



Pekka Hyvönen



Kari T. Korhonen

Pekka Hyvönen ja Kari T. Korhonen

## Metsävaratiedon jatkuva ajantasaistus yksityismetsissä

**Hyvönen, P. & Korhonen, K.T.** 2003. Metsävaratiedon jatkuva ajantasaistus yksityismetsissä. Metsätieteen aikakauskirja 2/2003: 83–96.

Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka metsäkeskuksen ja metsänhoitoyhdistyksen rekistereitä voidaan käyttää metsävaratietojen ajantasaistuksessa yksityismetsien tilakohtaista suunnittelua varten. Tavoitteena oli selvittää myös laskennallisesti ajantasaistetun inventointiaineiston käyttökel- poisuutta metsäsuunnittelun lähtöaineistona. Tutkimusaineistona oli 20 metsätilaa Etelä-Savon metsäkeskuksen Järvi-Savon metsänhoitoyhdistyksen alueelta. Tiloille oli laadittu metsäsuunni- telmat 1996 ns. Solmu-muotoisen kuvioittaisen inventoinnin pohjalta. Suunnitelman laatimisen jälkeä tehty toimenpiteet pyrittiin selvittämään mahdollisimman kattavasti metsäkeskuksen ja metsänhoitoyhdistyksen rekistereistä. Toimenpiteet tarkistettiin maastossa. Tiloista 12:lle tehtiin kesällä 2002 uusi kuvioittainen arviointi, jonka perusteella tiloille laadittiin uusi metsäsuunnitel- ma. Uutta metsäsuunnitelmaa verrattiin suunnitelmaan, joka oli koostettu 6 vuotta vanhoista inventointitiedoista ajantasaistamalla.

Tutkimusaineistossa runsaat 90% toimenpiteistä löytyi metsäkeskuksen ja metsänhoitoyhdistyk- sen rekistereiden läpikäymisellä yhdistettynä metsänomistajan haastatteluun. Ilman metsänomi- tajan haastattelu rekistereistä löydettiin 78% tehdyistä toimenpiteistä. Yllättävän paljon jäi löy- tymättä uudistushakkuiden metsänkäyttöilmoituksia. Toimenpiteet olivat muuttaneet kuviorajoja merkittävästi 16,5%:lla käsitellyistä kuvioista. Kasvumalleilla ajantasaistetut 5–6 vuotta vanhat puustotiedot todettiin 25 tarkistuskuvion mittauksen perusteella yhtä luotettaviksi kuin uuden inventoinnin puustotiedot.

Tutkimuksen tuloksista voidaan päätellä, että jatkuva ajantasaistus on varteen otettava vaihtoehto myös yksityismetsien suunnittelussa tarvittavan metsävaratiedon ylläpitämiseen. Toimenpidetietojen kerääminen jatkuvaan ajantasaistukseen tulisi aloittaa juuri valmistuneesta metsäsuunnitelmasta. Metsänkäyttöilmoitukset tulisi tallentaa metsävaratietojärjestelmään, jotta ilmoitukset kohdentuisivat varmuudella oikeille kuvioille. Jatkuvan ajantasaistuksen järjestelmässä tulisi käyttää myös puunostajilta saatavaa tietoa toteutettujen hakkuiden ajankohtaa ja rajausta koskevan tiedon luotettavuuden parantamiseksi.

Asiasanat: metsäninventointi, metsäsuunnittelu, metsävaratiedot, yksityismetsätalous  
Yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu  
Sähköposti: pekka.hyvonen@metla.fi; kari.t.korhonen@metla.fi  
Hyväksytty 17.4.2003

## I Johdanto

Yksityismetsien tilakohtainen metsäsuunnitelma pohjautuu nykyisellään 10–20 välein toistettaviin kuvioittaisiin arviointeihin, joista metsäkeskuksen suunnittelija koostaa suunnitelman yhteistyössä maanomistajan kanssa. Metsäsuunnitelma sisältää kuvauksen tilan metsävaroista, arvioidusta kehittämisestä, hakkuumahdollisuuksista ja metsänhoitotöistä sekä arvioiduista tuloista ja menoista (Oksanen-Peltola 1999). Maa- ja metsätalousministeriön metsäsuunnittelustrategian mukaan metsäsuunnittelun visio vuonna 2010 on, että ”kaikki metsänomistajat tekevät päätöksiä tietoisina metsien erilaisista käyttömahdollisuuksista ja hoitotarpeista” (Maa- ja metsätalousministeriön... 2001). Metsäsuunnittelustrategia painottaa metsävaratiedon ajantasaisuuden, kattavuuden ja saatavuuden merkitystä sekä metsäsuunnittelun neuvonnallisia vaikutusmahdollisuuksia.

Metsäkeskus hyödyntää tilakohtaisen metsäsuunnittelun yhteydessä kerättyä tietoa myös yksityismaiden alueellisissa metsäsuunnitelmissa. Alueellista suunnittelua tarvitaan metsäkeskuksen ja metsänhoitoyhdistysten toiminnan ja talouden suunnitteluun, metsätalouden ohjaamiseen, maisemanhoidon suunnitteluun ja kylä- tai talousaluetason elinkeinotoiminnan kehityksen pohjaksi. Myös alueellisessa suunnittelussa metsävaratiedon toivotaan olevan mahdollisimman ajantasaista (Oksanen-Peltola 1999).

Kansallisessa metsäohjelmassa (KMO) tilakohtaisen metsäsuunnittelun tavoitteeksi asetettiin 75 % yksityismetsien pinta-alasta, minkä on arvioitu merkitsevän noin miljoonan hehtaarin tavoitetta vuotuiselle aluesuunnittelun pinta-alalle (Kansallinen metsäohjelma 2010, 1999). KMO:n myötä metsäsuunnitteluun saadun lisärahoituksen turvin metsäkeskukset ovat viime vuosina päässeet lähelle tätä tavoitetta (Uuttera ym. 2002). Rahoituksen jatkon epävarmuus ja metsävaratietojen ajantasaisuusvaatimuksen korostuminen ovat aiheuttaneet tarvetta metsäsuunnittelun kustannusten alentamiseen. Koska maastoinventoinnin kustannus on noin puolet suunnittelun kokonaiskustannuksista (Uuttera ym. 2002), tiedon keruun tehostaminen on merkittävin tekijä suunnittelun kustannusten alentamisessa.

Metsäsuunnittelun tiedon keruun tehostamiseksi on tutkittu erityisesti numeerisen kaukokartoitusaineiston käyttöä (esimerkiksi Tomppo 1986, Poso ym. 1987, Hyypä 1997, Hyvönen 2002, Anttila 2002a). Viime vuosina on tutkittu myös metsävaratietojen laskennallisen ajantasaistuksen soveltamista metsäsuunnitteluun. Laskennallisen ajantasaistuksen tutkimuksessa on keskitytty pääasiassa mallien käytön tutkimiseen (Laasasenaho ja Päivinen 1986, Haara 2002). Toinen laskennalliseen ajantasaistukseen liittyvä tutkimusteema on ollut kaukokartoitusmenetelmien käyttäminen käsiteltyjen kuvioiden tunnistamiseen numeerisesti (Hyypä 1997, Varjo 1997) tai visuaalisesti (Hyppänen 1996, Kaukohavainnointiin... 1997, Anttila 2002b).

Metsäyhtiöt ja Metsähallitus ovat kustannussyistä siirtyneet hallinnassaan olevissa metsissä jatkuvaan ajantasaistukseen eli metsistä mitattuja tietoja pidetään jatkuvasti yllä puuston kasvumallien ja hakkuiden jälkeen tehtävien mittausten avulla (Korhonen 2002). Yksityismetsien suunnittelussa tällaista toimintamallia ei ole kokeiltu, johtuen ilmeisesti siitä, että jatkuvan ajantasaistuksen organisointi olisi yksityismetsissä erilainen ongelma kuin yhtiöiden tai Metsähallituksen metsissä (Schneider 1999). Yksityismetsissä metsäsuunnittelusta ja metsävaratiedoista vastaavat metsäkeskukset, puuston hakkuista pääasiassa puunostajan palkkaama urakoitsija ja joissain tapauksissa metsänhoitoyhdistys ja/tai metsänomistaja. Toinen merkittävä jatkuvan ajantasaistuksen käyttöä rajoittanut tekijä on ollut se, että yksityismetsien suunnitteluaineistojen käyttökelpoisuus vaihtelee: tuoreimmilla suunnittelualueilla sekä puustotieto että kuvioraja-aineisto on luotettavinta ja parhaiten käyttökelpoista, vanhimmilla alueilla ei ole numeerista aineistoa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää metsäkeskuksen ja metsänhoitoyhdistyksen rekistereiden käyttökelpoisuutta tiedonlähteenä metsissä tehdyistä toimenpiteistä. Tutkimuksessa selvitetään rekistereiden ajantasaisuutta, luotettavuutta ja niiden käyttöön liittyviä teknisiä ongelmia. Tavoitteena on selvittää myös laskennallisesti ajantasaistetun inventointiaineiston käyttökelpoisuutta metsäsuunnittelun lähtöaineistona.

## 2 Aineisto

### 2.1 Tutkimustilat ja niiden metsäsuunnitteluaineistot

Tutkimukseen valittiin 20 metsätilaa Etelä-Savon metsäkeskuksen, Järvi-Savon metsänhoitoyhdistyksen alueelta. Tiloja ei valittu satunnaisesti vaan valitut tilat olivat sellaisia, että metsänhoitoyhdistyksen toimihenkilö pystyi etukäteen arvioimaan tilanomistajien suostuvan tutkimushankkeeseen. Tutkimustiloilla oli tehty tuoreimman metsäsuunnitelman maastotyöt vuonna 1996. Metsäsuunnitelmien aineistot oli kerätty puusto-ositteittain ns. SOLMU-muodossa (SOLMU. Maastotyöopas... 1996). Suunnitelmat oli luovutettu metsänomistajille 1997 keväällä.

Tutkimustilojen metsätalousmaan pinta-ala oli yhteensä 695 hehtaaria. Tilakohtainen metsäala vaihteli 14 hehtaarista 140 hehtaariin. Kuvioita näillä tiloilla oli yhteensä 626. Pinta-alasta 89,8 % oli lehtomaisen tai tuoreen kankaan kasvupaikkatyyppisiä. Kuusi oli pääpuulajina 52,9 %:lla kuvioista (56,2 % pinta-alasta), mänty 28,3 %:lla (26,8 %) ja koivu 12,5 %:lla (9,6 %). Varttuneiden (kehitysluokka 03) ja uudistuskypsien (04) metsien osuus kuvioista oli 51,3 % ja pinta-alasta 55,5 %.

Tutkimustiloista 12:lle tehtiin uusi kuvioittainen arviointi kesällä 2002. Näiden 12 tilan pinta-ala oli yhteensä 526 hehtaaria. Kuvioita oli yhteensä 470. Sekä vanhan (1996) että uuden inventoinnin näillä tiloilla teki sama Etelä-Savon metsäkeskuksen metsätalousneuvoja.

Lopuille kahdeksalle tutkimustilalle käytiin maastossa tarkistamassa jokaiselta kuviolta, oliko vuoden 1996 jälkeen tehty toimenpiteitä. Maastotyöbudjetin rajallisuuden vuoksi uutta inventointia ei tehty näille tiloille.

### 2.2 Toimenpidetiedot rekistereistä

Metsäkeskuksen ja metsänhoitoyhdistyksen toimihenkilöt selvittivät rekistereistään kaikki toimenpiteet (hakkuut, taimikonhoidot, maanmuokkaukset, metsänviljelyt), jotka oli tehty tutkimustiloilla metsäsuunnitelman (1996) maastotöiden jälkeen. Metsäkeskuksessa käytiin läpi seuraavat rekisterit:

- 1) Metsänkyttöilmoitukset
- 2) Kemera-tukipäätökset
- 3) Perustamisilmoitukset (ns. Masto-rekisteri).

Metsänhoitoyhdistyksessä käytiin läpi paperimuotoiset tilakortit, joihin oli kirjattu vanhat toteutetut hankkeet sekä sähköisessä muodossa olevat tilakohtaiset hankesuunnitelmat, joissa oli uudemmat hankkeet. Myös uusien hankkeiden karttatiedot olivat ainoastaan paperimuodossa.

Kaikille tiloille lähetettiin ennen maastotöitä kyselylomake. Kyselylomakkeella oli tietoa etukäteen rekistereistä löytyneistä toimenpiteistä sekä kuviokartta toimenpidekuvioista. Metsänomistajaa pyydettiin tarkistamaan tietojen oikeellisuus sekä tekemään niihin tarvittavat korjaukset ja mahdolliset lisäykset. Niillä 12 tilalla, joilla tehtiin uusi kuvioittainen arviointi, metsänhoitoyhdistyksen alueneuvoja kävi henkilökohtaisesti tilan omistajan kanssa kyselylomakkeen läpi ennen maastotöitä. Lopuille 8 tilalle ei tehty henkilökohtaista haastattelua.

### 2.3 Tarkistusmittausaineisto

Kahdentoista tutkimustilan kuvioaineistosta poimittiin kiintiöidyllä ositetulla otannalla 25 kivennäismaan kuviota tarkistusmittauksiin. Kuviot jaettiin ositteisiin kehitysluokan mukaan ja ositteittaisista kuviolistoista poimittiin joka n:s kuvio siten, että tarkistusmittauskuvioita tuli nuoriin kasvatusmetsiin 10 kuviota, varttuneisiin kasvatusmetsiin 8 kuviota ja uudistuskypsiin metsiin 7 kuviota. Taimikot jätettiin tämän tarkastelun ulkopuolelle. Tarkistusmittausten tavoitteena oli tarkastella tehdyn kuvioittaisen arvioinnin luotettavuutta sekä saada kuva kasvumallien luotettavuudesta vanhan kuvioaineiston ajantasaistuksessa.

Tarkistusmitattaville kuvioille sijoitettiin tasaisesti kuvion pinta-alasta riippuen 6–10 relaskoopikoealaa (kerroin 2), joiden puut mitattiin lukupuina. Lukupuille kirjattiin puulaji, puujakso ja rinnankorkeusläpimitta. Jokaisella koealalla kunkin puulajin ja -jakson (puusto-ositteen) pohjapinta-alamediaanipuu valittiin koepuiksi, jolle mitattiin pituus. Parittomilla koealoilla koepuista mitattiin/määritettiin lisäksi rinnankorkeusikä, ikälisäys ja menneen viiden vuoden jakson säde- ja pituuskasvu.

Kasvumittaukset tehtiin vain havupuille.

Mitatuista puutiedoista laskettiin kuvion puuston pohjapinta-ala, pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, keskipituus ja -tilavuus puusto-ositteittain. Tilavuuden laskentamenetelmä on esitetty luvussa 3.3. Kasvumittausten tavoitteena oli saada arvio puuston kasvusta suunniteluinventoryn jälkeen, jotta räikeimmät inventointi- tai mallivirheet voitaisiin todeta. Kasvun estimointimenetelmä on esitetty luvussa 3.3.

## 3 Menetelmät

### 3.1 Vanhojen suunnitelmatietojen ajantasaistus

Tutkimusaineiston uudelleen inventoiduille 12 tilalle laskettiin nykyhetken puustotiedot ja laadittiin metsänhoidollinen suunnitelma kahdella eri tavalla: 1) vanhoja (1996 mitattuja) suunnitelmatietoja ajantasaistamalla ja 2) uudella inventointitiedolla.

Vanhojen suunnitelmatietojen ajantasaistuksessa vuonna 1996 mitatut kuvioittaiset puustotiedot kasvatettiin nykyhetken MELA-ohjelmiston (Redsven ym. 2002) kasvumalleilla (Hynynen ym. 2002). Jos kuviolla oli rekisterien mukaan tehty toimenpide, joka oli myös toteutettu, puustotietojen kasvatusta ei tehty vaan vanhat tiedot korvattiin uudella inventointitiedolla. Tällainen menettely vastaa käytäntöä, jossa käsitellyt kuviot käydään mittaamassa maastossa toimenpiteen yhteydessä tai sen jälkeen ja muuttumattomien kuvioiden puustotietoja pidetään yllä kasvumalleilla.

### 3.2 Metsäsuunnitelmien koostaminen

Sekä uusista mittaustiedoista että ajantasaistetuista vanhoista tiedoista koostettiin MELA-ohjelmistolla metsänhoidollinen suunnitelma. MELA-laskelmissa simuloitiin kolme viiden vuoden pituista kautta. Ensimmäinen kausi alkoi 2002, toinen 2007 ja kolmas 2012. MELA-laskelmissa ei hyödynnetty maastossa ehdotettuja toimenpiteitä vaan kaikki toimenpide-ehdotukset pohjautuivat puustotietoihin. Optimointitehtävänä oli maksimoida hakkuukerty-

mää ensimmäisellä viisivuotiskaudella. Tällaisella optimoinnilla löydetään kaikki toteutettavissa olevat metsänhoidollisesti sallitut hakkuut ja taimikonhoidot. Tällaisessa laskennassa MELA-ohjelmisto esittää harvennushakkuuta kaikille kuvioille, joilla puuston pohjapinta-ala ylittää harvennusmallien harvennusrajan. Uudistushakkuuta esitetään vastaavasti kaikille kuvioille, joilla puuston ikä tai keskiläpimitta ylittää uudistamiseen vaadittavan alarajan.

Uusista inventointitiedoista ja ajantasaistetuista tiedoista koostettuja suunnitelmia verrattiin toisiinsa kuvioittain. Tarkasteltavina tunnuksina kahden eri aineistolla tehdyn MELA-laskelman välillä olivat hakkuutavat ja niiden ajoittuminen, taimikonhoidon ajoittuminen, toimenpiteiden pinta-alat sekä kertymät puutavaralajeittain eri kausina. Lisäksi tarkasteltiin toimenpiteisiin liittyviä menoja ja tuloja.

### 3.3 Tarkistuskuvioilla tehdyt laskennat

Puuston keskitilavuus estimoitiin tarkistusmittauksia käyttäen seuraavasti:

- 1) Koepuille estimoitiin pituus Veltheimin (1987) pituusmalleilla. Estimaatit summattiin kuvioittain ja puusto-ositteittain. Vastaavasti summattiin koepuille mitatut pituudet.
- 2) Lukupuille estimoitiin pituus Veltheimin (1987) pituusmalleilla. Estimaatit kerrottiin korjauskertoimella, joka saatiin koepuille mitattujen ja estimoitujen pituuksien summien (kohta 1) suhteesta.
- 3) Lukupuille estimoitiin tilavuus Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöllä käyttäen selittäjinä mitattua rinnankorkeusläpimittaa ja kohdassa 2 estimoitua pituutta.
- 4) Puittaiset tilavuusestimaatit muutettiin hehtaarikohtaisiksi kertomalla pöimintatodennäköisyyden käänteisluvulla (Kuusela 1979). Estimaatit summattiin puusto-ositteittain ja kuvioittain ja jaettiin koalojen lukumäärällä.

Tarkistuskuvioilta mitatuille kasvukoepuille estimoitiin läpimitan ja pituuden kasvun avulla tilavuuskasvu Kujalan (1980) esittämällä menetelmällä. Koska koepuista ei ollut mitattu kuorenpaksuuksia, estimoitiin kuorenpaksuudet valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) aineistosta laadituilla kuorimal-

leilla. Mallien muoto on esitetty julkaisussa Korhonen (1994) ja kertoimet estimoitiin 9. VMI:ssä Etelä-Savon alueella mitatuista koepuista saadulla aineistolla. Tilavuuskasvu muunnettiin kasvuprosentiksi jakamalla sen kasvukoepuun mittaushetken tilavuudella. Koepuiden kasvuprosenteista laskettiin keskiarvo kuvioittain ja puulajeittain. Kuvion puuston 5 vuoden kasvu estimoitiin kertomalla puulajeittain koepuista estimoitu kasvuprosentti puuston tilavuudella. Lehtipuille käytettiin kuusen kasvuprosenteja. Niillä tarkistusmittauskuvioilla, joilla ajantasaistusjakson pituus oli 6 kasvukautta, 5 vuoden mitattu kasvu muunnettiin 6 vuoden kasvuksi kertomalla suhteella 6/5.

### 3.4 Tulosten arviointi

MELA:lla lasketun ajantasaistetun aineiston tuloksia verrattiin uuden inventoinnin tuloksiin muuttumattomien kuvioiden joukossa (288 kpl) sekä koko aineistossa (470 kpl). Lisäksi MELA:lla tuotettuja toimenpide-ehdotuksia verrattiin maastossa ehdotettuihin toimenpiteisiin. Toimenpide-ehdotusten onnistumisen tarkastelu tehtiin oikeinluokitusprosentin avulla. Tämän tutkimuksen tapauksessa se kuvaa lähinnä luokitusten yhteneväisyyttä eri aineistojen välillä eikä välttämättä sen oikeellisuutta. Oikeinluokitusprosentti voi antaa virheellisesti kuvan, että luokitus on onnistunutta (tässä tapauksessa yhtenevää), jos jonkin luokan osuus (esim. lepokuvio) on selvästi muita luokkia suurempi (Campbell 1987). Tämän vuoksi luokitus tulosten vertaamiseksi laskettiin myös Kappa-arvo,  $K$  (Rosenfield ja Fitzpatrick-Lins 1986):

$$K = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (1)$$

missä

- $r$  = virhematriisin rivien ja sarakkeiden lukumäärä
- $x_{i+}$  = rivisumma rivillä  $i$
- $x_{+i}$  = sarakesumma sarakkeella  $i$
- $n$  = havaintojen lukumäärä
- $x_{ii}$  = havaintojen lukumäärä rivillä  $i$  ja sarakkeella  $i$ .

Landisin ja Kochin (1977) mukaan Kappa-arvon ollessa vähintään 0,4 on luokitus onnistunut hyvin ja yli 0,75 olevat arvot tarkoittavat erinomaisesti onnistunutta luokitusta.

Puuston määrää eri aineistoilla tuotettujen laskelmien sekä tarkistusmittausaineiston välillä tarkasteltiin keskiarvon virheen (kaava 2) ja harhan (kaava 3) avulla:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$\text{Harha} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (3)$$

missä

- $\hat{y}_i$  = estimaatti
- $y_i$  = oikea arvo
- $n$  = kuvioiden lukumäärä.

Harhan merkitsevyyttä tarkasteltiin toisistaan riippuvien otosten parittaisella t-testillä, jossa testisuure saadaan jakamalla erotusten keskiarvo erotusten keskihajonnalla ja havaintojen lukumäärän neliöjuurella (Ranta ym. 1989).

## 4 Tulokset

### 4.1 Ennakkotiedot rekistereistä

Ennakkoon eri rekistereistä löydettiin merkintä toimenpiteestä 249 kuviolta (perusjoukko 626 kuviota 20 tilalla) eli 39,8%:lla kuvioista oli rekisterien mukaan tehty jotain. Maastotarkistuksen perusteella toimenpiteitä oli tehty 246 kuviolta eli 39,3%:lla kuvioista. Prosentuaaliset luvut ovat lähes samat, mutta osaa rekistereistä löydettyistä toimenpiteistä ei ollut tehty ja osa maastossa tehdyistä toimenpiteistä jäi löytymättä.

Toimenpidekuvioista 237 kuviolta puustotiedot olivat muuttuneet ja 9 kuviolta pelkästään kuvion rajausta oli muuttunut viereisen kuvion toimenpiteen seurauksena (taulukko 1). Muuttuneista kuvioista saatiin eri rekistereistä ja maanomistajilta selville yhteensä 226 kpl eli 91,9% (sisältäen myös pelkät

rajojen muutokset). Toimenpiteistä jäi löytymättä 20 kpl eli 8,1 %. Jos pelkkiä kuviorajamuutosten löytymisiä ei huomioida, löydettiin rekistereistä 92,8 % maastossa tehdyistä toimenpiteistä.

Rekistereistä löytymättä jääneitä toimenpiteitä on tarkasteltu toimenpidelajeittain taulukossa 2. Useimmin tieto jäi löytymättä hakkuista. Suhteellisesti tarkastellen kuitenkin taimikonhoito- ja metsänhoitotoimenpiteet löytyivät heikoimmin. Metsänhoito sisälsi tarkastelussa istutuksen ja raivauksen. Tiloittain tarkasteltuna tietojen löytymisessä oli suuria eroja (taulukko 3). Seitsemältä tilalta löytyi kaikki toimenpiteet ennakkoon metsäkeskuksen ja metsänhoitoyhdistyksen rekistereistä.

**Taulukko 1.** Puusto- tai rajatiedoiltaan muuttuneiden kuvioiden määrät ja niiden löytyminen eri rekistereistä. Rekisterit yhteensä -rivillä löydetty toimenpiteet, kun eri rekisterien päällekkäisyydet on poistettu.

Tietolähde	Puustotieto muuttunut kpl	%	Vain raja muuttunut kpl
Maastotarkistus	237	100,0	9
Metsänhoitoyhdistys	166	70,0	6
Metsäkeskus	114	48,1	6
Metsänomistaja	35	14,8	ei tietoa
Naapurikuvio	6	2,5	ei tietoa
Rekisterit yhteensä	220	92,8	6

#### 4.2 Suunnitelman toimenpide-ehdotukset ajantasaistetun ja uudelleen mitatun aineiston perusteella

Eri lähtötiedoista koostettujen hakkuusuunnitteen sisältämien toimenpide-ehdotusten vertailu 12 tilan aineistossa kaudella 1 (2002–2007) on esitetty taulukoissa 4 ja 5. Näitä taulukoita laskettaessa ei ole käytetty maastossa suunnittelijan tekemiä käsittelyehdotuksia vaan ehdotukset on tuotettu MELA-ohjelmistolla ajantasaistettujen tai uudelleen inventoitujen puustotietojen perusteella. Taulukossa 4 aineisto on jaettu kahteen osaan. Ylemmässä taulukossa ovat mukana vain (rekisteritietojen mukaan) käsittelemättömät kuviot eli ne kuviot, joissa on käytetty ajantasaistetussa aineistossa vuoden 1996 tietoja (288 kpl). Mukana on myös 17 kuviota, joille maastossa oli tehty jokin toimenpide, mutta sitä ei ollut löydetty ennakkoon rekistereistä. Alemmassa taulukossa ovat mukana kaikki kuviot (470 kpl) 12 tilalta.

Ajantasaistettua aineistoa käytettäessä MELA-laskenta ei tuottanut harvennus- tai uudistushakkuuehdotusta ensimmäisellä viiden vuoden kaudella 16 sellaiselle kuviolle, joille ehdotus tuli tehdyksi uudelleen mitattua aineistoa käytettäessä. Näistä 12 kuvion toimenpide ajoittui ajantasaistetussa aineistossa seuraaville kausille. Toisaalta MELA-laskenta tuotti ajantasaistettua aineistoa käytettäessä hakkuuehdotuksen 15 sellaiselle kuviolle, jotka uudelleen mitattua aineistoa käytettäessä olivat lepokuvioita. Näistä 6 kuvion toimenpide ajoittui

**Taulukko 2.** Löytymättä jääneiden toimenpiteiden sekä maastossa havaittujen toimenpiteiden lukumäärät. Merkinnät: mk = metsäkeskus, mhy = metsänhoitoyhdistys, mk+mhy = tieto toimenpiteestä ei ole löytynyt metsäkeskuksen eikä metsänhoitoyhdistyksen rekistereistä, mk+mhy+mo = tietoa ei em. rekistereistä eikä selvinnyt metsänomistajan haastattelussakaan, maasto = maastossa havaittujen käsittelyjen kuvioiden määrä.

Toimenpide	Rekistereistä löytymättä jääneet				Maastossa havaitut
	mk	mhy	mk+mhy	mk+mhy+mo	
Kasvatushakkuu	34	13	7	3	80
Uudistushakkuu	30	16	13	2	74
Maanmuokkaus	10	7	6	3	13
Metsänhoito	3	4	3	2	8
Taimikonhoito	36	22	21	5	51
Muut	4	3	2	2	11
Yhteensä	117	65	52	17	237

**Taulukko 3.** Kuvioiden lukumäärät, pinta-alat sekä metsäkeskuksen ja metsänhoitoyhdistyksen rekistereistä löydetty toimenpiteet tiloittain.

Tila	Kuvioita, kpl	Pinta-ala, ha	Käsiteltyjä, kpl	%	Löytenyt, kpl	%
1	20	34,8	5	25,0	4	80,0
2	16	13,4	4	25,0	4	100,0
3	30	30,4	10	33,3	9	90,0
4	27	30,8	14	51,9	10	71,4
5	17	14,5	4	23,5	4	100,0
6	10	13,3	3	30,0	3	100,0
7	16	18,9	8	50,0	5	62,5
8	25	19,4	7	28,0	7	100,0
9	20	20,0	13	65,0	9	69,2
10	26	28,7	4	15,4	2	50,0
11	71	141,6	35	49,3	32	91,4
12	43	47,5	13	30,2	2	15,4
13	37	36,7	19	51,4	17	89,5
14	37	28,2	16	43,2	16	100,0
15	28	21,4	3	10,7	3	100,0
16	39	36,2	30	76,9	20	66,7
17	24	23,6	8	33,3	7	87,5
18	26	26,2	10	38,5	10	100,0
19	74	65,1	26	35,1	17	65,4
20	40	44,2	5	12,5	4	80,0
Yhteensä	626	694,9	237	37,9	185	78,1

**Taulukko 4.** Mela-ohjelmistolla tuotetut hakkuuehdotukset (kuvioiden määrä, kpl) uuden inventoinnin ja ajantasaistetun vanhan inventoinnin aineistoilla a) käsittelemättömillä kuvioilla sekä b) kaikilla kuvioilla kaudella I.

Ajantasaistettu aineisto	Lepo	Uusi aineisto Harvennus	Uudistaminen	Yhteensä
a) Muuttumattomat kuviot				
Lepo	62	13	3	78
Harvennus	10	61	5	76
Uudistaminen	5	5	124	134
Yhteensä	77	79	132	288
Oikein %	80,5	77,2	93,9	85,8
b) Kaikki kuviot				
Lepo	164	13	3	180
Harvennus	10	81	5	96
Uudistaminen	5	5	184	194
Yhteensä	179	99	192	470
Oikein %	91,6	81,8	95,8	91,3

uudessa aineistossa seuraaville kausille. Lisäksi mukana oli 5 vuoden 1996 inventoinnin jälkeen hakkuin käsiteltyä kuviota, joilla siis ajantasaistetussa aineistossa oli vanhat puustotiedot. Loppujen kuvioiden toimenpiteiden ajoittuminen eri kausille

**Taulukko 5.** MELA-ohjelmistolla tuotetut taimikonhoitoehdotukset uuden inventoinnin ja ajantasaistetun vanhan inventoinnin perusteella kaudella I.

Ajantasaistettu aineisto	Uusi aineisto		Yhteensä
	Lepo	Taimikonhoito	
Lepo	387	22	409
Taimikonhoito	2	59	61
Yhteensä	389	81	470
Oikein %	99,5	72,8	94,9

johtui laskennan lähtötilanteen puustotietojen pienistä eroista aineistojen välillä. Oikeinluokitusprosentti on käsittelemättömillä kuvioilla 85,8 % ja kappa-arvo 0,78. Koko aineistossa oikeinluokitusprosentti on 91,3 ja Kappa-arvo 0,86. Toisella kaudella (2007–2011) ajantasaistetulla aineistolla tuli hakkuuehdotus 22 kuviolle ja uudella aineistolla 18 kuviolle. Näistä 15 oli samalla kuviolla ja hakkuutapa oli sama. Ajantasaistetulla aineistolla jäi uudistushakkuu ehdottamatta yhdelle sellaiselle kuviolle, jolle ehdotus oli tullut uudella aineistolla.

Taimikonhoitokuvioita tuli ensimmäisellä kaudella ajantasaistettua aineistoa käytettäessä 61 kpl ja uutta aineistoa käytettäessä 81 kpl (taulukko 5).

**Taulukko 6.** Hakkuiden pinta-alat (ha/vuosi) ensimmäisellä kaudella hakkuutavoittain.

	Ensi-harvennus	Hakkuutapa Muu harvennus	Uudistus-hakkuu	Yhteensä
Uusi aineisto	4,59	14,81	42,01	61,41
Ajantasaistettu aineisto	4,76	14,84	43,2	62,8

Oikeinluokitusprosentti on 94,9% ja Kappa-arvo 0,8. Suuri ero selittyy osittain sillä, että ajantasaistetussa aineistossa oli mukana 7 sellaista uudistushakattua kuviota, joille rekistereistä ei ollut löydetty tietoa hakkuusta. Nämä kuviot käsiteltiin ajantasaistukseen perustuvassa laskennassa uudistuskypsinä tai kasvatettavina metsinä eikä niille siten voinut tulla taimikonhoitoehdotusta ensimmäiselle kaudelle. Taimikonhoitokuvia tuli toisella kaudella molemmissa aineistossa 53 kpl, joista 45 oli samoilla kuvioilla (oikeinluokitusprosentti 96,6% ja Kappa-arvo 0,8).

Hakkuuehdotusten pinta-alat jakaantuivat aineistojen välillä taulukon 6 mukaisesti. Hakkuiden yhteispinta-alassa aineistoilla ei juuri ollut eroa. Kaikkien kuvioiden yhteenlaskettu pinta-ala oli 526 hehtaaria, joten ensimmäisellä kaudella ehdotettiin hakattavaksi molemmista aineistoista koostetuissa hakkuumahtosuunnitelmissa n. 59% pinta-alasta. Taimikonhoitoa ehdotettiin ajantasaistetussa aineistossa 19,7 hehtaaria/vuosi ja uudessa aineistossa 25,8 hehtaaria/vuosi.

### 4.3 Maastossa ehdotettujen toimenpiteiden ja MELAn tuottamien toimenpide-ehdotusten vertailu

Suunnittelija oli tehnyt maastotöiden yhteydessä harvennushakkuuehdotuksen 49 kuviolle ja uudistamishdotuksen 72 kuviolle (taulukko 7). MELA-ohjelmistolla tuotettu hakkuumahtosuunnitelma tuotti odotetusti selvästi enemmän sekä harvennus- että uudistushakkuuehdotuksia riippumatta siitä, oliko lähtöaineistona uudelleen inventoitu vai ajantasaistettu aineisto.

Taimikonhoitoehdotuksia oli maastossa annettu selvästi enemmän kuin MELA-laskelmissa (taulukko 8).

**Taulukko 7.** Maastossa tehtyjen hakkuuehdotusten vertailu Mela-ohjelmistolla a) ajantasaistetusta vanhasta inventointiaineistosta ja b) uudesta inventointiaineistosta laskennallisesti tuotettuihin hakkuuehdotuksiin ensimmäisellä kaudella.

Laskennallinen ehdotus	Maastoehdotus			Yhteensä
	Lepo	Harvennus	Uudistaminen	
a) Ajantasaistettu vanha aineisto				
Lepo	179		1	180
Harvennus	56	37	3	96
Uudistaminen	114	12	68	194
Yhteensä	349	49	72	470
Oikein %	51,3	75,5	94,4	60,4
b) Uusi aineisto				
Lepo	177	1	1	179
Harvennus	59	37	3	99
Uudistaminen	113	11	68	192
Yhteensä	349	49	72	470
Oikein %	50,7	75,5	94,4	60,0

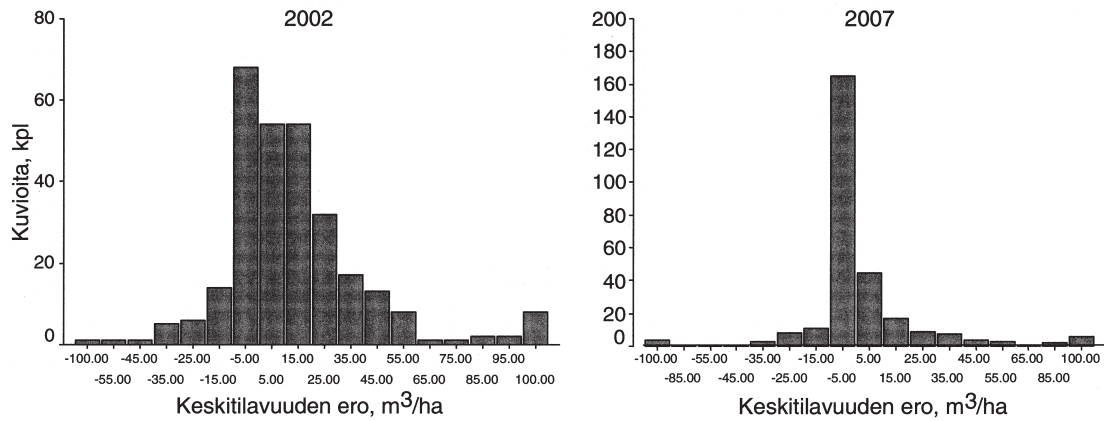
**Taulukko 8.** Uudelleen inventoidusta aineistosta Mela-ohjelmistolla laskennallisesti tuotettujen ja maastossa tehtyjen taimikonhoitoehdotusten vertailu kaudella I koko aineistolla.

Laskennallinen ehdotus	Maastoehdotus		Yhteensä
	Lepo	Taimikonhoito	
Lepo	324	65	389
Taimikonhoito	26	55	81
Yhteensä	350	120	470
Oikein %	92,6	45,8	80,6

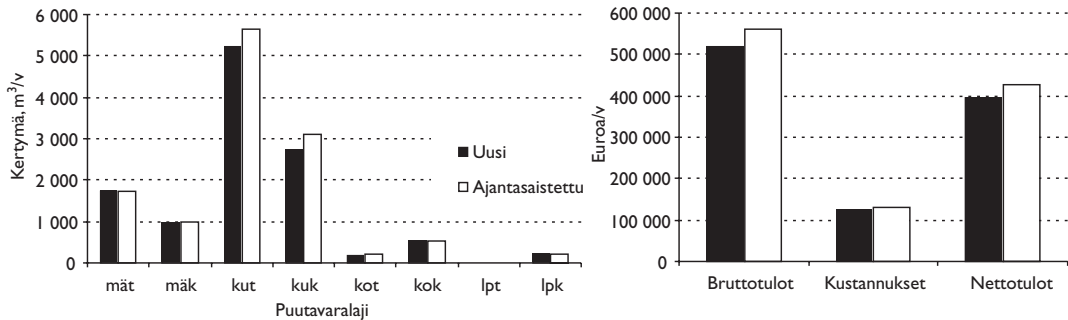
### 4.4 Puuston määrä ja hakkuukertymät

Uudelleen mitatun 12 tilan aineistossa (470 kuviota) puuston kuvioitaisten keskitilavuuksien keskiarvo oli 125,0 m<sup>3</sup>/ha. Samoilla kuvioilla ajantasaistuksella tuotettujen puustotietojen mukaan keskiarvo oli 135,1 m<sup>3</sup>/ha. Poikkeamien keskiarvo on 10,1 m<sup>3</sup>/ha (8,1%) ja keskihajonta 36,2 m<sup>3</sup>/ha (29,0%). Muuttumattomiksi (rekisteritietojen perusteella) luokiteltujen kuvioiden (288 kpl) kohdalla keskitilavuudet olivat uudelleen mitatussa aineistossa 157,2 m<sup>3</sup>/ha ja päivitysaineistossa 173,7 m<sup>3</sup>/ha (poikkeamien keskiarvo 16,5 m<sup>3</sup>/ha (10,5%) ja keskihajonta 45,1 m<sup>3</sup>/ha (28,7%)). Jos muuttumattomiksi luokitelluis-





**Kuva 1.** Ajantasaistetun ja uuden aineiston kuvioiden keskitilavuuksien erot, tilavuusluokat 10 m<sup>3</sup>/ha.



**Kuva 2.** Ajantasaistetusta ja uudesta aineistosta tuotettujen hakkuumahtosuunnitelmien puutavaralajeittaiset kertymät sekä tulot ja menot.

ta kuvioista poistetaan ne 17 kuvioita, joilla vasta maastotarkistuksen yhteydessä havaittiin toimenpiteitä, kuvioittaisten keskitilavuuksien poikkeamien keskiarvoksi tulee 12,1 m<sup>3</sup>/ha (7,5%) ja keskihajonaksi 35 m<sup>3</sup>/ha (21,7%). Poikkeamien keskiarvot ovat kaikissa edellä kuvatuissa kuviojoukoissa selvästi tilastollisesti merkitseviä riippuvien otosten parittaisen t-testin mukaan (Ranta ym. 1989).

Ajantasaistetun ja uuden aineiston kuvioittaisten keskitilavuuksien erot kausien 1 ja 2 alussa on esitetty jakaumana kuvassa 1. Kuvioista 42,4%:lla ajantasaistetun aineiston mukainen keskitilavuus poikkeaa korkeintaan ±10 m<sup>3</sup>/ha uudelleen mitatun aineiston mukaisesta keskitilavuudesta. Vastaavasti keskitilavuus poikkeaa 66,0%:lla kuvioista korkeintaan ±20 m<sup>3</sup>/ha ja edelleen 79,2%:lla korkeintaan ±30 m<sup>3</sup>/ha. Kauden 2 alussa tilanne on tehtyjen hakkuiden vuoksi selvästi tasaisempi, ±10 m<sup>3</sup>/ha

eroon mahtuu jo 72,9% kuvioista. Kauden 3 alussa tilanne on lähes kauden 2 kaltainen.

Hakkuukertymät ensimmäisellä kaudella poikkesivat aineistojen välillä lähinnä kuusella (kuva 2). Kokonaiskertymä oli ajantasaistetusta aineistosta tuotetussa suunnitelmassa noin 8% suurempi kuin uudesta aineistosta tuotetussa suunnitelmassa. Myös nettotulot ensimmäisellä kaudella olivat ajantasaistetusta aineistosta tuotetussa suunnitelmassa noin 8% suuremmat kuin uudesta aineistosta tuotetussa suunnitelmassa (kuva 2).

#### 4.5 Tarkistusinventoinnin tulokset

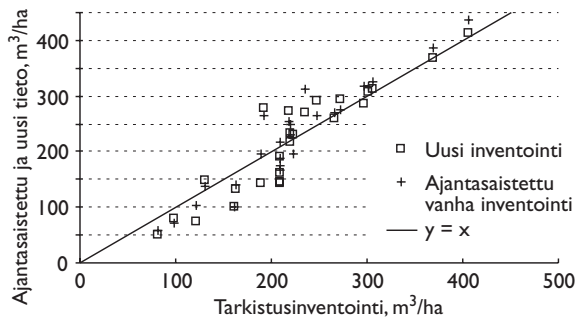
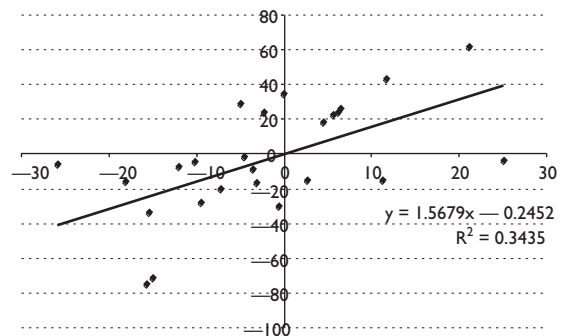
Koealoittaisella mittauksella tarkistettiin 25 kuvioita, joilla ei ollut tehty toimenpiteitä vuoden 1996 jälkeen. Koealamittauksista estimoituja puustotun-

**Taulukko 9.** Uuden inventoinnin puustotietojen keskvirhe (RMSE) ja harha tarkistusmittauskuvioilla.

Tunnus	RMSE, m <sup>3</sup> /ha	RMSE, %	Harha, m <sup>3</sup> /ha	Harha, %
Männyn keskitilavuus	25,8	36,8	-5,7	-8,2
Kuusen keskitilavuus	35,3	27,0	3,7	2,8
Koivujen keskitilavuus	15,6	90,8	6,6	38,6
Muiden lehtipuiden keskitilavuus	6,5	154,2	1,8	43,5
Keskitilavuus, kaikki puulajit	37,7	17,0	6,4	2,9

**Taulukko 10.** Ajantasaistetun vanhan inventoinnin puustotietojen keskvirhe (RMSE) ja harha tarkistusmittauskuvioilla.

Tunnus	RMSE, m <sup>3</sup> /ha	RMSE, %	Harha, m <sup>3</sup> /ha	Harha, %
Männyn keskitilavuus	27,0	36,6	-7,4	-10,6
Kuusen keskitilavuus	34,1	26,0	-4,6	-3,5
Koivujen keskitilavuus	15,8	92,0	5,8	33,75
Muiden lehtipuiden keskitilavuus	7,6	180,0	2,6	62,1
Keskitilavuus, kaikki puulajit	32,0	14,4	-3,7	-1,7

**Kuva 3.** Tarkistuskuvioiden puuston keskitilavuus tarkistusmittausten sekä uuden ja ajantasaistetun vanhan kuvioittaisen arvioinnin mukaan, kuvioita 25 kpl.**Kuva 4.** Ajantasaistuksella saadun kuvion puuston tilavuusarvion virheen (y) riippuvuus MELA:n kasvuennusteen virheestä (x) tarkistusmittauskuvioilla sekä virheiden välisen yksinkertaisen lineaarisen mallin kuvaaja ja selitysaste ( $R^2$ ).

nuksia vertaillaan kuvioittain tehtyyn uuteen inventointiin ja ajantasaistettuun vanhaan inventointiin taulukoissa 9 ja 10. Tarkistusmittauksessa saatuja keskitilavuuksia on verrattu uuden kuvioittaisen arvioinnin ja ajantasaistetun vanhan inventoinnin mukaisiin keskitilavuuksiin kuvassa 3.

Koepuiden avulla tarkistuskuviolle estimoitujen puuston kasvujen (jatkossa mitattu kasvu) keskiarvoksi 5–6 vuoden ajantasaistusjaksolla tuli 49,3 m<sup>3</sup>/ha. Aineiston kuvioilla puuston kasvu oli siis selvästi suurempi kuin esim. Etelä-Savon metsissä keskimäärin. MELA-ohjelmistolla ajantasaistusjak-

solle ennustetut kasvut olivat keskimäärin 2,2 m<sup>3</sup>/ha (4,4 %) suurempia kuin mitatut kasvut. Mitattujen ja MELA:lla estimoitujen ajantasaistusjakson kasvujen poikkeamien keskihajonnaksi (kasvuennusteiden keskvirheeksi) saatiin 12,1 m<sup>3</sup>/ha (24,6 %).

Kuvassa 4 on esitetty tarkistuskuviolla ajantasaistuksella estimoidun ja tarkistusmittauksella saadun puuston tilavuuden erotuksen riippuvuus kuvion puuston mitatun ja MELA:lla estimoidun kasvuen-

nusteen erotuksesta. Yksinkertaisen lineaarisen regressiomallin mukaan kasvuennusteen virhe selittää runsaan kolmanneksen ajantasaistuksella saadun tilavuusestimaatin virheestä.

## 5 Tulosten tarkastelu ja päätelmät

Metsäkeskuksen ja metsänhoitoyhdistyksen rekistereistä löytyi tieto hakkuusta tai taimikonhoidosta noin 75 %:lle kuvioista. Näiden kuvioiden maastotarkistuksen yhteydessä löydettäisiin käytännössä vielä osa toimenpiteistä, joita ei rekistereissä ole. Tässä tutkimuksessa tällaisia kuvioita oli 17 kpl eli 2,7 % koko kuvioaineistosta. Kun mukaan liitetään metsänomistajien haastattelusta saatu tieto, löytymisprosentiksi tulee 92,8. Tämän perusteella voidaan olettaa, että maastoinventointi pystyttäisiin kohdistamaan inventointia tarvitseville kuvioille hyvin, jos myös yksityismetsissä siirryttäisiin metsävaratietojen jatkuvaan ajantasaistukseen.

Osalla kuvioista oli rekisterien mukaan tehty jotain, mutta maastotarkistuksen mukaan ei. Näitä kuvioita oli 31 kpl eli 5,0 % koko kuvioaineistosta. Osaltaan tämä aiheutui rekisterien läpikäyntitavasta ja niiden sisällöstä. Esimerkiksi metsänkäyttöilmoitus hakkuusta pitää tehdä vähintään 14 päivää ja enintään 2 vuotta ennen hakkuun aloittamista. Osalla kuvioista metsänkäyttöilmoitus oli vielä voimassa joten hakkuu saattoi olla toteutumassa lähiaikoina. Osalla taas oli hakkuu jäänyt toteutumatta, koska metsänkäyttöilmoituksen voimassaoloaika oli mennyt umpeen. Toteutustietojen saaminen rekistereihin nykyistä luotettavammin parantaisi jatkuvan ajantasaistuksen maastotarkistusten suunnittelua. Puunostajat olisivat luonteva tietolähde korjuun ajankohdalle. Jatkuvaan ajantasaistukseen perustuvassa metsäsuunnittelussa tulisi siten olla myös puunostajat tiedon toimittajina. Tiedon saaminen tehdyistä taimikonhoidoista on lähes varmaa silloin, kun työ tehdään Kemera-rahoituksella tai metsänhoitoyhdistys on työn toteuttajana. Metsänomistajan oma-aloitteisesti ja ilman tukea tekemistä taimikonhoidoista ei tietoa ole saatavilla muuten kuin suoraan metsänomistajalta. Metsänomistajille tulisi tarjota vaivatonta tapa ilmoittaa tehdyistä

taimikonhoidoista metsävaratietojen ylläpitäjälle. Internet-pohjaisten palvelujen tarjoaminen olisi tähän yksi ratkaisu.

Vaikka eri rekistereistä löytyi tietoa tehdyistä toimenpiteistä odotettua enemmän, myös yllättäviä puutteita havaittiin. Metsäkeskuksen ja metsänhoitoyhdistyksen rekistereistä puuttui tieto 52 toimenpiteestä. Kun metsänhoitoyhdistyksen rekisterit tarkastettiin perinpohjaisesti ensimmäisten laskettujen tulosten jälkeen, löydettiin tieto 16 toimenpiteestä, joista tieto jäi varsinaisessa selvityksessä löytymättä. Merkittävin yksittäinen syy sille, että tiedot eivät alunperin löytyneet oli se, että tietojen kirjauksessa oli käytetty edellisen (ennen vuotta 1996 laaditun) suunnitelman mukaista kuvionumerointia. Näitä kuvioita oli 9 kappaletta. Tieto löydettiin vasta kun tiedettiin mitä etsiä. Tästä havainnosta voidaan päätellä, että toimenpidetietojen kerääminen jatkuvaan ajantasaistukseen tulisikin aloittaa tuoreesta, juuri tehdystä suunnitelmasta. Muutostiedot tulisi viedä heti toimenpiteen jälkeen metsävaratietojärjestelmään, jolloin voitaisiin varmentaa, että tieto kohdentuu oikealle kuviolle. Karttajärjestelmien (pääasiassa SilvaGis) yleistymisen metsänhoitoyhdistyksissä tulee jo lähivuosina parantamaan merkittävästi yhdistysten valmiuksia tarkasti paikannettavissa olevan tiedon tuottamiseen.

Uudistushakkuuta oli vuoden 1996 inventoinnin jälkeen tehty 74 kuviolla. Näistä 13:lle (18 %) ei löytynyt tietoa rekistereistä, vaikka metsälaki velvoittaa metsänomistajan tekemään metsänkäyttöilmoituksen ennen uudistus- tai harvennushakkuuta. Tietojen löytymättä jääminen selittyy todennäköisesti sillä, että metsänkäyttöilmoitus tehdään paperilomakkeella, jossa hakattavan kohteen sijaintitieto voi olla epämääräinen. Kuten edellä todettiin, sijainnin ilmoittamisessa on myös voitu käyttää vanhan suunnitelman mukaista kuvionumeroa tai kirjata täysin virheellinen kuvionumero. Niistä 13 uudistushakkuusta kuviosta, joista rekistereistä ei saatu ennakkotietoa, saatiin 11:lle kuitenkin tieto metsänomistajan haastattelussa. Metsänomistajilta löytyi myös 24 muuta toimenpidetietoa, joita ei löytynyt muista rekistereistä. Metsänomistajan kytkeminen mukaan tietolähteeksi parantaisi ennakkotiedon löytymistä ja todennäköisesti myös sen oikeellisuutta.

Hakkuut ja muut toimenpiteet eivät aina noudattaneet metsäsuunnitelman kuviorajoja. Viiden vuoden

tarkastelujaksolla oli tehty hakkuita tai muita toimenpiteitä 237 kuviolla. Näistä 39:llä (16,5 %:lla) kuvion raja oli muuttunut toimenpiteen seurauksena merkittävästi. Kuviorajan muutos vaikuttaa suoraan kuvion ja sen naapurikuvioiden pinta-aloihin. Samalla saattavat myös puustotiedot muuttua, koska puusto voi olla jakautunut kuviolla epätasaisesti mm. puulajisuhteiden osalta. Jatkuvassa ajantasaistuksessa ei voida pitäytyä pelkästään kuvioiden puustotietojen ylläpidossa vaan järjestelmässä tulee olla ratkaisut kuviorajatietojen ylläpitoon.

Tarkistusinventoinnin (25 kuviota) mukaan uudessa inventoinnissa puuston keskitilavuuden keskivirhe oli 17 % eli virheet olivat jonkin verran pienempiä kuin useimmissa kuvioittaisen arvioinnin tarkistustutkimuksissa raportoidut virheet (esimerkiksi Laasasenaho ja Päivinen 1986, Pussinen 1992, Pigg 1994, Uuttera ym. 2002). Virheen pienuus selittyy sillä, että tutkimusaineiston keräsi kokenut suunnittelija ja sillä, että tarkistuskuvioiden puuston keskitilavuus oli suuri (218 m<sup>3</sup>/ha). On huomattava, että todellisuudessa arvioinnin luotettavuus oli jopa parempi kuin edellä esitetty keskivirhe – näin laskettuun keskivirheeseen sisältyy myös tarkistusinventoinnin kuviokohtainen otantavirhe (6–10 koealaa/kuvio). Ajantasaistetun inventoinnin keskivirhe oli hieman pienempi kuin uuden inventoinnin virhe. Puulajeittain tarkastellen uusi inventointi oli hieman luotettavampi kuin ajantasaistettu inventointi.

Tarkistuskuvioiden kasvumittaukset suunniteltiin paljastamaan ainoastaan mahdolliset selkeät ristiriidat ajantasaistettujen tilavuuksien ja mitattujen tilavuuksien välillä. Kuvasta 4 on nähtävissä, että MELA:n kasvumallin virheen ja ajantasaistetun puuston tilavuusarvion virheen välillä on tilastollisesti merkittävä riippuvuus. Kasvumallin selkeä yli- tai aliarvio selittää muutamilla tarkistusmittauskuviolla osan ajantasaistetun puuston tilavuusarvion virheestä, mutta toisaalta huomattavia tilavuusarvion virheitä on myös kuviolla, joissa MELA:n kasvuennuste vastaa hyvin mitattua kasvua. Kasvumittausten avulla estimoitu MELA:n kasvumallien luotettavuus kuviotasolla vastaa hyvin aiempaa tietämystä kasvumallien luotettavuudesta. Estimoitu keskivirhe, 24,6 % on samaa suuruusluokkaa kuin MELA:n kasvumallien aiemmilla versioilla saadut tulokset INKA-aineistossa (Ojansuu ym.

1991, s. 50). Jos tarkistusmittausten kasvumittaus oletetaan virheettömäksi, kasvumallien virheestä voi tarkistusmittausten mukaan aiheutua jopa 25 m<sup>3</sup>/ha suuruisia virheitä puuston tilavuusarvioon 5–6 vuoden ajantasaistusjaksolla, mutta pääosalla kuvioita kasvumallien aiheuttama virhe oli alle 10 m<sup>3</sup>/ha. Ajantasaistusjakso oli varsin lyhyt, ja päätelmä voi muuttua pidemmällä ajanjaksoilla. Lisäksi on huomattava, että kaikki tarkistusmittauskuviot sijaitsivat kivennäismaalla. Tarkistusmittausten kasvun arvioissa on virheitä, jotka sisältyvät edellä esitettyihin MELA:n kasvuennusteiden virheisiin – todellisuudessa kasvumallien luotettavuus on tässä aineistossa ollut parempi kuin edellä esitetyt luvut kertovat. Ojansuu ym. (1991) tutkimuksen mukaan MELA:n kasvumallit toimivat Etelä-Savon metsille yhtä hyvin kuin Etelä-Suomessa keskimäärin. Puuston heikomman kasvun alueilla, kuten Etelä-Pohjanmaalla, kasvumallien luotettavuus (absoluuttisissa yksiköissä) on selvästi parempi, joten ajantasaistuksen voisi olettaa toimivan näillä alueilla paremmin kuin esimerkiksi Etelä-Savon metsissä.

MELA-ohjelmistolla tuotettu hakkuumahdotussuunnite sisälsi sekä harvennus- että uudistushakkuuehdotuksia selvästi enemmän kuin suunnittelijan maastoarviointi. Etenkin uudistushakkuuiden osalta tulos on odotettu. Hakkuumahdotussuunnite sisältää implisiittisesti suurimman mahdollisen määrän hakkuita. Todellisen hakkuusuunnitteen laadinnassa tulee metsänomistajan asettamien tavoitteiden ja rajoitteiden olla mukana. Koska maastossa tehdyissä toimenpide-ehdotuksissa nämä olivat vain osalla tiloista mukana (vain osa metsänomistajista oli mukana maastotöissä) ei laskennallisesti tuotettua suunnitetta voida osoittaa paremmaksi tai huonommaksi kuin maastossa tehtyjen ehdotusten kooste. Metsäsuunnittelun maastotöissä harvennushakkuuta ehdotetaan pääsääntöisesti metsänhoidollisen tarpeen mukaan. Myös laskennalliset ehdotukset tuotettiin samalla periaatteella harvennusmallien avulla. Tämän vuoksi suurta eroa eri tavoin tuotettujen harvennusehdotusten määrässä voidaan pitää yllättävänä. Jatkotutkimuksissa on selvítettävä, mistä näin suuri ero johtuu.

Tutkimuksessa käsitellyille kuvioille käytettiin tuoretta mittaustietoa, jolloin näille kuvioille ei tullut lainkaan kasvumalleista aiheutuvaa virhettä. Käytännön sovelluksessa käsitellyt kuviot mitataan

todennäköisesti heti toimenpiteen jälkeen, ja tämän jälkeen puustotietoja ylläpidetään kasvumalleilla. Tutkimuksessa käytetty asetelma voi siten antaa todellista sovellustilannetta optimistisemmän kuvan ajantasaistukseen pohjautuvan suunnitelman luotettavuudesta. Toisaalta on todettava, että tarkistusinventoinnissa ajantasaistettujen puustotietojen luotettavuus ei ollut heikompi kuin uuden inventoinnin mukaiset puustotiedot.

Aineistolla tehdyistä laskelmista ja saaduista tuloksista ei voida tehdä laajalle meneviä yleistyksiä. Metsänhoitoyhdistyksen tietojen runsauden selittää tutkimustilojen valinta. Suurin osa tiloista oli ns. aktiivituloja, jotka ovat säännöllisessä yhteydessä metsänhoitoyhdistykseen ja teettävät myös osan töistään metsänhoitoyhdistyksen kautta. Tämänlaisten tilojen kohdalla metsänhoitoyhdistyksessä on epäilemättä keskimääräistä paremmin tietoa tehdyistä hakkuista. Jatkotutkimuksissa tulisi selvittää, miten metsänomistajat käyttäisivät internet-pohjaisia palveluja toimenpidetietojen ylläpitoon.

Jatkuva ajantasaistus on tämän esitutkimuksen perusteella varteenotettava vaihtoehto myös yksityismetsien suunnitteluaineistojen ylläpitoon. Viiden vuoden seurantajaksolla oli tehty toimenpiteitä 237 kuviolla eli lähes 40 %:lla kuvioista. Metsäkeskuksen ja metsänhoitoyhdistyksen asiantuntija-arvioiden mukaan suunnitelman laatiminen oli aktivoanut metsänomistajia hakkuisiin ja hoitotöihin, joten myöhempinä vuosina toimenpiteitä tulisi vähemmän. Jos viiden vuoden tarkastelujaksolla käsitellyt 40 % kuvioista pystytään inventoimaan esimerkiksi hakkuiden tai niiden valvonnan yhteydessä tavanomaista täysin inventointia edullisemmin, on jatkuvalla ajantasaistuksella mahdollista alentaa suunnittelun kustannuksia. Kustannusten mahdollista alenemista merkittävämpi tekijä on kuitenkin tiedon laadun paraneminen jatkuvan ajantasaistuksen myötä. Kustannustehokkuuden selvittäminen vaatii vielä usean vuoden seurantatutkimuksen, johon tässä työssä ei ollut mahdollisuutta.

## Kiitokset

Tutkimusidea syntyi Fred Kallandin UPM-Kymmene Oyj:n metsien tietojärjestelmästä saatujen kokemusten perusteella. Tutkimuksen etenemiseen ovat omalla panoksellaan vaikuttaneet Hannu Seppänen, Jussi Rikkinen ja Antti Haverinen Etelä-Savon metsäkeskuksesta sekä Vesa Väänänen, Ari Teittinen ja Matti Kekkonen Järvi-Savon metsänhoitoyhdistyksestä. Tarkistusmittausaineiston maastotyön tekivät Raino Lievonen ja Teuvo Holappa Metsäntutkimuslaitoksesta. Tutkimuksen päärahoittajana oli Marjatta ja Eino Kollin säätiö. Tutkimukseen osallistuneet 20 eteläsavolaista metsänomistajaa antoivat metsäsuunnitteluaineistonsa tutkimuskäyttöön. Kaikille edellä mainituille esitämmme lämpimät kiitokset. Lisäksi haluamme kiittää kahta tuntematonta esitarkastajaa käsikirjoituksen korjaus- ja parannusehdotuksista.

## Kirjallisuus

- Anttila, P. 2002a. Non-parametric estimation of stand volume using spectral and spatial features of aerial photographs and old inventory data. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 1849–1857.
- 2002b. Kuvioittaisten puustotietojen ajantasaistus kasvumallein ja visuaalisella kuvatulkinnalla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002: 541–542.
- Campbell, J.B. 1987. *Introduction to remote sensing*. The Guilford Press, New York. 551 s.
- Haara, A. 2002. Kasvuennusteiden luotettavuuden selvittäminen knn-menetelmällä ja monitavoiteoptimoinnilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002: 391–406.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, P. Models for predicting stand development in MELA System. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 835. 116 s.
- Hyppänen, H. 1996. Kaukohavainnointiin perustuva metsätulkinta. Loppuraportti. 17.12.1996. Muutosalueiden tunnistus moniaikaisilta ilmakuvilta. Alue: Suonenjoki, Suontee. 15 s.
- Hyvönen, P. 2002. Kuvioittaisten puustotunnusten ja toimenpide-ehtotusten estimointi k-lähimmän naapurin menetelmällä Landsat TM-satelliittikuvan, vanhan inventointitiedon ja kuviotason tukiaineiston avulla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002: 363–380.

- Hyypä, J. 1997. Uudet menetelmät metsien kaukokartoituksessa. Väliraportti 3. Teknillinen korkeakoulu, Avaruustekniikan laboratorio. 23 s.
- Kansallinen metsäohjelma 2010. 1999. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2/1999.
- Kaukohavainnointiin perustuva metsäntulkinta. 1997. Loppuraportti. Tapio, FM-Kartta Oy, Euroopan metsäinstituutti, Joensuun yliopisto, Hämeen-Uudenmaan metsäkeskus, Pohjois-Savon metsäkeskus ja Eesti Metsakorralduskeskus. 19 s. + liitteet.
- Korhonen, K.T. 1994. Calculation system for large-scale forest inventory. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 505. 36 s.
- Korhonen, K.T. 2002. Metsäsuunnittelun tietohuollon käytäntö ja tutkimus. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002: 509–514.
- Kujala, M. 1980. Runkopuun kuorellisen tilavuuskasvun laskentamenetelmä. *Folia Forestalia* 441. 8 s.
- Kuusela, K. 1979. Sampling of tree stock by angle gauge in proportion to tree characteristics. *Seloste: Puuston arviointi kulmamittarilla suhteessa puuston tunnuksiin. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 95(7). 16 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curves and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Laasasenaho, J. & Päivinen, R. 1986. Kuvioittaisen arvioinnin tarkistamisesta. *Folia Forestalia* 664. 19 s.
- Landis, R.J. & Koch, G.G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33: 159–174.
- Maa- ja metsätalousministeriön metsäsuunnittelustrategia 2001–2010. 2001. Työryhmämuistio MMM 2001:13. 14 s.
- Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000-versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. Helsinki. 59 s.
- Oksanen-Peltola, L. 1999. Metsäsuunnittelun tietotarpeet. Teoksessa: Heikinheimo, M (toim.). Metsäsuunnittelun tietohuolto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 741. Helsingin tutkimuskeskus. 105 s.
- Pigg, J. 1994. Keskiläpimitan ja puutavaralajijakauman sekä muiden puustotunnusten tarkkuus Metsähallituksen kuvioittaisessa arvioinnissa. *Metsänarvioimistieteen pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos.* 92 s.
- Poso, S., Paananen, R. & Similä, M. 1987. Forest inventory by compartments using satellite imagery. Tiivistelmä: Satelliittikuvia hyödyntävä metsän inventointi- ja seurantajärjestelmä. *Silva Fennica* 21(1): 69–94.
- Pussinen, A. 1992. Ilmakuvat ja Landsat TM -satelliittokuva välialueiden kuvioittaisessa arvioinnissa. Syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 48 s.
- Ranta, E., Ritala, H. & Kouki, J. 1989. *Biometria – tilastotiedettä ekologeille. Yliopistopaino, Helsinki.* 589 s.
- Redsven, V., Anola-Pukkila, A., Haara, A., Hirvelä, H., Härkönen, K., Kettunen, L., Kiiskinen, A., Kärkäinen, L., Lempinen, R., Muinonen, E., Nuutinen, T., Salminen, O. & Siitonen, M. 2002. MELA2002 reference manual (mela2002.pdf). The Finnish Forest Research Institute, Helsinki. 588 s.
- Rosenfeld, G.H. & Fitzpatrick-Lins, K. 1986. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 52(2): 223–227.
- Schneider, H. 1999. Aktiivikuvio metsäsuunnittelussa. Teoksessa: Heikinheimo, M (toim.). Metsäsuunnittelun tietohuolto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 741. Helsingin tutkimuskeskus. 105 s.
- SOLMU. Maastotyöopas. 1996. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Helsinki. 1996. 80 s.
- Tomppo, E. 1986. Stand delineation and estimation of stand variates by means of satellite images. Remote sensing aided forest inventories, seminar organised by SNS. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 19.
- Uutera, J., Hiltunen, J., Rissanen, P., Anttila, P. & Hyvönen, P. 2002. Uudet kuvioittaisen arvioinnin menetelmät – arvio soveltuvuudesta yksityismaiden metsäsuunnitteluun. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002: 523–531.
- Varjo, J. 1997. Calibration and change detection method for controlling continuously updated forest information by Landsat TM material. *Acta Forestalia Fennica* 258. 64 s.
- Veltheim, T. 1987. Pituusmallit männyille, kuuselle ja koi-vulle. *Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto.* 59 s. + liitteet 29 s.

### 32 viitettä