

Ville Kankaanhuhta, Timo Saksa ja
Heikki Smolander

Kuusen istutus- ja männyn kylvötuloksen vaihteluun vaikuttavat tekijät Etelä-Suomen yksityismailla

Seloste artikkelista: Kankaanhuhta, V., Saksa, T. & Smolander, H. 2009. Variation in the results of Norway spruce planting and Scots pine direct seeding in privately-owned forests in Southern Finland. *Silva Fennica* 43(1): 51–70.

Vuosituhanen vaihteessa käynnistettiin yksityismetsiin soveltuva maastomittauksiin perustuva metsänuudistamisen laadun hallintajärjestelmän kehittämishanke yhdessä paikallisten metsäkeskusten ja metsänhoitoyhdistysten kanssa. Lähtökohtina käytettiin yleistä laatujohtamisen teoriapohjaa sekä UPM-Kymmene omilla metsissä hyväksi osoittautunutta laadun ohjauksen periaatteista on tuotantotoiminnan ja ennalta määriteltyjen tuotevaihtoehtojen tilastollisen vaihtelun hallinta. Mitä tarkemmin tilastollisen vaihtelun syyt pystytään selvittämään eri toimijoiden osalta, sitä tarkemmin kehittämistoimet pystytään kohdistamaan.

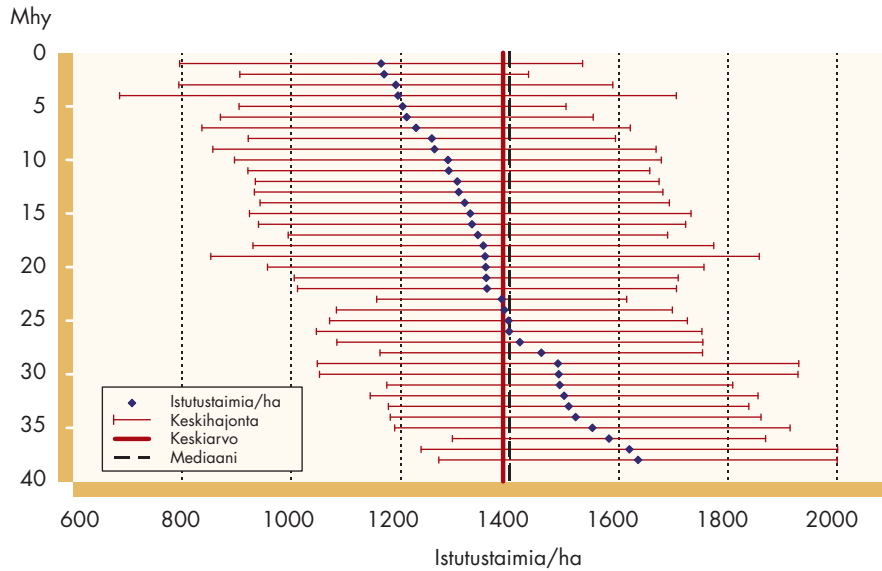
Tässä tutkimuksessa selvitettiin kerätyn metsänuudistamisen inventointiaineiston avulla kuusen istutus- ja männyn kylvötuloksen vaihtelua ja niihin vaikuttavia syitä. Uudistamistoiminnan kehittämisen kannalta on ensisijaista tietää, kuinka paljon uudistamistuloksen vaihtelusta aiheutuu alueellisten toimijoiden ja ekologisten tekijöiden, kuten maaperän, ilmaston, kasvillisuuden ja eläinyhdyskuntien, yhteisvaikutuksesta ja kuinka paljon vaihtelusta selittyy paikallisten uudistusalojen välisestä ja sisäisestä vaihtelusta. Lisäksi selvitettiin, kuinka paljon

paikalliset maaperä- ja ilmastotekijät sekä valitut muokkaus- ja viljelymenetelmät, vaikuttivat uudistamistulokseen.

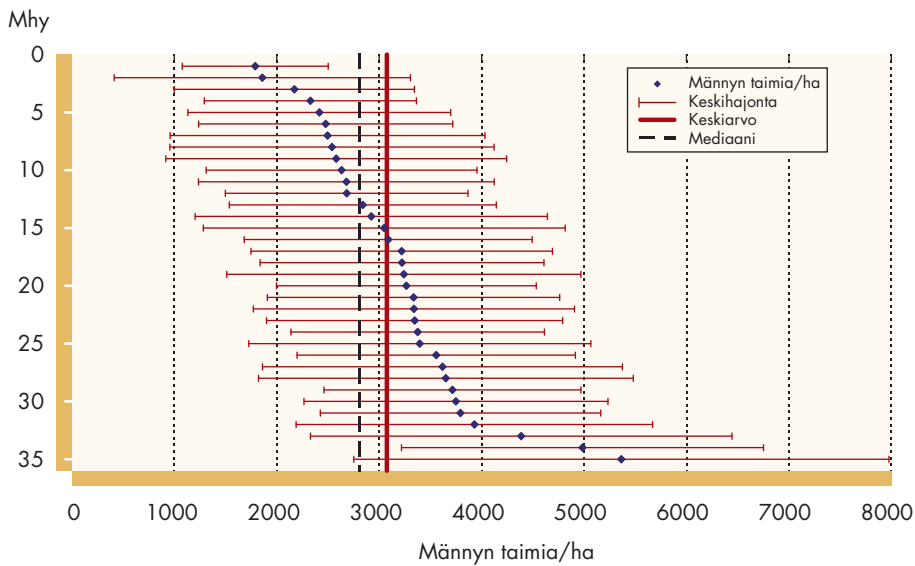
Tutkimuksessa analysoitiin metsänuudistamisen inventoinneissa vuosina 2000–2006 mitattuja kolmi-vuotiaita kuusen istutusaloja (8 557 ha) ja nelivuotiaita männyn kylvöaloja (4 948 ha) kuuden eteläsuomalaisen metsäkeskuksen alueelta. Inventoinnit kattoivat kuusen istutusten osalta 41 metsänhoitoyhdistystä, joissa 284 toimihenkilöllä oli vastuualue. Männyn kylvöjen osalta inventoinnit kattoivat 39 metsänhoitoyhdistystä, joissa 228 toimihenkilöllä oli vastuualue. Metsänhoitoyhdistysten rekistereistä kerättiin uudistusaloille taustatiedoiksi mm. pinta-alat, käytetty taimityyppi, kylvömenetelmä sekä tieto töiden toteuttajasta ja toteutusajankohdista. Lisäksi aineistoon liitettiin paikallisia ilmastotekijöitä kuvaamaan kuntakohtaiset lämpösummien keskiarvot. Uudistusaloilta mitattiin 15–20 ympyräkoelaa ($r=2,52$ m) systemaattiselta koelaverkolta. Koeloilta mitattiin ja määritettiin tarkasteltavien kuusen istutustainten ja männyn taimien kokonaismäärän lisäksi maaperätekijöiden kuvaamiseksi mm. kasvupaikkatyyppi, maalaji, kivisyys ja tieto soistuneisuudesta sekä käytetty muokkausmenetelmä.

Aineistossa esiintyvän viisitasoisen hierarkiarakenteen vuoksi eri tasojen osuutta kokonaisvaihtelusta analysoitiin lineaarisilla sekamalleilla. Käytetty sisäkkäinen hierarkiarakenne oli 1) metsäkeskus, 2) metsänhoitoyhdistys, 3) toimihenkilö, 4) uudistusala ja 5) koela. Käytettyjen uudistamismenetelmien ja paikallisten maaperätekijöiden ja lämpösummien vaikutusta uudistamistulokseen analysoitiin yleistetyillä lineaarisilla sekamalleilla, joissa oli em. hierarkiarakenne.

Kuusen istutusaloilla oli istutustaimia keskimäärin 1 388 tainta ha⁻¹ (keskihajonta 378 tainta ha⁻¹). Metsänhoitoyhdistyskohtaiset keskiarvot vaihtelivat 1 200–1 600 istutustaimen ha⁻¹ välillä (kuva 1). Männyn kylvöaloilla oli männyn taimia keskimäärin 3 075 tainta ha⁻¹ (keskihajonta 1 644 tainta ha⁻¹).



Kuva 1. Kuusen istutustaimien keskimääräinen tiheys (kpl/ha) ja tiheyden keskihajonta metsänhoitoyhdistyksittäin (= mhy). Kuvassa ovat mukana metsänhoitoyhdistykset, joiden alueella on ollut yli 10 ha kuusen istutuksia.



Kuva 2. Männyn taimien keskimääräinen tiheys (kpl/ha) ja tiheyden keskihajonta metsänhoitoyhdistyksittäin (= mhy). Kuvassa ovat mukana metsänhoitoyhdistykset, joiden alueella on ollut yli 10 ha männyn kylvöjä.

Metsänhoitoyhdistyskohtaiset keskiarvot vaihtelivat 2000–5 000 männyn taimien välillä ha⁻¹ (kuva 2). Uudistusalojen sisäinen vaihtelu ja uudistusalojen väliset erot selittivät suurimman osan vaihtelusta. Kuusen istutustaimien lukumäärän vaihtelusta metsänhoitoyhdistys- ja toimihenkilötaso selittivät 5 %. Männyn taimien lukumäärän vaihtelusta yhdistys- ja toimihenkilötaso selittivät 11 %.

Kuusen istutuksessa merkittävin taimien määrään vaikuttava tekijä oli maanmuokkaus. Mätästyksellä saatiin aikaan parempia tuloksia verrattuna laikutukseen ja äestykseen. Lehtomaisilla kankaila ja hienojakoisilla mailla kuusen istutustulos jäi heikommaksi kuin tuoreilla kankailla tai keskikarkeilla mailla. Männyn kylvössä merkittävin taimien määrään vaikuttava tekijä oli kasvupaikka: tuoreiden kankaiden ja sitä rehevämpien kasvupaikkojen kylvö johti heikkoihin tuloksiin. Maalajiltaan keskikarkeat ja karkeat kylvökohteet taimettuivat hienojakoisia kohteita ja turvemaita paremmin. Lisäksi konekylvö tuotti parempia tuloksia verrattuna käsinkylvöön.

Kohteille valikoituneet uudistamis- ja muokkausmenetelmät sekä niiden toteutus eivät olleet empiirisiä koejärjestelyjä vastaavia, vaan paikalliset olosuhteet ovat jossakin määrin ohjanneet toimijoiden valintoja. Tutkimuksessa saadut tulokset olivat siis suuntaa-antavia. Saadut tulokset viittasivat kuitenkin vahvasti siihen, että uudistamismenetelmien valinta ja niiden toteutus olivat merkittävimpiä uudistamistulosta selittäviä tekijöitä. Tarkasteltaessa eri olosuhteisiin valittuja muokkaus- ja viljelymenetelmiä oli havaittavissa se, että kaikki toimijat eivät olleet menetelmävalinnoissaan hyödyntäneet uusinta tietämystä kyseisille kohteille parhaiten soveltuvista menetelmistä. Metsänuudistamistoiminnan kehittämisessä korostuvatkin tulevaisuudessa tavoitteiden selkeä määrittely; uudistamistoiminnan perusteiden osaamisen ja soveltamistaitojen korostaminen metsäammattilaisten koulutuksessa; systemaattisesti mitatun palautteen saaminen oman työn tuloksista sekä käytössä olevien menetelmävaihtoehtojen riskeistä kertominen metsänomistajalle.

■ MMM Ville Kankaanhuhta, MMT Timo Saksa ja prof. Heikki Smolander, Metla, Suomenjoen toimintayksikkö. Sähköposti ville.kankaanhuhta@metla.fi.

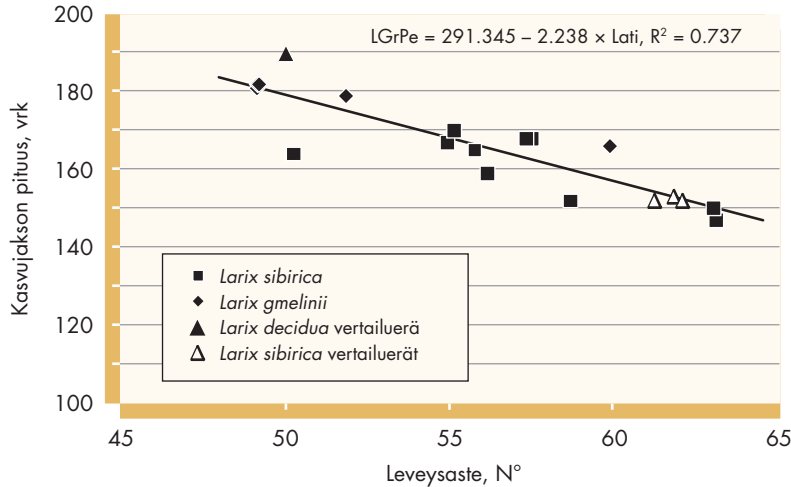
Antti J. Lukkarinen, Seppo Ruotsalainen, Teijo Nikkanen ja Heli Peltola

Venäläisten lehtikuusialkuperien kasvurytmi ja pituuskasvu kasvihuoneessa

Seloste artikkelista: Lukkarinen, A.J., Ruotsalainen, S., Nikkanen, T. & Peltola, H. 2009. The growth rhythm and height growth of seedlings of Siberian (*Larix sibirica* Ledeb.) and Dahurian (*Larix gmelinii* Rupr.) larch provenances in greenhouse conditions. *Silva Fennica* 43(1): 5–20.

Tämä tutkimus on osa kansainvälistä alkuperäkokeiden sarjaa, jonka avulla tutkitaan venäläisten lehtikuusten maantieteellistä vaihtelua. Samalla voidaan löytää uusia, vaihtoehtoisia viljelymateriaaleja Suomessa nykyisin käytössä olevalle alkuperältään puutteellisesti tunnetulle Raivolan kannalle. Varsinaista venäläisten lehtikuusien alkuperätutkimusta ei Suomessa ole aikaisemmin tehty, vaan kokeissa on käytetty lähinnä kotimaisia lisäyslähteitä. Tavoitteena oli tutkia miten venäläiset lehtikuusialkuperät poikkeavat toisistaan kasvurytmin ja pituuskasvun osalta kasvihuoneessa yhden kasvukauden jälkeen. Tähän liittyen selvitettiin myös selittävätkö eri alkuperien kotipaikkojen ilmastolliset ja maantieteelliset tunnuksat alkuperien välisiä eroja. Kasvurytmin ja pituuskasvun perusteella voidaan jo taimivaiheessa ennustaa alkuperän talveentumista ja sopeutumista vallitseviin ilmasto-olosuhteisiin.

Tässä tutkimuksessa käytettiin 16 venäläistä siperian- (*Larix sibirica* Ledeb.) ja dahurianlehtikuusen (*Larix gmelinii* Rupr.) alkuperää sekä neljää kotimaista vertailuerää. Vertailueristä kaksi oli kotimaisilta siperianlehtikuusen siemenviljelyksiltä ja kaksi Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun koemetsiköistä. Punkaharjun vertailueristä toinen oli kotimaisten siemenviljelysten tavoin Raivolasta polveutuvaa siperianlehtikuusta ja toinen vertailuerä euroopanlehtikuusta (*Larix decidua* Miller). Eri alkuperien taimien kehitystä seurattiin yhden kasvukauden ajan kasvihuoneessa, jolloin taimista määritettiin erikseen sekä alku- että loppukesän pituuskasvu ja kokonaispituuskasvu. Taimien kasvun päättyminen, ja samalla kasvujakson kesto, määri-



Kuva 1. Lehtikuusen kasvujakson pituuden (LGrPe) riippuvuus alkuperien kotipaikkojen leveysasteesta (Lati) ($n = 16$). Kotimaiset siperianlehtikuusen vertailuerät on sisällytetty kuvaan, mutta niitä ei ole käytetty riippuvuuden laskennassa, koska Raivolän jälkeläisinä niiden varmaa kotipaikkaa ei tiedetä (leveysaste on merkitty lisäytlähteen mukaan).

tettiin latvasilmujen kehityksen perusteella. Kasvihuoneessa seurattiin myös taimien syysvärityksen kehittymistä.

Kasvurytmin osalta eri alkuperät poikkesivat toisistaan ja ero oli selvin eteläisimpien ($N 49^\circ$) ja pohjoisimpien ($N 66^\circ$) alkuperien välillä. Eteläisillä alkuperillä kasvu jatkui pidempään ja suurempi osa kasvusta tapahtui loppukesällä. Myös syysvärityksen kehittyminen tapahtui eteläisillä alkuperillä myöhemmin. Maantieteelliset muuttajat osoittautuivat parhaiksi kasvurytmin selittäjiksi. Alkuperän leveysaste selitti 74 prosenttia kasvujakson pituuden vaihtelusta (kuva 1).

Useilla venäläisillä alkuperillä pituuskasvu oli suurempaa kuin kotimaisilla siperianlehtikuusen vertailuerillä, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Venäläisillä lehtikuusilla pituuskasvu oli sitä parempi mitä pidempi alkuperän kasvujakso oli. Suuntaus ei ollut yhtä selvä, kun tarkasteluun otettiin mukaan myös kotimaiset vertailuerät. Dahurianlehtikuuset olivat pisimpien koe-erien joukossa ja myös niiden kasvujakso oli pidempi kuin useimmilla siperianlehtikuusialkuperillä.

Maantieteelliset muuttajat osoittautuivat alkuperien eroja selittäessä ilmastollisia muuttujia pa-

remmiksi, mutta niiden voidaan katsoa kuvaavaan alkuperän kotipaikan ilmastoa. Useimmilla venäläisillä alkuperillä kasvujakson pituus oli pidempi kuin vertailuerinä olleilla siperianlehtikuusilla. Kasvun jatkuminen myöhään syksyyn voi altistaa puun syyshalolle. Kuitenkin euroopanlehtikuusi, jonka kasvujakso oli kaikkein pisin, on menestynyt hyvin Suomessa. Vaikka erot pituuskasvussa alkuperien välillä olivat pieniä ensimmäisen kasvihuoneessa vietetyn kasvukauden jälkeen, selvempiä eroja voidaan olettaa syntyvän myöhemmin maastokokeissa. Tutkimuksen maantieteellisesti laajan koeaineiston avulla voidaan tutkia ilmastollista sopeutumista puulajisiirroissa, mikä on ilmastomuutoksen johdosta hyvin ajankohtainen aihe. Eteläisempien alkuperien käyttöä onkin jo ehdotettu tietyin varauksin, kuten myös ulkomaisten puulajien käyttöä Pohjois-Suomessa.

■ MMM Antti J. Lukkarinen; MMT Seppo Ruotsalainen, MMT Teijo Niikkanen, Metsäntutkimuslaitos, Punkaharjun toimintayksikkö; MMT, dos. Heli Peltola, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.
Sähköposti antti.lukkarinen@pp.inet.fi

Aku Riihelä ja Terhikki Manninen

Boreaalisen metsän albedon pystyprofiilin mittaaminen

Seloste artikkelista: Riihelä, A. & Manninen, T. 2008. Measuring the vertical albedo profile of a subarctic boreal forest canopy. *Silva Fennica* 42(5): 807–815.

Metsän kasvun mallinnuksessa tarvitaan tietoa siitä, miten suuren osan auringon säteilystä metsä heijastaa pois ja absorboi itseensä. Tätä heijastavuutta kuvaa fysikaalinen suure nimeltä albedo, joka on pinnalta pois heijastuneen säteilyn määrän suhde pinnalle tulevan säteilyn määrään. Jotta tätä tietoa voitaisiin kerätä laajoilta alueilta, joudutaan käytännön syistä turvautumaan satelliiteista tehtäviin albedomittauksiin. Näitä satelliittimittauksia verrataan maan pinnalla tehtyihin albedomittauksiin satelliittien tulosten varmentamiseksi ja mittausmenetelmien parantamiseksi. Metsien peittämillä alueilta näitä maan pinnalla tehtäviä vertailumittauksia on hankala suhteuttaa satelliittimittauksiin, koska satelliitti havaitsee heijastuvuuden latvuston yläpuolelta kun taas maanpintamittaukset tehdään metsän pohjalta.

Tässä tutkimuksessa mitataan miten boreaalisen metsikön albedo muuttuu siirryttäessä pystysuunnassa metsän pohjan tasosta latvuston yläpuolelle. Tulokset auttavat jatkossa niin albedon vertailumittausten suhteuttamisessa satelliittimittauksiin, kuin myös säteilynkuljetusmallien kehityksessä metsän sisäosia varten.

Mittaukset tehtiin Sodankylässä Ilmatieteen laitoksen Lapin Ilmatieteellisen Tutkimuskeskuksen koemetsässä kesällä 2006 ja talvella 2007. Ylhäältä ja alhaalta saapuvaa säteilyä samanaikaisesti mittaava albedometri kiinnitettiin koemetsässä sijainneessa mastossa olevaan kiskoon, jolloin albedometriä voitiin nostaa ja laskea metsän sisällä, tai nostaa metsän yläpuolelle. Albedon mittauksen lisäksi kiinnitimme huomiota erityisesti vallitsevaan säätilaan, koska metsän albedo riippuu myös siitä, onko auringosta tuleva säteily ns. suoraa säteilyä vai onko se pilvisyyden vuoksi hajaantunut tulemaan useista eri suunnista. Talven mittaukset tehtiin sellaisina pilvettöminä päivinä, jolloin puissa oli

raskas lumikuorma ja kesämittaukset enimmäkseen pilvisinä päivinä.

Metsän albedon vaihtelu pystysuunnassa on johdonmukaista ja riippuu mittauskorkeudesta. Metsän albedo pienenee eksponentiaalisesti noustaessa maan pinnalta kohti latvustoa, koska puiden neulasen ovat yleensä tummempia kuin maan pinnan kasvillisuus. Mittauskorkeuden kasvaessa yhä suurempi osa alhaalta päin tulevasta heijastuneesta valosta on peräisin lehtien ja neulasten heijastuksista, joten albedo pienenee. Talvisin tätä vaikutusta on vaikeampi havaita, jos puiden oksat ovat lumen peitossa. Talvisissa mittaustuloksissa on suurempi hajonta kuin kesämittauksissa, joten yhteys albedon ja mittauskorkeuden välillä ei ollut yhtä selkeä. Koska talvimittaukset tehtiin suoran auringonvalon aikoina, puiden runkojen ja oksistojen varjot aiheuttavat ajoittain ongelmia mittauksiin. Lisäksi talvella lumipeitteissä olevien puiden albedo poikkeaa maanpinnasta vähemmän kuin kesällä, joten mittauskorkeuden vaikutusta on hankalampaa nähdä.

Saadut tulokset vastaavat teoreettisten säteilynkuljetusmallien ennusteita melko hyvin. Uskomme lisämittausten ja säteilynkuljetusteorian jatkokehittämisen mahdollistavan jatkossa satelliittimittausten ja maanpinnalla tehtävien albedon vertailumittausten tarkan suhteuttamisen toisiinsa.

■ DI Aku Riihelä ja Tk Terhikki Manninen, Ilmatieteen laitos, Uudet havaintomenetelmät -yksikkö.
Sähköposti aku.riihela@fmi.fi

Md. Nurul Islam, Mikko Kurttila,
Lauri Mehtätalo ja Arto Haara

Metsävaratietojen virheiden tila- tason vaikutusten tarkastelu: esimerkkinä vallittujen puiden pohjapinta-alan mittausvirhe

Seloste artikkelista: Islam, Md.N., Kurttila, M., Mehtätalo, L. & Haara, A. 2009. Analyzing the effects of inventory errors on holding-level forest plans: the case of measurement error in the basal area of the dominated tree species. *Silva Fennica* 43(1): 71–85.

Metsävaratietojen virheistä ja niiden metsikkötason vaikutuksista tiedetään jo paljon. Sen sijaan erilaisten virheiden vaikutuksia metsiköiden käsittelyehdotuksiin ja sitä kautta epäoptimaalisista käsittelyketjuista aiheutuviin taloudellisiin tappioihin on tutkittu selvästi vähemmän. Tutkimuksessa esitetään lähestymistapa tällaisten taloudellisten menetysten (epäoptimaalisuustappioiden) määrittämiseksi metsälötasolla. Lähestymistapaa sovelletaan tutkittaessa vallittujen puiden pohjapinta-alan mittausvirhettä.

Vallittujen puiden mittausvirheet voivat olla hyvin suuria. Vallittujen puiden määrä aliarvioidaan usein; lienee varsin yleistä, että osaa vallituista puista ei oteta lainkaan huomioon mittauksissa. Metsikön kokonaispuuston pohjapinta-alan aliarvio voi kuitenkin johtaa metsikkötason tarkasteluissa harvennuksen viivästymiseen, jos pohjapinta-ala ei ylitä laskennallista harvennusrajaa. Jos taas vallitut puut yhdistetään vallitsevan puuston pohjapinta-alaan, on kokonaispohjapinta-ala oikein. Tällöin kuitenkin esimerkiksi puulajien väliset hintaerot voivat aiheuttaa yli- tai aliarviota hakkuutuloja arvioitaessa. Metsälötasolle asetetut rajoitteet esimerkiksi jäävän puuston kokonaismäärästä voivat aiheuttaa vielä lisää vaikutuksia mm. muiden metsiköiden käsittelyihin.

Tutkimuksessa esitetystä lähestymistavasta määritetään mittausvirheistä aiheutuvien väärien päätösten aiheuttamat epäoptimaalisuustappiot tilatasolla. Lähestymistavan periaate on seuraavanlainen:

- A. Määritä mittausvirheitä sisältävällä aineistolla valituksi tulleiden käsittelyehtojen perusteella realisoituvien nettotulojen arvo, NPV_{err}
- B. Määritä virheettömään mittausaineistoon perustuva nettotulojen nykyarvo NPV_{corr}
- C. Määritä epäoptimaalisuustappio erotuksena $NPV_{corr} - NPV_{err}$

Kohdassa A suunnittelualueen kuvioille simuloidaan ensin käsittelyvaihtoehtoja mittausvirhettä sisältävään aineistoon. Tämän jälkeen muotoillaan koko suunnittelualueen koskeva suunnitteluongelma ja ratkaistaan se esim. lineaarisella ohjelmoinnilla. Tuloksena saadaan virhettä sisältäviin tietoihin perustuva metsäsuunnitelma, joka sisältää jokaiselle kuviolle valitun käsittelyohjelman. Seuraavaksi ratkaisuun valitut käsittelyohjelmat pakotetaan virheettömään aineistoon. Tässä kuitenkin epärealistiset käsittelyt korvataan mahdollisimman samantyyppisillä realistisilla käsittelyillä. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa liian aikaiset harvennukset siirrettiin toteutettavaksi myöhemmillä kausilla. Myöhästyneitä käsittelyjä ei kuitenkaan aikaistettu. Tämän jälkeen voidaan laskea virheellisistä käsittelyistä saatavaa ratkaisua kuvaavien muuttujien arvot (esim. NPV_{err} , jäävän puuston tilavuus ja hakkuumäärät) virheettömään aineistoon perusteella.

Mittausvirheen laskemiseksi käytettiin 67 metsäsuunnittelijan mittaamia aineistoja, jotka oli myös tarkistusmitattu. Suunnittelijat jaettiin vallittujen puusto-ositteiden mittausvirheiden varianssin ja harhan perusteella neljään ryhmään. Jakopisteenä käytettiin varianssin ja harhan mediaania, jolloin yksi ryhmä muodostui suunnittelijoista, joiden mittausvirheen harha ja satunnaisvaihtelu oli pientä, toisessa ryhmässä harha oli pieni mutta satunnaisvaihtelu suurta, kolmannessa ryhmässä satunnaisvaihtelu oli pientä mutta harha suurta ja neljännessä, kaikkein epätarkimmassa ryhmässä sekä harha että satunnaisvaihtelu olivat suuria.

Esimerkkilaskelmia tehtiin kahdelle metsälölle, joista toinen sisälsi 118 kuviota ja toinen 59 kuviota. Myös nämä kuviot oli tarkistusmitattu, jolloin oli mahdollista säilyttää kaikki muut metsiköitä kuvaavat tunnuksat virheettöminä. Vain vallittujen puiden pohjapinta-alaan simuloitiin kullekin suunnittelijaryhmälle ominaista virhettä.

Metsäsuunnitelmia tuotettiin kummallekin met-

sälölle ja kaikille suunnittelijaryhmille kolme kappaletta. Suunnitelma 1:ssä maksimoitiin pelkästään nettotuloja, suunnitelmassa 2 asetettiin rajoite puuston lopputilavuudelle ja suunnitelmassa 3 tämän lisäksi hakkuumäärän oli oltava kullakin 5-vuotiskaudella sama.

Mittausvirheiden tilatason vaikutuksia on vaikea ennakoita. Harhan vaikutus tuloksissa näkyi selvänä: mitä korkeampi oli systemaattinen aliarvio vallitun puuston pohjapinta-alassa, sitä enemmän virheellisillä aineistoilla laaditut metsäsuunnitelmat poikkesivat virheettömällä aineistolla laaditusta suunnitelmasta. Tämä ero johtui erityisesti harvennusajankohtien eroista; virhettä sisältävillä aineistoilla laadituissa suunnitelmissa harvennukset joko viivästyivät tai siirtyivät toteutettavaksi koko 15-vuotiskauden jälkeen. Harvennusten myöhästyminen puolestaan kasvatti metsälön jäävän puuston tilavuutta. Tämän tuloksena suunnitelmissa 2 ja 3 oli mahdollista tehdä enemmän päätehakkuita, joka puolestaan tuotti omistajalle enemmän hakkuutuloja, mutta odotettua pienemmän puuston lopputilavuuden. Tämä oli päätulos toiselle metsälölle tehdyistä esimerkkilaskelmasta.

Toiselle metsälölle tehdyissä esimerkkilaskelmissa tilatason vaikutukset olivat melko erilaisia, sillä metsälötasolla nettotulot olivat pienemmät ja puuston lopputilavuus suurempi kuin virheettömällä aineistolla laadituissa suunnitelmissa. Tämä johtui ensisijassa aineiston puuston suuresta tilavuudesta, käytetyistä rajoitteista ja virheiden seurauksena viivästyneistä harvennuksista, jotka eivät kuitenkaan sallineet päätehakkuiden lisäämistä samalla tavalla kuin toisessa aineistossa.

Vallitun puuston mittausvirheet aiheuttivat koko tilan tasolla tarkasteltuna melko pienet epäoptimaalisuustappiot. Osin tämä johtuu mm. siitä, että tarkastelut rajoittuivat vain inventointia seuraavaan 15-vuotiskauteen eikä esim. myöhästyneiden käsittelyjen vaikutuksia jäljellä olevaan kiertoaikaan arvioitu. Suunnitelmissa 2 ja 3 metsiköille valitut käsittelyt eri suunnittelijaryhmien välillä ja virheettömällä aineistolla laadittuun suunnitelmaan verrattuna poikkesivat kuitenkin melko paljon toisistaan. Esitetty lähestymistapa kuitenkin nostaa esille virheiden vaikutusten arvioinnin uudesta näkökulmasta: sen sijaan että virhettä arvioitaisiin keskineliövirheen avulla, pyrittiin tutkimuksessa mittausvirheen

merkitys arvioimaan rahallisesti tilatasolla. Tämä voi mm. auttaa tekemään päätöksiä siitä, kannattaako omistajien panostaa enemmän tarkempaan puustovarojen inventointiin.

■ MMM Md. Nurul Islam, Joensuun yliopisto; MMT Mikko Kurttila, Metla, Joensuun tutkimusyksikkö; MMT Lauri Mehtätalo ja MMT Arto Haara, Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos.
Sähköposti nurul.islam@joensuu.fi

Jani Heikkilä, Matti Sirén, Anssi Ahtikoski, Jari Hynynen, Tiina Sauvula ja Mika Lehtonen

Energiapuuharvennus osana männyn ja kuusen kasvatusta

Seloste artikkelista: Heikkilä, J., Sirén, M., Ahtikoski, A., Hynynen, J., Sauvula, T. & Lehtonen, M. 2009. Energy wood thinning as a part of the stand management of Scots pine and Norway spruce. *Silva Fennica* 43(1): 129–146.

Lämpö- ja voimalaitokset käyttivät vuonna 2007 metsähaketta noin 2,7 milj. m³. Määrä on vajaa viidennes teknisesti korjattavissa olevasta potentiaalista. Käyttö kääntyi vuonna 2007 lievään laskuun koko 2000-luvun alun kestäneen kasvujakson jälkeen. Nuorista metsistä saatavaa pienpuuhaketta käytettiin noin 0,7 miljoonaa m³. Pienpuuhake on pienten lämpölaitosten korkealaatuinen polttoaine, jolla on merkityksensä myös suurempien laitojen raaka-aineen laadun tasaajana. Pienpuuhake tulee pääosin nuorten metsien hoitokohteilta, jotka ovat taimikonhoidon laiminlyönnin seurauksena tiheitä ja pienirunkoisia. Kohteiden korjuu pelkästään ainespuuksi ei ole kannattavaa ja kokopuuna tapahtuva energiapuun korjuu on järkevä vaihtoehto etenkin silloin, kun ainespuukertymä on alle 20 m³ ha⁻¹. Metsähakkeen hankinta nuorten metsien hoitokohteilta on vaikeista korjuuoloista johtuen riippuvainen tuista, joiden jatkuvuudesta ei ole takeita. Pienpuuhakkeen lisääntyvää tarvetta ei voida tyydyttää nykyisillä toimintamalleilla. Laitosten polt-

toainehuolto ja yrittäjien investoinnit eivät voi perustua oletukseen, että taimikonhoitoa edelleen laiminlyödään. Valtion tuet eivät myöskään saisi rohkaista taimikonhoidon laiminlyönteihin. Nuorissa metsissä on mahdollista tuottaa energiapuuta myös suunnitellusti.

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksessa verrattiin nykysuositusten mukaista ainespuun kasvatusta ja yhdistettyä aines- ja energiapuun kasvatusta, jossa energiapuun tuotanto on suunnitelmallinen osa metsänkasvatusta. Tavoitteena oli selvittää kasvatusvaihtoehtojen vaikutus tutkittujen metsiköiden kiertoajan puuntuotokseen, kasvatuksen taloustulokseen sekä energiapuuharvennuksen kokonaiskannattavuuteen. Kasvatusvaihtoehtojen vertailussa otettiin huomioon kokopuukorjuun aiheuttaman ravinteiden poistuman kasvua vähentävä vaikutus.

Aineistoksi valittiin metsiköitä, joilla taimikonhoito oli tekemättä, ensiharvennukselle ei ollut välitöntä tarvetta ja runkoluku oli yli 4 000 runkoa ha⁻¹. Aineisto käsitti 22 mäntyvaltaista ja 21 kuusivaltaista kivennäismaan metsikköä. Mäntyvaltaiset metsiköt sijaitsivat kuivahkoilla tai tuoreilla kankailla, kuusikot vastaavasti tuoreilla tai lehtomaisilla kankailla. Mäntyvaltaiset metsiköt olivat joko luontaisesti uudistuneita, kylvettyjä tai istutettuja. Kaikki kuusivaltaiset metsiköt olivat istutettuja.

Tutkimusmetsien kasvatusta simuloitiin Motti-simulaattorilla, jonka avulla voidaan vertailla kasvatusvaihtoehtojen puuntuotosta ja taloudellista tulosta kiertoaikana. Osassa männiköistä ja kaikissa kuusivaltaisissa metsiköissä oli merkittävä lehtipuusekoitus. Nämä metsiköt kasvatettiin taimikonhoidon ja energiapuuharvennuksen välillä sekametsiköinä. Männiköt, joissa oli yli 4 000 runkoa ha⁻¹, kasvatettiin puhtaina männiköinä. Ainespuun kasvatuksessa toimittiin metsänhoitosuositusten mukaisesti. Taimikonhoidossa jätettiin männiköissä 2 000 runkoa ha⁻¹ ja kuusikoissa 1 800 runkoa ha⁻¹. Ensiharvennus tehtiin männiköissä 11–13 m ja kuusikoissa 13 m valtapituudessa. Ensiharvennuksessa jätettiin männiköissä 1 000 ja kuusikoissa 900 puuta ha⁻¹. Yhdistetyssä kasvatuksessa taimikonhoidossa jätettiin 3 000–4 000 puuta ha⁻¹. Kasvatettaviksi valittiin mahdollisimman paljon havupuuta ja samalla poistettiin etukasvuiset lehtipuut. Energiapuuharvennus tehtiin 8–12 metrin valtapituudessa ja siinä jätettiin kasvamaan 1 300 mäntyä tai kuusta ha⁻¹. Ensi-/ener-

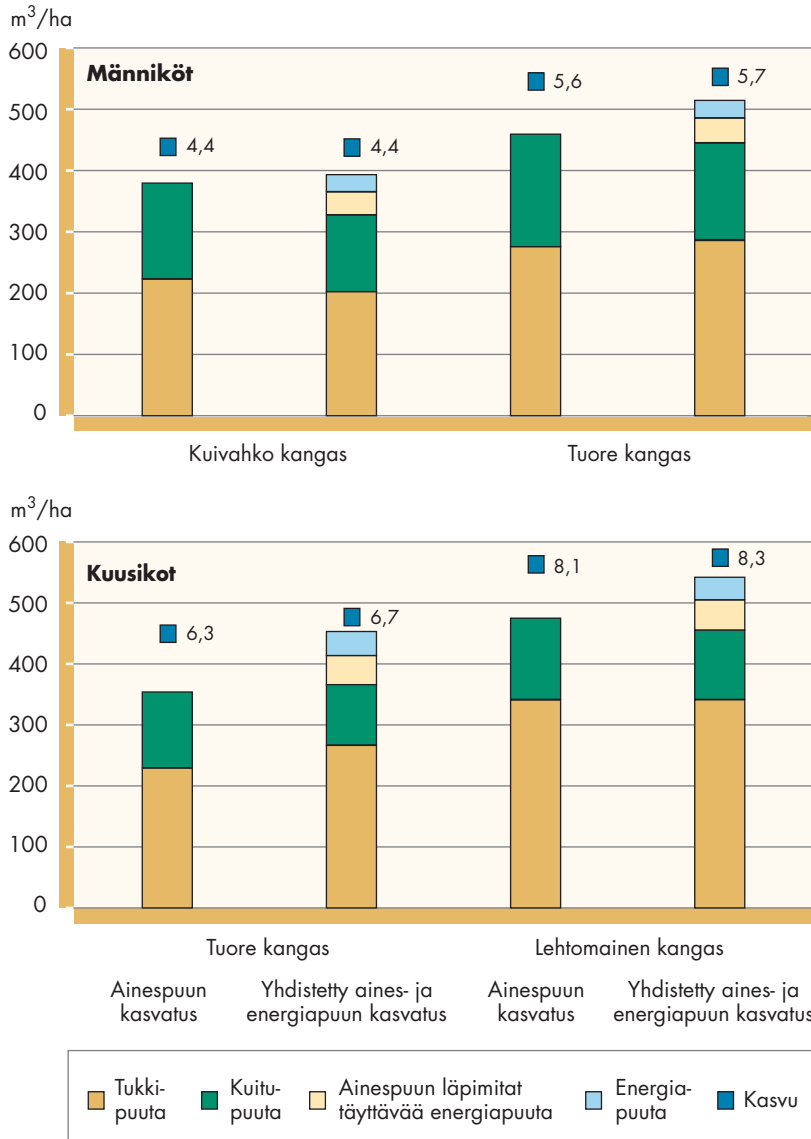
giapuuharvennuksen jälkeen metsiköiden kasvatusta ja hoitoa jatkettiin metsänhoitosuositusten mukaan. Harvennukset tehtiin alaharvennuksina heti harvennuskannan mukaisen leimausrajan ylittyessä. Päätehakkuu tehtiin järeyksikriteerin täytyessä.

Yhdistetyn energia- ja ainespuun kasvatuksen ja perinteisen ainespuun kasvatuksen kannattavuutta verrattiin laskemalla erikseen energiapuuharvennuksen tai ensiharvennuksen kantorahatulot, ja lisäksi molemmissa vaihtoehdoissa myöhempien harvennusten ja päätehakkuun kantorahatulot yhteen. Nämä eri aikoina realisoituvat tulot arvoitettiin nykyarvoina taimikonharvennuksen ajankohtaan. Nykyarvolaskelmissa sovellettiin 2, 3 ja 4 %:n reaalisia korkokantoja ja kantohintoina käytettiin vuoden 2005 keskihintoja. Ensiharvennuksen kantohintoina käytettiin hieman alempia hintoja kuin myöhemmissä harvennuksissa ja päätehakkuussa. Energiapuun kantohintana laskelmissa oli 5 € m⁻³ ja energiapuuharvennuksessa myös ainespuun mitat täyttävät puut korjattiin energiapuuksi. Kemera-tuet otettiin laskelmissa täysimääräisinä huomioon yhdistetyssä aines- ja energiapuun kasvatuksessa siten, että ne pienensivät energiapuun korjuun kustannuksia. Kantorahatulojen nykyarvon lisäksi kasvatusvaihtoehtojen kannattavuutta vertailtiin kuivahkon kankaan männiköillä myös paljaan maan arvon (Faustmanin kiertoaikamalli) mukaan.

Energiapuuharvennuksen kokonaiskannattavuus määritettiin laskemalla yhteen energiapuuharvennuskokkeelle saatavat valtion tuet ja kohteelta saatava energian myyntitulo ja edelleen vähentämällä tästä summasta energiapuuharvennuksen kustannukset sekä haketus- ja kaukokuljetuskustannukset. Tarkastelussa metsähakkeen perushintana lämpölaitoksella oli 12 € MWh⁻¹. Tarkastelu tehtiin myös vaihtoehdolle, jossa valtion tukia ei olisi käytettävissä.

Kokopuukorjuun ravinnetaloudellisten vaikutusten ottamiseksi huomioon Motti-simulaattoriin lisättiin kokopuukorjuun aiheuttamien kasvutappioiden laskenta, joka tehtiin metsästä pois vietävien puun osien määrien ja typpipitoisuuksien pohjalta. Typpimenetykset muunnettiin prosentuaalisiksi kasvutappioiksi käyttäen ruotsalaisia käytännön kokeita kokopuukorjuun kasvuvaiikutuksista.

Kasvatusvaihtoehdolla oli ainoastaan vähäinen vaikutus tutkimusmetsiköiden kasvuun ja kiertoajan puuntuotokseen (kuva 1). Puulajilla ja kasvu-



Kuva 1. Kasvatusvaihtoehtojen puuntuotokset ja vuotuiset keskikasvut kiertoaikana.

paikan lämpösummalla oli suurempi vaikutus kasvuun kuin kasvatusvaihtoehdoilla. Kasvatusvaihtoehdoissa, joissa puustopääoma pidettiin suurempana joko jättämällä taimikonhoidossa enemmän puus-
toa tai viivästyttämällä energiapuuharvennusta, vuotuiset keskikasvut olivat hieman muita vaihtoehtoja suurempia. Myös luontainen poistuma vaihteli kas-

vatusvaihtoehtojen välillä. Energiapuuharvennuksen viivästyttäminen lisäsi ennustettua luontaista poistumaa. Kasvatusvaihtoehtojen kiertoajoissa ei myöskään ollut oleellisia eroja.

Yhdistetyn aines- ja energiapuun kasvatus oli metsänomistajalle yhtä kannattavaa kuin ainespuun kasvatus kuivahkon kankaan männiköillä, kun energia-

puun kantohinta oli 3 € m⁻³ ja tuoreen kankaan männiköillä, kun energiapuun kantohinta oli 5 € m⁻³ (laskentakorkokanta 3 %). Kuusikoissa energiapuun kantohinnan pitäisi olla noin 8 € m⁻³, jotta yhdistetty aines- ja energiapuun kasvatus olisi yhtä kannattavaa kuin ainespuun kasvatus. Integroitu korjuu, jossa aines- ja energiapuuosite korjataan erikseen talteen, parantaisi yhdistetyn kasvatuksen kannattavuutta erityisesti kuusikoissa, joissa energiapuun ja kuitupuun hintaero on suuri.

Kasvatusvaihtoehtojen kannattavuuden vertailu paljaan maan arvoilla männiköissä antoi samansuuntaiset tulokset kuin kantorahatulosten nettohyökyarvoihin perustuva tarkastelu.

Energiapuuharvennusten kokonaiskannattavuus oli varsin riippuvainen valtion tuista. Ilman tukia yksikään energiapuuharvennuskohde ei ollut kannattava, tuettuina kohteet olivat kannattavia. Ilman valtion tukia parhaissakin yhdistetyn kasvatuksen energiapuuharvennuskohdeissa tarvittiin 15 € MW h⁻¹ lämpölaitoshinta kokonaiskannattavuuden saavuttamiseksi.

Yhdistetty aines- ja energiapuun korjuu antaa mahdollisuuden tuottaa huomattavia määriä energiapuuta ilman, että ainespuun tuotanto heikkenee. Ravinnemenetysten aiheuttamilla kasvutappioilla ei ollut oleellista vaikutusta kasvatusvaihtoehtojen edullisuuteen. Jo melko alhaisella energiapuun kantohinnalla yhdistetty kasvatus on männiköissä metsänomistajalle kannattava vaihtoehto. Yhdistetyssä kasvatuksessa energiapuuharvennuksen korjuuolot ovat selvästi paremmat kuin nykyisissä hoitamattomissa energiapuuharvennuksissa, joissa pieni runkokoko on keskeinen ongelma. Yhdistetyssä kasvatuksessa vaikutukset korjuuoloihin ja -kustannuksiin ulottuvat myös energiapuuharvennusta seuraavaan ensimmäiseen ainespuuharvennukseen, jossa erityisesti järeä runkokoko on korjuun kannalta suotuisa. Yhdistetty kasvatus muistuttaa nuoruusvaiheen kasvatusiheyden osalta männyn laatuksavatasta, jolla tähdätään laatuapuun tuotantoon männiköissä.

Yhdistetty aines- ja energiapuun kasvatus antaa mahdollisuuden tuottaa hallitusti merkittäviä määriä energiapuuta, joka päästään korjaamaan kohtuullisista korjuuoloista. VMI9-tulosten mukaan voidaan arvioida, että yhdistettyä kasvatasta voitaisiin soveltaa vuosittain noin 130 000 hehtaarin alalla. Tällöin pelkästään männiköissä olisi mahdollisuus tuottaa yli viisi miljoonaa kuutiometriä energiapuuta vuodessa.

■ MMM Jani Heikkilä, L & T Biowatti Oy, Seinäjoki; MMT Matti Sirén, MMT Jari Hynynen ja DI Mika Lehtonen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö; MMT Anssi Ahtikoski, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen toimintayksikkö; MMM Tiina Sauvula, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, maa- ja metsätalouden yksikkö.

Sähköposti jani.heikkila@biowatti.fi

v ä i t ö s s e l o s t e i t a

Petteri Packalén

Lentoaluksesta suoritettavan laserkeilauksen ja digitaalisten ilmakuvien käyttö puustotunnusten ennustamisessa puulajeittain

Seloste väitöskirjasta: Packalén, P. 2009. Using airborne laser scanning data and digital aerial photographs to estimate growing stock by tree species. *Dissertationes Forestales* 77.

<http://www.metla.fi/dissertationes/df77.htm>

Laserkeilauksen hyödyntäminen metsätaloudellisissa sovelluksissa on herättänyt viime vuosina suurta mielenkiintoa sekä Suomessa että muualla maailmalla. Ilmasta tehtävän laserkeilauksen osalta erityisen kiinnostuksen kohteena on ollut metsävaratiedon tuottaminen metsäsuunnittelun tietolähteeksi eli nykymuotoisen kuvioittaisen arvioinnin korvaaminen. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että keskeiset puustotunnukset, kuten keskipituus, pohjapinta-ala ja tilavuus, voidaan ennustaa erittäin tarkasti hyödyntämällä laserkeilausaineistoa. Suurimmassa osassa tutkimuksista on kuitenkin tarkasteltu vain puuston kokonaistunnuksia, mutta Suomessa puulajikohtaiset puustotunnukset ovat usein ensisijainen kiinnostuksen kohde. Tämän väitöskirjatyön tavoitteena oli kehittää ja tarkastella menetelmiä, joissa kaukokartoitusaineistoja käytetään puulajeittaisessa kuvioittaisen inventoinnissa.

Tutkimuksessa käytettiin kahta testialuetta Itä-Suomessa, jotka edustavat tyypillistä suomalaista hoidettua boreaalista metsää. Tarkastellut puulajit olivat mänty, kuusi ja lehtipuut yhtenä puulajiryhmänä. Puustotunnusten mallinnus tehtiin koealatasolla, mutta ennusteiden tarkkuutta tarkasteltiin myös kuvioittasolla. Tutkimuksessa oli käytössä lähes tuhat metsikkökoealaa jotka oli mitattu tätä tarkoitusta varten. Tutkimus perustuu laserkeilausaineiston ja ilmakuvien yhdenaikaiseen hyödyntämiseen. Lähtökohta on, että laserkeilausaineisto antaa tietoa puuston

määrästä ja että ilmakuvat auttavat erottelemaan eri puulajeja.

Ensimmäisessä osatutkimuksessa verrattiin regressiomallinnuksen ja sumean luokittelun yhdistelmää ei-parametriseen lähimpien naapurien hakuun perustuvaan k-MSN-menetelmään puulajikohtaisten tilavuuksien ennustamisessa. k-MSN osoittautui tarkemmaksi menetelmäksi puulajeittaisten puustotunnusten ennustamisessa kuin regressiolähestymistapa. k-MSN-menetelmä on suoraviivainen, helposti laajennettava ja sillä on helppo tuottaa loogisia ja yhteensopivia ennusteita vaikka selitettäviä muuttujia olisi useita. Toisessa osatutkimuksessa k-MSN-testiä laajennettiin siten, että samanaikaisesti ennustettiin puulajeittain tilavuus, runkoluku, pohjapinta-ala ja pohjapinta-alamediaanipuun läpimitta ja pituus sekä puulajikohtaisten ennusteiden summana kokonaistunnukset. Tämä vastaa suomalaisen kuvioittaisen arvioinnin puustotiedon tietosisältöä olettaen, että lehtipuut käsitellään yhtenä puulajiryhmänä. Ennusteiden tarkkuus oli puulajeittaisten tunnusten osalta verrattavissa nykyiseen kuvioittaiseen arviointiin, mutta kokonaistunnukset pystyttiin tuottamaan tarkemmin kuin mihin nykymuotoisella maastoinventoinnilla käytännössä päästään. Kolmannessa osatutkimuksessa tarkasteltiin kaukokartoitusinformaation käyttöä puulajeittaisten läpimittajakaumien ennustamisessa. Menetelmä, jossa lähimpien naapureiden maastossa mitatut puut muodostavat läpimittajakaumat suoraan, tuotti tarkempia ennusteita kuin menetelmä, jossa läpimittajakauma tuotettiin teoreettisten jakaumaoletusten perusteella. Neljännessä osatutkimuksessa esiteltiin uusi menetelmä hyödyntää oikaisemattomia ilmakuvia, joiden sisäinen ja ulkoinen orientointi tunnetaan. Uudella menetelmällä voitiin välttää kaksi aikaisemmin käytetyn lähestymistavan ominaispiirrettä: ilmakuvien radiometrinen kalibrointi sekä laserpisteiden ja ilmakuvien epätarkka yhdistäminen. Uutta menetelmää on helpompi hyödyntää käytännön metsätaloudessa ja se tuottaa tarkempia arvioita puulajeittaisista puustotiedoista.

Lähimpien naapurien haku osoittautui tehokkaaksi ja monikäyttöiseksi lähestymistavaksi sekä kokonaistunnusten, puulajikohtaisten tunnusten että läpimittajakauman ennustamisessa käytettäessä lähtötietona laserkeilausaineistoa, ilmakuvia ja maastokoealoja. Tutkimuksessa saavutetut puulajikohtaiset

tarkkuudet olivat vähintään yhtä hyviä kuin nykyisin käytetyssä kuvioittaisessa maastoinventoinnissa ja puuston kokonaistunnusten osalta tarkkuus oli jopa parempi.

■ MMT Petteri Packalén, Joensuun yliopisto, metsätieteellisen tiedekunta. Sähköposti petteri.packalen@joensuu.fi.

Annette Schuck

Suomen yliopistollisen metsätieteen koulutuksen kehittämistarpeet yhdistyvässä Euroopassa

Seloste väitöskirjasta: Schuck, A. 2009. Perspectives and limitations of Finnish higher forestry education in a unifying Europe. *Dissertationes Forestales* 78.

<http://www.metla.fi/dissertationes/df78.htm>

Metsätieteiden yliopisto-opetus on muuttunut viime vuosikymmeninä Euroopassa erityisesti tutkintojen yhdenmukaistamiseen pyrkivän Bolognan julistuksen johdosta. Lisäksi metsäalalla tarvittava osaaminen on muuttunut metsien taloudellisen merkityksen vähentyessä ja muiden, kuten ekologisten, sosiaalisten ja kulttuuriarvojen merkityksen kasvaessa. Tämä muutos on jo otettu huomioon Keski-Euroopassa metsätieteiden yliopistokoulutuksen sisällössä. Suomessa metsien taloudellinen merkitys on edelleen suuri, mikä on vaikuttanut opetuksen muutostarpeeseen. Tilanne on kuitenkin muuttumassa myös Suomessa. Suomella onkin mahdollisuus hyödyntää muualla Euroopassa saatuja kokemuksia erilaisista metsäalan opetusohjelmista ja niiden antamista työelämävalmiuksista.

Tutkimuksessa analysoitiin metsätieteiden yliopisto-opetuksen muutostarvetta Suomessa ja verrattiin sitä Saksan, Itävallan ja Alankomaiden yliopistoissa tapahtuneeseen kehitykseen. Lisäksi tutkittiin suomalaisten sidosryhmien näkemyksiä metsätieteellisen yliopistokoulutuksen saaneiden osaamistarpeista ja erityisesti eroista alemman ja ylemmän korkeakoulututkinnon välillä. Kolmas tavoite oli selvittää Suomessa opiskelevien metsätieteiden opiskelijoiden motivaatio,

tyytyväisyys opintoihinsa ja näkemys opintojen sisältöjen vaikutuksesta työllistymiseen.

Metsätieteiden yliopistokoulutuksessa tapahtuneesta muutoksesta 1990–2005 kerättiin tietoa kahdesta suomalaisesta yliopistosta, neljästä saksalaisesta, yhdestä itävaltalaisesta ja yhdestä alankomaalaisesta yliopistosta. Yliopistojen nimeämät asiantuntijat vastasivat kyselylomakkeeseen, osallistuivat haastatteluun ja toimittivat tilastotietoja. Suomalaisten sidosryhmien näkemyksiä tutkittiin kyselylomakkeella, johon vastasi 116 metsäalalla työskentelevää asiantuntijaa, jotka edustivat mm. tutkimusta, koulutusta, hallintoa, teollisuutta, neuvontaa ja etujärjestöjä. Suomessa metsätieteiden yliopistop opiskelijoille suunnattuun kyselyyn vastasi yhteensä 151 suomalaista ja ulkomaalaista opiskelijaa.

Kansainvälinen suuntaus oli laajentaa metsätieteiden opintojen sisältöä ja valmistuneiden osaamisalaa. Tämän seurauksena useita tiedekuntia ja niissä suoritettavia tutkintoja oli nimetty uudelleen (esim. metsätalouden muuttaminen metsätieteiksi tai luonnonvarojen hoidoksi). Saksassa, Itävallassa ja Alankomaissa metsätieteet olivat kärsineet vähäisistä opiskelijamääristä, mutta Suomessa metsätieteellisten opintojen suosio jatkui hyvänä tarkastelujaksolla sekä suomalaisten että ulkomaalaisten opiskelijoiden keskuudessa. Niin Suomessa kuin muissakin tutkituissa maissa vastavalmistuneiden työllistyminen osa-aikatöihin ja pätkätoihin yleisty ja työttömyysjaksot pitenevät. Asiantuntijahaastatteluista kävi ilmi, että Suomessa ja Saksassa yliopisto- ja ammattikorkeakoulututkintojen suhde oli ongelmallinen. Erityisesti Suomessa yliopistot eivät pitäneet tarpeellisenä työmarkkinoita palvelemaan suunnattujen kandidaatin tutkintojen kehittämistä. Sidoryhmien osallistuminen opinto-ohjelmien uudistamiseen oli erittäin vähäistä suurimmassa osassa tutkimukseen osallistuneista tiedekunnista.

Suomalaiset sidoryhmät arvostivat metsätieteistä valmistuneilla soveltavia taitoja ja yrittäjäyysasennetta. Vieraan kielen osaamista pidettiin perusedellytyksenä. Näitä taitoja ei kuitenkaan painoteta kursseilla ja opintojaksoilla. Sidoryhmien mielestä alemman korkeakoulututkinnon tulisi painottua soveltaviin taitoihin ottaen huomioon profiloitumisessa ammattikorkeakoulujen tutkintojen sisällöt, kun taas ylemmän korkeakoulututkinnon pitäisi painottaa tutkimus- ja kehitystoimintaan.

Myös opiskelijat näkivät työhön sijoittumisen kannalta keskeisimpinä soveltavat taidot, talousopinnot ja kansainvälisen metsätalouden osaamisen. Yleisesti ottaen opiskelijat olivat tyytyväisiä opintoihinsa (76 %), mutta pettyneitä opetuksen tasoon (47 %) ja erityisesti huonoon työllisyystilanteeseen Suomessa (56 %). Vain 6 % opiskelijoista piti opintoja liian vaikeina ja aikaa vievinä.

Suomessa alempaa korkeakoulututkintoa voisi kehittää soveltaviin taitoihin painottavaksi ja ylempää korkeakoulututkintoa tutkimus- ja kehitystoimintaa painottavaksi sidosryhmien näkemysten mukaisesti. Tässä yhteydessä pitäisi kuitenkin ratkaista alemman yliopistollisen korkeakoulututkinnon ja ammattikorkeakoulututkinnon suhde. Ammattikorkeakoulututkintojen tavoitteenahan oli kouluttaa käytännön osaajia.

Nykyinen työllisyystilanne Euroopan metsäsektorilla asettaa vaatimuksia opintojen kehittämislle. Tarvitaan järjestelmällistä opinto-ohjelmien kehittämistä ja säännöllisiä sidosryhmien kyselytutkimuksia, jotta metsätieteellisiä yliopistotutkintoja voidaan kehittää työmarkkinoita entistä paremmin palveleviksi kokonaisuuksiksi.

■ MMT Annette Schuck, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Sähköposti annschu@yahoo.com

Heikki Ovaskainen

Hakkuukoneen kuljettajien työtekniikka ensiharvennuksella

Seloste väitöskirjasta: Ovaskainen, H. 2009. Timber harvester operators' working technique in first thinning and the importance of cognitive abilities on work productivity. *Dissertationes Forestales* 79.

<http://www.metla.fi/dissertationes/df79.htm>

Hakkuukoneen kuljettajien työympäristö on muuttunut merkittävästi viimeisten 15 vuoden aikana. Samalla, kun kuljettajien fyysinen kuormitus on vähentynyt, on henkisen kuormittavuuden osuus noussut hakkuukonetyön lisääntyneiden vastuiden sekä työskentelynaikaisen päätöksenteon kasvamisen ja nopeutumisen myötä. Lisäksi samaa koko-

luokkaa olevien eri merkkisten hakkuukoneiden ominaisuudet ovat yhdenvertaistuneet. Näiden syiden seurauksena kuljettajan merkitys työn tuottavuuden kannalta on korostunut. Tämä asettaa vaatimuksia myös kuljettajakoulutukselle, ja erityisesti vaikeisiin hakkuuolosuhteisiin, kuten ensiharvennukselle, jossa kuljettajan kyvyt joutuvat suurimmalle koetukselle.

Tämä väitöskirja koostuu neljästä osajulkaisusta ja niiden synteisistä. Tutkimuksen tavoitteina oli 1) selvittää ja kuvata tuottava työtekniikka hakkuukonetyöhön ensiharvennukselle, 2) parantaa kuljettajakoulutusta tuomalla esiin hakkuukonesimulaattoreiden puutteita, 3) selvittää ajouranvarsipuiden merkitys hakkuukoneen sijoittamisen kannalta sekä 4) määrittää hakkuukonetyön kannalta tärkeät kognitiiviset ominaisuudet. Kognitiivisilla ominaisuuksilla tarkoitetaan henkilön tiedonkäsittelyllisiä ominaisuuksia eli toisin sanoen sitä kuinka henkilön muisti, oppiminen, ajattelu, havaitseminen, tarkkaavaisuus, luovuus ja ongelmanratkaisukyky toimivat.

Aineistoa varten kuuden ammattikuljettajan työtä tutkittiin useilla eri tutkimusmenetelmillä: aikatutkimus, työtekniikkahavainnointi, kypäräkameravideokuvaus, hakkuukonesimulaattorihakkuu ja psykologiset testit. Aineiston keruun tavoitteena oli saada mahdollisimman kokonaisvaltainen kuva kuljettajan työskentelystä. Työtekniikan selvittämiseksi ja kuvaamiseksi kukin kuljettaja hakkasi kahdella ensiharvennusleimikolla (a ja b) ja yhdellä päähakkuuleimikolla (c) kolme koealaa järjestyksessä hakkuukokeissa. Koealojen kesto oli 60 minuuttia leimikolla a ja 45 minuuttia leimikoilla b ja c. Hakkuutyön ajanmenekki mitattiin maastotallentimen avulla maastossa, ja työsuoritukselle tehtiin työtekniikkahavainnointi, jossa arvioitiin muun muassa poistettavien puiden ottokulmia, -etäisyyksiä, kaatokulmia, siirtomatkoja ja prosessointipaikkoja suhteessa ajouran keskilinjaan nähden. Lisäksi kolmannella koealalla kuljettajalla oli päässään kypäräkamera, joka tallensi työskentelyn kuljettajan näkökulmasta. Hakkuukonesimulaattorilla suoritettua hakkuututkimuksessa kuljettajille pyrittiin järjestämään virtuaaliseen hakkuukonesimulaattoriin kaikilta osilta samanlainen hakkuutilanne kuin oikeissa maasto-olosuhteissa. Simulaattorilla kuljettajat hakkasivat kaksi koealaa harvennuksella ja yhden pätehakkuulla. Aineistoa kerättiin samoilla aineis-

tonkeruumenetelmillä samojen kerääjien toimesta kuin oikeassakin ympäristössä. Tuloksia verrattiin oikeassa metsässä tapahtuneeseen hakkuukoneyöskentelyyn. Ajouranvarsipuiden merkityksen selvittämisessä hyödynnettiin harvennuksilta kuvattua kypäräkameravideomateriaalia. Videomateriaalilta arvioitiin jäävien ajouranvarsipuiden etäisyyttä koneeseen nähden kuljettajan poistaessa puuta. Poistetusta puusta arvioitiin ottokulma ja -etäisyys, jolloin voitiin laskea ja piirtää poistetun puun sijainti koneeseen nähden ottohetkellä. Kognitiivisten ominaisuuksien määrittämiseksi tutkimuksessa mukana olleet kuljettajat testattiin psykologisten testien avulla henkilökohtaisesti. Heidän lisäksi psykologiisiin ryhmätesteihin osallistui 40 kuljettajaopiskelijaa. Testeiksi oli valittu enemmän visuospatiaalisia ominaisuuksia mittaavia testejä, koska kuljettaja saa suurimman osan informaatiostaan katseensa avulla ja työskentelee hakkuulaitteella kolmiulotteisessa ympäristössä, jossa puilla on tietty paikka suhteessa toisiinsa ja koneeseen.

Selvitettäessä työtekniikkaa ensiharvennukselle huomattiin, että hakkuukoneen hakkuulaitteen liikkumematkat ovat minimoituja, kun työskennellään tuottavasti ensiharvennusolosuhteissa. Hakkuulaitteen vientimatkan poistettavalle puulle tulisi olla lyhyt ja kaadossa puuta tulisi siirtää vain sen verran kuin sujuva työskentely edellyttää. Työ tulisi suunnitella siten, että koneella peruuttamiselta vältyttäisiin ja ei-tuottava aika, kuten esimerkiksi pienten puiden raivaus, olisi minimaalista.

Verrattaessa hakkuukoneyöskentelyä oikeiden olosuhteiden ja virtuaalisen simulaattoriympäristön välillä huomattiin, että tuottavuus pysyi lähes samana harvennusolosuhteissa, mutta päätehakkuuolosuhteissa simulaattorilla tuottavuus oli huomattavasti suurempi. Kolmiulotteisuuden hahmottaminen hidasti hakkuulaitteen vientityövaihetta ja jokseenkin kapea näkyvä koneesta ulos aiheutti ylimääräisiä peruutuksia. Harvennuksella prosessointityövaihe sujui simulaattorilla samassa ajassa kuin oikeissa olosuhteissa, mutta päätehakkuun kohdalla prosessointi eteni liian nopeasti. Syinä tähän olivat puutteen runkojen vikojen mallinnuksessa ja dynaamisissa voimissa: isot rungot olivat liian keveitä. Toisaalta, harvennuksella simulaattorissa samat jäävien puiden aiheuttamat rajoitteet puomityöskentelyssä ovat voimassa kuin oikeassakin ympäristössä. Hak-

kuukonesimulaattorit ovat soveltuvia hakkuukoneyöskentelyn harjoitteluun, kunhan vain harjoittelijat ovat tietoisia simulaattoreiden puutteista.

Kuljettajilla havaittiin olevan yhdenmukainen tapa sijoittaa tutkimuksessa käytetty hakkuukonemalli (Timberjack 1070) ajouralla ajouranvarsipuiden suhteen siten, että tyypillisimmin ajouranvarsipuu sijaitti 1,2 metriä hakkuukoneen puomin jalustasta taaksepäin. Suurin osa poistetusta puusta kaadettiin tästä työpisteestä käsin. Lisäksi havaittiin, että kuljettajat jakavat työskentelyalueen koneen ympärillä työskentelysektoreihin.

Kuljettajakoulutuksen ja -valinnan näkökulmasta psykologiset testit osoittivat, että tuottava ja taitava hakkuukoneella työskenteleminen ei ole selitettävissä yhdellä kognitiivisella ominaisuudella, vaan sen sijaan useiden ominaisuuksien hyvä hallinta vaikutti tärkeämmältä. Tutkimuksen mukaan havainnointi, muistitoimintojen monipuolinen käyttö, ei-verbaalinen päättely, spatiaalinen havainnointi, koordinaatio, keskittyminen ja motivaatio olivat tuottavan hakkuukoneen kuljettajan ominaisuuksia. Lisäksi tulokset antoivat viitteitä skeemojen hyödyntämisestä eri työtilanteissa toimimisesta eli niin sanottujen sisäisten toimintamallien käytöstä.

Tutkimuksen synteesiosassa havainnollistettiin kuvien avulla tuottavan työtekniikan eteneminen ensiharvennusolosuhteissa. Tuottavan työtekniikan laskettiin voivan nostaa tuottavuutta 10–15 %. Lisäksi hakkuukoneen ympärillä eri kohdissa olevien puiden käsittelyä teoretisoitiin. Yhdistämällä tuottava työtekniikka ja ottamalla huomioon kuljettajan kohtaamat kognitiiviset vaatimukset hakkuukoneyöskentelyssä, kuten esimerkiksi työn suunnittelu (esimerkiksi ajourien suunnittelu, poistettavien puiden valinta) ja havainnointi (esimerkiksi puiden laatu), kuljettajakoulusta valmistuvat opiskelijat ovat todennäköisemmin tuottavampia ja valmiimpia kohtaamaan työelämän vaatimukset.

■ MMT Heikki Ovaskainen, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.

Sähköposti heikki.ovaskainen@joensuu.fi