Yksityiskohtaiseen kaukokartoitukseen perustuvien metsäuhojen monitorointimenetelmien kehittäminen
7. Puunkorjukseen ja -kuljetukseen liittyvän logistiikkaketjun tehostaminen.

L-impact -hanke osallistuu myös metsä- ja maanmittaustieteiden tutkijakoulutukseen. Projektissa on mukana noin 15 jatko-opiskelijaa ja post doc -tutkijaa. Hankkeessa tehdään myös opetusyhteistyötä Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen ja Aalto-yliopiston (TKK:n) maanmittaustieteiden

laitoksen välillä. Muita yhteistyökumppaneita ovat Hämeen ammattikorkeakoulu (Evo), Metsäteho Oy, Metsäntutkimuslaitos (Metla), Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Metsähallitus, Tornator Oy, ja StoraEnso Oyj. Kansainvälistä yhteistyötä on tehty mm. Freiburgin yliopiston ja Norjan metsäntutkimuslaitoksen kanssa.

L-impact -hankkeen eteneminen 2008–2009

Tutkimusaineistojen hankinta

Kaukokartoitusaineiston ja maastoreferenssin laatu on ratkaisevassa asemassa tutkittaessa yksityiskohtaiseen kaukokartoitukseen perustuvia metsien inventointimenetelmiä. Hankkeessa, ja osin yhteistyössä muiden hankkeiden kanssa, on kerätty tutkimusaineistot Espoonlahdelta, Nuuksiosta, Evolta ja Palokankaalta. Kaukokartoitusaineistot sisältävät laserkeilaus-, ilmakuva- ja korkean resoluution tutkasatelliittikuva-aineistoja. Tutkimusten maastoreferenssiksi on perustettu yli 1000 tarkasti yksinpuin mitattua ja kartoitettua ympyräkoelaa, yli 20 maalaserkoelaa ja 31 leimikkoa, joille on koealamittausten lisäksi hankittu hakkuukoneen mittaustiedot. Kasvututkimuksissa on lisäksi hyödynnetty Kalkkisen tutkimusalueita, jossa on tehty laserkeilauksia vuodesta 1998 lähtien (pisin ajanjakso Suomessa). Tutkimusalueet sisältävät monipuolisen otoksen eteläisen Suomen metsistä: Espoonlahti edustaa kaupunkimetsiä, Nuusio suojelumetsiä, Evo, Palokangas ja Kalkkinen puolestaan talousmetsiä. Ilomantsin lähellä sijaitseva Palokangas otettiin hankkeeseen mukaan siellä esiintyvien mäntypistiäistuhojen vuoksi.

Osahankkeiden eteneminen

L-impact -hankkeen osahankkeissa on edetty vuosina 2008–2009 laajalla rintamalla. Osahankkeita sekä niissä tähän mennessä saatuja tuloksia kuvataan tarkemmin tämän teeman muissa Tieteen tori -kirjoituksissa.

Metsien laserkeilausinventointi voidaan jakaa aluepohjaiseen ja yksittäisten puiden mittaukseen perustuvaan menetelmään. Aluepohjainen menetelmä noudattelee perinteisen tilastolliseen mallinta-

miseen perustuvan kaukokartoitustulkinnan periaatteita: Otosyksiköstä, esimerkiksi tietyn kokoisesta rasteriruudusta, lasketaan (irrotetaan) kaukokartoituspiirteitä, joiden avulla arvioidaan kiinnostuksen kohteena olevia puusto- ja metsikkötunnuksia. Yksittäisten puiden mittaukseen perustuvassa menetelmässä eli yksinpuinmenetelmässä (Individual Tree Detection, ITD, Single Tree Remote Sensing, STRS) puolestaan mitataan tai estimoidaan puiden pituutta, latvuksen kokoa ja puulajia, joiden avulla voidaan arvioida muita kiinnostuksen kohteena olevia puutunnuksia, kuten rinnankorkeusläpimittaa ja tilavuutta.

Norjalaiset ovat olleet edelläkävijöitä aluepohjaisen laserkeilausinventoinnin kehittäjinä. Sen sijaan yksinpuinpuinmenetelmästä ensimmäiset julkaistut tutkimukset on tehty Suomessa. L-impact -hankkeen ensimmäinen osahanke liittyykin nimenomaan yksinpuinpuinmenetelmän kehittämiseen. Projektin ensimmäisenä vuonna toteutettiin kansainvälinen (11 tutkimusryhmää) vertailu, jossa selvitettiin, miten luotettavasti eri yksinpuinpuinmenetelmien algoritmit ennustavat puutunnuksia.

Aluepohjaisen laserkeilausinventoinnin suurin etu on mahdollisuus hyödyntää halvempaa matalapulsista laserkeilausaineistoa. Tästä johtuen kyseinen menetelmä on lähtökohtana parhaillaan operatiiviseen käyttöön siirtymässä olevissa metsien inventointisovelluksissa. Aluepohjaisen laserkeilausinventoinnin kehittämiseksi L-impact -hankkeessa on tutkittu mm. laserkeilauspiirteiden irrotusta, valintaa ja hyödyntämistä puusto- ja metsikkötunnusten arvioinnissa. Aluepohjainen laserkeilausinventointi vaatii tuekseen laajan, tarkasti mitatun maastoaineiston. Maastomittausten tehostamiseksi on L-Impact -hankkeessa tutkittu maalaserkeilaukseen ja kuvamittaukseen perustuvia menetelmiä.

Metsäsuunnittelun näkökulmasta ensikertaisen inventoinnin ohella on tärkeää, kuinka metsävaratietoa pystyttäisiin pitämään tarkasti ja tehokkaasti ajan tasalla, eli päivittämään. Hakkuukoneella mitattu puutavaralajitieto on avainasemassa metsävaratiedon päivityksessä. Hakkuukonemittausta voidaan käyttää suoraan metsäsuunnittelutiedon päivitykseen, mutta myös aluepohjaiseen inventointiin tai yksinpuinpuinmenetelmään perustuvan laserkeilausinventoinnin referenssiaineistoksi. Mobiililaserkeilaus puolestaan mahdollistaa hakkuukoneesta tapahtuvan

keilauksen, jolla voisi olla käyttöä esimerkiksi hakkuukoneen kuljettajan työn tukemisessa valittaessa leimikolta kaadettavia puita tai harvennushakkuuleimikolle jääneen puuston inventoinnissa.

L-impact -hankkeen yhtenä kantavana ajatuksena on ollut tutkia eri tavoin ja eri tarkkuudella tuotetun metsien inventointitiedon hyödyntämistä metsäsuunnittelun laskentajärjestelmässä. Tutkimuksissa on käytetty Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksella kehitettyä SIMO- simulointi- ja optimointilaskentaa. SIMO-laskennan kautta on saatu uusia näkökulmia erilaisen inventointitiedon arvosta ja merkityksestä metsäsuunnittelussa, laskentaan liittyvän epävarmuuden hallinnasta sekä useamman epävarmuuden lähteen samanaikaisesta tarkastelusta metsäsuunnittelun simuloinnin pitkissä mallikejuissa.

Ilmastomuutoksen myötä riski erilaisiin metsätuhoihin kasvaa. L-impact -hankkeessa osallistutaan monitieteiseen tutkimukseen, jossa kehitetään menetelmiä lasermittausten sekä muiden kaukokartoitusaineistojen (mm. ilmakuvat ja korkearesoluutioiset tutkakuvat) hyödyntämiseen metsissä tapahtuvien hyönteistuhojen inventointiin ja seurantaan.

Lasermittausten mahdollisuudet metsätaloudessa

Tarkan metsätiedon merkitystä teollisuuden puuhuollossa ei ole vielä täysin ymmärretty. Lasermittauksiin perustuva metsätalous on erinomainen lähtökohta puunkorjuun logistiikan kehittämiseksi. Mikäli metsävaratiedot ovat tarkkoja ja ajantasaisia, metsäteollisuuden ”varastot” siirtyvät entistä enemmän tehtailta metsiin. Teollisuus voi suunnitella puunhankinnan logistiikkaa aivan uudella tarkkuustasolla ainakin omien metsiensä osalta. Tämä pätee myös Metsähallitukseen. Yksityismetsien osalta ennen uuden inventointitiedon täysimääräistä hyödyntämistä on ratkaistava metsänomistajan tietoturvaan liittyvä kysymys, eli onko yksityismetsistä mitattu tarkka ja ajantasainen metsävaratieto suoraan teollisuuden ja muiden metsäorganisaatioiden käytössä.

Jos metsäsuunnittelun inventointitieto on riittävän tarkkaa ja ajantasaista, leimikkosuunnittelu voidaan jatkossa tehdä metsäsuunnitelman pohjalta, mikä säästää kustannuksia. Lisäksi metsikkökuvioiden

sisäisestä hajonnasta saadaan tietoa ja leimikkosuunnittelun toimenpidekuviointi on mahdollista tehdä automaattisesti mikrokuviointina. Periaatteessa etukäteen tehdystä kuvioinnista voitaisiin luopua kokonaan ja muodostaa halutunlaiset toimenpideyksiköt puu- tai aluetason laserkeilausinventoinnin perusteella. Jos leimikosta on olemassa riittävän tarkkaa ennakkotietoa, voidaan puutavara-ajien katkenta optimoida nykyistä tarkemmin. Tällä olisi suuri merkitys niin kansantaloudellisesti kuin metsänomistajan talouden kannalta.

Ilmastomuutoksen myötä kelirikkoajat pitenevät vaikeuttaen puunkorjuuta. Laserkeilaukseen perustuva tarkka maastomalli on hyvä lähtökohta paikkatietoanalyyseille, joiden avulla voidaan entistä paremmin kartoittaa kelirikon kannalta riskialttiita leimikoita ja tehostaa leimikkosuunnittelua myös tätä kautta.

Puuston laatu tulee nousemaan avainasemaan pyrittäessä kehittämään lopputuotteiden jalostusasetta. Oksien määrän ja koon mittaus on mahdollista ainakin maalaserin avulla, kenties jollakin tasolla myös laserkeilausmittauksin. Lasermittaukset ovatkin tulevaisuudessa potentiaalinen tietolähde myös puuston laatutunnusten mittaukseen tai leimikoiden väliseen laatuluokitukseen.

Lähtötiedon tarkkuus ja ajantasaisuus vaikuttavat olennaisesti metsäkiinteistöjen arvon määritykseen, joten lasermittauksilla saadaan metsätalokauppaan, metsäsijoittamiseen, jako- ja lunastustoimituksiin sekä metsäteollisuuden kirjanpitoon tarvittavat metsäkiinteistöjen arvot määritettyä nykyistä tarkemmin. Lisäksi saatuun tulokseen voidaan liittää arvioinnin epävarmuutta kuvaavia tunnuslukuja.

Lasermittaukset ovat tulevaisuudessa todennäköisesti merkittävä tietolähde metsissä tapahtuvien muutosten seurannassa. Tällaisia muutoksia voivat olla esimerkiksi puiden kasvu, biomassan muutokset sekä metsätuhojen ja monimuotoisuusindikaattorien muutokset. Lasermittauksia voidaan käyttää muutostulkinnan lisäksi näitä ilmiöitä kuvaavien ekologisten mallien lähtöaineistona.

■ Dos. Markus Holopainen, Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos; prof. Juha Hyypä, Geodeettinen laitos. Sähköposti markus.holopainen@helsinki.fi, juha.hyypa@fgi.fi