

Arto Haara ja Annika Kangas

Puulajivirheiden vaikutus puukaupparjousten paremmuuden arvioimiseen sekä odotettujen ja toteutuvien tulojen eroihin sähköisessä tarjouskilpailutilanteessa

Haara A., Kangas A. (2019). Puulajivirheiden vaikutus puukaupparjousten paremmuuden arvioimiseen sekä odotettujen ja toteutuvien tulojen eroihin sähköisessä tarjouskilpailutilanteessa. Metsätieteen aikakauskirja 2019-10079. Tutkimusartikkeli. 12 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10079>

Tiivistelmä

Puukauppa siirtyy yhä enemmän internetiin: kaukokartoituksella hankituista metsävaratiedoista johdetaan kertymäennusteet, joiden perusteella puunostajat tekevät ostotarjoukset sähköisessä puukauppapaikassa. Kaukokartoitukseen perustuvat puulajitiedot eivät ole yhtä luotettavia kuin perinteisessä maastoinventointiin perustuvassa metsäsuunnitelmassa, mikä lisää sähköiseen puukauppaan sisältyvää hintariskiä. Jos metsänomistaja ei tiedä tarkalleen myyntiin tarjoamansa leimikon pääpuulajia, puutavaralajijakaumaa tai puuston laatua, on mahdotonta olla varma, että hän valitsee parhaan tarjouksen. Oikean valinnan todennäköisyyttä voidaan kuitenkin parantaa laadukkaalla päätöstuella. Tutkimuksessa tarkasteltiin puulajiosuuksien ennustevirheiden vaikutusta puukaupparjousten paremmuuden arvioimiseen ja tarjousten perusteella toteutuviin puukaupan tuloihin sähköisessä tarjouskilpailutilanteessa. Tutkimuksessa havaittiin epävarmojen puulajiosuustietojen voivan johtaa siihen, että metsänomistajilta jää saamatta tuloja. Niiden ansaitsemiseksi kannattaa tietyissä tilanteissa tehdä erillinen puulajin tarkistus maastossa. Nämä tappiot realisoituvat kunnolla vasta siinä vaiheessa, kun kaukokartoitustietoihin perustuva sähköinen puukauppa yleistyy yksityismetsien merkittävämmäksi puukauppamuodoksi. Yksittäisten metsiköiden kohdalla ennustettujen puulajiosuuksien virheet aiheuttivat keskimäärin 0,17 €/m³ ja 9,4 €/ha tappion, kun ostajien tarjouksissa oli puulajien välillä yhden euron hintaero. Suurimmassa osassa kaupoista tappiota ei synny, jolloin tappioita kärsineiden metsänomistajien keskimääräiset tukkikaupan tappiot olivat 1,67 €/m³ ja 24,7 €/ha. Erillinen puulajintarkistus on järkevä silloin, kun puunostotarjouksia on pyydetty kaukokartoitusinventointiin perustuvien Metsään.fi-tietojen perusteella ja kun leimikko on suurehko ja sijaitsee kohtuullisella etäisyydellä.

Asiasanat puukauppa; tarjouskilpailu; puulajivirhe; kaukokartoitus

Yhteystiedot Luonnonvarakeskus (Luke), Biotalous ja ympäristö, Joensuu

Sähköposti arto.haara@luke.fi

Hyväksytty 25.3.2019

1 Johdanto

Metsävaratiedon hankinnassa on Suomessa nopeasti siirrytty perinteisestä silmävaraisesta kuvioitaisesta arvioinnista kaukokartoitukseen perustuvaan menetelmään. Vaikka puuston pituus-, läpimitta- ja tilavuusennusteet ovatkin tarkentuneet kaukokartoitusmenetelmien (esim. Wallenius ym. 2012) kehittymisen myötä, puulajiosuuksien määrittämisessä on vielä ongelmia (esim. Fassnacht ym. 2016). Edelleenkin maastoarvioinnissa pääpuulaji määritetään paremmin kuin kaukokuvilta (Haara A., Kangas A., Tuominen S. 2019. Käsikirjoitus). Tarkkaa puulajitietoa tarvitaan erityisesti metsäsuunnittelua varten. Se on lähtökohta erityisesti puulajeittaisille kasvu- ja tuotosennusteille ja hakkuiden kertymäennusteille.

Nykyinen metsäsuunnittelun tiedonkeruu perustuu maastokoealojen, laserkeilauksen ja ilmakuvioiden yhdistämiseen. Pelkällä lentolaserkeilausaineiston käytöllä ei vielä päästä kovinkaan tarkalle tasolle pääpuulajin ennustamisessa (Räty ym. 2016), vaan laserkeilatun aineiston lisäksi tarvitaan vielä ilma kuva-aineistoa puulajiosuusennusteiden tarkentamiseen (Vauhkonen ym. 2012; Ørka ym. 2013; Kukkonen ym. 2018). Puulajiosuusennusteita voidaan parantaa myös tarkemmalla laserkeilausmateriaalilla, mutta se nostaa myös tiedonhankintakustannukset selvästi korkeammiksi (Maltamo ja Packalen 2014; Næsset 2014).

Nykyisin metsänomistajat tarjoavat pystyleimikoitaan tarjouskilpailujen kautta joko valtuutamalla metsänhoitoyhdistyksen järjestämään tarjouskilpailun tai pyytämällä itse tarjouksia puunostajilta joko puhelimitse tai sähköpostitse. Yhä enenevässä määrin ollaan siirtymässä internetin sähköisten puumarkkinapaikkojen kautta tapahtuviin tarjouskilpailuihin (esim. Kuutio.fi), joissa leimikoiden hakkuukertymätiedot johdetaan Metsään.fi-järjestelmän metsävaratiedoista. Ne mahdollistavat tarjouspyyntöjen tekemisen vaivattomasti ja ostotarjousten tekemisen nopeasti.

Tarjouskilpailun voittajan valinta näyttää metsänomistajan näkökulmasta hyvin yksinkertaiselta: puutavaralajeittaiset kertymäärviot kerrotaan tarjotuilla puutavaralajien yksikköhinnoin, ynnätään yhteen tarjouksittain ja korkeimman kantorahatulon tuottava tarjous voittaa. Parhaan tarjouksen valinta voi silti olla ongelmallista: ostotarjousten vertailussa pitäisi huomioida myös ostajien erilaiset katkontaohjeet ja puutavaralajien yhdistelmät. Laatuhinnoittelua käyttävät etenkin pienet ja keskisuuret sahayritykset. Keväällä 2018 esimerkiksi kuusitukin ostotarjousten kesken on ollut huomattavaa hintakilpailua. Hintaerot kuusen puutavaralajikohtaisten tarjousten välillä ovat olleet jopa yli 5 euroa kuutiometriltä (Helenius 2018).

Koska sähköisten palvelujen puulajitiedot eivät ole yhtä luotettavia kuin perinteisessä maastoinventointiin perustuvassa metsäsuunnitelmassa, sähköiseen puukauppaan sisältyy suurempi hintariski. Jos myyntiin tarjotun leimikon pääpuulaji on epävarma, metsänomistajan on mahdotonta tietää, että hän valitsee parhaan tarjouksen. Pelkästään Metsään.fi-järjestelmän tietojen perusteella kauppaa tekevä metsänomistaja voi siis saada kohteesta huonomman hinnan kuin saisi tarkastamalla kohteen tiedot ensin maastossa. Jos metsävaratietojen perusteella kohteen pääpuulaji on esimerkiksi kuusi, omistaja valitsee tarjouksen, jossa nimenomaan kuusesta tarjotaan paras hinta. Tämä johtaa saamatta jääviin tuloihin, jos pääpuulaji onkin todellisuudessa mänty tai koivu ja jos toinen tarjous olisi ollut parempi tämän puulajin osalta. Tulosten kannalta on samantekevää, mikä on hintaerojen syy. Tämän tutkimuksen tavoitteena on tarkastella leimikon puulajiosuuksien tulkintavirheiden vaikutuksia metsänomistajan puukauppatuloihin ja arvioida puulajiosuuksien maastotarkastusten taloudellista järkevyyttä. Maastotarkastus kannattaa tehdä, jos sen aiheuttama lisäkustannus on pienempi kuin sen tuottama lisähyöty rahassa mitattuna. Noin 2–3 tunnin vierailu maastossa riittää kaikkien hinnoittelutekijöiden tarkentamiseen (esim. Kangas ym. 2019). Pelkkään pääpuulajin visuaaliseen arviointiin riittää tätäkin lyhyempi maastokäynti.

Puulajiosuuksien tulkintavirheiden lisäksi myös puutavaralajijakauman ennusteissa on virheitä, jotka vaikuttavat samalla tavalla. Mikäli metsävaratiedoissa tukkiisuus on arvioitu suureksi,

omistaja valitsee tarjouksen, jossa tukin hinta on korkea. Jos tukkiosuus onkin todellisuudessa arvioitua pienempi, kuitupuun osalta korkein tarjous saattaisi olla paras ja siitä seuraa tulojen menetyksiä. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi silloin, kun puuston läpimittajakauma on arvioitu virheellisesti tai kun laatu poikkeaa merkittävästi keskimääräisestä. Katkonnan ja laadun virheet on rajattu pois tästä tarkastelusta, koska ne edellyttävät aineistoa, jossa todellinen katkanta on tiedossa, eli esimerkiksi hakkuukoneaineistoa.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineistona käytettiin valtakunnan metsien inventoinnin tiheämpää systemaattista koealotosta (Tuominen ym. 2017). Aineiston koealat sijaitsivat Keski-Suomessa Ähtärin, Virtain ja Keuruun kuntien alueella. Aineisto on osa ns. UVMi-hanketta (Tomppo ym. 2017), jossa testattiin erikokoisten VMI-koealojen käyttökelpoisuutta laserkeilaukseen perustuvan metsäinventoinnin maastoreferenssinä. Tässä tutkimuksessa käytettiin suurinta koealakokoa, eli 9 metrin säteellä mitattua kiinteäsäteistä ympyräkoealaa, joka vastaa Metsäkeskuksen laserkeilausinventoinnissa käytettyä koealaa.

Kultakin koealalta mitattiin kaikki yli 4,5 cm rinnankorkeusläpimitaltaan olevat puut. Koepuiden tietoina tallennettiin puulaji, puuluokka, sijainti ja rinnankorkeusläpimita. Lisäksi kunkin puulajin pohjapinta-alamediaanipuun pituus ja ikä mitattiin. Aineistosta poimittiin yhteensä 1751 puustoista koealaa, joista oli saatavissa maastossa mitatut tarkat tiedot, laserkeilausaineisto, 2D-vääräväri-ilmakuva-aineisto, fotogrammetrinen 3D-aineisto sekä satelliittikuvat. Puustotunnusten estimoinnissa käytettiin k:n lähimmän naapurin menetelmää. Parhaiten puustotunnuksia ennustavat kaukokartoituspiirteiden yhdistelmät valittiin kullekin kaukokartoitusaineistolle optimoimalla (Tuominen ym. 2017).

Analyysissä maastokoealojen tiedot oletettiin oikeiksi ja virheelliset tiedot saatiin lisäämällä kunkin sovelletun kaukokartoitusaineiston puulajiosuuksien koealakohtaiset tulkintavirheet kullekin koealalle. Mikäli ennustettua puulajia ei löytynyt maastokoealalta, sen pohjapinta-ala määräytyi ennustetun puulajiosuuden mukaan ja vastaavasti koealalla olevan toisen puulajin tai puulajien pohjapinta-alaa vähennettiin. Puulajiositteen keskipituudeksi ja läpimitaksi tallennettiin maastokoealan keskimääräiset tunnuksat. Jos koealalta ei tunnustettu sillä olevaa puulajiositetta, tämän ositteen pohjapinta-ala jaettiin koealalle ennustetuille puulajiositteille suhteessa ositteiden kokoon.

Myös virheellisissä aineistoissa puuston kokonaistilavuus oletettiin virheettömäksi, eli tarkastelu rajattiin koskemaan vain puulajiosuuden virhettä. Tilavuuden virheitä ei huomioitu, koska puuston tilavuuden tai muiden tunnusten virheillä on tarjouskilpailussa vaikutusta vain siltä osin, kuin ne vaikuttavat hinnoitteluperusteisiin, eli puulajien ja puutavaralajien osuuksien virheisiin. Tuloksena saatiin virheettömän aineiston lisäksi neljä lähtöaineistoa, jotka erosivat toisistaan vain puulajiosuuksien mukaan: LASER2D-ILMA, 3D2D-ILMA, 2D-ILMA ja SATKU (Taulukko 1).

Taulukko 1. Puulajiosuuksiltaan virheellisten aineistojen takana olleet tulkinta-aineistot (Tuominen et al. 2017).

| Aineisto | Käytössä olleet tulkinta-aineistot |
|--------------|--|
| LASER2D-ILMA | Laserkeilaus- ja 2D-vääräväri-ilmakuva-aineisto, koealamittaukset |
| 3D2D-ILMA | Fotogrammetrinen 3D- ja 2D-vääräväri-ilmakuva-aineisto, koealamittaukset |
| 2D-ILMA | 2D-vääräväri-ilmakuva-aineisto, koealamittaukset |
| SATKU | Landsat 8 satelliittikuva-aineisto, koealamittaukset |

Taulukko 2. Toimenpideaineiston puustotiedot 778 koealalta.

| | D (cm) | H (m) | Ikä (v) | PPA (m ² /ha) | Tilavuus (m ³ /ha) |
|-----------|------------------------------------|-------|---------|--------------------------|-------------------------------|
| Keskiarvo | 19,5 | 15,9 | 60,5 | 23,1 | 183,3 |
| Hajonta | 6,2 | 4,4 | 30,3 | 8,6 | 96,3 |
| Minimi | 6,6 | 5,1 | 12,5 | 3,3 | 13,4 |
| Maksimi | 43,8 | 28,1 | 164,5 | 67,5 | 816,8 |
| D | Keskiläpimitta, cm | | | | |
| H | Keskipituus, m | | | | |
| PPA | Pohjapinta-ala, m ² /ha | | | | |

Aineistoista LASER2D-ILMA perustui samaan laserkeilaukseen sekä samoihin ilmakeiluihin ja koealoihin kuin alueelle lasketut todelliset Metsään.fi-tiedot.

Koeala-aineistosta poimittiin kaikki koealat, joille voitiin puustotietojen perusteella tehdä harvennus- tai uudistushakkuu heti MELA-suunnitteluohjelmiston (Hirvelä ym. 2017) soveltamien TAPIOn metsänhoitosuositusten (Äijälä ym. 2014) perusteella. Näin vältettiin ajantasaistuksesta aiheutuvat kasvun ennustevirheet. Lopullinen toimenpideaineisto käsitti 778 koealaa (Taulukko 2).

2.2 Menetelmät

Koeala-aineiston maastodatasta ja puulajiosuuksien virheistä muodostettiin virheettömät metsikkötiedot sekä virheettömät ja virheelliset puusto-ositetiedot, joista tuotettiin MELA-suunnitteluohjelmiston lähtötiedostot. Virheettömän ja kunkin virheellisen aineiston kullekin koealalle ennustettiin hakkuut ja hakkuupoistumat. Näitä poistumia käytettiin tarjousten laskennassa.

Tarjousasetelma muodostettiin siten, että simuloitiin kahden kilpailevan tarjouksen yhdistelmiä. Mikäli toinen tarjouksista on parempi vähintään yhden puulaji-/puutavaralajiyhdistelmän suhteen ja samanveroinen kaikkien muiden osalta, tarjouksen voittaja voidaan valita aina oikein riippumatta siitä, onko puulaji- tai puutavaralajiosuuksissa virhettä. Tällöin omistajalle ei koidu tappioita. Mikäli tarjoukset ovat täsmälleen samat, kumpi tahansa tarjouksista voidaan valita ilman tappioita. Mikäli tarjouksissa on ristikkäinen hintaero siten, että toinen tarjoaja tarjoaa enemmän yhdestä puulajista ja toinen tarjoaja toisesta puulajista, puulajiosuuden virhe voi johtaa tappioihin. Hintaero voi olla joko tukki- tai kuitupuussa tai molemmissa, jolloin tappiota syntyy siinä puutavaralajissa, jossa hintaeroa on. Katkongan oletettiin olevan kilpailevissa tarjouksissa samanlaisen ja kantohintoina käytettiin taulukon 3 mukaisia hintoja. Tukki- ja kuitupuun hintataso ei vaikuta syntyviin tappioihin, ainoastaan hintaero. Tässä tutkimuksessa testattiin hintaeroja 1–10 €/m³ siten, että hintaerot olivat symmetriset (eli kilpailevissa tarjouksissa samansuuruiset, mutta erisuuntaiset). Esimerkiksi jos yhdessä tarjouksessa ennustetusta pääpuulajista maksettiin 3 euroa kuutiometriä kohden enemmän kuin toisissa tarjouksissa, niin vertailtavana tähän tarjoukseen olivat tarjoukset, joissa maksettiin 3 euroa kuutiometriä kohden enemmän koealalla olevasta jostakin toisesta ennusteen mukaan vallitusta puulajista ja saman verran ennustetusta pääpuulajista. Epäsymmetriset tarjouserot olisivat todennäköisempiä, mutta toisaalta tulosten tulkinta olisi hankalampaa.

Taulukko 3. Käytetyt puutavaralajien oletushinnat hakkuutavoittain €/m³ (Keski-Suomi, syksy 2017).

| | Uudistamishakkuut | | Harvennushakkuut | | Ensiharvennukset | |
|-------|-------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| | Tukkipuu (€) | Kuitupuun (€) | Tukkipuu (€) | Kuitupuun (€) | Tukkipuu (€) | Kuitupuun (€) |
| Mänty | 58,76 | 17,69 | 49,28 | 15,96 | 45,28 | 12,06 |
| Kuusi | 59,92 | 18,87 | 50,53 | 16,31 | 45,53 | 11,89 |
| Koivu | 43,37 | 17,38 | 36,81 | 14,94 | 31,81 | 11,42 |

Kun tarjoukset oli simuloitu, kullekin koealalle valittiin parhaalta vaikuttava tarjous sekä oikeilla että virheellisillä tiedoilla ja useimmiten paras tarjous oli se, jossa oletetusta pääpuulajista tarjottiin enemmän. Pääpuulajiksi tutkimuksessa määritettiin pohjapinta-alaosuudeltaan suurin puulaji. Virheettömällä aineistolla laskettiin, kuinka paljon tuloja olisi saatu ilman tulkintavirheitä hyväksytyllä tarjouksella ja kullakin virheellisen aineiston mukaan hyväksytyllä tarjouksella. Mikäli virheellisen aineiston mukainen tarjous hyväksyttiin, metsänomistajille tuli tappioita (eli toisin sanoen heiltä jää saamatta mahdollisia tuottoja). Tappiot huonomman tarjouksen hyväksymisestä laskettiin kuutiometrille ja hehtaarikohtaisesti. Puulajeittaiset tappiot laskettiin suhteessa puulajin ja puutavaralajeittaiset puutavaralajin tilavuuteen.

Ilmiön merkittävyyden havainnollistamiseksi laskettiin puulajiosuusvirheiden aiheuttamat mahdolliset tappiot myös vuosittaisille hakkuille koko valtakunnan alueella. Isojen puunmyyjien kuten Metsähallituksen kaupoissa ja metsäpalvelusopimusasiakkaiden kaupoissa ei hinnoitella yksittäisiä kuvioita. Tämä vähentää pinta-alaa, jota hintariski koskee. Myöskään leimikot, joissa kauppoja ei lainkaan kilpailuteta, eivät kuulu hintariskin piiriin. Syynä kilpailuttamattomuuteen voi olla, että osa puunmyyjistä haluaa myydä puunsa tutulle puunostajalle, tai metsiinsä jonkin puunostajan tietyn urakoitsijan. Hintariskiä pienentää myös se, että osa puunmyyjistä tekee joka tapauksessa tarkentavan inventoinnin joko itse, tai hyödyntämällä metsänhoitoyhdistyksen tai muiden asiantuntijatahojen palveluita. Lisäksi hintariski kohdentuu vain sellaisiin tilanteisiin, joissa tarjoukset menevät puulajien tai puutavaralajien suhteen ristiin. Laskelmissa tehtiin näillä perusteilla oletus, että vain osa (10–50 % vuosittaisista hakkuista) puunmyynnistä kuuluu hintariskin piiriin.

Vuosittaisten mahdollisten kokonaistappioiden arvioimiseksi kerrottiin keskimääräiset tappiot toteutuneilla hakkuilla. Vuonna 2017 hakkuita tehtiin yhteensä 688 460 hehtaarilla (Luonnonvarakeskus 2018a). Hakkuista 209 780 ha oli uudistamishakkuita, 143 790 ha ensiharvennuksia ja 342 750 ha muita harvennuksia. Vuonna 2017 hakattiin yhteensä 27,2 milj. m³ tukkipuuta ja 35,7 milj. m³ kuitupuuta (Luonnonvarakeskus 2018b). Kokonaistappiot laskettiin kymmenesosalle (10 %) ja puolelle (50 %) vuotuisesta hakkuupinta-alasta. Hehtaarikohtaisissa tappioissa otettiin huomioon eri hakkuutapojen osuus ja kokonaistappioissa eri hakkuutapojen kertymät koska tappioiden suuruus vaihteli hakkuutavoittain. Tarkempi arvio vaikutuksista ei ole mahdollinen ilman kyselytutkimusta siitä, millaisilla tiedoilla omistajat ovat kaupat tehneet.

3 Tulokset

Pääpuulajin oikeinluokitusprosentin vaihteluväliksi virheaineistoittain tuli 73,5–82,0 (Taulukko 4). Selvästi parhaiten luokiteltiin männiköt, kun taas kuusi- ja koivuvaltaisten koealojen luokituksessa oli enemmän ongelmia. Parhaiten pääpuulajin luokitukset onnistuivat laserkeilauksen ja ilmakuvan yhdistävällä aineistolla (LASER2D-ILMA) varsinkin kuusi- ja koivuvaltaisissa metsissä. Sitä vastoin männikköjen oikeinluokituksessa ei ollut suurempia eroja, vaan kaikilla kaukokartoit-

Taulukko 4. Pääpuulajin oikeinluokitusprosentit puulajeittain ja yhteensä kaukokartoitusaineistoista tulkittuina.

| | Mänty | Kuusi | Lehtipuu | Yhteensä |
|-----------------|-------|-------|----------|----------|
| Lukumäärä, n | 531 | 159 | 88 | 778 |
| LASER2D-ILMA, % | 91,7 | 63,5 | 56,8 | 82,0 |
| 3D2D-ILMA, % | 91,8 | 50,6 | 51,9 | 79,3 |
| 2D-ILMA, % | 91,5 | 53,9 | 43,2 | 78,5 |
| Satelliitti, % | 88,2 | 44,4 | 36,1 | 73,5 |

Taulukko 5. Pääpuulajin määrittämivirheestä johtuvat kuutiokohtaiset ja hehtaarikohtaiset tappiot tukki-, kuitupuu- ja kokonaiskertymälle tarjouskilpailutilanteessa. Satelliittikuvalla on suurimmat virheet kuutiottain, mutta hehtaarikohtaisesti jopa pienimmät (Tukki €/ha). Tämä johtuu laskentatavasta, jossa toista painotetaan kuutiomäärällä ja toista hehtaareilla.

| Tappiot | LASER2D-ILMA | 3D2D-ILMA | 2D-ILMA | SATKU |
|------------------------------|--------------|-----------|---------|-------|
| Tukkipuu (€/m ³) | 0,14 | 0,19 | 0,22 | 0,23 |
| Kuitupuu (€/m ³) | 0,19 | 0,24 | 0,27 | 0,28 |
| Yhteensä (€/m ³) | 0,17 | 0,23 | 0,25 | 0,27 |
| Tukkipuu, (€/ha) | 3,43 | 4,30 | 3,58 | 3,34 |
| Kuitupuu (€/ha) | 6,11 | 7,95 | 7,25 | 6,99 |
| Yhteensä (€/ha) | 9,37 | 12,00 | 10,99 | 10,39 |

tusmenetelmillä päästiin hyviin luokitustuloksiin. Tämä johtune ainakin osittain siitä, että mänty on alueen pääpuulaji.

Jo yhden euron ero puulajien hintatarjouksissa kahden tarjoajan välillä tuotti tukkipuu-kuutiometriä kohti jo keskimäärin 0,14 € tappion ja kuitupuukuutiometriä kohden 0,19 € tappion laserkeilatussa aineistossa. Eroa eri kaukokartoitusmenetelmien välillä syntyi jonkin verran (Taulukko 5). Hintatarjousten erojen noustessa tappiot kasvavat lineaarisesti siten, että esimerkiksi tappiot kasvavat viisinkertaisiksi, kun tarjousten ero on 5 euroa (esim. LASER2D-ILMA: 0,17 €/m³ → 0,84 €/m³).

Laskennalliset tappiot ovat keskimääräisiä, eli osassa kauppoja puulajiosuukien virheet ovat niin vähäiset, että tappioita ei tule lainkaan. Toisaalta sellaisissa kaupoissa, joissa tappioita tulee, ne ovat selkeästi suuremmat. LASER2D-ILMA-aineiston tappiollisissa kaupoissa keskimääräinen tukkikaupan tappio oli 1,67 €/m³ ja hehtaarille tappiota kertyi tukkikaupoissa 24,7 € yhden euron hintaerolla. Keskimääräiset oikeat hakkuukertymät olivat tukkipuulle 43,2 m³/ha ja kuitupuulle 60,0 m³/ha.

Hintakilpailuttamisen tappiot vaihtelivat hakkuutavan mukaan. LASER2D-ILMA-aineistossa tappiot olivat yhden euron hintaerolla suurimmat uudistamishakkuissa keskimääräisten tappioiden ollessa 0,17 €/m³ (1,54 €/m³) ja tukkikaupan tappioiden ollessa 0,15 €/m³ (1,82 €/m³) (sulussa pelkät tappiolliset kaupat). Vastaavasti harvennushakkuissa keskimääräiset tappiot olivat 0,07 €/m³ (0,69 €/m³) ja tukkikaupan tappiot olivat 0,03 €/m³ (0,56 €/m³) ja ensiharvennuksessa keskimääräisiksi tappioiksi muodostuivat 0,62 €/m³ (1,82 €/m³) ja tukkikaupan tappioiksi 0,54 €/m³ (1,59 €/m³).

Yksittäisillä koealoilla tappiot voivat muodostua melko suuriksi. Esimerkiksi hakkuukypsässä tuoreen kankaan kuusikossa laserkeilauksella saatiin pääpuulajiksi mänty kuusen sijasta. Kuusikon oikeat pohjapinta-alat olivat kuuselle 16,8 m²/ha ja koivulle 2,1 m²/ha. Laserkeilauksella saadut pohjapinta-alat puolestaan olivat männylle 13,4 m²/ha, kuuselle 2,3 m²/ha ja koivulle 3,2 m²/ha. Koeala oli tietojen perusteella uudistamiskelpoinen sekä oikeilla että väärillä puustoositetiedoilla. Tarjouskilpailussa parhaalta tarjoukselta olisi näyttänyt se, jossa männystä tarjottiin enemmän. Mikäli metsänomistaja olisi hyväksynyt parhaaksi tarjoukseksi sen, jossa kuusesta maksettiin enemmän, hän olisi saanut 171 € enemmän hehtaarilta jo yhden euron hintaerolla (90 € tukkipuu, 81 € kuitupuu). Viiden euron hintaerolla metsänomistaja olisi saanut 855 € enemmän hakkuutuloja hehtaarilta.

Harvennuksissa jo pelkkä vallitun puusto-ositteen yliarviointi tai virheellisen vallitun puusto-ositteen lisääminen voivat johtaa vääriin hakkuukertymäennusteisiin ja sitä kautta huonomman tarjouksen hyväksymiseen. Esimerkiksi puhtaaseen lehtokoivikkoon, jonka pohjapinta-ala oli 25,3 m²/ha, arvioitiin laserkeilauksella kuusi- (6,5 m²/ha) ja mäntyositteet (7,2 m²/ha). Harvennus-

Taulukko 6. Pääpuulajin määrittämisvirheestä johtuvat vuosittaiset tappiot (milj. €) yhdestä kymmeneen euron lisähinnalla 10 %:n ja 50 %:n osuudelle kokonaishakkuukertymästä (vuonna 2017 kokonaiskertymä yhteensä 63,3 milj. m³).

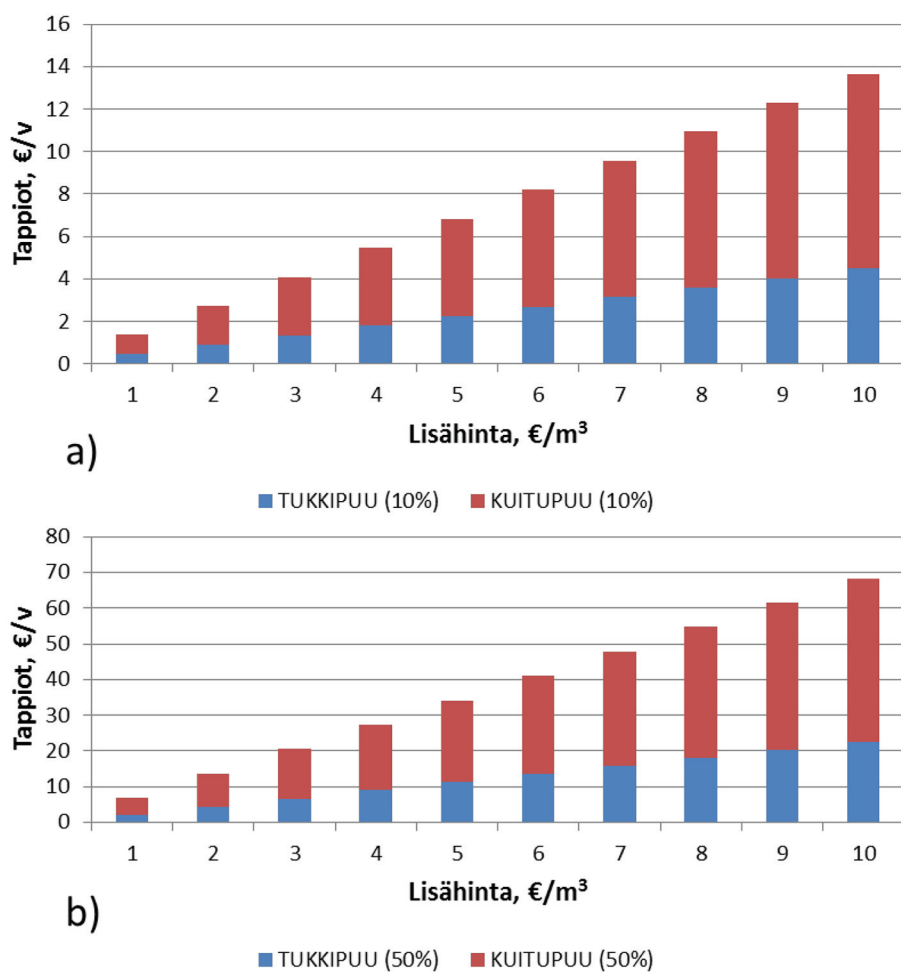
| Lisähinta (€/m ³) | 10 % kertymästä mukana (milj. €) | | | | 50 % kertymästä mukana (milj. €) | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------|-------------|-------|----------------------------------|---------------|-------------|--------|
| | LASER2D- ILMA | 3D2D- ILMA | 2D- ILMA | SATKU | LASER2D- ILMA | 3D2D- ILMA | 2D- ILMA | SATKU |
| 1 | 1,34 | 1,69 | 1,86 | 2,04 | 6,70 | 8,44 | 9,29 | 10,18 |
| 2 | 2,68 | 3,38 | 3,72 | 4,07 | 13,39 | 16,88 | 18,59 | 20,37 |
| 3 | 4,02 | 5,06 | 5,58 | 6,11 | 20,09 | 25,32 | 27,88 | 30,55 |
| 4 | 5,36 | 6,75 | 7,44 | 8,15 | 26,78 | 33,76 | 37,18 | 40,74 |
| 5 | 6,70 | 8,44 | 9,29 | 10,18 | 33,48 | 42,20 | 46,47 | 50,92 |
| 6 | 8,03 | 10,13 | 11,15 | 12,22 | 40,17 | 50,63 | 55,77 | 61,10 |
| 7 | 9,37 | 11,81 | 13,01 | 14,26 | 46,87 | 59,07 | 65,06 | 71,29 |
| 8 | 10,71 | 13,50 | 14,87 | 16,29 | 53,56 | 67,51 | 74,36 | 81,47 |
| 9 | 12,05 | 15,19 | 16,73 | 18,33 | 60,26 | 75,95 | 83,65 | 91,66 |
| 10 | 13,39 | 16,88 | 18,59 | 20,37 | 66,96 | 84,39 | 92,94 | 101,84 |

kertymässä oletettiin suurimman kertymän tulevan näistä vallituista puulajeista. Tämän seurauksena hintakilpailuttamisen tuloksena metsäomistajalle olisi jäänyt saamattomia tuloja 88 € hehtaarilta jo yhden euron hintaerolla koivun eduksi.

Myös vuositasolla metsänomistajille muodostuisivat huomattavat kokonaistappiot, mikäli suuri osa kaupoista kilpailutettaisiin sähköisesti ilman erillistä tarkentavaa inventointia/maastotarkastusta (Taulukko 6). Tämän myötä 10 %:n osuudella vuotuisesta hakkuupinta-alasta myyjien kokonaistappioiksi muodostuisi tukkipuukaupoissa vuodessa LASER2D-ILMA-aineistolla yhden euron hintaerolla noin 450 000 euroa ja kuitupuukaupoissa 917 000 euroa (50 %:n osuudella 2,2 ja 4,6 miljoonaa euroa). Tarjottavien leimikoiden puulajin tarkastamisesta maastossa tai puulajin suhteen virheettömästä kaukokartoitustiedosta kannattaisi siten maksaa enintään tämä summa (1,33/6,70 milj. €, oletuksena 10/50 % vuotuisesta hakkuupinta-alasta) vuosittain tai enintään noin 9,4 euroa per toimenpidehehtaari.

Jos keskimääräinen leimikon koko olisi esimerkiksi 500 m³ (Kärhä ja Tammiruus 2003; Hänninen ym. 2011), keskimääräisen tappion odotusarvo olisi 85 € jo yhden euron hintaerolla. Mikäli pääpuulajin tarkastamiseen käytettäisiin maastossa yksi tunti (40 €/h) ja auton käyttökustannus olisi 0,43 €/km, tällainen leimikko kannattaisi metsänomistajan (tai hänen valtuuttamansa henkilön) käydä erikseen tarkastamassa enintään noin 100 kilometrin edestakaiselta etäisyydeltä (85 € – 40 €)/0,43 € = 104. Tarkastuksen kannattavuuteen vaikuttaa siis leimikon koko, sen etäisyys sekä hintatarjouksissa olevan eron suuruus (Kuva 1). Viiden euron hintaerolla keskimääräinen tappio olisi jo 425 € ja se kannattaisi käydä tarkastamassa enintään noin 900 km edestakaisella ajomatalla. Muilla kaukokartoitusmenetelmillä kokonaistappiot olivat jonkin verran suuremmat (Taulukko 6).

Toimenpideaineiston koelajoja tarkasteltiin myös pääpuulajin mukaan jaoteltuna. Yhden euron ero puulajien hintatarjouksissa tuotti männiköille selvästi pienimmän hehtaarikohtaisen tappion (Taulukko 7). Käytännön tarkastustilanteita silmällä pitäen oikea pääpuulaji ei kuitenkaan ole tiedossa. Kun toimenpideaineisto jaoteltiin ennustetun pääpuulajin mukaan, erot pääpuulajien välillä tasoittuivat jonkin verran: Esimerkiksi LASER2D-ILMA-aineistolla hehtaarikohtaiset tappiot olivat männyllä 9,9 €, kuusella 23,1 € ja lehtipuilla 13,5 €. Taulukossa 6 on esitetty myös hehtaarikohtaiset tappiot ennustetun pääpuulajin mukaan jaoteltuna suluissa. Ennusteenkin mukaan jaoteltuna kuusikoiden tappiot olivat yli kaksinkertaiset verrattuna männiköihin.



Kuva 1. LASER2D-ILMA-aineiston pääpuulajin ennustamisvirheiden aiheuttamat tappiot 1–10 euron lisähinnalla 10 %:n (a) ja 50 %:n (b) hakkuupoistumalle.

Taulukko 7. Pääpuulajin määrittämisvirheestä johtuvat hehtaarikohtaiset tappiot kokonais- ja tukkikertymälle metsiköittäin pääpuulajin mukaan jaoteltuna. Suluissa on esitetty hehtaarikohtaiset tappiot metsiköittäin ennustetun pääpuulajin mukaan jaoteltuna.

| Pääpuulaji | LASER2D-ILMA | 3D2D-ILMA | 2D-ILMA | SATKU |
|------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Männikkö yht. (€/ha) | 6,3 (9,9) | 8,5 (8,0) | 6,1 (6,7) | 9,2 (8,6) |
| Kuusikko yht. (€/ha) | 31,7 (23,1) | 39,4 (33,5) | 29,1 (45,8) | 43,2 (39,5) |
| Lehtipuu yht. (€/ha) | 16,5 (14,3) | 18,2 (22,1) | 21,0 (20,8) | 24,0 (25,6) |
| Männikkö, tukki (€/ha) | 2,1 (4,1) | 2,5 (2,8) | 1,8 (2,4) | 2,7 (2,8) |
| Kuusikko, tukki (€/ha) | 14,5 (9,3) | 16,6 (13,8) | 11,0 (21,0) | 21,0 (19,0) |
| Lehtipuu, tukki (€/ha) | 3,4 (1,8) | 4,6 (4,6) | 4,2 (4,1) | 4,0 (4,5) |

Taulukko 8. Metsänomistajan tappiot kuutiometriä kohti pääpuulajin ennustetun osuuden mukaan luokiteltuna yhden euron hintatarjouserolla.

| Pääpuulajin ennusteosuus | Lkm | Tappio, yht. (€/m ³) | Tukki tappio (€/m ³) | Tappio yht. (€/ha) |
|--------------------------|-----|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| 90–100 | 224 | 0,03 | 0,03 | 2,1 |
| 80–90 | 142 | 0,19 | 0,11 | 9,6 |
| 70–80 | 109 | 0,35 | 0,35 | 14,3 |
| 60–70 | 100 | 0,78 | 0,88 | 27,5 |
| 50–60 | 95 | 0,50 | 0,46 | 19,6 |
| 40–50 | 91 | 0,69 | 0,43 | 18,6 |
| –40 | 17 | 0,37 | 0,09 | 9,3 |

Toimenpideaineisto luokiteltiin myös ennustetun pääpuulajiosuuden mukaisesti (Taulukko 8). Yhden euron erolla hintatarjouksissa tappiot nousivat nopeasti pääpuulajin ennustetun osuuden pienentyessä.

4 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa tarkasteltiin puulajiosuuksien ennustevirheiden vaikutusta tarjouskilpailutilanteessa. Puukaupan siirtyminen yhä enemmän internetiin tietää varsinaisten metsäkäyntien vähenemistä. Kauppa ja ostotarjoukset tehdään sähköisesti perustuen laserkeilauksella hankittuun metsävaratietoon (Metsään.fi-tiedot). Puukaupan sähköistymistä edesauttavat mm. sähköisten palveluiden käytön vauhdikas lisääntyminen ja etämetsänomistuksen yleistyminen.

Tutkimuksessa havaittiin sähköisen tarjouskilpailun tuottavan tappioita metsänomistajille, mikäli puulajiosuustiedot ovat epävarmat. Tappiot olivat keskimäärin 0,3 % kaupan kokonaishinnasta, kun ostajien tarjouksissa oli puulajien välillä yhden euron hintaero ja viiden euron hintaerolla 1,5 % kaupan kokonaishinnasta. Pelkästään tappiollisissa kaupoissa kaupan kokonaishinnasta jäisi saamatta keskimäärin 0,8 % (3,9 %) yhden (viiden) euron hintaerolla. Tässä työssä on tarkasteltu pelkästään puulajivirheiden puukauppaan liittyviä tappioita. Niiden lisäksi puulajivirheet aiheuttavat myös toimenpiteiden ajoituksen virheitä, joista myös aiheutuu tappioita (Haara A., Kangas A., ja Tuominen S. 2019. Käsikirjoitus).

Puukaupan osalta tappiot realisoituvat kunnolla vasta siinä vaiheessa, kun sähköinen puukauppa ja muut suoraan Metsään.fi-tietoja käyttävät kauppatavat yleistyvät yksityismetsien puukaupassa selvästi merkittävämmäksi kauppamuodoksi. Yksittäisten metsiköiden kohdalla ennustettujen puulajiosuuksien virheet voivat aiheuttaa jo keskimäärin 0,17 € tappion kuutiometrille ja 9,4 € tappion hehtaarille, kun vallitsevalle puulajille maksetaan 1 € lisähintaa. Tarjottavien leimiköiden puulajintarkistuksen markkinapotentiaali vuositasolla olisi 1,33 milj. € jo vuotuisen hakkuupinta-alan kymmenesosalta. Toisaalta puulajivirheistä aiheutuvien tappioiden välttäminen on myös osa yleisempien metsäpalvelujen, kuten metsäsuunnittelun, omistajalle tuottamaa hyötyä. Myös esimerkiksi metsänhoitoyhdistysten jäsenilleen tarjoama puunmyyntisuunnitelma, missä yleensä toimihenkilö käy tilan kuviot läpi maastossa, tarkentanee kertymäennusteita parhaimman tarjouksen hyväksymiseksi.

Hyvin metsiensä tilan tietävät metsänomistajat huomannevat metsävaratiedoissa olevat puulajiosuuksien virheet varsinkin, jos ne ovat suuria. Pääpuulajin mukaan jaotellussa aineistossa männiköillä oli selvästi paras oikeinluokitusprosentti. Siitä seurasi, että myös puulajivirheen aiheuttamat

tappiot hintakilpailutuksesta olivat männiköissä selvästi pienimmät. Männiköt esiintyvät hyvin usein yhden puulajin metsikköinä, kun taas kuuset ja koivut kasvavat useasti sekametsiköissä, mikä voi osaltaan selittää ilmiötä.

Tutkimusaineistona käytettiin koeala-aineistoa. On oletettavaa, että kuvioaineistossa puulajivirheet olisivat olleet pienempiä. Kunkin koealan puulajiosuuksien virheitä pienennettiin koealatasolla laskennallisesti niin, että ne olivat kullakin koealalla 10 % pienempiä. Tällöin pääpuulajin oikeinluokitusprosentiksi tuli 83 ja tappiot metsänomistajille olisivat olleet silti 0,13 €/m³ ja 7,1 euroa hehtaarilta yhden euron hintaerolla. Pääpuulajin oikeinluokituksen paraneminen prosenttiyksiköllä vähensi siis tappioita 0,22 euroa hehtaarilla. Puulajiosuusvirheiden simuloinnissa ei huomioitu läpimitta- ja pituusjakaumien muutosta puulajeittaisten pohjapinta-alojen muuttuessa. Kun jakaumat kalibroitiin niin, että kuviotasolla keskipituus ja keskiläpimitta eivät muuttuneet pohjapinta-alaosuuksien muuttumisen myötä, kokonaistappiot pysyivät jokseenkin ennallaan LASER2D-ILMA-aineistossa ja nousivat hieman (noin 5 %) 3D2D-ILMA-, 2D-ILMA- ja SATKU-aineistoissa.

Lopulliseen tutkimusaineistoon valittiin ainoastaan ne metsiköt, jotka oli mahdollista käsitellä heti. Käytännössä näin ei kuitenkaan ole, vaan puustotietojen päivitys voi lisätä metsänomistajan tappioita yksittäisillä kuvioilla, mikäli puulajiosuuksien virhe kasvaa, tosin ajantasaistusvirheiden vaikutus voi myös pienentää puulajiosuuksien virhettä.

Puulajiosuuksien ennustevirheiden pienentämiseksi kehitetään ja tutkitaan jatkuvasti uusia kaukokartoitus- ja tulkintamenetelmiä. Kaukokartoitusaineistojen tarkkuutta lisäämällä tulkintakin helpottuisi, mutta tällöin kustannuksetkin lisääntyisivät nopeasti. Kuitenkin käytännössä pyritään koko ajan kustannusten vähentämiseen. Miten puulajiosuuksien virheiden vaikutusta pystyttäisiin sitten mahdollisimman kustannustehokkaasti vähentämään muutoin kuin menetelmäkehityksellä? Esimerkiksi käytännön suunnittelutyössä voisi olla paikallaan tarkastella, miten pääpuulajin ennustaminen onnistui puulajeittain siinä vaiheessa, kun tulkinta maastokoealojen avulla on tehty: Mikäli suunnittelualueen kuvion pääpuulajin tulkinnassa löytyisi samanlaisia eroja kahden puulajin välillä kuin tässä tutkimuksessa männyn ja kuusen välillä, maastotarkistukset kannattaisi suunnata niihin metsiköihin, joissa pääpuulajin tulkinta tuottaa eniten ongelmia. Tarvittaessa lisäinventointeja voisi seurata kertyneiden havaintojen pohjalta ja mikäli tulkintatulokset poikkeaisivat maastokoeala-aineiston vastaavista, inventointien suuntaamista voitaisiin harkita uudelleen. Toisaalta tarkistusinventoinnit voitaisiin kohdistaa pelkästään kuvioille, joille on ennustettu hakkuumahdollisuus heti tai suunnittelukaudella tai niiltä löytyy Metsään.fi-tiedon mukaan kaksi tai useampia puulajiositteita.

Puunostajat tarkistavat nykyään pääosin leimikot ennen tarjousta. Puukaupan kuumeneminen näkyy mm. siinä, että jotkut ostajat tarjoavat tukista hyvän hinnan ja arvioivat tukkikeritymän yläkanttiin, jotta arvioitu loppusumma saadaan todellista suuremmaksi ja metsänomistaja hyväksyy ostotarjouksen (Häyrynen 2018). Tällöin ostaja on ollut tietoinen jo kauppaa tehdessään, ettei arvioitua tukkimäärää saada. Puun ostajat voisivat hyödyntää puulajisuhteiltaan epätarkkaa metsävaratietoa tarjoamalla hyvän hinnan sellaisesta puulajista, jota kohteella ei todellisuudessa ole lainkaan tai on vain vähän. Tämä edellyttää, että ostajalla on puulajisuhteista tarkemmat tiedot kuin myyjällä (eli ostaja on tehnyt maastotarkistuksen, mutta myyjä ei). Toisaalta voi käydä niin, ettei puunostaja anna tarjousta ollenkaan, mikäli halutun puulajin kertymää on liian vähän (tilanteessa, jossa sen enempää myyjä kuin ostajakaan ei ole tehnyt maastotarkastusta). Tällöin metsänomistajalle jää saamatta tuloja siksi, ettei paras tarjous tule edes saataville, tai kohteesta ei tule lainkaan tarjousta.

Sähköisiin metsävaratietoihin voisi olla myös mahdollista liittää tarkistusinventoinnin tilaamismahdollisuus (suositeltuna) ennen myyntitarjousten jättämistä. Tällöin tarvittaessa Metsäkeskus tai mahdollisesti muu paikallinen toimija kuten metsänhoitoyhdistys tai metsäpalveluyrittäjä suorittaisi tarkistusinventoinnin. Puusto- ja kertymätietoihin voisi liittää myös jonkinlaisen

luotettavuustunnuksen kunkin suunnittelualueen ominaispiirteiden ja tulkinnan onnistumisen mukaisesti. Mitä suurempi leimikko on, mitä suurempi tarjousten hintaero on (Kuva 1) ja mitä lähempänä kohde sijaitsee, sitä kannattavampaa tarkastaminen on. Pienet, kaukana olevat leimikot kannattaa jättää tarkistamatta, ellei hintaero tarjouksissa ole merkittävä. Jos keskitettäisiin tarkastukset esimerkiksi pelkästään kuvioihin, joissa on kaksi tai useampia puulajiositteita, saataisiin maastotarkastuksista vielä suurempi hyöty. On kuitenkin muistettava, että leimikot voivat koostua kahdesta tai useammasta metsiköstä, jolloin puulajiositteiden virheet voivat osittain kumota toisensa.

Väärän tarjouksen hyväksyminen voi johtua muistakin syistä kuin virheistä puulajiosuuksissa tai puutavaralajiosuuksissa. Malisen ym. (2011) mukaan puutavaralajikertymät ja hakkuukertymän myynti- ja käyttöarvot vaihtelevat huomattavasti sekä leimikon ominaisuuksien että sovellettavien katkontaohjeiden ja näiden yhteisvaikutusten mukaan. Keskimääräisten yksikköhintojen ja peruspuutavaralajien kertymäennusteiden mukaan tarjousten vertailu on suhteellisen helppoa, mutta muuttuu heti hankalammaksi erilaisia katkontavaihtoehtoja vertailtaessa. Minimiläpimittaroilla tai pituusmittavaatimuksilla on oma merkityksensä tukki- ja kuitupuukertymään ja myös erikoispuutavaralajien vaikutukset kantorahatuloon peruspuutavaralajien apterauksen sijasta voivat muuttaa tarjousten järjestystä. Metsään.fi-tiedoissa ja vastaavissa metsävaratiedoissa on keskimääräiset mittavaatimukset ja niiden perusteella on hyvin vaikea vertailla erilaisia tarjouksia. Metsänhoitoyhdistykset pyrkivät seuraamaan toiminta-alueensa puunostajien toteutuneiden hakuiden puulajiosuuksien kertymäeroja. Tämäkin auttane eri tarjousten vertailuissa. Tämän aiheen tutkiminen jää tulevaisuuteen.

Kirjallisuus

- Fassnacht F., Latifi H., Stereńczak K., Modzelewska A., Lefsky M., Waser L., Straub C., Ghosh A. (2016). Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 186: 64–87. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.013>.
- Helenius A. (2018). Kauppoja pidätellään huippuhinnoista huolimatta. *Metsälehti*. [Verkkójulkaisu]. <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/kauppoja-pidatellaan-huippuhinnoista-huolimatta/>. [Viitattu 14.5.2018].
- Hirvelä H., Härkönen K., Lempinen R., Salminen O. (2017). MELA reference manual. Natural Resources Institute Finland (Luke). 547 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-358-1>. [Viitattu 14.6.2018].
- Hänninen H., Karppinen H., Leppänen J. (2011). Suomalainen metsänomistaja 2010. Metlan työraportteja 208. 94 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2317-0>.
- Häyrynen M. (2018). Katkonta kuumentaa tunteita. *Metsälehti*. [Verkkójulkaisu]. <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/katkonta-kuumentaa-tunteita/>. [Viitattu 12.4.2018].
- Kukkonen M., Korhonen L., Maltamo M., Suvanto A., Packalen P. (2018). How much can airborne laser scanning based forest inventory by tree species benefit from auxiliary optical data? *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 72: 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.017>.
- Kärhä K., Tammiruusu V. (2003). Metsänomistajien puukauppatyytyväisyys ja siitä viestiminen. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2003: 465–486. <https://doi.org/10.14214/ma.6111>.
- Luonnonvarakeskus 2018a. Teollisuuspuun hakkuut alueittain 2017. Luonnonvarakeskus. https://stat.luke.fi/teollisuuspuun-hakkuut-alueittain-2017_fi. [Viitattu 18.3.2019].
- Luonnonvarakeskus 2018b. Hakkuupinta-alat maakunnittain. Luonnonvarakeskus. <http://statdb.luke.fi/PXWeb/sq/615641d6-fcd1-4fcc-a113-a2e52f62a565>. [Viitattu 18.3.2019].

- Malinen J., Wall T., Kilpeläinen H., Verkasalo E. (2011). Leimikon arvonmuodostus vaihtoehtoisissa loppukäyttökohteissa. *Metlan työraportteja* 206. 49 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2315-6>. [Viitattu 14.6.2018].
- Maltamo M., Packalen P. (2014). Species-specific management inventory in Finland. Julkaisussa: Maltamo M., Næsset E., Vauhkonen J. (toim.). *Forestry applications of airborne laser scanning – concepts and case studies. Managing Forest Ecosystems*, vol 27. Springer, Dordrecht. s. 241–252. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8663-8>.
- Næsset E. (2004). Accuracy of forest inventory using airborne laser scanning: evaluating the first Nordic full-scale operational project. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19(6): 554–557. <https://doi.org/10.1080/02827580410019544>.
- Ørka H.O., Dalponte M., Gobakken T., Næsset E., Ene L.T. (2013). Characterizing forest species composition using multiple remote sensing data sources and inventory approaches. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28(7): 677–688. <https://doi.org/10.1080/02827581.2013.793386>.
- Räty J., Vauhkonen J., Maltamo M., Tokola T. (2016). On the potential to predetermine dominant tree species based on sparse-density airborne laser scanning data for improving subsequent predictions of species-specific timber volumes. *Forest Ecosystems* 3(1). 17 s. <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0060-0>.
- Tomppo E., Kuusinen N., Mäkisara K., Katila M., McRoberts R.E. (2017). Effects of field plot configurations on the uncertainties of ALS-assisted forest resource estimates. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32(6): 488–500. <https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1259425>.
- Tuominen S., Pitkänen T., Balazs A., Kangas A. (2017). Improving Finnish Multi-Source National Forest Inventory by 3D aerial imaging. *Silva Fennica* 51(4) article 7743. <https://doi.org/10.14214/sf.7743>.
- Vauhkonen J., Seppänen A., Packalén P., Tokola T. (2012). Improving species-specific plot volume estimates based on airborne laser scanning and image data using alpha shape metrics and balanced field data. *Remote Sensing of Environment* 124: 534–541. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.06.002>.
- Wallenius T., Laamanen R., Mehtätalo L., Kangas A., Peuhkurinen J. (2012). Analysing the agreement between an Airborne Laser Scanning based forest inventory and a control inventory – a case study in Metsähallitus Kuhmo-district in Eastern Finland. *Silva Fennica* 46(1): 111–129. <https://doi.org/10.14214/sf.69>.
- Äijälä O., Koistinen A., Sved J., Vanhatalo K., Väisänen P. (toim.) (2014). *Metsänhoidon suosituksset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja*. 181 s. https://www.metsanhoitosuosituksset.fi/wp-content/uploads/2016/08/Metsanhoidon_suosituksset_Tapio_2014.pdf. [Viitattu 16.5.2018]

19 viitettä.