

Janne Uuttera, Juha Hiltunen, Pirjo Rissanen, Perttu Anttila ja Pekka Hyvönen

## Uudet kuvioittaisen arvioinnin menetelmät – Arvio soveltuvuudesta yksityismaiden metsäsuunnitteluun

### Tausta

**K**ansallisessa metsäohjelmassa (KMO) asetettiin metsäsuunnittelun tavoitteeksi tilakoh- taisten metsäsuunnitelmien määrän nostaminen 75 prosenttiin yksityismetsien pinta-alasta (Maa- ja metsätalousministeriö 1999). Tilakohtaisen suunnittelun pohjaksi metsäkeskukset kokoavat metsä- varatietokannan alueellisen metsäsuunnittelun avulla. Aluesuunnittelun määrä putosi 1990-luvun puolivälissä sen alun 1,4 miljoonasta hehtaarista 0,6 miljoonaan hehtaariin vuodessa. Jotta tilakohtaisen metsäsuunnittelun tavoite voidaan saavuttaa, KMO:n tavoitteena on nostaa aluesuunnittelun määrä miljoonaan hehtaariin vuodessa lisäämällä siihen osoitettua valtionapua. Vuosittaisella n. 16 800 000 € valtionavulla on vuosina 2000–2001 saavutettu 900 000 ha:n aluesuunnittelun taso. Suunnittelupinta-alaa nostettiin KMO:n tavoitteiden mukaisella yhteiskunnan tuen lisäämisellä enemmän kuin työmenetelmien tehostamisella, vaikka suunnittelun tehokkuus kustannuksilla mitattuna paranikin mm. 1999–2000 n. 7%. Vuonna 2000 aluesuunnittelun keskikustannukset koko maassa olivat 17,83 €/ha, josta maastoinventoinnin osuus oli lähes puolet eli 7,9 €/ha. Lisääntyneitä suunnitteluun suunnattua rahoitusta ei voida kuitenkaan pitää pysyvänä tilana, joten jotta KMO:n tavoitteiden mukainen aluesuunnittelun taso pystytään kokonaisuudessaan saavuttamaan ja säilyttämään, on suunnittelun työmenetelmiä pystyttävä tehostamaan ja kustannuksia alentamaan.

Maa- ja metsätalousministeriö julkisti metsäsuunnittelustrategiansa vuonna 2001 (Maa- ja metsätalousministeriö 2001). Metsäsuunnittelustrategian 2001–2010 tarkoituksena on lisätä metsäsuunnittelun vaikuttavuutta ja tehokkuutta siten, että Kansallisessa metsäohjelmassa ja alueellisissa metsäohjelmissa asetetut tavoitteet saavutetaan. Strategian visio sisältää myös ajantasaisuusvaatimuksen met- sissä tapahtuneista merkittävistä muutoksista.

Sekä KMO:n että MMM:n metsäsuunnittelustrategian tavoitteiden saavuttaminen edellyttää toisaalta maastoinventointimenetelmien tehostamista mutta toisaalta myös suunnitteluun liittyvän markkinoin- ti- ja neuvontatyön lisäämistä. Myös metsäkeskus Pohjois-Savossa suoritetussa metsänomistaja- kyselyssä havaittiin, että metsänomistajat haluavat suunnittelijan pitävän enemmän yhteyttä metsän- omistajaan jo suunnitelman laatimisvaiheessa. Sit- ten, jotta nykyisiä metsäsuunnittelun kustannuksia vielä pystyttäisiin alentamaan, metsäsuunnittelun maastoinventoinnin menetelmällisen tehokkuu- den parantamiselle asetetaan erittäin haasteellisia tavoitteita. Kalliin maastotyön kustannuksia pys- tytään aidosti pienentämään ainoastaan vähentä- mällä maastoinventoinnin tarvetta. Helpoiten tämä voidaan saavuttaa uusintasuunnittelussa, jolloin alueelta on olemassa vanha maastoinventoinnilla kerätty suunnitteluaineisto. Näillä alueilla käytettä- vien menetelmien tulee hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti vanhaa suunnittelutietoa ja kaukokar- toitusaineistoja uuden päivitetyn metsävaratiedon aikaansaamiseksi.

Tämän artikkelin tavoitteena on vertailla MMM:n yhteistutkimusvaroin toteutetussa tutkimushankkeessa 'Metsäsuunnittelun tietohuolto (METY) 1999–2001' kehitettyjen ja testattujen kaukokartoitusmateriaaleihin ja vanhaan suunnitteluaineistoon perustuvien inventointimenetelmien soveltuvuutta yksityismaiden metsäsuunnitteluun.

### Vertailtavat inventointimenetelmät

METY-hankkeessa testattiin neljää eri inventointimenetelmää, jotka käyttivät hyväkseen vanhaa suunnitelmätietoa ja kaukokartoitusmateriaalia: VISU (Anttila 2002a), ARBO (Anttila ja Lehikoinen 2002), IK-KNN (Anttila 2002b) ja SK-KNN (Hyvönen 2002). Menetelmillä pyrittiin tulkitsemaan sekä puulajeittaiset metsikkökohtaiset keskitunnukset sekä metsikön toimenpidetarve. Oletuksena menetelmille pidettiin vanhan suunnittelutiedon olemassaoloa inventoitavalta alueelta.

VISU-menetelmässä toteutetut toimenpiteet tulkittiin ortoilmakuvilta visuaalisesti ja puustotunnusten ajantasaistus tehtiin laskennallisesti. Menetelmää kehitettiin Anttilan (2002a) menetelmästä siten, että hankaliksi osoittautuneet tapaukset, kuten edellisen inventoinnin jälkeen uudistetut kuvat, siirrettiin suoraan maastossa inventoitaviksi. IK-KNN -menetelmässä metsikkökohtaiset puustotunnukset tulkittiin ortoilmakuvilta numeerisesti knn-menetelmällä käyttäen referenssiaineistona maastossa inventoituja kuvia ja selittäjinä vanhaa suunnitteluaineistoa ja ilmakuvien sävyarvo- ja tekstuuritietoa (Anttila 2002b). SK-KNN menetelmä on IK-KNN:ää vastaava, mutta kuvamateriaalina käytettiin Landsat 7 ETM -kuvia (Hyvönen 2002). ARBO-menetelmässä ortoilmakuvien numeerinen tulkinta tehtiin Arbonaut Oy:n yksinpuintulkintaan perustuvalla segmentointityökalulla (Anttila ja Lehikoinen 2002). IK-KNN- ja SK-KNN-menetelmissä metsiköittäinen toimenpidetarve pyrittiin ennustamaan puustotunnusten tavoin KNN-estimoinnilla. VISU- ja ARBO-menetelmissä toimenpide-ehdotukset tuotettiin ennustetuista puustotunnuksista harvennusmallien avulla tai uudistushakkuun tapauksessa ikään ja läpimittaan perustuen.

Vanhaan suunnitteluaineistoon ja kaukokartoitusaineistoihin perustuvien menetelmien kuvio-

**Taulukko 1.** Menetelmävertailussa käytetyn tarkistusmitatun kuvioaineiston jakautuminen pääpuulajin ja puulajisuhteiden mukaisiin tarkasteluluokkiin. Puhdas yhden puulajin metsikkö edellyttää, että pääpuulajin osuus puuston tilavuudesta on yli 80%.

	Koko aineisto	Puhdas männikkö	Puhdas kuusikko	Puhdas lehtipuusto	Sekametsä
Kuvioiden lukumäärä	59	14	17	2	26

kohtaista tarkkuutta tarkasteltiin tarkistusmitatuilla kuvioilla, joita oli kaikkiaan 59 kpl (Hyvönen 2002). Tarkistusmittaus suoritettiin kuvion sisällä systemaattisesti sijoitetun koelaverkon avulla (Hyvönen 2002). Aineisto jaettiin osiin metsikön ominaisuuksien mukaan, joiden katsotaan vaikuttavan perinteisen kuvioittaisen arvioinnin tarkkuuteen (taulukko 1). Koska varhaiskehitysvaiheessa olevat metsiköt (nuoret ja varttuneet taimikot) katsottiin kaikille testatuille inventointimenetelmille liian vaativiksi kohteiksi, ne jätettiin kokonaan tarkastelun ulkopuolelle. Tämän rajauksen jälkeen kuvioittaisen arvioinnin tarkkuuteen vaikuttanee eniten pääpuulaji ja puulajisuhteet. Tämä oletus voidaan tehdä vain hoidetuissa metsissä, joissa puuston homogeenisuus nuorissa ja varttuneissa kasvatusmetsissä riippuu puulajisuhteista.

Kustannus-hyötyanalyysissä käytettiin yhden suunnittelualueen metsäpinta-alaa. Suunnittelualue valittiin Metsäkeskus Pohjois-Savon alueelta ja jaettiin edellä esitettyjen tarkasteluluokkien lisäksi kehitysluokkiin, joita tarkastellaan toimenpide-estimoinnissa (taulukko 2).

### Vertailukriteerit

#### Käyttötarkoituksesta johdettavat laatuvaatimukset

Inventointimenetelmä valitaan yleensä tiedon käyttötarkoituksen ja sitä kautta tiedon tarkkuusvaatimuksen mukaan. Tietotarpeet vaihtelevat luonnollisesti huomattavasti tiedon käyttäjärühmissä. Metsätiedon ylläpito -hanketta ennen tehdyssä esiselvityksessä kartoitettiin aluesuunnittelutiedon käyttäjät ja heidän tietotarpeensa (Heikinheimo

**Taulukko 2.** Testialueen pinta-alan jakaantuminen tarkasteluokkiin, ha. Kehitysluokat: A0 = aukea uudistusala, T1 = pieni taimikko, T2 = varttunut taimikko, O2 = nuori kasvatusmetsikkö, O3 = varttunut kasvatusmetsikkö, O4 = uudistuskypsä metsikkö, S0 = siemenpuumetsikkö, Y1 = ylispuustoinen taimikko.

Pääpuulaji	A0	T1/T2	O2	O3	O4	S0/Y1	Yht.
Puhdas männikkö	–	30,2	115,4	16,1	26,9	14,7	203,3
Puhdas kuusikko	–	124,8	37,2	131,3	304,4	27,0	624,7
Puhdas lehtimetsä	–	32,3	14,1	12,0	1,0	1,0	60,4
Sekametsä	–	131,3	143,8	105,7	127,9	24,6	533,3
Yhteensä	42,0	318,6	310,5	265,1	460,2	67,3	1463,7

1999). Esiselvityksessä todetaan, että metsäsuunnittelutietojen tulee olla tarkasti paikkaan sidottuja ja riittävän tarkkoja metsänomistajan tavoitteet täyttävään ja metsäpolitiikkaa edistävään metsäsuunnitteluun ja toisaalta toimenpiteiden toteutuksen seurantaan. Laatuksiteerejä suunnittelutiedon tarkkuudelle ei kuitenkaan ole määritelty toistaiseksi, vaan useimmissa tietotarpeissa laatuvaatimukset ilmaistaan siten, että ”nykyisen kuvioittaisen arvioinnin tarkkuus on riittävä”.

MMM:n metsäsuunnittelustrategiassa metsäsuunnittelun toimintaperiaatteena kirjataan, että metsäsuunnittelutietojen laatu on hyvä ja vahvuutena nähdään homogeeninen, tasalaatuinen metsävaratietoaineisto. Luonnollisesti strategian toimeenpanon yhtenä avaintehtävänä kirjataan kattavan, riittävän tuoreen ja hyvälaatuisen metsävaratiedon ylläpito. Aiemmin metsäsuunnittelun strategioissa on kiinnitetty päähuomio aineiston kattavuusvaatimukseen, mutta uudessa MMM:n metsäsuunnittelustrategiassa peräänkuulutetaan myös linjausta tietojen vaadittavan laadun osalta. Laatuksiteerien määrittäminen tiedon käyttäjien näkökulmasta on välttämätön esiselvitystehtävä alettaessa rakentaa uuden sukupolven suunnittelujärjestelmää, jossa MMM:n strategiassa kaukokartoitusmateriaaliin perustuvat inventointimenetelmät nähdään yhtenä vaihtoehtona.

Tällä hetkellä käyttötarkoituksesta johdettuja laatuvaatimuksia metsävaratiedolle ei ole määritelty eikä uusi metsäsuunnittelustrategiakaan

varsinaisia laatuksiteereitä sisällä. Tämän vuoksi METY-hankkeen tulosten evaluoinnissa on lähdeittävä oletuksesta, että menetelmien on kyettävä säilyttämään nykyisen metsävaratiedon laadun taso, eli pystyttävä perinteisen maastoinventoinnin tarkkuuteen sen vaihtelun rajoissa. Kuvioittaisen arvioinnin tarkkuudesta voidaan siis johtaa nykyhetken minimilaatuvaatimukset uusille inventointimenetelmille.

Lisäksi menetelmien tulee täyttää metsäkeskusten laatuksjärjestelmien asettamat vaatimukset. Esimerkiksi metsäkeskusten laatuksjärjestelmien asettamista tavoitteista voidaan ottaa Metsäkeskus Pohjois-Savon metsäsuunnittelutiedolle asettamat kaksi päälaatuksavoitetta: Metsäkskökohtaisen tilavuuden virhe tulisi olla keskimäärin alle  $\pm 20\%$ , sekä  $90\%$  ehdotetuista toimenpide-ehtotuksista tulisi olla oikeita verrattuna laatuksjärjestelmään liittyvien kontrollitarkastusten tuloksiin.

### Nykyhetken minimilaatuksvaatimukset

Käyttötarkoituksesta johdettujen laatuksvaatimusten puuttuessa nykyhetken karkeat minimilaatuksvaatimukset voidaan johtaa nykyisen tiedonkeruumenetelmän tarkkuudesta. Metsäkskeskuksilla on hallussaan yksityismailta varsin kattava metsäsuunnittelun tarpeisiin kerätty tietovarasto. Sen laatu vaihtelee kuitenkin suuresti osittain senkin takia, että aineistot on kerätty eri suunnittelujärjestelmien tiedonkeruumenetelmillä. TASO-järjestelmän mukainen aluesuunnittelun tiedonkeruu alkoi vuonna 1986. Siirtymäkaudella 1987–1988 kerättiin tietoa edelleen myös edellisen MTS-ALUE-järjestelmän mukaisesti. MTS-ALUE-järjestelmän tietosisältö oli varsin suppea. Tunteamaton määrä tätä aineistoa siirrettiin alkuvuosina TASO-järjestelmän muotoon. TASO-aineistossa puusto on kuvattu yhtenä puustosisitteena. Tämä tarkoittaa sitä, että sekametsätkin on kuvattu vain yhdellä puustorivillä ja puulajiosuuksina. Joissakin tapauksissa TASO-tieto saattaa sisältää vain puuston iän, kokonaistilavuuden ja puulajiosuudet. Vuosina 1996–1998 siirryttiin vaihteittain keräämään inventointitiedot uuden Solmu-järjestelmän mukaisella tietosisällöllä. Nykyjärjestelmä ja laskennallinen ajantasaistus vaatii puulajeittaisen/ puujaksoittaisen puuston kuvauksen.

Kuvioittaisen arvioinnin tarkkuudesta on tehty useita selvityksiä. Tiedonkeruun tarkkuutta ovat tutkineet mm. Poso (1983), Suutarla (1985) ja Laasasenaho ja Päivinen (1986). Selvitysten mukaan TASO-tietosisällön mukaisessa kuvioittaisessa arvioinnissa tuli varautua tärkeimpien metsikkökohtaisten puustotunnusten, kuten keskipituus, pohjapinta-ala, tilavuus ja ikä, kohdalla 14–38 %:n suhteelliseen keskivirheeseen. Pääpuulajin vaikutusta tutkineet Laasasenaho ja Päivinen (1986) tulivat tulokseen, että männiköt tulkittiin keskimäärin kuusikoita luotettavammin.

Solmu-muotoisen tiedonkeruun tarkkuudesta on tehty vain vähän raportoituja selvityksiä. Pussisen selvityksessä (1992) havaittiin, että em. tärkeimpien puustotunnusten tarkkuus oli metsikkökohtaisesti hieman parempi kuin TASO-aineistossa, suhteellisen keskivirheen vaihdellessa välillä 11–16 %. Nuorissa metsissä ikä arvioitiin varsin tarkasti, mutta vanhoissa metsissä se yliarvioitiin. Sekapuustoissa puulajeittaisten keskitunnusten arviointi osoittautui Pussisen tutkimuksessa huomattavan epävarmaksi. Tilavuuden suhteen parhaiten puulajikohtainen tilavuus arvioitiin kuusella (RMSE% 28), kun taas männyn tilavuutta yliarvioitiin (RMSE% 42) ja lehtipuuden tilavuutta aliarvioitiin (RMSE% 68).

Pussisen (1992) tutkimuksen kanssa hieman ristiriitaisia tuloksia puulajikohtaisesta harhasta saatiin Metsäkeskus Pohjois-Savossa tehdyssä selvityksessä, jossa verrattiin 27 uudistushakkukohteen toteutunutta hakkuukertymää kuvioittaisen arvioinnin tietoihin (Rissanen 2001). Selvityksessä kokonaispuumäärä aliarvioitiin keskimäärin 1,6 % virheellä, kuusen tilavuutta yliarvioitiin 4 %, kun taas männyn ja lehtipuun osuutta tilavuudesta aliarvioitiin. Lehtipuun osuutta arvioidaan usein tietoisesti varovaisesti, mikä näkyy sekä Rissanen että Pussisen tuloksissa. Puutavaralajikohtaisissa arvioissa tarkkuus vaihtelee suuresti kohteittain, mutta yksittäisistä puutavaralajeista koivutukin määrä oli eniten aliarvioitu. Muita metsikkökohtaisia puustotunnuksia tilavuuden lisäksi ei Rissanen (2001) selvityksessä käsitelty.

Stora Enso teki vuosina 1997–1998 laajan kuvioittaisen arvioinnin tarkkuuden selvityksen Itä-Suomen hankinta-alueillaan. Noin 3300 koealaa käsittävästä aineistosta lasketut tulokset vastaavat puuston kokonaistilavuuden suhteen tarkasteltuna

**Taulukko 3.** Vuosien 1997–1998 tarkistusmittausten keskiarvotulokset.

Tunnus	Keskipoikkeama –%	Hajontaväli, %
Ikä	2,4	±30
Keskiläpimitta	1,4	±20
Keskipituus	1,1	±20
Pohjapinta-ala	3,3	–30–+40
Tilavuus	2,5	–20–+30

varsin hyvin Pohjois-Savossa tehdyssä selvityksessä saatua tulosta, aliarvion ollessa 1,5 % (Stora Enso 1999). Puulajeittain tarkasteltuna männyn tilavuutta yliarvioitiin, kun taas kuusen ja lehtipuun tilavuutta aliarvioitiin. Männyn tilavuusarvio oli puulajeittaisista tilavuuksista tarkin.

Stora Enson selvityksestä tehtiin myös metsäkeskusorganisaatioittaiset yhteenvedot (Vesterinen 1999). Metsäkeskus Pohjois-Savon alueella tutkittiin metsikkökohtaisista puustotunnuksista ikää, keskiläpimittaa, keskipituutta, pohjapinta-alaa ja tilavuutta. Puulajeittaisia yhteenvedoja ei tehty. Vesterisen selvityksestä käy ilmi, että kaikkia puustotunnuksia keskimäärin yliarvioidaan nuorissa kehitysluokissa ja aliarvioidaan vanhemmissa metsissä (Vesterinen 1999). Keskimääräiset virheet tunnuskohtaisesti ovat varsin pieniä, mutta hajontaa on kaikissa tunnuksissa varsin runsaasti (taulukko 3).

Edellä esitetyissä luvuissa oli mukana nuoret ja varttuneet kasvatusmetsiköt sekä uudistuskypsät metsät. Taimikoissa runkolukuarviot olivat keskimäärin varsin suuria aliarvioita.

Edellä esitettyjen selvitysten perusteella voidaan johtaa karkeat metsikkökohtaiset keskivirhetasot, joihin kuvioittaisella arvioinnilla päästään nuorista kasvatusmetsistä uudistuskypsiin metsiin (taulukko 4). Esitetyissä tavoitetasoissa on oletettu, että metsiköt ovat hoidettuja ja homogeenisia.

Uusilla inventointimenetelmillä pyritään nykyisen suunnittelujärjestelmän tietosisältöön niin kauan kuin strategisena tavoitteena on kattava ja tasalaatuinen metsävaratietokanta. Näin myös kaukokartoitusmenetelmien pitäisi kyetä yhtä luotettavaan puuston kuvaukseen puulajeittain sekä toimenpidetarpeen ennustamiseen.

**Taulukko 4.** Kuvioittaisen arvioinnin tarkkuusselvityksistä johdettu karkea minimilaatutavoite (metsikkökohtainen suhteellinen RMSE, %) puustotunnusille pääpuulajittain hoidetuissa metsissä kehitysluokissa 02, 03 ja 04. Kehitysluokat ks. taulukko 2.

Tunnus	Puhdas männikkö	Puhdas kuusikko	Puhdas lehtip.	Sekam.: havup.-osuus	Sekam.: lehtip.-osuus	Sekam.: koko puusto
Ikä	10–25	10–25	15–30	20–30	20–40	10–25
Klpm	10–20	10–20	10–25	15–25	20–40	10–20
Kpit	10–20	10–20	10–25	15–25	20–40	10–20
Ppa	15–25	15–25	15–30	20–40	20–50	15–25
Vol	15–30	15–30	20–35	20–45	20–50	15–30

### Puustotunnusten estimoinnin tarkkuus

Parhaiten kuvioittaisen arvioinnin tarkkuusselvityksistä johdetut laatuvaatimukset (taulukko 4) täyttää VISU-menetelmä, joka perustuu suunnittelijan visuaaliseen kuvatulkintaan, sekä satelliittikuva-pohjainen knn-estimointi (taulukko 5).

Suunnitelman hyväksikäyttöä ajatellen puuston tilavuus lienee tärkein metsikkökohtainen tunnus tarkastelluista. Pohjois-Savossa toteutetussa metsänomistajakyselyssä havaittiin, että metsänomistajat myös odottavat puuston tilavuuden arvion olevan luotettavan ja kokevat sen onnistuvan maastoarvioinnissa hyvin. Vertailluista menetelmistä ainoastaan VISU-menetelmä tuotti koko aineistossa puuston tilavuudesta arvion, joka mahtuu asetettuihin tarkkuusrajoihin (taulukko 5). Toisaalta toimenpidetarpeen ja puuston kasvun ennustamisessa myös keskitunnukset keskiläpimitta, keskipituus ja pohjapinta-ala ovat ratkaisevia. VISU-menetelmän heikkoutena näyttäisi olevan pohjapinta-alan ennustaminen, kun taas SK-KNN-menetelmä ei pääse asetettuihin tarkkuusvaatimustasoihin keskiläpimitan suhteen. Molemmat virheet ovat ymmärrettäviä menetelmien luonteesta johtuen. VISUssa alkuperäinen arvioitu pohjapinta-ala muutetaan laskentaa varten teoreettisten kuvauspuiden kautta runkolukujakaumaksi. Kasvatuksen jälkeen pohjapinta-ala lasketaan tästä teoreettisesta jakaumasta. Lisäksi ongelmia tuottavat kuviot, joissa kasvatuksen lähtöpuuston tiheys on arvioitu runkolukuna. SK-KNN-menetelmässä yliarvioidaan keskiläpimit-

taa muiden kaukokartoitusmateriaaliin perustuvien tulkintamenetelmien lailla, koska puustotunnusten ennustamisessa käytettävät metsikon sävyarvot kuvaavat vallitsevia puuta.

Etsittäessä parhaita sovelluskohteita testatuille menetelmille, otettiin huomioon, että tulkintatuloksen tarkkuuteen vaikuttaa sekä metsikön ikä/kehitysluokka että puulajisuhteet. Koska nuoret puuston kehitysvaiheet jätettiin vertailusta pois, aineisto jaettiin yksinkertaisesti luokkiin pääpuulajin ja puulajisuhteiden perusteella (taulukot 1 ja 5). Lisäksi, koska testiaineistossa puhtaiden lehtimetsien lukumäärä supistui kahteen, jätetään tämä luokka tarkastelujen ulkopuolelle.

Muodostetuista luokista VISU-menetelmää voitaisiin parhaiten soveltaa yhden puulajin puhtaissa männiköissä, missä menetelmä tuottaa tarkkuusvaatimusten mukaiset estimaatit kaikille metsikön keskitunnusille (taulukko 5). Myös sekametsien kokonaispuusto ja niiden vallitseva havupuusto-osuus saadaan riittävän tarkasti arvioitua VISU-menetelmällä. Tulos on oletettu, sillä kasvatusta perustui TASO-aineistoihin, joissa sekametsien puusto kuvataan yhtenä puusto-ositteena. Tällöin metsikön keskitunnukset kokonaisuutena ovat kohdallaan, mutta puulajittaiset keskitunnukset saattavat olla hyvinkin epätarkkoja. Puhtaiden kuusikoiden osalta VISU-menetelmän tarkkuus ei riittänyt pohjapinta-alan ja tilavuuden suhteen, joskin tilavuuden estimointi keskivirhe oli hyvin lähellä asetettua suurinta sallittua keskivirhettä (taulukot 4 ja 5).

SK-KNN-menetelmän parhaita sovelluskohteita ovat yhden puulajin metsiköt. Sekä kuusikoissa että männiköissä estimaattien tarkkuus riittää kaikissa muissa tunnuksissa paitsi keskiläpimitassa. Varsinkin puhtaissa kuusikoissa menetelmä näyttäisi olevan kilpailukykyinen VISU-menetelmän kanssa. Sekametsissä kaukokartoitusaineistoon ja ohjattuun luokitukseen perustuvat menetelmät eivät tuota metsikön puustotunnuksia vaaditulla tarkkuudella (taulukko 5).

### Toimenpide-ehdotusten estimoinnin tarkkuus

Varsinaiset säästöt uusista inventointimenetelmistä saadaan, jos kohteilla, joiden puustotunnusten es-

**Taulukko 5.** Puustotunnusten estimoinnin kuviokohtaisten suhteellisten keskivirheiden keskiarvo menetelmittain yhteisessä tarkistusmitatussa testiaineistossa. VISU = tehtyjen toimenpiteiden visuaalinen tulkinta ortoilmakuvilta ja vanhan suunnitteluaineiston laskennallinen ajantasaistus, IK-KNN = ortoilmakuvien numeerinen tulkinta knn-menetelmällä käyttäen selittäjinä vanhaa kuviotietoa ja ilmakuvienv sävyarvo- ja tekstuuritietoa, ARBO = ortoilmakuvien tulkinta Arbonaut Oy:n yksinpuintulkintaan perustuvalla segmentointityökalulla, SK-KNN = Landsat ETM -satelliittikuvien numeerinen tulkinta knn-menetelmällä käyttäen selittäjinä vanhaa kuviotietoa ja satelliittikuvien sävyarvoja. Puhdas yhden puulajin metsikkö edellyttää, että pääpuulajin osuus puuston tilavuudesta on yli 80%.

Menetelmä	Tunnus	Kaikki kuviot n=59	Puhdas männikkö n=14	Puhdas kuusikko n=17	Puhdas lehtipuusto n=2	Sekametsä: havupuusto N=26 (VISU: N=9)	Sekametsä: lehtipuusto n=26 (VISU: N=9)	Sekametsä koko puusto n=26
VISU	Ikä	15,23	20,68	13,27	20,34	9,77	43,97	13,85
	Klpm	16,91	16,26	15,67	9,93	17,53	18,02	18,13
	Kpit	16,96	18,10	14,83	30,08	17,32	19,93	17,01
	Ppa	30,48	20,43	34,48	119,96	28,73	75,20	26,88
	Vol	29,15	22,79	30,10	68,29	36,41	81,96	28,03
IK-KNN	Ikä	12,65	15,18	10,55	21,09	–	–	12,82
	Klpm	25,88	32,24	24,70	22,30	–	–	23,27
	Kpit	18,40	21,98	16,33	18,71	–	–	18,27
	Ppa	26,36	25,71	25,88	52,14	–	–	25,99
	Vol	36,30	40,55	32,89	34,78	38,97	70,14	36,31
ARBO N=20	Ikä	13,69	–	–	–	–	–	–
	Klpm	18,41	–	–	–	–	–	–
	Kpit	16,71	–	–	–	–	–	–
	Ppa	34,60	–	–	–	–	–	–
	Vol	38,44	–	–	–	–	–	–
SK-KNN	Ikä	15,06	18,14	11,52	24,35	–	–	16,05
	Klpm	22,36	24,10	20,71	24,93	–	–	22,69
	Kpit	14,73	13,12	13,60	10,30	–	–	16,24
	Ppa	24,36	19,54	22,30	27,02	–	–	26,62
	Vol	30,89	25,04	25,42	29,07	35,08	84,63	35,64

timoimiseen menetelmät ovat riittävän tarkkoja, ei tarvitse käydä ollenkaan. Tämä edellyttää, että myös tuleva toimenpidetarve pystytään ennustamaan käyttäen apuna vanhaa inventointitietoa ja/tai kaukokartoitusmateriaalia. Toimenpiteet määritettiin oikein eri menetelmillä taulukon 6 osoittamalla tavalla.

Kuten taulukosta 6 havaitaan, toimenpidetarvetta ei kyetty ennustamaan millään menetelmällä täysin metsäkeskusten laatuvaatimuksien edellyttämällä tarkkuudella. Toimenpidetarpeen estimoinnissa on otettu maastototuutena suunnittelijan antama ehdotus, mikä ei ole täysin ongelmatonta. Lisäksi tuloksissa on käsitelty sekä ensimmäisen 5-vuotiskauden että toisen 5-vuotiskauden toimenpide-ehdotuksia. Mikäli otetaan huomioon vain ensimmäisen 5-vuotiskauden toimenpide-ehdotukset uudistushakuehdotus saadaan VISU-menetelmällä määritettyä yli 90:n prosentin tarkkuudella.

**Taulukko 6.** Toimenpiteiden oikeinmääritysprosentti (%) kaikista testialueen kohteista eri menetelmillä.

Toimenpide	VISU (n=975)	ARBO (n=20)	IK-KNN (n=917)	SK-KNN (n=917)
Lepo	70,21	80,00	61,01	49,4
Harvennus (02/03)	51,35	0,00	49,46	61,3
Uudistaminen (04)	80,35	50,00	55,50	64,1
Yhteensä	65,44	35,00	55,07	57,6

## Kustannusvertailu

Menetelmien kustannukset muodostuvat tulkinnan jälkeisestä maastoinventointitarpeesta ja ennakkovalmistelun ja laskennan ajanmenekistä. Tarkastellaan tarvittavan maastoinventoinnin määrää eri menetelmillä yhdellä suunnittelualueella Metsä-

**Taulukko 7.** Testattujen menetelmien vaatima maastointentiosuus testialueella. Maastointentiosuudet on jaoteltu metsikkötunnusten estimointitarkkuudesta johtuviin kohteisiin ja toimenpiteen ennustamistarkkuudesta johtuviin kohteisiin. Menetelmät, ks. taulukko 5.

Menetelmä	Tunnusten tarkkuudesta johtuva osuus, ha	Toimenpiteen estimoinnista johtuva osuus, ha	Tunnusten tarkkuudesta johtuva osuus kokonais-pinta-alasta, %
VISU	388,7	1003,5	27
IK-KNN	1463,7	1463,7	100
ARBO	1463,7	1463,7	100
SK-KNN	790,7	1463,7	54

keskus Pohjois-Savon alueella. Testialueen kokonaispinta-ala oli 1463,7 ha (taulukko 2). Kaikilla menetelmillä maastointentiosuuteen menevät pienet ja varttuneet taimikot (kehitysluokat T1 ja T2), joiden tulkinta kaukokuvilta on varsin vaativa tehtävä. Laskien yhteen menetelmäkohtaisesti luokkien pinta-alat, joissa ei saavutettu estimoinnin tavoitetarkkuutta (taulukko 5), voidaan laskea eri menetelmille karkeat maastointenttipinta-aloosuudet (taulukko 7). Tähän taulukkoon on vielä lisätty niiden kehitysluokkien osuudet, joissa tehtävien toimenpiteiden oikeinmääritysprosentti ei ollut laatujärjestelmässä vaadittavalla tasolla (taulukko 6). Sitä ei ole kuitenkaan laskettu kokonaismaastointentitarpeeseen, koska aidosti tarkastellen kaikilla menetelmillä koko suunnitteluala olisi kuulunut tähän luokkaan.

Menetelmien maastotyökustannusten säästöjä voitaisiin verrata suoraan esimerkiksi vuoden 2000 metsäkeskusten keskimääräisellä maastotyökustannuksella, joka oli n. 7,9€. Tämä menetelmien välinen suhde ei kuitenkaan antaisi maastotyön todellisista kustannuksista oikeata kuvaa, koska maastointentia vaativien kohteiden sijoittuminen aluekohtaisesti ratkaisee maastossa tehtävien siirtymien määrän ja matkan ja sitä kautta määrittää myös varsin pitkälle saatavat kustannussäästöt. Toki voitaneen todeta, että maastointentitarpeen tippuessa neljännesosaan alkuperäisestä kustannussäästöjä saavutetaan vaikka inventoitavat alueet sijaitisivat täysin tasaisesti suunnittelualueella.

On myös muistettava, että otettaessa käyttöön

uusia inventointimenetelmiä, suunnittelun ennakoivalmistelu- ja materiaalikustannukset, sekä mahdollisesti ulkoistettavien palvelujen kustannukset kasvavat. Kaikki tämä vähentää menetelmillä saavutettavaa kustannushyötyä maastotyössä. Tehdyissä alustavissa testeissä VISU-menetelmän todettiin olevan n. 20 kertaa tuottavampi verrattuna perinteiseen kattavan kuvioittaisen inventoinnin malliin. Muista menetelmistä ei menetelmäkehitysvaiheessa ole tehty työaika- tai kustannusmenekkiarvioita. Lopullista arviota menetelmien tuottavuudesta ja kustannuksista käytännön suunnitteluprosessissa on vaikea antaa ennen kattavampaa testausta.

### Soveltuvuuden tarkastelu

Vertailussa yksityismetsien suunnitteluun soveltuvimmaksi uudeksi kuvioittaisen arvioinnin menetelmäksi saatiin nk. VISU-menetelmä, joka perustuu toteutettujen toimenpiteiden visuaaliseen ilmakuvatulkintaan ja puustotunnusten laskennalliseen ajantasaistukseen sekä ongelmallisten kohteiden maastointenttiin. Arvioitaessa testattujen menetelmien soveltuvuutta käytäntöön täytyy huomioida myös nykyiset suunnitteluprosessit ja esitettyjen menetelmien soveltuminen metsäkeskusten toimintaan. Metsäkeskukset elävät tällä hetkellä metsäsuunnittelussa murrosvaihetta, jossa ne alkavat yhä enenevässä määrin käyttää numeerista ilmakuvaa ja vanhaa suunnittelumateriaalia uusintasuunnittelussa hyväksi. Sen lisäksi, että VISU-menetelmä osoittautui tarkkuudeltaan riittäväksi, suunnittelun ennakoivalmistelussa VISU-menetelmän työmalli olisi melko pieni lisäys jo käytäntöön vietyihin toimintamalleihin. Lisäksi VISU-menetelmä olisi sovellettavissa varsin pienillä järjestelmämuutoksilla nykyiseen toimintamalliin, kun taas esim. SK-KNN-menetelmä vaatisi kuvatulkin ulkoistamista ja tietojen siirron rajapinnan määrittelyä ja toteuttamista. Lisäksi n. 3–5 vuoden sisällä metsäkeskusten uusintasuunnittelu siirtyy alueille, jossa päivitetään Solmu-tiedonkeruusysteemin mukaista maastointentitietoa, jossa puusto on kuvattu puulajeittain/puujaksoittain. Tästä johtuen laskennallisen puuston kasvatuksen tulokset tulevat paranemaan huomattavasti nimenomaan sekametsien luokassa verrattuna nyt

testattavana olleeseen aineistoon, jossa lähtötietona olivat TASO-järjestelmän mukaiset maastotiedot. Kuusikoiden osalta laskennallisen kasvatuksen tarkkuutta voitaisiin lisätä arvioimalla maastossa puuston minimi- ja maksimiläpimitta, joilla voitaisiin katkaista laskennassa käytettävä teoreettinen runkolukujakauma. Näin kuusikoiden puuston tilavuuden ja pohjapinta-alan estimaattien tarkkuus paranisi.

Ortoilmakuvamateriaaliin perustuvien menetelmien tuloksia tarkastellessa on muistettava, että esim. menetelmässä IK-KNN sovellettiin varsin suoraviivaista käytäntöön sovellettavissa olevaa menetelmää. Jos kuvien sisäiseen ja kuvien väliseen sävyarvojen kalibrointiin saataisiin toteutetuksi tämän ongelman suuralueella ratkaiseva ja kalibroinnin luotettavasti toteuttava menetelmä, IK-KNN-menetelmän käyttökelpoisuus puustotunnusten estimoinnissa voisi parantua huomattavasti. Kalibrointimenetelmien kehittyminen auttaisi myös ilmakuvien soveltamisessa muutosalueiden seuranta. Yksinpuin tulkinta sen sijaan on menetelmä, joka vaatii tulkitsijalta vankkaa kokemusta segmentointialgoritmin parametrien valinnassa metsikkökohtaisesti. Tämä on ratkaisevaa puustotunnusten estimaattien tarkkuuden kannalta. Osatekijä varsinkin ARBO-menetelmän heikkoon tulokseen oli, että tarkistusmittauskuviot olivat keskimääräistä runsaspuustoisempia. Kun latvusto sulkeutuu, mutta tilavuus jatkaa kasvuaan, seuraa tästä väistämättä aliarvioita latvusten segmentointiin perustuvissa menetelmissä.

Vertailuissa käytetty aineisto oli kerätty kuvion sisältä otetulla systemaattisella koealaverkolla. Vaikka tarkistusmitattujen kuvioiden kuvioittaiset tunnuskohtaiset keskivirheet ovat pienempiä kuin normaalin kuvioittaisen arvioinnin maastotyön vastaavat, tämäkin aineisto sisältää oman virheensä. Myös tarkistusmittaustenkin virhe on todennäköisesti suurin sekametsissä. Tarkin vertailuaineisto tämän kaltaiseen tarkasteluun olisi kuvaushetken jälkeen tehtävän uudistushakkuun hakkuukonemittaus, tai muissa kehitysluokissa kuin uudistuskypsissä metsissä tehtävä pystymittaus. Näiden toteuttamiseen ei kuitenkaan tässä hankkeessa ollut mahdollisuutta.

Toimenpidetarpeen määrittäminen ilman maastokäyntiä onkin eräs kaukokartoitusmenetelmiin perustuvan puustoinventoinnin käyttöönoton pulonkaula, joka tulisi tutkimuksellisesti ratkaista.

Hyvällä tahdolla toimenpidetarpeen määrittämisestä voidaan sanoa, että uudistushakkuu”tarve” pystytään VISU-menetelmällä määrittämään riittävän tarkasti (taulukko 6). Tämäkään toimenpidetarve ei ole aito toimenpidetarve, joka myöhästyessään aiheuttaisi ongelmia metsikön puuston kehityksessä. Lisäksi vertailu maastossa tehtyyn uudistushakkuuehdotukseen on arvelluttavaa, koska suunnittelijan perusteet uudistushakkuuehdotuksen tekemiselle/tekemättä jättämiselle ovat voineet olla muut kuin metsälain alarajan täytyminen. Toimenpide-ehtotusten enustamismenetelmien kehittämisen tulisi painottua nuorten metsien hoitotarpeisiin ja harvennushakkuuehdotuksiin, joiden toteuttamisen myöhästymisen aiheuttaa puuston laatu- ja kasvutappioita.

Erilaisten inventointimenetelmien käyttökelpoisuutta erilaisissa metsiköissä voidaan myös tarkastella informaatiopainotuksilla, eli sillä tiedolla, jota tarvitaan eri kehitysvaiheissa olevissa metsiköissä oikeiden päätösten tekemiseen. Nuorissa kehitysvaiheissa aukeista uudistusaloista nuoriin kasvatusmetsiin tietotarve painottuu puustonkäyttelyehdotukseen ja sen oikea-aikaisuuteen. Siten näiden kehitysvaiheiden tulkitseminen pelkästään kaukokartoitusaineistoihin perustuen saattaa olla liian vaativaa, koska toimenpidetarpeen määrittäminen ja ajoittaminen saattaa olla haasteellista jopa maastossa. Sen sijaan uudistuskypsissä metsissä tietotarve painottuu puuston tilavuuden ja puutavaralajien tilavuuden oikeellisuuteen. Tämä tieto saataneen tarkasti myös kaukokartoitustulokintamenetelmin tai laskennallisesti kasvattamalla, mikäli lähtöaineisto on kerätty huolellisesti ja se ei ole liian vanhaa. Näiden kahden kategorian väliin jää varttuneiden kasvatusmetsien luokka, joissa toimenpiteen myöhästymisen ei aiheuta puuston kehitykselle suurta haittaa. Samoin puustotunnusten tarkkuuden vaatimus ei ole niin suuri kuin uudistuskypsissä metsissä, koska ennen uudistusikää metsiköissä tehdään vielä toimenpiteitä. Siten, tämä kategoria on myös otollinen kaukokartoitusmenetelmien tuotettaville puustoennusteille.

Ennen kattavaa käytäntöön viemistä valittava uusi kuvioittaisen arvioinnin menetelmä tulisi tuotteistaa, eli kuvata, ohjeistaa ja testata sen vaatimat työvaiheet. Tuotteistuksen aikana saataisiin myös tarkempaa tietoa menetelmän kustannuksista suuralueella. Menetelmäkehitykseen liittyy

vielä tutkimuksellisiakin aspekteja, jotka pitäisi ratkaista pikimmiten ennen esim. VISUn kaltaisen menetelmän laajamittaista käyttöönottoa. Näitä ovat jo mainitut toimenpidetarpeen määrittäminen ilman maastokäyntiä ja laskennallisen ajantasaisuuden luotettavuuteen liittyvät tutkimustehtävät. Tuotteistamisen ja tarpeellisten tutkimustehtävien loppuunsaattamiseksi on käynnistetty MMM:n rahoittama jatkohanke vuodelle 2002.

Maa- ja metsätalousministeriö on käynnistänyt myös vuonna 2002 konsernihankkeen uuden sukupolven suunnittelujärjestelmän määrittelemiseksi. Tänä vuonna selvitetään metsävaratietojen käyttäjien tietotarpeita, jotta voidaan tarkemmin määrittää tarkkuusvaatimukset metsikkökohtaiselle tiedolle. Selvityksen tulos voi osaltaan muuttaa testattujen menetelmien ”paremmuusjärjestystä” tarkkuudella ja kustannustehokkuudella mitattuna. Täytyy kuitenkin muistaa, että myös tulevan suunnittelujärjestelmän tiedonkeruusysteemi tulee perustumaan pitkälle Solmu-muotoisen metsävaratiedon hyödyntämiseen, eivätkä nyt kehitetyt menetelmät sinänsä ole tulevan järjestelmän teknisistä ratkaisuisista riippuvaisia, vaan sellaisenaan sovellettavissa myös tulevaisuudessa.

## Kirjallisuus

- Anttila, P. 2002a. Updating stand level inventory data applying growth models and visual interpretation of aerial photographs. *Silva Fennica* 36(2): 549–560.
- 2002b. Non-parametric estimation of stand volume using spectral and spatial features of aerial photographs and old inventory data. *Canadian Journal of Forest Research* (hyväksytty painettavaksi).
- & Lehtikoinen, M. 2002. Kuvioittaisten puustotunnusten estimointi ilmakuvilta puoliautomaattisella latvusten segmentoinnilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002: 381–389. (tämä nide)
- Heikinheimo, M. 1999. Metsäsuunnittelun tietohuolto. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 741. 105 s.
- Hyvönen, P. 2002. Kuvioittaisten puustotunnusten ja toimenpide-ehdotusten estimointi k-lähimmän naapurin menetelmällä Landsat TM -satelliittikuvan, vanhan inventointitiedon ja kuviotason tukiaineiston avulla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002: 363–379.
- Laasasenaho, J. & Päivinen, R. 1986. Kuvioittaisen arvioinnin tarkastamisesta. *Folia Forestalia* 664.
- Maa- ja metsätalousministeriö 1999. Kansallinen metsäohjelma 2010. MMM:n julkaisuja 2/1999.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2001. Maa- ja metsätalousministeriön metsäsuunnittelustrategia 2001–2010. Työryhmämuistio MMM 2001:13. 15 s.
- Poso, S. 1983. Kuvioittaisen arvioimismenetelmän perusteita. *Silva Fennica* 17(4): 313–349.
- Pussinen, A. 1992. Ilmakuvat ja Landsat TM -satelliittikuva välialueiden kuvioittaisessa arvioinnissa. Syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 48 s.
- Rissanen, P. 2001. Metsäsuunnitelmien puumäärien seurannan yhteenveto. Moniste, Metsäkeskus Pohjois-Savo. 3 s.
- Stora Enso OYJ. 1999. Tarkistusinventoinnin yhteenveto – maastotyökausi 1998. *Metsäkonttori*, tammikuu 1999. Moniste. 11 s.
- Suutarla, T. 1985. Kuvioittaisen arvioinnin päivitys ja sen luotettavuus. Pro gradu. Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos. 47 s.
- Vesterinen, S. 1999. Raportti Stora Enson omien metsien inventoinnin tarkistuksesta. Pohjois-Savon metsäkeskus-organisaatio. Moniste, Helsingin yliopisto, Metsävarojen käytön laitos. 8 s.

■ Janne Uuttera, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio; Juha Hiltunen ja Pirjo Rissanen, Metsäkeskus Pohjois-Savo; Perttu Anttila, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta; Pekka Hyvönen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. Sähköposti [janne.uuttera@tapio.mailnet.fi](mailto:janne.uuttera@tapio.mailnet.fi)