

## MELA2000 ja muuttuva metsänkäsitely

MELA-käyttöpäivä 21.11.2000 Joensuu

Tuula Nuutinen ja Aila Suokas (toim.)

JOENSUUN TUTKIMUSKESKUS





Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.) 2001. MELA2000 ja muuttuva metsänkäsittely. MELA-käyttäjäpäivä 21.11.2000 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 814. 73 s. ISBN 951-40-1789-7, ISSN 0358-4283.

**Julkaisija:** Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

**Hyväksynyt:** Kari Mielikäinen 20.7.2001

**Painopaikka:** Joensuun yliopistopaino 2001

**Toimittajien yhteystiedot:**

Nuutinen, Tuula & Suokas, Aila. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu. Puh. (013) 251 4000, e-mail tuula.nuutinen@metla.fi.

**Kirjoittajien yhteystiedot:**

Kari Mielikäinen, Metsäntutkimuslaitos, Helsingin toimipaikka, Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki. Puh. (09) 857 051, e-mail kari.mielikainen@metla.fi.

Kari Härkönen, Metsäntutkimuslaitos, Helsingin toimipaikka, Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki. Puh. (09) 857 051, e-mail kari.harkonen@metla.fi.

Arto Haara, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu. Puh. (013) 2514000, e-mail arto.haara@metla.fi.

Leena Kärkkäinen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu. Puh. (013) 251 4000, e-mail leena.karkkainen@metla.fi.

Pekka Hyvönen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu. Puh. (013) 251 4000, e-mail pekka.hyvonen@metla.fi.

Jari Hynynen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa. Puh (09) 857 051, e-mail jari.hynynen@metla.fi.

Matti Maltamo, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu. Puh. (013) 251 111, e-mail matti.maltamo@joensuu.fi.

**Copyright:** Metsäntutkimuslaitos

# Sisällys

Alkusanat	
Kari Mielikäinen.....	4
MELA2000	
Tuula Nuutinen.....	7
Säästöpuut ja MELA2000	
Kari Härkönen .....	19
Taimikot ja MELA2000	
Arto Haara ja Leena Kärkkäinen .....	30
Maastomittaukset ja MELA2000	
Pekka Hyvönen.....	44
Muuttunut metsänkäsittely ja MELA - Puuston kehityksen ennustemallien toimivuus	
Jari Hynynen.....	53
Metsävaratietojen optimaalinen hyödyntäminen	
Matti Maltamo.....	62

## Alkusanat

Metsäntutkimuslaitoksen toiminta-ajatuksena on vastikään uudistetun strategian mukaan ”rakentaa metsäalan tulevaisuutta tutkimuksen keinoin”. Tavoitteen saavuttamiseksi tärkeintä on löytää hyviä reaalimaailman kysymyksiä. ”Vääriin” kysymyksiin annetut tarkatkin vastaukset ovat hyödyttömiä. Luotettavien vastausten antaminen ei ole mahdollista ilman edustavia tutkimusaineistoja ja tieteellisesti kelvollisia analyysimenetelmiä.

Kansien väliin kerätty tieto muuttuu hyödylliseksi vasta siinä vaiheessa kun se otetaan käyttöön. Metlan toiminnan yhtenä tehostamisalueena on juuri nyt tutkimustulosten käytäntöön siirto; lyhyemmin sanottuna tutkimustiedon välitys. Toiminta käsittää tulosten julkaisemista entistä käyttökelpoisemmässä muodossa, tietentekijöiden ja asiakkaiden koulutusta, tiivistyvää yhteyttä tiedon käyttäjiin sekä tuotteistamista.

MELA on jo vuosien ajan osoittanut olevansa laitoksen vaikuttavimpia asiantuntijajärjestelmiä. Sillä on tehty huomattava määrä valtakunnallisia, maakunnallisia, alueellisia ja yksittäisiä metsänomistajia koskevia metsien kehitysennusteita ja hakkuulaskelmia. Viime aikoina laskelmat ovat olleet keskeisesti esillä Kansallisen metsäohjelman (KMO) ja alueellisten metsäohjelmien (AMO) laadinnassa.

MELAn käyttäjien yleisin toivomus on entistä helppokäyttöisempi ohjelmisto, joka antaa aiempaa luotettavampia metsien kehitysennusteita entistä pienemmin käyttökustannuksin. Ratkaisevin osa MELAa ei ole kuitenkaan raha, vaan se, mitä rahalla saadaan. Vähättelemättä mitenkään MELAn optimointiosaa haluan kuitenkin väittää, että ohjelmiston kriittisin osa ovat metsien kehitysennusteet; erityisesti niiden takana olevat mallit.

MELAn kehitysmalleja tehdään kolmessa Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusohjelmassa. Metsän uudistuminen, nuoren metsän kehitys, ojitettujen soiden kasvu ja erityisesti aiempaa epämääräisemmäksi muuttunut metsien käsittely ovat tämän päivän suurimpia mallitushaasteita.

Lähes yhtä vaikea haaste kuin kasvumallit ovat laskelmien pohjana käytettävät laskenta-aineistot. Metsäsuunnittelun maastotöissä mitattavat tai arvioitavat metsikön keskitunnukset on muutettava MELAn vaatimaan, yksittäisiä puita koskevaan muotoon. Yksittäisten puiden kasvumalleihin perustuvan metsikön kasvun ennustamisen tarkkuuden on tehdyissä vertailuissa havaittu riippuvan ratkaisevasti siitä, miten hyvin puuston kokojakauma laskentajakson alussa on pystytty ennustamaan.

Järjestyksessään kolmannet MELA-käyttäjätapaamiset paneutuivat tutkimustiedon tuottamiseen ja sen välitykseen monin tavoin. MELA-käyttäjätapaamisten ohjelmaan

on perinteisesti kuulunut uuden MELA-version julkistus. Niin tapahtui tälläkin kertaa.

Päivän aikana tutkijat kertoivat MELA-järjestelmään tehdyistä uudistuksista. Järjestelmän käyttäjät antoivat palautetta MELAn vahvuuksista ja heikkouksista. Puheenvuorojen jälkeen käyty keskustelu oli erittäin tärkeää tulevien, entistä luotettavampia tuloksia tarjoavien MELA-versioiden kehittämistä ja julkistamista ajatellen.

Helsingissä 20.7.2001

Kari Mielikäinen





# MELA2000

Tuula Nuutinen

## 1 Johdanto

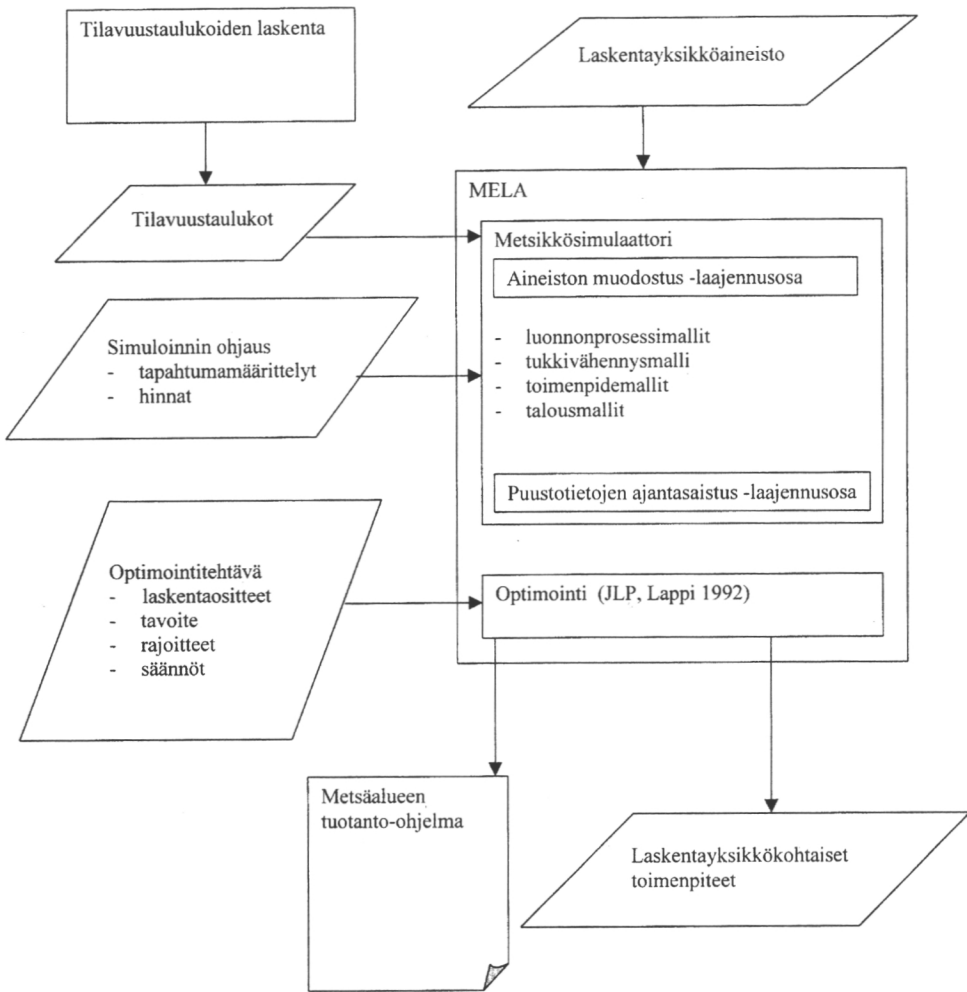
### 1.1 MELA-ohjelmiston pääosat

MELA (Siitonen ym. 1996, Siitonen ym. 1999) on Suomen olosuhteisiin kehitetty metsätalouksmalli ja metsien käytön ja hoidon suunnitteluväline. MELA:n pääosat ovat (kuva 1)

- yksittäisiin puihin perustuva metsikkösimulaattori, joka tuottaa tapahtumamäärittelyiden mukaisia vaihtoehtoja laskentayksiköille (metsiköille tai laskentakuvioille) ja
- tehokas optimointiohjelma (JLP, Lappi 1992), jonka avulla voidaan laskea vaihtoehtoisia aluetason tuotanto-ohjelmia ja niitä vastaavia laskentayksikkökohtaisia käsittelyohjeita.

Laskentayksikkö voidaan kuvata metsikkösimulaattorille yhden tai useamman koealan avulla. Esimerkiksi ryhmittäisissä metsiköissä voidaan mittaamalla useita koealoja laskentakuvioita kohti kuvata kuvion sisäinen vaihtelu ja siten parantaa mm. harvennustarpeen päättelyä ja tarkentaa harvennuskertymien laskentaa.

MELA-ohjelmiston metsikkösimulaattori hakee kuvauspuiden runkotilavuuden ja puutavaralajeittaiset tilavuudet valmiiksi lasketusta taulukosta. Puutavaralajeittaiset tilavuudet on laskettu erillisellä ohjelmalla, jolle on annettu puutavarakappaleiden minimiläpimitat ja -pituudet. Pelkästään teknisten mittojen mukaan laskettu tukkipuun määrä on yliarvio. Muiden laatuun vaikuttavien tekijöiden huomioon ottamiseksi metsikkösimulaattorissa on ns. tukkivähennysmalli, jonka avulla teknisten mittojen perusteella laskettua tukkipuun määrää voidaan korjata. Malli on laadittu VMI7-aineistosta (Ojansuu ym. 1991, Hynynen ym. 2000) ja vastaa aineiston mittausajankohdan puutavaralajivaatimuksia ja puiden laatua. Malli kuvaa selittäjien suhteen keskimääräistä puun laatua. MELA-ohjelmistossa on parametri (Siitonen ym. 1996, s. 192), jolla voidaan määritellä, halutaanko laskelmissa käyttää tukkivähennysmallia vai ei.



**Kuva 1.** Periaatekaavio MELA-ohjelmistosta ja sen ohjauksesta.

## 1.2 MELA-julkistusversiot: MELA96, MELA98 ja MELA99

MELA-ohjelmiston uudistaminen tapahtuu julkistusversioina. Kun jokin uusi ominaisuus julkistetaan tietyssä versiossa, se sisältyy myös seuraaviin versioihin, ellei toisin ilmoiteta.

MELA-ohjelmiston ensimmäinen julkistusversio oli MELA96 (Siitonen ym. 1996), jonka luonnonprosessimallit olivat peräisin ns. Metsä 2000-versiosta (Ojansuu ym. 1991). Talousmallit oli ohjelmoitu taulukoina.

MELA98-versiossa otettiin käyttöön uusi luonnonprosessimalliperhe (Nuutinen ym. 1998, Hynynen 1996, Hynynen 1998, Hynynen ym. 2000). Näillä luonnonprosessimalleilla tehdyissä laskelmissa puulajien väliset erot kasvussa ja kokonaistuotoksessa ovat huomattavia. Erityisesti kuusen tilavuuskehitys näyttää olevan huomattavasti muita puulajeja nopeampi (Hyvönen 2000). Mallit soveltuvat parhaiten tilanteisiin, joissa simulointijakso on lyhyt ja alkutilanteessa on runsaasti varttuneita metsiköitä. Mallit eivät ole täysin soveltamiskelpoisia metsiköissä, jotka ovat laskelmakauden alussa nuoria tai jotka syntyvät laskelmakauden aikana, mikä rajoittaa MELA-ohjelmiston käyttöä endogeenisessä metsänkäsittelyn ratkaisussa eli alue-metsikköoptimoinnissa (Siitonen 1999) ja pitkän aikavälin laskelmissa.

MELA99-versioon (Siitonen ym. 1999)

- uusittiin metsänhoidon ja puunkorjuun ajanmenekki- ja kustannusmallit,
- tehtiin muutoksia kasvu- ja kehitysmalleihin sekä
- uusittiin ja parametrisoitiin metsänkäsittelyohjeita.

MELA99-versiosta lähtien ajanmenekin ja kustannusten laskenta tapahtuu Kuiton ym. (1994), Rummukaisen ym. (1993, 1995) ja Metsäpalkkarakenteen kehittämisen projektityöryhmän (1995) esittämien tuottavuus- ja ajanmenekki-funktioiden avulla. Hakkuiden ajanmenekkiin vaikuttavat esimerkiksi yksittäisen puun tunnukset (puulaji, rinnankorkeusläpimitta, pituus), poistettavan puuston tiheys, hakkuutapa, maasto ja korjuun ajankohta. Mallit sisältävät varsinaisen työsuorituksen lisäksi keskeytykset (alle 15 minuuttia) sekä metsänhoidon ja hakkuiden suunnitteluun ja työnjohtoon kuluvan ajan. Muutosten jälkeen olosuhteet siis vaikuttavat metsänhoidon ja puunkorjuun ajanmenekkiin ja kustannuksiin MELA-laskelmissa.

MELA99-versioon tehdyt muutokset kasvu- ja kehitysmalleissa vähentävät erityisesti turvemaiden kasvun arvioita (Nuutinen ym. 2000). Sen sijaan koivulle laaditun uuden kuolemistodennäköisyysmallin vaikutus on vähäinen.

MELA98-versiossa oletusarvona ollut kasvumallien metsiköittäinen pituusboniteetin kalibrointi (Hynynen 1996) siirrettiin MELA99-versiosta alkaen käyttäjän valittavaksi.

MELA99-versiosta alkaen oletuksena määritellyt metsänkäsittelyohjeet noudattavat Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion suosituksia (Luonnonläheinen metsänhoito 1994) – lukuunottamatta uudistusaloille jätettäviä yksittäisiä puita tai puuryhmiä (ns. säästöpuut). Käyttäjä voi antaa metsänkäsittelyohjeet vain yhdelle sovellukselle (esimerkiksi hallinnollinen alue) ajoa kohti.

Lisäksi käyttäjälle näkyviä ohjausparametreja lisättiin ja joitakin vanhoja uudistettiin. Uusina piirteinä mainittakoon esimerkiksi

- puiden valintaa uudistuksissa ja hakkuissa ohjaava parametri PUULAJIOHJE,
- pohjapinta-alaharvennusten ylä- ja alakäyrät – aiemmin käytössä olleen alakäyrään ja minimikertymään perustuvan harvennusmallin vaihtoehdoksi,
- SIEMENPUIDEN\_MAARA- parametri sekä
- hakkuiden korjuuolosuhteet.

MELA99-versiosta alkaen metsänkäsittelyohjeet eivät siis enää ole käyttäjälle 'musta laatikko'. Käyttäjän mahdollisuus vaikuttaa metsänkäsittelyyn on kasvanut merkittävästi, koska metsänkäsittelyohjeet on entistä yksityiskohtaisemmin parametrisoitu. Samalla kuitenkin käyttäjän vastuu on kasvanut. Käyttäjän on huolehdittava erityisesti TAPAHTUMA-parametrin alkioista METSIKKOEHDOT ja TAPAHTUMAKUTSU.

## 1.3 Laajennusosat

MELA-ohjelmistoon voidaan liittää myös ns. laajennusosia. Ensimmäiset laajennusosat - aineiston muodostus ja puustotietojen ajantasaistus - on rakennettu tietojärjestelmärajapintoja varten (Nuutinen ym. 1998, Malinen & Kilpeläinen 1998, Kilpeläinen & Malinen 1999, Malinen ym. 1999).

MELA-aineiston muodostus on laajennus, joka mahdollistaa metsikkösimulaattorin käyttämien kuvauspuiden muodostuksen puusto-ositteittain kerätyistä metsävaeratiedoista (Malinen ym. 1999). Taimikoissa kuvauspuiden muodostus perustuu pituusjakaumaan. MELA96- ja MELA98-versioissa pituusjakauman kaikkien kuvauspuiden läpimittana käytettiin puusto-ositteen mitattua keskiläpimittaa (Malinen ym. 1999). Koska läpimitan vaihtelun puute aiheutti ongelmia puiden kokoon perustuvan kilpailutekijän kuvauksessa, MELA99-versioon lisättiin pieni pituusjärjestystä noudattava poikkeama.

MELA96-, MELA98- ja MELA99-versioissa aineiston muodostukseen ja puustotietojen ajantasaistukseen tarkoitettujen laajennusosien tiedostoissa käsiteltiin vain kuvio- ja puusto-ositekohtaisia tietoja.

## 1.4 MELA2000-versioon tarvittavat uudistukset

Asiakaspalautteen ja toiminnallisen testauksen avulla on kartoitettu MELA-ohjelmiston ongelmia ja kehittämistarpeita:

- Aineiston muodostukseen kehitetyn laajennusosan (Malinen ym. 1999) taimikoiden kuvaus ei riitä kuvaamaan metsikön sisäistä vaihtelua tavalla, jota Hynynen ym. (2000) luonnonprosessimallit edellyttävät.
- Jos metsikkökuvion sisäinen tiheysvaihtelu on suurta (ryhmittäisyys tms.), toimenpidetarpeen (esimerkiksi harvennus) päättely ja harvennuskertymien laskenta kuvion keskimääräisten tietojen perusteella on ongelmallista.
- Käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen simuloinnissa ei pystytä hyödyntämään tietoja metsään jätetyistä säästöpuista eikä simuloinnin kuluessa jättämään metsään kasvamaan säästöpuita, mikä on ristiriidassa nykyisin yleistyneen uudistamiskäytännön kanssa.
- VMI7-aineistoon perustuvan tukkivähennysmallin (Siitonen ym. 1996, s. 268, Ojansuu ym. 1991, Hynynen ym. 2000) avulla ei pystytä kuvaamaan esimerkiksi kasvupaikasta tai tuhoista aiheutuvaa poikkeamaa keskimääräisestä laadusta.

MELA2000-version uusia ominaisuuksia ovat:

- aineiston muodostukseen käytettävissä uusi taimikoiden läpimittamalli,
- useita koealoja laskentayksikköä kohti asiakkaan aineistossa ja tietokantapalautteessa,
- säästöpuut (puuluokka) asiakkaan aineistossa ja tietokantapalautteessa,
- ositekohtainen tukkivähennys asiakkaan aineistossa ja
- säästöpuiden valinta uudistushakkuissa ja säästöpuiden vaikutus kasvuun.

Ohjelmistokehityksen vaiheet olivat vaatimusmäärittely, modulien ohjelmointi ja testaus, modulien yhdistäminen MELA-ohjelmistoon, järjestelmätestaus metsikkö- ja suuraluetasolla, käyttöohjeiden ja oppaan esimerkkien päivitys sekä MELA2000-tuotepaketin (mm. hinnastot, sopimusehdot, esitteet) kokoaminen. Kehitystyö ja järjestelmätestauksen päätulokset on raportoitu tämän julkaisun muissa artikkeleissa (Haara & Kärkkäinen 2001, Hyvönen 2001, Härkönen 2001).

## 2 MELA2000

### 2.1 Taimikoiden läpimittamalli

MELA2000-versiossa kunkin kuvauspuun läpimitta lasketaan puun pituuden perusteella. Puulajeittaiset mallit on tehnyt Ojansuu (2000). Alustavien laskelmien (Haara & Kärkkäinen 2001) perusteella laskentakuvioiden sisäisen vaihtelun lisääntyminen parantaa taimikoiden kehityssennusteita merkittävästi.

### 2.2 Uudet tiedot asiakkaan aineistossa ja tietokantapalautteessa

MELA2000-versiota käytettäessä asiakkaan metsävaratiedoissa (RSU-tiedosto) voi olla useita koealoja laskentayksikköä kohti ja koealakohtaiset tulokset voidaan palauttaa tietokantaan puustotietojen ajantasaistuksen jälkeen. Alustavien laskelmien (Hyvönen 2001) perusteella koealoittaisella kuvauksella ei ole suurta merkitystä päätehakkukohteiden hakkukertymän arvioinnissa. Jos halutaan tietoa siitä, milloin tiedot kannattaa kerätä koealoittain ja kuinka paljon koealoja olisi oltava, tarvitaan jatkoselvityksiä ja niitä varten leimikkokohtaisia testiaineistoja erityisesti harvennuskohteista.

Asiakkaan metsävaratiedoissa (.rsu-tiedosto) ositetietojen säästöpuun puuluokka on vaihtunut. MELA99-versiossa ja sitä aiemmin puusto-ositetiedoissa säästöpuiden puuluokka oli 7, mutta MELA2000-versiossa säästöpuiden puuluokka on 2 eli sama kuin metsikkösimulaattorin kuvauspuutietueessa.

MELA2000-versioon puuluokka lisättiin myös ajantasaistettujen puustotietojen palautustiedoston (.smt-tiedosto) puusto-ositetietoihin.

Ennen MELA2000-versiota asiakkaan kuviomuotoisessa aineistotiedostossa oli vain kuvio- ja puusto-ositekohtaisia tietoja. MELA2000-versiossa on mahdollista käyttää myös puutietueita.

## 2.3 Ositekohtainen tukkivähennys

Metsikkösimulaattorin kuvauspuutietueessa on ollut jo MELA96-versiosta alkaen paikka tukkivähennykselle (Siitonen ym. 1996, s. 268), mutta muuttuja ei ole ollut käytössä.

MELA2000-versiossa on käytettävissä parametrilla TUKKIVAHENNYS (Siitonen ym. 2001, s. 216) ohjattava ositekohtainen tukkivähennys tai tukkipuuprosentti (Kilpeläinen ym. 2000), josta muodostetaan kuvauspuukohtainen tukkivähennys. Ositekohtainen tukkivähennys tukkipuuprosentti korvaa MELA99-version ja sitä aiempien MELA-versioiden laajennusosien oppaassa mainitun tukkipuuprosentin. Alustavat laskelmat (Hyvönen 2001) viittaavat siihen, että maastossa arvioidulla tukkivähennyksellä on merkitystä kuusikoissa. Jos halutaan tietoa siitä, milloin tukkivähennys kannattaa arvioida maastossa, tarvitaan jatkoselvityksiä ja niitä varten leimikkokohtaisia testiaineistoja. Laskelmat kannattaa tehdä seuraavan sukupolven tukkivähennysmallin (Mehtätalo 2001a) valmistuttua.

## 2.4 Säästöpuiden valinta uudistushakkuissa ja säästöpuiden vaikutus kasvuun

MELA2000-version metsikkösimulaattorilla voidaan simuloida säästöpuiden valinta. Mikäli koealalle on valittu pystyyn jätettäviä säästöpuita, metsikkösimulaattori laskee oletukseen (Härkönen 2001) perustuvan säästöpuiden vaikutuksen niitä ympäröivän puuston kasvuun. Koska säästöpuut jäävät hakkuiden yhteydessä metsään kasvamaan, säästöpuut ovat luonnollisesti pois hakkuukertymästä ja -tulosta.

Säästöpuiden valintaa ohjataan TAPAHTUMA-parametrin avulla. Valinta on tarkoitettu tehtäväksi uudistushakkuiden yhteydessä ja säästöpuiden valinnan toteuttamiskriteereinä ovat puuston keski-ikä ja keskiläpimitta suhteessa metsänhoito-ohjeiden uudistuskriteereihin.

Säästöpuista kerätään raportteihin ja jatkoanalyysiin (optimointi) puulajeittain tietoja mm. tilavuudesta ja arvosta sekä siitä uudistushakkuupinta-alasta, jolle säästöpuita on jätetty.

Alustavien laskelmien mukaan (Härkönen 2001) säästöpuilla on simuloinneissa merkittävä taimikon kasvua alentava vaikutus. Säästöpuiden todellisesta vaikutuksesta ympäröivän puuston kehitykseen ei ole olemassa vertailukelpoista empiiristä tietoa. Metsikkösimulaattorissa käytettävä oletus antaa kokemuksen mukaisesti

oikean suuntaisia tuloksia, mutta vaikutuksen suuruusluokka voi todellisuudessa olla toinen.

Metsikkösimulaattori ei pysty vielä valitsemaan säästöpuuryhmiä, minkä vuoksi säästöpuiden oletetaan sijaitsevan metsikössä hajallaan. Tämä voi omalta osaltaan yliarvioida säästöpuiden vaikutuksen.

Sen sijaan asiakkaan metsävaratiedoissa (RSU-tiedosto) voi olla myös säästöpuuryhmiä, mikäli ne on kuvattu omina koealoinaan. Koealoilla olevat säästöpuut voidaan kuvata joko ositteina tai kuvauspuina.

## 3 Päätelmiä

### 3.1 MELA2000

Luonnonprosessimalleihin liittyvät ongelmat rajoittavat korjausten jälkeenkin MELA-ohjelmiston käyttöä endogeenisessä metsänkäsittelyn ratkaisussa. Esimerkiksi säästöpuiden valintaa (missä, miten ja kuinka paljon) ei voi ratkaista endogeenisesti, koska Hynysen ym. (2000) luonnonprosessimallit eivät sellaisenaan sovellu säästöpuiden käsittelyyn (Hynynen 2001). Säästöpuiden ylispuuluonteen vuoksi mallit ilmeisesti yliarvioivat säästöpuiden kasvua alentavan vaikutuksen. MELA-ohjelmistossa säästöpuiden vaikutus kasvuun korjattiin ohjelmistoteknisesti - ilman empiiriseen aineistoon perustuvaa mallinnusta. Seurausvaikutukset metsien kehitykseen ovat suunnaltaan todennäköisesti oikeat, mutta suuruusluokka on rinnastettavissa eksogeenisesti annettuun oletukseen ja mahdolliset kerrannaisvaikutukset (esimerkiksi luonnonpoistuma) ovat tutkimatta. Kuusien ja nuorten metsien kasvuennusteisiin liittyvät ongelmat on myös syytä tuntea laskelmien tuloksia tarkasteltaessa.

### 3.2 MELA2001

MELA2001-versioon on alustavasti kaavailtu mm. seuraavia uudistuksia:

- sekametsien kasvatukseen liittyvät tapahtumat,
- uusi tukkivähennysmalli (Mehtätalo 2001a) sekä
- vaihtoehtoiset MELA-aineistonmuodostusmenetelmät (kts. Maltamo 2001) kuten jakaumamallit eri selittäjäyhdistelmillä, prosenttiosuusmenetelmä (Mal-



tamo & Kangas 1999) ja läpimittajakauman kalibrointi (Mehtätalo 2000, 2001b), joista kaksi jälkimmäistä perustuu Tekesin rahoittamassa hankkeessa ”Käyttöpuun ja sen jakauman kuvaus tulevia hakkuumahdollisuuksi arvioitaessa” tehtyyn tutkimus- ja kehitystyöhön.

### 3.3 MELA:n kehitykseen liittyviä tutkimus- ja kehityshankkeita

Tutkimus- ja kehitystyötä tehdään Metlan Metsätalouden suunnittelun (MTS) tutkimusohjelman hankkeissa - yhteistyössä muiden tutkimusohjelmien ja hankkeiden kanssa. Tutkimusohjelmassa on aloitettu mm. työ, jonka tavoitteena on kehittää MELA-nettipalvelua. Tarkoituksena on uudistaa

- MELA-tuotantokäyttöä, palveluita ja niiden saatavuutta sekä koulutusta (asiakasnäkökulma) ja
- MELA-tuotteistusta, ohjelmistojakelua ja palvelujen ylläpitoa (oma toiminta).

MMM:n rahoittamassa hankkeessa "Paikkatiedon ja satelliittikuva-aineiston integrointi metsätalouden mallintamisessa ja analyyseissä" (2000-2003) on tarkoituksenaan kehittää MELA-yhteensopiva tietokoneohjelmisto, jonka avulla voidaan tuottaa suunnittelualueelle (esimerkiksi kunta, puunhankinta-alue tai valuma-alue) luotettavia keski- ja summatunnuksia tai karttatulosteita.

Yhdessä MMM:n rahoittaman yhteistutkimushankkeen ”Metsätietojen ylläpito” (1999-2001) kanssa tutkitaan mm. epätarkan ja mittausvirheitä sisältävän metsävaratiedon käyttöä eri aineistonmuodostusmenetelmissä ja laskennallisessa ajantasaistuksessa.

Yhteistyössä Suomen Akatemian FIGARE-ohjelman hankkeen "Climate Change Impacts on the Dynamics of Functioning and Structure of Boreal Forests with Implications for the Sustainability of Forest Production and Carbon Sequestration" (2000-2002) kanssa kehitetään mm. hiilen sidontaa, energiapuun korjuuta ja ilmaston muutoksen vaikutusta kuvaavia malleja.

Edellä mainituissa hankkeissa on havaittu, että luonnonprosessimallien validointia ja herkkyysoanalyysijä erityisesti kuvioittaisessa arvioinnissa hankittujen puukohdaisissa malleissa selittäjinä käytettävien muuttujien (esimerkiksi kasvupaikan kuvaus, latvusraja, tukkivähennys) ja niihin liittyvien mittausvirheiden suhteen on jatkettava, jotta mallien kehittäjät, ohjelmiston ylläpitäjät ja ohjelmiston käyttäjät saavat tietoa mallien toiminnasta, luotettavuudesta ja kehittämistarpeista.

# Kiitokset

Ohjelmistokehitystyöstä vastasivat Ph.D., MML Tuula Nuutinen (projektipäällikkö), MMM Arto Haara (laajennusosat), MMM Kari Härkönen (säästöpuiden valinta), MMM Pekka Hyvönen (järjestelmätestaus), MMM Leena Kärkkäinen (järjestelmätestaus) sekä MMM Aimo Anola-Pukkila ja sihteeri Aila Suokas (oppaiden ja oheismateriaalin taitto). MMT Risto Ojansuu teki puulajeittaiset mallit taimikoiden läpimitan ennustamiseksi. Kehitystyön eri vaiheisiin liittyi katselmuksia, joihin projektiryhmän lisäksi osallistui erikoistutkija Markku Siitonen. Viimeisessä katselmuksessa ohjelmisto ja järjestelmätestauksen tulokset esiteltiin tutkimusjohtaja Kari Mielikäiselle, joka katselmuksen jälkeen esitteli julkistusversion ja siihen liittyvän tuotepaketin Metlan ylijohtaja Eljas Pohtilan hyväksyttäväksi. Lämpimät kiitokset kaikille ohjelmistokehitystyöhön osallistuneille!

# Kirjallisuus

- Haara, A. & Kärkkäinen, L. 2001. Taimikot ja MELA2000. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.) MELA2000 ja muuttuva metsänkäsittely. MELA-käyttäjöpäivä 21.11.2000 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 814: 30-43.
- Hynynen, J. 1996. Puuston kehityksen ennustaminen MELA-järjestelmässä. Julkaisussa: Hynynen, J. & Ojansuu, R. (toim.). Puuston kehityksen ennustaminen - MELA ja vaihtoehtoja. Tutkimusseminaari Vantaalla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 612: 21-37.
- 1998. Mitä käyttäjän tulisi tietää MELAn kasvumalleista. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Mäkkeli, P. (toim.). MELA98 ja tietojärjestelmälaajennukset. MELA-käyttäjöpäivät 7.5.1998 Helsingissä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 713: 18-29.
- 2001. Muuttunut metsänkäsittely ja MELA – Puuston kehityksen ennustemallien toimivuus. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.) MELA2000 ja muuttuva metsänkäsittely. MELA-käyttäjöpäivä 21.11.2000 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 814: 53-61.
- , Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Siipilehto, J., & Haapala, P.. 2000. Models for predicting the stand development - description of biological processes in MELA System. Metsäntutkimuslaitos. Käsikirjoitus.
- Hyvönen, P. 2000. Puustotunnusten arviointivirheiden ja kasvumalleissa olevien oletusten vaikutus MELA-hakkuulaskelmien tuloksiin. Pro gradu -työ. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. 64 s. + liitteet.

- 2001. Maastomittaukset ja MELA2000. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.) MELA2000 ja muuttuva metsänkäsittely. MELA-käyttäjöpäivä 21.11.2000 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 814: 44-52.
- Härkönen, K. 2001. Säästöpuut ja MELA2000. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.) MELA2000 ja muuttuva metsänkäsittely. MELA-käyttäjöpäivä 21.11.2000 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 814: 19-29.
- Kilpeläinen, H. & Malinen, J. 1999. MELA-laajennusosat - MELA99-versio. 44 s.
- , Malinen, J. & Haara, A. 2000. MELA-laajennusosat - MELA2000-versio. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. Moniste. 48 s.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410. 38 s. + liitteet.
- Lappi, J. 1992. JLP: A linear programming package for management planning. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 414. 134 s.
- Luonnonläheinen metsänhoito. 1994. Metsänhoitosuositukset. Metsäkeskus Tapion julkaisu 6/1994. 2. painos. Helsinki. 72 s.
- Malinen, J. & Kilpeläinen, H. 1998. MELA-laajennusosat. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Mäkkeli, P. (toim.). MELA98 ja tietojärjestelmälaajennukset. MELA-käyttäjöpäivät 7.5.1998 Helsingissä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 713: 30-34.
- , Maltamo, M. & Nuutinen, T. 1999. Suunnittelun lähtötietojen laskennallinen ajantasaistus - esimerkkinä MELA. Julkaisussa: Heikinheimo, M. (toim.). Metsäsuunnittelun tietohuolto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 741: 58-68.
- Maltamo, M. 2001. Metsävaratietojen optimaalinen hyödyntäminen. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.) MELA2000 ja muuttuva metsänkäsittely. MELA-käyttäjöpäivä 21.11.2000 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 814: 62-73.
- & Kangas, A. 1999. Prosenttiosuusmenetelmä puujoukon ennustamisessa. Teoksessa: Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.) MELA99 ja metsätalouden suunnittelu MELA-käyttäjöpäivä ja tukimusseminaari 11.-12.5.1999 Majvik, Kirkkonummi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 752. s. 48-53.
- Mehtätalo, L. 2000. Mäntyvaltaisen päätehakkueleimikon läpimittajakauman ennustaminen ja kalibrointi eri puustotunnuksilla. Metsäsuunnittelun ja -ekonomian pro gradu. Joensuun yliopisto. 65 s.
- 2001a. VMI9:n Etelä-Suomen aineistosta (metsäkeskukset 1-6, 8-9) laaditut tukkivähennyksmallit. Käsikirjoitus. 8 s.
- 2001b. Läpimittajakauman kalibroinnin tarkastelua MELA-simulaattorissa toteutettavaa läpimittajakauman kalibrointia varten. Käsikirjoitus. 5 s.
- Nuutinen, T., Hirvelä, H., Härkönen, K., Kilpeläinen, H., Malinen, J., Salminen, O., Siitonen, M. & Teuri, M. 1998. MELA vuonna 1998. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Mäkkeli, P. (toim.). MELA98 ja tietojärjestelmälaajennukset.

- MELA-käyttäjöpäivät 7.5.1998 Helsingissä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 713: 7-17.
- , Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on large-scale forest scenario modelling. *Silva Fennica* 34(2): 131-153.
  - Ojansuu, R. 2000. Puiden läpimittojen ennustaminen, kun pituusjakauma tunnetaan. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 2 s.
  - , Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) - Metsä 2000-versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. Puuntuotoksen tutkimussuunta. 59 s.
  - Rummukainen, A., Alanne, H. & Mikkonen, E. 1993. Puunhankinta muutospaineessa. Voimavaratarpeiden arviointimalli vuoteen 2010. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 2.
  - Rummukainen, A., Alanne, H. & Mikkonen, E. 1995. Wood procurement in the pressure of change - Resource evaluation model till year 2010. *Acta Forestalia Fennica* 248. 98 s.
  - Siitonen, M. 1999. Metsien käsittely endogeenisestä analyysistä - näkökulmia ja näkemyksiä. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Suokas A. (toim.). MELA99 ja metsätalouden suunnittelu. MELA-käyttäjöpäivä ja tutkimusseminaari 11.-12.5.1999 Majvik, Kirkkonummi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 752: 10-23.
  - , Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O. & Teuri, M. 1996. MELA Handbook - 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 622. 452 s.
  - , Härkönen, K., Kilpeläinen, H. & Salminen, O. (toim.) 1999. MELA Handbook, 1999 Edition. Metsäntutkimuslaitos. 492 s.
  - , Anola-Pukkila, A., Haara, A., Härkönen, K., Redsvén, V., Salminen, O. & Suokas, A. 2001. MELA Handbook, 2000 Edition, Metsäntutkimuslaitos. 498 s.

# Säästöpuut ja MELA2000

Kari Härkönen

## 1 Johdanto

MELA-ohjelmistoon (Siitonen ym. 1996, Siitonen ym. 1999) kuuluu yksittäisiin puihin perustuva metsikkösimulaattori, jolla tuotetaan eri metsäkäsittelyohjeiden mukaisia kehitys- ja käsittelyvaihtoehtoja laskentayksiköille. MELA99-julkistusversioissa (Siitonen ym. 1999) oletuksena määritellyt metsäkäsittelyohjeet noudattavat Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion suosituksia (Luonnonläheinen metsänhoito 1994) lukuunottamatta uudistusaloille jätettäviä puita tai puuryhmiä, eli ns. säästöpuita.

Uudistusaloille monimuotoisuuden vuoksi jätettävät säästöpuut kuuluvat vakiintuneena käytäntönä nykyiseen metsänkäsittelyyn (Luonnonläheinen metsänhoito 1994, Niemelä ja Arnkil 1997). Uudistusaloille jätetyt säästöpuut varaavat kasvu-tilaa, vaikuttavat uudistusaloille syntyvän taimikon kasvuun, ovat mahdollisesti pois puunmyyntituloista sekä vaikuttavat korjuu-, uudistus- ja metsänhoitokustannuksiin. Säästöpuiden ja niiden vaikutusten kuvaaminen ja analyysi edellyttää sellaisten simuloitujen käsittelyvaihtoehtojen tuottamista, joissa on säästöpuiden jättäminen tapahtumana mukana uudistushakkuiden yhteydessä.

Tämän työn tavoite osana MELA2000-version (Nuutinen 2001) kehitystyötä oli:

- Tehdä simulaattoriin säästöpuiden jättämistä kuvaava tapahtuma, joka mahdollistaa sellaisten käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen simuloinnin, joissa uudistushakkuissa valitaan metsään jätettäviä säästöpuita.
- Laskea uudistusaloille jätettävien säästöpuiden vaikutus syntyvän taimikon kasvuun (kasvumallien antamiin ennusteisiin). Kyseessä on oletukseen perustuva vaikutus, sillä käytettävissä ei ollut empiiristä havaintoaineistoa.

## 2 Aineisto ja menetelmät

Säästöpuiden valinta toteutettiin rakenteeltaan vastaamaan muita MELA:n tapahtumia. Muita metsänkäsittelyjä kuvaavia tapahtumia MELA:ssa ovat hakkuut, rai-

vaus, maanmuokkaus, viljely, taimikonhoito, lannoitus, ojitus ja karsinta (Siitonen ym. 1999).

Säästöpuiden valinta tapahtumana tarkoittaa sitä, että halutulle määrälle kuvauspuita ns. puun käsittelyluokamuuttujalle annetaan säästöpuuta merkitsevä arvo.

Kaikkien metsänkäsittelytapahtumien ohjaus MELA:ssa tehdään parametrin TAPAHTUMA (EVENT) avulla (Siitonen ym. 2000, s. 156). Säästöpuiden valinta on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä uudistushakkuiden (siemenpuuhakkuu, suojuoppuhakkuu, avohakkuu) kanssa.

Sovellusesimerkeissä ja MELA2000-esimerkkiparametreissa säästöpuiden valinta yhdistettiin uudistushakkuihin kahdella perättäisellä TAPAHTUMAKUTSUMäärittelyllä (Siitonen ym. 2000, s. 171). Molempien tapahtumien tulee olla peräkkäin toteuttamiskelpoisia, ennen kuin koko tapahtuma simuloidaan.

Säästöpuiden valinnan toteuttamiskriteereinä ovat puuston keski-ikä ja keskiläpimitta suhteessa metsänhoito-ohjeiden uudistuskriteereihin.

Säästöpuiksi valittava puusto määritetään yleisten puiden valintaohjeiden kautta (Siitonen ym. 2000, s. 361). Valinta toimii hakkuisiin nähden analogisesti. Valitaan ikään kuin poistettava puusto ja jäljelle jääneet ovat säästöpuita. Oletusvalintaohjeen mukaan säästöpuita jätetään  $5\text{m}^3/\text{ha}$  siten, että 'poistetaan' puita alaharvennusperiaatteella pienimmästä lähtien ja jäljelle jääneet ovat säästöpuita. Haluttaessa antaa omat valintaohjeet ne annetaan TAPAHTUMAKUTSU (EVENT\_CALL) määrittelyksen yhteydessä ns. jatkorivien avulla (Siitonen ym. 2000, s. 157, 159). Tavoiteltava säästöpuiden määrä annetaan kuutiometreinä hehtaarilla, lisäksi voidaan antaa valittavien säästöpuiden maksimirunkoluku hehtaarille.

Optimointia varten säästöpuista voidaan simuloituihin vaihtoehtoihin tallettaa seuraavat muuttujat (Siitonen ym. 2000, s. 330-331):

valittujen säästöpuiden määrä puulajeittain,  $\text{m}^3/\text{ha}$ ,  
pinta-ala ( $\text{ha}/\text{v}$ ), jolta säästöpuut on valittu,  
säästöpuiden kokonaistilavuus puulajeittain,  $\text{m}^3$ ,  
säästöpuiden arvo puulajeittain, mk (tienvarsihinnoin),  
säästöpuiden tukki- ja kuitutilavuus,  $\text{m}^3$ ,  
säästöpuiden kasvu puulajeittain,  $\text{m}^3/\text{ha}/\text{v}$  sekä  
luonnonpoistuma puulajeittain,  $\text{m}^3/\text{ha}/\text{v}$ .

Kasvun laskennassa kangasmailla käytetään vastemuuttujina valtapuiden tunnuk-sia, kuten malleilla laskettua valtapuiden pituuskasvua, pohjapinta-alalla painotet-tua keskiläpimittaa paksumpien puiden keskiläpimittaa, keskipituutta, keski-ikää ja

keskimääräistä latvussuhdetta. Uudistushakkuun yhteydessä valitut säästöpuut muodostavat syntyvästä taimikosta poikkeavan jakson, jolloin taimikon kasvun laskennassa vastemuuttajat lasketaan taimikon kannalta väärästä jaksosta. Tämän välttämiseksi kasvumalleihin tehtiin muutos, jolla vastemuuttajat lasketaan taimikolle erikseen, jos uudistusalueella on taimikkoa isompi säästöpuujakso. Turvemaiden kasvumalleihin ei tehty muutoksia.

Säästöpuiden valinnan tekninen toiminta varmistettiin esimerkkikoelauden avulla suoritetuissa testisimuloinneissa. Testeissä varmistettiin tapahtuman toteuttamiskriteerien toiminta, toiminta yhdessä uudistushakkuun (tässä avohakkuu) kanssa, puiden oletusvalintaohjeen toiminta, toiminta useiden erilaisten parametreina annettujen valintaohjeiden kanssa sekä optimointia varten talletettävien muuttujien keruun toiminta.

Säästöpuiden vaikutusta kasvuun testattiin metsikkötasolla ja aluetasolla. Testimetsiköinä olivat Pirkanmaan metsäkeskuksen alueelta valittu VMI9:ssä mitattu keskimääräinen mustikkatyypin kangasmaan koela sekä mustikkakorpiuuttuma. Koeloille simuloitiin männylle, kuuselle ja koivulle kaksi vaihtoehtoista uudistusketjua, josta toisessa oli avohakkuu, maanmuokkaus ja viljely ja toisessa säästöpuiden valinta, avohakkuu, maanmuokkaus ja viljely. Säästöpuita pyrittiin jättämään  $4 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Simuloinnissa säästöpuita syntyi  $3,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Männyn viljelytiheys oli 2000 tainta hehtaarille, kuusen 1800 ja koivun 1600 tainta hehtaarille. Taimikon kasvua vertailtiin puulajeittain ja kasvupaikoittain vapaana kasvaen ja säästöpuiden alla.

Suuraluetason testilaskelma tehtiin Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen VMI9-aineistolla. Aineistolla tehtiin kaksi vaihtoehtoista simulointia MELA2000-esimerkkiparametreilla. Toisessa simuloinnissa uudistushakkuuden yhteydessä valittiin  $5 \text{ m}^3/\text{ha}$  säästöpuita ja toisessa simuloinnissa säästöpuita ei valittu. Simulointiaika oli viisi 10 vuoden kautta. Simuloinneista ajettiin 'suurin kestävä' (SK) ratkaisut 4 % korkokannalla ja ratkaisuja vertailtiin keskenään.

### 3 Tulokset

Metsikkötesteissä säästöpuilla oli merkittävä taimikon kasvua alentava vaikutus. Testituloksia taimikoiden keskiläpimitan ja pitemmän kehityksestä on esimerkeissä 1-6. Taimikon keskipitemmän kehitys oli säästöpuiden alla kasvaessa melko lähellä vapaana kasvaneen taimikon vastaavaa. Keskiläpimitan kehitys säästöpuiden alla jäi jonkin verran jälkeen vapaana kasvaneen taimikon kehityksestä. Poikkeuksen muodosti turvemaan kuusentaimikko, jossa taimikon kehitys jäi paljon jälkeen säästöpuiden alla kasvaessa. Säästöpuiden alla kasvaneen taimikon tilavuus 40

vuoden kasvun jälkeen oli kangasmaalla 73-90 % vapaana kasvaneen taimikon tilavuudesta. Turvemaalla vastaava lukema oli 65-83 % paitsi kuusella, jolla tilavuus säästöpuiden alla jäi alle 30 prosenttiin vapaana kasvaneen taimikon tilavuudesta.

Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen alueella 5 m<sup>3</sup>/ha säästöpuiden jättäminen uudistusalaille pienensi 'suurin kestävä' -ratkaisun kokonaishakkuukertymiä noin 3 % ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella. Tästä erosta säästöpuiden valinta selitti noin puolet ja loput selittyivät avohakkuupinta-alan pienenemisellä. Toisella ja kolmannella kaudella säästöpuuvaihtoehdon kertymät olivat 2-3 % alempana kuin ilman säästöpuita. Neljännellä ja viidennellä kaudella säästöpuuvaihtoehdon kertymät jäivät 4 % ja 8 % pienemmiksi kuin 'ilman säästöpuita' -vaihtoehdossa.

Puuston kokonaistilavuus oli 'ilman säästöpuita' -ratkaisussa ensimmäisen kolmen 10-vuotiskauden kuluttua 2-4 % alempana kuin säästöpuuvaihtoehdossa mutta kohosi lopputilanteessa hivenen korkeammaksi. Puuston kasvu jäi säästöpuiden vaikutuksesta vähitellen pienemmäksi ja oli viidennellä kaudella 9 % alempana kuin ilman säästöpuita.

Säästöpuiden valinnan vaikutus Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen 'suurin kestävä' -ratkaisussa oli looginen hakkuukertymien, kasvun ja puuston kehityksen suhteen.

## 4 Tulosten tarkastelu

Säästöpuiden valinta-tapahtuman toiminta teknisesti voitiin varmistaa halutulla tavalla. Säästöpuiden kasvunvaikutuksiin liittyy sen sijaan ongelmia ja tapahtuman soveltamiseen on syytä jättää joitakin varauksia:

- Säästöpuiden alla kasvavaa taimikkoa koskeva empiiristen aineistojen puute kasvumallien laadinta-aineistoissa johtaa siihen, että malleja sovelletaan laadinta-aineistojensa ulkopuolella. Lisäksi kangasmailla säästöpuiden vaikutus kasvuun on toteutettu ohjelmistoteknisesti. Tästä johtuen säästöpuiden todellista kasvunvaikutusta ei tiedetä eikä säästöpuiden valintaa voi ratkaista endogeenisesti.
- Säästöpuiden valinta MELA2000-versiossa olettaa, että säästöpuut ovat hajallaan metsikössä. Näin tilanne ei käytännössä ole, vaan säästöpuita esiintyy myös ryhmittäin, jolloin niiden vaikutus muiden puiden kasvuun on pienempi.



- Säästöpuita voi olla myös metsävaratiedoissa. Mikäli säästöpuut on jätetty ryhmissä, metsävaratiedot voidaan tarvittaessa ennen laskentaa järjestää niin, että kuvio jaetaan koealoihin, jolloin säästöpuille ja muulle puustolle on omat koealat. Tällöin säästöpuut eivät vaikuta muilla koealoilla olevien puiden kasvuun.

## Kirjallisuus

- Luonnonläheinen metsänhoito. 1994. Metsänhoitosuosituksset. Metsäkeskus Tapion julkaisu 6/1994. 2. painos. Helsinki. 72 s.
- Niemelä, H. ja Arnkil, R. 1997. Metsäluonnon hoito hakkuissa ja metsän uudistamisessa. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Helsinki 1997. 12 s.
- Nuutinen, T. 2001. MELA2000. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.) MELA2000 ja muuttuva metsänkäsittely. MELA-käyttäjöpäivä 21.11.2000 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 814:7-18.
- Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O. & Teuri, M. 1996. MELA Handbook - 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 622. 452 s.
- , Härkönen, K., Kilpeläinen, H. & Salminen, O. (toim.) 1999. MELA Handbook, 1999 Edition. Metsäntutkimuslaitos. 492 s.
- , Anola-Pukkila, A., Haara, A., Härkönen, K., Redsvén, V., Salminen, O. & Suokas, A. 2001. MELA Handbook, 2000 Edition, Metsäntutkimuslaitos. 498 s.

**Esimerkki 1.** Laskelma MÄNNYNTaimikon kehityksestä vapaana kasvaen ja säästöpuiden alla MT KANKAALLA Aineistona 'keskimääräinen' kangasmaan MT metsikkö Pirkka-Hämeestä Säästöpuut valittu 'alaharvennusperiaatteella' korkeintaan 40 cm paksuista puista (7-40 cm). Kangasmaan kehitys simuloituna MELA99-malleilla, jossa 'talouspuille' käytetään omia ddom, hdom, agedom, crdom ja hdi(ip). Turvemaalla MELA99-mallit sellaisenaan.

Aikutila ennen päätehakkuuta ja männynviljelyä				
vuosi	keskipit	keskipm	ppa	tilavuus

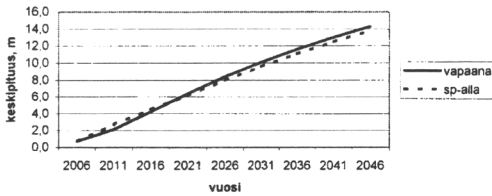
vuosi	Säästöpuiden tunnuks				Taimikko säästöpuiden kanssa					Taimikko ilman säästöpuita				
	sp-kpit	sp-klpm	sp-ppa	sp-vol	taim-rf	taim-kpit	taim-klpm	taim-ppa	taim-vol	taim-rf	taim-kpit	taim-klpm	taim-ppa	taim-vol
2006	27.4	39.2	0,3	4	2000	0,7	0	0	0	2000	0,7	0	0	0
2011	28.1	41,1	0,4	4,4	2000	2,7	1,9	0,3	0,8	2000	2,1	1,2	0,1	0,4
2016	28.8	42,8	0,4	4,8	1961,4	4,5	4,4	2,2	6,7	1973,9	4,2	4,2	2,4	7,3
2021	29.5	44,4	0,4	5,2	1908,6	6,2	7,1	6,7	24,8	1928,9	6,4	8,1	9,1	34,1
2026	30.2	45,8	0,5	5,6	1871,1	8	9,2	11,3	50,6	1895,9	8,4	11,1	17,4	79,2
2031	30.9	47,1	0,5	6	1837,6	9,6	11	16	82,5	1864,2	10,1	13,4	25,2	133,8
2036	32.6	49,1	0,5	6,7	1804,2	11,1	12,7	21,4	124	1828,1	11,6	15,2	32	191,5
2041	34	50,7	0,6	7,3	1769,2	12,5	14,4	27,1	173,3	1785,2	13	16,8	37,9	250,7
2046	35.2	52,2	0,6	7,9	1730,2	13,8	15,9	32,4	225,8	1734	14,3	18,1	42,9	308,7
2051	36.3	53,4	0,6	8,4	1685,4	15	17,3	37,2	278,5	1609,3	15,5	19,3	45,3	349,4
2056	37.2	54,4	0,6	8,8	1634,4	16,1	18,5	41,4	329,9	1450,5	16,7	20,3	45,7	373,4

	kpit	klpm	kpit	klpm
	sp-alla	sp-alla	vapaana	vapaana
2006	0,7	0,0	0,7	0,0
2011	2,7	1,9	2,1	1,2
2016	4,5	4,4	4,2	4,2
2021	6,2	7,1	6,4	8,1
2026	8,0	9,2	8,4	11,1
2031	9,6	11,0	10,1	13,4
2036	11,1	12,7	11,6	15,2
2041	12,5	14,4	13,0	16,8
2046	13,8	15,9	14,3	18,1

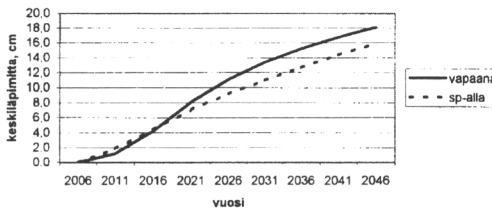
Taimikon keskitunnuks

vuosi	rf	kpit	klpm	ppa	vol
2006	100,0	100,0			
2011	100,0	128,6	158,3	300,0	200,0
2016	99,4	107,1	104,8	91,7	91,8
2021	98,9	96,9	87,7	73,6	72,7
2026	98,7	95,2	82,9	64,9	63,9
2031	98,6	95,0	82,1	63,5	61,7
2036	98,7	95,7	83,6	66,9	64,8
2041	99,1	96,2	85,7	71,5	69,1
2046	99,8	96,5	87,8	75,5	73,1

Männynntaimikon keskipituuden kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), MT kangas



Männynntaimikon keskiläpimitan kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), MT kangas



**Esimerkki 2.** Laskelma KUUSENTaimikon kehityksestä vapaana kasvaen ja säästöpuiden alla MT KANKAALLA. Aineistona 'keskimääräinen' kangasmaan MT metsikkö Pirkka-Hämeestä. Säästöpuut valittu 'alaharvennuseriaatteella' korkeintaan 40 cm paksuista puista (7-40 cm). Kangasmaan kehitys simuloituna MELA99-malleilla, jossa 'talouspuille' käytetään omia ddom, hdom, agedom, crdom ja hdi(ipl). Turvemaalla MELA99-mallit sellaisenaan.

Alkutila ennen päätehakkuuta ja kuusenviljelyä				
vuosi	keskipit	keskilpm	ppa	tilavuus

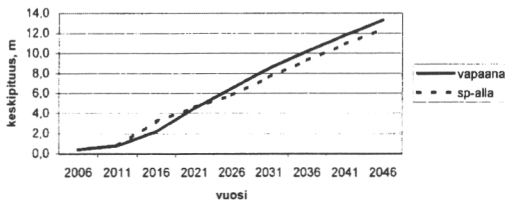
vuosi	Säästöpuiden tunnuksset					Taimikko säästöpuiden kanssa					Taimikko ilman säästöpuita				
	sp-kpit	sp-klpm	sp-ppa	sp-vol		laim-ri	laim-kpit	laim-klpm	laim-ppa	laim-vol	laim-ri	laim-kpit	laim-klpm	laim-ppa	laim-vol
2006	27,4	39,2	0,3	4		1800	0,4	0	0	0	1800	0,4	0	0	0
2011	28,2	41,1	0,4	4,4		1800	0,8	0	0	0	1800	0,8	0	0	0
2016	28,9	42,8	0,4	4,8		1800	3,2	2,4	0,3	0,7	1800	2,2	1,3	0,1	0,4
2021	29,6	44,4	0,4	5,2		1793,8	4,6	4,6	1,8	5,3	1793,3	4,5	4	1,5	4,7
2026	30,3	45,9	0,5	5,6		1779,9	5,8	6,7	5,2	17,3	1780,1	6,5	7,2	6	22,2
2031	31	47,1	0,5	6		1771,3	7,6	9,1	10	42	1772	8,5	10,2	12,6	56
2036	32,9	49,2	0,5	6,8		1764,6	9,3	11,4	16	78,3	1765,5	10,2	12,8	19,9	103
2041	34,5	50,9	0,6	7,5		1758,7	10,9	13,5	22,7	125,7	1759,1	11,8	14,9	27,4	160,9
2046	35,9	52,2	0,6	8		1753	12,4	15,3	29,3	181,4	1752,1	13,3	16,8	34,7	226,7
2051	37,1	53,3	0,6	8,6		1746,6	13,7	17	36	244,7	1743,5	14,7	18,5	41,7	299
2056	38,1	54,3	0,6	9		1738,9	15	18,5	42,3	312,5	1732,5	16	19,9	48,1	374

	kpit sp-alla	klpm sp-alla	kpit vapaana	klpm vapaana
2006	0,4	0,0	0,4	0,0
2011	0,8	0,0	0,8	0,0
2016	3,2	2,4	2,2	1,3
2021	4,6	4,6	4,5	4,0
2026	5,8	6,7	6,5	7,2
2031	7,6	9,1	8,5	10,2
2036	9,3	11,4	10,2	12,8
2041	10,9	13,5	11,8	14,9
2046	12,4	15,3	13,3	16,8

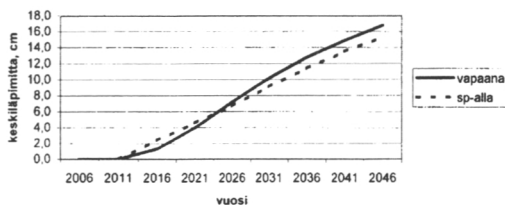
Taimikon keskitunnukset säästöpuiden alla, % vapaana kasvavan taimikon tunnuksista

vuosi	ri	kpit	klpm	ppa	vol
2011	100,0	100,0			
2016	100,0	100,0			
2021	100,0	145,5	184,6	300,0	175,0
2026	100,0	102,2	115,0	120,0	112,8
2031	100,0	89,2	93,1	86,7	77,9
2036	100,0	89,4	89,2	79,4	75,0
2041	99,9	91,2	89,1	80,4	76,0
2046	100,0	92,4	90,6	82,8	78,1
2051	100,1	93,2	91,1	84,4	80,0

Kuusentaimikon keskipituuden kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), MT kangas



Kuusentaimikon keskiläpimitan kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), MT kangas



**Esimerkki 3.** Laskelma KOIVUNtaimikon kehityksestä vapaana kasvaen ja säästöpuiden alla MT KANKAALLA. Aineistona 'keskimääräinen' kangasmaan MT metsikkö Pirkka-Hämeestä. Säästöpuut valittu 'alaharvennusperiaatteella' korkeintaan 40 cm paksuista puista (7-40 cm). Kangasmaan kehitys simuloituna MELA99-malleilla, jossa 'talouspuille' käytetään omia ddom, hdom, agedom, crdom ja hdi(ipl). Turvemaalla MELA99-mallit sellaisenaan.

Aikulia ennen pätehakkuuta ja koivunviljelyä  
 vuosi keskipit keskipm ppa tilavuus

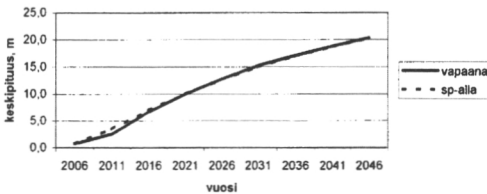
vuosi	Säästöpuiden tunnuks				Taimikko säästöpuiden kanssa				Taimikko ilman säästöpuita					
	sp-kpit	sp-kiqm	sp-ppa	sp-vol	taim-ri	taim-kpit	taim-kiqm	taim-ppa	taim-vol	taim-ri	taim-kpit	taim-kiqm	taim-ppa	taim-vol
2006	27,4	39,2	0,3	4	1600	0,7	0	0	0	1600	0,7	0	0	0
2011	28,2	41,1	0,4	4,4	1600	3,5	2,2	0,3	0,8	1600	2,5	1,4	0,2	0,5
2016	28,9	42,9	0,4	4,8	1567,4	7	4,7	2,1	7,8	1555,7	6,7	4,8	2,5	9
2021	29,6	44,5	0,4	5,2	1511,1	10	6,4	4,5	21,8	1506,5	10	6,8	5,2	25,5
2026	30,3	46	0,5	5,6	1464	12,7	8,1	7,1	41,3	1463,2	12,8	8,5	8,1	48,3
2031	30,9	47,3	0,5	6	1421,5	15	9,6	9,9	67,1	1423,4	15,2	10,2	11,2	77,9
2036	31,6	48,6	0,5	6,4	1383	17	11,1	12,8	98,4	1387,4	17,1	11,7	14,4	112,9
2041	32,2	49,7	0,5	6,7	1349,1	18,7	12,5	15,9	134,5	1356	18,8	13,1	17,7	152,3
2046	33,2	51,1	0,6	7,2	1320,2	20,2	13,9	19,1	175,1	1329,2	20,3	14,5	21	194,7
2051	34,1	52,3	0,6	7,7	1296	21,5	15,1	22,2	217,3	1306,8	21,6	15,6	24	237,7
2056	35	53,4	0,6	8,1	1276,3	22,7	16,3	25,2	260,1	1288,6	22,8	16,7	27	281

vuosi	kpit		kiqm	
	sp-alla	vapaana	sp-alla	vapaana
2006	0,7	0,0	0,7	0,0
2011	3,5	2,2	2,5	1,4
2016	7,0	4,7	6,7	4,8
2021	10,0	6,4	10,0	6,8
2026	12,7	8,1	12,8	8,5
2031	15,0	9,6	15,2	10,2
2036	17,0	11,1	17,1	11,7
2041	18,7	12,5	18,8	13,1
2046	20,2	13,9	20,3	14,5

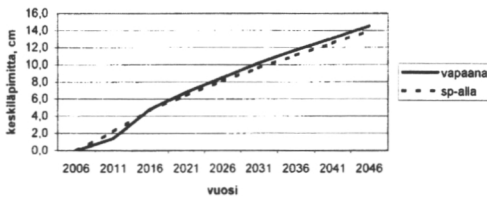
Taimikon keskitunnuksat säästöpuiden alla, % vapaana kasvavan taimikon tunnuksista

vuosi	kpit		kiqm	
	ri	vapaana	sp-alla	vapaana
2006	100,0	100,0		
2011	100,0	140,0	157,1	150,0
2016	100,8	104,5	97,9	84,0
2021	100,3	100,0	94,1	86,5
2026	100,1	99,2	96,3	87,7
2031	99,9	98,7	94,1	88,4
2036	99,7	99,4	94,9	88,9
2041	99,5	99,5	95,4	89,8
2046	99,3	99,5	95,9	91,0

Koivuntaimikon keskipituuden kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), MT kangas



Koivuntaimikon keskiläpimiten kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), MT kangas



**Esimerkki 4.** Laskelma MÄNNYNTaimikon kehityksestä vapaana kasvaen ja säästöpuiden alla MUSTIKKAKORPIMUUTTUMALLA. Aineistona RSU-muotoinen koeala hakkuukypsällä puustolla, 3 jaksoa (-> 30 kuvauspuuta). Säästöpuut valittu 'alaharvennusperiaatteella' korkeintaan 40 cm paksuista puista (7-40 cm). Kangasmaan kehitys simuloituna MELA99-malleilla, jossa 'talouspuille' käytetään omia ddom, hdom, agedom, crdom ja hdi(ip). Turvemaalla MELA99-mallit sellaisenaan.

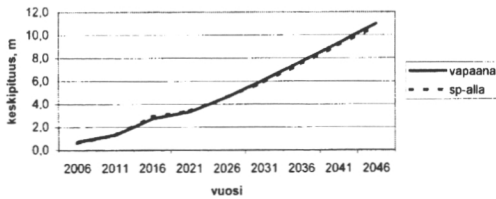
Alkutila ennen päätehakkuuta ja männynviljelystä				
vuosi	keskipit	keskipm	ppa	tilavuus

vuosi	Säästöpuiden tunnuksat				Taimikko säästöpuiden kanssa				Taimikko ilman säästöpuuta					
	sp-kpit	sp-kiqm	sp-ppa	sp-vol	taim-ri	taim-kpit	taim-kiqm	taim-ppa	taim-vol	taim-ri	taim-kpit	taim-kiqm	taim-ppa	taim-vol
2001	21,9	28,5	0,4	3,5						2000,00	0,70	0,00	0,00	0,00
2006	23	31,8	0,4	4,5	2000	0,6	0	0	0	2000,00	1,30	0,40	0,00	0,10
2011	24,4	34,5	0,5	5,4	2000	1,3	0,5	0	0,1	1969,40	2,70	2,60	0,50	1,50
2016	24,4	34,6	0,5	5,4	1776,5	2,9	2,7	0,4	1,2	1905,00	3,30	4,00	2,00	5,50
2021	24,4	34,6	0,5	5,4	1712	3,4	3,8	1,6	4,4	1860,20	4,60	5,80	4,20	12,80
2026	26	36,1	0,5	6,1	1669,2	4,6	5,4	3,3	10,1	1823,50	6,10	7,40	7,00	25,50
2031	27,7	37,5	0,6	6,8	1634,7	5,9	7	5,7	20,4	1792,20	7,70	9,10	10,50	45,20
2036	29,2	38,7	0,6	7,5	1606,3	7,5	8,7	8,7	36,5	1763,30	9,30	10,70	14,40	72,70
2041	30,6	39,8	0,6	8	1581,3	9,1	10,3	12,1	59,7	1735,20	11,00	12,30	18,80	108,50
2046	31,8	41	0,7	8,4	1558,4	10,7	11,9	16,1	90,8	1705,90	12,60	13,90	23,20	151,10
2051	32,8	42,1	0,7	8,8	1536	12,3	13,5	20,2	128,7					

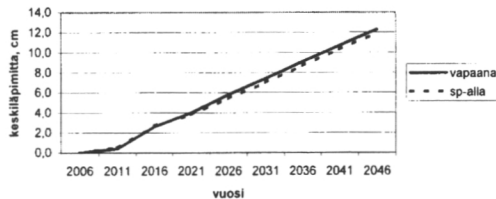
vuosi	kpit		kiqm		kpit		kiqm	
	sp-alla	vapaana	sp-alla	vapaana	sp-alla	vapaana	sp-alla	vapaana
2006	0,6	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
2011	1,3	0,5	1,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
2016	2,9	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
2021	3,4	3,8	3,3	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
2026	4,6	5,4	4,6	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
2031	5,9	7,0	6,1	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
2036	7,5	8,7	7,7	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
2041	9,1	10,3	9,3	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
2046	10,7	11,9	11,0	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3

vuosi	Taimikon keskitunnuksat säästöpuiden alla, % vapaana kasvavan taimikon tunnuksista				
	ri	kpit	kiqm	ppa	vol
2006	100,0	85,7			
2011	100,0	100,0	125,0		100,0
2016	90,2	107,4	103,8	80,0	80,0
2021	89,9	103,0	95,0	80,0	80,0
2026	89,7	100,0	93,1	78,6	78,9
2031	89,6	96,7	94,6	81,4	80,0
2036	89,6	97,4	95,6	82,9	80,8
2041	89,7	97,8	96,3	84,0	82,1
2046	89,8	97,3	96,7	85,6	83,7

Männynntaimikon keskipituuden kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), mustikkakorpiuuttuma



Männynntaimikon keskiläpimitan kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), mustikkakorpiuuttuma



**Esimerkki 5.** Laskelma KUUSENTaimikon kehityksestä vapaana kasvaen ja säästöpuiden alla MUSTIKKAKORPIMUUTTUMALLA. Aineistona RSU-muotoinen koeala hakkuukypsällä puustolla, 3 jaksoa (-> 30 kuvauspuuta). Säästöpuut valittu 'alaharvennusperiaatteella' korkeintaan 40 cm paksuista puista (7-40 cm). Kangasmaan kehitys simuloituna MELA99-malleilla, jossa 'talouspuille' käytetään omia ddom, hdom, agedom, crdom ja hdi(ipl). Turvemaalla MELA99-mallit sellaisenaan.

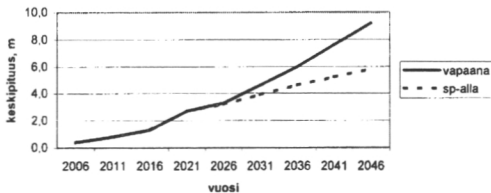
Aikuita ennen päätehakkua ja kuusenviljelystä				
vuosi	keskipt	keskilpm	ppa	tilavuus

vuosi	Säästöpuiden tunnuks				Taimikko säästöpuiden kanssa					Taimikko ilman säästöpuita				
	sp-kpit	sp-klpm	sp-ppa	sp-vol	taim-ri	taim-kpit	taim-klpm	taim-ppa	taim-vol	taim-ri	taim-kpit	taim-klpm	taim-ppa	taim-vol
2001	21,9	28,5	0,4	3,5						1800	0,4	0	0	0
2006	23	31,8	0,4	4,5	1800	0,4	0	0	0	1800	0,4	0	0	0
2011	23,9	34,6	0,5	5,3	1800	0,8	0	0	0	1800	0,8	0	0	0
2016	25,2	36,8	0,6	6,2	1800	1,3	0,3	0	0,1	1800	1,3	0,4	0	0,1
2021	25,2	36,8	0,6	6,2	1714,7	2,7	2,7	0,4	1,2	1791,9	2,7	2,7	0,4	1,3
2026	25,2	36,9	0,6	6,1	1696,7	3,2	3,4	1,4	3,7	1774,3	3,3	3,8	1,7	4,6
2031	26	38,1	0,6	6,6	1685,1	3,9	4,3	2,4	6,6	1763	4,6	5,4	3,7	10,8
2036	26,7	39,1	0,6	7	1675,8	4,6	5,1	3,4	10	1754,7	6	7	6,4	22,2
2041	27,5	40,1	0,6	7,4	1667,9	5,2	5,9	4,4	14	1748,5	7,6	8,6	9,8	40,1
2046	27,7	41	0,7	7,5	1661,2	5,8	6,5	5,5	18,5	1743,6	9,2	10,3	14	67,2
2051	28,3	41,8	0,7	7,7	1655,3	6,4	7,2	6,6	23,9	1739,4	10,8	11,9	18,5	102,9

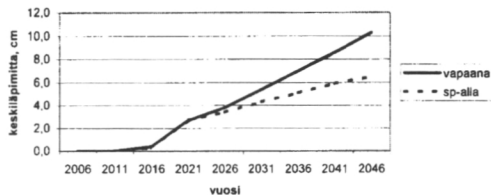
	kpit sp-alla	klpm sp-alla	kpit vapaana	klpm vapaana
2006	0,4	0,0	0,4	0,0
2011	0,8	0,0	0,8	0,0
2016	1,3	0,3	1,3	0,4
2021	2,7	2,7	2,7	2,7
2026	3,2	3,4	3,3	3,8
2031	3,9	4,3	4,6	5,4
2036	4,6	5,1	6,0	7,0
2041	5,2	5,9	7,6	8,6
2046	5,8	6,5	9,2	10,3

Taimikon keskitunnukset säästöpuiden alla, % vapaana kasvavan taimikon tunnuksista					
vuosi	ri	kpit	klpm	ppa	vol
2006		100,0		100,0	
2011		100,0			
2016		100,0		75,0	100,0
2021		95,7	100,0	100,0	100,0
2026		95,6	97,0	89,5	82,4
2031		95,6	84,8	79,6	64,9
2036		95,5	76,7	72,9	53,1
2041		95,4	68,4	68,6	44,9
2046		95,3	63,0	63,1	39,3

Kuusentaimikon keskipituuden kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), mustikkakorpiuuttuma



Kuusentaimikon keskiläpimiten kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), mustikkakorpiuuttuma



**Esimerkki 6.** Laskelma KOIVUNtaimikon kehityksestä vapaana kasvaen ja säästöpuiden alla MUSTIKKAKORPIMUUTTUMALLA. Aineistona RSU-muotoinen koeala hakkuukypsällä puustolla, 3 jaksoa (-> 30 kuvauspuuta). Säästöpuut valittu 'alaharvennusperiaatteella' korkeintaan 40 cm paksuista puista (7-40 cm). Kangasmaan kehitys simuloituna MELA99-malleilla, jossa 'talouspuille' käytetään omia ddom, hdom, agedom, crdom ja hdi(ipl). Turvemaalla MELA99-mallit sellaisenaan.

Alkutila ennen päätehakkua ja kuusenviljelystä				
vuosi	keskipit	keskilpm	ppa	tilavuus

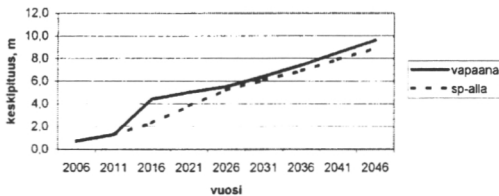
vuosi	Säästöpuiden tunnuksset				Taimikko säästöpuiden kanssa					Taimikko ilman säästöpuita				
	sp-kpit	sp-klpm	sp-ppa	sp-vol	taim-rf	taim-kpit	taim-klpm	taim-ppa	taim-vol	taim-rf	taim-kpit	taim-klpm	taim-ppa	taim-vol
2001	21,9	28,5	0,4	3,5										
2006	23	31,8	0,4	4,5	1600	0,7	0	0	0	1600	0,7	0	0	0
2011	24,2	34,6	0,5	5,4	1600	1,3	0,2	0	0	1600	1,3	0,2	0	0,1
2016	26	36,8	0,6	6,4	1214,5	2,3	2,3	0,1	0,2	1550,9	4,4	2,3	0,5	1,5
2021	27,3	38,3	0,6	7,1	1040,1	3,8	3,5	0,2	0,5	1497,3	5	3,2	1,1	3,5
2026	27,3	38,3	0,6	7	1004,8	5,2	4	1,1	3,5	1450,7	5,5	4,4	2,1	6,8
2031	28,6	39,5	0,6	7,6	973,9	6,1	5,4	2,1	6,9	1408,2	6,4	5,8	3,6	12,5
2036	28,9	40,6	0,7	7,9	947,1	6,9	6,8	3,3	12	1369,5	7,4	7,2	5,4	20,8
2041	30,1	41,5	0,7	8,4	924,1	7,9	8,3	4,8	19	1334,2	8,5	8,6	7,6	32
2046	31,2	42,4	0,7	8,7	904,3	8,9	9,7	6,5	28,2	1302	9,6	10	10,1	46,7
2051	32,3	43,2	0,7	9	887,4	9,9	11,2	8,5	40,1	1273,2	10,7	11,5	12,9	65,4

	kpit	klpm	kpit	klpm
	sp-alla	sp-alla	vapaana	vapaana
2006	0,7	0,0	0,7	0,0
2011	1,3	0,2	1,3	0,2
2016	2,3	2,3	4,4	2,3
2021	3,8	3,5	5,0	3,2
2026	5,2	4,0	5,5	4,4
2031	6,1	5,4	6,4	5,8
2036	6,9	6,8	7,4	7,2
2041	7,9	8,3	8,5	8,6
2046	8,9	9,7	9,6	10,0

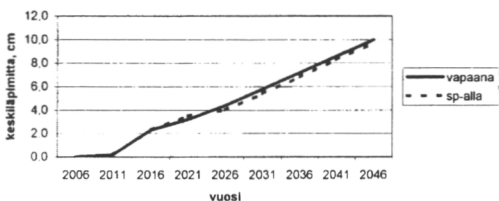
Taimikon keskitunnukset säästöpuiden alla, % vapaana kasvavan taimikon tunnuksista

vuosi	rf	kpit	klpm	ppa	vol
2006	100,0	100,0			
2011	100,0	100,0			0,0
2016	78,3	52,3	100,0	20,0	13,3
2021	69,5	76,0	109,4	18,2	14,3
2026	69,3	94,5	90,9	52,4	51,5
2031	69,2	95,3	93,1	58,3	55,2
2036	69,2	93,2	94,4	61,1	57,7
2041	69,3	92,9	96,5	63,2	59,4
2046	69,5	92,7	97,0	64,4	60,4

Koivuntaimikon keskipituuden kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), mustikkakorpiuuttuma



Koivuntaimikon keskiläpimitan kehitys vapaana ja säästöpuiden alla (3.5m<sup>3</sup>/ha), mustikkakorpiuuttuma



# Taimikot ja MELA2000

Arto Haara ja Leena Kärkkäinen

## 1 Johdanto

### 1.1 Taustaa

MELA on Suomen oloihin kehitetty metsätalouden malli ja metsien käytön ja hoidon suunnitteluväline (Siitonen ym. 1996; 1999). MELA-ohjelmistossa on kaksi pääosaa: (i) metsikkösimulaattori, jolla tuotetaan toteuttamiskelpoisia käsittely- ja kehitysvaihtoehtoja metsikoille tai muille laskentayksiköille ja (ii) optimointiohjelma JLP (Lappi 1992), jolla lasketaan metsäalueelle ja sen ositteille asetetut tavoitteet täyttäviä tuotanto-ohjelmia.

MELAn metsikkösimulaattori tarvitsee lähtötiedoikseen metsikkötietojen lisäksi ns. kuvauspuut, jotka edustavat mahdollisimman hyvin simuloitavan metsikön rakennetta. Koska käytettävissä on yleensä vain kuvioittaiset metsävaratiedot, joudutaan maastossa mitattujen kuvauspuiden sijasta käyttämään MELAn erillisen aineistonmuodostusosan malleilla johdettuja teoreettisia kuvauspuita (Kilpeläinen ym. 2000, Siitonen ym. 1996). Kuviolle määritetty puusto-ositteen keskipuu kuvaa yhden puulajin yhden latvuserroksen kaikkia puita. Keskipuusta muodostetaan joukko teoreettisia kuvauspuita, joiden oletetaan kuvaavan ositteen todellisia puita.

Kun puusto-ositteen keskiläpimitta on vähintään 5 cm, ositteen kuvauspuut muodostetaan estimoimalla läpimittajakauma puulajeittaisella Weibull-funktiolla, jossa selittävinä tekijöinä käytetään metsikkö- ja puustotunnuksia (Kilkki ym. 1989, Mykkänen 1986). Kuvauspuiden pituudet lasketaan Veltheimin (1987) pituusmalleilla.

Taimikoissa käytetään runkolukusarjan muodostamisessa pituusjakaumaa, koska läpimittajakauman muodostaminen on teoreettisestikin mahdotonta, sillä ositteen kaikki kuvauspuut eivät välttämättä ole saavuttaneet rinnankorkeutta (1.3 m). Puusto-ositteen keskiläpimitan ollessa alle viisi senttimetriä pituusjakaumana käytetään normaalijakaumaa, jolla ennustetaan kuvauspuiden pituus keskipituudesta käyttäen jakauman keskihajontana  $0.1 \cdot \text{pituutta}$ . Pituusjakauman kuvauspuille lasketaan frekvenssit standardoidusta normaalijakaumasta. Jakauman puille lasketaan läpimitat läpimittamalleilla. Kuvauspuiden ikänä käytetään puusto-ositteen mitattua keski-ikää.



Vielä MELA99-versioon asti pituusjakauman kaikkien kuvauspuiden läpimittana käytettiin puusto-ositteen mitattua pohjapinta-alalla painotettua keskiläpimittaa. Tämän seurauksena kyseisellä versiolla simuloitaessa taimikoiden kuvauspuiden läpimittajakaumaan ei tullut vaihtelua. MELA99-versiossa kuhunkin läpimittaan lisättiin pieni pituusjärjestystä noudattava poikkeama, joka tarvittiin puiden välisen kilpailun simuloinnissa. Tämä kilpailutekijä ei ollut vielä käytössä aiemmissä versiossa. Jos keskipituus jää vähän alle 1.3 metrin, voi pituusjakauman muodostuksessa tulla yli 1.3 metrin pituisia kuvauspuita. Näiden puiden läpimitta laskettiin MELA99- ja sitä aikaisemmissä versiossa kertomalla kuvauspuun pituus 1.1:llä.

## 1.2 Taimien pituuden ja läpimitan kasvu

Alle 1.3 metrin pituisten ja 1.3 metriä saavuttaneiden puiden pituuskasvut on MELA-ohjelmistossa mallitettu erikseen. Pienten puiden pituuskasvu on mallitettu kuvauspuun rinnankorkeuden saavuttamisiän ennusteen perusteella. Ennuste riippuu puuston pohjapinta-alasta, lämpösummasta, uudistamistavasta (luontainen/viljelty), puulajista sekä metsä- tai suotyypistä (Ojansuu ym. 1991, Hynynen ym. 2000).

MELA-ohjelmistossa 1.3 metriä saavuttaneen kuvauspuun pituuskasvu ennustetaan suhteessa valtapuiden pituuskasvuun. Kuvauspuun pituuskasvu voi olla suurempi tai pienempi kuin metsikön keskimääräinen valtapituuden kasvu riippuen puun suhteellisesta koosta. Puun suhteellinen koko kuvataan puun läpimitan ja valtapuiden keskimääräisen läpimitan suhteena. Puun suhteellisen koon vaikutus männyn ja kuusen pituuskasvuun riippuu valtapituuden kasvunopeudesta, latvusuhteesta ja metsikön sisäisestä kilpailusta. Koivun pituuskasvumallissa on otettu huomioon uudistamistavan vaikutus puiden kasvuun. Metsikön sisäinen pituuskasvun vaihtelu on suurempaa luontaisesti uudistetuissa kuin viljellyissä koivikoissa (Hynynen ym. 2000).

Kun puu saavuttaa 1.3 metrin pituuden, sen läpimitta lasketaan puulajin, metsä- tai suotyypin ja puuston pohjapinta-alan funktiona (Ojansuu ym. 1991). Kuvauspuun läpimitan kasvu ennustetaan puun pohjapinta-alan kasvumalleilla. Näissä puulaeittaisissa malleissa on otettu huomioon kasvupaikka, metsikön kehitysvaihe, puun koko, metsikön tiheys, metsikön sisäinen kilpailu ja metsänkäsittely. Kasvupaikka kuvataan pituusboniteetin, kasvupaikkatyyppin ja lämpösumman avulla. Metsikön kehitysvaihe määritetään valtapituuden eli niiden puiden keskimääräisen pituuden perusteella, joiden rinnankorkeusläpimitta on suurempi kuin puuston keskiläpimitta. Puun koko mallitetaan läpimitan ja latvussuhteen avulla ja puun kilpailuasemaa kyseistä puuta suurempien puiden tiheysindeksillä (Hynynen ym. 2000). Metsikön tiheys kuvataan puuston tiheysindeksin avulla. Puuston tiheysindeksi ilmaisee metsikön suhteellisen tiheyden verrattuna vastaavassa kehitysvai-

heessa olevaan täystiheään metsikköön. Sekametsävaikutus otetaan huomioon läpimitan kasvuennusteessa puulajeittain laskettavien tiheysindeksien avulla (Hynynen 1996). Harvennusta kuvataan luokkamuuttujan avulla. Koivujen pohjapinta-alan kasvua laskettaessa luokkamuuttujan avulla otetaan huomioon myös uudistamismenetelmä (Hynynen ym. 2000).

### 1.3 Puujoukon muodostus MELA2000-versiossa

MELA2000-versiossa kullekin kuvauspuulle lasketaan läpimitta puun pituuden perusteella uusilla Ojansuun (2000) puulajeittaisilla läpimittamalleilla. Mallit on laadittu männylle, kuuselle ja koivulle INKA- ja TINKA-koelaloilta kerätystä aineistosta (Gustavsen ym. 1988). Mikäli pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta ( $D_{GM}$ ) tunnetaan, korjataan läpimittoja korjauskertoimella siten, että  $D_{GM}$  toteutuu. MELA2000-versiossa myös yli 1.3 metrin pituisten puiden läpimitat keskipituudeltaan vähän alle 1.3 metrisissä taimikoissa lasketaan Ojansuun (2000) läpimittamalleilla.

Aineistonmuodostuksessa on suositeltavinta käyttää ensisijaisesti maastossa mitattuja kuvio- ja puustotietoja, mutta puutteellisia tietoja voidaan täydentää mallien avulla. Mikäli keskiläpimittaa ei ole mitattu keskipituudeltaan vähintään 1.3 metrin taimikosta tai puulajiositteesta, se ennustetaan puulajeittaisilla läpimittamalleilla, joissa selittävinä tekijöinä käytetään puusto- ja metsikkötunnuksia.

### 1.4 Tutkimuksen tavoitteet

MELA99-versiossa käytössä ollut taimikoiden läpimittojen ennustaminen puustositteittain hankittujen tietojen perusteella tuotti taimikko/pienpuu-ositteen kaikille kuvauspuille käytännössä saman läpimitan. Tähän MELA99:ssä tiedostettuun puutteeseen tartuttiin MELA2000-versiossa korvaamalla aineistonmuodostusosan pienten puiden läpimittamallit uusilla Ojansuun (2000) puulajeittaisilla läpimittamalleilla. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten pienten puiden uusien läpimittamallien käyttöönotto vaikuttaa taimikon aineistonmuodostukseen ja kehityksen simulointiin.

## 2 Aineisto ja menetelmät

Uusien läpimittamallien vaikutusta taimikon aineistonmuodostukseen ja metsikön kehitykseen tutkittiin kuudessa Kaakkois-Suomessa sijaitsevassa taimikossa (Taulukko 1). Kustakin taimikosta muodostettiin MELAn syöttötiedoiksi kuvioaineisto (.rsu-tiedosto) ja tästä kuvioaineistosta muodostettiin kuvauspuut sekä vanhoilla että uusilla pienten puiden läpimittamalleilla. Uusien läpimittamallien vaikutusta aineistonmuodostuksessa tutkittiin tarkastelemalla kuvauspuiden läpimittajakaumien eroja.

Taimikoiden kehitystä simuloitiin 30 vuotta Metsäkeskus Tapion metsänhoitosuosituksen mukaisesti (Luonnonläheinen metsänhoito 1994). Tarkempaan tarkasteluun valittiin MELA-ohjelmiston muodostamista käsittely- ja kehityssarjoista ensimmäinen eli se vaihtoehto, jossa taimikonhoito ja harvennukset tehdään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Uusien ja vanhojen läpimittamallien vaikutusta taimikoiden kehitykseen tarkasteltiin läpimitan kasvun ja simulointikauden lopun läpimittajakaumien eron kautta. Lisäksi tutkittiin, muuttivatko uudet läpimittamallit metsänkäsittelyjen ajankohtia. Kuusentaimikoissa tarkasteltiin myös tilavuuden kasvun eroa eri läpimittamalleilla.

Lopuksi tutkittiin mittausvirheiden vaikutusta aineistonmuodostukseen ja puuston kehityksen simulointiin. Männyntaimikon keskiläpimittaa, keskipituutta ja runkolukua muutettiin muiden tunnusten pysyessä samana. Keskipituuden mittausvirheen vaikutusta tutkittaessa oletettiin, ettei keskiläpimittaa ollut mitattu. Osassa käytännön inventointeja mitataan pohjapinta-alamediaanipuun läpimitan sijasta aritmeettinen keskiläpimitta. Kuusentaimikossa tutkittiin, mitä vaikutuksia aritmeettisen keskiläpimitan käytöstä tulee aineistonmuodostuksessa ja puuston kehityksen simuloinneissa.

**Taulukko 1.** Taimikoiden puustotunnukset simulointijakson alussa.

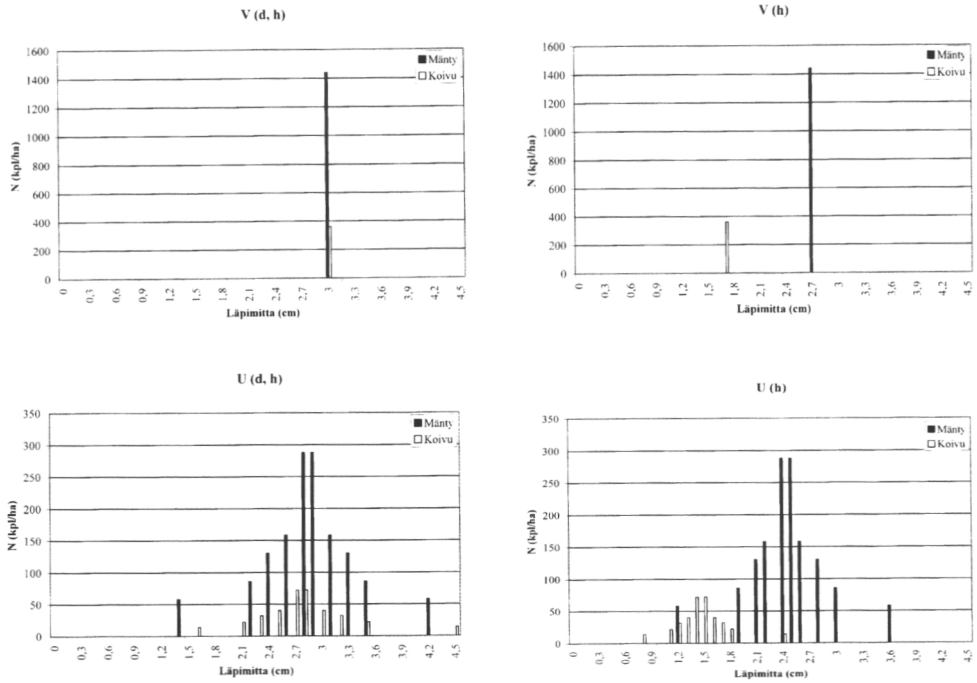
Taimikko	Tunnus					
	Metsä- tyyppi	Puulaji	$D_{gM}$ (cm)	H(m)	Runkoluku (kpl/ha)	Ikä (a)
Mänty-koivu	VT	mänty	3.0	2.0	1440	8
		rauduskoivu	3.0	2.0	360	8
Mänty	VT	mänty	1.0	2.0	2000	8
Koivu	MT	rauduskoivu	3.0	2.0	1800	7
Kuusi-koivu	MT	kuusi	4.0	4.0	1500	14
		rauduskoivu	3.0	4.0	450	10
Kuusi-mänty	MT	kuusi	3.0	2.0	1600	10
		mänty	3.0	2.0	400	10
Kuusi	MT	kuusi	3.0	4.0	2100	14

## 3 Esimerkkilaskelmia

### 3.1 Uusien ja vanhojen läpimittamallien vertailua

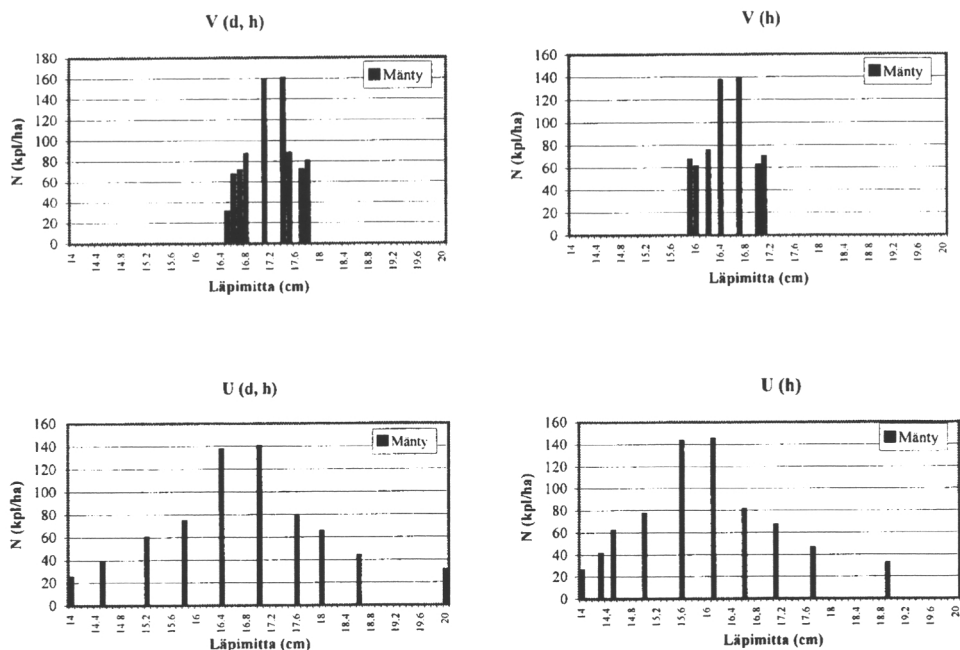
Testisimuloinneissa verrattiin uusilla ja vanhoilla läpimittamalleilla laskettuja kuvauspuiden läpimittoja ja niiden kehitystä sekä eri mallien vaikutusta puuston käsittelyajankohtiin ja hakkuukertymiin. Esimerkkitaimikoita oli kuusi: mänty-koivu-, kuusi-koivu- ja kuusi-mäntysekataimikot sekä puhtaat männyn- kuusen- ja rauduskoivuntaimikot.

Kuivahkon kankaan mänty-koivusekametsässä kasvoi 1440 männyn- ja 360 rauduskoivuntainta hehtaaria kohti. Molempien puulajien keskiläpimitta oli kolme senttimetriä ja keskipituus kaksi metriä (Taulukko 1). Aineistonmuodostuksessa MELA-ohjelmiston vanhat mallit antoivat kaikille kuvauspuille saman läpimitan eli tässä tapauksessa kolme senttimetriä. Kun läpimitat ennustettiin puuston keskipituuden perusteella, männyn kuvauspuut saivat läpimitakseen 2.7 cm ja rauduskoivun 1.7 cm. Kun läpimitat laskettiin uusilla malleilla puuston keskiläpimitan ja kuvauspuille ennustetun piteuden perusteella, ne olivat männyllä 1.4-4.2 cm ja rauduskoivulla 1.6-4.5 cm. Kun keskiläpimitaan perustuvaa kalibrointia ei tehty, männyntaimien läpimitat olivat 1.2-3.6 cm ja rauduskoivun 0.8-2,4 cm (Kuva 1).



**Kuva 1.** Mänty-koivutaimikon läpimittajakaumat MELAn aineistonmuodostuksen jälkeen vanhoilla ja uusilla läpimittamalleilla. V (d, h) = vanha malli, selittävinä tekijöinä puuston keskiläpimitta ja -pituus, V (h) = vanha malli, selittävinä tekijänä puuston keskipituus, U (d, h) = uusi malli, selittävinä tekijänä kuvauspuun pituus ja kalibrointi puuston keskiläpimitalla, U (h) = uusi malli, selittävinä tekijänä kuvauspuun pituus.

Laskettaessa kuvauspuiden läpimitat lähtötilanteessa uusilla malleilla läpimitan hajonta oli vielä 30 vuoden simulointijakson lopussa suurempaa kuin laskettaessa taimien läpimitat vanhoilla malleilla. Niissä simuloinneissa, joissa lähtöaineisto oli muodostettu vanhoilla läpimittamalleilla, pienimmän ja suurimman männyn kuvauspuun välinen läpimittaero oli vähän yli yksi senttimetriä. Kun lähtöaineisto oli muodostettu uusilla läpimittamalleilla, pienimmän ja suurimman simulointijakson alusta lähtien seuratun männyn kuvauspuun välinen läpimittaero oli 5-6 cm (Kuva 2).



**Kuva 2.** Mänty-koivutaimikon läpimittajakaumat 30 vuoden simulointijakson lopussa MELAn vanhoilla V (d,h), V (h) ja uusilla U (d,h), U (h) läpimittamalleilla.

Mänty-koivu-sekametsässä taimikonhoitoajankohta oli vanhoilla malleilla ja läpimitalla kalibroiduilla uusilla malleilla simuloitaessa sama. Se siirtyi vuoden myöhäisemmäksi, kun uusia malleja ei oltu kalibroitu keskiläpimitalla. Kun alkutilanteen läpimitat laskettiin vanhalla keskiläpimitaan perustuvalla mallilla, harvenusajankohta oli 1-2 vuotta aikaisemmassa uusiin malleihin verrattuna.

Toisena testitaimikkona käytettiin kuivahkon kankaan männyntaimikkoa. Sen runkoluku oli 2000 kpl/ha, keskiläpimitta yksi senttimetri ja keskipituus kaksi metriä (Taulukko 1). Puuston keskiläpimitan ollessa yksi senttimetri uusilla malleilla laskettujen kuvauspuiden läpimittojen vaihtelu lähtötalanteessa ei ole suurta. Tämän vuoksi simulointijakson lopussakaan uusilla ja vanhoilla malleilla alkutilanteessa muodostetut läpimittajakaumat eivät juurikaan poikenneet toisistaan. Sen sijaan kuvauspuiden pituuksien perusteella lasketuissa läpimitoissa oli uusissa malleissa huomattavasti enemmän vaihtelua kuin vanhoissa.

Männyntaimikossa keskiläpimitan mittaamatta jättäminen siirsi taimikonhoitoajankohtaa vuodella eteenpäin sekä uusilla että vanhoilla läpimittamalleilla. Kun

keskiläpimitta mitattiin, uusien läpimittamallien ja kalibroinnin käyttäminen siirsi ensiharvennuksen simuloitun ajankohdan vuotta aikaisemmaksi.

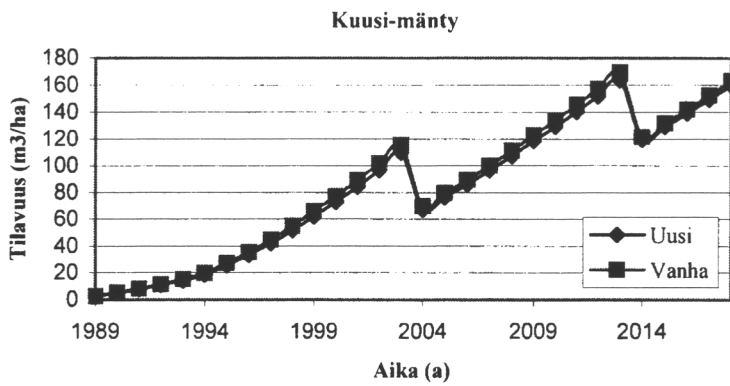
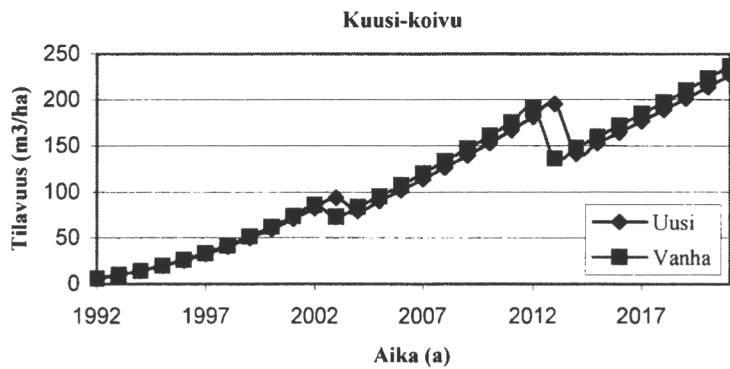
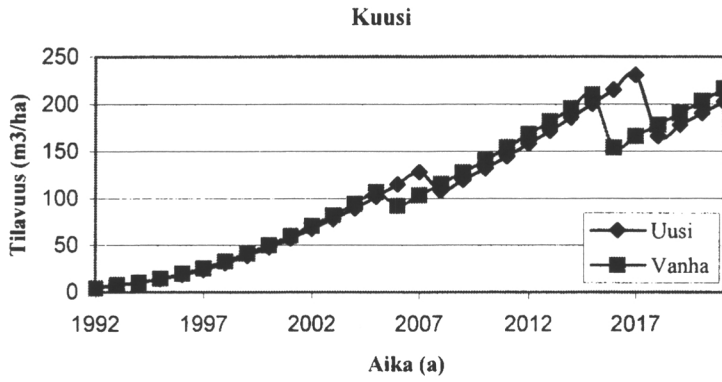
Kolmantena esimerkkitaimikkona oli tuoreen kankaan rauduskoivikko, jonka runkoluvuksi oli arvioitu 1800 kpl/ha, keskiläpimitaksi kolme senttimetriä ja keskipituudeksi kaksi metriä (Taulukko 1). Myös rauduskoivikossa 30 vuoden simulointijakson lopussa vanhoilla malleilla laskettujen kuvauspuiden läpimittojen hajonta oli pientä verrattuna uusilla malleilla laskettuihin läpimittoihin. Kun käytettiin läpimitalla kalibroituja uusia malleja, kuvauspuiden läpimitat olivat suurempia kuin kalibroimattomilla malleilla lasketut läpimitat.

Taimikonhoitoajankohta oli esimerkkinä olleessa rauduskoivikossa sama laskettaessa lähtötilanteen kuvauspuiden läpimitat uusilla ja vanhoilla malleilla. Läpimitalla kalibroidussa uudessa mallissa harvennusajankohta siirtyi vuoden myöhemmäksi verrattuna vanhaan malliin, jossa kuvauspuiden läpimitat laskettiin sekä keskiläpimitan että –pituuden perusteella.

Simuloinneissa tarkasteltiin myös yhden puhtaan kuusentaimikon ja kahden kuusivaltaisen mustikkatyyppin (MT) taimikon kehittymistä (Taulukko 1). Sekapuulajina toisessa kuusivaltaisessa taimikossa oli mänty ja toisessa koivu. MELAn aineistonmuodostuksen jälkeen uudet läpimittamallit toivat vaihtelua taimikon läpimitajakaumiin kaikissa kuusentaimikoissa. Kun taimikoiden kehitystä simuloitiin 30 vuotta, läpimitajakaumien vaihteluväli oli huomattavasti suurempi uusilla malleilla kuin vanhoilla simulointijaksojen lopussa.

Puhtaassa kuusikossa tilavuuden alkukehitys vanhalla läpimittamallilla oli jonkin verran nopeampaa ja taimikon ensiharvennus ja toinen harvennus tehtiin kaksi vuotta aikaisemmin kuin uusilla Ojansuun malleilla (Kuva 3). Hakkuukertymät jäivät hieman pienemmiksi vanhoilla malleilla johtuen harvennusajankohtien aikaistumisesta, mutta kokonaiskasvu simulointikaudella oli kuitenkin jonkin verran suurempi. Kuusi-mänty-taimikon simuloinnissa toimenpiteet tehtiin samoina vuosina, mutta tilavuuden kokonaiskasvu ja myös hakkuukertymät olivat vähän suurempia vanhoilla malleilla kuin uusilla. Kuusi-koivu-taimikon toimenpiteet siirtyivät yhdellä vuodella myöhemmäksi uusilla malleilla simuloitussa taimikossa. Tilavuuden ja pohjapinta-alan kasvu oli jonkin verran suurempaa vanhoilla malleilla.

Erot kuusentaimikoissa hakkuukertymien ja kasvun osalta olivat melko pieniä. Kuitenkin näissäkin taimikoissa läpimitajakaumien vaihtelu oli selvästi suurempaa uusilla läpimittamalleilla koko kasvatusjaksojen ajan.



**Kuva 3.** Kuusitaimikkojen tilavuuden kehitys ja harvennusajankohdat MELAn vanhoilla ja uusilla läpimittamalleilla.



## 3.2 Keskiläpimitan vaikutus taimien läpimittajakaumiin

Osassa käytännön maastoinventointeja mitataan puuston pohjapinta-alamediaani-puun läpimitan sijasta aritmeettinen keskiläpimita. Koska käytännössä läpimitat mitataan yhden senttimetrin luokissa, aritmeettinen keskiläpimita on taimikoissa useimmiten sama kuin mediaanipuun läpimita. Esimerkkinä aritmeettisen keskiläpimitan mittaamisesta mediaanipuun läpimitan sijaan tarkasteltiin MT-kuusikkoa, jonka kehitystä simuloitiin 30 vuotta. Kuusikon pohjapinta-alamediaanipuun läpimita ( $D_{gM}$ ) oli 3 cm ja aritmeettinen keskiläpimita ( $d$ ) 2.85 cm. MELAn aineistonmuodostuksen jälkeen kuvauspuilla oli sama pituusjakauma, mutta läpimittajakaumat poikkesivat hieman toisistaan ( $D_{gM}$ : 1.4 – 4.2 cm,  $d$ : 1.3 – 4.0 cm). Kasvatuksessa mittaustapojen ero muodostui hyvin pieneksi. Hoitotoimenpiteet ja harvennukset suoritettiin samoina vuosina kokonaishakkuukertymän erotessa vain  $3.1 \text{ m}^3$  ( $D_{gM}$ :  $109.6 \text{ m}^3$ ,  $d$ :  $106.5 \text{ m}^3$ ). Lopputilavuudetkin 30 vuoden kasvatuksen jälkeen olivat jokseenkin samoja ( $D_{gM}$ :  $134.7 \text{ m}^3$ ,  $d$ :  $134.3 \text{ m}^3$ ). Keskipituuden kehityksessä ei ollut eroa ja keskiläpimitan erokin pysyi samana (0.15 cm).

Testisimuloinneissa tarkasteltiin taimikon keskiläpimitan vaikutusta MELA-ohjelmiston muodostamiin läpimittajakaumiin. Esimerkkitaimikkona oli Kaakkois-Suomessa kuivahkolla kankaalla kasvava männyntaimikko, jonka runkoluku oli 2000 kpl/ha, keskipituus kaksi metriä ja ikä 8 vuotta. Simulointiaikana käytettiin 30 vuotta. Simuloitavassa taimikossa keskipituus säilytettiin samana, mutta keskiläpimita vaihteli yhdestä neljään senttimetriin.

Kuvauspuiden läpimitan hajonta jäi sitä pienemmäksi, mitä pienemmästä taimikosta oli kysymys, koska normaalijakaumaa noudattavan läpimittajakauman hajonta lasketaan keskiläpimitan perusteella. Taimikon keskiläpimitan ollessa yksi senttimetri, kuvauspuiden läpimitat vaihtelivat 0.5 cm:stä 1.4 senttimetriin. Kun taimikon keskiläpimitaksi annettiin neljä senttimetriä, muodosti MELA-ohjelmisto läpimittajakauman, jossa pienimmän kuvauspuun paksuus oli 1.9 cm:ä ja suurimman 5.6 cm:ä. Läpimittajakauman laajuus säilyi suurempana simulointiajanjakson loppuun saakka.

Kun keskiläpimitaksi annettiin yksi senttimetri, taimikonhoitoajankohta myöhästyi kolme vuotta ja ensimmäinen harvennus kahdeksan vuotta verrattuna siihen, että taimikon keskiläpimita oli lähtötilanteessa kaksi senttimetriä. Keskiläpimitan muuttaminen kahdesta senttimetristä kolmeen senttimetriin ei muuttanut taimikonhoito- eikä harvennusajankohtia. Läpimitan kohottaminen neljään senttimetriin lisäsi puuston pohjapinta-alaa niin paljon, ettei MELA-ohjelmisto enää simuloinut taimikonhoitoa. Keskiläpimitan muutoksilla oli vaikutusta myös hakkuukertymiin. Kun simuloinnin lähtötietojen keskiläpimitaa suurennettiin, suureni myös metsiköstä tulevana vuosina saatava hakkuukertymä.

### 3.3 Keskipituuden vaikutus taimien läpimittajakaumiin

Vastaavalla tavalla kuin tarkasteltiin keskiläpimitan vaikutusta MELA-ohjelmiston muodostamiin läpimittajakaumiin tutkittiin myös puuston keskipituuden muutoksen vaikutuksia männyntaimikon läpimittajakaumiin. Simuloinneissa oletettiin, ettei taimikon keskiläpimitat ollut tiedossa, jolloin MELA-ohjelmisto estimoivat kuvauspuiden läpimitat niiden pituuksien perusteella.

Männyntaimikon keskipituus oli simuloinneissa kaksi ja kolme metriä. Keskipituuden suurenessa kuvauspuiden pituuden hajonta suurenee. Samalla myös läpimittajakauma laajenee, koska läpimittamalleissa selittävänä tekijänä on puun pituus. Kun taimikon keskipituus oli lähtötilanteessa kaksi metriä, ohjelmiston kuvauspuille laskemat läpimitat vaihtelivat 1.3 senttimetrinä 3.8 senttimetriin. Lisättäessä taimikon keskipituutta kolmeen metriin kuvauspuiden läpimitat olivat 3.1-6.0 senttimetriä. Ohjelmisto simuloi taimikonhoidon ja harvennukset vuotta aikaisemmaksi, kun puuston lähtötilanteen keskipituutta kasvatettiin kahdesta metristä kolmeen metriin.

### 3.4 Runkoluvun vaikutus taimien läpimittajakaumiin

Jos taimikon runkoluku on yli 3000 runkoa/ha, MELA-ohjelmisto muodostaa normaalijakauman sijasta oikealle vinon läpimita- ja pituusjakauman. Kuvauspuiden pituus ja läpimitat ennustetaan samalla tavalla kuin puustoltaan harvemmissäkin taimikoissa. Luvussa 3.2 esitetyllä männyntaimikolla tutkittiin puuston tiheyden vaikutusta runkolukuserjoihin 30 vuoden simulointijaksolla. Näissä simuloinneissa taimikon pohjapinta-alalla painotetuksi keskiläpimitaksi oletettiin alkutilanteessa kolme senttimetriä. Runkolukuna käytettiin 3100 kpl/ha, 5000 kpl/ha ja 10000 kpl/ha. Mitä suurempi oli taimikon alkutiheys, sitä pienempiä kuvauspuiden simuloidut läpimitat olivat 30 vuoden kuluttua. Kun taimikon runkoluku oli simuloinnin alussa 3100 runkoa/ha, kuvauspuiden läpimitat olivat 14.2-20.3 cm. Alkutiheyden kohottaminen 10 000 taimeen hehtaaria kohti pienensi läpimitat 11.6-17.8 cm:iin. Kuvauspuiden pituuksiin taimikon alkutiheydellä ei ollut vaikutusta.

Kun taimikon runkoluku on yli 3000 kpl/ha, harvennusajankohta siirtyy sitä myöhemmäksi, mitä tiheämmästä taimikosta on kysymys. Mikäli tiheissä taimikoissa pohjapinta-ala on heti simuloinnin alussa yli 10 m<sup>2</sup>/ha, taimikonhoito jää kuitenkin tekemättä ja MELA tekee ensiharvennuksen aikaisimpana mahdollisena ajankohdana.

## 4 Päätelmät

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin MELA-järjestelmän pienten puiden uusien läpimittamallien tuomaa muutosta aineiston muodostukseen ja puuston kehitykseen. Tätä muutosta tutkittiin eri puulajien muodostamille esimerkkitaimikoille tehtyjen simulointien avulla.

Uusien läpimittamallien käyttöönotto ei vaikuttanut kovin paljon taimikon keskittunusten (keskipituus, keskiläpimitta), pohjapinta-alan ja tilavuuden kehitykseen. Uudet mallit levensivät kuitenkin huomattavasti puusto-ositteiden kuvauspuiden läpimittajakaumaa aineistonmuodostuksesta lähtien. Tällä vaihtelun lisääntymisellä pystytään kuvaamaan paremmin taimikossa vallitsevaa tilannetta ja sitä kautta simuloimaan tarkemmin taimikon kehitystä ja tarkentamaan hakkuukertymiä.

Tutkimuksen mukaan uusilla läpimittamalleilla harvennusajankohta näyttää yleensä pysyvän samana tai siirtyvän muutamalla vuodella myöhäisemmäksi. Tämä on seurausta siitä, että taimikon kehitys näyttää hidastuvan hieman uusien mallien myötä.

Jos taimikon keskiläpimitta on arvioitu virheellisesti maastoinventointien yhteydessä, on sillä vaikutusta MELA-ohjelmiston muodostaman läpimittajakauman laajuuteen ja sijaintiin. Läpimitan aliarviointi saattaa myöhästyttää taimikonhoitoja harvennusajankohtaehdotusta. Taimikon keskiläpimitan virhearviointilla on vaikutusta myös tuleviin hakkuukertymiin. Aritmeettisen keskiläpimitan mittaamisella pohjapinta-alamediaanipuun läpimitan sijasta ei näytä olevan kovinkaan suurta vaikutusta simulointituloksiin. Koska käytännössä läpimitat mitataan yhden senttimetrin luokissa, aritmeettinen keskiläpimitta on taimikoissa useimmiten sama kuin mediaanipuun läpimitta.

Taimikon puusto-ositteen kuvaaminen kymmenellä kuvauspuulla voi olla vaikeaa luontaisesti syntyneissä taimikoissa, joissa läpimittajakauma voi olla erityisen vaihteleva. Tosin suuremman kuvauspuujoukon käyttöönotto ei välttämättä paranna tilannetta ilman lisämittauksia (esim. maksimiläpimitta, maksimi- ja minimipituus). Vaihtelevissakin taimikoissa hoitotoimenpiteet ja harvennukset muuttavat läpimittajakaumaa vähitellen tasaiseksi. Yksittäisten kuvauspuiden alkukehitys voidaan kuitenkin kuvata liian optimistisesti, jos simulaattorin lähtötiedoiksi ei viedä kehityskelvottomia tai ylikasvuisia taimia, jotka oletetaan poistettavan taimikonhoitotoimenpiteissä.

Metsien käsittelyssä on tapahtunut viime vuosina muutoksia, joiden vaikutuksista ei ole vielä selkeää käsitystä. Luontaisen uudistamisen ja kylvön lisääntyminen sekä uudistamistoimenpiteiden ja taimikonhoidon viivästyminen on tuottanut taimikoita, joissa taimien välinen kokovaihtelu on suurta. Tämän vaihtelun ja muu-

tenkin taimikon paremman kuvauksen ja kehityksen simuloinnin tarkentamisessa uudet läpimittamallit näyttävät selvältä parannukselta entiseen verrattuna.

Tutkimusten mukaan (Saksa 1986, 1989, 1992, 1993, Kinnunen ja Nerg 1983) taimikon kokojakauman muoto on erilainen luontaisesti uudistetussa ja viljellyissä taimikoissa. Jakauman muoto muuttuu erilaiseksi taimikon kehityksen myötä. Lisäksi kokojakaumaan vaikuttaa mm. puulaji, puuston tiheys ja metsänkäsittelyt. Kaikkien näiden tekijöiden huomioon ottaminen taimien kokojakaumien mallintamisessa on tällä hetkellä ongelmallista aineiston puuttumisen vuoksi. Uusien läpimittamallien lisääminen MELA-ohjelmistoon on kuitenkin yksi askel kohti parempaa taimikoiden kehityksen mallintamista.

## Kirjallisuus

- Hynynen, J. 1996. Puuston kehityksen ennustaminen MELA-järjestelmässä. Julkaisussa: Puuston kehityksen ennustaminen – MELA ja vaihtoehtoja. Tutkimusseminaari Vantaalla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 612: 21-37.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Siipilehto, J. ja Haapala, P. 2000. Models for predicting the stand development description of biological processes in MELA system. Käsikirjoitus.
- Kilkki, P., Maltamo, M., Mykkänen, R. & Päivinen, R. 1989. Use of the Weibull function in estimating the basal-area diameter distribution. *Silva Fennica* 23: 311-318.
- Kilpeläinen, H., Malinen, J. & Haara, A. 2000. MELA-laajennusosat. MELA 2000 versio. Metsäntutkimuslaitos. Joensuun tutkimuskeskus. Moniste. 45 s.
- Kinnunen, K. ja Nerg, J. 1983. Istutustaimikoiden tila 11-12 vuotta viljelystä Länsi-Suomen yksityismetsissä. *Folia Forestalia* 546. 20 s.
- Lappi, J. 1992. JLP: A linear programming package for management planning. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 414. 134 s.
- Luonnonläheinen metsänhoito 1994. Metsänhoitosuosituksat. Metsäkeskus Tapion julkaisuja 6 1994. 72 s.
- Mykkänen, R. 1986. Weibull-funktion käyttö puuston läpimittajakauman estimoinnissa. Metsätalouden syventävien opintojen tutkielma. Joensuu. 80 s.
- Ojansuu, R. 2000. Puiden läpimittojen ennustaminen, kun pituusjakauma tunnetaan. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 2 s.
- Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. ja Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000 –versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. 59 s.

- Saksa, T. 1986. Männyntaimien kehitys muokatuilla viljelyaloilla Lieksan ja Rautavaaran hoitoalueissa. *Folia Forestalia* 644. 60 s.
- Saksa, T. 1989. Männyntaimikoiden tila auras- ja äestysaloilla Etelä-Savossa. *Folia Forestalia* 733. 32 s.
- Saksa, T. 1992. Männyntaimikoiden kehitys muokatuilla uudistusaloilla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 418. 48 s.
- Saksa, T. 1993. Rauduskoivun luontainen uudistaminen. Teoksessa: Hannelius, S. (toim.). Uusia vaihtoehtoja metsänkasvatukseen. *Metsäntutkimuspäivä Järvenpäässä 16.11.1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 491:9-12.
- Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O. ja Teuri, M. 1996. *MELA Handbook 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 622. 452 s.
- Siitonen, M., Härkönen, K., Kilpeläinen, H. ja Salminen, O. (eds.). 1999. *MELA Handbook. 1999 Edition.* 492 s.
- Veltheim, T. 1987. Pituusmallit männylle, kuuselle ja koivulle. *Metsänarvioimistieteen pro gradu-työ.* Helsingin yliopisto.

# Maastomittaukset ja MELA2000

Pekka Hyvönen

## 1 Johdanto

MELA-ohjelmistossa käytetään runkotilavuuden ja puutavaralajien määrän laskennassa Laasasenahon (1982) runkokäyrämalleilla laskettuja tilavuustaulukoita. Taulukot on määritelty eri puulajeille pituuden ja läpimitan funktioina. Rungon luotettava jakaminen eri puutavaralajeiksi on osoittautunut ongelmalliseksi. Käytännön kokemuksen perusteella tämä ilmenee siten, että tukkien määrä saadaan liian suureksi pelkän läpimittatarkastelun perusteella. Yliarvioon vaikuttavat sekä puun dimensioista riippumaton laadunkuvauksen puuttuminen että kiinteiden tilavuustaulukoiden käyttö. Puun laadun huomioimiseksi on MELA-ohjelmistolla tehdyissä laskelmissa käytetty ns. tukkivähennyskorjausta, joka on laskettu valtakunnan metsien inventoinnin (VMI7) koepuumittausten avulla (Nuutinen ja Hirvelä 2000).

MELA-ohjelmiston kuviotietojärjestelmäsovelluksissa optimistisiin kertymiin vaikuttavat osaltaan myös virheelliset kuvioittaisen arvioinnin tiedot. Virheellisten puustotunnusten vaikutuksista hakkuulaskelmiin on tehty erilaisia herkkyysoanalyysijä (Pihljerta 1987, Hyvönen 2000). Esimerkiksi pohjapinta-alan yhden m<sup>2</sup>/ha yliarvio voi lisätä päätehakuussa kertymää noin viisi prosenttia (Hyvönen 2000). Pohjapinta-alan ja keskiläpimitan pienetkin muutokset voivat muuttaa tukki- ja kuitukertymien suhteita selvästi (Pigg 1994).

Tämän tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää mitkä maastossa suoritettavat lisämittaukset tarkentavat simuloinnin tuloksia lähemmäksi oikeaa. Toisena tavoitteena oli selvittää miten lähtötietojen erilaiset yhdistelmät vaikuttavat simuloinnin lopputuloksiin.

## 2 Aineisto ja menetelmät

MELAn simuloimien kertymien tarkastelemiseksi mitattiin Keski-, Kaakkois- ja Itä-Suomesta yhteensä 37 kivennäismaan päätehakuukuviota. Kuviot luokiteltiin neljään ryhmään (=ositteeseen) pääpuulajin ja kasvupaikan mukaan: mänty MT ja VT sekä kuusi OMT ja MT. Kuvion koosta riippuen kuviolta mitattiin 3 - 5 koealaa, joilta jokaiselta määritettiin kuvioittaisen arvioinnin tiedot. Relaskooppikoealan pohjapinta-alamediaanipuu oli koepuuna. Siitä mitattiin pituus, rinnankor-

keusläpimitta, ikä, latvus- ja kuivaoksaraja. Lisäksi määritettiin tukkivähennysprosentti eli vähennys tukkikokoisen puun tukkimäärästä.

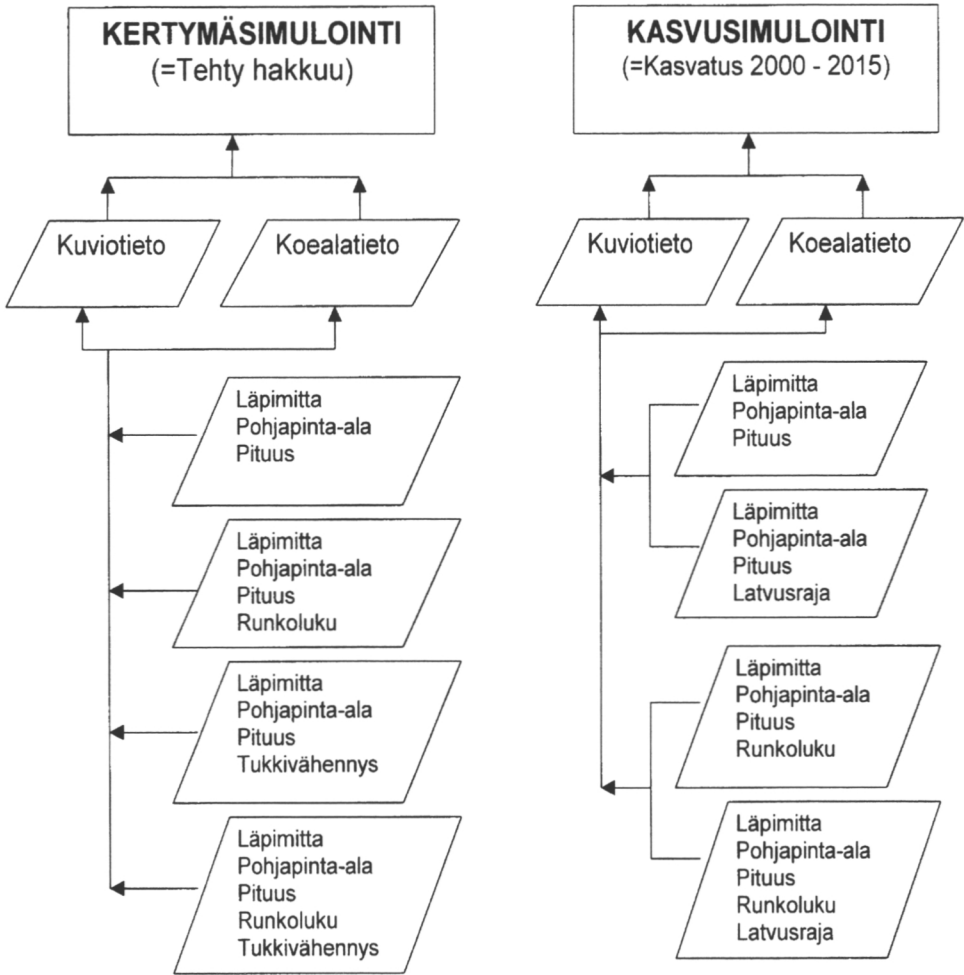
Mitatut kuviot hakattiin ja hakkuukoneiden tuloksia verrattiin MELAn simuloimiin tuloksiin. Kertymäsimuloinnissa kuviolle pakotettiin toteutuneen hakkuun mukainen tapahtuma, avohakkuu tai siemenpuuhakkuu. Simuloinnin lähtötietoina olivat kaikissa vaihtoehdoissa pohjapinta-ala, keskipituus ja keskiläpimitta. Lisämuuttujina käytettiin eri yhdistelminä runkolukua, MELAn tukkivähennysmallin antamaa tukkivähennystä ja maastossa arvioitua tukkivähennysprosenttia. Jos aineistotiedoston puusto-ositteelle on määritetty tukkivähennysprosentti ja simuloinnissa käytetään myös tukkivähennysmallia, MELA käyttää tukkivähennyksenä näistä kahdesta suurempaa. Kasvusimuloinnissa simuloitiin 15 vuoden tuleva kasvu ilman toimenpiteitä. Tällä selvitettiin latvusrajan määrittämisen vaikutusta.

MELA2000-versiossa voidaan simulointiin viedä koealoittaista ja puukohtaista tietoa (Kilpeläinen ym. 2000). Oletuksena on, että tällöin kuviolla oleva vaihtelu voidaan ottaa laskelmissa paremmin huomioon kuin pelkillä kuvion keskiarvoilla laskettaessa. Sekä kertymä- että kasvusimuloinnit tehtiin kuviokohtaisilla ja koealakohtaisilla tiedoilla (kuva 1). Molempien simulointien tuloksia tarkasteltiin sekä kuvio- että ositekohtaisesti. Lisäksi tehtiin laskelmat koskien kokoaineistoa.

## 3 Tulokset

### 3.1 Kertymäsimulointi

Yksittäisillä kuvioilla todellinen (=hakattu) kertymä ja simuloinnista saatu kertymä vaihtelivat tilajärjestykseltään ryhmittäisissä metsiköissä. Pääsääntöisesti poikkeaman suuruus vaihteli 10 - 20 %:n välillä, yhdessä tapauksessa jopa 100 %. Suurimmassa osassa simuloinnista saatu kertymä oli todellista kertymää suurempi. Ryhmittäisyyden vaikutus oli selvin OMT-kuusikoissa. Vaikka kertymät poikkesivat toisistaan, niin tukki- ja kuitusuhteet olivat lähellä toisiaan, kun laskennassa käytettiin tukkivähennysmallia ja maastossa arvioitua tukkivähennysprosenttia (taulukko 1). Tukkivähennysprosentin käyttö tarkensi varsinkin kuusen tukki- ja kuitusuhteet lähes kohdalleen. Mäntyvaltaisilla ja kuusen MT-kuvioilla simuloinnista saadut kertymät ja todelliset kertymät olivat lähellä toisiaan.



**Kuva 1.** Kaaviokuva kertymä- ja kasvusimuloinnin kulusta ja lähtötietojen eri yhdistelmästä. Kertymäsimuloinnin tuloksia verrattiin hakattuihin kertymiin. Kasvusimuloinnissa verrattiin keskenään simuloiteja, joissa latvusraja oli tai ei ollut mitattu.



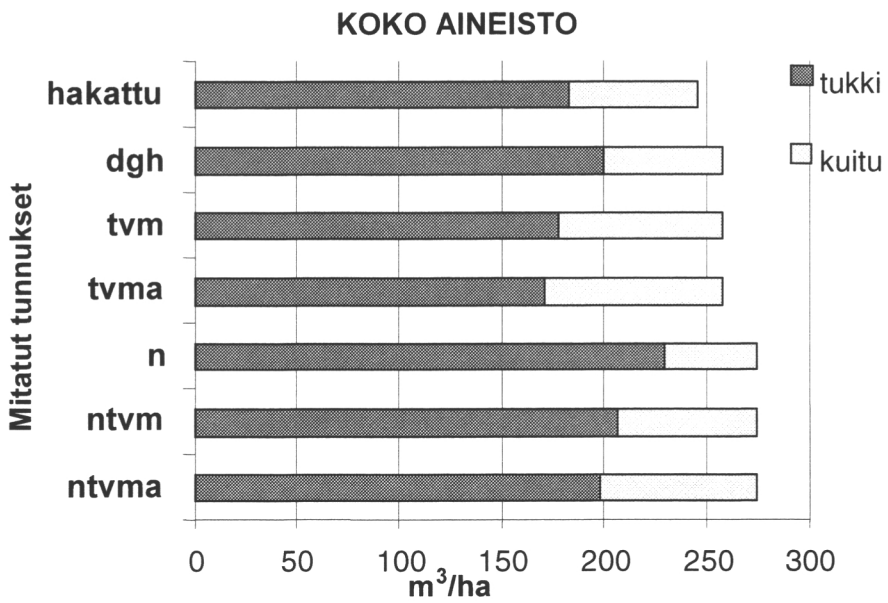
**Taulukko 1.** Tukki- ja kuitusuhteet simuloitaessa eri lähtötiedoilla. dgh = keskiläpimitta, pohjapinta-ala ja keskipituus (käytetty jokaisessa simuloinnissa), tvn = MELAn tukkivähennysmalli, tvma = MELAn tukkivähennysmalli ja tukkivähennysarvio (suurempaa käytetty simuloinnissa), n = runkoluku.

	Hakattu	Tukki-/kuitusuhteet					
		Moto	Simuloidut				
		dgh	tvm	tvma	n	ntvm	ntvma
Mäntytukki	78,7	83,5	68,1	68,0	88,1	73,8	73,7
Mäntykuitu	21,3	16,5	31,9	32,0	11,9	26,2	26,3
Kuusitukki	74,2	74,2	72,3	66,8	81,2	79,3	73,2
Kuusikuitu	25,8	25,8	27,7	33,2	18,8	20,7	26,8
Koivutukki	33,5	60,7	32,2	32,2	63,0	34,2	34,2
Koivukuitu	66,5	39,3	67,8	67,8	37,0	65,8	65,8
<b>Yht. tukki</b>	74,3	77,6	68,9	65,9	83,3	75,2	71,9
<b>Yht. kuitu</b>	25,7	22,4	31,1	34,1	16,7	24,8	28,1

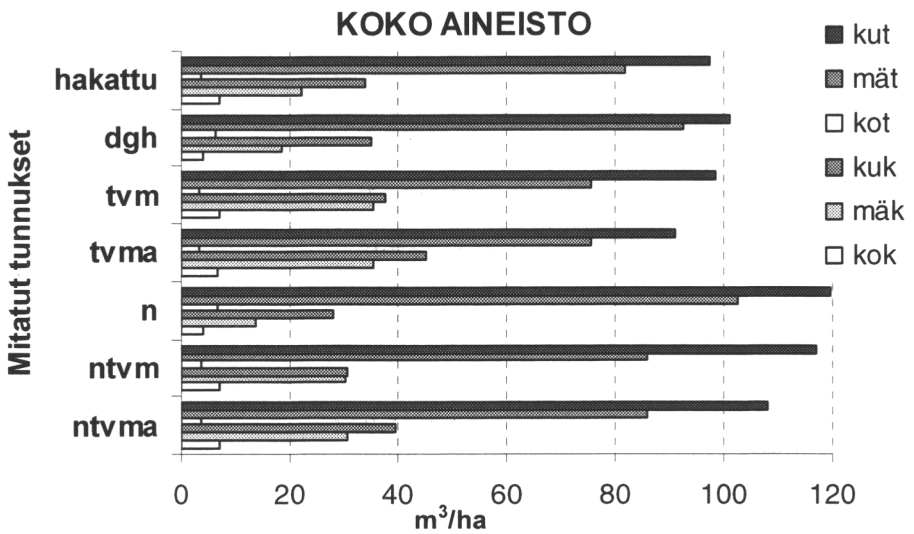
Runkoluvullisen lähtötiedon käyttö simuloinnissa lisäsi tukkikertymiä ja vähensi kuitukertymiä runkoluvuttoman lähtötiedon käyttöön verrattuna (kuvat 2 ja 3). Siirtymä kuidusta tukkiin johtui jakaumassa tapahtuneesta muutoksesta. Yksittäisillä kuvioilla runkoluvun käyttö lähtötietona lisäsi läpimittajakauman tukkikoisten puiden runkolukua ja vähensi kuitupuukokoisten puiden runkolukua.

Koko aineistossa simuloinnista saadut runkoluvut olivat n. 8 % suuremmat kuin maastossa arvioidut. Ainoastaan OMT-kuusikossa simuloitujen runkoluvut olivat maastossa arvioituja n. 8 % pienemmät. Runkoluvuttoman lähtötiedon käyttö simuloinnissa lisäsi kokonaisrunkolukua runkoluvullisen lähtötiedon käyttöön verrattuna.

Koaloittaisessa simuloinnissa tulokset olivat lähes samalla tasolla kuin kuviosimuloinnissa (taulukko 2). Runkoluvun käyttö laskennassa lisäsi kokonaiskertymää kuviosimulointiin verrattuna 11 m<sup>3</sup>/ha (4 %). Kuvioittaisessa arvioinnissa runkoluku talletetaan yleensä kymmenen rungon tarkkuudella. Tämän vuoksi koaloilta laskettu runkolukujen keskiarvo pyöristettiin lähimpään kymmeneen. Tämä selittää osaltaan kuvio- ja koalasimuloinnin kertymien erot runkolukua käytettäessä.



Kuva 2. Tukki- ja kuitukertymät koko aineistossa simuloitaessa eri lähtötiedoilla.



Kuva 3. Tukki- ja kuitukertymät puulajeittain koko aineistossa simuloitaessa eri lähtötiedoilla.

**Taulukko 2.** Kuvio- ja koealasimuloinnin erot kertymissä simuloitaessa eri lähtötiedoilla.

<b>Koealasimuloinnin kertymien ero m<sup>3</sup>/ha kuviosimuloinnin kertymiin verrattuna</b>						
	dgh	tvm	tvma	n	ntvm	ntvma
Mäntytukki	-0,4	-0,8	-1,1	2,2	0,9	0,7
Mäntykuitu	2,0	2,3	2,6	1,0	2,3	2,5
Kuusitukki	-2,1	-2,5	-2,7	4,8	4,3	3,2
Kuusikuitu	-0,1	0,3	0,5	2,3	2,8	3,9
Koivutukki	0,6	0,3	0,1	0,6	0,2	0,2
Koivukuitu	0,2	0,6	0,7	0,1	0,5	0,5
<b>Yht. tukki</b>	<b>-1,9</b>	<b>-3,0</b>	<b>-3,7</b>	<b>7,6</b>	<b>5,4</b>	<b>4,1</b>
<b>Yht. kuitu</b>	<b>2,1</b>	<b>3,2</b>	<b>3,8</b>	<b>3,4</b>	<b>5,6</b>	<b>6,9</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>11,0</b>	<b>11,0</b>	<b>11,0</b>

### 3.2 Kasvusimulointi

MELAn antama latvusraja oli männyllä ja kuusella simuloinnin alussa n. 26 % alempana kuin maastossa mitattu. Ainoastaan mäntyvaltaisilla MT-kuvioilla mallin antama kuusen latvusraja oli maastossa mitattua ylempänä. Koivulle malli antoi mäntyvaltaisissa metsiköissä lähes saman latvusrajan kuin maastossa oli mitattu. Kuusivaltaisissa metsiköissä mallin koivulle antama latvusraja oli simuloinnin alussa n. 16 % alempana kuin maastossa arvioitu.

Mallin antama yliarvio elävän latvuksen pituudesta lisäsi tulevia kasvuja ja myös tilavuuksia verrattuna tilanteeseen, jossa latvusraja oli mitattu. Latvusrajan määrittäminen vähensi kasvua koko kautena yhteensä 11,5 % ja tilavuutta 2,7 % (taulukko 3). Kasvun ja tilavuuden väheneminen oli tukilla selvempää kuin kuidulla.

Koealoittaisessa kasvusimuloinnissa näkyi kuvion ryhmittäisyyden vaikutus. Kun lähtötietona käytettiin runkolukua, oli kasvu koealoittaisessa simuloinnissa hieven pienempi kuin kuviosimuloinnissa.

**Taulukko 3.** Tilavuuksien ero tarkastelujaksojen alussa, kun latvusraja on mitattu tai mallin antama. Negatiivinen luku tarkoittaa, että mallin antamalla latvusrajalla simuloitaessa tilavuus on ollut suurempi kuin maastossa mitatulla latvusrajalla simuloitaessa.

<b>Tilavuuden suhteellinen ero, %</b>			
Latvusraja mitattu - latvusraja malli			
	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>
Mäntytukki	-1,5	-2,3	-2,9
Mäntykuitu	-0,4	-1,1	-1,7
Yht.	-1,2	-2,0	-2,6
Kuusitukki	-1,3	-2,5	-3,5
Kuusikuitu	-0,8	-0,8	0,3
Yht.	-1,2	-2,2	-3,0
Koivutukki	0,0	-0,3	-0,3
Koivukuitu	-0,2	-0,4	-0,6
Yht.	-0,1	-0,4	-0,5
<b>Yhteensä tukki</b>	<b>-1,4</b>	<b>-2,4</b>	<b>-3,2</b>
<b>Yhteensä kuitu</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,8</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>-1,2</b>	<b>-2,1</b>	<b>-2,7</b>

## 4 Päätelmiä

Kertymäsimuloinneissa saadut absoluuttiset erot todellisiin kertymiin sisältävät kuvion pinta-aloista aiheutuvan virhemahdollisuuden. Kuvion pinta-alana käytettiin kuvioekistereissä olleita pinta-aloja. Nämä voivat poiketa kuviodien oikeista eli hakatuista pinta-aloista. Siksi tukki- ja kuitusuhteiden tarkastelu antaa oikeamman kuvan eri mittaussyhistelmien järjestyksestä.

Tukkivähennysprosentin määrittäminen maastossa ei vaadi suuria lisäyksiä maastotyön ajanmenekkiin ja kustannuksiin. Kuvioilla, joilla on selvä tukkisaantoa alentava tekijä, on järkevää arvioida tukkivähennys. Tällainen tekijä voi olla esimerkiksi kuusikoissa laho tai rehevän kasvupaikan männiköissä mutkaisuus ja oksaisuus. Esimerkkisimuloinneissa maastossa arvioitu tukkivähennys käytettynä yhdessä runkoluvun kanssa tarkensi etenkin kuusikoiden puutavaralajisuhteet lähelle oikeaa.

Tilajärjestykseltään ryhmittäisillä kuvioilla runkoluvun käyttö simuloinnissa muutti selvästi tuloksia verrattuna tilanteeseen, missä runkolukua ei käytetty. Ennusteet olivat pääosin yliarvioita toisin kuin Maltamon ym. (2000) tutkimuksessa. Tilajärjestykseltään tasaisissa metsissä ei runkoluvulla ollut näin selvää vaikutusta lopputuloksiin. Runkoluvun mittaamisen tärkeyttä on korostettu juuri epätasaisissa metsiköissä, jotta läpimittajakauma voitaisiin muodostaa oikein (Maltamo ja Kangas 1999). Epätasaisilla kuvioilla runkolukua ei pystytty mittaamaan luotettavasti. Oikean runkoluvun määrittämiseksi koealoja tulisi mitata huomattavasti enemmän, mikä taas lisää kalliin maastotyön määrää (Laasasenaho ja Päivinen 1986). Tarkempi tutkimus siitä, missä runkoluku kannattaa mitata olisi tarpeen.

Simuloinneissa tuli selvästi esille latvusrajan määrittämisen tärkeys. Tarkastelussa olleilla päätehakkukuvioilla mallit antoivat harhaisia latvusrajoja ja sitä kautta ylisuuria kasvuja. Tuleva kasvu on tärkeämpi kasvatusvaiheen metsiköissä. Todennäköisesti mallit toimivat näissä metsiköissä paremmin, koska mallien laadinta-aineisto sisältää kasvatusvaiheen talousmetsiä ja havupuuvaltaisia taimikoita (Hynynen 1998).

Koealoittaisen tiedon käytöllä saataneen luotettavampia tietoja tilajärjestykseltään epätasaisissa metsiköissä. Päätehakkukohteissa erot kertymissä eri lähtötiedoilla simuloitaessa ovat vähäiset. Erot tulevat todennäköisesti selvimmän esille kasvatusvaiheen metsiköissä, missä ryhmittäisyys vaikuttaa harvennushakkuukertymiin. Kertymät voivat vaihdella tiheissä ja harvoissa kohdissa paljonkin. Kuvion keskitunnuksilla laskettaessa tätä vaihtelua ei pystytä huomioimaan. Samoin kasvu vaihtelee ryhmittäisen metsikön eri osissa. Esimerkiksi tiheimmissä kohdissa rajoittunut kasvutila pienentää kasvua.

## Kirjallisuus

- Hynynen, J. 1998. Mitä käyttäjän tulisi tietää MELAn kasvumalleista. Teoksessa: Nuutinen, T ja Mäkkeli, P. (toim.). MELA98 ja tietojärjestelmälaajennukset. MELA-käyttäjöpäivät 7.5.1998 Helsingissä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 713. 18 - 29.
- Hyvönen, P. 2000. Puustotunnusten arviointivirheiden ja kasvuennusteisiin liittyvien oletusten vaikutus MELA-hakkuulaskelmien tuloksiin. Pro gradu -työ. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. 64 s.
- Kilpeläinen, H., Malinen, J. ja Haara, A. 2000. MELA-laajennusosat. MELA2000-versio. Metsäntutkimuslaitos. Joensuun tutkimuskeskus. Moniste. 48 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 134. 74 s.

- Laasasenaho, J. ja Päivinen, R. 1986. Kuvioittaisen arvioinnin tarkistamisesta. *Folia Forestalia* 664. 19 s.
- Maltamo, M. ja Kangas, A. 1999. Prosenttiosuusmenetelmä puujoukon ennustamisessa. Teoksessa: Nuutinen, T. ja Suokas, A. (toim.). MELA99 ja metsätalouden suunnittelu. MELA-käyttöpäivä ja tutkimusseminaari. 11. - 12.5.1999 Majvik, Kirkkonummi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 752. 48 - 53.
- Maltamo, M., Haara, A., Kangas, A., Lempinen, R., Malinen, J., Nalli, A., Nuutinen, T., Siipilehto, J. 2000. Kuvauspuiden muodostamisen vaihtoehdot metsikkökuviolta arvioiduista keskitunnustiedoista. Tutkimusartikkelin käsikirjoitus *Metsätieteellinen aikakauskirja Folia Forestalia*an. 20 s.
- Nuutinen, T. ja Hirvelä, H. 2000. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakuumahdollisuusarviot vuosille 1999–2028 Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen alueella. Julkaisussa: Häme-Uusimaa. Metsävarat 1965–99, hakuumahdollisuudet 1999–2028. *Metsätieteen aikakauskirja* 3B/2000. 567 - 583.
- Pigg, J. 1994. Keskiläpimitan ja puutavaralajijakauman sekä muiden puustotunnusten tarkkuus Metsähallituksen kuvioittaisessa arvioinnissa. *Metsänarvioimistieteen pro gradu -työ*. Helsingin yliopisto. 86 s.
- Pilhjerta, K. 1987. Puustotunnusten arviointivirheiden vaikutus kuvioitaisiin toimenpidevalintoihin MELAssa. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. 68 s.

# Muuttunut metsänkäsittely ja MELA - Puuston kehityksen ennustemallien toimivuus

Jari Hynynen

## 1 Tausta

Metsien käsittely on käynyt läpi huomattavan muutoksen viimeisen 20 vuoden kuluessa. 1970-80-lukujen tehometsätalouden aikakauden jälkeen metsänkasvatuksen tavoitteissa alettiin 1990-luvulle tultaessa painottaa puuntuotannon ohella metsien ekologista kestävyyttä. Sen myötä metsänkasvatuksessa siirryttiin kaavamaisista metsänkäsittelymenetelmistä huomattavasti monipuolisempaan suuntaan. Toinen metsien rakenteeseen vaikuttanut kehitys sai alkunsa 1990-luvun alun lamavuosina, jolloin panostus metsänhoitoon alkoi vähentyä. Sen seurauksena metsissä kertyi merkittävä määrä hoitorästejä etenkin taimikoihin ja ojitusalueille.

Edellä kuvattu kehitys on johtanut siihen, että metsien käsittelyn vaihtelu ja sen seurauksena metsien puuston rakenteen kirjo on lisääntynyt. Ekologista kestävyyttä suosivien käsittelymenetelmien seurauksena puuston ryhmittäisyys ja aukkoisuus lisääntyvät, puiden koko- ja ikävaihtelu kasvaa ja puulajien määrä metsikössä lisääntyy. Maisemaan paremmin sulautuvien metsikkökuvioiden rajaukset ovat entistä epäsäännöllisempiä, minkä seurauksena reunametsä vaikuttaa entistä useamman puun kasvuolosuhteisiin metsikkökuviolla. Myös hoitamattomuus muuttaa puuston rakennetta lisäämällä kuolleisuutta ja puustotuhojen riskiä.

Metsien kehityksen ennustamisen kannalta metsikkörakenteen vaihtelun lisääntyminen merkitsee ”monimuotoisempia” lähtötilanteita kehityssennusteiden laskennassa. Käytettävien mallien tulisi kyetä toimimaan entistä vaihtelevimmissa tilanteissa. Se asettaa entistä kovempia vaatimuksia malleille ja saattaa myös merkitä entistä monimutkaisempia ennustejärjestelmiä.

Metsien käyttömahdollisuuksiin liittyvät laajentuneet tietotarpeet luovat muospaineita metsien kehityssennusteiden sisältöön. Puun teolliset käyttäjät ovat lisääntyvästi korostaneet tarvitsevansa entistä tarkempaa tietoa puun laadusta sekä mekaanisen metsäteollisuuden että enenevässä määrin myös kuiduttavan metsäteollisuuden taholta. Ennusteisiin tulisi sisältyä entistä yksityiskohtaisempia tietoja puun määrän ohella myös puun ulkoisen ja sisäisen laadun kehityksestä. Kasvanut kiinnostus energiapuun käyttöön on merkinnyt lisääntynyttä tietotarvetta energia-

puuvaroista ja kertymistä, mikä edellyttää tarkentuvia ennusteita puuston biomassasta ja sen kehityksestä.

Metsien ja niiden käsittelyn merkitys hiilitaseen kannalta on ollut ympäristöpoliittisesti ajankohtainen aihe jo muutaman vuoden ajan. Poliittisen päätöksenteon perustaksi tarvitaan entistä luotettavampaa tietoa puustoon ja metsään sitoutuneen ja siitä vapautuvan hiilen määrästä. Laskelmat edellyttävät ennusteita puuston runkopuun määrän lisäksi latvuksen ja juuriston biomassoista ja niihin sitoutuneen hiilen määrästä.

## 2 Muuttuneen metsänkäsittelyn asettamat vaatimukset ja nykyisten mallien toimivuus

Muuttuneet metsänkäsittelymenetelmät sekä laajenevat tietotarpeet asettavat kovat vaatimukset suunnittelujärjestelmien kehitykselle. Seuraavassa on käsitelty muutamia kehitysennusteiden laadintaan liittyviä keskeisimpiä näkökohtia, jotka tulisi ottaa huomioon järjestelmiä kehitettäessä.

### 2.1 Puuston rakenteen kuvaus

Yleensä metsäinventointien yhteydessä mitattavista puustomittauksista valtaosa on kuviotason tunnuksia (pohjapinta-ala, runkoluku, keskiläpimitta, valtapituus, ym.), joiden mittaaminen on mahdollista toteuttaa myös laajojen alueiden inventoinneissa. Tasaisissa ja yhden puulajin metsissä kuviotason ja keskiarvo- ja summatunnusten perusteella voidaan suhteellisen luotettavasti arvioida puuston rakennetta erilaisten kokojakaumamallien avulla. Epätasaisessa metsikössä pelkät keskiarvotunnukset eivät enää kerro kovinkaan paljoa puustosta ja sen rakenteesta. Epätasaisessa metsikössä tietoa on kerättävä enemmän, jotta rakenteesta saataisiin edes jonkinlainen kuva.

Kasvumallien laadinnassa ja mallien soveltamisessa MELAssa suurin rajoite on metsikköä ja puuta kuvaavan mittaustiedon niukkuus. Mittaukseen käytettävien resurssien rajallisuuden vuoksi ei ole mahdollista kerätä yksityiskohtaista mittaustietoa metsikkökuvioista ja puusta laajoilla metsäalueilla, jotka inventointien tulee kattaa. Puuston rakenteen kuvauksen kannalta onkin ensiarvoisen tärkeää löytää sellaisia helposti mitattavia tunnuksia, joilla voitaisiin mahdollisimman tehokkaasti kuvata metsikön rakenne ja sen sisäinen vaihtelu. Tällä hetkellä ei ole olemassa vakiintunutta mittauskäytäntöä eikä luetteloa niistä mitattavista tunnuksista,



jotka kiistatta olisi todettu tehokkaiksi mittareiksi kuvaamaan epätasaisen puuston rakennetta. Tarvitaan lisää tutkimusta selvittämään sitä, mitkä mitattavissa olevat tunnuksot kuvaavat tehokkaimmin puuston rakennetta metsätalouden suunnittelun edellyttämällä tarkkuudella. Aihepiiriin liittyy niin otantaan, rakennetta kuvaavien mitattavien tunnusten määrittelyyn kuin mittaustekniikkaankin liittyviä avoimia kysymyksiä.

## 2.2 Metsikködynamiikan kuvaus

Rakenteen ohella myös kasvun ennustamiseen tarvitaan erilaista lähestymistapaa kuin tasaisissa metsissä. Sulkeutuneessa metsikössä puun hallussa olevan kasvutilan suuruus vaikuttaa puun edellytyksiin pärjätä kilpailussa naapuripuita vastaan. Tasaisessa metsikössä puiden kasvutilan suuruutta voidaan kuvata puuston keskimääräistä tiheyttä kuvaavien (mm. pohjapinta-ala, runkoluku) tunnusten avulla. Epätasaisessa metsikössä nämä tunnuksot eivät ehkä enää riitäkään kuvaamaan metsikön sisäisen kilpailun kovuutta, koska tiheysvaihtelut metsikön sisällä ovat suuria.

Tasaisessa metsikössä puun kilpailuasemaa voidaan kohtuullisen tehokkaasti selittää puun suhteellisella koolla (esim. puun läpimitan ja metsikön keskiläpimitan suhde). Metsikössä, joka koostuu epätasaisesti ryhmittyneistä, usein eri puulajia olevista puista, pelkkä suhteellista kokoa kuvaava tunnus ei enää riitä kuvaamaan puun todellisia edellytyksiä menestyä kilpailussa.

Tutkimusten perusteella tiedetään, että puuston tiheys puun lähiympäristössä vaikuttaa yksittäisen puun kasvunopeuteen. Sen sijaan käytettävissä ei ole vankkaan mitattuun aineistoon perustuvaa tutkimustietoa siitä, mitä metsikön ryhmittäisyyttä ja epätasaisuus vaikuttaa koko metsikön hehtaarikohtaiseen kasvuun ja tuotokseen.

Puun lähiympäristön kilpailua on kuvattu paljonkin erilaisten spatiaalisten eli paikkaan sidottujen kilpailutunnusten avulla. Niiden tehokkuudesta ja käyttökelpoisuudesta metsikön sisäisen kilpailun selittäjinä ei ole kuitenkaan vielä saatu kiistatonta näyttöä. Spatiaalisten kilpailutunnusten soveltaminen MELAn kaltaisissa massiivisissa laskentajärjestelmissä ei myöskään ole teknisesti aivan ongelmallista. Puuston sisäisen vaihtelun määrää ja puuston ryhmittäisyyttä kuvaavia metsikkötason tunnuksia ja indeksejä on tutkittu kohtuullisen vähän. Ei ole käytettävissä perusteellisia tutkimustuloksia siitä, miten käyttökelpoisia puuston epätasaisuutta kuvaavat indeksit olisivat perinteisten tiheystunnusten ohella puuston kasvun ja tuotoksen selittäjinä.

Kasvun lisäksi muuttunut metsänkäsittely vaikuttaa muidenkin luonnonprosessien kulkuun. Puiden syntymisen ja kuoleamisen ennustamisen osalta muuttunut metsänkäsittely tuo piirteitä, joiden osalta tutkimus on vasta alussa. On syytä olettaa, että

mm. säästöpuut ja niiden sijainti uudistusaloilla vaikuttaa uudistumiseen ja taimien varhaiskehitykseen. Toisaalta puuston ryhmittäisyyden voidaan olettaa vaikuttavan luonnonpoistumaan. On oletettavaa, että luonnonpoistuman määrä kehittyy eri tavalla ryhmittäisessä puustossa kuin tasaisessa puustossa, vaikka ne olisivatkin yhtä tiheitä hehtaarikohtaisella pohjapinta-alalla tai runkoluvulla mitattuna. Myös hakuiden yhteydessä metsään jätettävän kuolleen ja kuolevan puuaineksen voidaan olettaa vaikuttavan luonnonpoistuman määrään ja puiden tuhoriskiin.

## 2.3 Kasvupaikan kuvaus

Vaikka puuston käsittely ei periaatteessa vaikuta primaarisiin kasvupaikkatekijöihin, se vaikuttaa kasvupaikkaa kuvaavien tunnusten käyttökelpoisuuteen. Metsätyyppi on käytännössä yleisin kasvupaikan puuntuotoskykyä kuvaava tunnus. Epäjatkovana luokittelumuuttujana metsätyyppi on kasvumalleissa koettu hankalaksi tunnuksiksi, jota korvaavana tunnuksena on käytetty pituusboniteettia. Sen määrittämiseksi metsiköstä on mitattava puuston ikä ja valtapituus. Pituusboniteettia voidaan ongelmitta soveltaa vain yhden puulajin vallitsemisissa tasaikäisissä joko harventamattomissa tai alaharvennetuissa metsissä.

Pituusboniteetin sovellettavuus on ongelmallista sekametsissä sekä sellaisissa metsissä, joissa puuston käsittely on vaikuttanut valtapituuden kehitykseen, esimerkiksi harsinta- tai yläharvennuksin käsitellyissä metsissä. Pituusboniteetti ei sovellu eri-ikäisrakenteisiin puustoihin. Myöskään turvemaille pituusboniteettia ei voida sellaisenaan soveltaa, koska puusto on rakenteeltaan usein epätasaista ja lisäksi kasvupaikan puuntuotoskyky vaihtelee vesitalouden mukaan, eikä ole läheskään yhtä stabiili kuin kivennäismailla.

Nykyisen metsänkäsittelyn myötä edellä kuvatut pituusbonitoinnin kannalta ongelmalliset sovellustilanteet yleistyvät entisestään, mikä lisää tarvetta kasvupaikan kuvausmenetelmien kehittämiseen.

## 2.4 Puun rakenteen kuvaus

Puun rakenteen kuvauksen ja ennustamisen osalta tarve entistä yksityiskohtaisempaan kuvaukseen on viime vuosina lisääntynyt mm. seuraavista syistä:

- puun uudet käyttömuodot kuten puun energiakäyttö
- teollisen käyttöpuun kasvavat laatuvaatimukset

- tarve entistä monipuolisempiin laskelmiin metsävaroista ja niiden kehityksestä (mm. hiilitaselaskelmat)

Teollisessa puunkäytössä kasvaa tarve pystyä ohjaamaan puu sellaiseen käyttöön, johon se laatunsa puolesta parhaiten soveltuu. Tavoitteen toteuttaminen edellyttää nykyistä luotettavampia ja tarkempia ennusteita metsistä saatavan puutavaran niin ulkoisten laatutunnusten (oksikkuus, rungon lenkous, mutkaisuus, ym.) kuin puuaineen ominaisuuksien (puuaineen tiheys ja sen jakautuminen rungossa, kuidun pituus, ym.) osalta.

Puun energiakäyttömahdollisuuksia tai hiilitasetta kuvaavat laskelmat edellyttävät arviota metsiemme puuston biomassatuotoksesta ja sen kehityksestä. Puun rungon dimensioiden ennustamisen ohella tutkimustyö painottuu yhä enemmän latvuksen, (oksat ja neulaset) määrän ja jakautumisen ennustamiseen. Tarvetta olisi myös puiden juurten määrän ennustaviin malleihin.

On kuitenkin tarkkaan harkittava sitä, miten yksityiskohtaisia laatua ja puun rakennetta kuvaavia malleja suunnittelujärjestelmiin on tarkoituksenmukaista sisällyttää. Tarkkaa kuvausta edellyttävien mallien käyttökelpoisuutta rajoittaa riittävän edustavan ja yksityiskohtaisesti mitatun aineiston puute sekä malleja laadittaessa että niitä sovellettaessa. Onkin ilmeistä, että lähiaikoina laadittavat laatuominaisuuksien ja biomassojen ennustemallit eivät voi perustua yhtä laajoihin aineistoihin kuin puuston kasvumallit. Niitä ei myöskään soveltamisvaiheessa voida hyödyntää tehokkaimmalla mahdollisella tavalla. Suuri osa mallien edellyttämästä mittaustiedosta joudutaan ennustamaan helpommin mitattavien metsikkö- ja puutunnusten avulla. Sen vuoksi näillä malleilla tuotettavat ennusteet eivät välttämättä yllä kovinkaan suureen metsikkökohtaiseen tarkkuuteen.

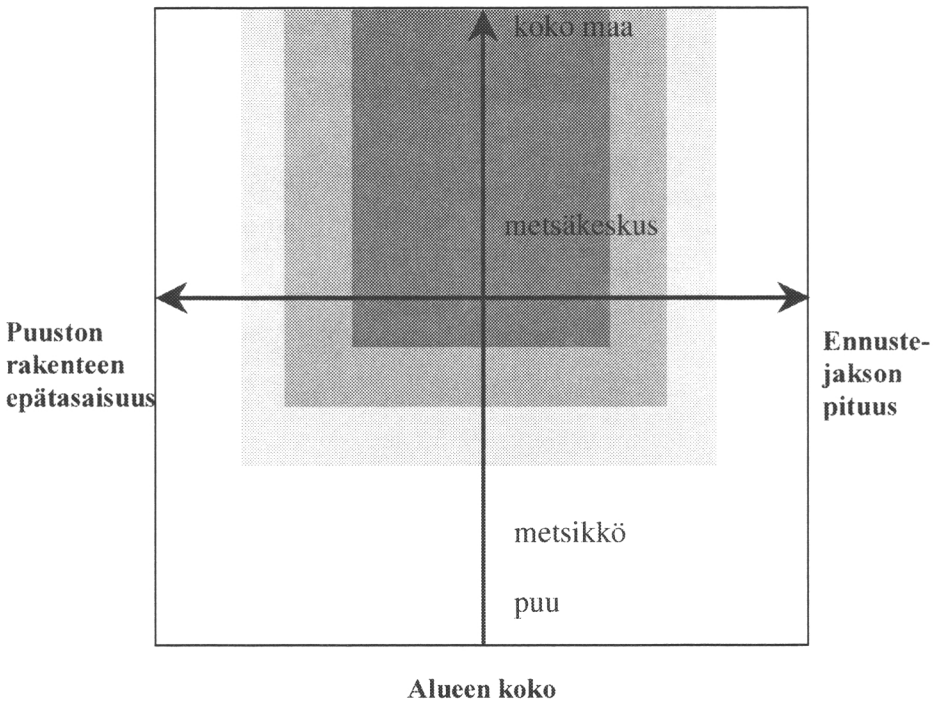
## 2.5 Mallien laadinta-aineistojen edustavuus

Ojansuun ym. (1991) sekä Hynysen ym. (2000) tavoitteena on ollut tuottaa ennustejärjestelmä lähinnä alueellisen metsätalouden suunnittelun tarpeisiin. Tärkeimpiä sovelluskohteita ovat olleet metsävaratietojen päivitys ja erilaiset skenaarit metsävarojen kehityksestä (kuva 1).

Käyttökohteet edellyttävät, että mallit tuottavat ennusteita, jotka ovat kasvun tasoltaan harhattomia ja jotka ottavat huomioon erilaisten käsittelyjen kasvuvaikutukset. Nämä ominaisuudet on pyritty saamaan mukaan malleihin käyttämällä laadinta-aineistoina mahdollisimman edustavia mitta-aineistoja, jotka kattavat mahdollisimman hyvin metsiemme kasvun tasoon liittyvän vaihtelun. Puuston tilan ja sen käsittelyn kasvuvaikutusten empiiriseksi toteamiseksi laadinta-aineistoina on käytetty toistuvasti mitattuja koaloja. Nykyisiä malleja laadittaessa katsottiin, että

käytettävissä olevista aineistoista ns. INKA- ja TINKA-koealat täyttivät parhaiten edellä kuvatut kriteerit (mm. Hynynen ja Ojansuu 1996).

Aineiston suurin haittapuoli on se, että suurin osa mittauksista on tehty jo 1980-luvulla, jolloin metsiköiden käsittely oli erilaista kuin tänään. Mitatut metsiköt olivat pääasiassa joko männyn tai kuusen selvästi vallitsemia, rakenteeltaan tasaisia metsiä. Koivun ja muiden lehtipuiden osuus oli pienempi kuin mihin nykyisessä metsänkasvatuksessa pyritään. Kohtuullisen hyvistä maantieteellisestä edustavuudesta huolimatta aineisto ei edusta tämän päivän metsiä metsänkäsittelyn suhteen. Mittausaineistojen osalta tärkein ja kiireisin tehtävä onkin nykymetsiä paremmin edustavan aineiston keräys mallien laadintaa ja testausta varten.



**Kuva 1.** Metsätalouden suunnittelussa käytettävien mallien soveltuvuusalue. Ennusteiden epävarmuus lisääntyy siirryttäessä tummemmasta vaaleammalle alueelle.

## 3 Ennustemallien kehittäminen

Muuttunut metsänkäsittely ja sen vaikutukset merkitsevät niin suuria muutospaineita malleihin, että Metlassa on aloitettu uuden malliperheen kehitystyö. Uudet mallit kehitetään vuonna 2000 alkaneen viisivuotisen “Metsänkasvatuksen vaihtoehdot ja niiden puuntuotannolliset vaikutukset”-tutkimusohjelman tutkimushankkeissa. Uusien mallien on määrä valmistua vuoteen 2004 mennessä. Tutkimusohjelman puitteissa on parhaillaan käynnissä laaja mittausaineiston keruu sekä menetelmätutkimus, jossa kehitetään muun muassa metsikön sisäisen rakenteen, puiden välisen kilpailun sekä kasvupaikan kuvauksen menetelmiä. Myös puun biomassan sekä puun ja puuaineen laadun mallitustutkimus on meneillään.

Uusien mallien kehittämisen ohella on myös lyhyemmän aikavälin keinoja, joiden avulla nyt käytössä olevien mallien käyttökelpoisuutta voidaan parantaa.

### 3.1 Dokumentointi

Alkuvuodesta 2001 ilmestyy raportti nykyisistä kasvumalleista (Hynynen ym. 2001). Siinä on yksityiskohtaisesti kuvattu malliperheen ja sen osien rakenne ja toiminta. Dokumenttiin sisältyy myös mallin laatijoiden suositukset siitä, millaisten kysymysten ratkaisuun mallit soveltuvat ja mihin ne eivät sovellu.

### 3.2 Testaus

Mallien testaus riippumattomien aineistojen avulla tuo arvokasta tietoa mallien toimivuudesta tilanteissa, joita laadinta-aineistoissa ei esiintynyt tai jotka olivat huonosti edustettuja (mm. Hynynen 1998). Hyvän testiaineiston tulisi olla riittävän laaja, jotta siihen sisältyisi testattavan ilmiön vaihtelu (esim. harvennusvoimakkuus tai puulajisuhteet) riittävän laajana ja useassa metsikössä toistettuna. Kunnollisen testiaineiston avulla voidaan saada käsitys siitä, miten mallit kuvaavat testiaineistossa esiintyvää ilmiötä, mutta ei sitä, miten mallit toimivat yksittäisessä metsikössä. Mallien testausta hidastaa riittävän laajojen testiaineistojen puute. Sikäli kun käyttökelpoisia aineistoja saadaan käyttöön, niitä käytetään jatkossakin testaukseen.

### 3.3 Kalibrointi

Mallien laadinta-aineistoina käytetyt INKA- ja TINKA-koesarjat eivät laajuudestaan huolimatta ole kattavuudessaan valtakunnan metsien inventointiaineiston veroisia. Sen vuoksi mallit jo laadinnan yhteydessä kalibroitiin VMI-aineistolla, jotta kasvun taso saataisiin vastaamaan (Hynynen 1998) valtakunnan metsien inventoinneissa mitattua tasoa.

Mallit ovat jossain määrin myös käyttäjän oman mittausaineiston mukaan kalibroituja. Metsikön puuntuotoskykyä kuvataan pituusboniteetilla, jonka laskennassa voidaan käyttää hyväksi sovellusaineiston puuston pituus- ja ikämittauksia. Tätä kalibrointia tulee käyttää aina kun yleiset pituusbonitoinnin ehdot ovat voimassa. Toisin sanoen puuston tulisi olla tasaikäistä, alaharvennettua, selkeästi yhden puulajin vallitsemaa ja valtapituudeltaan yli viiden metrin pituista. Sen lisäksi metsikön rinnankorkeusikä on tunnettava tarkasti. Jos kalibrointia ei käytetä, pituusboniteetille saadaan keskimääräisempi ennuste, joka lasketaan muun muassa pääpuulajin, metsätyyppin ja metsikkökuvion maantieteellisen sijainnin avulla.

Pituusboniteettiennusteen laskennan lisäksi mallijärjestelmään ei ole sisällytetty muunlaista mitatun kasvun kalibrointimahdollisuutta.

### 3.4 “Tekniset muutokset”

Varsinaisen kalibroinnin lisäksi mallien soveltamisvaiheessa tulee eteen tarpeita käyttää malleja tilanteissa, joihin niitä alunperin ei ole tarkoitettu. Yksi yleinen muutostarve liittyy ennustejakson pituuteen. Kaikki puuston kasvumallit (Hynynen ym. 2000) on laadittu viiden vuoden ennustejaksoille. Ennusteiden laskentaa viittä vuotta lyhyemmälle ajanjaksolle tarvitaan mm. inventointitietojen päivityksessä. Metsävaratietoja mallien avulla ajan tasalle päivitettäessä ennustejakso joudutaan usein katkaisemaan kesken viisivuotiskauden. Tällaisen katkaisun vaikutukset ennusteeseen jäävät todennäköisesti vähäisiksi silloin, kun metsikössä ei ole tehty voimakkaita hoitotoimenpiteitä edellisen viiden vuoden aikana (esim. harvennus, ojitus tai lannoitus).

Sen sijaan tulevaisuuteen ulottuvien varsinaisten simulointi- ja optimointilaskelmien laadinnassa tulisi pitäytyä viiden vuoden kasvujaksoihin. Koko mallijärjestelmä on rakennettu niin, että puiden kasvun ja erilaisten toimenpiteiden aiheuttaman kasvureaktion ennuste lasketaan tulevan viiden vuoden aikajaksolle, jolloin ennuste kuvaa tuon jakson keskimääräistä tasoa. Jos viisivuotiskakso toistuvasti pilkotaan vuosittaisiksi ennusteiksi, puuston kehitysdynamiikka ei kuvaudu samalla tavoin kuin sovellettaessa malleja niiden rakenteen edellyttämällä tavalla. Aiheu-

tuvan harhan suuruus vaihtelee tapauskohtaisesti mm. metsikön kehitysvaiheen ja käsittelyn mukaisesti, minkä vuoksi yleistä arviota harhan suuruudelle on hyvin vaikea esittää.

Metsien käsittelyyn liittyen MELAan on sisällytetty säästöpuiden vaikutusta kuvaava lisäosa (Härkönen 2000). Säästöpuuvaikutuksen sisällyttäminen on esimerkiksi ”teknisestä” korjauksesta, johon on perusteltu tarve. Korjaus on tehty parhaan käytettävissä olevan tiedon nojalla, mutta ei tutkimukselle asetettavien kriteerien mukaisesti. Tällaiset mallikorjaukset ovat vain ”valistuneita arvauksia” toimenpiteen oletetusta vaikutuksesta puuston kehitykseen, ja niiden avulla ohjelmisto saadaan toimimaan halutulla tavalla. On kuitenkin korostettava, että korjaukset ovat väliaikaisia ratkaisuja ongelmiin, joiden kestävämpään ratkaisuun tähtäävä varsinainen tutkimus on vasta meneillään.

## Kirjallisuus

- Hynynen, J. & Ojansuu, R. (toim.) 1996. Puuston kehityksen ennustaminen - MELA ja vaihtoehtoja. Tutkimusseminaari Vantaalla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 612: 116 s.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Siipilehto, J. & Haapala, P. 2000. Models for predicting the stand development - Description of Biological Processes in MELA system. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos.
- Hynynen, J. 1998. Mitä käyttäjän tulisi tietää MELAn kasvumalleista. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Mäkkeli, P. (toim.). MELA98 ja tietojärjestelmäajennukset. MELA-käyttäjöpäivät 7.5.1998 Helsingissä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 713: 18-29.
- Härkönen, K. 2000. Säästöpuut ja MELA2000. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.) MELA2000 ja muuttuva metsänkäsittely. MELA-käyttäjöpäiviä 21.11.2000 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 814: 19-29.
- Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) - Metsä 2000-versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385: 59 s.

# Metsävaratietojen optimaalinen hyödyntäminen

Matti Maltamo

## 1 Johdanto

Suomessa metsäsuunnittelu perustuu yleensä kuvioittaisen arvioinnin mukaiseen tietosisältöön. Nykyisin metsiköistä arvioidaan puulajeittain ja –jaksoittain keskitunnuksia kuten puuston keskiläpimitta, pituus, pohjapinta-ala ja ikä. Puuston nykytietojen laskenta sisältää teoreettisen läpimittajakauman sekä puun pituus- ja tilavuusmallit. Näin ollen saatujen tulosten tarkkuus on riippuvainen arvioitujen puustotunnusten määrästä ja mittaustarkkuudesta sekä käytettyjen mallien ominaisuuksista.

Tässä artikkelissa tarkastellaan kuvioittaisen arvioinnin mukaiseen metsäinventointiin liittyviä viimeaikaisia tutkimuksia. Tutkimukset painottuvat puuston läpimittajakaumien vaihtoehtoiseen kuvaamiseen. Pituus- ja tilavuusmalleja ei Suomessa ole viime vuosina juurikaan laadittu. Kuvioittaisen arvioinnin mittausten kehittämiseen ja optimointiin liittyvät tutkimukset ovat puolestaan vasta tekeillä (ks. esim. Kangas ja Maltamo 2000d).

Erityisesti läpimittajakaumia ja niiden kalibrointia on tutkittu hankkeissa ”Käyttöpuun jakauman kuvaus tulevia hakkuumahdollisuuksia arviotaessa” rahoittajana TEKES sekä Suomen Akatemian FIBRE -tutkimusohjelman hankkeessa ”Alueekologian huomioonottaminen metsäsuunnittelussa”. Edellisessä hankkeessa ovat työskennelleet mm. Pekka Hyvönen, Lauri Mehtälö ja Janne Nissinen ja jälkimmäisessä Annika Kangas. Runkopankkiaineistojen hyödyntämistä ei-parametrisilla menetelmillä on puolestaan tutkittu Woodwisdom –tutkimusohjelman hankkeessa ”Hankintayrityksen ja metsänmittauksen tietovarastot suunnittelun tietolähteenä”, jossa on työskennellyt Jukka Malinen. Lisäksi kyseisessä hankkeessa Lauri Mehtälö tutki myös läpimittajakaumia ja niiden kalibrointia. Yksittäisen puun latvuksen hahmontunnistusta ovat tutkineet Timo Tokola ja Mikko Lehikoinen TEKES -rahoitteisessa hankkeessa ”Puustotunnusten arviointi optimoidusta videokuvasta hahmontunnistusmenetelmällä”. Lisäksi Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa hankkeessa ”Metsätietojen ylläpito” on tutkittu erilaisia kaukokartoitusmenetelmiä ja mittausvirheiden vaikutusta. Kyseisessä hankkeessa ovat työskennelleet Perttu Anttila ja Arto Haara.



## 2 Puujoukon muodostamisen vaihtoehdot

### 2.1 Todennäköisyysfunktiot

Puuston läpimittajakaumien ennustamiseen on perinteisesti käytetty todennäköisyysfunktioita, joista voidaan mainita Normaali-, beta-, Weibull- ja Johnsonin SB-jakaumat. Suomessa on tehty lukuisia tutkimuksia, joissa todennäköisyysjakaumia on sovitettu mitattuihin puujoukkoihin ja jakaumien parametreja on ennustettu puuston keskitunnusten avulla (esim. Päivinen 1980, Kilkki & Päivinen 1986, Maltamo 1997). Todennäköisyysjakaumien käyttöä on kritisoitu siitä, että käytetyt jakaumat ovat jäykkiä ja jakaumaennusteet ovat moninkertaisesti keskiarvoistettuja. Erityisesti amerikkalaisissa tutkimuksissa on lisäksi kritisoitu parametrien suoraa ennustamista puuston keskitunnuksilla näiden tunnusten välisten huonon korrelaation takia (ks. esim. Borders ym. 1987). Vaihtoehtoiseksi menetelmäksi on ehdotettu ns. parametrien palauttamista, jossa jakaumaparametrit ennustetaan analyttisesti joko ennustettujen tai mitattujen puuston prosenttipisteiden ja Weibull-jakauman kertymäfunktion avulla. Koska Suomessa käytetään pohjapinta-alalla painotettuja läpimittajakaumia ja ennustamisessa puuston keskiläpimitta on tiedossa ja siten jakauman keskikohta tulee oikeaan kohtaan (esim. Maltamo 1998), ei parametrien palauttamisesta ole odotettavissa vastaavaa hyötyä kuin muualla maailmassa.

Viime aikaisista aihepiirin tutkimuksista voidaan mainita Siipilehdon (1999) tutkimus, jossa jakaumaennusteiden tarkkuutta parannettiin lisäämällä runkoluku selittäväksi muuttujaksi. Kyseisessä tutkimuksessa käytettiin Johnsonin SB-jakaumaa, joka jo alunperinkin mahdollistaa muihin todennäköisyysfunktioihin verrattuna joustavia jakaumaennusteita. Kankaan ja Maltamon (2000c) tutkimuksessa parametrien palauttamista kokeiltiin ratkaisemalla Weibull-jakauman parametrit suoraan puuston keskiläpimitan sekä minimi- ja maksimiläpimitan avulla. Tulokset eivät olleet rohkaisevia, mikä osoittaa sen, että puuston ääri­läpimitat eivät ole tehokkaita prosenttipisteitä.

Todennäköisyysfunktioista voidaankin sanoa, että ne soveltuvat hyvin puuston läpimittajakauman kuvaajiksi useimmissa tapauksissa. Vaikka ne keskiarvoistavatkin puuston rakennetta, niin toisaalta ne yksinkertaisuudessaan – esimerkiksi kaksiparametrisen Weibull-funktion tapauksessa tarvitaan puuston keskiläpimitan lisäksi malli ainoastaan yhdelle parametrille tuottavat ennusteen tilanteessa kuin tilanteessa.

## 2.2 Jakaumamuodoista vapaat menetelmät

Jakaumamuodoista vapaille menetelmillä tarkoitetaan parametrisia menetelmiä, jotka ennustavat puuston runkolukusarjan sitomatta sitä kuitenkaan mihinkään ennalta määrättyyn muotoon. Tunnetuin tällainen menetelmä on prosenttiosuusmenetelmä (Borders ym. (1987), jonka lisäksi Tangin ym. (1997) tutkimuksessa käytettiin vastaavanlaista lähestymistapaa puujoukon kuvaamisessa).

Prosenttiosuusmenetelmässä puuston runkolukusarja kuvataan ennustamalla läpimittaa tietyissä pohjapinta-alan tai runkoluvun kertymäfunktion pisteissä. Ennustetut pisteet yhdistetään jatkuvaksi kuvaajaksi lineaarisella interpoloinnilla tai splinitasoituksella (Maltamo ym. 2000). Prosenttiosuusmenetelmällä voidaan ennustaa myös jakauman kehitystä (Borders & Patterson 1990). Menetelmän ongelmana on se, että prosenttipisteitä ennustettaessa ei ole täyttä varmuutta siitä, että peräkkäiset ennustetut pisteet sijaitsevat loogisessa järjestyksessä. Tarkempi suomenkielinen kuvaus prosenttiosuusmenetelmästä kuvaus löytyy esimerkiksi Maltamon ja Kankaan (1999) artikkelista.

Maltamon ym. (2000) tutkimuksessa selvitettiin prosenttiosuusmenetelmän kykyä tuottaa luonnontilaisten metsiköitten läpimittajakaumia. Jos ennustamisessa käytettävä puuston keskitunnustieto on riittävä, voidaan esimerkiksi jakauman kaksihuippuisuus kuvata prosenttiosuusmenetelmällä.

Kankaan ja Maltamon (2000b, 2000c) tutkimuksissa laadittiin prosenttiosuusmenetelmällä pohjapinta-alajakaumamallit männyille, kuuselle ja koivulle sekä testattiin niitä vaihtelevissa olosuhteissa riippumattomissa aineistoissa. Tutkimusten tulosten mukaan prosenttiosuusmenetelmällä yhtenevällä lähtöinformaation määrällä saadaan vähintään yhtä hyviä jakaumaennusteita kuin Weibull-jakaumalla tai muilla vertailluilla menetelmillä. Puulajeista tarkimmat tulokset saatiin männyillä. Ääriolosuhteissa, kuten esimerkiksi Lapissa, prosenttiosuusmenetelmä tuotti yleensä hieman tarkempia tuloksia. Runkoluvun käyttö selittävänä muuttujana tarkoitti jakaumaennusteita suurimmassa osassa tarkastelluista tapauksista.

Prosenttiosuusmenetelmää on lisäksi tarkasteltu Mehtätalon (2000) tutkimuksessa, jossa jakauma ennustettiin kolmessa vaiheessa. Ensin ennustettiin jakauman keskikohta, mikäli sitä ei ollut mitattu. Sen jälkeen ennustettiin jakauman leveys ja lopuksi prosenttipisteiden välit.

## 2.3 Ei-parametriset menetelmät

Ei-parametristen menetelmien periaate on se, että puuston keskitunnusten vastaavuuden perusteella haetaan kiinnostuksen kohteena olevalle kohdemetsikölle mahdollisimman samanlaisia puujoukkoja datakirjastosta, joka sisältää aiemmin mitattuja referenssimetsiköitä. Mitatut puujoukot voivat olla metsänmittausaineistoja (metsikkökoealoja, inventointiaineistoja, kuvioittaisen arvioinnin tarkistusaineistoja) tai hakkuiden yhteydessä monitoimikoneen leimikoista keräämiä runkopankkiaineistoja. Mikäli referenssiaineistona käytetään metsänmittausaineistoja, voidaan kohdemetsikölle yleistää läpimittajakauma ja mahdollisesti myös pituus. Runkopankkiaineistoista saadaan puolestaan puun runkokäyrä ja mahdollisesti myös ulkoisia laatutunnuksia. Näin ollen runkopankkiaineistot ovat sisällöltään ylivoimaisia, mutta niitä on toistaiseksi käytettävissä vain rajoitetusti avohakkuukohteilta.

Ei-parametrisia menetelmiä ovat  $k:n$  lähimmän naapurin ja MSN (most similar neighbour) -menetelmät.  $K:n$  lähimmän naapurin menetelmässä hakumuuttujien (keskitunnusten) painot määräytyvät heuristisesti kokeilemalla erilaisia vaihtoehtoja tietyn kriteerin, esimerkiksi puuston tilavuuden keskineliövirheen minimoinnin suhteen. Tällöin erilaisia testattavia vaihtoehtoja kertyy nopeasti hyvinkin paljon. Vaihtoehtoinen ei-parametrinen menetelmä on MSN, jossa valittujen lähimpien naapurien painotus perustuu selittävien ja selitettävien muuttujien väliseen kanoniseen korrelaatioon. Selittäviä muuttujia ovat metsiköstä mitatut keskitunnukset ja selitettäviä ne muuttujat, joista ollaan kiinnostuneita tai jota halutaan korostaa. Selitettäviä muuttujia voivat olla esimerkiksi puuston tilavuus, runkoluku tai läpimittajakauman kvartiilit (esim. Malinen ym. 2001). Menetelmän avulla voidaan nopeasti vaihdella käytettävän informaation määrää, kokeilla erilaisia mallimuotoja sekä myös painottaa ominaisuuksia, joita ei sovellusvaiheessa välttämättä ole mitattu.

Ei-parametrisia menetelmiä on käytetty läpimittajakaumien ennustamiseen (Haara ym. 1997, Maltamo & Kangas 1998) sekä tasoittamiseen (esim. Droessler & Burk 1989, Maltamo & Uuttera 1998). Malisen ym. (2001) tutkimuksessa MSN-menetelmää sovellettiin sekä 1980-luvulla mitattuun pystymittaus- että myös äskettäin kerättyyn runkopankkiaineistoon. Ei-parametrisia menetelmiä on kokeiltu myös mm. yksittäisten puiden kasvumalleissa (Sironen 2000). Parhailaan on tekeillä tutkimus, jossa selvitetään MSN -menetelmällä erilaisia vaihtoehtoja yleistää läpimittajakauman lisäksi puuston pituus ja hyödynnetään eri tavoin määritettyä runkolukua sekä alueellisia estimaatteja (Maltamo ym. 2001a).

## 2.4 Kaukokartoitusinformaatioon perustuvat puujoukon ennustamismenetelmät

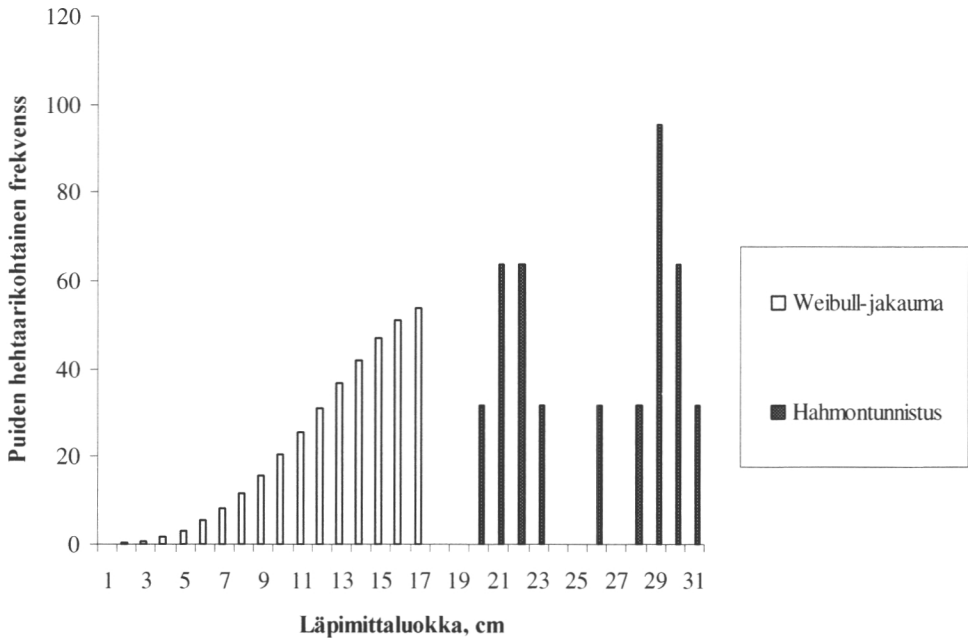
Digitaalisten ilmakuvien ja muiden resoluutioltaan sopivien kaukokartoitusmateriaalien saatavuuden parannuttua on yksittäisten puiden hahmontunnistukseen perustuvat menetelmät yleistyneet voimakkaasti (esim. Dralle & Rudemo 1996). Hahmontunnistusmenetelmien peruseriaate on, että kaukokartoitusmateriaalilta etsitään puiden latvusten paikat ja segmentoidaan puille latvukset (Lehikoinen 1999). Tämän jälkeen puiden latvusten koon avulla johdetaan puille läpimitat ja edelleen pituus ja tilavuus. Lisäksi hahmontunnistusmenetelmillä pystytään tuottamaan puuston tilajärjestyksen (esim. Uuttera ym. 1998).

Hahmontunnistusmenetelmien ongelmana on se, että vain ylhäältäpäin erottuvat suurilatvuksiset ja siten myös suuriläpimittaiset puut löytyvät. Tällöin ennustettu puujoukko on itse asiassa katkaistu läpimittajakauma ja yleensä aliarvio niin puuston tilavuuden kuin etenkin runkoluvun suhteen. Maltamon ym. (2001b) tutkimuksessa yksittäisen puun hahmontunnistusalgoritmiin lisättiin teoreettinen läpimittajakaumamalli kuvaamaan pientä puustoa. Tutkimuksen yhteydessä laadittiin Weibull-parametreille mallit, joissa parametreja selittivät katkaistun jakauman keskitunnukset. Sovellusvaiheessa kaukokartoitusmateriaalista estimoidusta puujoukosta laskettiin keskitunnukset, joilla ennustettiin vastaavasti Weibull-jakauman parametrit. Ennustetuilla parametreilla muodostettiin Weibull-jakauma, jonka kertymäfunktio ratkaistiin tässä yhteydessä 17 cm kohdalla ja pienten puiden määrä laskettiin jakaumasta (Kuva 1). Tutkimuksessa käytetty kaukokartoitusmateriaali oli digitaalista videokuvaa, josta latvusten paikat haettiin optisen vuon menetelmällä (Lehikoinen 1999). Vastaavanlainen tutkimus on parhaillaan tekeillä myös digitaalisilta vääräväri-ilmakuville. Hahmontunnistusalgoritmiin ollaan puolestaan lisäämässä puulajintunnistusta.

Kuvatuolainen yhdistetty puujoukon kuvaus tarkensi huomattavasti puuston runkoluvun kuvauksen tarkkuutta ja pienensi myös jonkin verran tilavuuden ja pohjapinta-alan virhettä useimmissa tapauksissa. Parhaimmillaan menetelmällä päästiin n. 20 % virheeseen puuston tilavuuden ennustamisessa (Maltamo ym. 2001b). Näin ollen menetelmän tarkkuus oli lähellä kuvioittaisen arvioinnin tarkkuutta (esim. Pussinen 1992). Menetelmällä ei kuitenkaan toistaiseksi pystytä kartoittamaan nuoria metsiä ja taimikoita, joten kattavaa inventointimenetelmää ei ole käytettävissä.

Vaihtoehtoinen kaukokartoitusmateriaali on myös lasertutkan tuottama puuston pituusprofiili (Hyypä ja Inkinen 1999). Puuston pituuden ennustamisessa laitteen tarkkuus on vastaavaa luokkaa kuin hypsometrillä. Puuston tilavuustunnusten laskenta perustuu vastaavasti malliketjuun. Hyypän ja Inkisen (1999) tutkimuksessa saatiin erittäin tarkkoja puuston tilavuuden ennusteita virheen ollessa vain reilut 10

%. Toistaiseksi ei kuitenkaan ole laitteistoa menetelmän hyödyntämiseksi suu-  
remmassa mittakaavassa ja myös kustannukset ovat huomattavasti suurempia kuin  
muilla kaukokartoitusmenetelmillä.



**Kuva 1.** Periaate puujoukon tuottamisesta perustuen yksittäisen puun hahmontun-  
nistukseen ja teoreettisen läpimittajakaumamallin yhdistämiseen (Maltamo  
ym. 2001b).

### 3 Pituus- ja runkokäyrämallit

Suomessa käytetään yleisesti Veltheimin (1987) pituusmallia, jossa puun pituus  
ennustetaan läpimitan, puun aseman ja erilaisten metsikkötunnusten perusteella.  
Mallia voidaan kalibroida pituuskoepuumittausten avulla tehtävällä tasokorjauk-  
sella. Vaihtoehtoinen tapa kuvata puun pituutta on käyttää esimerkiksi Näslundin  
pituusmallia ja ennustaa sen parametrit metsikkötunnuksilla (Kilki ja Siitonen

1975). Siipilehdon (1999) tutkimuksessa toinen Näslundin pituusparametreista ennustettiin keskiläpimitan ja –pituuden avulla ja toinen ratkaistiin analogisesti.

Pituusparametrien yleistäminen on mahdollista tehdä myös ei-parametrisilla menetelmillä datakirjaston avulla (Maltamo ym. 2001a). Samoin voidaan ei-parametrisesti yleistää myös suoraan puiden pituudet, mikäli käytettävä datakirjasto ne sisältää (Malinen ym. 2001). Yksi mahdollisuus on myös käyttää kaksikulotteisia jakaumia, jotka ennustavat sekä läpimitan että pituuden (esim. Siipilehto 2000). Jatkossa on tarkoitus kehittää entistä tehokkaammin kalibroivavissa olevia pituusmalleja ja erilaisia kalibrointimenetelmiä (esim. Kangas ja Maltamo 2000c).

Puiden tilavuus- ja runkokäyräyhtälöinä on Suomessa perinteisesti käytetty Laasensahon (1982) yhtälöitä. Kyseisten yhtälöiden käyttökelpoisuus ja sopivuus on monissa yhteyksissä osoitettu, mutta toisaalta on esiintynyt epäilyksiä puiden runkomuodon muutoksista viimeisten vuosikymmenien kuluessa. Tästä johtuen TEKES-projektissa ”Käyttöpuun jakauman kuvaus tulevia hakkuumahdollisuuksia arvioitaessa” on kyseistä asiaa tutkittu ja tulokset julkaistaan vuoden 2001 kuluessa (ks. Hyvönen 2001).

## 4 Lisäinformaation hyödyntäminen

Nykyiset kuvioittaisen arvioinnin keskitunnukset (pohjapinta-ala, keskiläpimitta, keskipituus, ikä) ovat riittämättömiä kuvaamaan puuston läpimittajakauman eri muotoja vaihtelevissa olosuhteissa. Esimerkiksi sama pohjapinta-ala voi vastata hyvinkin erilaista runkolukua. Siipilehdon (1999) mukaan runkoluvun lisääminen arvioiduksi keskitunnukseksi ja siten myös selittäväksi muuttujaksi läpimittajakaumien parametrimalleihin parantaa jakaumaennusteiden tarkkuutta ja joustavuutta. Omat paineensa puujoukon tarkemmalle kuvaukselle asettaa myös metsien käsittelyn lisääntynyt vaihtelu ja sen vaikutus puuston rakenteeseen (Maltamo ja Kangas 1999). Toisaalta taas tasaisissa metsissä nykyinenkin tietosisältö on riittävä tai voitaisiin jopa tyytyä esimerkiksi kaukokartoitusinformaatioon. Näin ollen erilaisissa metsiköissä on erilaiset tietotarpeet ja siten puuston tarkka kuvaus edellyttää eritasoisia mittauksia.

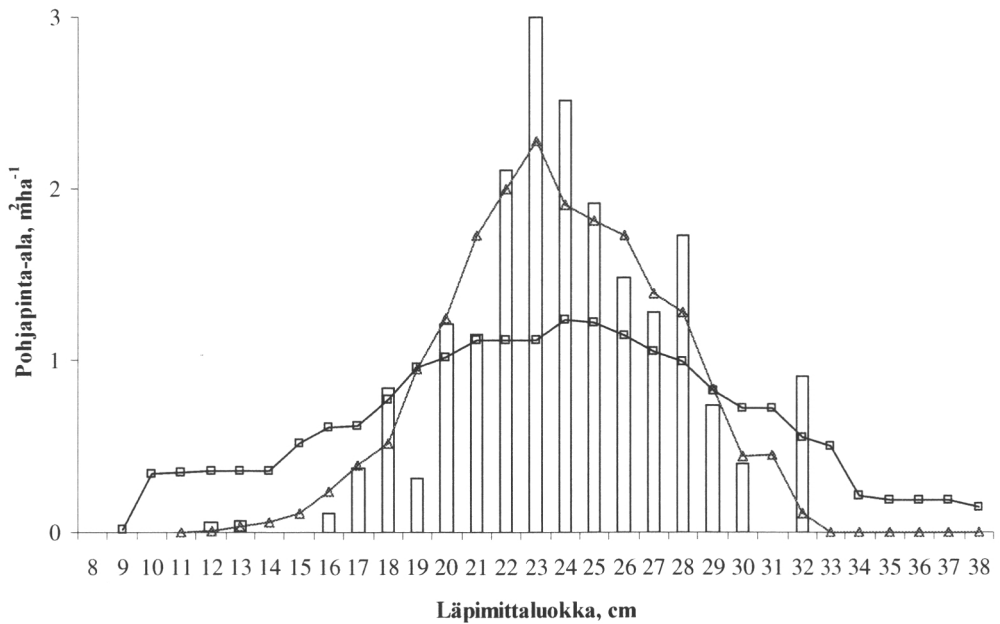
Nykyisten kuvioittaisen arvioinnin mittausten lisäksi mahdollisia puujoukon kuvauksista tarkentavia lisämittauksia voisivat olla puuston tiheyteen sekä erilaisiin keski- ja äärläpimittoihin liittyvät tunnusluvut. Lisäksi kyseeseen voivat tulla erilaiset pituuskoepuut. On luultavaa, että nuorissa metsissä tärkeämpää on puuston rakenteen tarkka kuvaus, jotta kasvun ennustaminen onnistuisi mahdollisimman realistisesti. Tällöin mahdollinen tarvittava lisämittaus on puuston runkoluku. Luonnon-tilaisissa metsissä tarvitaan lisäksi informaatiota sekä aritmeettisesta keskiläpimi-

tasta että pohjapinta-alamediaaniläpimitasta (Maltamo ym. 2000c). Vastaavasti taas hakkuukypsissä metsissä puutavaralajirakenteen tarkka ennustaminen on tärkeää, jolloin esimerkiksi tukkipuuston pohjapinta-ala voisi olla sopiva lisämittaus. Toisaalta taas runkoluvun mittaamisella voidaan jopa heikentää tulosten tarkkuutta hakkuukypsissä metsissä (Hyvönen 2001).

Jotta nykyiset laskentajärjestelmät pystyisivät hyödyntämään mitattua lisäinformaatiota, täytyisi jokaiselle mittausyhdistelmälle laatia oma mallinsa. Kuitenkaan siinäkään tapauksessa jakaumasta laskettu ennuste ei vastaa maastossa mitattua esimerkiksi runkoluvun osalta, mikäli jakauma skaalataan pohjapinta-alan avulla hehtaarikohtaiseksi. Ratkaisuna tähän ongelmaan on käytettävissä tilastotieteellinen menetelmä nimeltään kalibrointiestimointi (Deville ja Särndal 1992). Tällöin esimerkiksi ennustettua läpimittajakaumaa korjailaan läpimittaluokittain niin, että se toteuttaa kaikki mitatut tunnuksat eli niiden avulla muodostetut kalibrointiyhtälöt (Kangas ja Maltamo 2000a). Kalibrointi toteutetaan optimointiongelmana, joka minimoi jakaumaan tehtäviä muutoksia rajoitteena kalibrointiyhtälöt (ks. myös Cao ja Baldwin 1999). Kalibroinnin tuloksena saadaan esimerkiksi läpimittajakaumia, joissa sekä pohjapinta-ala että runkoluku vastaavat mitattua arvoa. Kalibrointi soveltuu liitettäväksi mihin tahansa puujoukonmuodostusmenetelmään, joskin sitä tarkempia tuloksia saadaan, mitä parempi on alkuperäinen ennuste (Kangas ja Maltamo 2000c).

Kankaan ja Maltamon (2000a) tutkimuksessa runkolukuperusteisia jakaumia kalibroitiin pohjapinta-alalla ja Kankaan ja Maltamon (2000c) tutkimuksessa vastaavasti pohjapinta-alajakaumia runkoluvulla ja ääri­läpimitoilla. Esimerkki runkoluvulla ja ääri­läpimitoilla kalibroidusta prosenttiosuus-jakaumasta on kuvassa 2. Lisäksi Mehtälön (2000) tutkimuksessa esiteltiin erilaisia kalibrointimenetelmiä kuten iteratiivinen ja läpimittaluokittainen kalibrointi.

Kalibroinnilla voidaan myös tuottaa jakaumaestimaatteja tilanteissa, joissa maastomittaukset eivät ole yhteensopivia laskentajärjestelmän kanssa. Esimerkki tällaisesta tilanteesta ovat nuoret harventamattomat kasvatusmetsät, joissa käytännössä mitataan runkoluku ja aritmeettinen keskiläpimitta, kun taas laskentajärjestelmät hyödyntävät pohjapinta-alaa ja pohjapinta-alamediaanipuunläpimittaa. Tällöin mitattujen tunnuksien avulla voidaan mallittaa tarvittavat tunnuksat, muodostaa mallitetuilla tunnuksilla läpimittajakauma ja kalibroida se alkuperäiset mitatut tunnuksat noudattavaksi. Vastaavasti nykyiset jakaumamallit eivät suoraan sovellu luonnontilaisiin metsiin, koska käytettävät menetelmät ovat joko alunperinkin liian jäykkiä tai niiden laadinta-aineistoissa ei ole ollut epäsäännöllisiä jakaumamuotoja. Kalibroimalla olemassaolevia malleja voidaan myös luonnontilaisten metsien jakaumaennusteita tarkentaa.



**Kuva 2.** Alkuperäinen ennustettu ja runkoluvulla sekä äärläpimitoilla kalibroitu männyn pohjapinta-alajakauma (Kangas ja Maltamo (2000c)).

## 5 Lopuksi

Tässä artikkelissa esiteltiin viimeaikaisia kuvioittaiseen arviointiin liittyviä tutkimuksia. Suomessa on jo verraten kattavasti erilaisia läpimittajakaumamalleja, mutta tehokkaasti kalibroituille pituus- ja runkokäyrämalleille on runsaasti tarvetta. Tärkeää on myös ottaa jatkossa huomioon se, että erilaisia malleja sovelletaan tilanteissa, joissa selittävissä muuttujissa on mittaus- ja otantavirhettä. Tämä vaikuttaa nostamalla huomattavasti puuston tilavuustunnusten ennustevirhettä. Jatkotutkimuksissa onkin tarkoitus ottaa huomioon virheellisen lähtötiedon vaikutus niin malleihin kuin myös kalibrointiin. Samoin keskitytään löytämään optimaalisia mittausyhdistelmiä vaihteleviin olosuhteisiin. Myös se, mitä malleja käytetään, voi jatkossa vaihdella jopa kuviokohtaisesti.



## Kirjallisuus

- Borders, B.E., R.A. Souter, R.L. Bailey and K.D. Ware. 1987. Percentile-based distributions characterize forest stand tables. *Forest Science* 33: 570-576.
- Borders, B.E. & Patterson, W.D. 1990. Projecting stand tables: A comparison of the Weibull diameter distribution method, a percentile-based projection method, and a basal area growth projection method. *Forest Science* 36: 413-424.
- Cao, Q.V. & Baldwin, V.C.Jr. 1999. A new algorithm for stand table projection models. *Forest Science* 45: 506-511.
- Deville, J-C. & Särndal, C-E: 1992. Calibration estimators in survey sampling. *Journal of the American Statistical Association* 87: 376-382.
- Dralle, K. & Rudemo, M. 1996. Stem number estimation by kernel smoothing in aerial photos. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1228-1236.
- Droessler, T.D. & Burk, T.E. 1989. A test of nonparametric smoothing of diameter distributions. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 407-415.
- Haara, A., Maltamo, M. & Tokola, T. 1997. The k-nearest-neighbour Method for Estimating Basal-Area Diameter Distribution. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12: 200-208
- Hyvönen, P. 2001. Maastomittaukset ja MELA2000. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.) MELA2000 ja muuttuva metsänkäsittely. MELA-käyttäjöpäivä 21.11.2000 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 814: 44-52.
- Hyypä, J. & Inkinen, M. 1999. Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. *The Photogrammetric Journal of Finland* 16: 27-42.
- Kangas, A. & Maltamo, M. 2000a. Calibrating predicted diameter distribution with additional information. *Forest Science* 46:390-396.
- Kangas, A. & Maltamo, M. 2000b. Percentile based basal area diameter distribution models for Scots pine, Norway spruce and birch species. *Silva Fennica* 34:371-380.
- Kangas, A. & Maltamo, M. 2000c. Performance of percentile based diameter distribution prediction and weibull method in independent data sets. *Silva Fennica* 34:381-398.
- Kangas, A. & Maltamo, M. 2000d. Kasvuennusteiden ongelmana heikot lähtötiedot. *Metsätalous* 3/2000. s. 25.
- Kilkki, P. Siitonen, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuva puustotunnusmallien laskenta. *Acta Forestalia Fennica* 145: 1-29.
- Kilkki, P. & Päivinen, R. 1986. Weibull function in the estimation of the basal area DBH-distribution. *Silva Fennica* 20: 149-156.

- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume function for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108: 1-74.
- Lehikoinen, M. 1999. Puustotunnusten arviointi optimoidusta videokuvasta hahmontunnistusmenetelmällä. *Metsäsuunnittelun ja -ekonomian pro gradu*. Joensuun yliopisto. 81 s.
- Malinen, J., Maltamo, M. & Harstela, P. 2001. Application of most similar neighbor inference for estimating characteristics of a marked stand using stem database. *Ilmestyy Journal of Forest Engineering –sarjassa Heinäkuussa 2001*.
- Maltamo, M. 1997. Comparing Basal Area Diameter Distributions Estimated by Tree Species and for the Entire Growing Stock in a Mixed Stand. *Silva Fennica* 31: 53-65.
- Maltamo, M. 1998. Basal area diameter distribution in estimating the quantity and structure of growing stock. D.Sc. (Agr. And For.) thesis summary. Joensuun yliopisto, *Metsätieteellinen tiedekunta tiedonantoja* 67, 43 s.
- Maltamo, M. & Kangas, A. 1998. Methods based on k-nearest neighbor regression in the estimation of basal area diameter distribution. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1107-1115.
- Maltamo, M. & Kangas, A. 1999. Prosenttiosuusmenetelmä puujoukon ennustamisessa. Teoksessa: Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.) MELA99 ja metsätalouden suunnittelu MELA-käyttäjöpäivä ja tukimuseminaari 11.-12.5.1999 Majvik, Kirkkonummi. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 752: 48-53.
- Maltamo, M. & Uuttera, J. 1998. The angle-count sampling in description of forest stand structure. *Forest and Landscape Research* 1: 448-471.
- Maltamo, M., Malinen, J. & Kangas, A. 2001a. Most similar neighbour based stand variable estimation. *Keskeneräinen käsikirjoitus*.
- Maltamo, M., Tokola, T. & Lehikoinen, M. 2001b. Tree stock estimation by combining single tree pattern recognition of digital video imagery and theoretical diameter distribution model. *Julkaistavaksi tarjottu käsikirjoitus*.
- Maltamo, M., Kangas, A., Uuttera, J., Torniainen, T. & Saramäki, J. 2000. Comparison of percentile based predicted methods and Weibull distribution in describing diameter distribution of heterogeneous Scots pine stands. *Forest Ecology and Management* 133: 263-274.
- Mehtätalo, L. 2000. Mäntyvaltaisen päätehakuuleimikon läpimittajakauman ennustaminen ja kalibrointi eri puustotunnuksilla. *Metsäsuunnittelun ja -ekonomian pro gradu*. Joensuun yliopisto. 65 s.
- Pussinen, A. 1992. Ilmakuvat ja Landsat TM-satelliittikuva välialueiden kuvioittaisessa arvioinnissa. *Metsätalouden suunnittelun pro gradu*. Joensuun yliopisto. 48 s.
- Päivinen, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. *Folia Forestalia* 442. 28 s.
- Siipilehto, J. 1999. Improving the accuracy of predicted basal-area diameter distribution in advanced stands by determining stem number. *Silva Fennica* 33: 281-301.

- Siipilehto, J. 2000. A comparison of two parameter prediction methods for stand structure in Finland. *Silva Fennica* 34: 331–349
- Sironen, S. 2000. Ei-parametriset menetelmät kasvun ennustamisessa. Metsäsuunnittelun ja -ekonomian pro gradu. Joensuun yliopisto. 64 s.
- Utterä, J., Tokola, T., Haara, A. & Maltamo M. 1998. Determination of the spatial distribution of trees from digital aerial photographs. *Forest Ecology and Management* 110: 275-282.
- Veltheim, T. 1987. Pituusmallit männylle, kuuselle ja koivulle. Metsänarvioimistieteen syventävien opintojen tutkielma. Helsingin yliopisto.
- Tang, S., Wang, Y., Zhang, L. & Meng, C.-H. 1997. A distribution-independent approach to predicting stand diameter distribution. *Forest Science* 43: 491-500.





METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 814, 2001  
ISBN 951-40-1789-7, ISSN 0358-4283