

Paula Horne

## Monimuotoisuutta edistävien keinojen hyväksyntä metsänomistajien keskuudessa – sovellus hypoteettisen valinnan menetelmän käytöstä

Seloste artikkelista: Horne, P. 2006. Forest owners' acceptance of incentive based policy instruments in forest biodiversity conservation – a choice experiment based approach. *Silva Fennica* 40(1): 169–178.

Metsien monimuotoisuus on tyypillinen julkishyödyke, jonka säilymiselle on asetettu kansallisia ja kansainvälisiä tavoitteita ja kehitetty näitä tavoitteita tukevia ohjauskeinoja metsänomistajien päätöksenteon ohjaamiseksi. Tarkasteltaessa monimuotoisuuden turvaamisen tavoitteita pitkällä aikavälillä pitää ottaa huomioon myös sosiaalisen kestävyuden komponentit. Näihin lukeutuu asetettujen tavoitteiden ja toimenpiteiden vaikutukset ja hyväksyttävyyttä eri yhteiskuntaryhmissä. Yksityiset perhemetsänomistajat omistavat 75 prosenttia Etelä-Suomen metsistä. Monet metsien suojelun taloudelliset ja sosiaaliset vaikutukset koskevat nimenomaan tätä yhteiskuntaryhmää.

Tutkimusten mukaan metsätaloudesta saa suurimman tulon noudattamalla intensiivisiä ja laajamittakaavaisia metsänhoidonmenetelmiä lyhyellä kiertokaudella. Metsätulojen on todettu olevan monelle metsänomistajalle tärkeä tulolähde. Keskimääräiset metsätaloustulot hehtaaria kohti vaihtelevat mm. kasvimaantieteellisin vyöhykkein. Tässä tutkimuksessa Suomi jaettiin kolmeen suuralueeseen metsätaloustulojen mukaan. Suojelun taloudelliset vaikutukset metsänomistajan metsätulo-odotuksiin riippuu kuitenkin myös siitä aikoisiko hän hakata metsää. Met-

sänomistajien asenteet metsien monimuotoisuuden suojelua kohtaan vaihtelevat suuresti.

Vuonna 2002 hyväksytyssä METSO-toimintaohjelmassa yksityismetsien monimuotoisuuden suojelussa kokeillaan metsänomistajien vapaaehtoisuuteen perustuvia keinoja ja erilaisia korvaamismenetelmiä. Uusien ohjauskeinojen toivotaan lisäävän suojelun hyväksyttävyyttä ja kustannustehokkuutta sekä valtiolle että metsänomistajille.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin perhemetsänomistajien suhtautumista vapaaehtoisiin metsäluonnon monimuotoisuuden suojelukeinoihin käyttäen hypoteettisen valinnan menetelmää. Erityisesti tarkasteltiin vapaaehtoisen suojelusopimuksen ehtoja, jotka vaikuttavat sopimuksen hyväksyttävyyteen ja korvausvaatimuksen suuruuteen.

Hypoteettisen valinnan menetelmässä (*choice experiment method*) vastaajille esitetään erilaisia valintatilanteita, joissa heidän tulee valita parhaana pitämänsä annetuista vaihtoehdoista. Vaihtoehtoja kuvataan attribuuteilla, joiden tasot vaihtelevat eri vaihtoehdoissa. Tässä tutkimuksessa vaihtoehtoja oli kolme, joista yksi oli kuvattu nykytilanteen jatkumona, jossa yksityismaiden suojelupinta-ala ei lisääntyisi nykyisestäään. Kahdessa muussa vaihtoehdossa kuvattiin suojelusopimusta, jonka sopimustekijät vaihtelivat eri vaihtoehdoissa. Tarkasteltavat sopimustekijät olivat: aloitteentekijä, sopimuksen määräämät käyttörajoitteet, vuosittainen korvaus hehtaaria kohti, sopimuspituus ja sopimuksen peruuttaminen.

Aineisto kerättiin postikyselynä 3 000 satunnaisesti poimitulle metsänhoitomaksua maksavalle metsänomistajalle vuoden 2003 keväällä ennen luonnonarvokaupan varsinaista käynnistymistä. Vastausprosentti oli 42 %. Vastaajien taustamuuttujien perusteella vastaajat edustivat hyvin yksityismetsänomistajia. Ei-vastanneista sadalle tehtiin puhelimitse katokysely.

Noin kolmannes vastaajista oli valinnut nykytilanteen kaikissa annetuissa valintatilanteissa. Vastaa-

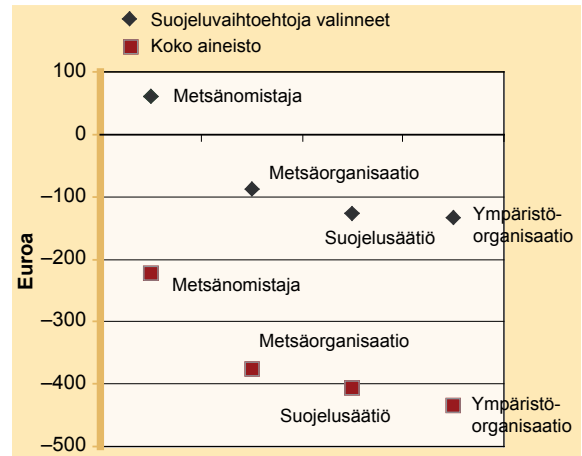
jien suojeleasenteiden heterogeenisyyttä tutkittiin kahden mallin avulla. Toisessa olivat mukana kaikki vastaajat, toisessa olivat jäljellä ainakin jossain valintatilanteessa suojeleasenteiden valinnat vastajat.

Vaihtoehtokohtaiseksi vakioksi (*alternative specific constant, ASC*) määriteltiin nykytilanne. Mallissa, joka perustui suojeleasenteiden valintoihin vastaajiin, vakion kulmakerto oli odotetusti selkeästi suurempi kuin kaikki vastaajat sisältävässä mallissa. Positiivinen ja tilastollisesti merkitsevä kulmakerto osoittaa, että tämän attribuutin omaavan vaihtoehdon todennäköisyys tulla valituksi on suuri.

Ainakin jokin myös muiden attribuuttien, eli sopimustekijöiden, tasosta oli tilastollisesti merkitsevä eli vastaajat pitivät kaikkia sopimustekijöitä tärkeänä valinnalleen. Attribuuttien merkit olivat pääosin samansuuntaiset ja samassa suosituimmuusjärjestyksessä kummassakin mallissa. Metsänomistajan tekemä suojeleasenteiden alullepano oli selkeästi suosituin vaihtoehto. Pienialaisten kohteiden (esimerkiksi haaparyhmien tai lahoppuukeskittymien) suojeleminen tai luonnonhoitosuunnitelmaan perustuva suojeleminen oli myös tavoiteltua. Mitä lyhyemmän sopimusjakson vaihtoehto sisälsi, sitä todennäköisempää sen valinta oli. Myöskin mahdollisimman joustavia sopimusehtoja sopimuksen purkamisen kannalta suosittiin.

Hyvinvointianalyysin perusvaihtoehtoksi valittiin tilanne, jossa metsänomistaja on suojeleasenteiden alullepanija ja pienialaisia kohteita koskeva 10-vuotinen sopimus sitoo niin nykyistä kuin uuttakin omistajaa. Koko aineistoa käyttäen hyvinvointivaikutus oli –224 € suojelettua metsähehtaaria kohti vuosittain. Luku osoittaa korvausmäärän, joka säilyttäisi metsänomistajan hyvinvoinnin ennen sopimusta olleella tasolla. Käytettäessä aineistoa, josta nykytilanteen suosijat oli poistettu, hyvinvointianalyysin tulos oli 62 €. Koska noin kolmasosa metsänomistajista ottaa omaehtoisesti metsiensä hoidossa monimuotoisuuden jollain tavoin huomioon positiivinen tulos ei ole yllättävä. Metsätalouden suuralueilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa hyvinvointianalyysissä, joten metsätaloudellinen vaihtoehtoiskustannus ei näytä olevan määräävä tekijä sopimuksen hyväksymisessä.

Sopimusehtoja muutettaessa hyvinvointivaikutus muuttuu vastaavasti. Esimerkiksi, jos sopimuksen



Aloitteentekijän vaikutus hyvinvointiin koko aineistolla ja suojeleasenteiden valinnat valinnat valinnat.

alullepanija on joku muu kuin metsänomistaja itse, hyvinvointivaikutus on selvästi negatiivinen kummassakin mallissa (ks. kuva). Samoin jos suojeleasenteiden rajoitteena on pienialaisten kohteiden sijasta laajempi ala, joka rauhoitetaan metsätaloustoimilta, hyvinvointivaikutus oli koko aineistolle –400 € ja suojeleasenteiden valinnat –105 €.

Metsänomistajien aloitteellisuuteen ja vapaaehtoisuuteen perustuvat keinot näyttäisivät lisäävän metsien monimuotoisuuden turvaamisen hyväksyttävyyttä. Metsänomistajien välillä on kuitenkin suuria eroja suhtautumisessa luonnon monimuotoisuuden suojelemaan ja erot heijastuivat myös esitettyjen suojeleasenteiden hyvinvointivaikutuksiin, mikä saattaisi pidemmällä aikavälillä parantaa suojeleasenteiden kustannustehokkuutta.

Suojeleasenteiden hankkiminen valtiolle on haluttujen luontotyyppien suojelemiseksi ja suojeleasenteiden pysyvyyden kannalta melko varma ohjauskeino. Suojeleasenteiden politiikka ja sen toteuttaminen ovat kuitenkin monivaiheinen, erilaisten ekologien arvojen ja sosio-ekonomisten vaikutusten ja reunaehtojen kokonaisuus. Ohjauskeinojen kehittäminen ekologiset arvot turvaavaksi, kustannustehokkaaksi ja yhteiskunnallisesti hyväksyttäväksi on haaste politiikan tekijöille.

■ M.Sc. Paula Horne, Metsäntutkimuslaitos, Helsingin toimipiste. Sähköposti paula.horne@metla.fi

Jaana Luoranen, Juha Lappi,  
Gang Zhang ja Heikki Smolander

## Kesällä istutettujen hybridihaavan kloonitaimien maastomenestyminen

Seloste artikkelista Luoranen, J., Lappi, J., Zhang, G. & Smolander, H. 2006. Field performance of hybrid aspen clones planted in summer. *Silva Fennica* 40(2): 257–269.

Kiinnostus istuttaa hybridihaavan taimia on lisääntynyt viime vuosina sekä Suomessa että Baltiassa. Yksivuotiaat paakkutaimet on istutettu perinteisesti toukokuussa. Hybridihaava kasvaa nopeasti, joten istutettaessa taimet ovat yleensä kookkaita (50–100 cm) ja ne on siten kasvatettu tilavuudeltaan kookkaissa paakuissa (500–600 cm<sup>3</sup>). Kasvatustilaa tarvitaan siksi paljon. Lisäksi kookkaiden taimien käsittely, kuljetus ja istutus vaikeutuvat. Kookkaat taimet ovat myös kalliita.

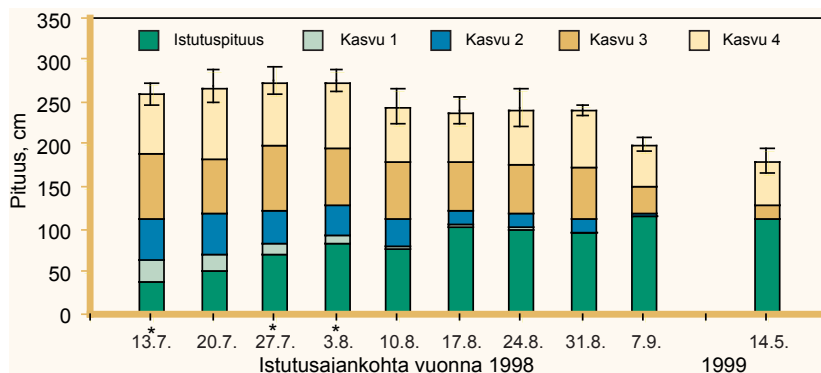
Tutkimuksessa selvitettiin, voidaanko kasvussa olevia lyhyempiä hybridihaavan taimia istuttaa heinäkuussa ja elokuun alussa kasvun ja elävyyden heikkenemättä. Mikrolisätyjä taimia istutettiin kolmeen maastokokeeseen ja juuripistokkaista tuotettuja taimia yhteen maastokokeeseen heinäkuun alkupuolelta syyskuun puoliväliin sekä seuraavan

vuoden toukokuussa. Taimien kehitystä seurattiin mittaamalla taimien pituus ja läpimitta sekä arvioimalla taimien kunto ja mahdolliset tuhon aiheuttajat vuosittain. Yhdessä kokeessa seurattiin taimien juurtumista istuttamalla taimia ruukkuihin kasvihuoneessa ja määrittämällä kolmen viikon kasvatuksen jälkeen paakusta uloskasvaneiden juurien kuivamassa.

Tulosten mukaan sekä mikrolisätyjä että juuripistokkaista tuotettuja hybridihaavan taimia voidaan istuttaa heinäkuussa ja elokuun alkupuolella ilman, että taimien kuolleisuus lisääntyy. Taimien istutuksen jälkeinen kasvu jopa paranee, kun ne istutetaan kesällä eikä syksyllä tai keväällä. Samoin heinäkuussa ja elokuun alussa istutetut taimet juurtuivat paremmin kuin syksyllä tai seuraavana keväänä istutetut taimet.

Tulosten perusteella hybridihaavan kesäistutus on siis mahdollista. Laboratoriossa mikrolisätyt hybridihaavan taimet ovat kalliita, joten niitä käytettäessä ei saada kovin suurta kustannussäästöä. Sen sijaan taimien tuotantokustannuksia voidaan alentaa tuottamalla taimia juuripistokkaista. Lisätutkimuksia juuripistokasmenetelmästä ja sen yhdistämisestä kesäistutukseen kuitenkin tarvitaan.

■ MMT Jaana Luoranen, VTT Juha Lappi ja MMT Heikki Smolander, Metla, Suonenjoen toimipaikka. Sähköposti: jaana.luoranen@metla.fi, juha.lappi@metla.fi, heikki.smolander@metla.fi; Dr. Gang Zhang, Agricultural University of Hebei, China



Hybridihaavan taimien ensimmäisten istutuksen jälkeisten vuosien pituuskasvu. Mikrolisätyt taimet istutettiin vanhalle taimitarhapellolle Suonenjoella heinäkuun puolivälistä syyskuun alkuun vuonna 1998 ja toukokuussa 1999. Taimet kasvatettiin 580 cm<sup>3</sup> paakuissa. Kesällä ja syksyllä istutettujen taimien kokonaispituuden poikkeama keväällä istutetuista taimista on merkitty ao. ajankohdan pylvään alapuolelle tähdellä (\*).

Hannu Salminen ja Risto Jalkanen

## Männyn neulastiheyden mallittaminen Lapissa

Seloste artikkelista: Salminen, H. & Jalkanen R. 2006. Modelling variation of needle density of Scots pine at high latitudes. *Silva Fennica* 40(2): 183–194.

**N**eulastiheys ilmaisee, kuinka monta neulasparia (kääpiöversoa) on yhdellä senttimetrillä vuosikasvainta (kpl/cm). Tutkimuksessa tarkastellaan männyn neulastiheyden ja pituuskasvun välistä yhteyttä sekä arvioidaan säätunnusten vaikutusta neulastiheyteen viidessä lappilaisessa metsikössä. Koemetsiköt sijaitsevat Rovaniemen Vanttauskoskella, Sodankylän Tähtelässä, Inarin Laanilassa ja Kaamasessa sekä Utsjoen Kevolla. Vuosittaiset neulastiheydet ja pituuskasvut mitattiin 49 kaato-koepuusta neulasjälkimenetelmän (NTM) avulla. Havaintosarjat alkoivat puun iästä riippuen 1950–1960-luvuilta ja päättyivät mittaavuoteen 1996.

Neulasjälkimenetelmä perustuu neulasen ja puun rungon väliseen johtosolukkoon, joka näkyy tummanruskeana ”piirtona”, neulasjälkenä, niissä vuosilustoissa, joiden muodostuessa kääpiöverso on ollut elossa. Kun kääpiöverso kuolee, johtosolukon kasvu pysähtyy. Neulasjälkien perusteella ajoitetaan neulasten syntyminen ja kuoleminen koko puun elinajalle.

Keskimääräinen neulastiheys männyllä oli 7,8 kpl/cm. Korkeimmat mitatut tiheydet olivat 20–50 ja alhaisimmat 3–4 kääpiöversoa senttimetrille. Neulastiheys on kasvupaikka- ja puukohtainen tunnus, joten puiden välillä saattaa olla selvä tasoero.

Vuosittain latvakasvaimen syntyvien neulasten määrä vaihtelee vähemmän kuin latvakasvaimen pituus. Niinpä neulastiheys seuraa paljolti pituuskasvua, mutta käänteisesti; hyvinä pituuskasvun vuosina neulastiheys on alhainen ja huonoina korkea. Pituuskasvun ja neulastiheyden välinen yhteys kuvataan epälineaarilla mallilla. Sen mukaan neulastiheys on normaali, kun pituuskasvu vaihtelee normaalin rajoissa kuitenkin niin, että ns. häiriövuosina neulastiheys nousee korkeaksi.

Pituuskasvu ja puun ikä selittivät 50 % mitatusta

neulastiheyden vuotuisesta vaihtelusta. Säamuuttujista ainoastaan huhti–toukokuun sadanta vaikutti lopulliseen neulastiheyteen; tosin riippuvuus oli heikko. Neulastiheyden ja pituuskasvun avulla voidaan sekä laskea vuotuinen neulastuotanto että myös tarkentaa pituuskasvun kuvausta. Neulastiheys kertoo myös poikkeuksellisista kasvuvuosista.

■ MMM Hannu Salminen ja MMT Risto Jalkanen, Metla, Rovaniemen toimintayksikkö. Sähköposti hannu.salminen@metla.fi, risto.jalkanen@metla.fi

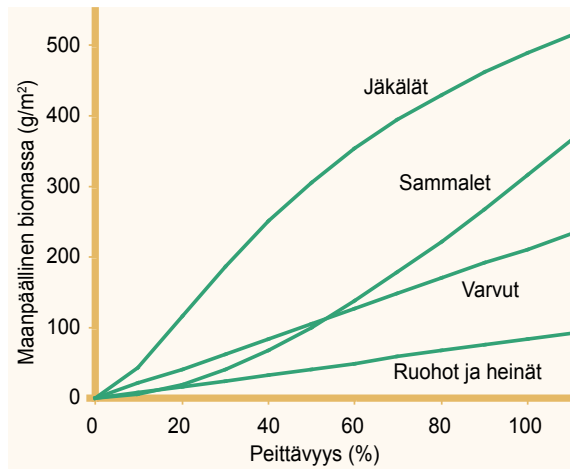
Petteri Muukkonen

## Aluskasvillisuuden biomassan arvioiminen peittävyystiedon avulla

Seloste artikkelista: Muukkonen, P., Mäkipää, R., Laiho, R., Minkkinen, K., Vasander, H. & Finér, L. 2006. Relationship between biomass and percentage cover in understory vegetation of boreal coniferous forests. *Silva Fennica* 40(2): 231–245.

**A**luskasvillisuuden biomassan määrittämiseksi kerätään biomassanäytteitä laboratorioissa punnittaviksi, mistä maastoon jää jäljelle vain aukko mustikkamättäessä kertomaan tutkijan käynnistä. Tällaisen tuhoavan näytteenoton jälkeen saman näytealan mittaaminen uudestaan ei ole mahdollista. Biomassanäytteiden kerääminen, kuivattaminen ja punnitseminen ovat aikaa vievää, työlästä ja kallista, joten laajoissa kasvillisuus- tai ekosysteemitutkimuksissa näytteiden keruuseen perustuva aluskasvillisuuden biomassan määrittäminen ei ole kustannussyistä mahdollista. Sen sijaan aluskasvillisuuden runsautta on valtakunnallisissakin tutkimuksissa arvioitu määrittämällä kasvilajien peittävyudet tutkittavalta alalta.

Tässä tutkimuksessa kehitettyjä malleja käyttäen voidaan peittävyystiedon avulla arvioida kasvien maanpäällistä biomassaa. Tämän tutkimuksen ai-



Aluskasvillisuuden peittävyden ja biomassin välinen suhde kivennäismaiden männiköissä.

neisto koottiin useiden eri tutkimusten aineistoista. Yhteensä aineistoa kertyi 420 näyteruutua, joista 225 sijaitsi kivennäismailla ja 195 turvemailla. Yhteistä aineistoille oli se, että maastosta oli ensin määritetty kasvilajien tai kasviryhmien peittävydet, minkä jälkeen oli punnittu niitä vastaavat maanpäälliset biomassat eli kuivapainot. Eri tutkimusten aineistonkeruumenetelmät sitä vastoin saattoivat erota toisistaan, minkä takia tämän tutkimuksen biomassamallit laskettiin kasviryhmittäin lajeittaisen tarkastelun sijaan. Turvemailla aineisto jaettiin pohja- ja kenttäkerroksiin; kivennäismailla tätä tarkemmin sammaliin, jäkäliin, varpuihin sekä ruohoihin ja heiniin.

Kivennäismaiden sammalten ja jäkälien sekä turvemaiden pohja- ja kenttäkerrosten biomassat ennustettiin epälineaarisen sekamallin

$$y = \frac{u + x^2}{(\beta_0 + \beta_1 \cdot x)^2}$$

avulla. Mallissa  $y$  on kasviryhmän maanpäällinen biomassa,  $x$  on kasviryhmän lajien yhteenlaskettu peittävyys ja  $u$  on satunnaistekijä. Kivennäismaiden varpujen sekä ruohojen ja heinien maanpäällisten

osien biomassa ennustettiin puolestaan origon kautta kulkevan lineaarisen sekamallin

$$y = \beta_1 \cdot x + u$$

avulla. Sekamalleja käytettiin aineiston hierarkisen rakenteen takia; yhdellä koealalla sijaitsi aina useampi näyteruutu. Tällöin aineistossa oli keskenään korreloituneita havaintoja.

Kivennäismaiden sammalten ja jäkälien sekä turvemaiden pohja- ja kenttäkerrosten peittävyden ja biomassin välinen suhde on epälineaarinen (ks. kuva). Epälineaarisuus johtuu kasvilajiston muuttumisesta kasviryhmän yleistymisen myötä hennomista lajeista tiiviimmin kasvaviin lajeihin. Erityisesti sammalryhmän peittävyden kasvaessa yhä suuremman osan sammalpeitteestä muodostaa tiiviisti kasvavat kerrossammal ja kynsisammal. Tässä tutkimuksessa lajikohtainen tarkastelu ei kuitenkaan ollut mahdollista, koska eri tutkimuksista koottu aineisto sisälsi myös vain lajiryhmittäin mitattuja biomassa-arvoja.

Aiemmin on kehitetty tilastollisia malleja aluskasvillisuuden biomassin arvioimiseksi. Heidän tutkimuksiinsa verrattuna tämän työn tulokset pohjautuvat laajempaan aineistoon. Lisäksi aiemmat tutkimukset ovat keskittyneet ainoastaan kivennäismaille, kun tämä työ taas tarjoaa työkaluja myös turvemaiden aluskasvillisuuden biomassin arvioimiseksi peittävyden avulla. Tässä tutkimuksessa oli käytettävissä riittävä aineisto vain aluskasvillisuuden maanpäällisen biomassin mallittamiseksi. Varpujen, ruohojen ja heinien maanalaisten kasvosien biomassa voi olla jopa yli kaksinkertainen maanpäälliseen biomassaansa nähden. Maanalaisten biomassin määrittämiseksi ja maanalaista biomassaa kuvaavien yleistettävien mallien laatimiseksi tarvitaan epäilemättä lisää empiiristä tutkimusta.

■ FM Petteri Muukkonen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö.  
Sähköposti petteri.muukkonen@metla.fi

Juha Lappi

## Tasaisia pituus/ikä-käyriä runkoanalyysistä lineaarisen ohjelmoinnin avulla

Seloste artikkelista: Lappi, J. 2006. Smooth height/age curves from stem analysis with linear programming. *Silva Fennica* 40(2): 291–301.

Runkoanalyysissa runko katkotaan määräväleihin ja lustojen lukumäärät kussakin poikkileikkauksessa lasketaan. Usein myös lustojen leveydet mitataan. Kun runkoanalyysiaineiston avulla laaditaan puun pituus/ikä-käyrä, ongelmana on, että kunkin vuoden pituudesta tiedetään vain, missä pölkkyssä pituuskasvun päätekohta sijaitsee. Kirjallisuudessa on esitetty eri menetelmiä pituus/ikä-käyrien laatumiseksi runkoanalyysiaineistosta. Vuonna 1987 Dyer ja Bailey testasivat ehdotettuja menetelmiä ja totesivat Carmeanin ehdottaman menetelmän parhaaksi. Myöhemmin italialaiset tutkijat kehittivät nk. Issa-menetelmän, joka hyödyntämällä lustojen lukumäärien toisia differenssejä tuottaa tasaisempia pituuskäyriä kuin aiemmin esitetyt menetelmät. Kun pölkkyt ovat lyhyitä, aiemmin esitetyillä menetelmillä estimoiduissa pituuksissa ja pituuskasvuissa on keinotekoista vaihtelua, jota pienentämällä Issa-menetelmä tuotti parempia estimaatteja.

Tässä tutkimuksessa kehitettiin menetelmä, joka tuottaa vielä tasaisempia pituuskäyriä kuin Issa-menetelmä. Menetelmässä minimoidaan estimoitavien pituuksien toisten differenssien itseisarvojen summaa. Estimoitavien pituuksien rajoituksena on tieto siitä, missä pölkkyssä mikin pituuskasvu on päättynyt. Syntyvä minimointitehtävä voidaan ratkaista lineaarisella ohjelmoinnilla. Ratkaisuksi saatava pituuskäyrä voi kuitenkin olla liian tasainen eli se voi poistaa paitsi keinotekoisien vaihtelun myös merkitsevät epälineaariset trendit. Vähemmän tasaisia käyriä saadaan lisäämällä tehtävään rajoituksia, jotka pohjautuvat ajatukseen, että leikkauskohta sijaitsee satunnaisessa kohtaa vuosikasvainia.

Menetelmää testattiin simuloidussa aineistossa. Kun pölkkyt olivat lyhyitä ja pituuskasvu säännöllistä, menetelmä tuotti parempia tuloksia kuin Issa-menetelmä tai Carmeanin menetelmä. Pölkyn

pituuden kasvaessa tai kasvun muuttuessa epäsäännöllisemmäksi uusi menetelmä pysyi pitempään optimaalisena pituuskasvun estimoinnin suhteen kuin pituuden estimoinnin suhteen. Jos pituuskäyrät ja erityisesti pituuskasvut halutaan estimoida tarkasti runkoanalyysin avulla ja katkotaan lyhyitä pölkkyjä, ehdotetun menetelmän vaatima lisätyö saattaa olla perusteltu. Uutta menetelmää pitäisi kuitenkin testata empiirisessä tarkasti mitatussa aineistossa ennen kuin tiedetään, mikä pölkyn pituus on menetelmän kannalta tarpeeksi lyhyt.

■ VTT Juha Lappi, Metla, Suomenjoen toimintayksikkö.  
Sähköposti: juha.lappi@metla.fi

Pekka Hyvönen ja Perttu Anttila

## Metsän muutostunnistus kahden ajankohdan ilmakuvilta

Seloste artikkelista: Hyvönen, P. & Anttila, P. 2006. Change detection in boreal forests using bi-temporal aerial photographs. *Silva Fennica* 40(2): 303–314.

Suomessa metsiköiden puustotiedot on perinteisesti kerätty kuvioittaisella arvioinnilla, jonka kiertonopeus on ollut 10–15 vuotta. Tietojen ajantasaisuusvaatimukset ovat kuitenkin johtamassa metsävaratietojen jatkuvaan ajantasaistukseen. Menetelmässä tietokannat pidetään laskennallisesti ajan tasalla kasvumalleilla ja toimenpidekuvien tiedot mitataan maastossa heti toimenpiteen jälkeen.

Vaikka toimenpidetiedot voidaan tallentaa tapahtuman yhteydessä, tarvitaan esim. myrskytuhojen ja tietokannoissa olevien virheiden selvittämiseksi kontrollimenetelmä. Keski-resolution satelliitteja (esim. Landsat TM) ja ilmakuvia on käytetty menestyksellisesti muutostunnistuksessa. Selvät muutokset, kuten uudistushakkuut ja myrskytuhot, tunnistetaan luotettavasti. Sen sijaan pienten muutosten, kuten harvennusten, tunnistaminen on ollut toistaiseksi epäluotettavaa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko muutostunnistuksen luotettavuutta eri ajan-

kohdan ilmakuvilta parantaa ottamalla ilmakuvat samoista kuvauspisteistä mahdollisimman samaan vuoden- ja kellonaikaan. Lisäksi tarkasteltiin kuvan resoluution, radiometrisen korjauksen, kuvapiirteiden ja metsikkötunnusten vaikutusta muutostunnistuksen luotettavuuteen.

Tutkimusalue sijaitsi Etelä-Pohjanmaalla lähellä Kauhajokea. Kuvioaineisto, 2 361 kpl, oli mitattu kuvioittaisella arvioinnilla vuonna 2002. Pääpuulajeina olivat mänty ja kuusi sekä pääasiallisina kasvupaikoina kuivahkot (42 %) ja tuoreet kankaat (26 %). Kuvioilta oli kerätty toimenpidetieto eri lähteistä vuosien 2001 ja 2004 väliltä. Toimenpidetieto sisälsi tehdyn toimenpiteen laadun ja toteutusvuoden. Osa toimenpiteistä määritettiin ilmakuvien visuaalisella tulkinnalla ja maastokäynneillä. Kuvioaineisto luokiteltiin kolmeen luokkaan toimenpiteen perusteella. Ei muutosta -luokkaan (1 913 kuviota) kuuluivat toimenpiteettömät kuviot (vain kasvu). Lievä muutos -luokkaan (350 kuviota) kuuluivat siemenpuu- ja harvennushakkuut, ylispuiden poisto, taimikon hoito, nuoren metsän kunnostus, maanmuokkaus, kuvion osittainen hakkuu, lievä myrskytuho ja tien rakentaminen. Selvä muutos -luokkaan (98 kuviota) kuuluivat uudistushakkuut ja suuret myrskytuhot.

Tutkimusalueelta oli käytössä kaksi ilmakuvaa, toinen vuodelta 2001 ja toinen vuodelta 2004. Ilmakuvat oli otettu lähes samoista kuvauspisteistä mahdollisimman samaan aikaan. Näin muuttumaton metsikkö näytti samanlaiselta eri ajankohdan kuvilla. Molempien ilmakuvien mittakaava oli 1:30 000, ja ne skannattiin 14  $\mu\text{m}$ :n resoluutiolla. Lopuksi kuvat orto-oikaistiin maastoresoluutioon 0,5 $\times$ 0,5 metriä. Näitä kuvia käytettiin sellaisenaan, minkä lisäksi kuville tehtiin uudelleenotanta maastoresoluutioon 3,0 $\times$ 3,0 metriä, koska osa käytetyistä menetelmistä oli laskennallisesti raskaita. Kuvien radiometriaa korjattiin kanavasuiteilla sekä empiirisesti. Empiirisessä korjauksessa kuvan jokaiselle pikselille laskettiin korjaus riippuen sen sijainnista kuvalla, aurinkokulmista sekä kuvauksen lentosuunnasta ja -korkeudesta.

Kuvioaineisto jaettiin mallinnus- ja testiaineistoksi. Muutosten luokittelufunktiot tehtiin mallinnusaineistossa erotteluanalyysillä, ja niiden luotettavuutta arvioitiin testiaineistossa. Luokittelussa piirteinä käytettiin alkuperäisiltä kuvilta, suhdekuvilta ja radiometrisesti korjatuilta kuvilta irrotettuja piirteitä (yhteensä 93 kpl), joista koottiin 10 piirrejoukkoa käytettäväksi luokittelussa. Lisäk-

si tarkasteltiin, voidaanko vanhoilla kuviotiedoilla parantaa luokitusta. Tämä tehtiin lisäämällä luokituksessa parhaimmaksi havaittuun piirrejoukkoon 13 edellisen inventoinnin kuvio- ja puustotunnusta. Lisäksi luokittelun onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä tarkasteltiin Classification and Regression Tree -menetelmällä ja logistisella regressiolla.

Kuvan resoluution ja radiometrisen korjauksen ei havaittu merkitsevästi vaikuttavan muutostunnistuksen tuloksiin. Piirteiden lisääminen paransi luokittelun tarkkuutta. Sen sijaan vanhojen kuviotietojen lisääminen piirteiksi ei parantanut tuloksia. Parhaalla luokittelulla koko aineiston oikeinluokitusprosentti oli 84,7 % ja  $\kappa$  0,58. Selvät muutokset havaittiin tarkasti, kun taas Ei muutosta ja Lievä muutos -luokat menivät osittain sekaisin. Yliluokitus vaihteli 14,3 ja 24,9 %:n välillä, ja muutoksista jäi löytymättä 15,5–26,1 %. Harvennushakkuista löydettiin 84,2 %, ja 15,8 % luokiteltiin muuttumattomiksi kuvioiksi.

Kuvan reunoilla sijaitsevat muuttumattomat kuviot, joilla oli suuri keskipituus, luokiteltiin usein muuttuneiksi. Lievästi muuttuneilla kuvioilla luokittelu oli epävarminta toisaalta hyvin harvoilla ja toisaalta hyvin puustoisilla kuvioilla. Luokittelu oli erityisen hankalaa lähellä nadiiria olevissa tiheissä metsissä. Ilmakuvia ei ollut oikaistu samanaikaisesti, mistä aiheutui kuvien välille jopa 7 metrin sijaintieroja. Visuaalisessa tarkastelussa havaittiinkin väärin luokiteltujen kuvioiden sijaitsevan usein tien tai aukon vieressä. Samoin varjojen pienikin siirtyminen harvoissa metsissä muuttaa kuvion sävyarvoja ja vaikeuttaa luokittelua.

Muutostunnistuksessa saatiin lievien muutosten tunnistamisessa parempia tuloksia kuin vastaavissa aikaisemmissa tutkimuksissa. Suurimpana ongelmana oli muuttumattomien kuvioiden luokittelu lievästi muuttuneiksi. Tämä rajoittaa menetelmän soveltamista käytäntöön; luokitustulos joudutaan varmistamaan visuaalisesti vertaamalla eri ajankohdan ilmakuvia tai kuviotietoja turhan maastokäynnin välttämiseksi. Jatkotutkimuksissa pyritään löytämään yhä tarkempia menetelmiä muuttumattomien ja lievästi muuttuneiden kuvioiden erottamiseen.

■ MMM Pekka Hyvönen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuu; MMT Perttu Anttila, APP China Forestry. Sähköposti: pekka.hyvonen@metla.fi, perttuanttila@acf.com.cn

Tuomo Nurminen, Heikki Korpunen ja Jori Uusitalo

## Tavaralajimenetelmään perustuvan koneellisen puunkorjuun ajanmenekki

Seloste artikkelista: Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* 40(2): 335–363.

**K**oneellisen puunkorjuun ajanmenekki ja tuottavuus ovat riippuvaisia ennen kaikkea leimikon puusto- ja maasto-olosuhteista, metsäkoneen kuljettajan taidoista sekä käytettävästä työtekniikasta ja metsäkonetyypistä. Vaikka pohjoismaiseen tavaralajimenetelmään perustuva korjuuteknologia on säilynytkin perusratkaisuiltaan hyvin samanlaisena viimeisten 10–15 vuoden ajan, lukuisia koneteknisiä parannuksia on tehty sekä yksiotehakuukoneisiin että kuormatraktoreihin. Samaan aikaan puunkorjuun toimintaympäristö on muuttunut rajusti: useat aiemmin työnjohdolle kuuluneet työtehtävät, kuten ajourien suunnittelu, ovat nykyisin korjuuyrittäjän ja viime kädessä metsäkoneen kuljettajan vastuulla. Leimikoista saatavaa puuraaka-ainetta hyödynnetään entistä tarkemmin. Tämä on lisännyt katkottavien puutavaralajien lukumäärää sekä harvennuksilla että päätehakuilla. Myös tiukentuneet mitta- ja laatuvaatimukset sekä vaatimukset toiminnan kustannustehokkuudesta ovat vaikuttaneet korjuutyöhön. Korjuuteknologian kehittäminen, kuljettajakoulutus sekä kustannus- ja kannattavuuslaskelmat edellyttävät ajantasaista perustietoa työn vaatimasta ajanmenekistä ja ajanmenekkiin vaikuttavien tekijöiden suhteista.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli 1) selvittää nykypäivän koneellisen puunkorjuun ajanmenekkiin ja tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä päätehakuilla ja harvennuksilla ja 2) laatia ajantasaista ajanmenekki- ja tuottavuusmallit keskikokoisille yksiotehakuukoneille ja kuormatraktoreille esimerkkiaineistoon perustuen. Tutkimus rajattiin koskemaan sulan maan aikaista korjuuta ja varsinaista tehollista työaikaa

(tehoaikaa) ilman keskeytyksiä.

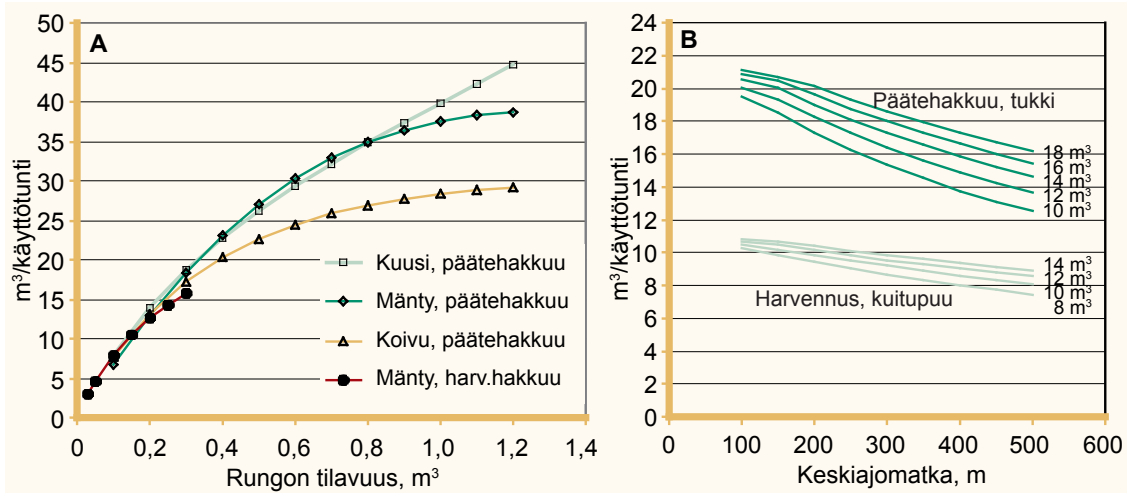
Tutkimus toteutettiin empiirisenä kelloaikatutkimuksena Keski-Suomessa loppukesällä 2004. Aineistoa kerättiin yhdeksältä päätehakuuleimikolta ja viideltä harvennusleimikolta. Päätehakuukohteet olivat sekä kuusi- että mäntyvaltaisia sisältäen myös pieniä määriä koivua. Harvennuksot olivat korjuuajankohdasta johtuen puhtaita männiköitä. Hakkuu- ja metsäkuljetusaineisto kerättiin samoilta leimikoilta. Kohteet olivat maastoltaan helppoja tai helpohkoja.

Tutkimukseen osallistui yhteensä 10 hakkuukoneen ja 9 kuormatraktorin kuljettajaa. Kuljettajat olivat ammattitaitoisia ja tottuneita työskentelemään tutkituissa olosuhteissa ja tutkituilla koneilla. Konekanta koostui 8 yleiskoneluokan yksiotehakuukoneesta ja 8 keskiraskaasta tai raskaasta kuormatraktorista. Perusmenetelmän päätehakuulla oli poikittaishakkuu ja kasaus yhdelle puolelle ajouraa ja harvennuksella ajouramenetelmä 20 metrin uravälillä ja kasaus molemmille puolille ajouraa. Molemissa hakkuumenetelmissä puutavaralajit kasattiin omiin kasoihinsa kuormatraktorin kuljettajan lajitteilytönsä helpottamiseksi. Metsäkuljetusvaiheessa puutavara kuljetettiin joko yksi puutavaralaji kerrallaan tai 2–3 puutavaralajin sekakuormina. Kuormat purettiin tienvarsivarastolla kukin puutavaralaji omaan pinoonsa.

Aineiston keruu tapahtui kuvaamalla hakkuu- ja metsäkuljetustyötä videokameralla. Videoitujen koealojen runko- ja pölkkykohtaiset mitat (pituus, latvalämmitä, tilavuus) saatiin hakkuukoneen runkotiedoista (STM) tai kontrollitulosteista. Hakkuun aineisto koostui yhteensä 640 rungosta päätehakuulla ja 570 rungosta harvennuksilla. Metsäkuljetusaineisto käsitti yhteensä 27 kuormaa.

Hakkuu- ja metsäkuljetustyö jaoteltiin pää- ja osatyövaiheisiin ja työvaiheiden kestot analysoitiin videonauhalla. Runkojen ja pölkkyjen mittatiedot yhdistettiin ajanmenekkeihin ja aineiston pohjalta laadittiin työvaiheittaiset tehoajanmenekkimallit hakkuulle ja metsäkuljetukselle. Kokonaisajanmenekki laskettiin yhdistämällä työvaihekohtaiset ajat. Hakkuulle sovellettiin lisäksi rinnakkaismenetelmänä suoraa tuottavuuden mallinnusta rungon tilavuuden funktiona ilman työvaiheittaista tarkastelua. Mallinnusmenetelminä käytettiin regressioanalyysia ja ajanmenekkien keskitunnuksia.





Rungon tilavuuden vaikutus hakkuun käyttötuntituotokseen (A) ja keskiajomatkan ja kuorman koon vaikutus metsäkuljetuksen käyttötuntituotokseen (B).

Hakkuutapojen välisiä eroja työvaiheaikoihin ja katkonnan vaikutusta rungon käsittelyajanmenekkiin testattiin lisäksi riippumattomien otosten t-testillä ja yksisuuntaisella varianssianalyysillä. Tutkimuksessa havaittu ja mallinnettu tehotuntituottavuus muunnettiin pitkän aikavälin käyttötuntituottavuudeksi (sis. alle 15 min keskeytykset) Kuiton ym. (1994) esittämällä kertoimilla.

Keskeiset hakkuun tuottavuuteen vaikuttavat tekijät olivat rungon tilavuus ja puulaji (ks. kuva A). Puulajien väliset erot suurilla rungoilla johtuivat prosessoinnin (karsinta, katkonta ja kasaus) suuremasta ajanmenekistä männyllä ja erityisesti koivulla, joiden oksisto on karsinnan kannalta hankalampi kuuseen verrattuna. Lisäksi yksi uusi rungolta katkottava puutavaralaji laski tuottavuutta 1–4% rungon koosta riippuen. Tämä johtui lajitteluajanmenekin kasvusta kasausvaiheessa.

Metsäkuljetuksen tuottavuuteen (ks. kuva B) vaikuttivat puutavaralajien hehtaarikertymä (m<sup>3</sup>/ha), ajouravarsitiheys (m<sup>3</sup>/100 m), ajomatka, kuorman koko, puutavaralaji ja kuormatyyppi (lajipuhdas/sekakuorma) sekä hakkuun kasausjälki. Hehtaarikertymän ja ajouravarsitiheyden laskiessa kuormauksen työpistekertymä pieneni, jolloin kuormausvaihe hidastui ja kuormauksen aikainen ajomatka kasvoi. Hakkuukoneen kuljettajan kasausjälki vaikutti sekä kuormauksen työpistekertymään että kasakokoon.

Metsäkuljetuksen ja koko korjuuketjun tuottavuuteen voidaan siten vaikuttaa jo hakkuuvaiheessa. Tämä korostuu erityisesti järeäpuustoisilla päätehakuuleimikoilla, joilla hakkuun keskituottavuus on yleensä selvästi metsäkuljetusta korkeammalla tasolla.

Aineiston rajallisuudesta johtuen tutkimustuloksia ei voida yleistää koskemaan maanlaajuista absoluuttista ajanmenekki- ja tuottavuustasoa. Laadittujen mallien avulla voidaan kuitenkin tarkastella luotettavasti puunkorjuun ajanmenekkiin vaikuttavien tekijöiden riippuvuussuhteita ja suhteellisia eroja. Esimerkkiaineiston leimikko-olosuhteiden ja kone-tyyppien osalta malleilla voidaan myös arvioida suuntaa antavasti nykykorjuuteknologian kehityksen vaikutusta tehotuntituottavuuteen. Kuljettajan vaikutusta työn tuottavuuteen käsiteltiin taustamuuttujana, jonka vaikutusta keskiarvoistettiin mittaamalla useiden ammattikuljettajien työskentelyä samankaltaisilla kohteilla ja konetyypeillä.

Korjuuteknologian kehittyminen on nähtävissä varsinkin hakkuukoneiden ja erityisesti hakkuulaitteiden osalta nimenomaan suurilla rungoilla. Hakkuun tärkein työvaihe, runkojen karsinta ja katkonta, on nykykalustolla jo hyvin tehokasta. Rungon syöttö hakkuulaitteella ja mittaus on nopeutunut ja karsintateknikka parantunut viimeisen 10–15 vuoden aikana selvästi. Suuntaa antava vertailu tämän tut-

kimuksen ja 1990-luvun alun tilanteen (Kuitto ym. 1994) välillä osoitti 10–30 % tuottavuuden nousua päätehakuulla. Erot korostuivat suurilla rungoilla. Harvennusleimikoilla, joilla työn suunnittelun ja yleensä kuljettajan vaikutus työn tuottavuuteen on erityisen merkittävä, ei vastaavaa tasoeroa havaittu.

Kuormatraktoreiden osalta ei ole nähtävissä sellaisia teknisiä parannuksia, jotka vaikuttaisivat merkittävästi tehotuntituottavuuteen. Metsäkuljetuksen tuottavuus päätehakuilla olikin tämän tutkimuksen perusteella hyvin samalla tasolla Kuiton ym. (1994) esittämän kanssa. Sitä vastoin pienirunkoisilla harvennuksilla kuitupuun metsäkuljetuksen tuottavuus oli laskenut jopa 15–20 % 15 vuoden takaiseen tilanteeseen verrattuna. Tätä voivat selittää osaltaan puutavaralajien lukumäärän kasvu ja hakkuun työjäljen muuttuminen ”vähemmän kasaavaksi”. Nämä seikat hidastavat erityisesti kuormausta ja puutavaran lajittelua.

■ MMM Tuomo Nurminen ja MMM Heikki Korpunen, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta; MMT Jori Uusitalo, Metla, Parkanon tutkimusasema. Sähköposti tuomo.nurminen@joensuu.fi, jori.uusitalo@metla.fi