

Juha Laitila, Jani Heikkilä ja
Perttu Anttila

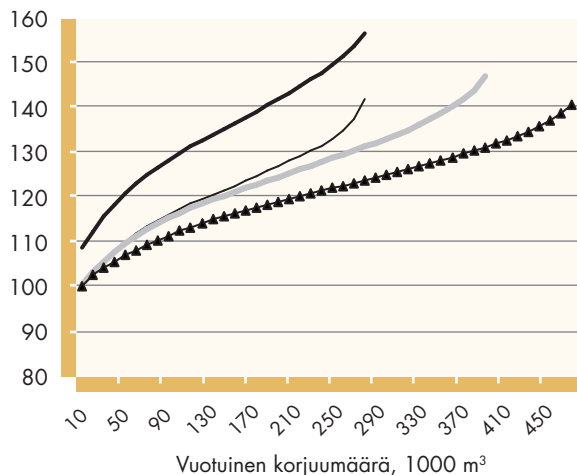
Polttohakkeeksi korjattavan pieniläpimittaisen harvennus- puun korjuuvaihtoehdot, kertymät ja korjuukustannukset Keski-Suomessa

Seloste artikkelista: Laitila, J., Heikkilä, J. & Anttila, P. 2010. Harvesting alternatives, accumulation and procurement cost of small-diameter thinning wood for fuel in Central Finland. *Silva Fennica* 44(3): 465–480. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf443465.pdf>

Tutkimuksessa selvitettiin kokopuusta ja rangasta tehdyn metsähakkeen kertymiä ja korjuukustannuksia Jyväskylässä sijainneelle käyttöpaikalle. Laskelmassa käyttöpaikan hankinta-alueen säde oli 100 km tieverkkoa pitkin. Pieniläpimittaisen harvennuspuun kertymät ja puustotunnukset eri korjuumenetelmillä ja leimikonvalintakriteereillä laskettiin Valtakunnan metsien 9. inventoinnin koelatietojen pohjalta. Rangan katkontapituus oli 3–5 metriä ja katkaisuläpimitta 4 cm. Kokopuuvaihtoehdossa latvusmassan määrä laskettiin puulajikohtaisilla latvusmassayhtälöillä. Energiapuun vähimmäiskertymä oli 25 m³ kokopuuta tai rankaa hehtaarilta. Ainespuumittaisen ja -laatuisen puutavaran enimmäiskertymä oli puolestaan 25 m³ hehtaarilta. Lopullisissa tuloksissa kertymää ei jaoteltu erikseen aines- ja energiapuuhun, vaan em. kriteerit täyttävillä kohteilla kaikki harvennuspoistuman puut oletettiin korjattavan energiakäyttöön joko kokopuuna tai rankana.

Tutkimuksessa hakkuu tehtiin joukkokäsittelylaitteen varustetulla harvesterilla, jolla puu voidaan korjata joko oksineen tai karsittuna. Metsäkuljetus teh-

Suhteellinen korjuukustannus
käyttöpaikalla, %



Kuva 1. Harvennuspuuhakkeen suhteelliset korjuukustannukset käyttöpaikalla eri korjuutavoilla ja leimikonvalintakriteereillä Jyväskylässä. Kokopuuhakkeen suhteellinen käyttöpaikkahinta on 100 % kun korjuumäärä on 10 000 m³/vuosi ja puu korjataan oksineen kaikilta työmailta.

tiin kevyellä metsätraktorilla ja metsäkuljetusmatkat laskettiin kuntakohtaisina keskiarvoina metsäyhtiöiden leimikkotietojen pohjalta. Metsähakkeen toimitusketju tienvarsivarastolta käyttöpaikalle perustui tienvarsihaketukseen ja hake kuljetettiin käyttöpaikalle perävaunullisella hakeautolla.

Vertailulaskelmassa rankahakkeen korjuukustannukset käyttöpaikalla olivat liki neljänneksen korkeammat kuin kokopuuhakkeen. Kustannusero johtui hakkuun tuottavuuserosta, joka aiheutui hakkuukertymän pienenemisestä karsittaessa puut. Metsä-

hakkeen tekninen korjuupotentiaali aleni puolestaan rankana korjuussa 42 % verrattuna kokopuuna korjuuseen. Leimikkotasolla puubiomassan hehtaari-kertymä pieneni, kun oksat ja latvakappaleet jäivät palstalle. Lisäksi rankana korjuussa energiapuun kertymälle asetettu 25 m³/ha vähimmäismäärä oli selvästi vaikeampi ylittää kuin kokopuuna korjuussa, mikä pienensi rankapuun kertymiä kokopuuhun verrattuna aluetasolla.

Rankana korjuussa on myös mahdollista saada kustannussäästöjä ja lisätä metsähakkeen kertymää, mikäli energiapuun karsinnan avulla korjuu voidaan ulottaa niille kohteille, joilta kokopuuna korjuuta on pyritty mahdollisten kasvuhäiriöiden ja -tappioiden vuoksi välttämään. Tällaisia kohteita ovat nykyisten korjuusuositusten mukaan mm. kuusikot, turvemaat ja karut kivennäismaat. Kokopuukorjuu on selvästi edullisin vaihtoehto, jos nykyisiä korjuusuosituksia ei oteta huomioon, vaan kaikki kohteet korjataan oksineen. Kokopuukorjuun rajoittaminen pelkääntään reheville kivennäismaille (pl. kuusikot) laskee alueellista kertymää ja nostaa metsähakkeen korjuukustannusta käyttöpaikalla verrattuna vaihtoehtoon, jossa energiapuuta korjataan em. lisäksi karsittuna kuusikoilta, soilta ja karuilta kivennäismailta.

■ MMM Juha Laitila, MMT Perttu Anttila, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimipaikka; MMM Jani Heikkilä, Biowatt Oy. Sähköposti juha.laitila@metla.fi

Jussi Laurila ja Risto Lauhanen

Kuusen kantojen kosteus pääte-hakkuualoilla ja tienvarsi-varastoissa

Seloste artikkelista: Laurila, J. & Lauhanen, R. 2010. Moisture content of Norway spruce stump wood at clear cutting areas and roadside storage sites. *Silva Fennica* 44(3): 427–434. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf443427.pdf>

Suomen olosuhteissa kuusen kantopuu on merkittävä bioenergian raaka-ainelähde, joka soveltuu erinomaisesti suurten lämpölaitosten polttoaineeksi.

Tuoreen kantopuun massasta suunnilleen puolet on vettä. Logistiikan ja energiakäytön kannalta vesi on ongelmallista, sillä se nostaa kuljetuskustannuksia ja vaikuttaa lämpöarvoon alentavasti.

Käsillä olevan tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää energiakäyttöön korjatun kantopuun kosteus välittömästi korjuun sekä eripituisten kuivumisaikojen jälkeen päätehakkuualoilla sekä tienvarsi-varastoissa. Toisena tavoitteena oli tutkia kantojen kosteuteen vaikuttavia tekijöitä ja niiden välisiä riippuvuuksia. Kolmantena tavoitteena oli selvittää kantopuun lämpöarvo varastointiajan päätyttyä.

Aineisto kerättiin vuosina 2006–2009 neljältä kuusen kannonnostokohteelta Etelä-Pohjanmaalta yhteensä noin 20 hehtaarin alalta. Uudistusalojen päätehakkuu oli tehty 1–6 kuukautta ennen kannonnostoa, joka tehtiin kesä–heinäkuussa 2006. Nostovaiheessa kannot pienettiin useampaan osaan ja jätettiin aluksi kuivumaan hakkuuaukoille noin 20–50 i-m³:n suuruisiin kasoihin. Muutaman viikon kuluessa kannot kuljetettiin tienvarsi-varastoihin. Kosteusnäytteitä otettiin sekä päätehakkuualojen varastokasoista että tienvarsi-varastoista. Ensimmäinen kosteusnäyte otettiin välittömästi kannonnoston jälkeen ja seuraavat kolmen tai useamman viikon välein. Näytteet otettiin aina kasojen pintaosista. Näytteenottoa sijaitsi suunnilleen juurenkärjen ja puun syntypisteen puolella välissä. Näytteitä otettiin yhteensä 333 kpl. Kosteusanalyysit tehtiin kaksivaiheisella lämpökaappimenetelmällä ISO 589:2003(E) -standardiin perustuen. Lämpöarvoanalyysinäytteet otettiin kantomurskeesta ja ne analysoitiin CEN/TS 14918:2005 -standardin mukaan. Kosteus- ja lämpöarvoanalyysinäytteiden lisäksi tutkimuksessa hyödynnettiin Ilmatieteen laitoksen sekä Suomen ympäristökeskuksen keräämiä sääaineistoja.

Välittömästi kannonnoston jälkeen kantojen keskimääräinen kosteus oli 53 %. Kuivumisajan alussa kosteus aleni melko nopeasti ja noin kuukauden kuluessa nostosta kosteus oli enää noin 31 %. Syksyllä kantojen kosteus alkoi hitaasti kohota, mutta ei kovin korkealle. Joka kevät ja kesä kantojen kosteus oli alempi kuin edellisellä vuonna. Alhaisimmillaan kosteus oli heinäkuun alussa ja ylimmillään vuoden lopussa sekä alussa. Kolmen vuoden varastointiajan jälkeen kantopuun lämpöarvo kuiva-aineesta oli 5,24 MWh/ton ja tuhkapitoisuus 1,7 %.

Ilmankosteuden ja kantopuun kosteuden välillä vallitsi heikko epälineaarinen korrelaatio ($r^2=0,31$), kun jätetään huomiotta ensimmäisen kuukauden kosteudet välittömästi kannonnoston jälkeen. Niin ikään lämpötilalla ja kantojen kosteudella oli epälineaarinen korrelaatio ($r^2=0,44$). Vahvin epälineaarinen riippuvuus oli kantojen kosteudella ja kalenteriviikkonumerolla ($r^2=0,51$). Korkein selitysaste tässä tutkimuksessa saatiin neljän selittäjän mallilla ($r^2=0,63$), jossa mukana olivat kalenteriviikkonumero, ilman kosteus, lämpötila ja kuivumisaika.

Suotuisin kannonnostoajankohta on kevät ja alkukesä. Kerran kuivuttuaan kannot eivät enää kovin helposti kastu uudelleen. Tämä johtunee osittain aspiraatiosta. Kuusen rengashuokokset aspiroituvat, kun puuaineen kosteus laskee alle puun syiden kylästympisteeseen (29 %), jonka jälkeen ne eivät enää olennaisesti läpäise vettä. Tutkimuksessa kantojen tuhkapitoisuus (1,7 %) oli hieman korkeampi kuin puuaineen yleensä (0,5 %). Tulos oli kuitenkin alempi kuin mitä kirjallisuudessa esitetään kantojen tuhkapitoisuudeksi 3,8–13,0 %. Pitkä varastointiaika saattaa alentaa tuhkapitoisuutta, koska tällöin kantoihin tarttunut maa-aines irtoaa varastossa sään vaikutuksesta johtuen. Kuusen kantojen lämpöarvo oli kolmen vuoden varastointiajan päätyttyä lähes sama kuin tuoreen puun lämpöarvo kuiva-ainetta kohti tarkasteltuna. Pitkäkään varastointiaika ei näyttäisi vaikuttavan oleellisesti kuusen kantojen lämpöarvoon.

Kosteus on tärkeä tekijä energiapuun käytön kannalta, sillä se vaikuttaa suoraan kuljetuskustannuksiin ja puun lämpöarvoon. Energiakäyttöön korjattuja kantoja voidaan varastoida pitkiäkin aikoja tienvarsivarastossa kantojen poltto-ominaisuuksien siitä kärsimättä. Tämän tutkimuksen kannot olivat hyödynnettävissä tehokkaaseen energiakäyttöön läpi vuoden koko varastointiajan lukuun ottamatta kuukauden kuivumisaikaa noston jälkeen. Tuloksia tarkasteltaessa on muistettava, että kosteusnäytteet otettiin kantokasojen pintaosista. Puuaineen kosteus saattaa vaihdella varastokasan eri osissa. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää perustutkimuksessa sekä kantoenergian kustannustehokkaan hankinnan ja käytön suunnittelussa sekä toteutuksessa.

■ MMM Jussi Laurila, MMT, dosentti Risto Lauhanen, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, maa- ja metsätalouden yksikkö. Sähköposti jussi.laurila@seamk.fi

Mika Nieminen, Erkki Ahti, Harri Koivusalo, Tuija Mattsson, Sakari Sarkkola ja Ari Laurén

Kunnostusojituksen vaikutus kiintoaine- ja ravinnehuuhtoumiin ojitetuilta soilta

Seloste artikkelista: Nieminen, M., Ahti, E., Koivusalo, H., Mattsson, T., Sarkkola, S. & Laurén, A. 2010. Export of suspended solids and dissolved elements from peatland areas after ditch network maintenance in south-central Finland. *Silva Fennica* 44(1): 39–49.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf441039.pdf>

Kunnostusojituksen aiheuttamaa eroosiota eli kiintoaineen huuhtoutumista pidetään pahimpana metsätalouden vesistöhaittana Suomessa. Puroihin ja järviin kulkeutuva kiintoaine aiheuttaa veden samentumista ja heikentää esimerkiksi kalojen ja ravun elinmahdollisuuksia, kun suoja- ja kutupaikat täyttyvät lietteestä ja ravintoeläimet häviävät vesistöjen pohjakasvillisuuden jäädessä maa-aineksen alle. Myös vesistöjen rehevöityminen voi ajan myötä lisääntyä, jos kiintoaineesta alkaa hapettomissa oloissa vapautua fosforia ja muita ravinteita. Aivan viime aikoina on arvioitu, että eräillä EU:n vesipuidedirektiivin mukaisilla vesienhoitoalueilla (esim. Oulunjoen-Iijoen alue) kiintoainekuormitus on vesien suojeletoimenpiteistä huolimatta lähes kaksinkertaista verrattuna tilanteeseen, jossa soita ei olisi ojitettu metsätaloustarkoituksiin.

Metsätalouden vaikutuksia kiintoaine- ja ravinnehuuhtoumiin tutkitaan yleisimmin nk. kalibrintikausi–vertailualue-menetelmällä. Tutkimusmenetelmällä saatuihin tuloksiin liittyy epävarmuutta riippuen lähinnä siitä, kuinka kiinteä on toimenpidealueen ja vertailualueen ravinne- ja kiintoainekuormituksen riippuvuus ennen toimenpidettä nk. kalibrintikaudella. Metsäntutkimuslaitoksen tutkija MMT Ari Laurén on kehittänyt matemaattisia menetelmiä tämän epävarmuuden huomioon ottamiseksi ja tulosten tulkinnan parantamiseksi. Tässä tutkimuksessa Laurénin menetelmää kehitettiin edelleen ja ensimmäistä kertaa laskettiin kiintoaine- ja ravinnekuormitus kalibrintikausi–vertailualue-

menetelmällä käyttäen samassa analyysissä yhtä-aikaisesti aineistoa useilta toimenpide- ja vertailu-alue valuma-aluepareilta.

Tulokset osoittivat, että kunnostusojituksella ei ole vaikutusta vesistöjä merkittävimmin rehevöittäväan liuenneen fosforin ja typen kuormaan. Sen sijaan ojitus lisää moninkertaisesti kiintoainekuormaa sekä kiintoaineeseen sitoutuneiden aineiden, esimerkiksi raskasmetallien huuhtoutumista. Eroosiohaittojen torjumiseksi kunnostusojitusalueen ja alapuolisen vesistön väliin tulisi perustaa nk. pintavalutuskenttä, jonka kautta kunnostusojitusalueen vedet johdetaan alapuoliseen vesistöön. Riittävän suuri pintavalutuskenttä (n. 1% valuma-alueen pinta-alasta) voi pidättää kaiken kunnostusojitusalueelta huuhtoutuvan eroosioaineksen. Tasaisilla alueilla kunnostusojituksen eroosiohaitat ovat kuitenkin edelleen merkittävä ongelma, koska pintavalutus ei niille sovellu ja vaihtoehtoisilla vesiensuojelumenetelmillä (esim. laskeutusaltaat) vesistöihin huuhtoutuvasta eroosioaineksesta saadaan poistettua vain 20–30 %.

■ MMT Mika Nieminen, MMT Erkki Ahti, MMT Sakari Sarkola, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimipaikka; prof. Harri Koivusalo, Aalto-yliopisto, yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos; FT Tuija Mattsson, Suomen ympäristökeskus; MMT Ari Laurén, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimipaikka. Sähköposti mika.nieminen@metla.fi

Sakari Tuominen, Kalle Eerikäinen, Anett Schibalski, Markus Haakana ja Alekski Lehtonen

Metsäbiomassan kartoittaminen monilähdeinventoinnilla

Seloste artikkelista: Tuominen, S., Eerikäinen, K., Schibalski, A., Haakana, M. & Lehtonen, A. 2010. Mapping biomass variables with a multi-source forest inventory technique. *Silva Fennica* 44(1): 109–119. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf441109.pdf>

Luotettavia paikallisia estimaatteja biomassan määräästä tarvitaan muun muassa puustoon si-

toutuneen bioenergian hyödyntämiseen ja ilmasto-
politiikan suunnitteluun. Suomessa metsävarojen inventoinnissa on jo pitkään sovellettu inventointi-
menetelmää, joka perustuu maastomittausten ja satelliittikuvatulkinnan yhdistämiseen. Tässä tutkimuksessa selvitettiin satelliittikuvatulkinnan ja maastomittausten käyttöä karttamuotoisten estimaattien tuottamiseen biomassan määrästä.

Tutkimusaineistona käytettiin Keski-Suomen metsäkeskuksen alueelta vuosina 2004–2006 mitattuja 10. valtakunnan metsien inventoinnin maastokoealoja. Satelliittikuva-aineistona käytettiin viittä Landsat 5 TM -satelliittikuvaa vuosilta 2005–2006. Kuvista kaksi kattoi noin 95 % koko alueen koealoista, ja estimaattien tarkkuudet laskettiin näiden kuvien rajaamassa osajoukossa.

Metsikön kokonaisrunkotilavuuden ohella tutkimuksessa testattiin sekä runko- ja oksabiomassan että lehtien ja neulasten biomassan estimointia. Lisäksi estimointiin puuston maanalaisen ja maanpäällisen biomassan määrät. Tunnuksia määritettiin sekä puulajiryhmille mänty, kuusi ja lehtipuu erikseen että kaikille puulajeille yhteensä. VMI-koealojen puumittauksia täydennettiin sekä koepuutunnusten yleistysmalleilla että yksittäisen puun tilavuuden ja biomassan ennustamiseen laadituilla malleilla. Koepuiden pituuksien ja latvussuhteiden yleistämisessä lukupuille käytettiin lineaarista monivastesekamallia, joka ottaa huomioon puulajitekijät ja on paikallistettavissa kunkin VMI-lohkon eri metsikköön, josta on mittaustietona saatavilla em. koepuutunnukset ja osamallien selittäjät. Lukupuiden pituudet tarvittiin, jotta runkotilavuuden ennustamisessa voitiin käyttää kahden selittäjän (puun läpimitta ja pituus) puulajikohtaisia tilavuusyhtälöitä. Koepuutunnusten yleistämisen jälkeen rungon eri biomassaositteiden määrien ennustamisessa voitiin puolestaan käyttää kolmen selittäjän (puun läpimitta, pituus ja elävän latvuksen pituus) puulajikohtaisia yhtälöitä.

Maastoaineiston koealojen biomassatunnusten estimoinnissa käytettiin Tompon ja Halmeen vuonna 2004 julkaisemaa parannettua k:n lähimmän naapurin (k-*nn*) estimointimenetelmää, jossa kullekin estimoitavalle koealalle haetaan k-kappaletta satelliittikuvapiirteiltään lähinnä samanlaista maastokoealaa. Menetelmässä kuvapiirteinä käytettiin satelliittikuvien alkuperäisten kanavien lisäksi kanavasuhteita ja suuraluekarttaa ja kullekin piirteelle määri-

teltiin painot optimoinnin avulla, missä tavoitteena oli minimoida kuva-alkiokohtaisten puulajitilavuuksien keskivirhettä ja harhaa. Saatuja parametreja sovellettiin biomassoilte eikä niitä optimoitu erikseen. Suuraluekartta sisältää VMI koealojen lohkoittaisten puulajitilavuuksien keskiarvot yleistettynä $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ kuva-alkiokokoon.

Estimaatit laskettiin lähimpien naapureiden painotettuna keskiarvona, jolloin naapurien painoina käytettiin kunkin naapurikoealan euklidisen etäisyyden neliön käänteisarvoa. Estimointi toteutettiin satelliittikuvakohtaisesti, koska eri kuvien sävyarvo-piirteet eivät ole yhteismitallisia kuvausajankohtien eroista johtuen: sekä valaistus- ja ilmakan olosuhteet että kasvillisuuden tila vaihtelevat eri aikoina.

Puuston kokonaisrunkotilavuuden estimointitarkkuus suhteellisena RMSE:nä ilmaistuna oli kivennäismailla noin 68 % ja turvemaiilla 71–73 %. Puulajeittain eriteltynä runkotilavuuden suhteellinen RMSE oli kivennäismailla 95–180 % ja turvemaiilla 86–229 %. Runkobiomassan määrän osalta tulokset olivat hyvin samanlaiset kuin runkotilavuuden kohdalla. Edellisiin verrattuna oksabiomassan määrän estimointitarkkuus oli selvästi parempi ja lehti- ja neulasbiomassan estimointitarkkuus jonkin verran parempi. Koko maanpäällisen biomassan suhteellinen RMSE vaihteli kivennäismailla 65–66 % ja turvemaiilla vastaavasti 70–71 %. Maanalaisen biomassan suhteellinen RMSE oli 60 % kivennäismailla ja 65 % turvemaiilla määritettynä. Puulajeittain eriteltujen biomassojen estimointivirheet olivat tyypillisesti hyvin suuria, kuten runkotilavuuden tapauksessa. Männyn osalta estimointitarkkuus oli paras eritoten turvemaiilla ja kuusen osalta yleisesti heikoin. Tulos on todennäköisesti seurausta siitä, että männyllä oli suurin osuus tutkimusalueen puustosta. Toisaalta lehtipuusto tyypillisesti erottuu satelliittikuvalla hyvin havupuustosta, vaikka sen keskimääräinen osuus tilavuudesta olisikin pienempi. Maanalaisen biomassan maanpäällistä biomassaa parempi estimointitarkkuus lienee osaltaan seurausta mallien käytöstä biomassatunnusten estimoinnissa, mutta tulosta voitaneen selittää myös maanalaisen biomassan ja maanpäällisten, satelliittikuvaheijastukseen vaikuttavien rungon osien välisellä korrelaatiolla.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että tässä tutkimuksessa käytetty maastomittaukset, biomassamallit ja satelliittikuvamateriaalin yhdistävä mene-

telmä sopii biomassatunnusten kartoittamiseen yhtä hyvin kuin puuston tilavuuden kartoittamiseen. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää kehitettäessä kansainvälisen ilmastopolitiikan edellyttämiä seurantaajärjestelmiä, joiden avulla on tarkoitus määrittää muutokset metsäkadosta aiheutuissa kasvihuonekaasupäästöissä ja kompensoida laskennallisesti osoitettu vähennys kehitysmaille osana kansainvälistä päästökauppaa.

■ MMT Sakari Tuominen, MMM Markus Haakana, MMT Aleksis Lehtonen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimipaikka; MMT Kalle Eerikäinen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuu toimipaikka; Dipl.-Geökol. Anett Schibalski, Universität Potsdam, Saksa. Sähköposti sakari.tuominen@metla.fi

Aki Suvanto ja Matti Maltamo

Sekaestimoinnin hyödyntäminen kahden inventointialueen laserkeilainaineistojen yhdistämisessä

Suvanto, A. & Maltamo, M. 2010. Using mixed estimation for combining airborne laser scanning data in two different forest areas. *Silva Fennica* 44(1): 91–107. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf441091.pdf>

Lentävästä aluksesta tehtävä laserkeilaus on nykyään tarkin metsän inventoinneissa käytetty kaukokartoitusaineisto. Uusia metsän inventointeja suunniteltaessa maastotyökustannuksia voitaisiin vähentää, mikäli aikaisempien inventointialueiden maastossa kerättyjä koeala-aineistoja voitaisiin hyödyntää muillakin inventointialueilla. Maastoaineiston uudelleen käyttöä vaikeuttaa laserkeilain laitteiden jatkuva uudistuminen sekä vaihtuvat keilainparametriasätykset, jotka aiheuttavat eroja laserkeilausaineistojen ominaisuuksiin. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli soveltaa sekaestimointia olemassa olevan ja uuden koeala-aineiston yhdistämisessä aluepohjaisen laserkeilausinventoinnin referenssiaineistoksi. Lisäksi sekaestimointia verrattiin uusien regressiomallien laadintaan pelkästään pienen paikallisen koeala-aineiston avulla. Tutki-

muksessa käytettiin kahta itäsuomalaista inventointialuetta, Juukaa ja Matalansalaa. Alueet sijaitsevat 120 kilometrin päässä toisistaan. Tutkimuksessa Matalansalo oletettiin olemassa olevaksi ja Juuka uudeksi inventointialueeksi. Erilaisia lasertunnuksiin perustuvia regressiomalleja laadittiin puuston keskiläpimitalle- ja pituudelle sekä pohjapinta-alalle, runkoluvulle ja tilavuudelle hyödyntäen Matalansalon kaikkia 472 maastokoealaa sekä 10–212 maastokoealaa Juuasta. Tutkimuksen luotettavuustarkastelut tehtiin Juuan inventointialueella. Tutkimus toteutettiin simuloimalla viittä erilaista mallinrusmenetelmää. Ensimmäinen menetelmä perustui pienimmän neliösumman regressiomalleihin. Toinen ja kolmas menetelmä pohjautuivat puolestaan sekaestimointiin, jossa olemassa oleva ja uusi koeala-aineisto yhdistettiin käyttämällä aineistojen erilaisia keskinäisiä painotuksia. Viimeiset kaksi menetelmää perustuivat uusiin paikallisiin regressiomalleihin joko olemassa olevan inventointialueen regressiomallien selittäjien tai uuteen otokseen pohjautuvien mallien selittäjävalintojen perusteella. Tulokset osoittivat, että verrattuna pienimmän neliösumman regressiomalleihin, sekaestimointi parantaa puustotunnusten ennustamistarkkuutta. Toisaalta, jo 40–50 koealan mittaaminen uudelta inventointialueelta ja uusien mallien rakentaminen tämän otoksen perusteella tuottaa vähintään yhtä tarkkoja puustotunnusennusteita kuin uuden ja olemassa olevan aineiston yhdistäminen.

■ MMM Aki Suvanto, Blom Kartta Oy, Joensuu; prof. Matti Maltamo, Itä-Suomen yliopisto, metsätieteiden osasto. Sähköposti aki.suvanto@blomasa.com

Ilkka Korpela, Hans Ole Ørka, Matti Maltamo, Timo Tokola ja Juha Hyyppä

Laserkeilainperustainen puulajiluokitus – puu- ja metsikkötekijöiden, opetusaineiston koon, laserintensiteetin normalisoinnin sekä keilainmallin vaikutus

Seloste artikkelista: Korpela, I., Ørka H.O., Maltamo, M., Tokola, T. & Hyyppä, J. 2010. Tree species classification using airborne LiDAR – effects of stand and tree parameters, downsizing of training set, intensity normalization, and sensor type. *Silva Fennica* 44(2): 319–339.

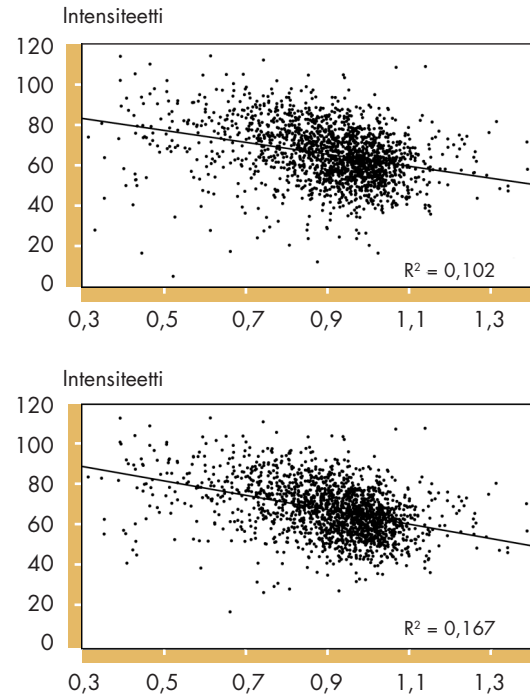
<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf442319.pdf>

Puulajin tai puulajiosuuksien tulkinta on oleellinen osa laserkeilausinventointia, josta mm. puuston määrää koskevien (allometrinen) estimaattien tarkkuus on riippuvainen. Usein keilaukseen yhdistetäänkin ilmakeinvaus tukemaan puulajitulkintaa, mikä kuitenkin lisää kustannuksia ja sääriskejä. Meikäläisiä olosuhteita vastaten on puulajitulkintaa laseraineistosta tutkittu mm. Ruotsissa ja Norjassa, mutta varsin suppeilla aineistoilla. Näissä tutkimuksissa puulajia selittävät piirteet oli johdettu puukohtaisesta intensiteetti- ja korkeusjakaumasta. Korkeusjakaumapiirteet kuvaavat latvuksen muotoa ja pituutta, mikä oli vahva selittäjä männyn ja kuusen välillä Ruotsissa Holmgrenin ym. tekemissä kokeissa. Näissä tutkimuksissa oli käytetty kaikulaseria (discrete-return). Aaltomuotolaseria on tutkittu lähinnä Keski-Euroopassa. Aaltomuotolaserin etuna on kohteesta palaavan kaiun parempi karakterisointi, jolloin luokituksen on käytettävissä mm. kaiun muotoa kuvaavia piirteitä, kun kaikulaserissa on käytettävissä ainoastaan kaiun maksimiampplitudi, jota siis intensiteetiksi kutsutaan. Haittana on jokaisesta pulssista kertyvä aineistomäärä, joka on usein 10–20-kertainen kaikulaseriin nähden. Kohteesta palaavan (takaisinsiroavan) kaiun intensiteettiin vaikuttavat eniten: 1) kohteen heijastusominaisuudet, 2) kohteen geometria (valaisukulma) ja 3) valaistun alueen siluettiala. Muita tekijöitä ovat mm. laserin teho, vastaanottimen asetukset ja herk-

kyys, etäisyys kohteeseen sekä ilmakehän ominaisuudet. Latvuston ”heijastajat” eivät juuri koskaan täytä kokonaan valaistua aluetta, sillä tämä jalanjälki on yleensä suurempi kuin 15 cm halkaisijaltaan. Laserin etu passiivisiin kuviin nähden on laserin monostaattinen mittausta (samasta suunnasta valaisu ja ilmaisu), kun taas kuvilla kohteesta kameraan heijastuva signaali riippuu katselu- ja valaistusgeometriasta. Lisäksi laserfotoneissa on ”aikaleima”, jolloin mm. tausta ei sekoitu latvuksesta saatuun heijastukseen toisin kuin kuvilla.

Tutkimuksemme tavoitteena oli tutkia yhteensä 13 890 maastoon paikannetulla puulla puutason puulajitulkintaa kaikulaserraineistolla. Olimme kiinnostuneita puulajia selittävistä piirteistä, kahden suosittuun sensorin suorituskyvystä, intensiteettisignaalin etäisyys- ja AVS-korjauksesta (automaattinen voimakkuuden säätö), puulajiluokituksen tarkkuuden ja opetusaineiston koon välisestä riippuvuudesta, erilaisten puu- ja metsikkötunnusten vaikutuksesta sekä laserin kyvystä erotella ekologisesti tärkeitä, harvinaisia puulajeja.

Tutkimus tehtiin Juupajoen Hyytiälässä. Käytösämme oli keilaus ALTM3100- ja ALS50-ii-laitteilla pulssitiheyden ollessa noin 6–8 per m² kummallakin. Keilaimet tuottivat 1–4 kaikua per pulssi ja kuhunkin kaikuun liittyi intensiteetti-arvo, joille teimme etäisyys- ja/tai AVS-korjaukset. Lisäksi muodostimme yhdistetyn aineiston, jossa ALS50-intensiteetit normalisoitiin vastaamaan ALTM3100-intensiteettejä käyttäen luonnollisia kohteita kalibroinnin apuna. Meillä oli käytössä 13 317 metsäpuuta ja 570 Hyytiälän metsäaseman lähistön puuta, jotka edustivat harvinaisia puulajeja. Koepuiden pituus vaihteli 2 ja 40 metrin välillä. Kiinteäalaisia täysmitattuja koealoja oli yhteensä 117 kpl. Ikävaihtelu oli 20–140 vuotta kasvupaikkojen painottuessa mustikka- ja puolukkatyyppin boniteeteille. Kaikkien puiden latvapisteet paikannettiin tuoreiden ilmakuvien avulla ja laseraineistoon sovitettiin epälineaarinen latvuksen sädetä kuvaava latvusmalli. Sitä käytettiin rajaamaan kuhunkin puuhun osuneet pulssit ja kaiut, joista laskettiin korkeus- ja intensiteetti-piirteitä. Intensiteetti-piirteet laskettiin raakaintensiteeteille sekä etäisyys- ja AVS-korjatuille intensiteeteille, erikseen ALTM3100- ja ALS50-sensoreille sekä näiden yhdelmälle. Kaiut eroteltiin ensimmäisiin, ainoisiin, ja kaikkiin kaikuihin. Ensimmäisten tai



Kuva 1. Latvuksen ylimmästä neljänneksestä saatu intensiteettien keskiarvo puun suhteellisen pituuden funktiona koivuille. Ylemmässä kuvassa keskiarvo on laskettu ensimmäisistä kauista ja alemmassa kuvassa ainoista (vahvoista) kauista.

ainoiden kaikujen oletettiin edustavan parhaiten latvuksen takaisinsirontaa, sillä niihin ei kohdistu tuntemattomia kulkuhäviöitä latvuston sisällä. Kaikulaserissahan muodostuu useiden metrien sokeita alueita kaiun jälkeen, joista ei kerry tietoa toisin kuin aaltomuotolaserissa. Luokitustyökaluina käytimme sekä parametrisia että ei-parametrisia lähimman naapurin menetelmiä.

Tutkimme ensin yksittäisten piirteiden selitysvoimaa puulajiluokituksessa sekä riippuvuuksia puun iän ja koon suhteen. Havaitsimme mm., että intensiteetti-arvot putoavat tultaessa latvusta alas. Ainoiden kaikujen tapauksessa putoaminen ei ollut yhtä voimakasta, mikä kuvastaa näiden kaikujen luonnetta – ne ovat ”vahvoja osumia”. Takaisinsiroavan pulssin intensiteetti oli voimakas vaahteralla, raidalla ja molemmilla lepillä. Havupuista suurimman vasteen antoi siperianpihta. Heikoin vaste oli kuoleilla puilla. Tulokset kuvastavat intensiteetin riip-

puvuutta kohteen siluettialasta ja geometriasta. Kaikeilla em. lajeilla on tiivis lehvästö ja vaakasuora lehti/neulasasento. Havaitimme koivulla intensiteetin ikäriippuvuuden, jossa intensiteetti oli alhaisempi vanhoille ja kookkaille puille. Selityksemme on vanhojen puiden alhaisempi lehtitiheys. Lisäksi puun suhteellinen asema ja intensiteettitunnukset korreloivat koivulla (kuva 1). Valitsimme vahvat puulajit selittävät piirteet Random Forest -algoritmeilla. Kymmenen vahvimman piirteiden joukkoon valikoitui ainoastaan intensiteetistä johdettuja tunnuksia, jotka koskien koko latvusta tai latvuksen pystysuuntaisia osia.

Teimme näillä piirteillä puulajiluokituksia soveltaen k-MSN menetelmää, joka on eräs variantti lähimmän naapurin tekniikoista. Validointiin käytimme sekä jätä-yksi-pois tekniikkaa että aineiston jakoa opetus- ja testijoukkoon. Puulajiluokituksen tarkkuudet käytettäessä opetukseen satunnaista 2,5, 5, 15 tai 30 %:n osajoukkoa eivät juuri poikenneet toisistaan, vaan tarkkuus oli 88–89 % ollen puulajeittain 92 % männylle, 88 % kuuselle ja 79 % koivulle. Koivun huonompi tarkkuus selittyi intensiteettitunnusten riippuvuudesta iän ja suhteellisen pituuden suhteen, jolloin aineiston ositus esimerkiksi laserista antaman pituuden avulla parantaisi tuloksia. Kokeemme osin vahvistivat em. oletuksen. Luokitustarkkuus oli paras 30–110-vuotiaissa puustoissa. Nuorten puustojen heikko tarkkuus selittyi osin sillä, että pienillä puilla laserpiirteet johdetaan pienestä määrästä latvusosumia, jolloin kohinan osuus lisääntyy. Kasvupaikkojen välillä ei ollut isoja eroja, mutta tarkkuus oli heikointa jäkälätyypin kohteilla, mikä sekin voi osin aiheutua pienistä latvuksista.

Puulajiluokitustarkkuus oli ALS50-keilaimella merkittävästi parempi kuin ALTM3100-keilaimella. Ero saattaa osin johtua siitä, että ALS50-keilaimella oli käytettävissä 20 % enemmän laserosumia per latvus, 50 vs. 38. Keilaukset oli tehty n. 1 km korkeudelta, ja intensiteetin normalisointi keilaimen ja kohteen välisellä etäisyydellä paransi intensiteettitunnusten suorituskykyä. ALTM3100-keilaimessa se voitiin erottaa AVS-korjauksesta, ja hyöty oli 2 %-yksikköä luokitustarkkuudessa. Yhdistetty etäisyys- ja AVS-korjaus paransi ALS50-aineistolla tarkkuutta 7 %-yksikköä. Aiemmissa puulajiluokitus tutkimuksissa näitä korjauksia ei ole tehty, joten

niissä saadut tulokset aliarvioivat todellista tarkkuutta. Yhdistetyssä aineistossa saavutimme parhaimmillaan 91 % luokitustarkkuuden käyttämällä Random Forest -luokitinta ja jätä-yksi-pois-validointia. Tarkkuus oli paras männylle ja heikoin koivulle. Tutkimme luokitusvirheitä logistisella regressiolla, ja puun koko, laserosumien lukumäärä sekä latvusyhteys eri puulajin naapuripuuhun selittivät luokitusvirheen todennäköisyyttä, samoin kuin latvuksen visuaalisesti arvioitu kunto.

Haimme ylärajaa puulajiluokituksen tarkkuudelle. Männy, kuusen ja koivun luokituksessa se oli noin 90 %. Käytimme vain aineistoa, jossa lentokorkeus oli 1 km. Intensiteettitunnukset todennäköisesti tarkentuvat matalammalta keilattaessa. Toisaalta matalalta keilattaessa korostuu intensiteetin etäisyyskorjauksen merkitys, eikä etäisyyskorjaus ole yksikäsitteinen, vaan kohteen geometriasta ja siksi todennäköisesti myös puulajista riippuva. Tuloksissamme korostuivat intensiteetti- ja etäisyyskorjauksen merkitykset, mutta on todennäköistä, että käyttämällä paremmin hyväksi latvuksen pituutta tai muotoa kuvaavia tunnuksia voidaan tuloksia parantaa. Tulostemme mukaan intensiteetti mittaa enemmän latvuston geometriaa ja tiheyttä kuin itse ominaisheijastavuuden eroja. Osoitimme etäisyys- ja AVS-korjauksen merkityksen, joskaan emme optimoineet näihin liittyviä parametreja. Yhdistimme kahden eri keilaimen aineistot käyttämällä luonnollisia kohteita intensiteetin keskinäiseen kalibrointiin. Yhdistetyllä aineistolla saavutettiin parannus tuloksiin, mikä tulkintamme mukaan johtui siitä että käytettävissä oli miltei kaksinkertainen määrä havaintoja per puu. Tutkituista keilaimista Leica ALS50 antoi paremman tarkkuuden käytettäessä intensiteetti- ja etäisyyskorjauksia. Syitä saattoivat olla laitteen parempi dynamiikka (AVS-korjauksen jälkeen), pienempi jalanjälki (signaali-kohinasuhde) sekä suurempi pulssitiheys. Havaintomme koskien puuston iän vaikutusta intensiteettisignaaliin selittivät osaksi koivun huonon erottuvuuden. Myös kasvupaikka vaikutti luokitustuloksiin, joskaan emme voineet tehdä varmoja johtopäätelmiä aineiston epätasapainoisuuden ja eri muuttujien keskinäisen korreloituisuuden takia. Varsin pieni, mutta edustava opetusjoukko riitti puulajiluokittimille. Ekologisesti arvokkaat puulajit kuten raita, tervaleppä ja harmaa-leppä erottuivat selvästi pääpuulajeista intensiteetin puolesta. Sen sijaan haapa tuntui sekottuvan kuu-

seen. Tulostemme mukaan intensiteetti- ja soveltuvuus-vaikutukset aluepohjaiseen tulkintaan, sillä yksittäisistä puista (kohinaisista puukohtaisista jakaumista) muodostuvat alueen summajakaumat tuskin ovat tulkittavissa puulajisuuksiksi kovin luotettavasti. Esitämme selvitettyjä aaltomuotolajien soveltuvuutta puulajitulkintaan Suomessa.

■ Dos. Ilkka Korpela, Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos; MSc Hans Ole Ørka, Norwegian University of Life Sciences, Norja; prof. Matti Maltamo, prof. Timo Tokola, Itä-Suomen yliopisto, metsätieteiden osasto; prof. Juha Hyyppä, Geodeettinen laitos, kaukokartoituksen ja fotogrammetrian osasto
Sähköposti ilkka.korpela@helsinki.fi

Ville Hallikainen, Mikko Hyppönen,
Leena Pernu ja Jouni Puoskari

Yksityismetsänomistajien mielteet metsänkäsittelystä Pohjois-Suomessa

Seloste artikkelista: Hallikainen, V., Hyppönen, M., Pernu, L. & Puoskari, J. 2010. Family forest owners' opinions about forest management in northern Finland. *Silva Fennica* 44(2): 363–384.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf442363.pdf>

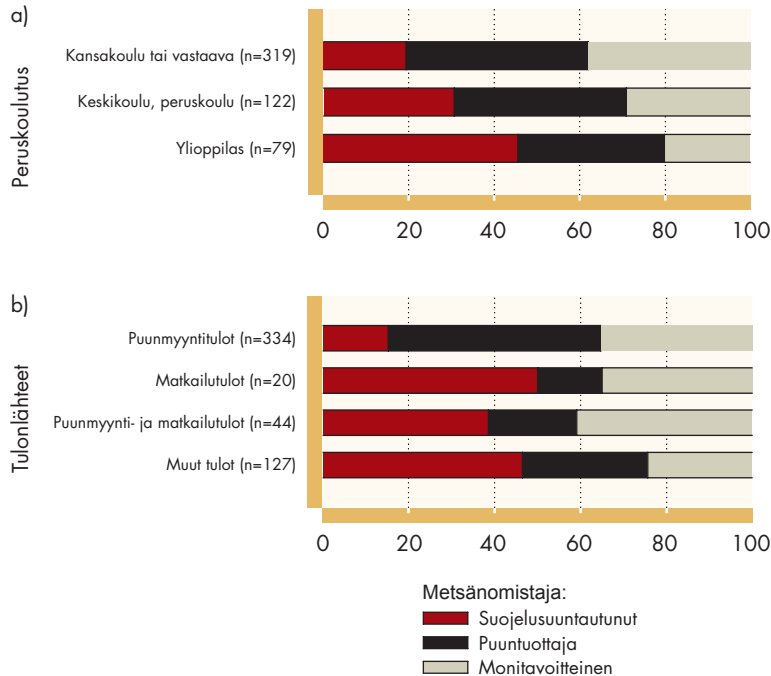
Metsätalous ja metsäteollisuus ovat olleet Suomen talouden selkäranka jo yli vuosisadan. Metsäsektorin taloudellinen merkitys on erityisen suuri maan itä- ja pohjoisosissa. Sodanjälkeisen metsäpolitiikan seurauksena maassa on runsaasti nuoria metsiä, joiden kasvu ja tuotos vain lisääntyvät. Huolimatta tässä suhteessa onnistuneesta metsäpolitiikasta metsänkäsittelyperiaatteet muuttuivat Suomessa 1990-luvun lopulla ja 2000-luvun alussa. Pääsyy lainsäädännön, ohjeiden ja suositusten muuttamiseen oli se, että luonnon monimuotoisuus, maisema, vesistöt ja luonnon eri käyttömuodot hallittiin ottaa puun tuotannon ohella entistä paremmin huomioon. Uusien periaatteiden mukaan tärkeät elinympäristöt jätetään hakkuissa leimikon ul-

kopuolelle, uudistusalueille jätetään kuollutta ja elävää säästöpuustoa, metsänuudistamisessa käytetään kevyitä maanmuokkausmenetelmiä, uudistusalojen kokoa pienennetään ja uudistusalojen välille jätetään käsittelemättömiä alueita ja suojavyöhykkeitä. Lisäksi metsien käsittelyssä suositaan sekametsiä ja metsien luontaista uudistamista. Valtion metsissä uusia periaatteita toteutetaan käyttämällä osallistavaa alue-ekologista suunnittelua.

Nykyiset 1990-luvun lopulla ja 2000-luvun alussa voimaan tulleet lainsäädännön ja ohjeiden muutokset ovat olleet voimassa noin kymmenen vuotta. Eri organisaatiot ovat seuranneet muutosten vaikutuksia metsätalouden käytännön toiminnoissa ja raportoineet seurannan tuloksista. Ei ole kuitenkaan tutkittu, ovatko yksityiset metsänomistajat huomanneet muutokset käytännössä ja miten he suhtautuvat muutoksiin. Tutkimuksemme hypoteesi on, että suurin osa metsänomistajista on huomannut toiminnoissa tapahtuneet muutokset ja suhtautuvat niihin taustasta riippuen positiivisesti.

Muutaman viime vuosikymmenen aikana matkailu ja erityisesti luontomatkailu ovat lisääntyneet maailmanlaajuisesti ja myös Suomessa. Matkailun taloudellinen merkitys on kasvanut myös Pohjois-Suomessa, ja pohjoisimmassa Suomessa elinkeino tarjoaa enemmän työpaikkoja kuin mikään muu paikallisiin luonnonvaroihin perustuva elinkeino. On tavallista, että useita luonnonvarojen hyödyntämiseen suuntautuneita elinkeinoja harjoitetaan samaan aikaan samalla alueella. Puuntuotanto ja matkailu ovat tällaisia jossain määrin toistensa kanssa kilpailevia elinkeinoja. Monet matkailuyrittäjät ja matkailun parissa työskentelevät muut henkilöt ovat metsänomistajia ja haluavat hyödyntää metsiään puuntuotannossa. Tutkimushypoteesimme kuitenkin on, että metsänomistajat, jotka saavat elantonsa myös muista elinkeinoista, eivät halua maksimoida tulojaan puuntuotannosta.

Suomessa on usein tutkittu yksityismetsänomistajien arvoja, tavoitteita ja asenteita. Vastaavia tutkimuksia on tehty myös luontomatkailuyrittäjistä. Tutkimuskysymykset ovat keskittyneet puuntuotantoon, metsien virkistyskäyttöön ja matkailuun. Huomiota ei ole niinkään kiinnitetty metsänomistajien tavoitteiden, asenteiden ja motiivien välisiin suhteisiin. Hypoteesimme on, että ne ovat kiinteässä yhteydessä toisiinsa.



Kuva 1. Metsänomistajan peruskoulutuksen (a) ja tulonmuodostuksen (b) yhteys ryhmittelyanalyysiin perustuvaan metsänomistajaryhmittelyyn. Erot ovat tilastollisesti merkitseviä alle 5 %:n riskitasolla.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin pohjoissuomalaisten yksityismetsänomistajien tavoitteita, motiiveja ja asenteita nykyisiä metsänkäsittelymenetelmiä kohtaan. Tutkimuksessa kehiteltiin myös tavoitteisiin, motiiveihin ja asenteisiin perustuva metsänomistajatypologia. Lisäksi testattiin typologian ja metsänomistajia koskevien taustamuuttujien välisiä suhteita. Moni-imputoidun (Multiple Imputation), monikehyksisestä otannasta johtuen tapaustutkimuksen omaiseksi tulkittavan aineiston analyysissä käytettiin pääkomponenttianalyysiä, log-lineaarisia malleja, kanonisia korrelaatioita ja K-means klusterointia.

Tutkimustulosten mukaan erityisesti kaupallinen puuntuotanto, mutta myös metsien monikäyttö on metsänomistajien mielestä tärkeää. Riistaa, marjoja ja sieniä pidettiin tärkeimpinä kuin luonnon monimuotoisuutta, uhanalaisten lajien suojelua, matkailua tai poronhoitoa. Metsänomistajat hyväksyivät laajasti nykyisten ohjeiden ja suositusten mukaisen

entistä ekologisemman metsienkäsittelyn. Ohjeissa tapahtuneet muutokset oli havaittu myös käytännön toimenpiteissä.

Metsänomistajien tavoitteiden, asenteiden ja motiivien välillä havaittiin läheinen yhteys. Ne metsänomistajat, jotka painottivat ekologista matkailua ja metsien monikäyttöä, hyväksyivät useammin yksittäisen metsien suojelutoimenpiteen ja pehmeämmät käsittelymenetelmät kuin ne, jotka painottivat kaupallista puuntuotantoa. Metsänomistajat tyypiteltiin suojelusuuntautuneiksi, puuntuottajiksi ja monitavoitteisiksi (typologia). Omistajien koulutus ja tulonlähteet heijastuivat läheisesti typologiaan (kuva 1). Korkeimmin koulutetut metsänomistajat ja ne jotka saivat tulonsa matkailusta kuuluivat suojelusuuntautuneiden tai monitavoitteisten metsänomistajien ryhmään. Ne taas, jotka saivat elantonsa metsätaloudesta, kuuluivat puuntuottajien ryhmään.

Tutkimuksen johtopäätöksenä voidaan todeta, että tämän aineiston Pohjois-Suomessa asuvat metsän-

omistajat arvostavat puuntuotantoa. Vaikka enemmistö metsänomistajista on perinteisiä, suuria metsätuloja arvostavia metsänomistajia, ilmeisesti yhä kasvava joukko ansaitsee elantonsa muista lähteistä kuten matkailusta. Uudet metsänhoito-ohjeet helpottavat metsätalouden toimintojen hyväksymistä. Nykyiset menetelmät sallivat monikäyttö- ja suojelevoittoisemman metsätalouden harjoittamisen kuin entiset.

■ MMT Ville Hallikainen, MMT Mikko Hyppönen, mti Leena Pernu, mti Jouni Puoskari, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen toimipaikka. Sähköposti ville.hallikainen@metla.fi