

Metsäsuunnittelun tietohuolto

Matti Heikinheimo (toim.)

1999
1999

HELSINGIN TUTKIMUSKESKUS

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 741, 1999

Metsäsuunnittelun tietohuolto

Matti Heikinheimo (toim.)

HELSINGIN TUTKIMUSKESKUS

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
1999

Heikinheimo, Matti (toim.) 1999. Metsäsuunnittelun tietohuolto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 741. 105 s. ISBN 951-40-1690-4, ISSN 0358-4283.

Tässä MMM:n yhteistutkimusvaroin käynnistyneessä esiselvityksessä keskitytään metsäsuunnittelussa tarvittavien tietojen hankinta- ja ylläpitomenetelmien kar-toittamiseen.

Inventointimenetelmien tarkkuuden parantaminen ja kustannusten säästö edellyt-tävät suuria muutoksia, uusien menetelmien kehittämistä tai olemassa olevien menetelmien ja aineistojen yhdistämistä. Nyt on oikea aika panostaa tutkimuk-seen ja arviointimenetelmien kehittämiseen.

Avainsanat: metsäsuunnittelu, tietohuolto, tietoyhdistelmät, metsävaratiedot, paikkatietoaineisto, ajantasaistus, monilähdeinventointi.

Yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus, Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki, puhelin (09) 857 051.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, hanke 3242.

Hyväksynyt: Matti Kärkkäinen 2.6.1999

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus, Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki, puhelin (09) 857 051, fax (09) 625 308.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO <i>Jari Varjo</i>	5
1.1 Metsäinventointi luonnonvarojen käytön suunnittelussa.....	5
1.2 Selvitystehtävän rajaus.....	6
1.3 Esiselvityksen tavoitteet	6
2 METSÄSUUNNITTELUN LÄHTÖKOHTA <i>Leena Oksanen-Peltola</i>	8
2.1 Yhteiskunnalliset tavoitteet.....	8
2.2 Metsänomistajan tavoitteet.....	10
2.3 Metsäsuunnittelun nykytilanne	11
3 METSÄSUUNNITTELUN TIETOTARPEET <i>Leena Oksanen-Peltola</i>	13
3.1 Metsäsuunnittelun tasot	13
3.2 Tietotarpeet	15
4 METSÄVARATIEDOT	18
4.1 Metsäkeskusten aineistot <i>Leena Oksanen-Peltola</i>	18
4.2 Muut paikkatietoaineistot <i>Helena Mäkelä</i>	22
4.2.1 Paikkatietostrategia	22
4.2.2 Hallinnolliset raja-aineistot	22
4.2.3 Luontokohteet	26
4.2.4 Kartta-aineistot.....	28
5 METSÄTIEDON HANKINTAMENETELMÄT	31
5.1 Maastoinventointi <i>Helena Mäkelä</i>	31
5.1.1 Menetelmän valinta	31
5.1.2 Kuvioittainen arviointi.....	31
5.1.3 Otantaperusteinen koelainventointi	36
5.2 Kaukohavainnointi <i>Perttu Anttila</i>	37
5.2.1 Perusteet	37
5.2.2 Optiset satelliittikuvat	38
5.2.3 Ilmakuvat	45
5.2.4 Spektrometrikuvat.....	51
5.2.5 Videokuvat.....	52
5.2.6 Tutkakuvat	53
5.2.7 Monimuotoisuuden arviointi ja arvokkaiden luontokohteiden tunnistaminen.....	55
6 METSÄVARATIETOJEN YLLÄPITOMENETELMÄT	58
6.1 Suunnittelun lähtötietojen laskennallinen <i>Juha Malinen, Matti Maltamo</i> ajantasaistus - esimerkkinä MELA <i>ja Tuula Nuutinen</i>	58

6.1.1 Simulointi ja optimointi	58
6.1.2 Simuloinnin lähtötietojen muodostaminen	59
6.1.3 Metsävaratietojen laskennallinen ajantasaistus	66
6.2 Muutosten seuranta kaukokartoituksella <i>Helena Mäkelä</i>	68
6.2.1 Muutosten seurantarave	68
6.2.2 Muutosten seuranta satelliittikuvilta	69
6.2.3 Muutostunnistuksen metsäsovellukset satelliittikuvilla.....	73
6.2.4 Muutosten seuranta ilmakuvilta	77
6.2.5 Muutosten seuranta muilta kaukokuvilta.....	79
6.3 Aktiivikuvio metsäsuunnittelussa <i>Henry Schneider</i>	81
7 METSÄSUUNNITTELUN TIETOHUOLLON	
KEHITTÄMINEN <i>Helena Mäkelä ja Jari Varjo</i>	85
7.1 Seminaarin anti	85
7.2 Tietotarpeiden kehittyminen	89
7.3 Tärkeimmät kehittämistoimet	91
KIRJALLISUUSLUETTELO	96

1 JOHDANTO

Jari Varjo

1.1 Metsäinventointi luonnonvarojen käytön suunnittelussa

Valtakunnan metsien inventointi (VMI) alkoi vuonna 1921. Siitä lähtien pystyttiin varsin hyvin seuraamaan puuvarojen ja metsäpinta-alan kehitystä suuralueittain. Suurin osa metsäteollisuutemme käyttämästä puusta on peräisin yksityismetsistä. Siksi yksityismetsätalouteen on rakennettu oma tiedonhankintajärjestelmänsä, joka perustuu kuvioittaiseen silmävaraiseen arviointiin.

Metsien suuri merkitys kansantaloudelle ja suomalaisille on vauhdittanut sekä VMI:n että kuvioittaisen arvioinnin kehittämistä. Taloudellisten tavoitteiden lisäksi muut metsien käytön tavoitteet ja koko metsiin liittyvä arvomaailma ovat viime vuosina ja vuosikymmeninä monipuolistuneet huomattavasti. Keskustelua metsistä, niiden käytöstä ja tulevaisuudesta on joskus kuvattu jopa metsäsodaksi (mm. Reunala & Heikinheimo 1987). Tämän keskustelun kiivaus voidaan kuitenkin ristiriitojen sijasta tulkita myös kasvavaksi tiedontarpeeksi metsäluonnostamme. Metsiin kohdistuu monenlaisia arvoja, joita ei voida erottaa ihmisen yleisestä suhtautumisesta luontoon ja luonnonvarojen käyttöön (Karppinen 1994, Kangas & Niemeläinen 1995, Hänninen & Karppinen 1996). Erilaisten intressien onnistunut yhdistäminen niin yksittäisen maanomistajan tavoitteet toteuttavaksi metsäsuunnitelmaksi, metsäteollisuuden puuhuollon turvaavaksi valtakunnalliseksi metsien käsittelystrategiaksi kuin metsien monimuotoisuuden säilyttäväksi metsäpolitiikaksi edellyttää ajantasaista ja tarkkaa tietoa metsäluonnostamme. Viime vuosina tutkimusta onkin suunnattu luontoarvojen mittaamenetelmiin. Arvokasta työtä on tehty esimerkiksi luonnon monimuotoisuuden kartoittamismenetelmien kehittämisessä.

Tietotarpeiden lisääntymiseen ja monipuolistumiseen liittyy monia ongelmia. Lisääntyneet tietotarpeet kasvattavat väistämättä tiedon hankkimiskustannuksia mikäli vastaavia säästöjä ei saada syntymään esimerkiksi menetelmiä ja mittavälineitä kehittämällä. Yhä uusia mittauksia tarvitaan lisääntyneiden tietotarpeiden täyttämiseksi. Mittausten olisi oltava aiempaa ajantasaisempia ja tulokset tulisi saada käyttöön mahdollisimman pienin resurssein. Hyviä päätöksiä ei voida tehdä ilman riittävän tarkkaa ja ajanmukaista tietoa oli kyseessä sitten taloudellisin perustein tapahtuva metsätulojen optimointi, puunhankinnan tehostaminen tai arvokkaiden suojelukohteiden valinta.

Uusilla tiedon käsittely-, yhdistämis- ja esitysmenetelmillä pystytään usein tuottamaan vakuuttavan näköisiä tulosteita hyvin monen tasoista tietolähteistä. Tietojen tarvitsijalla saattaa olla käytettävissään jopa liikaa epämääräistä tietoa, jolloin hänen päätöksentekonsa vaikeutuu. Tämä kehityskulku edellyttää myös

metsätaloudessa tuotettavien tietojen, niiden saatavuuden ja käyttökelpoisuuden uudelleen arviointia. On kysyttävä kriittisesti, millainen tietosisältö eri metsätalouden tasoilla on tarpeen ja millaisilla menetelmillä se kannattaa tuottaa ja ylläpitää.

1.2 Selvitystehtävän rajaus

Tämä työ käynnistyi MMM:n yhteistutkimusvaroin. Syksyllä 1997 Metsäntutkimuslaitos, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Pohjois-Savon metsäkeskus sekä Joensuun yliopisto, Metsäntutkimuslaitos ja Helsingin yliopisto jättivät ministeriölle kaksi erillistä tutkimushakemusta. Ne käsitelivät metsätiedon tuottamisen ja ylläpidon kehittämismahdollisuuksia. Hakemusten pohjalta ministeriö antoi tehtäväksi laajemman esiselvityksen laatimisen. Ministeriölle esitettiin 18.3.1998 suunnitelma esiselvityksen käynnistämiseksi. Sen aiheena oli 'Tietoyhdistelmät ja ajantasaistus metsäsuunnittelun tietolähteenä'. Esityksen tekijöinä olivat Metsäntutkimuslaitos, Joensuun yliopisto, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Pohjois-Savon metsäkeskus.

Huhtikuun alussa 1998 käynnistynyt esiselvitys sai toimitusvaiheessa hieman yksinkertaisemman nimen: "Metsäsuunnittelun tietohuolto". Tavoitteena oli tiivistää esiselvityksen tulokset helpommin luettavaan muotoon. Esiselvityksessä keskityttiin metsäsuunnittelussa tarvittavien tietojen hankinta- ja ylläpitomenetelmien kartoittamiseen, sillä kaikkien luonnonvaratietojen mukaan ottaminen oli käytettävissä olevien resurssien puitteissa mahdotonta. Varsinainen metsäsuunnittelu jätettiin tämän työn ulkopuolelle.

Projektiryhmään kuuluivat:

Perttu Anttila (Joensuun yliopisto)
Juha Hiltunen (Pohjois-Savon metsäkeskus)
Juha Malinen (Metla)
Matti Maltamo (Joensuun yliopisto)
Helena Mäkelä (Metla)
Tapani Mäkinen (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio) 1.8.98 lähtien
Tuula Nuutinen (Metla)
Leena Oksanen-Peltola (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio)
Henry Schneider (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio) 31.7.98 saakka
Jari Varjo (Metla)

1.3 Esiselvityksen tavoitteet

Yksityismetsätalouden organisaatioiden tietotarpeet ovat huomattavasti monipuolistuneet pelkästä puuvarojen kuvaamisesta. Tulevaisuudessa metsänomistajan tietotarpeet tulisi täyttää entistä tehokkaammin. Lisäksi vähintään saavutettu

metsätiedon taso olisi säilytettävä, jotta tietoa voitaisiin käyttää uusien metsälakien tavoittelemaan metsätalouden edistämiseen, lakien soveltamiseen ja seurantaan. Erilaisia kehitysvaihtoehtoja arvioitaessa on muistettava, että koko valtakunnan tasolla metsävaratietojen hankintajärjestelmät ovat isoja koneistoja, joissa hallittujen muutosten tekeminen vie väistämättä huomattavasti aikaa ja resursseja. *Vaihtoehtona tietotarpeiden kasvaessa ovat 1) uusien tietojen yhdistämis- ja analyysimenetelmien kehittäminen, 2) uusien tietolähteiden käyttöönotto, 3) nykyisen toiminnan tehostaminen, 4) tietojen ajantasaisuudesta tinkiminen, 5) kerättävien tunnusten vähentäminen ja näiden erilaiset yhdistelmät.*

Projektiryhmässä tavoitteeksi asetettiin:

- Luoda katsaus metsäsuunnittelun tietotarpeisiin erityisesti yksityismetsätaloudessa
- Kuvata nykyisin käytössä olevat metsätiedon tietolähteet ja hankintamenetelmät suhteessa tietotarpeisiin
- Määritellä uusia mahdollisuuksia ja menetelmiä tietotarpeiden täyttämiseksi sekä arvioida niiden vaatimaa tutkimus- ja testauspanosta
- Selvittää tiedontuotannon eri vaihtoehtojen ja nykyisten suunnittelujärjestelmien yhteensovittamisessa ja saavutettavan tarkkuuden arvioinnissa vaadittavaa tutkimustyötä
- Selvittää metsävaratietojen ajantaistusmenetelmien kehittämisessä tarvittavaa tutkimus- ja testaustyötä
- Määritellä kuvatuissa kehitysvaihtoehdoissa tarvittavat tutkimus- ja testausaineistot
- Esittää suosituksia tutkimus- ja testaustyön suuntaamisesta lupaavimpiin vaihtoehtoihin.

2 METSÄSUUNNITTELUN LÄHTÖKOHTA

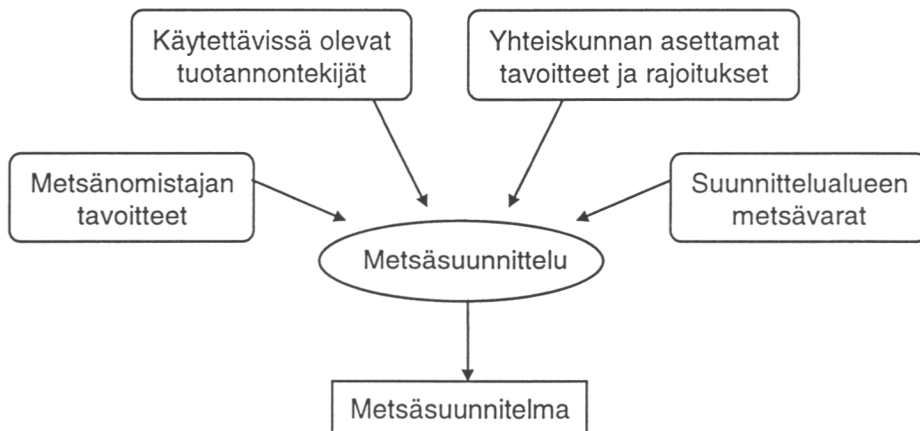
Leena Oksanen-Peltola

2.1 Yhteiskunnalliset tavoitteet

Metsälain tavoitteena on edistää taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävä metsätaloutta. Luonnonsuojelulain tavoitteena on monimuotoisuuden ja kestävyuden ylläpitäminen, luonnonkauneuden ja maisema-arvojen vaaliminen, luonnontuntemuksen ja tutkimuksen edistäminen. Lailla kestävä metsätalouden rahoituksesta pyritään tukemaan metsien kestävä hoidon ja käytön ylläpitämistä ja edistämistä (Uusi metsäpolitiikka... 1998). Lainsäädännössä asetetut tavoitteet koskevat koko maan metsävarojen käyttöä. Säädökset pyrkivät toteuttamaan yhteiskunnan metsien käytölle asettamia intressejä ja arvoja. Nämä tavoitteet ja rajoitteet ohjaavat metsäsuunnittelua.

Metsiin kohdistuu hyvin monenlaisia intressejä ja tavoitteita. Osin ristiriitaisten tavoitteiden vallitessa metsäsuunnittelulla pyritään eri käyttömuodot (puuntuotanto, suojelu, virkistys jne.) sovittamaan yhteen. Metsäsuunnittelu on kaikilla tasoilla tavoitteiden ja mahdollisuuksien välisten kompromissien hakemista. Sen tueksi tarvitaan laajaa tietopohjaa. Tietojen tarvetta tulee arvioida sillä perusteella, kuinka hyviä päätöksiä ko. tietojen pohjalta voidaan tehdä (kuva 1). Kuinka paljon parempia päätöksiä tietosisältöä joiltain osin kasvattamalla saadaan tai vastaavasti kuinka paljon päätökset huonontuvat, mikäli niiden pohjana olevista tiedoista tai tietojen ajantasaisuudesta joudutaan tinkimään.

Tilakohtaisella ja alueellisella metsäsuunnittelulla on perinteisesti pyritty edistämään kulloinkin hyväksytyjä yleisiä metsätalouden harjoittamisen tavoitteita.



Kuva 1. Metsäsuunnittelun viitekehys (Tapion taskukirja 1997, s. 418).

Näitä tavoitteita on kulloinkin muovannut yleinen yhteiskunnallinen kehitysprosessi. Tietotarpeet ja niiden kehittyminen ja muuttuminen on ohjannut suunnittelumenetelmien ja sitä myötä inventointi- ja mittausten menetelmien kehitystä. Metsäsuunnittelun tavoitteiden kehittämisessä on kolme selkeää vaihetta. Voimakas puuntuotannon tehostaminen ja alueellisen ja tilakohtaisen metsätaloussuunnittelun kehittyminen olivat leimaa-antavia 1960- ja 70-luvuilla. Tällöin keskeisenä tavoitteena oli yksityismetsätalouden edistämisen ohella metsien käytön keskipitkän ja pitkän aikavälin toimenpidesuunnitelmien teko. Metsien eri käyttömuotojen huomioon ottaminen vaikutti 1980-luvulla **monitavoitteisen** tilakohtaisen metsäsuunnittelun syntyyn ja kehittymiseen. Tällä ja seuraavalla vuosikymmenellä metsäsuunnittelun tavoitteita ja toteutustapaa muokkaavat sisällöltään uudistunut lainsäädäntö, **osallistavan** ja alue-**ekologisen** suunnittelun periaatteiden soveltaminen sekä alueellisten tavoiteohjelmien ja kansallisen metsäohjelman laadinta.

Tilakohtainen metsäsuunnitelma on 10–20 vuoden toimintaohjelma, jonka laadinnassa pyritään suhteuttamaan toisiinsa metsänomistajan tavoitteet, tilan metsävarat ja muut tuotannontekijät sekä yhteiskunnan metsätaloudelle asettamat tavoitteet ja rajoitukset. Rajoitukset ovat vanhastaan liittyneet puuntuotantoon, kuten avohakkuualojen viljelyvelvoite. Uuden metsä- ja luonnonsuojelulain myötä niiden rinnalle on tullut ympäristörajoitteita, kuten metsälain biologisen monimuotoisuuden kannalta erityisen tärkeiden elinympäristöjen ominaispiirteiden säilyttämisvelvoite. Tilakohtainen metsäsuunnitelma on ennen kaikkea metsänomistajan päätöksenteon ja neuvonnan väline. Samalla se palvelee myös yhteiskuntaa metsien käsittelyn ohjauksessa ja luonnon monimuotoisuuden ylläpidossa.

Metsäkeskusten lakisäateisen alueellisen suunnittelun tavoitteita ei ole nykyisissä säädöksissä erikseen määritelty. Yhtä tilaa laajempaa tarkastelua tarvitaan edistämään metsäkeskusten ja metsänhoitoyhdistysten toiminnan ja talouden suunnittelua, ohjaamaan toimintaa kestävä metsätalouden näkökulmasta tärkeimpiin kohteisiin, maisemanhoidon suunnitteluun ja esimerkiksi kylän tai talousalueen elinkeinotoiminnan kehittämisen pohjaksi. Suunnittelutietojen perusteella voidaan toteuttaa tarkoituksenmukaisesti leimauksia, metsänhoito- ja metsänparannustöitä. Samalla pyritään yksinkertaistamaan ilmoitus-, valvonta- ja seurantarutiineja. Metsäsuunnittelun edistäminen ja kehittäminen on ollut keskeinen keino metsiin liittyvien yhteiskunnallisten tavoitteiden saavuttamiseksi.

Nykyisin yksityismetsien alueelliset metsäsuunnitelmat koostuvat kattavasti kuviointain kerätyistä ns. välialueiden ja tilakohtaisten metsäsuunnitelmien tiedoista, mutta ne eivät sisällä tiloittaisia tietoja. Aluesuunnitelman tietojen perusteella tehdään erilaisia koko aluetta koskevia poimintoja ja karttatulosteita. Aluetasolle ei aseteta yhtä yhteistä koko alueen kattavaa puuntuotannollista tai monikäytöl-

listä tavoitetta, vaan alueen metsätaloudelliset tavoitteet määräytyvät alueen metsänomistajien tavoitteiden summana. Näin aluesuunnitelman tiedoista saadaan koostetuksi varsin realistinen kuva toteutuvista hakkuista ja metsänhoitotoimista.

2.2 Metsänomistajan tavoitteet

Samalla tavoin kuin yhteiskunnan tavoitteet muodostuvat yksityisen metsänomistajan tavoitteet hänen metsän omistamiselle kokemiensa arvojen perusteella (Karppinen 1994, Kangas & Niemeläinen 1995). Yksityisen arvomaailman lisäksi toimintaan vaikuttavat lisäksi ympäristön asenteet ja toimintatavat. Omat arvot, ympäristö, asenneilmapiiri ja yhteiskunnan asettamat normit siis luovat perustan yksityisen metsänomistajan tavoitteille ja sen myötä tietotarpeille. Näiden puitteissa metsänomistajan taloudellinen tilanne ja sen kehitykselle asetetut tavoitteet lienee edelleenkin keskeisin yksittäinen metsässä tapahtuvia toimintoja ohjaava tekijä, joskin erilaisten aineettomien arvojen vaikutus näyttää olevan koko ajan kasvussa (Karppinen 1994).

Tilakohtaisen metsäsuunnittelun tehtävänä on tuottaa metsänomistajalle tietoa tilan metsien käytön vaihtoehtoista ja mahdollisuuksista. Kun metsänomistaja on valinnut hänelle suurimman hyödyn antavan vaihtoehdon, suunnittelun tehtävänä on määritellä toimenpiteet eli kuvioittaiset käsittelyehdotukset, joilla päädytään mahdollisimman lähelle metsänomistajan valitsemaa tuotantotavoitetta.

Metsätaloudessa päätöksentekijä on yleensä metsänomistaja. Jos suunnittelija on selvillä päätöksentekijän tavoitteista ja arvostuksista, on hyvin todennäköistä, että suunnitellut asiat myös toteutuvat. Metsäsuunnittelija toimii suunnittelun eri vaiheissa asiantuntijana, joka tarjoaa metsänomistajalle päätöksenteon tueksi tarvittavia tietoja ja laatii tavoitteeseen johtavan suunnitelman. Prosessin tuloksena syntyvä metsäsuunnitelma on perusselvitys tilan metsien mahdollisuuksista ja tarpeista.

Metsäsuunnittelun tulee olla monitavoitteista. Monitavoitteisessa metsäsuunnittelussa sovitetaan yhteen puuntuotanto sekä erilaiset ympäristö- ja monikäyttötaavoitteet. Perinteisesti suunnittelussa tavoitteena on yhteiskunnan rajoitteet huomioonottaen mahdollisimman suuret hakkuutulot. Tavoitteena voi olla myös tulojen tasaisuus, maksuvalmiuden parantaminen, virkistysmahdollisuuksien hyödyntäminen tai ekologinen kestävyys. Esimerkiksi tilan metsien tavoitteeksi voidaan asettaa hakkuutulosten määrä tulevien 20 vuoden aikana. Rajoitteeksi voidaan asettaa vaikkapa lehtipuuston määrän säilyttäminen nykytasolla.

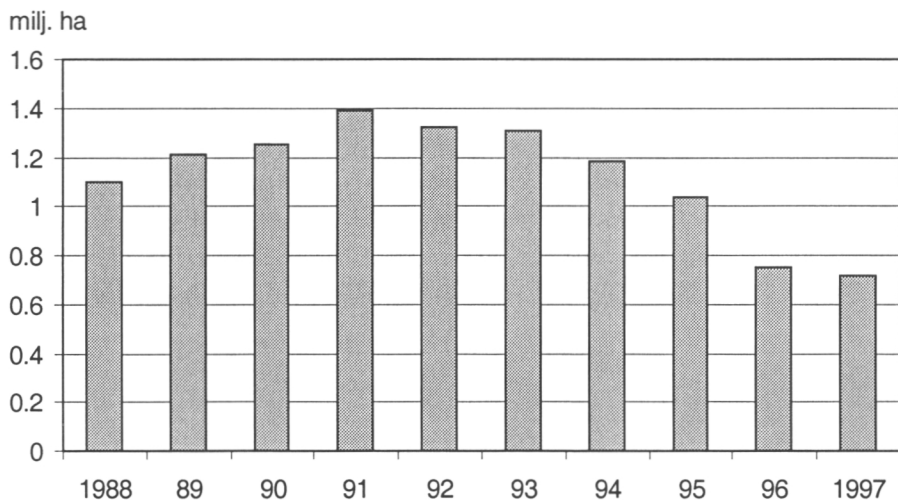
Metsänomistajan tavoitteet voidaan selvittää esimerkiksi haastattelemalla tai antamalla alustavia suunnitevaihtoehtoja metsänomistajan arvioitavaksi. Metsänomistajan tavoitteet vaikuttavat suunnitteluun kaikissa sen työvaiheissa. Pääperi-

aate on, että erilaiset tavoitteet ja vaihtoehdot ohjaavat suunnitteluprosessia, mutta suunnitelmassa esitetään se vaihtoehto, johon prosessissa on päädytty. Tämä edellyttää metsänomistajan aktiivista panosta itse suunnittelutyön aikana.

2.3 Metsäsuunnittelun nykytilanne

Yksityismetsien metsäsuunnittelu yleistyi 1970-luvulla. Silloiset piirimetsälautakunnat alkoivat tehdä vuoden 1967 asetuksessa mainittua alueellista yksityismaiden metsäsuunnittelua. 1980-luvulta lähtien alueellisesta metsäsuunnittelusta on tullut keskeinen ja vakiintunut metsäkeskusten työtehtävä, jossa painopiste on tilakohtaisten metsäsuunnitelmapalveluiden tuottamisessa yksityisille metsänomistajille. Kymmenen viime vuoden aikana metsäkeskusten ja metsänhoitoyhdistysten vuotuinen metsäsuunnitteluala on ollut runsaat miljoona hehtaaria, josta noin 70 % on ollut tilakohtaista suunnittelua. Yksityismetsissä on voimassa noin 150 000 tilakohtaista metsäsuunnitelmaa. Ne kattavat noin 7,6 milj. metsähehtaaria eli noin puolet yksityismetsien pinta-alasta. Voimassa olevan alueellisen suunnittelun peittävyys on noin 72 % yksityismetsien pinta-alasta.

Alueellinen ja tilakohtainen metsäsuunnittelu ovat metsäkeskusten lakisääteisiä tehtäviä. Töiden toteuttamiseksi vaadittavat resurssit ja työtulokset ovat viime vuosina vähentyneet merkittävästi. Tavoitteena 1990-luvun alussa oli saada suunnitelma 90 prosentille yksityismetsien alasta. Tämä olisi edellyttänyt vuosittain suunnitelmia 1,4 miljoonalle hehtaarille ja 23 000 tilalle. Pinta-alatavoite likimain saavutettiin vuosina 1991–1993, mutta sen jälkeen tulokset ovat laskeutuneet lähinnä metsäkeskusten voimavarojen supistuttua. Vuonna 1996 suunniteltiin 751 000 hehtaaria ja tilakohtaisia suunnitelmia valmistui 8 600 tilalle.



Kuva 2. Metsäkeskusten ja metsänhoitoyhdistysten alueellinen ja tilakohtainen suunnittelu 1988–1997 (Tapion tilastot).

Vuoden 1997 vastaavat luvut olivat 723 000 hehtaaria ja 8 100 tilaa (Tapion vuosikirja 1996 ja 1997, ks. myös kuva 2).

Metsäkeskusten valtionapurahoituksen ja henkilöstön vähenemisen ohella metsätalouden toimintaympäristö on perusteellisesti muuttunut. Vuoden 1997 alusta voimaan tulleet metsälaki ja laki kestävän metsätalouden rahoituksesta sekä vuoden 1999 laki metsänhoitoyhdistyksistä edellyttävät uusia toimintatapoja. Ulkoisten muutostekijöiden, kuten metsänomistajien tarpeiden ja metsänhoitoyhdistysten toimintatapojen muutosten ennakointi on metsäkeskusten toiminnan kehittämisen lähtökohta. Tilakohtaisen metsäsuunnittelun kehittämissuunnitelman tuloksena metsäkeskuksissa voidaan entistä monipuolisemmin tehdä asiakkaiden tavoitteiden mukaisia tilakohtaisia metsäsuunnitelmia. Kehitystyötä jatketaan alueellisen suunnittelujärjestelmän saamiseksi ajan vaatimusten mukaiseksi.

Puuvarojen ja niiden käytön lisäksi tarvitaan tietoja metsäluonnon monimuotoisuudesta, metsien muista käyttömahdollisuuksista ja niiden kehittymisestä. Näiden tietotarpeiden lisäksi on tuotettava tietoa uusien metsälakien tavoittelemaan metsätalouden edistämiseen, lakien soveltamiseen ja valvontaan. Nykyisillä inventointimenetelmillä ja resursseilla näitä tavoitteita on mahdoton saavuttaa. Uusia haasteita ja myös mahdollisuuksia metsäsuunnittelun toteutukselle ja kehittämiselle luovat monet ennakoitavissa olevat toimintaympäristön muutokset: mm. tietojenkäsittelytekniikan ja monilähdeinventoinnin kehittyminen, paikkatietostrategian valmistuminen sekä monien meneillään olevien projektien (esim. metsäkeskusten kehittämissuunnitelma, tietojärjestelmien uudistaminen, kaukokartoituksen hyödyntäminen, työmenetelmien kehittäminen) tulokset.

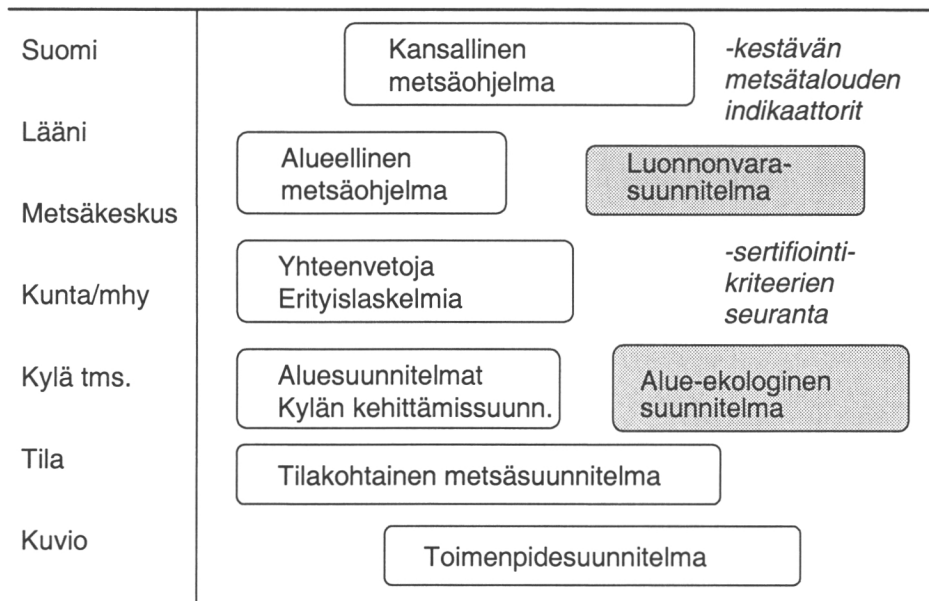
3 METSÄSUUNNITTELUN TIETOTARPEET

Leena Oksanen-Peltola

3.1 Metsäsuunnittelun tasot

Metsäsuunnittelua tehdään yksittäisestä jopa alle puolen hehtaarin kuviosta koko maan kattavaan metsäsuunnitelmaan. Suunnittelun kohteena voi olla esimerkiksi pistemäinen alue, kuvio, tila, suunnittelualue, metsäkeskus tai koko maa. Tällä hetkellä näillä eri tasoilla (ks. kuva 3) tapahtuvan suunnittelun yhteydet eivät ole selvät: parhaimmillaan eri tasoilla tapahtuva suunnittelu hyödyntäisi edellisen tason tietoja ja puolestaan tuottaisi tietoa seuraavalle tasolle. Yksityismetsätaloudessa tietoa kerätään koordinoitusti täyttämään sekä alueellisen että tilakohtaisen suunnittelun tarpeita.

Metsäsuunnittelun luonteen kuvaamiseksi puhutaan erityyppisistä suunnittelu-tehtävistä. Perusteina ovat lähinnä suunnittelun tavoitteet ja yksityiskohtaisuus. Luokitus voi olla esim. seuraava: yleinen strateginen suunnittelu, alueellinen suunnittelu, tilakohtainen suunnittelu ja operatiivinen suunnittelu (vrt. kuva 3). Yleinen strateginen suunnittelu saa pääasiassa informaatiossa valtakunnan metsien inventoinnista ja työvoimaa yms. koskevista arvioista ja ennusteista. Yleisellä suunnittelulla voidaan asettaa tavoitteita esim. hakkuille, metsänuudistamiselle, metsäteiden rakentamiselle, taimituotannolle, lannoitukselle jne.



Kuva 3. Metsäsuunnittelun tasot ja suunnittelualueen laajuus.

Aikajänteen perusteella puhutaan pitkän (vähintään 20 vuotta), keskipitkän (5–20 vuotta) ja lyhyen (1–5 vuotta) ajan suunnittelusta. Aikajänteen mukaan myös suunnittelun luonne muuttuu. Pisimmän aikajänteen suunnittelu on luonteeltaan normatiivista ja strategista, keskipitkän ajan suunnittelu taktista ja lyhyen ajan suunnittelu operatiivista. Suunnittelu jaetaan em. alueellisiin ja ajallisiin tasoihin sen vuoksi, että suunnitteluongelmasta tulee tällä tavoin yksinkertaisempi ja se voidaan ratkaista useassa vaiheessa. Kukin taso tuottaa joukon keinoja, joilla pyritään tiettyihin päämääriin. Keinot puolestaan ovat alemman suunnittelutason tavoitteita tai rajoitteita.

Tilakohtainen metsäsuunnittelu on perinteisin metsäsuunnittelun muoto. Tavallisimmin suunnitelma tehdään metsälölle. Tällä hetkellä metsäsuunnitelma laaditaan kuvioittaisena arviointina ja siinä metsänomistajalle esitetään kuvaus omistamansa metsäalueen tilasta, sen arvioidusta kehittymisestä, hakkuumahdollisuuksista ja metsänhoitotöistä sekä arvioiduista tuloista ja menoista. Yksityismetsien aluesuunnitelma tehdään yhden tai kahden kylän metsille. Aluesuunnitelmista voidaan koostaa myös useiden alueiden yhdistelmälaskelmia. Aluesuunnittelutietoja voidaan käyttää arvioitaessa metsänhoitoyhdistysten ja metsäkeskusten työtavoitteita. Tämänkaltainen tieto palvelee myös metsään perustuvan elinkeinotoiminnan (metsämatkailu, pienimuotoinen puunjalostus, energiapuun hankinta) kehittämistä.

Valtion metsien metsäsuunnittelussa Metsähallitus on ottanut käyttöön luonnonvarasuunnittelun (maakuntaan tehtävä strateginen maankäyttösuunnitelma) ja alue-ekologisen suunnittelun (laajan metsäalueen ekologinen kokonaistarkastelu). Valtion maiden ja yksityismaiden metsäsuunnittelusta kertyy oleellinen osa kansallisessa päätöksenteossa tarvittavasta luonnonvaratiedosta.

Vuoden 1997 alusta voimaan tullut metsälaki aloitti alueellisten metsäohjelmien laadinnan. Näiden ohjelmien tavoitteena on sovittaa yhteen metsien hoidon ja käytön taloudelliset, ekologiset ja sosiaaliset tavoitteet. Ohjelmilla ei ole suoraa yhteyttä tilakohtaiseen ja alueelliseen metsäsuunnitteluun, mutta osittain metsäsuunnittelun tietoja on pystytty hyödyntämään alueellisten metsäohjelmien laadinnassa. Keskeistä on ollut eri organisaatioiden sitouttaminen ohjelmien laadintaan sekä yhteisten toimintatapojen luominen. Vuoden 1998 aikana valmistuneet alueelliset metsäohjelmat uusitaan vuoteen 2002 mennessä.

Suomen metsäpolitiikkaa on hoidettu erilaisilla metsäohjelmilla, kuten Mera- ja Metsä 2000 -ohjelmilla. Vuosina 1998–99 laadittiin Suomen kansallinen metsäohjelma (KMO). Sillä linjataan maamme metsätalouden kehittämistä vuoteen 2010 asti. Tämän ohjelman avulla Suomi haluaa pysyä kestävä metsätalouden kärkimaiden joukossa. Tutkimusta, koulutusta ja osaamista kehitetään monin tavoin, muun muassa perustamalla uusi metsäalan innovaatiofoorumi. Suomelle

kuuluu myös aktiivinen rooli kansainvälisessä kestävä metsätalouden edistämisessä (Kansallinen metsäohjelma 2010).

3.2 Tietotarpeet

Tässä luvussa tietotarpeet määritellään yksityiskohtaisesti taulukkomuodossa. Lähtökohtana ovat tilakohtaisen metsäsuunnittelun, metsäkeskusten muun toiminnan sekä muiden organisaatioiden tietotarpeet.

Tietotarpeet ryhmitellään organisaatioittain (tiedon käyttäjä/tarvitsija) sekä luokitellaan käyttötarkoituksen, tarkkuuden ja luotettavuuden, ajantasaisuuden sekä muiden vaatimusten suhteen. Taulukossa 1. metsäsuunnittelutietojen tarvitsijat on ryhmitelty seuraavasti: maa- ja metsätalousministeriö, metsäkeskukset, metsänhoitoyhdistykset, metsänomistajat, puun ostajat, metsäntutkimus, maakuntaliitot ja kunnat, työvoima- ja elinkeinokeskukset, maaseutukeskukset, ympäristöhallinto ja verottaja.

Tietotarpeet vaihtelevat huomattavasti tiedon tarvitsijoittain. Tietotarpeet liittyvät lähinnä metsälön toiminnan suunnitteluun, toteutukseen ja seurantaan. Yksityismetsätaloudessa tietojen pitää useimmiten olla tarkasti paikkaan sidottuja sekä riittävän tarkkoja metsänomistajan tavoitteet täyttävään ja metsäpolitiikkaa edistävään metsäsuunnitteluun ja toisaalta toimenpiteiden toteutuksen seurantaan. On tärkeää, ettei tiedoissa esiinny niin suurta systemaattista tai satunnaista virhettä, että se johtaisi yksittäisen kuvion tai koko metsälön osalta ei toivottuun toimenpidepäätökseen.

Paikkaan sidotulla tiedolla tarkoitetaan maastossa tarkasti, yleensä kuviotasolla paikannettavissa olevaa tietoa. Yhteenvetotiedolla tarkoitetaan kuviota laajemman alueen tietoa esim. hakkuumahdollisuuksista tai puuvaroista. Paikkatiedon laatua kuvaavia tunnuksia ovat ominaisuustietojen tarkkuustunnukset, sijaintitarkkuus, ajantasaisuus ja kattavuus. Yhteenvetotietojen tarkkuutta kuvataan vastaavasti keskivirheillä ja ajantasaisuudella.

Sertifioinnin tietotarpeet ovat vielä osin avoinna, koska sertifiointijärjestelmästä ei ole tehty lopullisia päätöksiä. Voidaan kuitenkin olettaa, että seuranta- ja siten tietotarpeet kohdistuvat ainakin metsäkeskus- ja metsänhoitoyhdistystasolle.

Metsänhoidon kestävyyttä voidaan tehokkaimmin seurata aluetasolla. Tämä seikka saattaa omalta osaltaan asettaa uusia vaatimuksia välialuetiedoille. Tarkasteltavalla alueella voi osa metsänomistajista olla sertifiointin ulkopuolella. Siitä huolimatta heidänkin toimenpiteensä voivat vaikuttaa kriteerien täyttymiseen, esimerkiksi metsäsuunnittelun kattavuustavoitteen saavuttamiseen.

Taulukko 1. Metsäsunnittelun tietotarpeet tiedonkäyttäjittäin.

TIEDON-KÄYTTÄJÄ	KÄYTTÖ-TARKOITUS	TARVITTAVAT TIEDOT	TARKKUUS JA LUOTETTAVUUS	AJANTASAISUUS	MUUTA
MAA- JA METSÄ-TALOUS-MINISTERIÖ	<ul style="list-style-type: none"> - metsäpoliittiset päätökset - rahoituksen kohdentaminen - metsien käytön ja kehityksen seuranta 	<p>yhteenvetotietoa mm. hakkuumahdollisuuksista, metsänhoitotyötarpeesta tai tapahtuneista toimenpiteistä</p>	<p>metsäkeskuksen tai koko maan yhteenvetotietoa, paikkaan sidotun tiedon tarve vähäistä, inventointitietoja, niistä johdettuja tietoja tai tilastotietoja</p>	<p>aikasarjatietoja tarvitaan</p>	
METSÄ-KESKUS	<ul style="list-style-type: none"> - alueelliset tavoiteohjelmat ja muu pitkän aikavälin suunnittelu - metsälain soveltaminen ja valvonta - rahoituslain soveltaminen (rahoitus-päätökset, suunnittelu, toteutus ja valvonta) - metsien kestävän käytön ja hoidon edistäminen - erityislaskelmat ja -hankkeet - kunnostusojitus- ja tiesuunnittelu - alueellinen metsäsuunnittelu (kylän elinkeinotoiminnan suunnittelu, maiseman-, riistan- ja luonnonhoitosuunnitelmat, muut aluekohtaiset selvitykset ja hankkeet) - sertifiointikriteerien seuranta 	<ul style="list-style-type: none"> - alueen puuvarat sekä metsien monimuotoisuuden tila ja toimenpidetarpeet - uudistettavissa olevat ja uudistetut kohteet ja metsälain tarkoittamat arvokkaat elinympäristöt, omistajatiedot - rahoituspäätöksiä tukevat tiedot, esim. nuoren metsän hoidon edellytykset ja uudistamisen kantoraharajat - tarpeelliset työt, (esim. poiminta tehdyistä toimenpide-ehdotuksista) - puuston rakenne - puuvarat, olemassa oleva tiestö ja ojasto sekä kasvupaikat, myös tiedot tiloista ja omistajista - puustosta, hakkuumahdollisuuksista ja metsänhoitotyötarpeesta, erityiskohteista: arvokkaat elinympäristöt, eliölajien esiintymispaikat, kaavoitus ja riista 	<ul style="list-style-type: none"> - yhteenvetotietoa - paikkaan sidottua tietoa - kuvio- ja tilatason tiedot - yhteenvetotietoa ja mahdollisesti paikkaan sidottua tietoa - paikkaan sidottua tietoa - paikkaan sidottua tietoa - kattavaa, paikkaan sidottua tietoa 	<p>noin joka 5. vuosi</p> <p>jatkuva</p> <p>jatkuva</p> <p>mahd. usein</p> <p>mahd. usein</p> <p>mahd. usein</p> <p>mahd. usein</p>	<p>saatavuus kohtalainen</p> <p>saatavuus huono</p>
METSÄHOITO-YHDISTYS	<ul style="list-style-type: none"> - puukauppa ja metsänhoidon ja metsätalouden rahoituslain mukaiset työt (hakkuiden ja metsänhoitotöiden kohdentaminen ja operatiivinen päätöksenteko) - metsätalouden edistäminen - sertifiointikriteerien seuranta 	<ul style="list-style-type: none"> - puumäärät, puutavaralajit, hakkuumahdollisuudet, metsänhoitotyötarpeet, metsälain tärkeät elinympäristöt ja muut arvokkaat luontokohteet sekä kestävän metsätalouden rahoituslain mukaiset työt, perusmaastiedot sekä tila- ja omistajatiedot - alueelliset puumäärät puulajeittain ja puutavaralajeittain, hakkuumahdollisuudet puutavaralajeittain, metsänhoitotarve työlajeittain sekä kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisten töiden tarve työlajeittain. 	<ul style="list-style-type: none"> - kuviotietoa (paikkaan sidottua) ja tilatason tietoa toimenpiteiden kohdentamiseksi - yhteenvetotietoa (mhy, kunta, kylä) PTS:a varten 	<p>mahd. usein</p>	

<i>METSÄN-OMISTAJA</i>	<ul style="list-style-type: none"> – toimenpiteiden toteutuksen suunnittelu ja tilan metsätaloutta koskeva operatiivinen päätöksenteko (puukauppa ja metsänhoitotyöt) sekä koko tilan talouden suunnittelu – kestävän metsätalouden rahoituslain tarkoittama toimitasuunnitelma – metsänkäyttöilmoituksen laadinta 	<ul style="list-style-type: none"> – perusmaastiedot (kartta), puumäärät, hakkuumahdollisuudet ja metsänhoitotyöt, lain edellyttämät uudistamism. työt, metsälain arvokkaat elinympäristöt, ennustepuuston kehittymisestä, tavoitteiden mukainen toimenpideohjelma sekä arvio toimenpideohjelman toteuttamisen tuloista ja menoista – kestävän metsätalouden rahoituslain mukaiset kohteet ja rahoitushakemuksessa tarvittavat yleistiedot – omistaja- ja tilatiedot sekä kuviotiedot (pinta-ala, hakkuun tarkoitus, erityisen tärkeät elinympäristöt, uudistushakkuiden yleistiedot) 	<ul style="list-style-type: none"> – kuviotietoa (paikkaan sidottua) ja tilatason yhteenvetotietoja – kuvioittaiset tiedot – kuvioittaiset tiedot 	<ul style="list-style-type: none"> päivitystarve sitä suurempi mitä suurempi tila on mahd. ajantasaista mahd. ajantasaista 	<ul style="list-style-type: none"> tavoitteet (puun- tuotanto, riistä, virkistys, jne.) vaikuttavat tietotarpeisiin
<i>PUUN OSTAJA</i>	<ul style="list-style-type: none"> – puunhankinnan suunnittelu ja puukauppa 	<ul style="list-style-type: none"> – puumäärät puutavara-lajeittain – omistajan yhteystiedot – puun oston rajoitteet (metsälain arvokkaat elinympäristöt, suojele-alueet, suojeleohjelma-alueet, Natura 2000 -alueet) 	<ul style="list-style-type: none"> – paikkaan sidotut tiedot kuvioittain, puusto ositteittain – paikkaan sidotut tiedot 	<ul style="list-style-type: none"> mahd. ajantasaista 	<ul style="list-style-type: none"> yhteen- vetotietoja myös to- dellisista ostomah- dollisuuksista puuta- varala- jeittain
<i>METSÄN- TUKI- MUS</i>	<ul style="list-style-type: none"> – tutkimuskäyttö metsätalostat 	<ul style="list-style-type: none"> – vaihtelee tutkimus- ja tilas- tointitarpeen mukaan 	<ul style="list-style-type: none"> – paikkaan sidottua ja yhteenvetotietoa 	<ul style="list-style-type: none"> mahd. ajantasaista 	
<i>MAA- KUNTA- LIITOT JA KUNNAT</i>	<ul style="list-style-type: none"> – seutu- ja yleis- kaavoitus – puuraaka-aine- selvitykset 	<ul style="list-style-type: none"> – tietotarpeet vaihtelevat – puumäärät, puutavara- lajit 	<ul style="list-style-type: none"> – yhteenvetotietoja kunnasta ja sen eri osista, erilaisin poimintakriteerein tehtyjä laskelmia 	<ul style="list-style-type: none"> mahd. ajantasaista 	
<i>TE-KES- KUKSET</i>	<ul style="list-style-type: none"> – maatilojen rahoitus- päätökset 	<ul style="list-style-type: none"> – puumäärät, hakkuut ja metsänhoitotyöt 	<ul style="list-style-type: none"> – kuvio- ja tilatason tietoja, nykyisen tila- kohtaisen metsä- suunnitelman tarkkuus 	<ul style="list-style-type: none"> mahd. ajantasaista 	
<i>MAA- SEUTU- KESKUK- SET</i>	<ul style="list-style-type: none"> – maatilojen talous- suunnittelun maksu- valmius- ja kannatta- vuuslaskenta 	<ul style="list-style-type: none"> – puumäärät, hakkuut, metsä- hoitotyöt, työmenekit ja metsän arvo 	<ul style="list-style-type: none"> – nykyisen tilakoh- taisen metsäsuunni- telman tarkkuus 	<ul style="list-style-type: none"> mahd. ajantasaista 	
<i>YMPÄ- RISTÖ- HALLINTO</i>	<ul style="list-style-type: none"> – tutkimuskäyttö – kansainvälinen raportointi – suotuisan suojele- tason toteuttami- seen liittyvät toi- menpiteet 	<ul style="list-style-type: none"> – metsä- ja luonnonsuojele- laeissa luettelut arvokkaan elinympäristöt ja muut avainbiotoopit – tiettyjen eliölajien esiinty- mis- ja kasvupaikat – puuston ikätiedot – erityisominaisuustietoja (esim. metson soidinpaikat) 	<ul style="list-style-type: none"> – paikkaan sidottuja ja yhteenvetotietoja (usein valuma- alueittaisia tietoja) 	<ul style="list-style-type: none"> mahd. ajantasaista 	
<i>VEROT- TAJA</i>	<ul style="list-style-type: none"> – perintö- ja lahjave- rotus, metsäsuunni- telman tiedot pyyde- tään metsänomista- jalta tila-arviolaskel- man puuttuessa 	<ul style="list-style-type: none"> – puuston summatiedot tilakoh- taisesta metsäsuunnitelmasta 	<ul style="list-style-type: none"> – nykyisen tilakoh- taisen metsäsuunni- telman tarkkuus 	<ul style="list-style-type: none"> mahd. ajantasaista 	

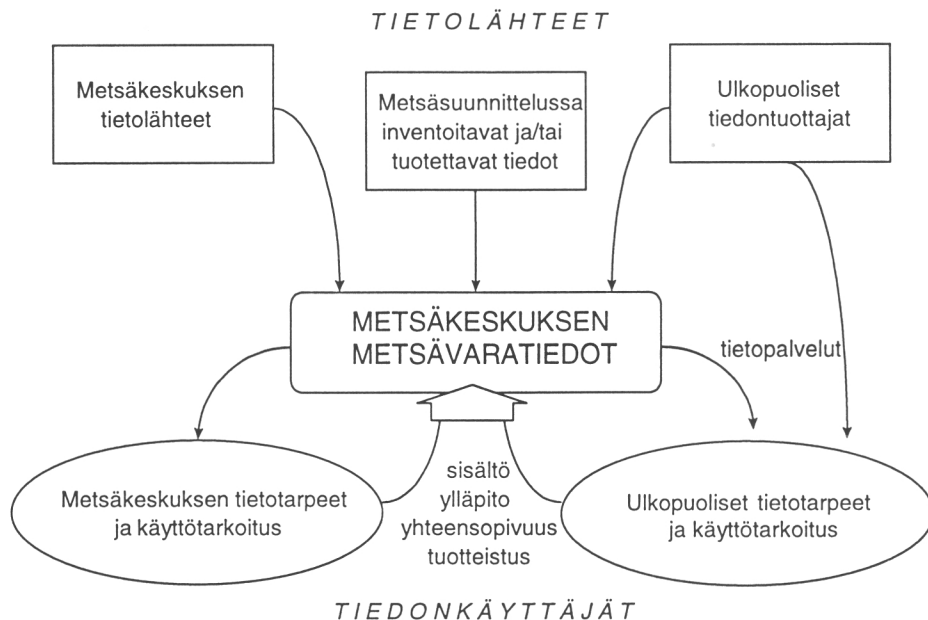
4 METSÄVARATIEDOT

Leena Oksanen-Peltola

4.1 Metsäkeskusten aineistot

Metsäkeskusten metsävaratiedot ovat tärkeä yksityismetsätalouden rakennetieto sekä keskeinen maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalan tietoaineisto. Ne ovat osittain paikkatietoaineistoa. Metsäkeskusten metsävaratietojen tietolähteitä ovat metsäkeskuksessa olevien aiempien inventointien tiedot, metsäsuunnittelussa inventoitavat ja tuotettavat tiedot sekä ulkopuolisten tiedontuottajien tiedot (kuva 4). Metsäkeskusten metsävaratietokanta pyrkii täyttämään sekä metsäkeskuksen omat että asiakkaiden tietotarpeet.

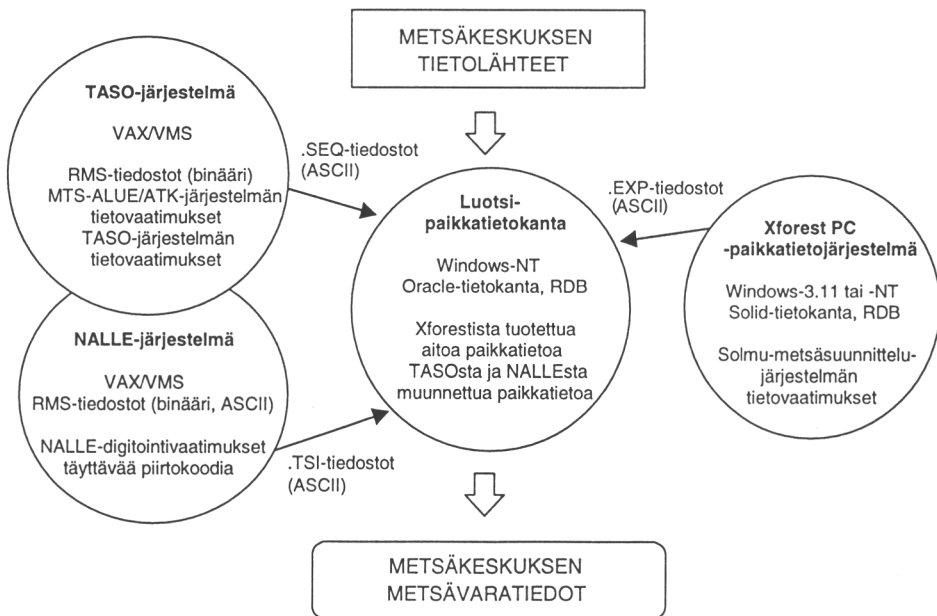
Alueellinen ja tilakohtainen metsäsuunnittelu tuottaa suurimman osan metsäkeskusten metsävaratiedoista. Kaikki metsäsuunnittelussa kertyvät tiedot taltioidaan metsäkeskusten luonnonvaratietokantaan (Luotsi). Luotsi-järjestelmä kokoaa yksittäisten Solmu-metsäsuunnittelun työasemien tiedot yhteen tietokantaan, johon voidaan siirtää myös vanhaa suunnitteluaineistoa TASOsta ja NALLEsta. Luotsissa käytetään aluksi samoilla perusominaisuuksilla varustettua Xforest-paikkatietojärjestelmää kuin metsäsuunnitelman laadinnassa käytettävissä Solmu työasemissa.



Kuva 4. Tietotarpeet ja tietolähteet metsäsuunnittelussa. Metsäkeskuksen metsävaratiedoilla tarkoitetaan luonnonvaratietokannan (Luotsi) tietoja.

Suurin ero TASO/NALLE-järjestelmän ja Solmu-järjestelmän välillä on siinä, että puuston kuvaus Solmuun siirryttäessä on monipuolistunut. Vielä nykyään valtaosa aineistoista on käytöstä poistettavissa TASO- ja NALLE-järjestelmissä vanhoilla VAX-tietokoneilla. TASOssa on kuviotiedot ja NALLEssa karttatiedot. Järjestelmät ovat olleet käytössä 1980-luvun puolivälistä alkaen ja ne ovat muodostuneet tietyntylaiseksi standardiksi ja monet muut järjestelmät hyödyntävät näitä tietoja. Aineistot siirretään tulevina vuosina Luotsi-tietokantaan. Tämä menettely on yhtenevä maa- ja metsätalousministeriön paikkatietostrategiatyön toimenpidesuosituksen kanssa. Sen mukaisesti kaikkien keskeisten aineistojen tulisi olla paikkatietoaineistoja. Samanaikaisesti tietokannan yhteiskäyttöön liittyvät tietosuojakysymykset tulee selvittää.

Yksityismetsätalouden aluesuunnittelussa on jo kertaalleen inventoitu lähes koko maa. Voimassa olevan alueellisen suunnittelun peittävyys on noin 72 % yksityismetsien pinta-alasta. Käytöstä poistuvien suunnittelujärjestelmien aineistosierrot toteutetaan erillisenä projektina samoin kuin Luotsi-järjestelmän kehittäminen alueellisen metsäsuunnittelun toiminnallisuutta vastaavaksi. Luotsiin kertyy koko ajan Solmu-metsäsuunnittelujärjestelmällä (otettu käyttöön 1996) kerättyä aitoa paikkatietoaineistoa. Luotsi-tietokannat otettiin metsäkeskuksissa käyttöön vuodenvaihteessa 1998/1999.



Kuva 5. Metsäkeskusten Luotsi-paikkatietokannan tietolähteet.

Aineistojen siirroilla luodaan hyvät mahdollisuudet käyttää olemassa olevia metsäsuunnittelutietoja metsäkeskusten palvelu- ja viranomaistoiminnassa. Samalla rakennetaan perustaa metsäkeskusten paikkatietoaineistoille. Siirtämällä olemassa olevat tiedot paikkatietokantaan metsäkeskuksilla on mahdollisuus saada edullisesti suhteellisen kattavat paikkatietoaineistot alueensa yksityismetsistä. Siirrettävien aineistojen arvo on noin 400 miljoonaa markkaa eli 25–50 miljoonaa metsäkeskusta kohti. Aineistot ovat käyttökelpoisia etenkin uusintasuunnittelussa (nopeuttavat, alentavat kustannuksia) ja muussa metsäkeskusten toiminnassa. Niitä voivat hyödyntää metsälain puitteissa myös muut organisaatiot, esim. metsänhoitoyhdistykset.

Kuva 5 havainnollistaa Luotsi-paikkatietokannan tietoja. Luotsin Solmu-tiedot ovat Solmu-työasemista Luotsi-tietokantaan palautettua Solmu-metsäsuunnittelujärjestelmän mukaista aitoa paikkatietoa. Xforest PC -paikkatietojärjestelmässä (Solmu-työasema) ja Luotsissa kohteiden sijainti- ja ominaisuustiedot ovat samassa relaatiotietokannassa toisiinsa liittyvinä. Ominaisuustiedot on kerätty maastossa maastolomakkeille tai maastotallentimelle ja sijaintitiedot karttaluonnokselle (ilmakuva). Kerättäviä kohteiden ominaisuutta kuvaavia tunnuksia on vähintään 20 kpl/kuvio (keskimäärin 50–80 kpl/kuvio). Paikkatieto kuvataan pisteinä, viivoina ja kuvioina.

Järjestelmään tallennettuja tietoja ovat omistaja- ja tilatiedot sekä kuviotiedot. Kuvioiden sijaintia ja ominaisuuksia kuvaavat tunnistetiedot, kasvupaikkaa kuvaavat perustiedot, puustotiedot, hakkuu- ja metsänhoitotöiden tiedot, monimuotoisuutta ja muita erityispiirteitä kuvaavat tiedot sekä tekstitiedot. Kaikilta metsä-, kitu- ja joutomaakuvioilta kerätään puustoa kuvaavat tiedot puusto- tai puulajiositteittain.

Ositteittain kerätyistä inventointipuustojen tiedoista laskennassa (puujoukkojen muodostus, MELA) tuotetaan ositteittaiset laskentapuustot. Kokonaan laskennan tuottamia tunnuksia ovat tilavuus (m^3/ha), tukkiosuus (%), käyttöpuuprosentti (%) ja kasvu ($m^3/ha/v$) sekä kertymätiedot. Ositteittaisista laskentapuustoista tuotetaan kuvion laskentapuusto ja ennustepuusto tulevan kehityksen arvioimiseksi. Kuvion ennustepuuston tietoja 10 ja 20 vuoden kuluttua ovat ikä, tilavuus, tukkiosuus, käyttöpuuprosentti, kasvu, hakkuukertymä ja sen tukkiosuus. Kaikki nämä tiedot ovat käytettävissä uusintasuunnittelussa ja jatkolaskelmissa. Luotsista laskennan päivittämät inventointitiedot voidaan siirtää maastotallentimelle, jolloin niitä voidaan käyttää uusintasuunnittelussa tai metsäsuunnitelman päivityksessä.

Solmu-aineiston kattavuus vuoden 1997 lopussa oli noin 400 000 ha (alle 5 % voimassa olevasta suunnittelumäärästä) ja 1999 lopussa arviolta noin 1 100 000 ha (alle 10 % voimassa olevasta suunnittelumäärästä). On mahdotonta arvioida,

kuinka suuri osuus tiedoista on kerätty tarkasti puulajiositteittain ja kuinka suuri osuus epätarkemmin puusto-ositteittain. Tällä on kuitenkin merkitystä tietojen käyttökelpoisuutta ja luotettavuutta arvioitaessa.

Metsäsuunnittelussa käytettävissä olevat resurssit ja työmäärät ovat noin puolet siitä, mitä 10-vuotiskierrolla toteutettava suunnittelu edellyttäisi. Nykyisillä resursseilla ja tiedonkeruumenetellyllä kattavat Solmu-tiedot kertyvät Luotsiin noin 15–20 vuoden kuluessa eli aikaisintaan 5-vuotiskautena 2015–2020. Tämän pitkän siirtymäkauden aikana mahdollisimman laajalta alueelta yksityismetsiä tulisi olla käytettävissä vanhat TASO- ja NALLE-järjestelmien tiedot. Alueilla, joilta olemassa olevia suunnittelutietoja ei ole tai niiden käyttökelpoisuus on huono, monia tietotarpeita on vaikea täyttää.

Luotsin **TASO- ja NALLE-aineistot** koostuvat pääasiassa TASO- ja NALLE-järjestelmien tietovaatimukset täyttävistä aineistoista. TASOon on siirretty järjestelmän käyttöönottoaiheessa vuosina 1987-1988 myös vanhan MTS-ALUE/ATK-järjestelmän tietoja. Näiden tietojen käyttökelpoisuutta ei ole vielä arvioitu, mutta tähän aineistoon tulee suhtautua erittäin kriittisesti.

Toukokuussa 1998 käynnistyneellä ”TASO- ja NALLE-aineistojen siirto Luotsi-tietokantaan” -pilottiprojektilla luotiin menettelytavat ja ohje aineistosirroista. Siten metsäkeskukset saattoivat aloittaa metsäsuunnitteluaineistojen siirrot vuodenvaihteessa 1998/1999. Tavoitteena on siirtää kaikki Solmu-suunnittelussa ja muussa metsäkeskusten toiminnassa hyödynnettävät ja tarpeelliseksi luokitellut aineistot joko siirtotiedostoiksi tai Luotsi-tietokantaan vuoden 1999 loppuun mennessä. Luotsiin siirron jälkeen aineistoja voi käsitellä ns. muunnettuina paikkatietoaineistoina. Siirrettävät tiedot ovat TASOsta ja NALLEsta Xforestin tiedonsiirtorutiineilla Luotsi-tietokantaan siirrettyjä aineistoja. Osasta aineistoa on vain TASO-muotoiset kuvioiden ominaisuustiedot, sillä digitoitujen karttojen tuotanto alkoi koko maan kattavasti vasta 1987. Tietoja kartta-aineistojen kattavuudesta tai käsin piirrettyjen karttojen hyödyntämismahdollisuuksista ei toistaiseksi ole.

TASO-aineiston kattavuus vuoden 1997 lopussa oli noin 14 milj. ha (yli 95 % voimassa olevasta suunnittelumäärästä) ja 1999 lopussa se lienee 12 milj. ha (yli 90 % voimassa olevasta suunnittelumäärästä).

MTS-ALUE/ATK-järjestelmä oli käytössä vuosina 1974–1987. Siitä on TASOon siirretty jonkin verran tietoja. Näitä tietoja ei ole juuri hyödynnetty, koska tuohon aikaan puuston kuvaus oli verraten suppeaa. Maastossa kerättiin vain ikä (vuotta), puulajisuhteet (kymmeninä prosentteina), kuutiomäärä (m³/ha) ja puutavaralajirakenne (kymmeninä prosentteina). Vanhoista tiedoista TASO-laskennassa on kuitenkin voitu tuottaa puuston keskitunnukset.

Ennen kuin päätetään vuotta 1987 aiemmin kerättyjen aineistojen siirrosta TASOsta Luotsiin tulee selvittää: kuinka paljon aineistoja on aikoinaan siirretty TASOon, millaisilla ohjeilla siirrot on tehty, voidaanko käsin piirrettyjä karttoja hyödyntää ja onko suppeilla puustotiedoilla käyttöarvoa. Lisäksi tulee arvioida siirrettyjen aineistojen tarkkuus, käyttökelpoisuus ja elinikä.

4.2 Muut paikkatietoaineistot

Helena Mäkelä

4.2.1 Paikkatietostrategia

Metsäsuunnittelussa pyritään käyttämään hyväksi muiden tiedontuottajien aineistoja. Maa- ja metsätalousministeriö käynnisti vuonna 1998 paikkatietostrategiatyön, jolla yritetään edistää ministeriön hallinnonalan paikkatietoaineistojen yhteiskäyttöä. Paikkatietostrategian tavoitteena on luonnonvaroihin liittyvien tietotarpeiden tyydyttäminen. Tavoitteeseen pyritään kolmelta suunnalta: kehittämällä valtakunnallisia tietoaineistoja, parantamalla vuorovaikutusta yrityssektorin ja viranomaisten välillä sekä tukemalla hallinnonalan tietotuotannon, tietovarantojen ja tietojärjestelmien ylläpitoa ja kehittämistä.

Strategiatyöryhmä kartoitti hallinnonalan paikkatietoaineistoja sekä arvioi niiden laatua ja tarpeellisuutta muille tiedonkäyttäjille. Lisäksi työryhmä esitti suosituksia jatkotoimista aineistojen käytettävyyden parantamiseksi. Suosituksia olivat mm. aineistojen sijaintitarkkuuden ja ajantasaisuuden parantaminen sekä verkkopalvelujen kehittäminen aineistojen saatavuuden helpottamiseksi (Maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalan... 1999).

Tässä luvussa kuvataan muiden tiedontuottajien paikkatietoaineistoja, joita voidaan hyödyntää metsäsuunnittelussa. Kaikkia aineistoja ei saa vielä kattavasti numeerisina tai laadultaan käyttökelpoisina. Taulukossa 2 on yhteenveto metsäsuunnittelussa käyttökelpoisista aineistoista.

4.2.2 Hallinnolliset raja-aineistot

Luonnonsuojelualueet ja luonnonsuojeluohjelma-alueet

Tietoa suojelualueiden rajauksista tarvitaan metsäkeskuksissa alueellisten tavoiteohjelmien laadinnassa sekä alueellisessa ja tilakohtaisessa metsäsuunnittelussa, metsätöiden suunnittelussa ja toteutuksessa sekä valtakunnan metsien inventoinnin tulosten laskennassa.

Numeerinen raja-aineisto sisältää valtioneuvoston hyväksymällä periaatepäätöksellä suojeluun varatut alueet. Luonnonsuojelu- ja suojeluohjelma-alueiden

Taulukko 2. Yhteenvedo metsäsuunnittelussa tarvittavien, metsäkeskusten ulkopuolisten tiedontuottajien aineistoista.

LAITOS	AINEISTO	KUVAUS	TARKKUUS	AJANTASAISUUS	ARVIO / KÄYTTÖ
GTK/Mml	maaperäkartta	numeeriset maalajirajat	1: 10 000 1: 20 000	saatavilla vain Etelä-Suomessa	hyödyllinen
Museo- virasto/ Mml	kiinteät muinaisjäännökset ja muut rauhoitetut kohteet	aluerajat (> 0.1 ha) tai kohteen (< 0.1 ha) koordinaatit	10 m tai parempi	jatkuva päivitys, kattaa 70 % Suomesta	hyödyllinen
Oikeus- hallinto	kiinteistöjen omistajatiedot	VTJ		jatkuva päivitys	käytössä
Kunnat	yleiskaavoitus-tiedot	numeeriset tai painetut yleiskaavakartat		vain osalla kuntia numeerisena	paperiset käytössä
Maakunta- liitot	seutukaavat	numeeriset tai painetut seutukaavakartat	1: 50 000 1: 100 000	vain osalla maakuntaliitoista numeerisena	paperiset käytössä
Metla	metsävara-tiedot	tilastotiedot m-keskuksittain ja kunnittain		päivitys n. 5-7 vuoden välein	aluetasolla käyttö-kelpoinen
"	metsävara-kartat	rasterikartta n. 15 eri teemaa	25m x 25m	päivitys n. 5 vuoden välein	mahdollisesti käyttö-kelpoinen
Mml	ilmakuvat	analoginen tai numeerinen	vaihtelee	tilauksesta	käytössä
"	satelliittikuvat	numeerinen	vaihtelee	jatkuva keilaus	mahdollisesti käyttö-kelpoinen
"	kiinteistötiedot	NKRK → JAKO	1: 10 000 tai parempi	kattaa koko Suomen 1999	käytössä
"	maastotieto-kanta	vektori- ja rasteriaineisto	1: 20 000 1: 10 000	kattaa koko Suomen 2000 (nyt 70%)	–
"	numeerinen peruskartta: pellot, vedet, korkeuskäyrät	vektori- ja rasteriaineisto	1: 20 000	koko Suomi	käytössä
Syke	uhanalais-esiintymät	koordinaatit, sanallinen kuvaus		jatkuva päivitys	toistaiseksi ei saatavilla
"	suojelualueet ja suojelu-ohjelmat	numeerinen raja-aineisto	1: 20 000	valmistunut 1995 jatkuva päivitys	käytössä
"	pohjavesi-alueet	numeerinen raja-aineisto	1: 20 000	valmistunut 1990 jatkuva päivitys	mahdollisesti hyödyllinen
"	valuma-alueet	numeerinen raja-aineisto	1: 50 000	valmistunut 1996 jatkuva päivitys	mahdollisesti hyödyllinen

rajoissa on virheitä ja epätarkkuutta, sillä ne on digitoitu varsin vaihtelevasta kartta-aineistosta. Raja-aineisto on vektorimuotoisena mukana Solmu-järjestelmässä, mutta rajojen epätarkkuus aiheuttaa ongelmia: rajat eivät ole yhteneviä kiinteistörajojen kanssa. Vähitellen suojelualueiden rajauksia on korjattu, mutta tämä tarkistustyö ei ole vielä ajan tasalla.

Seutukaavat

Rakennuslakiin perustuva seutukaava on aluesuunnittelun ja alueiden kehittämisen työväline. Kaavoituksella ohjataan toimivan ja viihtyisän elinympäristön luomista, määritellään rakentamisen painotuksia ja säilytetään ympäristön kulttuuri-, sosiaali- ja luonnonarvoja. Aluesuunnittelu ja alueiden kehittäminen ovat maakuntaliittojen lakisääteisiä tehtäviä. Seutukaavalla varataan alueita tuleviin tarpeisiin, kuten luonnonsuojeluun, retkeilyyn, asumiseen ja teollisuuteen. Maa-alueita ei saa käyttää muuhun kuin kaavan osoittamaan tarkoitukseen.

Useassa maakuntaliitossa on kehitetty paikkatietojärjestelmä aluesuunnittelun paikkatiedon hallintaan, analysointiin ja esittämiseen. Numeeristen menetelmien käyttö mahdollistaa seutukaavojen käytön osana valtakunnallista paikkatietojärjestelmää, esim. seutukaavan käytön metsäkeskusten tietojärjestelmässä. Arvion mukaan kuudella maakuntaliitolla 19:sta seutukaava-aineisto on tällä hetkellä numeerisessa muodossa. Joidenkin maakuntaliittojen seutukaavakartat ovat suorakäytössä internetin kautta. Perinteisesti seutukaavat on esitetty paperikarttoina ja selosteena, jossa esitetään maankäytön varaukset.

Yleis-, asema- ja rakennuskaavat sekä rantakaavat tarkentavat seutukaavaa. Yleiskaava sisältää yleisohjeet yksityiskohtaiselle maankäytön ja rakentamisen suunnittelulle, ja sen laatimisen päävastuu on kunnilla. Yleiskaava sisältää pääperiaatteet kunnan alueen käytöstä asumiseen, elinkeinon harjoittamiseen, virkistystoimintaan sekä liikenteen ja vesihuollon järjestämiseen. Kaupungeissa yleiskaava on pakollinen, muissa kunnissa sen laatiminen on vapaaehtoista.

Yleiskaavoitustietoja tarvitaan metsätalouden alueellisessa sekä tilakohtaisessa suunnittelussa. Kaavassa voidaan mm. rajoittaa metsätalouden toimenpiteitä virkistysarvojen takia, vaikka alue olisikin varattu metsätalouden käyttöön. Esimerkiksi metsäalue voidaan varata ulkoilu- ja virkistyskäyttöön, jolloin alue pyritään säilyttämään luonnontilaisena. Tällöin kaikki muutosta aiheuttavat toimenpiteet, kuten avohakkuu ja rakentaminen, ovat luvanvaraisia. Kaavat ovat kuntakohtaisia, joten käyttövaraukset ja rajoitukset myös vaihtelevat kunnittain.

Vaikka yleiskaava-alueilla avohakkuuta ei suositella tai ne ovat luvanvaraisia, harvennushakkuut ovat yleensä sallittuja. Metsätalouden harjoittamista rajoittaa sen sijaan enemmän kaavan laatimisvaihe, jonka ajan alueen metsät ovat toimen-

pidekiellossa. Yleiskaavan laatiminen varsinkin taajaan asutuilla alueilla on pitkäaikainen prosessi. Kaupunginvaltuuston hyväksymä, ensimmäisen asteen yleiskaava ei vielä anna laillista oikeutta alueiden rakentamiseen, vaan on maankäytöllinen lähtökohta kaupungin asemakaavoitukselle ja muulle suunnittelulle. Ympäristöministeriössä vahvistetun, toisen asteen yleiskaavan perusteella voidaan suoraan myöntää rakennuslupia haja-asutusalueilla tai kieltää esimerkiksi puiden kaataminen tai kallion louhinta luonnonsuojelualueilla. Vahvistettu yleiskaava ohjaa myös muiden viranomaisten toimia.

Osalla kunnista hyväksytyt yleiskaavakartat ovat numeerisessa muodossa kunnan paikkatietojärjestelmässä, ja siten helposti siirrettävissä muiden käyttäjien tietojärjestelmiin. Jotkut kunnat ovat myös julkaisseet yleiskaavakartan internetissä. Sen sijaan tekeillä olevista uusista yleiskaavoista on hankalampi saada tietoa. Kaavoituskohteiden käsittelyvaiheista ja tarkasta sisällöstä saa tietoja alueiden suunnittelijoilta. Useimmista kohteista on myös olemassa kaavaluonnos tai ehdotus, johon voi tutustua kaupungin suunnittelu- ja kaavoitusasioista huolehtivassa toimistossa.

Tällä hetkellä metsäsuunnittelussa käytetään yleiskaavojen paperitulosteita. Seutukaavat ovat suurpiirteisempiä, eikä niillä ole juuri käyttöä tila- ja kuviotason suunnittelussa. Kaavatilanne kirjataan metsäsuunnittelun maastotöiden ennakoivalmistelujen tai maastotöiden yhteydessä joko lohko-, kiinteistö-, palsta- tai kuviokohtaisena 'metsikön käyttötarkoitus' -tietona. Koska kaavamerkinnät vaihtelevat kunnittain, käytössä on seuraava luokittelu: Alueella detaljikaava (ranta-, asema- tai rakennuskaava) tai alue on toimenpidekiellossa detaljikaavan laatimista varten, 1. asteen yleiskaava hyväksytty, 2. tai 3. asteen yleiskaava hyväksytty, yleiskaava laadinnassa.

Kiinteistötiedot

Maanmittauslaitos on kehittänyt JAKO-kiinteistötietojärjestelmän maanmittaus-toimituksiin, kiinteistörekisterin ja kiinteistörekisterikartan ylläpitoon sekä tietopalveluun. Kiinteistörekisteri sisältää kunkin kiinteistön perustiedot kuten tunnuksen, nimen ja pinta-alan. Lisäksi rekisterissä on tietoja kiinteistön tieoikeuksista ja muista rasitteista sekä osuuksista yhteisiin alueisiin. JAKO-järjestelmässä numeerinen kiinteistörekisterikartta (NKRK) on tallennettu jatkuva tietokantana, joten kiinteistörajat eivät enää katkea karttalehtien reunoilla. NKRK valmistuu koko maasta vuoden 1999 loppuun mennessä.

Väestörekisterikeskus pitää yllä tonttikirja- ja maarekisterikiinteistöaineistoa. Omistaja- ja saantotietoja ylläpidetään kiinteistönmuodostus-, lainhuuto- ja perintö- sekä kiinteistön luovutustietojen perusteella. Joidenkin kihlakuntien alueella ylläpidetään lisäksi tietoja määräaloista ja niiden omistajista, saannoista ja

vuokrauksista. Rakennuksellisen kiinteistön tai määräalan sijaintitiedoksi saadaan rakennusten koordinaatit ja osoitteet rakennus- ja huoneistorekisteristä. Henkilörekisterilaki, väestötietolaki ja -asetus asettavat rajoituksia kiinteistörekisterin tietojen käytölle.

Kiinteistöjen omistajatietojen hallinnan ja ylläpidon vastuu on oikeushallinnolla. KiinteistöTieto on internetissä toimiva palvelu, josta saa suorakäyttöön oikeusministeriön ajantasaisia kiinteistötietojärjestelmän asiakirjoja, esimerkiksi lainhuutotietoja. Myös Maanmittauslaitos välittää JAKO-järjestelmästä omistajatietoja, jotka päivitetään Väestörekisterikeskuksen väestötietojärjestelmän (VTJ) tiedoilla.

Kiinteistörajatietoja tarvitaan tilakohtaisen metsäsuunnittelun lisäksi valtion rahoitustuella tehtävien metsätalouden töiden suunnittelussa ja toteutuksessa. Kiinteistörekisteritietoja tarvitaan myös metsäkeskusten tarkastus- ja valvonta-tehtävissä. Metsäkeskusten käyttöön on hankittu koko maasta numeerinen kiinteistörajakartta, joka on mukana Solmu-suunnittelujärjestelmässä. Kiinteistöjen omistajatietoja hallitaan ASTE-järjestelmällä (asiakastietojärjestelmä), jota kehitetään parhaillaan palvelemaan entistä paremmin sitä hyödyntäviä metsäsuunnittelun muita tietojärjestelmiä. Tähän asti omistajatiedot on saatu verohallinnon maatilarekisteristä, mutta jatkossa ne päivitetään mahdollisesti Maanmittauslaitoksen kiinteistötietojärjestelmästä.

4.2.3 Luontokohteet

Uhanalaisesiintymät

Metsäsuunnittelussa sekä metsätöiden suunnittelussa ja toteutuksessa tarvitaan paikkatietoa uhanalaisten lajien esiintymistä, jotta lajien luontainen elinympäristö voidaan säilyttää muuttumattomana ja siten turvata niiden säilyminen. Tieto uhanalaisten lajien esiintymisestä on tarpeellista myös metsäkeskusten alueellisten tavoiteohjelmien laadinnassa. Metsäluonnon monimuotoisuutta kuvataan kirjaamalla ylös tiedot metsikössä havaituista uhanalaisista, alueellisesti uhanalaisista sekä harvinaisista kasvi- ja eläinlajeista.

Suomen ympäristökeskus (Syke) on koonnut tietoja valtakunnallisesti uhanalaisten eläin- ja kasvilajien esiintymisestä sekä havainnoista UHEX-tietokantaan. Sen kokoamiseen ja päivitykseen osallistuvat myös alueelliset ympäristökeskukset, Metsähallituksen puistoalueet ja luonnontieteelliset museot. UHEX-rekisteri ei ole yleisessä käytössä, vaan se on tarkoitettu ensisijaisesti uhanalaisten lajien suojelusta ja hoidosta vastaavien viranomaisten ja maankäytön suunnittelijoiden käyttöön. Ainakaan toistaiseksi metsäkeskukset eivät ole saaneet käyttöönsä UHEX-aineistoa. Sen sijaan luonnontieteellisten museoiden rekistereitä on ko-

keiltu metsäluonnon arvokkaiden elinympäristöjen kartoituksessa. Esimerkiksi Helsingin ja Oulun yliopistoilla on alueellisesti hyvät rekisterit harvinaisten kasvilajien esiintymistä. Mitä vanhemmista havainnoista on kyse, sitä epätarkempia sijaintitiedot kuitenkin ovat. Niiden tarkkuus voi olla vain neliökilometrin tasoa, mikä ei ole riittävä kuviotason metsäsuunnittelussa. Uhanalaisten eläin- ja kasvilajien esiintymistietojen tulisi olla nykyistä laajemmin metsäsuunnittelijoiden käytettävissä, jotta kohteiden säilyminen voitaisiin varmistaa. Luonnontieteellisten museoiden ja alueellisten ympäristökeskusten lisäksi eliöiden esiintymis- ja havaintotietoja saa paikallisilta harrastusjärjestöiltä, kuten esimerkiksi lintuharrastajilta ja erilaisilta luontojärjestöiltä.

Tila- ja kuviotason metsäsuunnittelussa pyritään kartoittamaan metsiköiden monimuotoisuus ja erityispiirteet, jotta ne voitaisiin ottaa huomioon metsätalouden toimenpiteitä suunniteltaessa ja toteutettaessa. Tällaisia erityispiirteitä ovat esimerkiksi hirvien talvilaidunalueet ja kanalintujen soidinalueet.

Tietoa riistanhoitoasioista saa alueellisilta riistanhoitopiireiltä. Joistakin riistanhoitopiireistä on saatavissa karttoja, joihin on rajattu hirvien talvilaidunalueet ja metson ja teeren soidinalueet sekä riistapellot. Kartat ovat yleensä peruskartta-pohjaisia ja niiden tarkkuus vaihtelee. Mikäli riistanhoitopiirillä ei ole riista-alueista karttarajauksia, vastaavaa tietoa saa yleensä suullisesti riistanhoitopiirien yhdyshenkilöiltä.

Kiinteät muinaisjäännökset

Muinaismuistolaki rajoittaa maankäyttöä, ja suojelusäännökset on otettava huomioon maankäytön suunnittelussa. Myös metsäsuunnittelussa ja varsinkin metsätaloustöiden suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon nämä lailla rauhoitetut ja samalla erityistä huomiota vaativat kohteet. Muinaismuistolaki suojaa vain itse kohteen, mutta myös sen lähiympäristö tulisi säilyttää entisellään.

Museovirasto vastaa Suomessa muinaisjäännösten suojelusta ja ylläpitää muinaisjäännösrekisteriä, joka sisältää tiedot esihistoriallisista ja historiallisista rakennuksista ja muinaisjäännöksistä. Paikkatietojärjestelmää tämän rekisterin hallintaan ollaan vasta kehittämässä. Muinaismuistolailalla rauhoitetut kohteet ovat kuitenkin jo numeerisena paikkatietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan suojelukohteissa luokassa rauhoitetut kohteet. Mukana ovat lailla suojeltujen kohteiden lisäksi myös muut rauhoitetut kohteet, joita ovat esimerkiksi yksittäiset puut, puuryhmät, kivet tai muut luonnon muistomerkit.

Metsäkeskuksilla on numeerinen peruskartta-aineisto, jossa on suurin osa muinaismuistolailalla rauhoitetuista kohteista. Tilakohtaisen metsäsuunnittelun ennakovalmisteluissa kulttuuri- ja muinaisjäännöksistä sekä luonnonmuistomerkeistä

pyritään hankkimaan mahdollisimman kattavat tiedot. Niitä tarkennetaan tarpeen mukaan maastoinventoinnin kuluessa. Jos suunnittelualueella esiintyy muinaisjäännöksiä, tarkistetaan edellyttävätkö ne jotain erityiskäsittelyä. Historiallisia kohteita on eniten seuduilla, jotka ovat olleet asuttuina jo pitkään.

4.2.4 Kartta-aineistot

Maanmittauslaitoksen (Mml) rasterimuotoista peruskarttaa käytetään yksityismetsätalouden Solmu-suunnittelujärjestelmän tausta-aineistona. Siinä ovat mukana pellot, vedet ja korkeuskäyrä-elementit. Saatavilla on myös useita muita kartta-aineistoja, joita voitaisiin hyödyntää metsäsuunnittelussa entistä tehokkammin. Tällaisia aineistoja ovat esimerkiksi Suomen ympäristökeskuksen valuma- ja pohjavesialuekartat. Tietoa valuma-alueista tarvitaan lähinnä ojitusten suunnittelussa. Valuma-alueaineisto palvelisi hyvin myös alue-ekologista kokonaisu-suunnittelua. Tiedot pohjavesialueista ovat tarpeellisia alueellisia kokonaisu-suunnitelmia laadittaessa. Toistaiseksi metsäkeskuksissa on käytetty paperisia karttatulosteita; numeerisia valuma- tai pohjavesiaineistoja ei ole vielä testattu.

Maaperäkartta

Maaperätietoa tarvitaan alueellisessa ja tilakohtaisessa metsäsuunnittelussa sekä metsätalouden töiden suunnittelussa ja toteutuksessa. Maalajitiedolla tarkennetaan kasvupaikan ominaisuuksia. Tieto on tarpeellinen esimerkiksi kasvunlaskennassa sekä uudistamismenetelmän, uudistettavan puulajin, maanparannustoimenpiteen ja metsänhoitotöiden valinnassa. Tällä hetkellä metsäsuunnittelun maastotöissä maalajimääritys tehdään maastossa käyttäen apuna Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) ja Maanmittauslaitoksen painettuja maaperäkartoja.

GTK:n maalajin määritys tehdään metrin syvyydestä, kun taas metsäsuunnittelun maastotöissä maalaji määritetään 30 cm:n syvyydeltä. Eri syvyydet aiheuttavat myös selviä eroja maalajimääritykseen. Näin käy varsinkin ohutturpeisilla soilla sekä kallioperäisillä alueilla. Metsätalouden toimenpiteitä ajatellen pintamaan maalaji on kuitenkin oleellinen tieto.

Vaikka pintamaan maalajimääritys tehtäisiinkin maastotöiden yhteydessä, GTK:n maalajikartasta on Pohjois-Savon metsälautakunnan ja GTK:n vuoden 1992 yhteisprojektin, 'Metsäsuunnittelun ja maaperäkartoituksen yhteensovittaminen', perusteella todettu olevan muutakin hyötyä metsätaloudessa: maaperäkartasta saadaan perustieto ojitusten ja vesiensuojelutöiden suunnitteluun sekä tieto soraesiintymistä metsätiesuunnitteluun. Lisäksi maaperätieto on pysyvää tietoa; keran kartoitettua tai hankittua tietoa ei tarvitse ajantasaistaa.

Metsäntutkimuslaitoksen aineistot

Valtakunnan metsien inventointi (VMI) tuottaa tietoa puuston määrästä, laadusta ja kasvusta, maankäyttömuodoista ja metsien omistussuhteista, metsien terveydentilasta ja metsien monimuotoisuudesta. Systemaattiseen otantaan perustuvien maastokoealojen avulla tulokset voidaan laskea luotettavasti suuralueille.

Ensimmäinen VMI toteutettiin vuosina 1921–1924, ja parhaillaan on menossa 9. inventointikierrös. Maastoinventointi etenee tällä hetkellä metsäkeskuksittain noin 7–10 vuoden kierrolla.

Satelliittikuvien ja numeeristen karttojen avulla koealoilta mitatut tiedot voidaan yleistää koko alueelle, ja tulokset voidaan laskea pienalueille, esimerkiksi kunnittain. Tuloksena saadaan numeerinen metsävarakartta, jossa metsätunnuksiin liittyy sijainti. Yhden kuvanalkion (25 m x 25 m) kohdalla esimerkiksi runkotilavuuden virhe voi olla jopa 60 %, mutta tarkkuus paranee pinta-alan kasvaessa. VMI:ssa käytetyllä menetelmällä periaatteessa mitkä tahansa maastokoealoilla mitatut kuviotiedot voidaan laskea jokaiselle kuvanalkiolle. Käytännössä nykyisten satelliittikuvien (Landsat ja SPOT) spektrinen ja spatiaalinen erotuskyky riittää vain joidenkin metsikkötunnusten, esimerkiksi tilavuuden, analysointiin.

Metsäkeskustasolle maastomittauksista lasketut metsävaratiedot, MELA:lla ennustetut tulevat kehitysvaihtoehdot ja hakkuumahdollisuudet sekä satelliittikuva-analyysiin perustuvat kunnittaiset tulokset ovat käyttökelpoisia alueellisessa metsäsuunnittelussa. Sen sijaan tilakohtaiseen suunnitteluun ja varsinkin toimenpitepäätöksiin tarvittaisiin tarkempaa tietoa kuin monilähteinen VMI pystyy tällä hetkellä tuottamaan.

Ilma- ja satelliittikuvat

Metsätalouden suunnittelussa ennen maastoinventointia tehdään ennakkokuvointi ilmakuvalle. Toistaiseksi on käytetty pääasiassa analogisia ilmakuvia, mutta jatkossa numeeristen ilmakuvien käyttö lisääntynee ja korvannee analogiset ilmakuvat. Ilmakuvien käyttö myös muutosten seurannassa tai metsävaratietojen hankinnassa lisääntynee tulevaisuudessa. Ilmakuvilta voidaan esimerkiksi tarkistaa ja korjata vanhan suunnitteluaineiston kuvionrajoja ennen uusia maastomittauksia. Solmu-suunnittelujärjestelmään on mahdollista lukea yleisimpiä kuvatyyppejä, joten digitaalisia ilma- ja satelliittikuvia voidaan käyttää esimerkiksi taustakuvana numeerisen kartta-aineiston tapaan.

Maamittauslaitos tekee Suomessa maastokartta- ja rekisterikarttatuotantoon tarvittavat ilmakuvaukset. Nykyisin tavallisimmat kuvausmittakaavat ovat 1:20 000 ja 1:30 000. Kuvaus tehdään perinteisellä ilmakuvakameralla ja filmi on skannattava, kun halutaan ilmakuvat numeerisessa muodossa. Skannatuista ilma-

vista voidaan tehdä ortokuvia eli poistaa niistä kameran kallistumisesta ja maaston korkeuseroista aiheutuvat vääristymät. Ortokuva vastaa geometrialtaan ja mittakaavaltaan karttaa, joten etäisyydet ja pinta-alat voidaan mitata siltä tarkasti.

Maanmittauslaitoksen satelliittikuvakeskus välittää satelliittikuvia kaikkialta maailmasta. Numeerista kuva-aineistoa myydään sellaisenaan tai asiakkaan haluamalla tavalla esikäsiteltyinä. Tavallisimmat esikäsitellyt ovat kuvatyypin muunnokset, kuvanoikaisut ja kuvamosaiikit.

5 METSÄTIEDON HANKINTAMENETELMÄT

5.1 Maastoinventointi

Helena Mäkelä

5.1.1 Menetelmän valinta

Sekä strategiseen että operatiiviseen metsäsuunnitteluun tarvitaan perustietoa metsien tilasta: pinta-alasta, puuston tilavuudesta, puuston kasvusta, kasvupaikoista, hakkuumahdollisuuksista sekä arvokkaista elinympäristöistä. Metsien inventointiin on kehitetty eri menetelmiä, jotka tässä julkaisussa luokitellaan tiedon keruutavan perusteella maastoinventointiin ja kaukoinventointiin. Inventointimenetelmiä voidaan myös yhdistää, kuten käytännössä yleensä tehdäänkin.

Arviointitulosten käyttötarkoitus vaikuttaa inventointimenetelmän valintaan. Metsäalueen inventointitiedot selvitetään joko koko inventointialuetta koskevana tilastotietoina tai tämän lisäksi tiedot myös paikallistetaan. Koko alueen metsävaratietoja tarvitaan strategiseen metsäsuunnitteluun, esimerkiksi arvioitaessa hakkuumahdollisuuksia tai tehtyjen ja tarvittavien toimenpiteiden määrää. Alueen metsävaratietojen inventointimenetelmänä käytetään useimmiten otantaan perustuvia menetelmiä. Tilakohtaisessa metsäsuunnittelussa tarvitaan tarkkaa, maastoon paikannettua tietoa. Siksi arviointimenetelmänä käytetäänkin yleensä kuvioittaista arviointia.

Inventointimenetelmän valintaan vaikuttavat oleellisesti myös inventointitulosten tarkkuusvaatimukset ja kustannukset. Kun tarkasteltava alue on suuri, aluetta ei voida mitata kokonaan, vaan alueelta poimitaan jollakin otantamenetelmällä otos, joka peittää vain murto-osan koko alueen pinta-alasta. Kuvioittaisella arvioinnilla saadaan myös otantaa luotettavampia ositteittaisia tuloksia, sillä koelainventoinnissa pienille ositteille voi sattua niin vähän koelajoja, että niiden tulokset ovat epäluotettavia (Kilkki 1984). Kuvioittaisella arvioinnilla saadaan koelajarviointia luotettavampia tuloksia, jos koelaverkko on harva. Koelajarvioinnin luotettavuus kuvioittaiseen arviointiin verrattuna paranee, kun koelaverkkoa tihennetään.

5.1.2 Kuvioittainen arviointi

Kuviointi

Kuvioittaisessa arvioinnissa metsäalue jaetaan kuvioihin, joiden tulisi olla sekä inventointi- että toimenpideyksiköitä. Kuvioiden tulisi olla puustoltaan ja kasvupaikaltaan mahdollisimman homogeenisia, jotta inventointitulosten laskenta sekä puustotietojen päivitys kasvumalleilla olisi mahdollisimman luotettavaa. Toimen-

pideyksikkönä kuviolta edellytetään selkeää muotoa ja tiettyä minimikokoa, joka on käytännössä yleensä 0,5 hehtaaria. Kun inventointikuviot ovat myös toimenpideyksiköitä, niin hakkuut eivät aiheuta uusia kuvionrajoja. Myös arviointikustannukset sekä metsätalouden intensiivisyys vaikuttavat kuviointiin: suurten kuvioiden inventointi on tehokkaampaa (ha/h) kuin pienten kuvioiden inventointi. Jos alueella harjoitetaan intensiivistä metsätaloutta, toimenpidekuviot muodostuvat yleensä suuremmiksi kuin alueella, jossa painotetaan puuntuotannon sijasta metsän muita käyttömuotoja (Poso 1997).

Kuvioiden rajausta kartalle tai ilmakuvulle on aina subjektiivista; ei ole yhtä ainoaa oikeaa kuviointia. Useat luontoa kuvaavat tunnuksat muuttuvat vähitellen eivätkä muodosta selviä rajoja. Lisäksi ongelman aiheuttaa kartalle tai ilmakuvulle ennakkokuviointissa piirretyn rajan paikallistaminen maastossa. Itse asiassa toimenpidekuvio muotoutuu operatiivisessa suunnittelussa vasta päätöksenteon ja hakkuuiden tai muiden metsätöiden yhteydessä. Tässä vaiheessa kuvioita voidaan yhdistää tai rajata uudelleen esimerkiksi sen hetkisen puutavaran kysynnän tai työllisyystilanteen mukaan. Toimenpidekuvioiden muuttumiseen alunperin suunnitelluista kuvioista voi vaikuttaa myös se, että päätöksentekijä on eri henkilö kuin suunnitelman laatija (Poso 1983). Kuvioittaisen arvioinnin yhteydessä tulisikin kuvata niin pienipiirteisinä kasvupaikka- ja puustokuvioina kuin mittaus-tilanne sallii, mikä mahdollistaa metsävaratietojen tarkan inventoinnin ja ajan- tasalla pidon sekä myös tarkoituksenmukaisten toimenpidekuvioiden muodostamisen metsätaloustöitä suunniteltaessa (Kilkki 1984).

Kuviointin subjektiivisuuden vuoksi kuvionrajojen oikeellisuutta on myös vaikea tutkia. Ojanen (1978) on selvittänyt ilmakuvulle tehdyn ennakkokuviointin luotettavuutta sekä olosuhteita, joissa virheellisiä kuvionrajoja esiintyy. Ilmakuvulle tehdystä ennakkokuviointin rajoista virheellisiksi osoittautui 34 %. Kun ennakkokuviointin rajat tarkastettiin kuvioittaisen arvioinnin yhteydessä, virheellisiä kuvionrajoja oli edelleen 26 %. Virheellisiä kuvionrajoja oli eniten silloin, kun vierekkäisillä kuvioilla oli sama kasvillisuustyyppi ja sama pääpuulaji, mutta eri kehitysluokka. Merkittäviä virheitä esiintyi eniten arvioijalla, jonka kuviot olivat suuria ja kulku maastossa suurpiirteistä. Toisaalta tarkka arvioija käytti enemmän aikaa sekä pienipiirteisempään ennakkokuviointiin että tarkoin suunnitellun maastoreitin kulkemiseen maastotöiden aikana.

Hyppänen ym. (1996) ovat vertailleet eri menetelmin päivitettyjä päätehakuukuvion rajoja. Rajat oli luokiteltu 10 eri luokkaan sen mukaan, millaiseen kuvioon päätehakuukuvio rajoittui. Maastossa ajantasaistetun kuviokartan kuvionrajojen sijaintivirheet jakautuivat tasaisesti eri suuntiin virheisiin, joiden hajonnat keskiarvosta olivat suuria. Kun päätehakuukuvio rajoittui varttuneeseen metsään, sijaintierot olivat keskimäärin noin 25 metriä. Tilanrajaluokassa sijaintiero oli noin 3 metriä ja muissa rajaluokissa 10–13 metriä. Kun päätehakuukuvioiden

rajaus tehtiin ilmakehille, sijaintierot olivat 4–12 metriä. Varttuneen metsän rajaluokissa sijaintierot olivat noin 10 metriä. Satelliittipaikannuksella (GPS) eri rajaluokissa päästiin 5–8 metrin sijaintieroihin. Satelliittikuvalta rajattujen päte-hakkukuviorajojen sijaintierot olivat 14–19 metriä eri rajaluokissa.

Kuvionrajojen sijaintierot vaikuttivat kuvion pinta-aloihin siten, että suhteellisten pinta-alaerojen itseisarvojen keskiarvo oli maastopäivityksessä 22 %, ilmakehävaihteluksessa 13 %, satelliittikuvarajauksessa 16 % ja GPS-rajauksessa 4 %. Kuvion koon kasvaessa pinta-alojen suhteellinen ero pieni: yli 5 hehtaarin kuviolle vastaavat erot olivat 13 %, 6 %, 9 % ja 4 % (Hyppänen ym. 1996).

Kuvioiden sisäinen vaihtelu

Kuvioinnissa metsikkö pyritään jakamaan puustoltaan ja kasvupaikaltaan mahdollisimman homogeenisiin kuvioihin. Niiden sisällä esiintyy kuitenkin luontaista vaihtelua. Sitä voidaan tutkia mittaamalla metsikkökuvioilla relaskoopikoealoja, joilta lasketaan havaintojen hajonnat eri metsikkötunnuksille. Otosyksikön koko vaikuttaa hajonnan suuruuteen. Mitä pienempiä koealat ovat, sitä suurempi on hajonta.

Myös kuvion koko, tarkasteltava metsikkötunnus sekä kuvioinnin onnistuminen vaikuttavat vaihtelun suuruuteen. Kuvioiden sisäinen hajonta suurenee, kun kuvion pinta-ala kasvaa. Huolellisella ja pikkutarkalla maastokuvioinnilla päästään pienempään keskimääräiseen hajontaan kuin käytännön kuvioinnilla. Ennakkokuvioinnilla on ratkaiseva merkitys kuvioinnin lopputulokseen; kuvioinnin laatua ei maastotyöllä juuri pystytä parantamaan (Poso 1983).

Tutkimusten mukaan puuston keskitilavuuden sisäinen vaihtelu kuviolla oli 25–33 % (40–55 m³/ha) kuvion koosta riippuen (Poso 1983, Laasasenaho & Päivinen 1986, Pussinen 1992). Männiköt olivat hieman tasaisempia kuin kuusikot (Laasasenaho & Päivinen 1986). Myös Pussisen (1992) tutkimuksessa tilavuuden hajonta kuvion sisällä oli suurin nuorissa kuusivaltaisissa kasvatusmetsissä. Puuston pohjapinta-alan vaihtelu kuvion sisällä oli 23–32 % (5–6 m²/ha) ja keskipituuden vaihtelu 11–19 % (2–3 m) (Poso 1983, Laasasenaho & Päivinen 1986, Pussinen 1992). Suomessa täysin tasaisia metsikkökuvioita on harvassa. Kuvioiden kuten myös koealojen sisäinen vaihtelu on siten hyväksyttävä ja otettava huomioon, kun arvioidaan eri inventointimenetelmien luotettavuutta.

Kuviotiedot

Kuvioittainen arviointi on silmävaraista arviointia, jonka tueksi mitataan relaskoopikoealoja. Yksityismetsien suunnittelussa puustotiedot tallennetaan joko

puusto- tai puulajiositteittain: Puuston keskitunnukset (ikä, pohjapinta-ala tai runkoluku, keskiläpimitta ja keskipituus) kuvataan yhtenä puusto-ositteena ja jokaisen puulajin tiedot merkitään osuuksina (puulaji ja osuus puuston pohjapinta-alasta). Vaihtoehtoisesti jokaisen puulajin tai jakson keskitunnukset määritetään omana puusto-ositteena ja puulajiositteena. Jälkimmäisellä tavalla puuston kuvaus on tarkempi, ja tulokset saadaan lasketuksi luotettavammin (Solmu – maastotyöopas, 1996).

Yleensä kuviolta mitataan tarpeellinen määrä (4–8 kpl/kuvio) subjektiivisesti metsikön edustaviin osiin sijoitettuja relaskooppikoealoja, jotta puusto-ositteiden keskitunnukset voidaan arvioida mahdollisimman luotettavasti (Solmu maastotyöopas, 1996). Silmävaraisen arvioinnin luotettavuuteen vaikuttaa arvioijan ammattitaidon lisäksi puuston homogeenisuus sekä apumittausten määrä ja laatu.

Kuviolta mitattavilla tunnuksilla ei pystytä kunnolla arvioimaan puuston laatua, vaan puutavaralajijakauma ennustetaan puuston ulkoisiin mittoihin perustuvilla malleilla ja ennustetta korjataan silmävaraisella tukkivähennyksellä. Kuivaoksaraja on hyvä mäntytukkien laadun ennustaja (Kärkkäinen 1980). Se voidaan mitata tai arvioida koealan keskipuusta pituuden arvioinnin yhteydessä. Silmävaraisessa arvioinnissa päädytään tosin helposti yliarvioon: Kiviluoman ja Uusitalon (1997) tutkimuksessa kuivaoksarajan harha oli 1,05 m ilman ennakkoharjoittelua ja 0,50 m lyhyen koulutuksen jälkeen. Tukkiosuuden laatujaakamaa voitaisiin Rouvisen ym. (1997) mukaan kuvata apteeraamalla relaskooppikoealan puut läpimitan, pituuden ja oksarajatiedon perusteella. Metsikön laatuluokituksen lisääminen metsäsuunnitelmaan lisäisi suunnitelman arvoa puukaupassa.

Kuviotunnusten arviointivirheet

Kuvioittaisen arvioinnin heikkoutena pidetään subjektiivisuutta sekä kuvioinnissa että silmävaraisessa arvioinnissa. Arvioinnin tueksi mitatut relaskooppikoealat sijoitetaan subjektiivisesti, ja lisäksi mitattuihin tunnuksiin sisältyy mittausvirhettä. Myös systemaattisia virheitä voi esiintyä; varovaisuusperiaatteella puuston tilavuus voidaan arvioida alakanttiin, jotta tuleva hakkuukertymä ei alittaisi arviota (Poso 1983). Kuvioittaisen arvioinnin epätarkkuus on osittain myös seurausta nykyisistä tuottavuusvaatimuksista. Jos tavoitteena on arvioida 50 ha päivässä, lisämittauksille ei jää riittävästi aikaa joka kuvioilla.

Arviointivirheellä tarkoitetaan kuvioittaisella arvioinnilla saadun kuviotunnuksen ja esimerkiksi tarkistusinventoinnissa mitatuilta koealoilta lasketun metsikkötunnuksen erotusta. Erotukseen sisältyy varsinaisen arviointivirheen lisäksi relaskooppikoealoista laskettujen keskitunnusten keskivirhe, joka riippuu sekä koealojen määrästä kuvioilla että niiden välisestä hajonnasta. Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuudessa on Poson (1983) mukaan varauduttava noin 10 %

keskivirheeseen koaloista lasketuissa tuloksissa. Toistaiseksi ei ole ollut mahdollista käyttää yksinpuin luvulla koottua tarkistusinventointiaineistoa, johon muilla menetelmillä saatuja arviointituloksia voitaisiin verrata.

Suomessa kuvioittaisen arvioinnin tarkkuutta ovat tutkineet esim. Poso (1983), Suutarla (1985), Laasasenaho & Päivinen (1986) & Pussinen (1992). Näiden tutkimusten perusteella tärkeimpien metsikkötunnusten arvioinnissa on varauduttava noin 15–20 %:n keskivirheeseen (taulukko 3).

Puuston tilavuuden keskivirhe (virheistä lasketun hajonnan osuus keskiarvosta) oli Poson (1983) tutkimuksessa 29–38 % arvioijasta ja tutkimusalueesta riippuen. Muissa tutkimuksissa päästiin tarkempiin tilavuusarvioihin, virheet olivat noin 15 % (Suutarla 1985, Laasasenaho & Päivinen 1986, Pussinen 1992). Lisäksi kuvioitten tilavuusarviot olivat systemaattisesti noin 3 % liian pieniä. Puulajeittaisten tilavuuksien arviointi oli vaikeampaa kuin koko puuston runkotilavuuden arviointi. Pussisen (1992) tutkimuksessa männyn tilavuusarvion virhe oli 42 %, kuusen 28 % ja lehtipuun 68 %. Myös puulajeittaiset harhat olivat suuria, männyn tilavuutta yliarvioitiin ja kuusen ja lehtipuiden tilavuutta aliarvioitiin. Poson (1983) tutkimuksessa pääpuulajin osuuden keskivirhe vaihteli välillä 15–26 %. Laasasenaho & Päivinen (1986) tutkivat metsikön pääpuulajin vaikutusta arvioinnin tarkkuuteen. Sekä maasto- että helikopteri-arvioinnissa männiköt arvioitiin kuusikoita luotettavammin.

Metsikön ikäarvion virhe em. tutkimuksissa oli keskimäärin 17 %. Kuvioittaisessa arvioinnissa nuorten metsiköiden ikä arvioitiin tarkasti, mutta vanhojen metsiköiden ikä yleensä yliarvioitiin (Pussinen 1992). Puuston pohjapinta-alan arviointivirheet olivat noin 16 % (3–4 m²/ha) ja keskipituuden arviointivirheet noin 14 % (2–3 m) (Laasasenaho & Päivinen 1986, Pussinen 1992).

Taulukko 3. Eräiden kuviotunnusten arviointivirheet: kuviotietojen ja tarkistusmittausten erotusten hajonnat (RMSE).

Tutkimus	Ikä RMSE		Tilavuus RMSE		Pohjapinta-ala RMSE		Keskipituus RMSE	
	vuotta	%	m ³ /ha	%	m ² /ha	%	metriä	%
Poso (1983)	12–21	18–29	36–66	29–38				
Suutarla (1985)		14	24	14				
” tiloittain		5–17		11–16				
Laasasenaho ja Päivinen (1986)	12–18	15–27	29–37	15–24	3–4	16–21	2–3	11–17
” helikopteri			43	29	5	24	3	17
Pussinen (1992)	8	14	30	16	3	13	2	11

Poson (1983) tutkimuksessa tarkasteltiin myös luokka-asteikolla määritettyjen kuviotunnusten arvioimistarkkuutta. Veroluokan keskipoikkeama oli lähes yksi luokkaväli (0,9) ja kehitysluokan keskipoikkeama 0,5–0,7 luokkaväliä. Suutarlan (1985) tutkimuksessa kuvioittaisen arvioinnin ja tarkistusinventoinnin perusteella seuraavan 10 vuoden hakkuuehdotuksista oli samoja kaikkiaan 82 %.

5.1.3 Otantaperusteinen koelainventointi

Kuvioittaisen inventoinnin vaihtoehtona ovat koelainventoinnit. Koalojen poimintamenetelmänä voidaan käyttää lähinnä yksinkertaista satunnaisotantaa sekä systemaattista otantaa ositettuna tai rajoittamattomana. Lisäksi koalat voidaan näissä kaikissa tapauksissa mitata yksittäin tai ryvästä. Otantamenetelmien tehokkuutta metsänarvioimisessa ovat tutkineet esimerkiksi Nyysönen ym. (1967) ja Päivinen (1987). Systemaattinen otos antaa yleensä luotettavampia tuloksia kuin satunnaisotos. Ongelmana kuitenkin on, että otantavirheelle ei voida laskea tilastotieteellisesti harhatonta estimaattia, koska otosyksiköt eivät ole toisistaan riippumattomia (Nyysönen ym. 1967). Virhettä arvioitaessa voidaan kuitenkin käyttää satunnaisotannan kaavoja, vaikka ne yleensä johtavat virheen yliarvioon (Nyysönen ym. 1967).

Systemaattisen koelaininventoinnin tulosten luotettavuus riippuu alueen koosta, koalojen määrästä sekä arvioitavien metsikkötunnusten vaihtelusta. Puustoltaan tasaisilla alueilla päästään samaan keskivirheeseen pienemmällä koelamäärällä kuin epätasaisilla alueilla. Koalojen koon suurentaminen ja niiden määrän lisääminen johtaa luotettavampiin metsikkötunnusarvioihin. Tiheän systemaattisen koalaverkon avulla voidaan esimerkiksi selvittää kuvioittaisen arvioinnin luotettavuutta sekä korjata systemaattisia virheitä. Koalaotanta on kuitenkin silmävaraista arviointia hitaampaa ja siten myös kalliimpaa pienillä alueilla. Nyysönen (1954) on tutkimuksessaan esittänyt systemaattisessa otannassa tarvittavat koelamäärät eri kokoisille metsäalueille, kun runkotilavuuden tavoiteltu keskivirhe on 5 % ja alueen keskitilavuus 100 m³/ha. Kun arvioitava pinta-ala on 50 ha, tarvitaan 100 relaskooppikoealaa, 100 ha:lla tarvitaan 120 koelaa, 200 ha:lla 140 ja 1 000 ha:lla 200 koelaa.

Inventointikoalat voivat olla joko pysyviä tai kertakoealoja. Pysyvät koalat ovat kertakoealoja luotettavampia metsän muutosten seurannassa. Pysyvien koalojen mittaaminen on hitaampaa kuin kertakoealojen, sillä koalat paikannetaan ja merkitään maastoon ja lisäksi luettavat puut kartoitetaan, jotta ne voidaan tunnistaa uusintamittauksissa. Poso & Waite (1995) vertasivat kahdeksan erityyppisen pysyvän koalan tehokkuutta metsikön pohjapinta-alan ja pohjapinta-alan muutoksen arvioinnissa. Pohjapinta-alan estimoinnissa tehokkaimmaksi osoitautui relaskooppikoeala, jonka maksimisäde oli 15 m ja relaskoopperroin 1. Pohjapinta-alan muutoksen suhteen paras oli 10 metrin kiinteäsäteinen koala.

Laaja-alaisessa inventoinnissa koealat kannattaa sijoittaa rypäisiin, jotta etäisyys koealalta toiselle ei muodostu liian pitkäksi ja kulkemisen osuus kustannuksista liian suureksi. Päivinen (1987) on tutkinut inventointimenetelmien tehokkuutta maastotyön ajanmenekin ja kolmen yhdistetyn metsikkötunnuksen keskivirheen avulla. Laskennallisessa mallimetsässä tarkasteltiin lohkojen koon ja muodon vaikutusta ajanmenekkiin ja keskivirheeseen. Lisäksi tarkasteltiin koealan koon ja koepuiden määrän vaikutusta inventoinnin tehokkuuteen.

Valtakunnan metsien inventoinnin maastotiedot kerätään koko maan systemaattisesti kattavilta koealoilta, joista osa perustetaan pysyviksi koealoiksi. Koealat on ryhmitelty yhden työpäivän työrupeamiksi, koealarypäiksi. Metsikön rakenne vaikuttaa optimaalisen lohkomuodon ja koealamäärän sekä koealojen välisen etäisyyden valintaan. Esimerkiksi Pohjois-Suomessa, jossa metsikkökuviot ovat laaja-alaisia ja puustoltaan harvoja, riittää harvempi koealaverkko kuin Etelä-Suomessa, jossa metsät ovat pienipiirteisempiä ja runsaspuustoisempia (Tomppo ym. 1998).

Valtakunnan metsien inventoinnin maastotiedoissa tietoja kerätään kuvio-, koeala- ja puutasolla. Metsikkökuvioista, jolle koeala osuu, tallennetaan noin 150 kuviotunnusta: esimerkiksi maaperää, kasvupaikkaa, puustoa, tehtyjä ja ehdotettuja toimenpiteitä, monimuotoisuutta ja puuntuotannon rajoituksia kuvaavia tietoja (Valtakunnan metsien 9. inventointi 1998). VMI-maastoinventoinnin tulokset lasketaan metsäkeskuksittain, ja ne sisältävät tilastotietoa esimerkiksi puuston määrästä ja laadusta sekä metsänhoitotoimenpiteistä omistajaryhmittäin ja puulajeittain. Näitä tietoja käytetään mm. alueellisessa metsätalouden suunnittelussa.

Otantaperusteisessa kaukohavainnoinnissa inventoitava alue ositetaan esim. satelliittikuvilta ja kustakin ositteesta valitaan maastossa mitattavat koealat. Kaksi-vaiheiseen otantaan perustuvaa kaukokartoitusta ovat tutkineet mm. Poso & Kujala (1971), Poso (1972), Mattila (1985), Poso ym. (1987), Poso ym. (1990) ja Poso (1994).

5.2 Kaukohavainnointi

Perttu Anttila

5.2.1 Perusteet

Luku 5.2 pohjautuu osittain Metsän kaukokartoitus -kirjaan (Tokola ym. 1998), jota ei tekijöiden luvalla jatkossa mainita erikseen lähteenä.

Kaukokartoitus perustuu kohteen lähettämän tai heijastaman sähkömagneettisen säteilyn havainnointiin. Passiiviset havainnoitsijat mittaavat yleensä alunperin auringosta peräisin olevan säteilyn intensiteettiä näkyvän valon ja infrapun

aallonpituuksilla. Aktiiviset sensorit eli tutkat taas mittaavat heijastunutta säteilyä, joka on niiden itsensä lähettämää. Tutkat operoivat pääasiassa mikroaalloilla. Heijastuneen säteilyn energian suhdetta saapuvan säteilyn energiaan nimitetään heijastussuhteeksi (Pukkala 1985). Punaisen ja sinisen valon aallonpituuksilla kasvillisuuden heijastussuhteen määräävät lehtien pigmentit kuten klorofylli. Lähi-infrapunan alueella heijastussuhteeseen vaikuttaa eniten lehden rakenne ja pidempiaaltoisen infrapunan sekä mikroaaltojen alueella veden määrä solukossa.

Kaukokuvilta voidaan joko tulkita kiinnostavia tunnuksia suoraan (analogiset ilmakuvat) tai mallittaa niiden riippuvuutta säteilyintensiteetistä. Mallinnukseen on kaksi lähestymistapaa: fysikaalinen ja empiirinen. Ensin mainittu pyrkii mallintamaan säteilyn käyttäytymisen kohteessa ja poistamaan häiriötekijät (esim. ilmakehän vesihöyry). Empiiriset mallit perustuvat havaitun säteilyintensiteetin ja kiinnostavien tunnusten tilastollisen yhteisvaihtelun mallintamiseen. Koska empiirisellä mallinnuksella on saavutettu metsäinventoinnissa huomattavasti parempia tuloksia kuin fysikaalisella, tässä keskitytään lähinnä tilastollisten mallien sovelluksiin.

5.2.2 Optiset satelliittikuvat

Landsat- ja SPOT-satelliitit ovat olleet metsätaloudessa käytetyimmät satelliittikuvälähteet. SPOTin ja Landsatin havaintolaitteet ovat hyvin erilaiset ja molemmilla on omat etunsa ja haittansa. Spatiaalinen erotuskyky on SPOTilla tarkempi kuin Landsatilla: SPOTin tarkkuus kolmella värikanavalla (SPOT XS) on 20 metriä ja pankromaattisen (SPOT Pan) kuvan tarkkuus on 10 metriä. Landsat 5:n MSS-keilaimen erotuskyky on vain 80 metriä ja TM-keilaimen 30 metriä. Molempien satelliittien radiometrinen erotuskyky on yhtä hyvä, mutta toisaalta Landsat 5:n spektrinen erotuskyky on parempi kuin SPOTin. Landsatilla on käytössä seitsemän TM- ja neljä MSS-kanavaa, kun SPOTilla on käytössä vain kolme multispektristä ja yksi pankromaattinen kanava. Hyvän maaston erotuskykyyn lisäksi muita SPOTin etuja Landsatiin nähden on hyvä kuvien havaintotiheys ja stereokuvien ottomahdollisuus.

Satelliittikuvatarjonta on 1990-luvulla kasvanut huomattavasti. Uusia, metsätaloudessa toistaiseksi vähän käytettyjä passiivisia satelliitteja ovat IRS 1-C, RESURS, NOAA, MOS, JERS ja venäläiset analogiset kamerat. Tulevat satelliittiohjelmat lupaavat vielä merkittäviä parannuksia satelliittikuvien ominaisuuksiin ja kuvatarjontaan: sekä valtiollisten että kaupallisten satelliittien määrä tulee lisääntymään. Markkinoiden kasvaessa alalle tulee uusia yrittäjiä, yrityksiä ja valtioita. Viime vuosina mm. Intia ja Japani ovat luoneet uusia satelliittiohjelmia. Jatkossa myös esimerkiksi Kiinalta ja Korealta on odotettavissa omia ohjelmia. Luonnonvarojen kartoitus ja ennen kaikkea seuranta ovat tarpeita, joiden vuoksi on suunniteltu paljon uusia satelliittiohjelmia. Satelliittien suunnittelussa ja lau-

kaisussa esiintyneiden ongelmien vuoksi on kuitenkin jo vuosia odoteltu spatiaalislta erotuskyvyltään muutaman metrin luokkaa olevia satelliittikuvia.

Suomessa satelliittikuvia on käytetty metsänarvioinnissa ja metsätalouden suunnittelussa ennen kaikkea valtakunnan metsien inventoinneissa (VMI). Uuden teknologian hyödyntämistä on toistaiseksi vaikeuttanut saatavien tietojen karkeus perinteisillä maastoinventoinneilla saatavaan tietoon verrattuna. Laajojen alueiden inventointi- ja seurantajärjestelmiin kaukokartoitusmenetelmät kuitenkin tuovat uusia mahdollisuuksia ja satelliittien erotuskyky paranee koko ajan. Erotuskyvyn paraneminen tosin asettaa uusia haasteita kuvien hyödyntämiselle metsätaloudessa. Tarkka erotuskyky edellyttää ehkä nykyistä tarkempaa tai perinteisestä kuvio/koeala asetelmasta poikkeavaa maastoaineistoa. Toisaalta erotuskyvyn kasvu pienentää kuva-alaa, jolloin useita kuvia saattaa olla tarpeen kalibroida radiometrisesti vertailukelpoiseksi kattavan maastoaineiston kokoamiseksi. Toinen vaihtoehto on nykyistä parempien fysikaalisten mallien käyttöön saaminen. Toistaiseksi lupaavimmat tulokset on kuitenkin saatu empiirisellä lähestymistavalla. Pohjoismaissa sovellettujen tulkintamenetelmien kokemukset ovat olleet rohkaisevia ja antavat aihetta jatkotutkimuksiin (Poso 1972, Tokola 1990, Tomppo 1990). Satelliittikuvat mahdollistavat VMI:n koeala-aineiston hyväksikäytön tavallista maastoinventointia (metsäkeskus) pienempien osaluoiden (esim. kunta ja tila) tulosten laskennassa (Kilkki & Päivinen 1987, Tomppo ym. 1998).

Temaattinen kartoitus

Metsävarojen inventoinnissa satelliittikuvia on yleisimmin käytetty eri maankäyttölajien ja karkeiden puustoluokkien määrittämiseen. Joka pikselille määritetään tulkinnassa luokka, johon pikseli kuuluu. Tällaista luokittelua kutsutaan temaattiseksi kartoitukseksi. Menetelmänä useimmiten on käytetty ohjattua, maastotietoon perustuvaa, tulkintaa tai mahdollisesti tukialueiden valinnassa on hyödynnetty ohjaamattoman luokituksen tuloksia. Koska metsävarojen inventoinnin ensimmäisenä vaiheena on metsien sijainnin määrittäminen, maankäyttöluokituksella on merkittävä osuus metsäninventoinnissa.

Jaakkola ym. (1988) ovat selvittäneet yhteispohjoismaisessa tutkimuksessa satelliittikuvien käyttömahdollisuuksia metsävarojen inventoinnissa. Norjassa ja Ruotsissa tutkittiin mm. Landsat TM -kuvien käyttökelpoisuutta maankäyttölajien ja puuston luokituksessa. Norjalaisten tutkimuksessa TM-kuvalle määritettiin 70 tukialuetta, joiden avulla päädyttiin kuuteen luokkaan (mänty, kuusi, taimikko, suo, vesi ja muu maa). Luokituksen kokonaistarkkuus oli 82 % ja suhteellinen virhe 18 %.

Satelliittikuvatulkinnalla on saatu aikaan hyviä tuloksia metsien veroluokituksessa. Satelliittikuviin perustuvia kasvupaikkaluokitusmenetelmiä ovat kehittäneet Häme & Saukkola (1982), Tomppo & Härkönen (1989) sekä Tomppo (1992). Maastossa tapahtuvaan veroluokitukseen verrattuna satelliittikuvaluokitus oli lähes yhtä tarkka, mutta kustannussäästöt olivat jopa 60 %.

Puustotulkinta

Satelliittikuvatulkinnan käyttökelpoisuus puustotunnusten estimoinnissa on ollut myös vilkkaan tutkimuksen kohteena. Empiirisiin menetelmiin perustuvan tulkinnan tekninen toteutus voidaan jakaa esimerkiksi ositteluperusteiseen ja regressioanalyttiseen lähestymistapaan. Regressioanalyysi perustuu lähinnä muuttujakohtaiseen analysointiin ja osituksella voidaan yhtäaikaan tulkita useampaa muuttujaa. Ositus voidaan edelleen jakaa ohjaamattomaan ja ohjattuun luokitteluun. Ohjaamattomassa luokittelussa kuva luokitellaan siitä erottuvien piirreluokkien perusteella välittämättä siitä, mitä luokat todellisuudessa sisältävät. Ohjatussa luokittelussa taas luokat rajataan kuvan alueilta, joiden maastosisältö tunnetaan. Näitä alueita kutsutaan tukialueiksi. Yhdistämällä ohjattu ja ohjaamaton luokittelu saadaan yleensä parempi tulos kuin käyttämällä vain toista tekniikkaa.

Jos inventoitavalta alueelta on käytössä ennakkotietämystä, sitä voidaan käyttää tulkinnassa. Satelliittikuvatulkinnan luotettavuutta voidaan parantaa ulkopuolisella paikkaan sidotulla informaatiolla, kuten esimerkiksi digitaalisella kartta-aineistolla maaperän geometriasta, topologiasta, kasvillisuudesta tai geologiasta. Paikkatietojärjestelmien kehitys ja laitteistokapasiteetin voimakas kasvu ovat mahdollistaneet laajojenkin maasto- ja kaukokartoitusaineistojen yhdistämisen ja erilaisten monilähdeaineistoon perustuvien menetelmien kehittämisen, joilla pyritään entistä luotettavampiin puustotunnusten estimaatteihin yhä pienemmillä inventointialueilla.

Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa kehitettiin satelliittikuvatulkintaan perustuvaa regressioanalyysisovellusta metsän kuvioittaiseen arviointiin (Häme ja Tomppo 1986, Tomppo 1986, Häme ym. 1988). Satelliittiaineistona käytettiin Landsat TM -kuvaa sekä SPOTin kolmikanavakuvaa, joista TM-kuva osoittautui käyttökelpoisemmaksi. Inventoitava alue segmentoitiin sävyarvoiltaan homogeenisiin kuvioihin. VMI-koealojen avulla laadittiin regressiomallit, joilla estimoitiin kuvioittaiset jatkuvat metsikkötunnukset. Puuston runkotilavuusmallin selitysaste oli 0,46. Menetelmällä inventoitiin noin 950 ha:n testialue ja saatuja tuloksia verrattiin alueen kuvioittaiseen arviointiin. Kuvioittainen runkotilavuuden keskivirhe oli tällöin $67 \text{ m}^3/\text{ha}$. Kasvupaikkojen tulkinnassa logistisella regressioanalyysillä luokiteltiin oikein 72 % pikseleistä ja erotteluanalyysillä 60 %.

Ruotsissa vastaavanlaisissa tutkimuksissa on päästy parempiin tuloksiin: Ardö (1992) sai tilavuuden keskivirheeksi 47 m³/ha.

Teknillisessä korkeakoulussa on vertailtu eri kaukokartoitusaineistojen sopivuutta metsäinventointiin (Hyyppä 1997). Satelliittiaineistoista mukana olivat SPOT XS -, SPOT Pan - ja Landsat TM -kuvat. Aineistoista lasketuilla piirre-vektoreilla selitettiin regressiomalleissa puuston pituutta, pohjapinta-alaa ja tilavuutta. Saatuja estimaatteja verrattiin tarkistetun kuvioittaisen arvioinnin tuloksiin, jolloin keskivirheeksi muodostui pituudelle 6,1 m, pohjapinta-alalle 7,2 m²/ha ja tilavuudelle 91 m³/ha SPOT XS -aineistolla. SPOT Pan -aineistolla pituuden estimoinnin tarkkuus oli 5,8 m, pohjapinta-alan 6,5 m²/ha ja tilavuuden 82 m³/ha. Landsat TM -kuvilla keskivirheet olivat pituudelle 5,5 m, pohjapinta-alalle 7,0 m²/ha ja tilavuudelle 90 m³/ha. Keskivirheet olivat tutkimuksessa kautta linjan suuria. Tuloksissa onkin huomattava ennen kaikkea kaukokartoitusmenetelmien keskinäinen paremmuusjärjestys, joka selviää taulukosta 4. Taulukkoon on koottu eri lähteistä saatuja tuloksia kuvioittaisen tilavuuden arvioinnissa.

Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksessa on käytetty satelliittikuvia hyödyntävää, kaksivaiheiseen otantaan perustuvaa inventointimenetelmää. Estimointimenetelmässä hyödynnetään sekä ohjaamatonta että ohjattua tulkintaa. Aluksi tehdään ennakkokuviointi esim. ilmakuvalta. Kuvioinnin päälle sijoitetaan ensimmäisen vaiheen otosyksiköt. Ensimmäisen vaiheen otosyksiköihin liitetään ositusta varten satelliittikuvalta saatavat sävyarvot. Otosyksikkökohtaiset sävyarvotiedot lasketaan 1–4 lähimmän kuvaelementin sävyarvojen kanavittaisina keskiarvoina riippuen otosyksikön ja kuvaelementin välisestä etäisyydestä. Kuviorajalle sattuvat otosyksiköt karsitaan tässä vaiheessa pois. Kuviotietojen perusteella jokaiseen ensimmäisen vaiheen otosyksikköön liitetään tieto kuvioityypistä. Toisessa vaiheessa jokaisesta ositteesta valitaan mitattavat koalat esim. suhteellisella kiintiöinnillä. Sävyarvoperusteinen ositus suoritetaan jokaiselle metsämaan kuvioityypin otosyksikköjoukkoerikseen. Jokaisesta ositteesta mitataan vähintään viisi otosyksikköä maastossa. Mitatut koalatiedot siirretään muille saman ositteen ensimmäisen vaiheen otosyksiköille, jonka jälkeen voidaan laskea esim. kuvioittaiset metsätunnukset. Toisen vaiheen koaloina voidaan käyttää myös muiden inventointien yhteydessä mitattua maastoaineistoa.

Edellä kuvattua estimointimenetelmää on sovellettu Landsat 3 MSS -aineistossa (Poso ym. 1984) ja Landsat 5 TM -aineistossa (Poso ym. 1987) kuvioittaisten metsikkötunnusten arviointiin. Ongelmallisina tutkimuksissa pidettiin maastokoalojen paikallistamista, kuvioiden rajapikseleiden tulkintaa ja pinta-alaltaan pieniä kuvioita. Poson ym. (1984) tutkimuksessa estimoidun ja todellisen keskiarvon ero oli iällä –15 – +23 prosenttia ja tilavuudella –46 – +37 prosenttia. TM-aineistolla iän suhteelliset keskivirheet vaihtelivat 27–38 % ja keskitilavuuden 27–55 %, tutkimusalueesta ja hyväksyttävien kuvioiden koosta riippuen

Taulukko 4. Puuston kuvioittaisen tilavuuden arviointi kaukohavainnoinnilla.

AINEIS- TON TYYPPI	AINEIS- TON NIMI	TUTKIMUS	MENE- TEL- MÄN KU- VAUS	RMSE m ³ /ha (%)	UUSI INVEN- TOINTI / UUDET KUVAT; ARVIO
Maasto- mittaukset		Poso 1983	Kuvioit- tainen arviointi	36–66 (29–33)	10–20 vuotta
"		Pussinen 1992	"	31 (16)	"
"		Ståhl 1992	"	– (14)	"
"		Tokola & Heikkilä 1997	"	– (16)	"
"		Hyypä 1997	"	78 (45)	"
"		Metsä- suunnittelun kokonais- selvitys 1997	"	– –	10–20 vuotta; Kallis
Satelliitti- kuvat	Landsat TM	Tokola 1990	2- vaihei- nen otanta	74 –	Joka 16. päivä (jos pilvetöntä)
"	"	Pussinen 1992	Regressio	84–77 (44–68)	"
"	"	Ståhl 1992	"	– (26)	"
"	"	Kilpeläinen 1996	Knn	64–70 (56–62)	"
"	"	Hyypä 1997	Regressio	90 (52)	"
"	SPOT XS	"	"	91 (53)	Joka toinen päivä (jos pilvetöntä)
"	SPOT Pan	"	"	82 (48)	"
"	SPOT Pan & ERS koher.	"	"	76 (44)	Paras aineisto lajojen alueiden inventointiin
"	ERS PRI	Tomppo ym. 1996	Inversio	87 –	16–18 päivän välein; Muutosten seurannassa käyt- tökelpoinen
"	"	Hyypä 1997	Regressio	100 (58)	16–18 päivän välein
"	ERS koher.	"	"	90 (52)	"
"	JERS PRI	"	"	98 (57)	44 päivän välein

AINEIS- TON TYYPPI	AINEIS- TON NIMI	TUTKIMUS	MENE- TEL- MÄN KU- VAUS	RMSE m ³ /ha (%)	UUSI INVENTOINTI / UUDET KUVAT; ARVIO
VMI	Landsat TM & maasto- mittaukset	Hyypä 1997	Knn	99 (58)	> 5 vuotta
Analogiset ilmakuvat	Mv pankrom. mv infra 1:10 000 1:15 000	Nyysönen 1955	Visuaa- linen, metsikkö- kohtainen tulkinta	– (28)	Kuvausolojen salliessa
"	Mv pankrom. 1:30 000	Nyysönen ym. 1968	"	– (33)	"
"	Mv pankrom. mv infra 1:30 000	Poso 1983	"	74 (54)	"
"	"	Åge 1983	"	30 –	"
"	"	Ståhl 1992	"	– (14)	"
"	Väri-infra 1:10 000	Pussinen 1992	"	56–49 (30–42)	"
Numeeriset ilmakuvat	Väri-infra 1:20 000	Hyypä 1997	Regressio	78 (45)	Kuvausolojen salliessa
"	Väri-infra 1:60 000 / väri pan- krom. 1:30 000	Holmgren ym. 1997	"	– (13)	"
Profiloiva tutka	HUTSCAT	Hyypä 1993	Regressio	31 (27)	Tarvittaessa
"	HUTSCAT	Hyypä 1997	Regressio	70 (40)	"
Spektro- metrit	AISA	Hyypä 1997	"	79 (46)	Kuvausolojen salliessa; Hyvä spatiaalinen ja spektrin erotus- kyky
"	AISA	Metsävarojen inventointi... 1997	Knn	42–49 (30–42)	Kuvausolojen salliessa
Videokuvat	Enso- MOSAIC väri pan- krom. / väri- infra	Holm ym. 1997	Visuaa- linen / numeerin- en tulkinta	– –	Tarvittaessa; Edullinen, nopea

(Poso ym. 1987). Ongelmana on, että menetelmän kustannustehokkuudesta ei ole olemassa perusteellista tietoa.

Kilkki & Päivinen (1987) esittelivät referenssikoealamenetelmän suuralueittaisen inventointitulosten laskemiseksi. Referenssikoealamenetelmä perustuu satelliittikuvan sävyarvoihin sekä inventoitavaa aluetta suuremman referenssialueen koealatietoihin. Menetelmä edellyttää samalta ajalta olevia satelliitti- ja maastokoealahavaintoja. Maastokoealat paikallistetaan satelliittikuvalle, jolloin saadaan kullekin koealalle sitä vastaavat sävyarvotiedot. Satelliittikuvan sävyarvoilla ja erityisellä etäisyysfunktiolla haetaan inventoitavan alueen pikseleille sävyarvoita lähimmät maastokoealatiedot tai niiden yhdistelmät. Koko satelliittikuva on kuitenkin liian suuri referenssialueeksi, sillä olot yhden kuvan alueella voivat vaihdella paljonkin. Tokola (1998) totesi, että Itä-Suomessa referenssikoealoja ei kannata hakea 20 kilometriä kauempaa. Referenssikoealoja tarvitaan 10–15 kpl (Tokola ym. 1996). Referenssikoealamenetelmässä maastokoealatiedot yleistetään inventoitavalle alueelle satelliittikuvan sävyarvojen ja etäisyysfunktion avulla. Inventoitavan alueen pikseleille haetaan sävyarvojen perusteella niitä parhaiten vastaavat maastokoealat tai maastokoealojen yhdistelmät. Menetelmällä voidaan estimoida samanaikaisesti kaikki ne muuttujat, jotka maastokoealalta on mitattu. Menetelmän etuna on, että se säilyttää estimoitavien muuttujien väliset luonnolliset suhteet ja pystyy painottamalla tuottamaan tuloksia koko maastokoealojen kattamalle vaihteluvälille.

Menetelmässä saadaan jokaiselle käytössä olevalle maastokoealalle sen edustama pinta-ala inventoitavalla alueella, joten inventointitulosten laskenta on mahdollista myös koealakohtaisilla pikselifrekvensseillä ja maastomittauksilla. Tällöin inventointitulokset ovat käyttökelpoisessa muodossa nykyisiä suunnitteluohjelmistoja ajatellen (Tokola 1990, Tokola ym. 1996). Tomppo (1990, 1993) esitteli Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyn monilähdeaineistoon perustuvan inventointimenetelmän, jota käytetään nykyisin valtakunnan metsien inventoinnissa. Menetelmän puuston arviointi perustuu samoihin periaatteisiin kuin Kilkin ja Päivisen (1987) esittämä referenssikoealamenetelmä. VMI-tulkintaa kehitetään jatkuvasti ja tuloksia saadaan yhä pienemmille osa-alueille. Viimeisimmässä VMI8:n päivitysinventoinnissa ja 9. inventoinnissa laskentayksikkönä on kunta (Tomppo ym. 1998). Kuntatasolla lähes kaikki tulokset olivat luotettavia koko maassa. Tärkeimpien tunnusten estimaatit olivat riittävän luotettavia yli 50 ha:n suuruisille alueille. Satelliittikuva-aineistona monilähdeinventoinnissa on käytetty pääasiassa Landsat TM -kuvia, mutta myös SPOT XS -sensorin kuvia on hyödynnetty. Kuvioittaiseen arviointiin käytettyjen kuvien pikselikoko on liian suuri. Pikselitasolla puuston keskitalavuuden keskivirhe on 50–75 %. Menetelmällä muodostettuja puustotietokarttoja käytetään jo nyt puutavaran oston suuntaamisessa.

Pussinen (1992) selvitti ilmakuvien ja Landsat TM -kuvan käyttöä metsäsuunnittelun välialueiden kuvioittaisessa arvioinnissa. Satelliittikuvatulkinnassa käytettiin ennakkoinformaationa tutkimusalueen metsäsuunnittelun kuviointia. Tukialueina käytettiin metsäsuunnitelman tilanneiden naapuritilojen kuvioittaisia metsikkötunnuksia ja sävyarvoja, joilla laadittiin regressiomallit inventoitavan alueen kuvioittaisten tunnusten estimointiin. Tutkimusalueen kuvioittaiseen arviointiin verrattuna kokonaistilavuuden kuviokohtainen keskivirhe oli $77 \text{ m}^3/\text{ha}$ ja harha $-11 \text{ m}^3/\text{ha}$. Päivinen ym. (1993) laskivat kuvioittaiset puustotunnusestimaatit samalle tutkimusalueelle nykyisellä valtakunnan metsien inventointimenetelmällä (ks. Tomppo 1993). Kokonaistilavuuden kuviokohtainen keskivirhe oli tällöin $90 \text{ m}^3/\text{ha}$ ja harha $-13 \text{ m}^3/\text{ha}$ verrattuna inventointialueen kuvioittaiseen arviointiin. TM-kuvan spatiaalisesta erotuskyvystä johtuen molempien menetelmien estimointitarkkuus oli paljolti riippuvainen kuvion koosta ja voimakas negatiivinen harha johtui pääasiassa menetelmien keskiarvoistamisesta.

Aikaisemmissa tutkimuksissa satelliittikuva-arvioinnin luotettavuutta on tarkasteltu pääasiassa kuvio- tai inventointialuekohtaisesti, joten pinta-alan vaikutusta puustotunnusestimaatien tarkkuuteen on selvitetty varsin vähän. Tokolan ja Heikkilän (1995, 1997) tutkimuksissa käytetty empiriseen aineistoon perustuva varianssin estimointimenetelmä mahdollistaa pinta-alan suhteen jatkuvan keskivirhekyvän estimoinnin. Puulajeittaisten tilavuusestimaatien satelliittikuva-arvioinnin tarkkuus ei näyttäisi riittävän tilatasolle, varsinkin jos on kyseessä yksipuolinen aineisto, kuten tässä tutkimuksessa. Kuusen tilavuusestimaatit olivat odotetusti parempia kuin muiden puulajien, mutta 14,5 % keskivirheeseen päästiin kuitenkin vasta 150 ha:n inventointialueella. Männyn ja lehtipuun tilavuusestimaatien keskivirheet olivat vielä 300 ha:n inventointialueellakin 33,6 % ja 21,9 %. Tämä johtui pääasiassa tutkimusaineiston kuusivaltaisuudesta, sillä vähäinen määrä mäntyä ja lehtipuuta sekoittui tulkinnessa hallitsevan kuusikon kanssa.

5.2.3 Ilmakuvat

Analogiset ilmakuvat

Ilmakuvauksia on Suomessa tehty 1920-luvulta alkaen. Nykyisin metsätalouden tarkoituksiin käytetään pääasiassa väri-infrakuvia ja kuvausmittakaava on yleensä 1:20 000. Kuva valotetaan filmille, josta valmistetaan erilaisia ilmakuvatuotteita kuten pinnakkaisia (negatiivista suurentamatta otettu paperikopio), suurennoksia ja digitaalisia kuvia.

Ilmakuvien käyttö metsän inventoinnissa Suomessa on perinteisesti ollut lähinnä visuaalista ennakkokuviointia analogisilla ilmakuvilla. Siinä kuviot rajataan stereoskoopilla mahdollisimman tarkasti ilmakuville ja rajausta tarkistetaan maastokäynnillä. Varsinaista kuvien mittausta ei ole juurikaan hyödynnetty metsän

inventoinnissa. Ilmakuvien tulkintamenetelmät jakautuvat visuaaliseen ja numeeriseen tulkintaan. Numeerisia kuvia voidaan tulkita sekä visuaalisesti että numeerisesti, mutta analogisia vain visuaalisesti. Visuaaliseen tulkintaan liittyy aina suuri systemaattisen virheen riski, eli että mittaaja järjestelmällisesti arvioi tunnukset virheellisesti. Maastomittauksiin verrattuna subjektiiviset päätökset vaikuttavat ilmakuvamittauksiin huomattavasti enemmän kokoneillakin tulkitsijoilla. Metsikkötunnusten tulkintatulokset riippuvat jopa enemmän tulkitsijasta kuin mittakaavasta tai filmilaadusta (Poso ym. 1968). Maastokäynti tulkittavalle alueelle tai ennakkotieto alueen ominaisuuksista parantavat tulkintatuloksia. Visuaalisen tulkinnan apuvälineistä yksinkertaisin on stereoskooppi. Jos stereoskooppiin yhdistetään parallaksitanko, voidaan mitata puiden pituuksia. Normaalisti kartoitukseen käytettäviä stereomittalaitteita voidaan käyttää myös metsän ja puiden tulkintaan ja mittaukseen. Kehittyneitä tekniikkaa edustavat analyyttinen stereotyöasema analogisten ilmakuvien tulkintaan ja numeerinen stereotyöasema numeerisille kuville. Stereotyöaseman mittaustarkkuus on suuri ja tulokset saadaan numeerisessa muodossa.

Visuaalinen kuvatulkinna voi olla metsikkökohtaista tai otantaperusteista. Metsikkökohtaisessa tulkinnassa kuvio rajataan ilmakuvulta, minkä jälkeen kuvulta tulkitaan metsikkötunnuksia kuten keskipituus tai latvuspeitto. Otantaperusteisessa inventoinnissa kuvilta tulkitaan suuri määrä ensimmäisen vaiheen otosyksiköjä (koealoja), joista osa mitataan maastossa. Tulkittavat tunnukset voivat olla metsikkö- tai puutunnuksia. Puukohtaisen tulkinnan etuja ovat koealalta saatava runkolukusarja sekä maastomittauksin hankalasti selvitettävä, mutta kasvun ja poistuman kannalta mielenkiintoinen metsikön tilajärjestys. Puuston tilavuus pinta-alayksikköä kohti saadaan summaamalla yksittäisten puiden tilavuudet ja jakamalla summa koealan pinta-alalla. Puiden tilavuudet ennustetaan ilmakuvilta mitatuilla tunnuksilla. Lähinnä tulevat kyseeseen puun pituus, latvusläpimitta ja latvusala sekä niiden muunnokset ja kombinaatiot.

Suomessa metsikkökohtaisten tunnusten tulkintaa analogisilta ilmakuvilta ovat tehneet mm. Nyysönen (1955), Nyysönen ym. (1968) ja Poso (1983). Kuvioitasolla tilavuuden keskivirhe oli kahdessa ensin mainitussa tutkimuksessa noin 30 % ja kolmannessa 54 %. Pussinen (1992) sai tilavuuden kuviokohtaiseksi keskivirheeksi 30 %, kun ilmakuvulta tulkittua tilavuutta verrattiin tarkistetun kuvioittaisen arvioinnin tilavuuteen. Puuston iän, pohjapinta-alan, keskipituuden ja -läpimitan keskivirheet olivat välillä 20–40 %. Alaryhmä määritettiin oikein 92 %:lla kuvioista, ravinteisuus 61 %:lla, kehitysluokka 59 %:lla ja pääpuulaji 72 %:lla. Tulkitut kuviot olivat välialueilla ja viereisten tilojen kuviotunnukset olivat tiedossa. 1:10 000-mittakaavaiset väärävärivärit tulkittiin visuaalisesti pöytästereoskoopilla käyttäen mallialoina naapuritilojen kuvioita, jolloin 270 kuvion tulkintaan kului aikaa noin kaksi työpäivää. Pussinen (1992) laski, että

kuvioittainen arviointi maastossa maksoi 22,5 mk/ha, ilmakuvatulkinta 7 mk/ha ja saman alueen satelliittikuvatulkinta 3 mk/ha.

Tiihonen & Virtanen (1983) esittivät metsätaloussuunnitelman koostamiseen menetelmän, joka perustuu suurimittakaavaisten ilmakuvioiden tulkintaan ja maastoarviointiin. He saivat menetelmällä tilavuuden kuvioittaiseksi keskivirheeksi vain 10–20 %. Kuvionrajaus onnistui hyvin: maastotarkastuksessa erotettiin lisäkuvi-
oita 3–4 % tutkittujen kuvioiden määrästä. Kehitysluokka määritettiin oikein 80–85 %:ssa tapauksista ja toimenpidesuositus 70–75 %:ssa.

Ruotsissa ja Norjassa on kokeiltu ilmakuvioiden metsikkökohtaista tulkintaa analogisella mekaanisella stereotyökojeella. Ruotsissa viisi kokenutta metsäsuunnittelijaa pikakoulutettiin tulkitsijoiksi ja he tulkitsivat 60 metsikön tunnukset (Bilddataundersökningen 1979). Silmävaraiseen maastoarviointiin verrattuna tulokset olivat pääosin vain hieman epätarkempia, joskin maastoarviointien hajonta oli pienempi. Puulajin määrittäminen ei tutkimuksessa onnistunut. Vielä parempiin tuloksiin päästiin sikäläisen maanmittauslaitoksen menetelmällä, jolla puuston tilavuus pystyttiin arvioimaan harhattomasti (Åge 1983). Tilavuuden satunnaisvirhe oli 30 m³/ha. Menetelmä perustui siihen, että koulutettu stereotulkitsija pystyi mittaamaan puuston pitoisuuden tarkasti. Pituustieto taas toimi tukena muiden tunnusten tulkinnalle. Tulkitsija kävi tutustumassa maastoon ennen tulkintaa ja tulkinnan jälkeen tehtiin täydentäviä maastomittauksia tai systemaattinen maastokoealaotanta riippuen tulkittavasta alueesta. Menetelmän kustannukset olivat vain puolet siitä, mitä vastaava, pelkkään maastotyöhön perustuva inventointi maksaisi.

Ståhl (1992) vertaili erilaisilla subjektiivisilla inventointimenetelmillä saatujen kuviotietojen tarkkuutta. Pelkästään silmävaraisella maastoarvioinnilla tilavuuden suhteelliseksi keskivirheeksi tuli 20 % ja kuvioittaisella arvioinnilla 14 %. Kun maastossa mitattiin kiinteäsäteisiä ympyräkoaloja, saatiin keskivirheeksi 15 %. Ilmakuvatulkinta perustui edellä kuvattuun Ågen (1983) menetelmään. Tehtäessä kuvatulkinta ilman maastotarkistusta tilavuuden määrittämisen virhe oli 14 %, jota maastotarkistus pienensi vain hieman: 12 %:iin. Vertailun vuoksi tulkittiin metsikkötunnukset myös Landsat TM -satelliittikuvalta regressiotekniikalla, vaikka menetelmä ei ollutkaan subjektiivinen. Satelliittikuvatulkinnan keskivirhe oli 26 %. Ilmakuvatulkinnan ja maastokäynnin yhdistelmällä saatiin keskipituus, keskiläpimitta, kasvupaikkaindeksi ja männyn osuus määritetyksi hyvin (keskivirhe luokkaa 10 %) ja pohjapinta-ala sekä keski-ikä kohtalaisesti (keskivirhe noin 15 %).

Poso & Kujala (1971), Poso (1972) sekä Mattila (1985) kehittivät suuralueiden inventointiin ns. ryhmittymen menetelmän, joka on kaksivaiheisen otannan erikoistapaus. Ilmakuva-alueilta tulkittiin stereoskoopin avulla metsikkötunnuksia, min-

kä jälkeen koealat jaettiin homogeenisiin ryhmiin. Kustakin ryhmästä mitattiin maastossa koeala, jonka tiedot yleistettiin koko ryhmälle. Menetelmällä saavutettiin suuremmilla alueilla kohtalainen tarkkuus, mutta kuviotasolle menetelmä ei soveltunut. Menetelmää käytettiin Pohjois-Suomessa VMI6:ssa ja VMI7:ssa.

Kanadassa ja Australiassa on käytössä otantapohjainen inventointimenetelmä, joka perustuu suurimittakaavaisten ilmakuvien tulkintaan. Menetelmässä helikopteriin asennettuun puomiin on kiinnitetty kaksi kameraa, jotka laukaistaan yhtä aikaa (Befort 1988, Spencer & Hall 1988, Biggs & Spencer 1990). Toinen mahdollisuus on ottaa yhdellä kameralla kaksi kuvaa peräkkäin. Silloin kuvien mittakaava ratkaistaan tarkasti kameras polttovälin ja tutkalla tai laserkorkeusmittarilla mitatun lentokorkeuden suhteesta. Kuvausmittakaavat ovat tyypillisesti välillä 1:200 – 1:3 000, mikä mahdollistaa puukohtaisten tunnusten tarkan mittauksen analyttisellä stereotyöasemalla. Kanadassa puun tilavuus ennustetaan malleilla pituuden ja latvustunnusten funktiona. Koealakohtainen tilavuuden keskivirhe on yleensä alle 10 % (Leckie 1986). Australiassa inventointi perustuu kaksivaiheiseen otantaan (Biggs & Spencer 1990, Spencer ym. 1997). Puun tilavuutta ennustetaan regressiomallilla, jossa selittäjinä ovat yksittäisen puun pituus ja valtapituus. Inventointitietojen integrointi paikkatietojärjestelmään mahdollistaa niiden joustavan käytön metsäsuunnittelussa.

Myös Suomessa on kokeiltu puukohtaista tulkintaa analyttisellä stereoplotterilla (Anttila 1998). Runkoluvun tulkinta osoittautui kuitenkin hyvin harhaiseksi. Tiheässä metsikössä oli vaikea erottaa latvuksia toisistaan, jolloin puuryhmä voitiin tulkita yhdeksi puuksi. Toisaalta iso latvus saatettiin jakaa helposti useammaksi. Harhaa aiheuttivat myös vallitsevan latvuserroksen alle piiloon jäävät aluspuut. Koska havaitsematta jääneet puut ovat usein pieniä tai kuolleita, runkolukuun perustuvan tilavuusestimaatin harha on kuitenkin pienempi kuin runkoluvun harha. Parempi tulos voitaisiin saavuttaa kouluttamalla tulkitsijaa ja suurentamalla kuvausmittakaavaa. Tutkimuksessa käytettyjen väri-infrakuvien mittakaavat olivat 1:5 000 ja 1:20 000.

Numeeriset ilmakuvat

Analoginen ilmakuva voidaan digitoida numeeriseen muotoon. Digitoidun ilmakuvan heikkoutena numeeristen sensoreiden kuviin verrattuna on kuvan tallentaminen ensin filmille ja vasta sen jälkeen tehtävä kuvan digitointi. Useat tekijät aiheuttavat vaihtelua numeerisen kuvan ominaisuuksiin: Laadukkaillakin filmimateriaalilla on emulsiokerroksissa herkkyyseroja jopa yhden kuvan sisällä, peräkkäisistä kuvista puhumattakaan. Suuria vaihtelueroja filmin ominaisuuksissa on raportoitu myös filmierien välillä. Kuvan kehittämismenetelmiä on vaikea saada kaikille kuville samanlaisiksi. Lopulta vielä kuvan digitointi vaikuttaa kuvan sävyihin. Kuva voidaan myös digitoida negatiivilta, positiivikopiolta tai

vaikka paperivedokselta, ja kaikista tulee erilainen lopputuote. Nämä haitat vältetään kuvaamalla digitaalikameralla (still-kamera).

Metsätaloudessa numeerinen ilmakekuva on otettu etenkin taustakuvaksi kartta- sekä GIS-ohjelmistoissa, jolloin digitointipöytä on korvattu kuvaruutudigitoinnilla. Näytöllä kuvia voidaan visuaalisesti tulkita ja mitata. Varsinainen kartta-tuotannon työväline, numeerinen fotogrammetrinen stereotyöasema, antaa samat mittausmahdollisuudet kuin perinteinen analyyttinen stereoplotteri, jonka lisäksi erilaiset kuvankäsittely- ja GIS-operaatiot sekä ortoilmakuvatuotanto ovat mahdollisia. Digitaalisen stereotyöaseman käyttöä metsätalouden tarkoituksiin on rajoittanut sen korkea hinta. Digitaalista stereotyöasemaa Suomessa on kehittänyt mm. Sarjakoski (1989).

Numeeristen kuvien automaattinen tulkinta on objektiivista ja tarjoaa mahdollisuuden kustannussäästöihin pienemmän ajanmenekin myötä. Temaattisessa kartoituksessa ja puustotulkinnassa voidaan käyttää periaatteessa samoja menetelmiä kuin satelliittikuvillakin. Satelliittikuviin verrattuna numeeristen ilmakekuvien spatiaalinen resoluutio on huomattavasti suurempi, mutta alhainen kuvauskorkeus ja keskusprojektiivisuus aiheuttavat säteissiirtymää sekä valon ja vastavalon alueita kuvalla. Säteissiirtymä ilmenee siten, että puut näyttävät kallistuvan kuvan reunoille.

Holopainen & Lukkarinen (1994) sekä Holopainen & Wang (1998a) ovat kehittäneet menetelmiä säteissiirtymän sekä valon ja vastavalon aiheuttaman sävyarvovaihtelun huomioon ottamiseksi. Holopaisen ja Wangin (1998a) tutkimuksessa pystyttiin erottamaan 84 % erilaisista metsiköistä 1:30 000-mittakaavaisella kuvalla. Metsiköt esiluokiteltiin maastokoealojen perusteella. Käytännön sovelluksia varten ositus tulisi pystyä suorittamaan muita aputietoja hyväksi käyttäen.

Hyypän (1997) eri kaukokartoitusmenetelmien vertailussa digitaalisten ilmakekuvien tulkinta menestyi kohtuullisesti (vrt. taulukko 4). Väri-infrakuvat olivat mittakaavassa 1:20 000. Kohteesta riippumaton sävyarvojen vaihtelu kuvan alueella otettiin huomioon laskemalla kuvioiden sijainti suhteessa kuvan pääpisteeseen ja auringon suuntakulmaan. Näitä sijaintia kuvaavia muuttujia käytettiin selittäjinä regressiomalleissa sävy- ja tekstuuritunnusten lisäksi. Selitettävänä muuttujina olivat puuston pituus, pohjapinta-ala ja tilavuus. Pituuden määrittäminen onnistui keskivirheellä 5,2 m ja pohjapinta-alaan 6,3 m²/ha. Parhaiten suhteessa muihin menetelmiin ilmakekuvilta onnistui tilavuuden ennustaminen. Tilavuus määritettiin ilmakekuvilta yhtä tarkasti kuin metsäkeskuksen kuvioittaisella arvioinnilla, sillä molempien keskivirhe oli parhaimmillaan 78 m³/ha.

Holmgren ym. (1997) selvittivät metsikön kokonaistilavuuden, lehtipuiden tilavuuden ja epäoptimaalisuustappioiden ennustamista digitaalisilta ilmakekuvilta,

jotka oli kuvattu mittakaavoihin 1:30 000 ja 1:60 000. Suurempimittakaavaiset kuvat olivat pankromaattisia ja pienempimittakaavaiset väärävärικuvia. Maastomittauksista tuotettiin metsäsuunnitelmat, joiden perusteella laskettiin väärän käsittelyn aiheuttamat epäoptimaalisuustappiot koelaitteittain. Em. tunnuksien ennustettiin regressioanalyysillä, jossa riippumattomina muuttujina olivat koelaitteiden sävyarvotunnuksien. Kuvien kalibrointia ei katsottu tarpeelliseksi. Menetelmällä saadun kokonaistilavuuden keskivirhe oli 13 % ja lehtipuiden tilavuuden 19 %.

Holopainen & Jauhainen (1998) testasivat numeeristen ilmakuvien käyttökelpoisuutta suotyyppien määrittämiseen. Ilmakuvat otettiin vuosina 1946 ja 1995. Eri ajankohtien kuvien tulkintojen perusteella tutkittiin muutoksia alueen kasvillisuustyyppissä. Tulkinta suoritettiin käyttäen kaksivaiheista otantaa, jossa turvemaat jaettiin ensimmäisen vaiheen koelaitteiden perusteella 16 luokkaan. Ositteet muodostettiin ohjaamattomalla luokittelulla. Vuoden 1995 kuvasta soiden luokittelu onnistui 67 %:n tarkkuudella. Ojitetut, mäntyvaltaiset turvemaat ja ojittamattomat, saraiset avosuot erotuivat lähes täydellisesti. Ojittamattomat, lehtipuuvalliset puustoiset suot tulkittiin mäntyvaltaisiksi ja puuttomat, ombrotrofiset suot tulkittiin usein rimpinevoiksi. Visuaalisella kuvatulkinalla oikeinluokitusprosentti oli 69. Vuoden 1946 kuvalla vertailuaineistona käytettiin vuoden 1995 maastokoelaitteita, jolloin luokittelu onnistui 59 %:n tarkkuudella. Kun vertailuaineistona oli visuaalinen kuvatulkinna, oikeinluokitusprosentti oli 56. Vuosien 1946 ja 1995 luokitusten vertailussa havaittiin selvästi alueella tehtyjen ojitusvaikutusten vaikutus: puuttomat ja vähäpuustoiset suot ovat vähentyneet ja kuivemmat, puustoiset suot lisääntyneet. Huang (1996) kokeili tulkintaa Landsat TM -kuvasta ja sai samalla alueella luokitustarkkuudeksi vain 37 %. Suotyyppien tulkinta digitaalisilta kuvilta näyttää onnistuvan huomattavasti paremmin kuin satelliittikuvilta.

Nykyisin kuvilta pystytään automaattisesti etsimään myös puiden latvuksia. Tulkinna-algoritmi etsii kuvasta paikalliset sävyarvomaksimit ja rajaa latvuksen maksimin ympärille. Puukohtaisessa numeerisessa tulkinnaissa ongelmat ovat pitkälti samanlaisia kuin visuaalisessa tulkinnaissakin: suomalaisissa olosuhteissa pieniä puita ei eroteta suurempien alta. Tanskassa Dralle & Rudemo (1996) saivat hyviä tuloksia tasaisissa, harvennetuissa metsiköissä. Puut paikannettiin digitaaliselta ilmakuvasta sävyarvomaksimien perusteella. Menetelmä toimi hyvin harvennetuissa metsissä, mutta harventamattomassa metsiköissä pieniä puita ei löydetty. Harvennetuille metsiköille saatu runkoluku poikkesi todellisesta runkoluvusta vain -6,9-5,0 %.

Utterer ym. (1998) arvioivat metsikön tilajärjestystä numeerisesti tulkituilla väri-infrailmakuvilla. Tulkinna keskiarvoisesti tilajärjestystä muuttaen sitä säännöllisestä satunnaisemmaksi tiheissä metsiköissä ja ryhmittäisestä säännöllisemmä-

si kaikissa tutkituissa metsiköissä. Tämä johtui tiheiden puuryhmien tulkitsemisesta yhdeksi puuksi. Kuusimetsikössä, joka oli harva ja keskiläpimitaltaan suuri, tilajärjestys muuttui ryhmittäisemmäksi. Tämä oli seurausta siitä, että suuri latvus tulkittiin useaksi pienemmäksi.

5.2.4 Spektrometrikuvat

Uusinta kaukokartoitustekniikkaa lentokonekuvauksessa edustavat erilaiset kuvaavat spektrometrit. Näille sensoreille on tyypillistä, että niillä pystytään tuottamaan sekä spatiaaliselta että spektriselältä erotuskyvyltään erittäin laadukasta kuva-aineistoa. Kuvatusta alueesta voidaan tuottaa jopa satoja erittäin kapeita aallonpituuskanavia. Sensorina näissä ei ole kamera vaan joko keilain tai uusien satelliittisensorien tapaan kuvauslinjaa vastaan asetettu ilmaisinmatriisi. Kuvaavien spektrometrien etu on niiden ylivoimainen spektrinen erotuskyky muihin sensoreihin verrattuna. Laitteita voidaan ohjelmallisesti säätää erilaisiin kuvaustarpeisiin, esimerkiksi kuvattavien aallonpituuskanavien määrä ja leveys voidaan ennakkoon valita. Valitut aallonpituusalueet voivat olla hyvin kapeita, vain muutamia nanometrejä. Maaston erotuskykyä säädellään laitteiden asetuksilla ja lentokorkeudella. Kuvat tallentuvat useimmiten suoraan tietokoneen massamuistilaitteelle.

AISA (engl. *Airborne Imaging Spectrometer for Applications*) on Suomessa kehitetty lentokoneeseen asennettava kuvaava spektrometri (Braam ym. 1993). Suomessa Metsäntutkimuslaitos on testannut AISAA metsätalouden sovelluksiin, mm. monilähteiseen VMI:iin (Metsävarojen inventointi... 1997). AISAn spektrinen erotuskyky on huomattavasti parempi kuin satelliittien monikanavakeilainten tai digitoitujen ilmakuvien ja jonkin verran parempi kuin tulevien satelliittispektrometrien kuten MERIS ja Modis. Aallonpituusalue on suunnilleen sama kuin digitaalisissa ilmakuvissa ja kapeampi kuin useimmissa satelliitteissa ja lentokoneissa käytettävissä monikanavakeilaimissa tai satelliittispektrometreissa. Kuva-alkion kokoon vaikuttavia parametrejä (lentokorkeus, lentonopeus ja valotusaika) voidaan AISAlla kuvattaessa säädellä, toisin kuin satelliittikuvauksissa. Myös kuvausajankohta on vapaammin määriteltävissä. Toisaalta ilmakehän ja kuvausolojen vaikutus kuvan eri osien kirkkauteen (radiometriaan) on vaikeammin hallittavissa AISA-kuvissa kuin satelliittikuvissa.

VMI:ssa AISAlle voisi olla otantapohjaisesti kolmenlaista käyttöä:

- 1) Tunnistetaan maastokoealojen suuret muutokset ja päivitetään maastokoealatieidot malleilla. AISA-koealoille, joille ei ole maastomittauksia, tuotetaan maastotietojen estimaatit. Maasto- ja AISA-koealojen perusteella lasketaan alueittaiset metsävaratieidot.
- 2) Kuten kohta 1), mutta osa koealoista mitataan maastossa.

3) Jos alueelta ei ole maastomittauksia, mitataan maasto- ja AISA-koealoja ja lasketaan alueittaiset metsävaratiedot.

Alue- ja tilatasolle AISAn käytölle esitettiin seuraavanlaisia skenaarioita:

- 1) Päivitetään aikaisempi kuvioittainen arviointi. Oletettu maastotyön tarpeen väheneminen olisi noin 25–50 % alkuperäisestä maastotyöstä.
- 2) Jos aiempaa inventointitietoa ei ole, tuotetaan tiedot AISA- ja maastomittaus-ten perusteella. Maastotyön tarve vähenisi vähemmän kuin kohdassa 1).
- 3) Käytetään AISA-aineistoa vain kuvioden rajaamiseen. AISAn etuja ilmaku- viin nähden ovat mahdollisuus kanavavalintaan ja numeeriseen tulkintaan.

Esimerkkilaskelmassa Keski-Suomen metsäkeskuksen kokoinen alue inventoitiin yhdistettyä maastomittauksia, AISA-kuvausta ja satelliittikuvia käyttäen. Maasto- mittauksiin verrattuna alueella saavutettaisiin 51 %:n kustannussäästö. Toisaalta mm. kasvua ja toimenpidetarpeita ei menetelmällä saada yhtä tarkasti kuin maastomittauksin.

Metlan tutkimuksessa AISA-aineistosta saatiin metsätyyppiä lukuun ottamatta kaikki metsätunnukset estimoiduksi tarkemmin kuin Landsat TM -aineistosta. Teknillinen korkeakoulu ja Metla tutkivat AISAn soveltuvuutta metsikkötason tunnusten arviointiin (Mäkisara 1998). Tutkimuksessa pystyttiin ennustamaan keskipituus noin 22 %:n, pohjapinta-ala noin 27 %:n ja kokonaistilavuus noin 32 %:n tarkkuudella. Samassa kokeessa Landsat TM -aineistolla saatiin tark- kuuksiksi 28 %, 35 % ja 42 %.

CASI (engl. *Compact Airborne Spectrographic Imager*) on kuvaava spektromet- ri, joka on ominaisuuksiltaan hyvin paljon AISAn kaltainen. Holopainen (1998) testasi, voidaanko elinympäristöjä erotella CASI-kuvilta. Mineraali- ja turvemaat erottuivat hyvin: oikeinluokitusprosentti oli 93. Elinympäristöt luokiteltiin lisäksi pääpuulajin ja puuston iän perusteella. Kangasmetsän elinympäristöistä luokitel- tiin oikein 62,2 % ja suohabitaateista 49,2 %. Homogeeniset habitaatit olivat helpompia luokitella kuin heterogeeniset. Luokitustarkkuus oli parempi kuin mitä samalla alueella on päästy Landsat TM -kuvilta (Huang 1996, Holopainen & Wang 1998b).

5.2.5 Videokuvat

Videokuvauksen etuja perinteiseen ilmakuvaukseen verrattuna ovat kuvan katse- lumahdollisuus kuvauksen aikana ja välittömästi sen jälkeen, edullisuus sekä sanallisten kuvausten äänitysmahdollisuus. Haittapuolena on heikohko spatiaali- nen erotuskyky.

Roimela (1994) selvitti numeerisen väärävärivideokuvan ominaisuuksia ja sen käyttökelpoisuutta metsien inventoinnissa numeerisen tulkinnalla. Lisäksi tutkimuksessa verrattiin videokuvan avulla saatuja metsikkötunnusten estimointituloksia ilma- ja satelliittikuvan perusteella saatuihin estimointituloksiin. Vaikka videokuvan spatiaalinen resoluutio onkin ilmakuvaa heikompi, osoittautui video kuva ilmakuvan veroiseksi kaukokartoitusmateriaaliksi. Videokuvan estimointitulokset olivat parempia kuin satelliittikuvan. Erot estimointien tarkkuuksien välillä olivat kuitenkin pieniä. Pohjapinta-alan keskivirhe oli 6–8 m²/ha, keskilämpötila 8–10 cm, keskipituuden 5,5–7 m ja keski-ikä 25–28 vuotta. Kehitysluokat olivat oikein 50–60 -prosenttisesti ja ravinteisuuden oikeinluokitusprosentti oli 60–80.

Enso Forest Development Ltd ja VTT ovat kehittäneet EnsoMOSAIC-kaukokartoitusjärjestelmän, jolla voidaan tuottaa videon pysäytyskuvista kartta-koordinaatistoon oikaistua kuvamosaiikkia (EnsoMOSAIC 1999). Mosaiikin käyttökohteita ovat luonnonvarojen inventointi, maankäyttöluokitus, muutosten tulkinta ja kaupunkisuunnittelu ja menetelmällä tuotettu kuvamosaiikki maksaa noin 1 USD / ha (Holm ym. 1997). Koska kuvaukset on tehty alueilla, joista ei sääolosuhteiden vuoksi ole mahdollista saada muuta pilvetöntä kuvamateriaalia, kuvauskorkeudet ovat yleensä olleet välillä 400–1 300 metriä. Tällöin kuvausresoluutioksi muodostuu 0,5–1,5 metriä ja yksittäisten kuvien koko on noin 1 km x 1 km. Kamerana voidaan käyttää joko digitaalista kameraa tai väärävärivideokameraa.

Järjestelmällä pystytään päivässä kuvaamaan yhden metrin resoluutiolla noin 20 000 hehtaaria ja tämän suuruisen alueen mosaikointi kestää parikymmentä työpäivää. Mosaiikin sijaintitarkkuus on lähtötiedoista riippuen 1–15 metriä: parhaaseen tulokseen päästään maastotukipisteillä ja korkeusmallilla. Järjestelmän rinnalle on kehitteillä mosaikointi, joka laskee lentopäivän kuvauksista mosaiikin muutamassa tunnissa. Lisäksi voidaan kuvien avulla tuottaa puiden latvoja ja rakennusten kattoja seuraava korkeusmalli. EnsoMOSAIC-järjestelmällä arviointien metsikkötunnusten tarkkuutta ei ole tutkittu.

5.2.6 Tutkakuvat

Aktiiviset kaukohavainnointilaitteet lähettävät itse sähkömagneettista säteilyä ja vastaanottavat sitä sen heijastuttua kohteesta. Aktiivisia laitteita kutsutaan yleisnimityksellä tutka (engl. *RADAR, Radio Detection And Ranging*). Nimensä mukaan tutkat ovat toimineet aluksi radioaalloilla, mutta nykyisin mikroaallot ovat käytetyin sähkömagneettisen säteilyn laji. LIDAR-tutkassa (engl. *Light Detection And Ranging*) käytetään laser-sädettä kohteen havainnointiin.

Nykyiset tutkat toimivat ns. SAR-tekniikalla (engl. *Synthetic Aperture Radar*). Kuvien tallennusta ja käsittelyä muuntamalla jäljitellään pitkää antennia. Mitä pidemmäksi antenni saadaan joko todellisuudessa tai keinotekoisesti, sitä parempi on kuvien spatiaalinen resoluutio. Kun sama alue kuvataan kahdesta eri paikasta ja joka pisteestä eri kuville heijastuneet säteilyt lasketaan yhteen, puhutaan interferometriasta. SAR-interferometriasta on avannut uusia ulottuvuuksia metsien kartoitusmahdollisuuksiin: On mahdollista kartoittaa tarkasti avohakkuualueita, mitata puuston keskipituutta sekä muodostaa korkeusmalli, jossa pystytään erottamaan metsän latvuston ja maanpinnan korkeus.

Ruotsissa on tutkittu SAR-interferometriaan pohjautuvia korkeusmalleja, joiden avulla estimoitii puuston keskipituutta esimerkiksi vertaamalla korkeutta metsän reunassa ja metsän päällä tai vertaamalla interferogrammia (= interferometrian keinoin saatu kuva, josta voidaan laskea pikselien korkeuserot) olemassa olevaan korkeusmalliin (Hagberg ym. 1995). Koealue oli noin 8 km × 8 km ja koostui etupäässä havupuustosta, avoalueista, soista ja jäätyneistä järvistä. Kahdelle koealalle laskettiin interferogrammilla puuston keskipituus ja sitä verrattiin maastossa mitattuun puuston keskipituuteen. Koealalla 1 interferogrammiin pohjautuva puuston keskipituuden estimaatti oli 14,9 m ja vastaava maastossa mitattu keskipituus oli 15,9 m. Koealalla 2 estimoitu arvo oli 4,6 m ja vastaava maastossa mitattu keskipituus oli 9,9 m (Guyenne 1995).

Tulevaisuudessa metsäsovellutuksissa SAR-interferometrialla pyritään (Dixon 1992, Guyenne 1995):

- erottamaan metsäinen alue avoalueesta,
- mittaamaan metsän keskipituutta sekä
- luokittelemaan erilaisia metsä- ja puustotyyppejä.

LIDARin soveltuvuutta metsänarvointiin on selvitetty mm. Ruotsissa ja USA:ssa. Ruotsissa tutkittiin LIDARin soveltuvuutta valtakunnan metsien inventointiin (Nilsson 1990, 1996). Mittauksilla saadaan tietoa puuston piteudesta, tilavuudesta ja latvuspeitosta; myös harvennusten seuranta on mahdollista. LIDARin etuina ovat mm. mittauksen nopeus ja kohteen korkeustiedon saanti. Nilsson (1996) mittasi puuston piteuden LIDARilla ja sai aliarvioksi 2,1–3,7 metriä.

Profiloiva mikroaaltotutka vastaa toiminnaltaan LIDARia, mutta toimii mikroaaltoalueella. Teknillisessä korkeakoulussa on kehitetty tällä periaatteella toimiva tutka HUTSCAT, joka on asennettu helikopteriin (Hyyppä 1993). Toisin kuin lasersäde mikroaallot läpäisevät tiheänkin latvuspeitteen, jolloin piteuden mittaus on mahdollista. Piteuden arviointi tutkalla on kohtuullisen tarkkaa, mutta esimerkiksi puuston läpimitan ja pohjapinta-alan arviointi ei ole luotettavaa. Kuvion keskipiteuden arvioinnin keskivirhe oli 1,7 m ja pohjapinta-alan 4,3 m²/ha. Kuvi-

oittaisen tilavuuden arvioinnissa päästiin $31 \text{ m}^3/\text{ha}$:n keskivirheeseen. Hyypän (1997) eri kaukokartoitusmenetelmien vertailussa HUTSCAT menestyi hyvin. Keskipituuden määrittämisen tarkkuus oli 3,3 m. Tarkemmin pituus määritettiin vain kuvioittaisessa arvioinnissa. Pohjapinta-alavertailussa HUTSCAT sijoittui aineistojen joukossa neljänneksi $6,5 \text{ m}^2/\text{ha}$:n keskivirheellä ja tilavuusvertailussa se oli paras keskivirheellä $70 \text{ m}^3/\text{ha}$. Erot kaukokartoitusmateriaalien välillä olivat kuitenkin pieniä. Hyypä (1993) tutki myös luokkamuuttujien estimointitarkkuutta. Kehitysluokan oikeinluokitusprosentti oli 76, maaluokan 84, suotyypin 78 ja metsätyyppin 71. Koealan keskipituuden arviointi (keskivirhe 1,2 m) oli tarkempaa kuin maastossa. Puulajin (mänty, kuusi ja koivu) määrittäminen koealalta onnistui noin 70 %:n tarkkuudella. Helikopterilennoista syntyi huomattava osa HUTSCATin käyttökustannuksista. Ne voitaisiin vähentää jopa kuudesosaan käyttämällä kuvauksissa lentokonetta. Hyypän (1993) tutkimuksessa hehtaarikohtaiseksi kustannukseksi muodostui 5,70 mk.

Tomppo ym. (1996) testasivat ERS-1 PRI -tutkasatelliittikuvien käyttökelpoisuutta metsäinventointiin. Maanpinnan ja latvuston kosteus vaikuttivat voimakkaasti takaisinsirontaan. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää hyväksi moniaikaisten kuvien tulkinnessa. Kuviotasolla tilavuuden keskivirheeksi saatiin $87 \text{ m}^3/\text{ha}$ ja harhaksi $3 \text{ m}^3/\text{ha}$, kun kuviokoko oli yli 3 ha. Sellaisenaan kuvat eivät siis sovellu kuvioittaiseen inventointiin. Hyypän (1997) kaukohavainnointiaineistojen vertailussa olivat mukana ERS-1 PRI -kuvien lisäksi myös ERS Tandem -kuvat. ERS PRI -kuvat osoittautuivat heikoksi kaukohavainnointimateriaaliksi sekä pituuden, pohjapinta-alan että tilavuuden estimoinnissa. Tandem-kuvilta tunnusten arviointi onnistui paremmin; pituuden keskivirhe oli pienimmillään 5,7 m, pohjapinta-alan $7,3 \text{ m}^2/\text{ha}$ ja tilavuuden $90 \text{ m}^3/\text{ha}$. Myöskään JERS-1 PRI -satelliittikuvat eivät menestyneet hyvin Hyypän (1997) vertailussa. Pituuden määrittämisessä ne olivat huonoin aineisto ja pohjapinta-alan ja tilavuuden määrittämisessäkin häntäpäässä. Laajojen alueiden inventointiin paras satelliittiaineisto Hyypän (1997) mukaan saataisiin yhdistämällä hyväresoluutioisen optisen satelliitin ja tutkasatelliitin kuvat. Tällöin tilavuuden keskivirhe oli $76 \text{ m}^3/\text{ha}$.

5.2.7 Monimuotoisuuden arviointi ja arvokkaiden luontokohteiden tunnistaminen

Holopaisen (1995) tutkimuksessa esiteltiin menetelmä metsien monimuotoisuuden eli biodiversiteetin arviointiin kaukokartoituksella. Monimuotoisuutta ei pystytä tämän tutkimuksen mukaan suoraan mittaamaan ilma- tai satelliittikuvilta, onhan helpompia tunnusten, kuten puustotunnukset, tarkka inventointi vaikeaa. Siksi tavoitteena olikin kehittää menetelmä, jolla voitaisiin määrittää metsä- ja suoekosysteemin elinympäristöjä eli biotooppeja kaukokartoitusaineistolla. Ilma-kuva-aineistona oli mittakaavassa 1:30 000 kuvattuja värävi-infrakuvia, jotka digitoitiin.

Luonnon monimuotoisuutta arvioitiin ekosysteemidiversiteetin avulla. Ekosysteemidiversiteetillä käsitetään eri ekosysteemiluokkien tai elinympäristöjen vaihtelua. Elinympäristöluokittelussa käytettiin hierarkista, nelitasoista luokittelusysteemiä, jossa ensimmäinen hierarkiataso ilmaisi kasvillisuuden pääryhmän. Toinen hierarkiataso puolestaan kertoi pääryhmän tärkeimmät yksiköt ja kolmannella tasolla osoitettiin kasvillisuus- tai kasvupaikkaryhmää. Varsinaiset kasvillisuustyypit löytyvät neljänneltä hierarkiatasolta. Tasojen muodostamisessa otettiin huomioon mahdollisuudet käyttää luokittelussa ilmakuvia ja muuta kaukokartoitusaineistoa. Elinympäristöjen estimoinnissa käytettiin paitsi sävyarvoja myös tekstuuripiirteitä ja biotoopit arvioitiin sävyarvolohkoittain (Holopainen & Lukkarinen 1994).

Ilmakuvasta pystyttiin arvioimaan ensimmäisen hierarkiatason elinympäristöjä erinomaisesti ja tarkempia tasoja kohtuullisesti aina neljänteen hierarkiatasoon asti. Saatujen tulosten mukaan numeerisen ilmakuvan avulla voisi olla mahdollista etsiä joitakin mielenkiintoisia, hyvin erottuvia biotyyppejä, kuten esimerkiksi rehevät, varttuneet kuusikot ja sekapuumetsät. Tulokset olivat kuitenkin lähinnä suuntaa antavia. Virhettä menetelmässä aiheuttivat ilmakuvien oikaisu, maastokoealojen paikannus, kuvanlukijan epätarkkuus, pinnakkaiskopion vedostus sekä osin subjektiivinen biotyypin määrittäminen maastossa.

Holopainen & Wang (1998b) jatkoivat Holopaisen (1995) tutkimuksen aihepiiristä. Elinympäristöjen luokittelutasoja oli kaksi. Ensimmäisessä elinympäristöjä jaettiin 12 luokkaan metsikön pääpuulajin ja iän perusteella ja toisessa 48 luokkaan, kun luokitteluperusteeksi otettiin lisäksi kasvupaikka. Pääpuulajiluokat olivat mänty, kuusi, lehtipuu ja sekametsä ja ikäluokat alle 16 vuotta, 16–65 vuotta sekä yli 65 vuotta. Kasvupaikat jaettiin maaperän viljavuuden mukaan neljään luokkaan.

Koealojen sävyarvoja kalibroitiin suhde- ja regressiomenetelmillä (Holopainen & Wang 1998a). Parhaiten luokitus onnistui regressiokalibroinnin jälkeen, jolloin oikeinluokitusprosentti oli karkeammalla luokittelutasolla 85 kuvausmittakaavan ollessa 1:30 000. Toisella luokittelutasolla oikeinluokitusprosentti oli 58. Yksittäisistä luokista parhaiten ositus onnistui niissä elinympäristöissä, joissa maapohja oli rikkainta ja metsä varttuneinta. Huonointa luokitus oli lehtipuumetsissä. Mittakaava (1:5 000, 1:30 000 ja 1:50 000) vaikutti elinympäristöjen luokitteluun vain vähän. Siksi pienimittakaavaisten kuvien käyttö tähän tarkoitukseen näyttäisi olevan kannattavampaa kuin suurimittakaavaisten, sillä kuvauskustannukset kasvavat mittakaavan suurentuessa. Lisäksi metsikön sijainti kuvalla vaikuttaa sävyarvoihin suurimittakaavaisissa kuvissa pienimittakaavaisia enemmän (Holopainen & Wang 1998a). Avainbiotooppien kartoituksen lisäksi menetelmää voidaan hyödyntää fragmentoitumisindeksien laskennassa.

Teknillisen korkeakoulun avaruustekniikan laboratorio on aloittanut Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen kanssa projektin, jonka tarkoituksena on metsän monimuotoisuutta kuvaavien tunnusten määrittäminen kaukokartoitusaineistoista (Hyypä 1997). Tutkimuksen tavoitteena on:

- habitaattijakaumien ja avainhabitaattien vertailu
- habitaattien arviointitarkkuuden selvittäminen
- avainhabitaattien arviointitarkkuuden selvittäminen
 - i) pelkän kuvatiedon avulla
 - ii) kuvatiedon ja muun numeerisen aputiedon avulla
- fragmentaatioindikaattorien sekä monimuotoisuusindeksien vertailu.

Kaukohavainnointiin perustuva metsätulkinta -projektin osahankkeessa 'Monimuotoisuuden seuranta' todettiin, että habitaattiluokitusjärjestelmän puuttuessa kannattaa aluksi keskittyä avainbiotooppien ympäristön tilassa tapahtuvien muutosten seurantaan (Kaukohavainnointiin perustuva... 1997). Tulevaisuudessa monimuotoisuuden seuranta maisematasolla tulisi tehdä habitaattiluokitusjärjestelmällä. Pienvesistöille erotettiin ilmakuvilta 50 m:n levyinen reunavyöhyke, joka kuvioitiin. Kullekin kuviolle määritettiin visuaalisesti sulkeutuneisuus, jonka perusteella laskettiin pienvesistöjen ympäristön tilaa kuvaavat maisemataso samanlaisuus- ja jatkuvuusindeksi. Ojittamattomien soiden keskellä sijaitsevien kangasmetsäsaarekkeiden tilaa suhteessa ympäristöön tarkasteltiin indekseillä, jotka mittaavat samanlaisten elinympäristöjen esiintymistä avainbiotoopin lähiympäristössä. Indeksien tulkinta oli pääsääntöisesti helppoa ja yksiselitteistä. Raportissa esitetyllä otantakehikolla kuvausten hinnaksi muodostuisi 4,40 mk, jos kuvausmittakaava olisi 1:20 000.

Avainbiotooppien maastoinventoinnit voidaan kohdentaa Uutteran ja Hyppäsen (1998) kehittämällä menetelmällä. Tutkimuksessa arvioitiin 1:5 000-mittakaavaiselta digitaaliselta ilmakuvasta kuolleiden pystyvuon määrää, joka indikoi vanhaa metsää. Aputietona ja muiden biotooppien havaitsemiseen käytettiin kuvioittaisen arvioinnin tietoja, numeerisia peruskarttoja, maaperäkartoja ja korkeusmallia. Kuolleiden puiden tunnistamiseen käytetty ei-parametrinen ohjattu luokittelualgoritmi toimi suhteellisen hyvin: oikeinluokitusprosentti oli 87. Jos kuolleita puita on alueella vain vähän, ilmakuvatulkinta voi olla jopa luotettavampi kuin maastokoelainto. Käyttämällä olemassaolevia numeerisia paikkatietoaineistoja voidaan avainbiotooppien kartoituksen maastoinventointialaa supistaa 11–18 %:iin maa-alasta tarkkuuden säilyessä hyvänä. Kaikista avainbiotooppikohteista menetelmällä pystyttiin kartoittamaan 67–89 %. Menetelmää tulisi vielä testata suuremmalla aineistolla ja pienempimittakaavaisilla ilmakuvilla. Kuolleiden puun määrän lisäksi myös muita mahdollisia kriteereitä tulisi tutkia. Avainbiotooppien etsinnässä tulisi hyödyntää myös erilliset luontonselvitykset ja muu mahdollinen informaatio (Kaukohavainnointiin perustuva... 1997).

6 METSÄVARATIETOJEN YLLÄPITOMENETELMÄT

6.1 Suunnittelun lähtötietojen laskennallinen ajantasaistus - esimerkkinä MELA

Juha Malinen, Matti Maltamo ja Tuula Nuutinen

6.1.1 Simulointi ja optimointi

MELA on Suomen oloihin kehitetty metsätalouden malli ja metsien käytön ja hoidon suunnitteluväline (Siitonen ym. 1996), jota käytetään esimerkiksi metsäalueen (metsätilan tai -yrityksen) tuotanto-ohjelmien laadinnassa ja metsävaratietojen laskennallisessa ajantasaistuksessa. MELA-käyttäjiä ovat mm. metsäteollisuusyhtiöt, Metsähallitus, Puolustusministeriö, metsäkeskukset ja Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, metsäoppilaitokset sekä Metlan tutkimusmetsät.

MELA-ohjelmistossa on kaksi pääosaa:

1. yksittäisiin puihin perustuva metsikkösimulaattori, joka tuottaa toteuttamiskelpoisia käsittelykehitysvaihtoehtoja metsiköille - tai muille laskentayksiköille kuten VMI-koealoille
2. tehokas optimointiohjelmisto-JLP (Lappi 1992), jolla voidaan laskea metsäalueelle ja sen ositteille asetetut tavoitteet täyttäviä tuotanto-ohjelmia.

Simulaattori tuottaa jokaiselle metsikölle käyttäjän parametreinä antamien ohjeiden mukaisesti useita käsittelykehitysvaihtoehtoja laskelmakaudelle. Vaihtoehdot poikkeavat toisistaan esimerkiksi harvennusten voimakkuudessa, lukumäärässä, ajoittumisessa tai uudistamistavan ja -ajankohdan valinnassa. Yleensä yksi vaihtoehtoista on lepo. Puukohtaisilla malleilla (Hynynen & Ojansuu 1996) voidaan tarkastella puiden ja niiden kasvun reagointia erilaisiin metsänkäsittelyihin ja oloihin. Perinteisiin tuottotaulukoihin rakentuissa simulaattoreissa voidaan tuottaa vain sellaisia käsittelyohjelmia, joita on sovellettu mallien laadinta-aineistossa.

MELA-simuloinnissa jokaiselle metsikön käsittelykehitysvaihtoehdolle varastoidaan simuloinnin kuluessa tietoja muun muassa metsikön ja puiden tilasta eri ajankohtina, niiden tilassa tapahtuvista muutoksista sekä toimenpiteiden tuloksena syntyvistä materiaali- ja rahavirroista. Optimointiosan avulla simuloidusta toteuttamiskelpoisten vaihtoehtojen joukosta voidaan koostaa erilaisia tuotanto-ohjelmia muuttamalla optimoinnin tavoitetta ja rajoitteita. Optimointi perustuu lineaariseen ohjelmointiin, jossa osa tavoitteista muotoillaan tavoitefunktioiksi ja osa rajoitteiksi.

Alueen tuotanto-ohjelman (yhteenvedon) lisäksi MELA tuottaa myös ohjelman vaatimat käsittelyohjeet kaikille metsiköille. Optimaalinen metsien käsittely rat-

keaa MELA:ssa siis laskelmien tuloksena. Metsien käsittelypäätökset ja niistä seuraava metsäalueen puuston kasvu eivät ole laskelman lähtöoletuksia vaan tulos, tietyn tuotanto-ohjelman suhteen ehdollinen ennuste.

Yksittäisiin puihin perustuva simulaattori tarvitsee lähtötiedokseen ns. kuvauspuut. Kun käytettävissä ei ole maastossa mitattuja kuvauspuita (esimerkkinä kuvioittaiset metsävaratiedot), kuvauspuut joudutaan johtamaan malleilla. Aineiston muodostuksessa on kaksi versiota. Perusversiossa kuvioittain kerätty maastoaineisto viedään MELA-ohjelmiston lähtöaineistoksi. Erikoisversiossa on lisäksi mahdollisuus ohjata yksittäisten metsikkökuvioiden toimenpiteiden simuloimista. Tämä on tarpeellista, mikäli keskimääräiset metsikkötiedot eivät riitä toimenpiteiden päättelyyn suunnittelulaskelmissa tai kun halutaan ajantasaistaa metsävaratiedot MELA-simulaattorilla ottaen huomioon puuston kasvu ja tehdyt toimenpiteet.

Kuviopohjaisten metsävaratietojen laskemiseksi MELA-ohjelmistoon on liitetty laajennusosa puustotietojen ajantasaistukseen (Kilpeläinen & Malinen 1998). Puustotietojen ajantasaistus on MELA-sovellus, jolla saatetaan ajan tasalle puusto-ositteiden keskitunnukset ja tilavuus sekä lasketaan puuston tuleva kasvu. MELA-ohjelmistolla ajantasaistetut puustotiedot voidaan palauttaa käyttäjän tietojärjestelmään puustotietojen ajantasaistussovelluksen tuottamasta tekstitiedostosta, jonka sisällön eli palautettavat muuttujat käyttäjä voi itse määrittellä.

6.1.2 Simuloinnin lähtötietojen muodostaminen

Puujoukon muodostus läpimittajakaumamalleilla

Puustotunnusten laskennan perustana käytetään yleensä puun rinnankorkeusläpimittaa. Jos metsikön kaikkien puiden rinnankorkeusläpimitat mitataan, saadaan selville puuston empiirinen runkolukusarja. Yleensä ei kuitenkaan ole käytettävissä yksittäisiä puutunnuksia, vaan tiedossa on pelkästään kuvioittaisessa arvioinnissa arvioituja puustotunnuksia, kuten metsikön keskiläpimitta, pituus, metsätyyppi ja pohjapinta-ala. Pelkkää keskiläpimittaa ei kannata käyttää ennustettaessa esimerkiksi puiden keskitilavuutta, sillä läpimitan ja tilavuuden välillä vallitsee epälineaarinen riippuvuus. Systemaattisen virheen eliminoimiseksi keskiläpimitan avulla muodostetaan yleensä teoreettinen runkolukusarja, jonka jälkeen voidaan hyödyntää puun läpimitan ja tilavuuden välistä relaatiota (Kilkki 1984). Erilaiset läpimittajakaumamallit muodostavatkin yleensä metsäsuunniteluohjelmistojen ja tuotosmallien perustan (esim. Kilkki & Siitonen 1975, Saramäki 1992, Pukkala 1994) ja ne ovat korvanneet aikaisemmin hyödynnetyt relaskooppitaulukot (Nyyssönen 1954).

Teoreettisina läpimittajakauman kuvaajina käytetään yleisesti todennäköisyysjakaumia kuten Weibull-, beta- tai Johnsonin S_B -jakaumia (Bailey & Dell 1973, Loetsch et al. 1973, Hafley & Schreuder 1977). Näiden jakaumien vertailuissa on päädytty vaihteleviin tuloksiin eikä ole löydettävissä mitään biologista perustetta suosia jotakuta näistä funktioista (Hafley & Schreuder 1977, von Gadow 1984, Maltamo ym. 1995). Todennäköisyysjakaumat sopivat erityisesti silloin, kun puusto muodostaa yksihuippuisen jakauman – kuten yleensä käsitellyissä talousmetsissä (ks. esim. Maltamo 1998). Vaihtoehtona todennäköisyysjakaumille puuston läpimittajakauman kuvaajana ovat ns. jakaumista riippumattomat ja ei-parametriset menetelmät. Kannattaa kuitenkin muistaa, että käytettiinpä läpimittajakauman ennustamisessa joko parametrisia jakaumia tai ei-parametrisia menetelmiä, niin lopputuloksen tarkkuus on hyvin pitkälle riippuvainen lähtötiedon määrästä.

Suomessa jakaumat on perinteisesti muodostettu siten, että runkoluvun sijasta metsikön pohjapinta-alaa on käytetty hehtaariohtaisena skaalaustekijänä (esim. Päivinen 1980, Kilkki & Päivinen 1986). Pohjapinta-alalla kuvatusta puujoukosta käytetään nimitystä pohjapinta-alan läpimittajakauma. Suuret ja kokonsa vuoksi usein arvokkaimmat puut ovat saaneet tässä jakaumassa enemmän painoa (Päivinen 1980). Vastaavasti pienet puut, joilla on tietyissä tapauksissa tärkeä merkitys puuston kasvun simuloinnissa, kuvautuvat tällöin epätarkemmin (esim. Maltamo ja Uuttera 1998).

Sekametsissä läpimittajakauma voidaan muodostaa joko koko puustolle (Siipilehto 1988, Maltamo ym. 1995) tai eri puulajeille ja -jaksoille erikseen (Kilkki & Päivinen 1986, Kilkki ym. 1989, Maltamo 1997), jolloin metsikkökohtaiset tulokset saadaan summaamalla eri ositteet yhteen. Maltamon (1997) mukaan puulajikohtaisten mallien tilavuuden virhe on vain noin puolet metsikkökohtaisten mallien virheestä. Metsikkömalleissa kuusi-mäntysekametsässä kuusen osuus tilavuudesta yleensä yliarvioidaan ja männyn osuus aliarvioidaan (Siipilehto 1988, Maltamo 1997). Sekametsissä, joissa toinen osite on lehtipuuta, yleisesti aliarvioidaan havupuun tilavuus ja yliarvioidaan lehtipuun tilavuus.

Todennäköisyysjakaumien käyttö puujoukon ennustamisessa

Todennäköisyysjakaumia on perinteisesti hyödynnetty puujoukon ennustamisessa siten, että ensin on mitattu joukko erilaisia metsiköitä, joilla on erilaiset empiiriset läpimittajakaumat ja puustotunnukset. Mitattuihin jakaumiin on tasoitettu jokin todennäköisyysjakauma ja jakauman parametreille on laadittu regressiomallit käyttäen puustotunnuksia selittäjinä (esim. Päivinen 1980, Rennolls ym. 1985, Kilkki & Päivinen 1986). Tulokseksi saadaan regressiomalleja, joilla ennustetaan jakauman parametrit (ns. parameter prediction) ja jakauma skaalataan metsikkötasolle pohjapinta-alan tai runkoluvun avulla. Jakauman muodostamisen

jälkeen se jaetaan systemaattisesti ns. kuvauspuihin, joille lasketaan malleilla edelleen muut puutunnukset, kuten pituus, läpimitta ja kasvu (Pukkala 1994, Veltheim 1987, Laasasenaho 1982, Hynynen 1995).

Käytettäessä betajakaumaa tarvitaan malli läpimitan keskihajonnalle, kun taas jakauman muut parametrit – minimi-, keski- ja maksimiläpimitta – voidaan joko laskea mallilla tai arvioida maastossa. Johnsonin S_B -jakautumassa tarvitaan mallit kolmelle tai kahdelle parametrille (Siipilehto 1999). Weibull-funktiossa tarvitaan jakauman kolmesta parametrusta malli kahdelle ja kolmas voidaan laskea kertymäfunktion analyttisen kaavan, kahden muun parametrin ja keskiläpimitan avulla. Vastaavasti, jos minimiläpimitta on mitattu maastossa tai käytetään nol-lasta alkavaa 2-parametrusta Weibull-funktiota, tarvitaan malli vain yhdelle parametrille. Weibull-jakaumasta on kokeiltu myös käännteistä muotoa, jolloin yksi parametreistä kuvaa minimiläpimitan sijasta maksimiläpimittaa (Maltamo 1988, Kuru ym. 1992).

Metsikkökohtaisia parametrimalleja on Suomessa tehty niin mänty- kuin kuusi-valtaisillekin puustoille (Päivinen 1980, Siipilehto 1988, Maltamo ym. 1995). Puulajikohtaisia malleja on männylle (Kilki & Päivinen 1986, Mykkänen 1986, Maltamo 1997, Siipilehto 1999), kuuselle (Kilki ym. 1989, Maltamo 1997, Siipilehto 1999), koivulle (Siipilehto 1999) ja harmaalepälle (Kärki ym. 1998). Mallit on laadittu yleensä maantieteellisesti laajoista inventointiaineistoista, joissa on mukana sekä monia kehitysluokkia että kasvupaikkoja. Erityistapauksina voidaan mainita Hökän ym. (1991) tutkimus, jossa mallitettiin erityisesti suopohjaisten metsiköiden läpimittajakaumia sekä Siipilehdon (1996) tutkimus, jossa käsiteltiin kaksiulotteista Johnsonin S_{BB} -jakaumaa. Sillä kuvattiin samanaikaisesti sekä läpimitta- että pituusjakaumaa.

Siipilehdon (1999) työssä sekametsiä kuvattiin Johnsonin S_B -jakaumalla puulajikohtaisesti. Selittävinä muuttujina parametrimalleissa käytettiin sekä pohjapinta-alaa että runkolukua. Tällöin, vaikka kyseessä olikin pohjapinta-ala läpimittajakauma, saatiin myös pieniläpimittainen puusto kuvatuksi tarkemmin. Kyseisten mallien käyttö edellyttää, että maastossa on mitattu sekä pohjapinta-ala että runkoluku.

Useissa ulkomaisissa tutkimuksissa on kritisoitu parametrien ennustamismenetelmän käyttöä tuotossimulaattoreiden perustana (esim. Burk & Newberry 1984, Borders ym. 1987). Syynä on metsikkötunnusten ja parametrien suuri keskinäinen vaihtelu, jonka takia parametrimallit keskiarvoistavat metsiköitä liikaa. Parametrimalleja pidetään mm. Yhdysvalloissa jo vanhentuneena tapana ennustaa puuston läpimittajakauma (Borders ym. 1987).

Vaihtoehtoinen menetelmä ennustaa todennäköisyysjakauman parametrejä metsikkötunnuksilla on ns. parametrien palauttaminen (parameter recovery)(esim. Hyink & Moser 1983, ks. myös Siipilehto 1996). Kyseisessä menetelmässä metsikkötunnuksilla ei ennusteta suoraan parametrejä, vaan jakaumaa kuvaavia momenteja. Momenttien avulla puolestaan määritetään jakauman parametrit analyyttisesti (esim. Hyink & Moser 1983). Momenttien riippuvuus on yleensä suurempi metsikkötunnuksista kuin itse parametrien (ks. Siipilehto 1996). Pienet muutokset metsikkötunnuksissa kuvautuvat myös herkemmin momentteihin. Menetelmän soveltamiskelpoisuus riippuu momenttien ja parametrien välisestä analyyttisestä yhteydestä (Knoebel & Burkhardt 1981). Parametrien palauttamista on sovellettu mm. Weibull-jakauman yhteydessä (Burk & Newberry 1984). Suomalaisia sovelluksia menetelmästä ei toistaiseksi ole olemassa, joskin Weibull-jakauman ennustamista siten, että yksi parametri lasketaan kertymäfunktion analyyttisellä kaavalla, voidaan pitää osittain parametrien palauttamisena.

Jakaumista riippumattomat (distribution independent) parametriset menetelmät

Todennäköisyysjakaumien käyttöä hankaloittaa se, että jakaumat ovat jäykkiä ja yksihuippuisia. Vain Caon & Burkhardtin (1984) esittelemä segmentoitu lähestymistapa kuvata metsikkö useamman Weibull-jakauman avulla mahdollistaa useampihiippuisuuden kuvaamisen. Tällöinkään lopputuloksena saatava jakauma ei noudata Weibull-jakaumaa. Menetelmän käytettävyyttä jakauman ennustamisessa on kuitenkin kyseenalainen. Uusien metsänkäsittelyohjeiden ansiosta puuston rakenne yksittäisissä metsiköissä on muuttumassa entistä vaihtelevammaksi, minkä vuoksi myös läpimittajakauman kuvaajien olisi oltava monimuotoisempia.

Vaihtoehtona todennäköisyysjakaumille on esitetty ns. prosentiosuusmenetelmä (percentiles) (Borders ym. 1987). Prosentiosuusmenetelmä perustuu olemassa olevaan aineistoon tarkasti mitatuista metsiköistä. Kussakin metsikössä mitatut puut järjestetään läpimitan mukaan nousevasti ja sitten määritetään tiettyjä prosenttipisteitä vastaavat läpimitat. Näille läpimitoille (prosenttipisteille) laaditaan regressiomallit metsikkötunnusten ja mahdollisesti muiden prosenttipisteiden läpimittojen avulla. Sovelluksissa metsikkötunnuksilla ennustetaan prosenttipisteet ja jakauma on näiden pisteiden muodostama kuvaaja, josta voidaan laskea minkä tahansa läpimittaluokan osuus. Menetelmällä voidaan myös tuottaa useampihiippuisia jakaumia.

Bordersin ym. (1987) tutkimuksessa käytettiin 12 prosenttipistettä ja näiden pisteiden regressiomallit laadittiin yhdenaikaisesti SUR-estimoinnilla (Seemingly Unrelated Regression). Peruspisteenä toimi 65 % piste, joka ennustetaan ensimmäisenä ja jota hyödynnetään muiden pisteiden ennustamisessa. Menetelmää ovat

edelleen kehittäneet Borders & Patterson (1990) ja Knowe ym. (1997), jolloin myös jakauman kehitystä on kuvattu prosenttiosuuspiesteiden avulla.

Viime aikoina prosenttiosuusmenetelmää on sovellettu myös suomalaisissa tutkimuksissa. Maltamon ym. (1999) työssä harvennettuja ja harventamattomia (osa 2-huippuisia) mäntyvaltaisia nuoria kasvatusmetsiä kuvattiin prosenttiosuusmenetelmällä. Ennustettu jakauma tasoitettiin jatkuvaksi splinitasoituksella. Tutkimuksessa todennettiin prosenttiosuusmenetelmän kyky tuottaa useampihiippuisia jakaumia. Menetelmää on edelleen hyödynnetty Kankaan ja Maltamon (1999a ja 1999b) tutkimuksissa. Jälkimmäisessä työssä laadittiin eri puulajeille prosenttiosuusmenetelmään perustuvia pohjapinta-alan läpimittajakaumamalleja. Tutkimukset sisältävät myös menetelmiä ennustetun jakauman kalibroimiseksi mitalla lisäinformaatiolla.

Ei-parametriset menetelmät

Vaihtoehtona edellä esitellyille erilaisille parametrisille menetelmille ovat ns. ei-parametriset menetelmät, joissa puuston läpimittajakauman ei oleteta noudattavan mitään määrättyä parametrissa jakaumamuotoa, vaan aineisto määrittelee itse jakaumansa tapauskohtaisesti. Läpimittajakaumien ennustamisen yhteydessä voidaan tällöin soveltaa esim. grid-menetelmää sekä kernel- ja k:n lähimmän naapurin regressiota (Puumalainen 1994, Moeur & Stage 1995, Haara ym. 1997, Maltamo & Kangas 1998). Lähtökohtana on – kuten parametrisissakin menetelmissä – mitatut puuston keskitunnukset, jotka tiedetään kohdemetsiköistä. Lisäksi tarvitaan joukko aikaisemmin mitattuja läpimittajakaumia eli referenssimetsiköitä. Tätä ns. kirjastoa voidaan verrata parametrimallien laadinta-aineistoon, mutta siinä missä parametrimalli sisältää informaatiota tasaisesti kaikista laadinta-aineiston metsiköistä niin ei-parametristen menetelmien yhteydessä hyödynnetään aina vain lähimpiä eli yhdenmukaisimpia havaintoja.

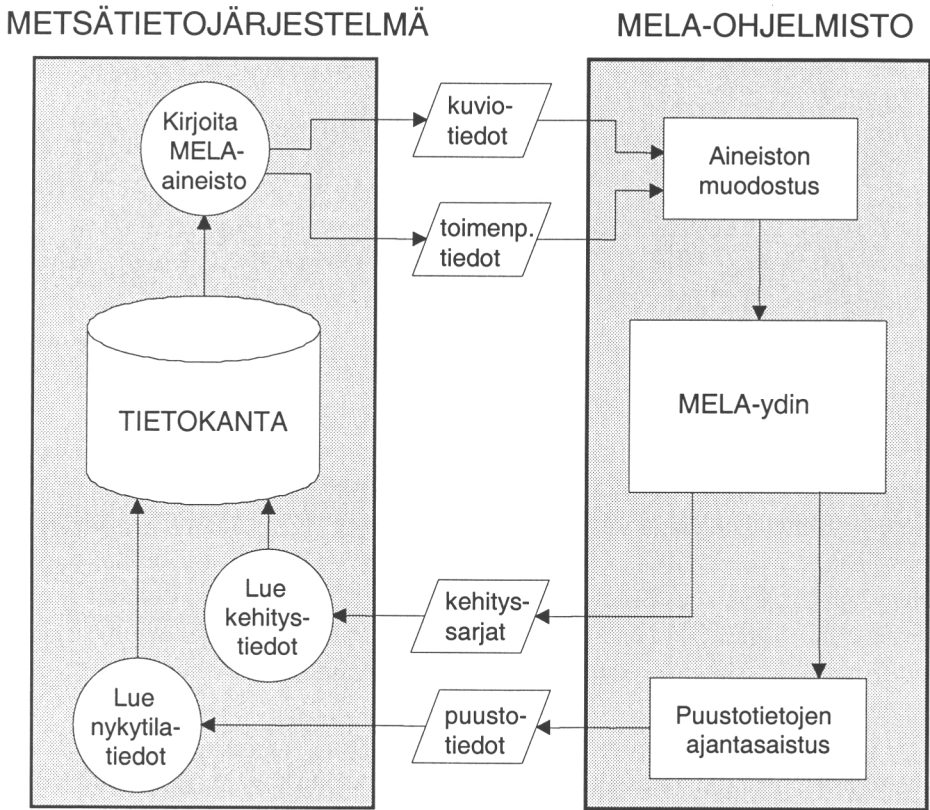
Grid-menetelmässä hyödynnetään tapauskohtaisesti vaihtelevaa määrää keskitunnuksiltaan riittävän samankaltaisia mitattuja referenssimetsiköitä (Holm ym. 1979). Grid-menetelmän etuna on se, että kuvausmetsiköitä voidaan tapauskohtaisesti hakea vaihtelevantasoilla lähtötiedoilla. Kernel-regressio poikkeaa grid-menetelmästä siinä, että valitut referenssimetsiköt painotetaan etäisyydellä (Härdle 1989, Altman 1992). K:n lähimmän naapurin menetelmässä puolestaan haettujen referenssimetsien määrä on vakio, mutta niitä haetaan tapauskohtaisesti vaihtelevalta etäisyydeltä.

Ennen kuin k:n lähimmän naapurin menetelmää voidaan soveltaa, täytyy määrittää etäisyys- ja painofunktion muoto sekä haettavien naapurien lukumäärä. Etäisyysfunktiossa määrätään kertoimet eri metsikkötunnusten erotukselle kohde- ja referenssimetsikön välillä. Painofunktio puolestaan määrää suhteellisen painon

etäisyyden funktiona. Mitä enemmän haetaan naapureita sitä keskiarvoistetumpi on ennustettu jakauma. Tutkimuksissa on todettu, että grid-menetelmän tarkkuus on selvästi huonompi kuin parametrimallien (Puumalainen 1994). K:n lähimmän naapurin menetelmällä saadaan puolestaan yhtä tarkkoja tai jopa hieman tarkempia tuloksia kuin parametrimalleilla, mikäli lopullinen kohdemetsikön läpimittajakauma on valittujen referenssimetsiköiden painotettu summa, joka on skaalattu kohdemetsikön pohjapinta-alaa vastaavaksi (Maltamo 1998, Maltamo & Kangas 1998). K:n lähimmän naapurin menetelmän etuna on edelleen se, että saadut läpimittajakaumaennusteet perustuvat todellisiin puihin teoreettisten jakaumien sijasta. K:n lähimmän naapurin menetelmästä on olemassa käyttökelpoinen sovellus mäntyjen läpimittajakaumille (Maltamo & Kangas 1998).

MELA-aineiston muodostaminen metsikkökuvioittain kerätystä maastoaineistosta

MELA-aineiston muodostukseen kehitetyllä laajennusosalla (kuva 6) tuotetaan simuloinnin lähtöaineisto MELA-ohjelmiston vaatimaan muotoon (Siitonen ym.

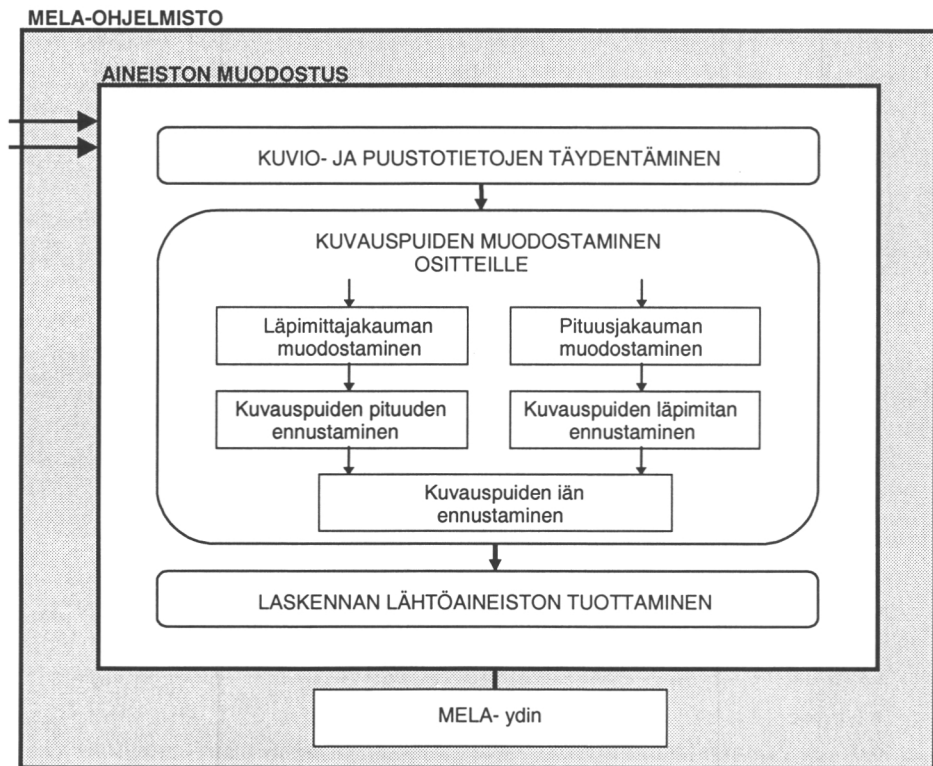


Kuva 6. Aineiston muodostus ja puustotietojen ajantasaistus MELA-ohjelmistossa.

1996) metsikkökuvioittain kerätyistä kuvio- ja puustotiedoista sekä metsikkökuvioille ehdotetuista toimenpiteistä. Aineiston muodostus käsittää kuvio- ja puustotietojen täydentämisen, kuvauspuiden muodostamisen ositteille sekä simuloinnin lähtöaineiston tuottamisen (kuva 7).

Aineiston muodostuksessa käytetään ensisijaisesti maastossa mitattuja tietoja. Kuvio- ja puustotietoja täydennetään mallien avulla, jos kuvauspuiden muodostamisessa tai laskennan lähtöaineiston muuttujissa on puutteita. Täydentämällä kuviotietoihin saadaan lisäksi korkeus meren pinnasta ja lämpösumma. Puustotietojen täydentämistä ei kuitenkaan suositella, koska mallien avulla ei voida riittävän hyvin ennustaa keskitunnusten vaihtelua metsiköiden välillä.

Aineiston muodostukseen liittyy oleellisena osana kuvauspuiden järjestäminen läpimitta- tai pituusjakaumaksi. Kuvauspuut muodostetaan ositteille läpimittajakaumalla, kun ositteen keskiläpimitta on vähintään 5 cm ja pituusjakaumalla, kun ositteen keskiläpimitta on alle 5 cm. Läpimittajakauma kuvataan Weibull-jakaumalla, jonka parametrit ennustetaan malleilla (Kilkki ym. 1989, Mykkänen 1986). Ennustetusta Weibull-jakaumasta saadaan kuvauspuiden läpimitat ja poh-



Kuva 7. Kuvauspuiden ennustaminen on osa aineiston muodostusta.

japinta-alaosuudet. Kun käytetään läpimittajakaumaa, kuvauspuiden pituus ennustetaan ositteeseen kalibroidulla pituusmallilla (Veltheim 1987).

Puuston pituusjakaumana käytetään normaali jakaumaa, jolla ennustetaan kuvauspuiden pituus. Kuvauspuiden läpimittana käytetään ositteen mitattua keskiläpimittaa. Kuvauspuiden ikänä käytetään sekä läpimitta- että pituusjakaumassa ositteen mitattua keski-ikä.

Aineiston muodostuksessa metsikkökuvioille voidaan antaa myös toimenpidetietoja. Ne voivat olla maastoinventoinnin jälkeen tehtyjä toimenpiteitä tai ehdotuksia tulevista toimenpiteistä. Käyttäjän määrittelemiksi toimenpiteiksi hyväksytään MELA-sovelluksessa määritellyt tapahtumat. Toimenpiteiden ohjauksessa pelkkä puuston kasvatus ts. kuvion jättäminen lepoon on myös mahdollista.

6.1.3 Metsävaratietojen laskennallinen ajantasaistus

Metsävaratiedot voidaan ajantasaistaa haluttuun ajankohtaan MELA-ohjelmistolla, jossa puuston kehitys ennustetaan puukohtaisilla malleilla. Kuviokohtaisesti metsävaratiedot voidaan ajantasaistaa simuloimalla kuvion puuston kehitystä ennalta määrätyn käsittelykehitysvaihtoehdon mukaisesti. Ennalta määrätty käsittelyvaihtoehto voidaan toteuttaa maastossa inventoinnilla todetun toimenpiteen tai maastossa ehdotetun toimenpiteen mukaisesti tai olettaen, ettei kuviota ole käsitelty inventoinnin jälkeen.

Suuralueella jokaiselle laskentakuvioille ei aina pystytä hankkimaan maastotietoja tehdyistä toimenpiteistä. Tällöin MELA-ohjelmiston simulaattorilla voidaan tuottaa jokaiselle laskentakuvioille useita mahdollisia käsittelyvaihtoehtoja ja MELA:n optimointiosalla hakea näistä vaihtoehdoista metsäalueelle sellainen tuotanto-ohjelma, joka toteuttaa tilastoidut hakkuut ja metsänhoitotyöt. Koska MELA:sta saadaan tuotanto-ohjelman (yhteenvedon) lisäksi myös ohjelman toteuttavat käsittelyohjeet kaikille metsiköille, optimoinnin sivutuotteena saadaan näennäisesti ajantasaistetut metsävaratiedot kaikille laskentakuvioille (Siitonen 1993, Vauhkonen 1995).

Kuvioittaisten metsävaratietojen ajantasaistukseen kehitetyllä MELA-laajennusosalla voidaan laskea puuston keskitunnukset ja tilavuus (vrt. MELA-ohjelmiston simulointitietueen puumuuttajat) sekä puuston tuleva kasvu ja arvokasvu haluttuna ajankohtana. Tuleva kasvu on seuraavan 5 vuoden kasvun ennuste. Kasvu voidaan simuloida joko siten, että kuviolla ei tehdä toimenpiteitä tai siten, että kuviolla tehdään käyttäjän määrittelemät toimenpiteet. Tunnukset ennustetaan laskentaan tuoduille ositteille.

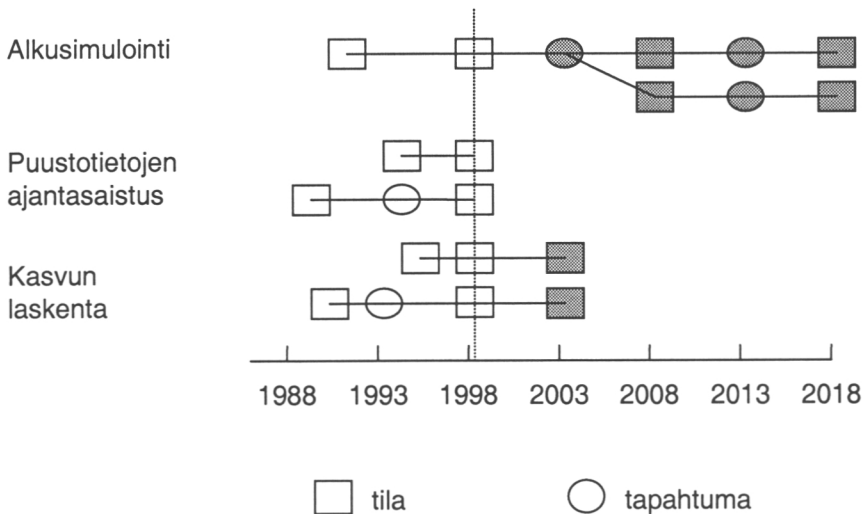
Metsävaratietojen ajantasaistuksessa voidaan erottaa kolme tapausta (kuva 8), joista kaksi jälkimmäistä ovat MELA-ohjelmistossa uusia ominaisuuksia:

1. puustotietojen ajantasaistus laskentakauden alkuun (alkusimulointi) suunnittelulaskelmissa
2. puustotietojen ajantasaistus
3. kasvun laskenta.

Puustotietojen ajantasaistusta laskentakauden alkuun eli alkusimulointia käytetään, kun eri ajankohtina inventoidut kuviotiedot halutaan ajantasaistaa laskentakauden alkuun, josta varsinainen vaihtoehtojen simulointi alkaa. Näin esimerkiksi eri aikaan inventoitujen kuvioiden puustotiedot saadaan alkusimuloinnilla samaan ajankohtaan. Alkusimuloinnissa puustotiedot kasvatetaan laskentakauden alkuun, mutta tehtyjä toimenpiteitä ei voida ottaa huomioon.

Puustotietojen ajantasaistus ja kasvun laskenta voidaan yhdistää puustotietojen ajantasaistussovellukseksi. Puustotietojen ajantasaistus voidaan liittää saumattomasti myös suunnittelulaskelmiin eli ne voidaan tehdä samassa MELA-ajossa. Sen sijaan kasvun laskenta on tehtävä omassa laskentasovelluksessa, koska suunnitelusovelluksen yhteydessä kasvu on optimoinnilla haetun tuotanto-ohjelman kasvuennuste. Tehdyt toimenpiteet (esim. hakkuut) voidaan ottaa huomioon sekä puustotietojen ajantasaistuksessa että kasvun laskennassa.

Laskennallisesti ajantasaistettuja puustotietoja käytetään suunnittelujärjestelmissä aivan kuin ne olisivat tarkasti mitattuja. Tulosten luotettavuus maastossa inventoituihin tietoihin verrattuna kuitenkin heikkenee ajan kuluessa, kun puuston



Kuva 8. Esimerkkejä metsävaratietojen ajantasaistamisesta MELA-ohjelmistolla.

kasvua ennustetaan tilastollisilla malleilla. Malleilla saatujen ennusteiden luotettavuutta ja mallien virhelähteitä ovat tarkastelleet mm. Kangas (1996, 1997, 1998) sekä Kangas & Kangas (1997).

6.2 Muutosten seuranta kaukokartoituksella

Helena Mäkelä

6.2.1 Muutosten seurantarave

Metsäsuunnittelussa tarvitaan tietoa kasvuoloista, metsävaroista ja niiden muutoksista. Kasvipeitteen normaalia sukkessiota ja siihen liittyvää puuston kasvua voidaan ennustaa laskennallisesti. Ihmisen toimenpiteet, kuten hakkuut ja metsänhoitotyöt, aiheuttavat häiriöitä metsän luontaiseen kehityskulkuun. Vastavaanlaisia häiriöitä aiheuttavat myös eläimet, sienet ja abioottiset tekijät, kuten tuuli ja lumi.

Perinteisesti muutoksista on saatu tietoa vertaamalla toisiinsa perättäisten inventointien tietoja. Hakkuutiedot voidaan myös päivittää suoraan tietojärjestelmään; hakkuualueet rajataan kartoille ja kuvion tietosisältö päivitetään. Yksityismetsätaloudessa tämä ei vielä kuitenkaan ole mahdollista, sillä tiedonsaanti uudistettavissa olevista ja uudistetuista kohteista on epävarmaa. Myös kestävän metsätalouden rahoituslain soveltamiseen ja seurantaan tarvitaan tietoa toimintasuunnitelmien toteutumisesta, esimerkiksi uudistuskohteista.

Hakkuiden seurannan lähtökohtana ovat lakisäätteiset metsänkäyttöilmoitukset, joita metsänomistajat, metsänhoitoyhdistykset ja metsäteollisuusyritykset lähettävät metsäkeskuksille. Tällä hetkellä metsänkäyttöilmoituksen ominaisuustiedot ovat tietokannassa, mutta sijaintitiedot vain paperikarttoina tai viitteinä metsäkuvioaineistoon. Aineistoa on sekä vanhan yksityismetsälain että uuden metsälain mukaisessa muodossa. Tavoitteena on, että tulevaisuudessa metsänkäyttöilmoitukset sijaintitietoineen toimitetaan metsäkeskuksille numeerisena, jolloin hakkuiden seuranta helpottuu. Hakkuuilmoitus on tosin vain metsänomistajan aikomus toimenpiteestä, jonka toteutumisesta ei ole varmuutta.

Valtion tuella toteutettavien metsänhoitotöiden rahoituspäätöksiin ja seurantaan tarvitaan paikkatietoa työkohteiden suunnitelmista ja toteutuksesta. Kestävän metsätalouden rahoitusta voidaan myöntää seuraaviin metsien hoitoa ja käyttöä edistäviin töihin: metsänuudistaminen, kulutus, nuoren metsän hoito, energiapuun korjuu, metsänterveyslannoitus sekä metsätien rakentaminen. Tällä hetkellä kohteiden ominaisuustiedot on talletettu tietokantaan, mutta kohteiden sijainti on rajattu paperikartoille. Aineistoa on sekä vanhan metsänparannuslain että uuden kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisessa muodossa. Tulevaisuudessa myös tämän aineiston tulisi olla numeerisessa muodossa. Tiedon saaminen met-

sässä tapahtuvista muutoksista vaatii nykyään erillisiä inventointeja. Kauko-havainnointi on eräs tapa päivittää äkilliset muutokset metsävaratietoihin.

6.2.2 Muutosten seuranta satelliittikuvilta

Muutosten seurantaan kaukokuvilta liittyy kolme vaihetta: muutoksen tunnistus, muutoksen tulkinta ja muutosalueen rajaaminen. Nykyaikaisissa järjestelmissä nämä vaiheet voivat myös limittyä. Yleensä muutostunnistus perustuu kahden eri ajankohdan kaukokuvilla havaittaviin eroihin, mutta voimakkaissa muutoksissa, kuten avohakkuissa, voidaan käyttää myös yhden ajankohdan kaukokartoitusaineistoa. Eri ajankohtien satelliittikuvissa havaittaviin intensiteettien muutoksiin on neljä päätekijää (Häme 1991):

1. Heijastavien ja emittoivien elementtien (maa, aluskasvillisuus ja puut) ominaisuudet ja keskinäiset suhteet
2. Säteilylähteen, kasvuston ja havaintolaitteen väliset kulmat
3. Ilmakehän ominaisuudet
4. Signaalin tallennus ja käsittely.

Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat metsäsuunnittelun/metsätalouden kannalta kiinnostavat muutokset, joten muiden tekijöiden vaikutus tulisi pystyä minimoimaan. Vuodenajan vaihtelu aiheuttaa kuvauskulmien lisäksi vaihtelua myös kasvillisuuden heijastamaan säteilyyn. Eriajakaisten kuvien tulisi olla samalta ajalta kasvukautta. Intensiteettieroja voi syntyä myös eriajakaisten kuvien oikaisusta päällekkäin sekä kuvien oikaisusta karttakoordinaatistoon.

Muutosten spektriset ominaisuudet

Äkilliset muutokset (hakkuut, metsänhoitotoimenpiteet, tuhot) boreaalisissa metsissä aiheuttavat optisella aallonpituusalueella heijastussuhteen muutoksen, joka on luokkaa 0,01 tai jopa pienempi (Olsson 1994).

Punaisen valon heijastussuhde laskee, kun metsikkö kehittyy aukeasta uudistuskypsäksi metsäksi ja kun kasvillisuuden biomassa lisääntyy (Häme 1984, Häme 1991). Nopeat muutokset puolestaan nostavat heijastussuhdetta, koska silloin kasvillisuuden biomassa vähenee. Uudistusaloille jäävän hakkuutähteen kuivues- sa punaisen valon heijastus ensin lisääntyy, mutta vähenee aluskasvillisuuden vallatessa alaa. Maanmuokkaus lisää punaisen valon heijastusta selvästi, sillä osa aluskasvillisuudesta tuhoutuu ja esille paljastuu voimakkaasti heijastavaa kivennäismaata (Häme 1991). Useat tuhot aiheuttavat lehdissä ja neulasissa värivikoja sekä lopulta harsuuntumista, mikä näkyy satelliittikuvissa punaisen valon heijastussuhteen vähentymisenä (Koch ym. 1990). Nilsonin (1991) mukaan männikön harsuuntuminen puolestaan lisää punaisen valon heijastusta.

Muutosten vaikutukset lähi-infrapun heijastussuhteisiin eivät ole niin selviä kuin punaisen valon heijastukseen. Avohakkuu lisää vähän lähi-infrasäteilyä, maanmuokkaus ei juuri ollenkaan (Häme 1991). Uudistusalan vesakoituminen lisää lähi-infrasäteilyä selvästi ja taimikonhoitotyöt puolestaan vähentävät sitä (Häme 1984). Havupuuvaltaisen metsikön kehittyessä myös lähi-infran heijastus vähitellen vähenee. Harvennushakkuut eivät aiheuta selviä muutoksia lähi-infran heijastukseen, sillä yleensä harvennuksessa poistetaan vallitsevan latvuserroksen alus- ja välipuita, jolloin latvusrakenne säilyy yhtenäisenä (Häme 1991, Nilson 1991). Tuhojen aiheuttamien värivikojen ja harsuuntumisen muutoksista lähi-infran heijastukseen on saatu ristiriitaisia tuloksia (Häme 1991). Koch ym. (1990) ja Nilson (1991) ovat tutkimuksissaan tulleet siihen tulokseen, että harsuuntuminen lisää lähi-infran heijastusta.

Olsson (1994) tutki mahdollisuuksia erottaa erityyppisiä hakkuita eriaikaisilta Landsat TM-kuvilta. Intensiteettien muutokset kuudella Landsat TM-kanavalla kuvattiin harvennusvoimakkuuden ja tärkeimpien metsikkömuuttujien sekä hakkuun sekä satelliittikuvan keilauksen välisen ajan funktiona. Avohakkuu aiheutti kaikilla TM-kanavilla intensiteettien nousun, pienimmän 0,02 1-kanavalla (sininen) ja suurimman 0,14 5-kanavalla (lähi-keski-infrapuna). Myös harvennushakkuu aiheutti muilla paitsi 4-kanavalla (lähi-infra) intensiteettien nousun, mutta noin 10 % pienemmän kuin avohakkuu. Intensiteettien nousuun vaikutti hakkuun voimakkuuden lisäksi männyn osuus. Mitä suurempi männyn osuus oli ennen harvennusta, sitä suurempi oli intensiteettien muutos. Harvennushakkuiden aiheuttamaan intensiteettien laskuun 4-kanavalla vaikutti selvästi lehtipuuosuuden väheneminen harvennuksen yhteydessä. Hakkuun vaikutus heijastussuhteisiin pieneni vuosi vuodelta. Useimmilla kanavilla intensiteettien muutos väheni puoleen 4–5 vuodessa hakkuun jälkeen (Olsson 1994).

Kuvien radiometrinen kalibrointi

Kalibroinnin tavoitteena on saattaa eriaikaiset satelliittikuvat radiometrisesti vertailukelpoisiksi poistamalla mahdollisuuksien mukaan muiden kuin kiinnostavien muutosten vaikutus kuvien välillä. Kalibroinnilla voidaan myös pyrkiä poistamaan normaalin kasvillisuuden muutoksen eli biomassan kasvun aiheuttamaa intensiteettieroja ja siten parantamaan äkillisten muutosten tunnistusta (Varjo 1997). Radiometrisiä kalibrointivaihtoehtoja on periaatteessa kaksi: absoluuttinen ja relatiivinen kalibrointi. Absoluuttisella kalibroinnilla pyritään eliminoimaan eri häiriötekijöiden aiheuttamat erot matemaattisesti ja muuttamaan satelliittikuvien intensiteetit vastaamaan heijastusarvoja latvuston yläpuolella (Olsson 1994). Absoluuttisessa kalibroinnissa tarvitaan tietoa ilmakehän ja keilaimen ominaisuuksista. Ilmakehän vaikutuksen korjaus voidaan tehdä esimerkiksi säteilyn käyttäytymistä ilmakehässä jäljittelevillä malleilla (Olsson 1994). Pitkän aikavälin muutoksia tutkittaessa on muistettava, että sensoreiden ominaisuudet vaihtelevat

vat malleittain ja niiden herkkyys voi heikentyä ajan myötä. harvennushakkuiden ja kohtalaisten tuhojen aiheuttama sävyarvomuuotos (0.01 tai pienempi) on samaa luokkaa kuin absoluuttisen kalibroinnin tarkkuus (Häme 1991, Olsson 1994).

Relatiivisella eli suhteellisella kalibroinnilla eriaikaiset kuvat skaalataan radiometrisesti samalle tasolle kiinnittämättä huomiota ilmakehän ja sensorin aiheuttamiin intensiteettimuutoksiin tai yrittämättä estimoida todellisia heijastusarvoja. Suhteellinen kalibrointi voi perustua joko sävyarvoihin tai sävyarvojakaumiin. Sävyarvojakaumiin perustuvia menetelmiä ovat esimerkiksi histogrammien yhteensovittaminen ja kuvien skaalaus keskihajontojen suhteen. Parittaisiin sävyarvohavaintoihin perustuvista menetelmistä yleisin on regressioanalyysi (Olsson 1994).

Muutostunnistusmenetelmät

Muutosten havainnointiin kaukokuvilta voidaan käyttää useita eri analyysimenetelmiä yksinkertaisesta sävyarvojen kynnystyksestä neurolaskentaan. Osittain muutostunnistuksessa käytetään samoja menetelmiä kuin metsävarojen tulkinnassa yhden ajankohdan satelliittikuvilta. Yleisin muutostunnistusmenetelmä on eriaikaisten, samaan koordinaatistoon oikaistujen kuvien vähentäminen toisistaan kanavittain kuvanalkio kerrallaan. Muutosalueet voidaan rajata erotuskuvilta esimerkiksi asettamalla kynnyisarvo, jota suuremmilla arvoilla kuvanalkio tulkitaan muutokseksi ja pienemmillä arvoilla muuttumattomien alueiden luokkaan. Erotuskanavien arvot voidaan myös luokitella ohjatusti tai ohjaamattomasti (Häme 1991). Virheitä muutostulkinnassa aiheuttavat kuvien oikaisuvirheet sekä kuvioden rajapikselit. Lisäksi intensiteettien vähennyksessä menetetään alkupe-
räistä tietoa, mikäli alkuperäisiä kanavia ei käytetä erotuskanavien rinnalla.

Kahden eri ajankohdan kuvat voidaan myös tulkita erikseen samalla luokituksella ja verrata tulkintoja jälkikäteen toisiinsa. Vertailun tuloksena saadaan selville muuttuneiden kuvanalkioiden lisäksi myös muutostiedot luokasta toiseen. Jatko-
tutkimuksiin voidaan siten valita vain kiinnostavat muutokset, esimerkiksi alueen muuttuminen puustoisesta aukeaksi. Ongelmana vertaamisessa on erillisten luokitusten virheiden kertautuminen muutostulkinnassa (Singh 1989). Spektristem-
temporaalisessa muutostulkintamenetelmässä luokitetaan yksi kuva, johon on yhdistetty kanavia eri ajankohdan kuvista. Menetelmä sisältää vain yhden tulkintavaiheen, mutta se on monimutkainen ja edellyttää useita tulkintaluokkia. Oletuksena on, että muuttumattomilla alueilla saadaan tulokseksi samat luokat kuin saataisiin kahden kuvan erillisillä luokituksilla ja muutosalueilla saataisiin tulokseksi muutosluokat (Saukkola 1982, Singh 1989).

Alkuperäisten kanavien vaihtelusta suurin osa on seurausta muista tekijöistä kuin kiinnostavista muutoksista. Kuvamuunnosten tavoitteena on tiivistää intensiteet-

titietoa ja parantaa tulkintatulosta. Muunnoksina voidaan käyttää esimerkiksi kanavien välisiä suhteita ja lineaarikombinaatioita (erotukset) tai muodostaa uusia muuttujia kuten pääkomponentteja, kanonisia muuttujia tai faktoreita (Poso ym. 1984, Häme 1991). Pääkomponenttianalyysiä voidaan käyttää esimerkiksi suodatusmenetelmänä ennen varsinaista visuaalista muutostulkintaa tai esikäsitteilymenetelmänä ennen automaattista luokitusta (Lillesand & Kiefer 1994). Pääkomponenttianalyysi sopii myös tilanteisiin, joissa maastotietoa tai muuta ennakkotietoa muutoksista ei ole saatavissa (Lillesand & Kiefer 1994).

Muutostulkinnassa käytetyt kanavien suhteet ovat yleensä näkyvän punaisen valon ja lähi-infra kanavien suhteita, mikä perustuu kasvillisuuden voimakkaaseen absorptioon punaisen valon aallonpituudella ja heijastukseen lähi-infrapunan aallonpituudella. Kasvillisuustutkimuksissa esitetään useita erilaisia suhteita, kasvillisuusindeksejä, jotka johtavat yleensä samansuuntaisiin tuloksiin (Häme 1991). Muutostunnistuksessa voidaan käyttää eri ajankohtien kasvillisuusindeksien erotusta samaan tapaan kuin alkuperäisten intensiteettien erotusta (Nelson 1983).

Muutostulkinnan metsäsovelluksissa on käytetty myös segmentoidun kuvan luokitusta (Häme 1991, Olsson 1994) ja erotteluanalyysiä (Olsson 1994, Varjo 1996, 1997). Erotteluanalyysissä pyritään löytämään ne havaintoaineiston ominaisuudet, jotka toimivat parhaiten osajoukkojen tunnistamisessa. Menetelmällä voidaan myös arvioida luokkien välisiä eroja ja selvittää, mihin luokkaan uusi havaintoyksikkö todennäköisimmin kuuluu. Pääkomponenttianalyysin tapaan sillä voidaan tiivistää alkuperäistä tietoa ja muodostaa uusia muuttujia, jotka tässä tapauksessa erottelevat informatiiviset luokat parhaiten toisistaan.

Varjo (1993, 1996, 1997) käytti ei-parametriseen erotteluanalyysiin perustuvaa muutostunnistusmenetelmää, jossa käytetään hyväksi vanhoja metsikkökuviotietoja. Erottelufunktion selittävinä tekijöinä olivat metsikkökuvioiden intensiteettien kolme ensimmäistä keskusmomenttia (keskiarvo, keskihajonta ja vinous) kullakin kahden eriaikaisen Landsat TM -kuvan erotuskanavalla. Muuttujat valittiin askeltavalla erotteluanalyysillä ja vain merkittävät erottelijat sisällytettiin analyysiin. Intensiteettitietojen lisäksi metsikkökuvioiden pohjapinta-alaa ja ikää käytettiin erotteluanalyysin selittävinä muuttujina. Tukiaineiston muutosluokat (muuttumaton, avohakkuu, ylispuuhakkuu ja harvennushakkuu) kuvattiin Kernel-funktiolla. Kernel-tiheystestimaatin arvo laskettiin jokaiselle metsikkökuvioille ja luokitettiin siihen muutosluokkaan, jossa tiheystestimaatin todennäköisyys oli suurin.

Perinteisten tilastollisten menetelmien ohella myös neurolaskentaa on sovellettu muutostunnistukseen (Gopal & Woodcock 1996, Heikkonen & Varjo 1998). Neurolaskenta on yleisnimi neuroverkkojen käyttöön perustuvalle ongelmanrat-

kaisulle. Neuroverkko koostuu neuroneista ja niiden välisistä kytkennöistä. Keskeistä neurolaskennassa on antaa tiedon ohjata laskentaa, mikä toteutetaan opettamalla verkko opetusaineiston avulla. Opetusaineiston edustavuudella on suuri merkitys opetuksen onnistumiselle eli sille, miten hyvin ja kuinka nopeasti malli oppii. Oppimisen onnistuessa saadaan tulokseksi malli, joka on yleistänyt tutkittavan ilmiön ja jota voidaan soveltaa tietyin rajoituksin myös opetusaineistoon kuulumattomassa aineistossa. Neurolaskenta soveltuu hyvin muutostulkintaan satelliittikuvilta, sillä tutkittavat suhteet ovat usein luonteeltaan epälineaarisia kuten esimerkiksi kuvan intensiteettien ja puuston kuolleisuuden välillä. Neuroverkot pystyvät selvittämään muuttujien välisiä monimutkaisiakin riippuvuussuhteita.

6.2.3 Muutostunnistuksen metsäsovellukset satelliittikuvilla

Hakkuut

Saukkola (1982) tutki eriaikaisten Landsat MSS -kuvien käyttömahdollisuuksia uudistushakkuiden seurannassa. Työssä analysoitiin hakkuiden aiheuttamia sävyarvomuutoksia ja pyrittiin löytämään parhaat kanavat eri hakkuiden erotteluun. Hakkuiden tulkinta kuvioiden keskiosalla oli selvää, mutta kuvion reunat olivat ongelmallisia. Karkean maastoerotuskyvyn (80 x 80 m) takia huomattava osa varsinkin pienten kuvioiden pinta-alasta oli rajapikseleitä. Harvennushakkuun aiheuttama sävymuutos kuvalla oli verraten pieni ja samankaltainen kuin muutokset hakkaamattomilla kuvioilla. Saukkolan (1982) tutkimuksen mukaan avohakkuualueet sekoittuvat helposti avosoihin, mikäli tulkinnassa ei käytetä hyväksi suokarttaa. Märkien, rimpisten soiden vedenkorkeuden vaihtelu, lähinnä kuivuminen, aiheuttaa samankaltaisen sävyarvojen muutoksen kuin avohakkuu. Peltoalueet erottuivat yleensä hyvin avohakkuista niiden korkean lähi-infraheijastuksen avulla. Lisäksi maatalousalueille oli tyypillistä voimakas säteilyarvojen vaihtelu sekä peltojen välillä että kasvukauden eri ajankohtina. Uudistushakkuiden tulkinta oli varsin luotettavaa: 96 % kuvioista tulkittiin oikein ja virheellisesti luokitellut kuviot olivat yleensä pienikokoisia. Landsat MSS -kuvien karkean erotuskyvyn takia vain yli 1,5 hehtaarin hakkuukuvioiden tunnistus oli mahdollista.

Häme (1991) testasi kuuden eri muutosluokan erottumista eriaikaisilta Landsat TM ja SPOT -kuvilta usealla eri menetelmällä. Tutkitut muutosluokat olivat 1) avohakkuu, 2) harvennushakkuu, 3) maanmuokkaus uudistusaloilla, 4) taimikonhoito, 5) versosurmatuho ja 6) taimikon vesoittuminen. Muutostulkinnassa käytettiin kahta ohjattua luokitusmenetelmää, lähimmän keskiarvon menetelmää ja maximum likelihood -luokitusta sekä yhtä ohjaamatonta menetelmää, moniulotteisen histogrammin segmentointia. Lisäksi vertailtiin useiden erilaisten kanava-muunnosten ja -yhdistelmien soveltuvuutta muutosten erotteluun. Parhaiten,

76 %:n tarkkuudella, muutosluokat tulkittiin erotteluanalyysillä kahden eriaikaisen kuvan alkuperäisiltä TM-kanavilta 1, 2, 3 ja 7. Myös pääkomponentteihin perustuvilla muunnoksilla päästiin 60–75 %:n tarkkuuksiin. Landsat TM -kuvat osoittautuivat muutostunnistuksessa SPOT-kuvia paremmiksi tarkemman radiometrisen erotuskykynsä vuoksi.

Hämeen (1991) tutkimuksessa tarkasteltiin myös muutosten spektrisiä ominaisuuksia. Kasvatushakkuiden poistuman kasvaessa lähi-infrasäteilyn intensiteetit laskivat ja punaisen valon intensiteetit nousivat. Regressioanalyysillä voitiin estimoida poistuman määrää, jos harvennushakkuut ensin eroteltiin muusta metsästä jollakin toisella menetelmällä.

Olssonin (1994) tutkimuksessa käytettiin erotteluanalyysiä hakkuualueiden tunnistamiseen muuttumattomista alueista. Analyysi tehtiin sekä kuvanalkio- että metsikkökuviotasolla yksittäisillä ja yhdistetyillä erotuskanavilla. Kun käytettiin Landsat TM-kanavia 5, kaikki metsikkökuviot luokittuivat oikein hakattuihin ja hakkaamattomiin. Lähes yhtä hyvään tulokseen päästiin yksittäisillä TM-kanavilla 3 (noin 90 %) ja 7 (noin 96 %) ja erilaisilla kanavayhdistelmillä (98–100 %). Kuvanalkiotasolla luokitustarkkuus oli kanavayhdistelmillä ja yksittäisillä TM-kanavilla 5 ja 7 noin 80–90 %.

Olsson (1994) tutki hakkuiden luokitusta myös eriaikaisilta SPOT-kuvilta, jotka oikaistiin 10 x 10 m pikselikokoon. Muutostunnistuksessa käytettiin pankromaattisia ja lähi-infrapunakanavia, joista suhteellisen kalibroinnin jälkeen muodostettiin erotuskanavat. Erotuskuvaa ja aikaisempaa SPOT-kuvaa käytettiin kaksivaiheisen segmentoinnin lähtötietoina. Segmentoitu kuva luokitettiin erotteluanalyysillä kolmeen muutosluokkaan: avohakkuu, harvennushakkuu ja muuttumaton alue, ja tuloksia verrattiin GPS-paikantimella maastossa rajattuihin hakkuukuvioihin. Yli 84 % harvennushakkuun ja yli 92 % avohakkuun pinta-alasta luokitettiin oikein, ja koko luokituksen tarkkuus oli noin 97 %.

Varjon (1993) tutkimuksessa ei-parametrisella erotteluanalyysillä muutostunnistuksen luotettavuus oli 98 % kivennäismailla ja 91 % turvemaiilla, kun metsikkökuvioiden muutokset luokiteltiin kolmeen luokkaan: muuttumaton, keskinkertainen muutos (harvennushakkuut, ojitus) ja voimakas muutos (uudistushakkuu, maanmuokkaus). Eri aineistoa käyttäen samalla luokkajajolla päästiin kivennäismailla 85 % ja turvemaiilla 80 % luotettavuuteen (Varjo 1997). Noin kahden vuoden aikavälin kuvilla arvioitiin päästävän parhaisiin tuloksiin. Kun erotteluanalyysillä tunnistetut muutosalueet rajattiin näytöltä ja verrattiin ilmakuvasta rajattuihin kuvionrajoihin, 85 % avohakkuu- ja uudistusalakuvioiden pinta-alasta oli rajattu oikein (Varjo 1997). Varjon (1997) mukaan noin 35 % metsikkökuvioista olisi tarkastettava maastossa seuraavan 10 vuoden aikana, muiden

kuvioiden päivitys voidaan hoitaa satelliittikuvatulkinnalla, jos käytössä on aikaisemmat kuviotiedot.

Heikkinen & Varjo (1998) testasivat neurolaskentaa keskinkertaisten ja voimakkaiden kuviokohtaisten muutosten tunnistamiseen eriaikaisilta Landsat TM -kuvilta. Testatut luokittelijat olivat regressiopuumenetelmä eli CART (classification and regression trees), MLP (multilayer perception network) ja kaksi Bayesian opetusmenetelmää MLP:llä: the evidence framework of MacKay (EVI) ja hybrid Monte Carlo (HMC). Tuloksia verrattiin perinteisillä maximum likelihood- ja knn-luokittelijoilla sekä ei-parametrisella Kernel-luokittelijalla saatuihin tuloksiin. Paras luokittelutulos saatiin MLP-HMC-luokittelijalla, jolla 568 havainnon aineistosta 88 % luokiteltiin oikein. Testattujen ei-parametristen luokittelijoiden välillä ei ollut suurta eroa. Tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että muutostulkinnassa ei-parametrisillä menetelmillä saavutetaan parempia tuloksia kuin parametrisillä menetelmillä.

Tuhot

Satelliittikuvien käyttöä erilaisten bioottisten ja abioottisten metsätuhojen inventointiin ja metsän terveydentilan seurantaan on tutkittu useissa muutostunnistus- ja luonnonvarojen kartoitusprojekteissa (mm. Kenneweg ym. 1997, Nelson 1983, Nilson 1991, Olsson 1994, Chavez ym. 1994). Kaukokartoituksella voidaan havaita vain tuhojen aiheuttamia näkyviä oireita kuten harsuuntumista ja kuolleita puustoalueita. Esimerkiksi väriviat erottuvat helposti infrapunailmakuvilta, mutta eivät juurikaan satelliittikuvilta (Kenneweg ym. 1997). Myös harsuuntunut metsikkö on vaikea tunnistaa satelliittikuvilta, koska se sekoittuu helposti harvennettuun tai luonnostaan harvapuustoiseen metsikköön (Heikkilä 1998). Parhaiten erottuvatkin tuhoalueet, joilla puut ovat kuolleet esimerkiksi metsäpalon, myrskyn tai muun täydellisen tuhonaiheuttajan seurauksena. Tosin vaarana on sekoittaa tällaiset tuhoalueet avohakattuihin metsikkökuvioihin.

Häusler & Akgöz (1997) tutkivat harsuuntumisen vaikutuksia Landsat TM -keilaimen rekisteröimiin heijastusarvoihin. Kuusivaltaiset metsiköt jaoteltiin neljään luokkaan puuston harsuuntumisasteen mukaan. Luokat erottuivat toisistaan selvimmän infrapunaaallonpituusalueella eli TM-kanavilla 4 ja 5. Kanavan 4 intensiteetti oli sitä alhaisempi mitä harsuuntuneempi metsikkö oli. Kanavan 5 arvot käyttäytyivät päinvastaisesti: kun harsuuntuneisuus kasvoi myös heijastusarvot kasvoivat. Näiden kahden kanavan negatiivisen korrelaation takia kanavien 4 ja 5 suhde oli merkittävin harsuuntumiserojen selittäjä ja se sisällytettiin maximum likelihood -luokitukseen. Harsuuntumisluokka luokiteltiin oikein 75 %:n tarkkuudella havupuumetsikkökuvioilla, joilla latvuspeittävyys oli yli 60 %. Kun harsuuntumisluokat vähennettiin kahteen, luokitustarkkuus parani 85 %:iin.

Myös Heikkilän (1998) tutkimuksessa Ladsat TM -kanavat 4 ja 5 osoittautuivat soveltuvan parhaiten havupuumetsiköiden terveydentilan seurantaan. Heikkilä (1998) testasi sekä koealakohtaista että metsikkökohtaista tuhomuutosten tulkintaa. Menetelmänä käytettiin etäisyydellä painotettua k:n lähimmän naapurin menetelmää eli referenssikoealamenetelmää. Maastotiedot olivat VMI:n pysyviltä koealoilta. Koealakohtaisessa tuhojen muutostulkinnassa kolmen käytetyn harsuuntumismuutosluokan luotettavuus oli 26 % ja kokonaisluotettavuus 56 %. Kun estimointi tehtiin pelkästään niiden koealojen avulla, joilla havaittiin harsuuntumisen muutoksia, tarkkuus oli 61 %. Ilmakuvilta lasketut tekstuuritunnukset eivät parantaneet harsuuntumismuutosten tulkintaa, mutta paransivat hieman muiden tuhojen tulkintaa. Yhden ajankohdan kuvilla harsuuntumisen tuhojen tulkintaloket olivat edellisiä huonompia. Metsikkökohtaisten tuhomuutosten tulkinnassa päästiin 35 %:n kokonaistarkkuuteen, kun harsuuntumislukat olivat ei harsuuntumista (neulasten väheneminen 0- 20 %), lievää harsuuntumista (21-40 %) ja vakava harsuuntuminen (41-100 %). Kun käytettiin vain kahta harsuuntumislukkaa (ei harsuuntunut, harsuuntunut), luokituksen tarkkuus oli 58 %.

Taimikon kehitys

Uudistusalojen taimettumista ja taimikonkehitystä voidaan seurata kaukohavainnoinnilla. Kaukokuvia voidaan mahdollisesti käyttää myös uudistusalojen vesoittumisen ja taimikonhoitotarpeen arvioimiseen. Häme (1984) tutki, voidaanko Landat MSS-kuvilta erottaa vesoittuneet havupuutaimikot eli taimikot, joilla on taimikonhoitotarvetta. Vesoittuneiden taimikoiden tulkintaa testattiin kolmella eri menetelmällä: suuntaissärmiöluokituksella, kahden ensimmäisen pääkomponenttikanavan suuntaissärmiöluokituksella ja maximum likelihood -luokituksella. Tulkintaluokat olivat 1) vesakko ei haittaa, 2) mahdollisesti haitallinen vesakko ja 3) haitallinen vesakko.

Taimikot erottuivat ympäristöstään parhaiten punaisen valon aallonpituudella, jolla ei kuitenkaan ollut eroa havu- ja lehtipuiden heijastuksen välillä. Sen sijaan vesoittuneet taimikot erottuivat hyvin lähi-infrapunakanavalla, sillä lehtipuut heijastavat lähi-infrasäteilyä havupuuta voimakkaammin. Luokituksen onnistumista testattiin vertaamalla tuloksia maastomittauksiin. Parhaimpaan kokonaistarkkuuteen päästiin maximum likelihood -menetelmällä: 80 % uudistuskuviosta oli luokiteltu oikein. Sen sijaan kuvioiden muoto ja sisäinen hajonta saatiin erotelluksi parhaiten kahden ensimmäisen pääkomponentin suuntaissärmiöluokituksella. Karuilla ja kivisillä kasvupaikoilla lehtipuuston määrä aliarvioitiin. Kivet kuten myös karujen kasvupaikkojen aluskasvillisuus, kanerva, puolukka ja jäkälät, heijastavat voimakkaasti punaisella ja heikosti lähi-infran aallonpituudella, mikä muistuttaa tilannetta hyväpuustoisissa havupuutaimikoissa. Alle 2 ha:n kuvioiden luokitustarkkuus oli noin 20 % alhaisempi kuin tätä minimikokoa

suuremmilla taimikoilla. Korkearesoluutioisemmilla kuvilla (esim. Landsat TM) voitaisiin päästä parempaan tulkintatulokseen (Häme 1984).

Hämeen tutkimuksessa (1984) esitetään myös malli, miten taimikoiden kehitystä ja taimikonhoitotöiden toteutusta voitaisiin käytännössä seurata satelliittikuvilla. Tulkintaluokat voidaan rajata satelliittikuvalla ja tulostaa kaikki taimikkokuvat paperikuvalle maastossa tarkistettavaksi. Mikäli luokitus osoittautuu luotettavaksi, maastotarkastuksia voidaan vähentää tai kohdistaa ne vain johonkin tulkintaluokkaan.

6.2.4 Muutosten seuranta ilmakuvilta

'Kaukohavainnointiin perustuva metsätulkinta' -tutkimushankkeessa (1997) testattiin sekä numeerisen että visuaalisen ilmakuvatulkinnan soveltuvuutta vanhojen kuviotietojen päivitykseen, muutosalueiden tunnistukseen sekä metsäkeskusten valvonta- ja tarkastustoimintaan.

Muutosalueiden automaattinen tunnistus

Kaukohavainnointiin perustuva metsätulkinta -projektissa Hyppänen (1996) kehitti menetelmän erotuskuvatekniikan soveltamisesta numeerisille ilmakuvilla sekä testasi menetelmän soveltuvuutta metsäsuunnitteluun. Tutkimuksen päätaivoitteena oli kohdentaa kuvatulkinnalla tehtävä puustotunnusten mittausta ainoastaan muuttuneille alueille.

Kuvan sisäisessä kalibroinnissa testattiin useita kanavamuunnoksia, ja vierekkäiset ilmakuvat kalibroidiin samalle tasolle sävyarvohistogrammeilla ennen kuvien yhdistämistä. Eri ajankohdan kuvat kalibroidiin vertailukelpoisiksi robustin regressioanalyysin avulla. Regressiomalleina käytettiin kanavittaisia, yhden selittävän muuttujan malleja.

Erotuskuvamenetelmällä tehty tulkinta perustui erilaisten kanavasuhteiden erotuksiin. Tällöin oletettiin, että ilmakuvan kohteesta riippumaton sävyarvojen vaihtelu on samankaltaista eri aallonpituusalueilla. Eri kanavamuunnosten vertailussa päädyttiin käyttämään RGB-värikombinaatiota, jossa punaisen värin (R) muodostaa kanavasuhteiden IR/R erotus (IR=infrared), vihreän (G) värin kanavasuhteen IR/G erotus ja sinisen värin (B) kasvillisuusindeksi NDVI erotus.

Tällä menetelmällä tunnistettiin kaikki metsässä tapahtuneet voimakkaat muutokset kuten avohakkuut, maanpinnan käsittelyt ja ylispuiden poistot. Sen sijaan harvennushakkuut ja lievät metsätuhot erottuivat huonosti (Hyppänen 1996). Koska muutoksen jälkeistä tilaa kuviolla ei pystytty vielä luotettavasti numeerisella tulkinnalla määrittämään, tutkimuksessa esitettiin, että maastotarkistukset

keskitettäisiin kuvatulkinnan ja muun tiedon perusteella valituille kuvioille. Muuta tietoa voisivat olla metsänkäyttöilmoitukset ja aiemman suunnitelman toimenpide-ehdotukset. Pelkällä erotuskuvamenetelmällä saatu maastossa tarkistettava pinta-ala oli vain 4–9 % koko tutkimusalueen pinta-alasta.

Eri kaukokartoitusmenetelmiä vertailevassa tutkimuksessa (Hyyppä 1997) testattiin myös hakkuiden näkyvyyttä eriaikaisten ilmakuvien erotuskuvalta. Erotuskuva luokiteltiin ohjaamattomalla luokittelijalla ja yksi luokista valittiin kuvaamaan hakkuumäärää (hakkuuindeksi). Valituille kuviolle laskettiin hakkuuprosentti vertaamalla vuosien 1988 ja 1997 erotusta eli kasvu oletettiin nolaksi. Tulokset osoittivat, että hakkuumäärä voitaisiin arvioida noin 15 % virheellä.

Metsäsuunnitelman päivitys

Kaukohavainnointiin perustuva metsätulkinta -projektissa (1997) metsäsuunnitelmaa päivitettiin visuaalisella kuvatulkinalla. Vanhan metsätaloustietokartan kuvionrajat digitoitiin, minkä jälkeen rajoja korjattiin tietokoneen näytöllä ortoilmakuvan ja peruskartan päällä. TASO-muotoiset kuviotunnukset vietiin TAINA-metsäsuunnitteluohjelmaan, jossa suoritettiin karkea avohakkuiden päivitys ja puuston kasvatus tulkinta-ajankohtaa vastaaviksi. TAINAlla kasvatetut kuviotiedot jouduttiin lähtötietojen puutteellisuuden takia usein hylkäämään tiloilla, joiden metsäsuunnitelma oli tehty ennen TASOa. Päivitetty kuviotieto palautettiin TASOon, jossa laskettiin uusi suunnitelma.

Kuvionrajojen korjaus oli työlästä, sillä leimikon rajausta poikkesi usein alkuperäisestä kuvion rajauksesta. Sen sijaan kuvion rajausta ylipäänsä kuvaruudulla oli helppoa ja tarkkaa. Lisätietoa saatiin ilmakuvien paperivedosten stereoskooppitulkinalla. Jos käytössä olisi numeerinen stereotyöasema, ilmakuvien paperivedoksista voitaisiin kokonaan luopua. Jos tilalla käsitellään metsää vuosittain, olisi helpompi tehdä suoraan uusi kuviointi kuin muuttaa vanhaa. Keskitilavuuden keskivirhe seitsemällä tilalla oli $12 \text{ m}^3/\text{ha}$, mikä oli 10 % perinteisellä kuvioittaisella arvioinnilla saadusta tilavuudesta. Ilmakuvatulkinnalla saatiin $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ (8,5 %) yliarvio.

Päätehakuut ja viiden vuoden aikana tehdyt harvennukset näkyivät selvästi. Myös äskettäin suoritettavat taimikonhoitotyöt erottuivat, mutta taimikoiden tulkinassa jouduttiin käyttämään myös muita tietolähteitä. Vaikeita tulkittavia olivat lehtipuuvallaiset ylispuustoiset taimikot, varttuneet taimikot ja nuoret kasvatusmetsiköt. Ortokuvien käyttö ajantasaistuksessa toimi hyvin. Paras kuvausmittakaavan ja skannausresoluution yhdistelmä sekä hinnaltaan että laadultaan oli 1:20 000 ja 600 dpi. Projektin tulosten mukaan maastotyötä voitaisiin olennaisesti vähentää esitetyllä menetelmällä. Tutkimustyötä olisikin suunnattava kuvatulkinnan luotettavuuden parantamiseen.

Metsäkeskusten valvonta- ja tarkastustoiminta

Metsäkeskusten tehtäviin kuuluu metsälain valvonta, mikä tarkoittaa hakkuiden ja taimikonhoidon toteutuksen seuranta. Ilmakuvatulkinnalla maastotarkastukset voidaan keskittää kriittisimpiin kohteisiin kuten harvaksi hakattuihin metsiköihin ja muokkaamattomiin uudistusaloihin (Hyppänen 1996). Tuoreet uudistus-hakkuualat ja hakkuualalle jätetty puusto erottuivat visuaalisella kuvatulkinnalla. 1:5 000-mittakaavaiselta kovalta näkyivät jopa yksittäiset pötkelöt ja maapuut. Muokkaamattomaan maahan istutettuja taimia ei pystytty havaitsemaan, ja heinittyminen ja vesoituminen vaikeuttivat muokatunkin alueen taimien tunnistamista. Tuore maanmuokkaus ja käytetty menetelmä tunnistettiin helposti, mutta jäljen tunnistettavuus heikkeni nopeasti ajan myötä. Alle 1,5 metrin taimia ei yleensä havaittu ilmakuvilta, ja havu- ja lehtipuuden erottaminen oli vaikeaa. Taimikon perkaustarve ja heinittyminen sen sijaan erottuivat melko hyvin. Kuvausajankohta on vesakon ja heinän erottumisessa tärkeää: parasta kuvaus aikaa on kesäkuu.

Visuaalisella ilmakuvatulkinnalla taimikonhoidon tarve yleensä havaittiin (Hyppänen 1996). Äskettäin hoidettu taimikko erotettiin tasakokoisuuden ja tilajärjestyksen perusteella. Puulajin ja jopa havu- ja lehtipuuston erottaminen toisistaan oli isossakin taimikossa hankalaa. Stereotulkinta osoittautui harvennustarpeen määrittämisessä ratkaisevan tärkeäksi. Alle viisi vuotta aiemmin tehdyt harvennukset erottuivat ajourien ja latvuspeittävyuden perusteella. Myös lähelle hakkuusuositusten alarajaa harvennetut kuviot löydettiin hyvin, kun apuna käytettiin metsäsuunnitelmätietoja ja aikaisempia ilmakuvia. Tarkastuksissa käytettävien ilmakuvien on tutkimuksen mukaan oltava tuoreita ja riittävän tarkkoja (1:5 000 kuvausmittakaava) ja niiden kuvausajankohdan on oltava oikea.

6.2.5 Muutosten seuranta muilta kaukokuvilta

Tutkakuvat

Profiloivaa mikroaaltotutkaa (HUTSCAT) on testattu perinteisten puustotunnusten lisäksi kuusen harsuuntumisen arviointiin (Pulliainen 1994). Tulokset osoittivat, että kuusen harsuuntuminen näkyy parhaiten tutkan 10 GHz taajuusalueella HH (H=horisontal) polarisaatiolla. Kun harsuuntumisaste nousi 0 %:sta 70 %:iin, heijastuskertoimen muutos oli noin 2 dB. Oksat ja runko aiheuttivat voimakaimman heijastuksen 5 GHz taajuudella, joten neulasten väheneminen ei erottunut tällä taajuusalueella. Sen sijaan kun laskettiin HH ja VV (V=vertical) polarisoitujen heijastuskertoimien keskiarvo, harsuuntumisen vaikutus säteilyyn saatiin näkyville. Tämä on seurausta siitä, että keskiarvoissa molempien polarisaatioiden satunnainen vaihtelu kompensoituu (Pulliainen 1994).

Aikaisemmassa tutkimuksessaan Pulliainen ja Hallikainen (1992) totesivat, että tutkan taajuudella 35 GHz ei voitu erottaa harsuuntuneita metsiköitä. Tulokset osoittivat, että harsuuntumisen vaikutus 35 GHz säteilyyn on monimutkainen: heijastuksen lisäksi neulaset heikentävät huomattavasti mikroaaltosäteilyä, minkä vuoksi neulasten väheneminen lisää oksien ja rungon aiheuttaman heijastuksen osuutta.

Myös LIDAR-tutka on potentiaalinen sensori muutosten havaitsemiseen. Avohakkuut ilmenevät puuttuvana latvusheijastuksena. Asettamalla eriaikaisten kuvausten profiilit päällekkäin nähdään jopa harvennuksessa poistetut yksittäiset puut (Nilsson 1990). Ongelmia on tuottanut lähinnä laserpulssien tarkka paikannus, minkä vuoksi koealojen laser- ja maastomitatut pituudet on tutkimuksissa jouduttu yhdistämään osittain visuaalisella tulkinnalla (Nilsson 1996).

Spektrometrikuvat

Tomppo ym. (1998) ovat tutkineet AISA-kuvien soveltuvuutta metsien terveydentilan ja erityisesti raskasmetallituhojen kartoitukseen. Testialueeksi valittiin Harjavalta, koska siellä aikaisemmissa tutkimuksissa oli havaittu selviä tuhoja. Maastoaineisto mitattiin metsikkökoealoilla, jotka sijaitsivat säteittäin 0,5, 2,0, 4,0 ja 8,0 km:n etäisyydellä teollisuuslaitoksista. Tutkimuksessa käytettiin AISA-kuvia, joiden maastoerotuskyky oli 1,6 metriä. Tarkka erotuskyky aiheutti ongelmia puustosta heijastuvan säteilyn erottamisessa aluskasvillisuuden heijastamasta säteilystä. Ongelman ratkaisemiseksi tutkimuksessa testattiin neljää eri menetelmää. Parhaaseen lopputulokseen päästiin menetelmällä, jossa yhdistettiin puumittauksilla ja latvuspeittävyysmallilla laadittu puukartta ja ohjaamaton ISODATA-luokitus (Erdas 1999). Varsinainen tuholuokitusmenetelmä oli ei-parametrinen erotteluanalyysi, jossa käytettiin Mahalanobisin etäisyyttä. Neljästä eri tuholuokasta luokittuivat parhaiten vakavimmat tuhot, joista 88 % luokitui oikein. Toisessa ja kolmannessa tuholuokassa oikeinluokittumisprosentit olivat 77 % ja 92 %. Sen sijaan lievimmät tuhot sekoittuivat muihin luokkiin ja oikein luokitui vain 26 %.

Videokuvat

Videokuvaus tarjoaa mahdollisuuden nopeaan inventointiin esim. myrskyn jälkeen. USA:ssa selvitettiin videokuvilta Andrew-hurrikaanin ja jäämyrskyn aiheuttamien metsätuhojen laajuus (Jacobs & Evans 1996). Andrew-hurrikaani saapui Louisianan rannikolle elokuussa 1992 ja jatkoi kulkuaan sisämaahan. Hurrikaanin jälkeisenä päivänä sen tuhoalueen rajat kartoitettiin lentokoneesta. Kolme päivää hurrikaanin jälkeen alue videokuvattiin ja kuvista valittiin systemaattisella otannalla yksi 800 metrin välein. Lentolinjat olivat 16 km:n etäisyydellä toisistaan. Kuvat tulkittiin visuaalisesti metsätyypeittäin ja vaurioluokittain.

Paikkatietojärjestelmässä muodostettiin alueet, joilla vauriot olivat samansuuruisia. Kun ennen hurrikaania suoritettujen maastoinventoinnin koelatiedot yhdistettiin videotulkintaan, voitiin laskea estimaatit puuston tilavuustappioille vaurioluokittain ja metsätyypeittäin ja kirjata muutokset myös metsävaratietokantaan. Koko 1,7 miljoonan hehtaarin tuhoinventointi kesti neljä viikkoa.

6.3 Aktiivikuvio metsäsuunnittelussa

Henry Schneider

Aktiivikuvio

Aktiivikuvio-käsite perustuu ajatukseen, että metsikkökuvio on vain osan kiertoajasta aktiivisena. Aktiivisella kuviolla on joko metsänkäsittelyn tarvetta tai äskeisen toimenpiteen vaikutus halutaan todeta. Metsänkäsittely voi olla mikä tahansa kiertoajan kuluessa tehtävä työ: uudistaminen, ylispuuhakkuu, uudistamisen jälkityöt, taimikonhoito, harvennus tai uudistushakkuu.

Aktiivikuviota hyödynnetään suuntaamalla ennen kaikkea kallista maastotyötä kuvioihin, joissa inventoinnin tarve on suurin. Esimerkiksi varttuneista kasvatusmetsistä inventoidaan tarkasti vain kohteet, jotka ovat uudistamisvuorossa suunnitelmakauden aikana tai taimikoista inventoidaan tarkasti vain kohteet, joilla on taimikonhoidon tai heinäntorjunnan tarvetta suunnitelmakauden aikana.

Kun maastotyö tällä tavalla suunnataan tärkeimpiin kohteisiin, saadaan kustannussäästöä. Ei-aktiivisten kuvioiden tiedonkeruu perustuu ensisijaisesti muihin tietolähteisiin: vanhaan metsäsuunnitelmaan, tietoon tehdyistä toimenpiteistä ja ilma- tai satelliittikuvatulkintaan.

Aktiivikuvion käytön edellytykset

Aktiivikuvioitten hyödyntäminen metsäsuunnittelussa asettaa edellytyksiä tietojärjestelmille, työmenetelmille, aineistojen saatavuudelle ja tiedon kululle.

Aineistot. Aktiivikuvion hyödyntäminen edellyttää ”perinteistä metsäsuunnittelua” kattavampaa ennakkotietoa suunniteltavasta kohteesta. Perinteisessä metsäsuunnittelussa ennakkotieto koostuu tyypillisesti ilmakuvasta, peruskartasta ja tilarajoista. Aktiivikuvion hyödyntäminen vaatii lisäksi seuraavat aineistot:

- Edellisen suunnittelukierroksen aineisto: metsävarojen sijainti- ja ominaisuustiedot mieluiten digitaalisina. Metsävaratietojen on oltava laadultaan riittävän tarkkoja metsävaratunnusten laskennalliseen mallipäivitykseen.
- Tiedot suunnitelluista metsänkäsittelyistä, esim. metsänkäsittelyilmoitukset, ja tiedot toteutuneista toimenpiteistä. Kuvioista tarvitaan numeerinen tieto toimenpiteestä ja sen sijainnista (kuvionrajat).

- Aktiivikuvioiden identifiointi ja rajaaminen ennakkotulkinnassa helpottuu huomattavasti jos ilma- (tai satelliitti-)kuvat ovat numeerisessa muodossa.

Työmenetelmät. Jotta aktiivikuvioihin pohjautuvasta kevyemmästä inventoinnista olisi todellista hyötyä, aktiivikuviot on tunnistettava ja rajattava pääosin ennen maastotöitä. Jos päätös kuvion luokittelusta aktiivikuvioksi tehdään vasta maastotyön yhteydessä, kustannussäästöä ei synny. Suunnittelija joutuu tällöin joka tapauksessa siirtymään kuviolle, tarkentamaan kuvionrajoja maastossa sekä monessa tapauksessa tekemään mittauksia: ikä, läpimitta, kasvupaikkaluokka, runkoluku, puulajiosuudet, pituus.

Aktiivikuvion tunnistaminen ennakkotulkinnassa vaati suunnittelijalta eri aineistojen yhdistämistä. Tietoyhdistelmän, ammattitaidon ja paikallistuntemuksen pohjalta hänen on tehtävä päätös kuvion luokittelusta aktiivikuvioksi ja tehtävä ennakkokuvioinnin rajaus. Lisäksi hänen on otettava kantaa ei-aktiivikuvioiden tietosisältöön ja tietolähteisiin: perustuuko kuvion ominaisuustieto edellisen suunnittelukierroksen päivitettyihin tietoihin, ilmakuvatulkintaan, näiden yhdistelmään vai ”kevyeen” maastoinventointiin. Kevyt eli tietosisällöltään suppea tai epätarkka maastoinventointi ei tuo merkittäviä kustannussäästöjä nykykäytäntöön verrattuna.

Tietojärjestelmät. Aktiivikuvioiden hyödyntämisen salliva teknologia on melko uutta. Tärkeimmät tietojärjestelmältä vaadittavat ominaisuudet ovat:

- Karttaliittymään pohjautuva paikkatietojärjestelmä. Aineistojen yhdistäminen ja analysointi vaatii niiden katselu- ja muokkausmahdollisuuden kuvaruudulla. Paikkatietojärjestelmässä on mahdollisuus tallentaa tulkintatulos, johon kuuluu luokittelu aktiivikuvioihin sekä tulostamismahdollisuus halutun taustamateriaalin, esim. ilmakuvan kanssa.
- Aineistojen käsittely paikkatietojärjestelmässä vaatii ao. tiedonsiirtotoiminnot ja tietorakenteet.
- Metsävaratietojen päivitysmahdollisuus malleilla.

Tiedon kulku. Aktiivikuvioiden hyödyntäminen vaatii saumattoman tiedonkulun seuraavien henkilöiden välillä:

- päätöksentekijä eli metsänomistaja
- suunnittelija
- metsänkäsittelyn hankesuunnittelija ja ilmoittaja
- metsänkäsittelyn toteuttaja ja toteutuneen toimenpiteen kirjaaaja.

Yhtiöillä ja metsähallituksella kaikki nämä henkilöt ovat yleensä samasta organisaatiosta päinvastoin kuin yksityismetsätaloudessa.

Aktiivikuvion käyttömahdollisuudet yksityismetsien suunnittelussa

Yhtiöiden tai metsähallituksen metsäsuunnittelussa on organisatorisista syistä selkeästi paremmat mahdollisuudet aktiivikuvion hyödyntämiseen kuin yksityismetsätaloudessa. Näissä organisaatioissa koko metsäsuunnittelukäsite läheneekin jatkuvaa metsävaratietokannan ylläpitoa tarkistusinventointeineen. Yksityismetsissä taas tehdään 10–20 vuoden välein inventointi, jonka päätuotteena on metsäsuunnitelma maanomistajille. Suunnitelmakauden aikana tehdyistä toimenpiteistä suunnittelijat saavat vain rajoitetusti tietoa.

Seuraavat puutteet hankaloittavat aktiivikuvioihin tukeutuvan metsäsuunnittelun käyttöönottoa yksityismetsätaloudessa:

1. Vanhan suunnittelukierroksen aineistoa ei ole kattavasti numeerisena. Tieto on suurelta osin puutteellista malleilla tapahtuvaan kasvun päivitykseen. Numeerinen aineisto on toki käyttökelpoista ennakkokuviointiin, mutta yleensä sen tietosisältö ei ole riittävää aktiivikuvioluokitukseen.
2. Tieto suunnitelluista toimenpiteistä koostuu metsänkäyttöilmoituksista, jotka ovat luonteeltaan ilmoituksia metsänomistajan aikeista. Metsänkäyttöilmoitukset eivät pääsääntöisesti ole suunnittelijan käytössä. Käsittelykuvioiden rajoituksia ei toimiteta numeerisina eikä niitä tallenneta numeeriseen muotoon. Suunniteltu käsittelykuvion rajausta poikkeaa luonnollisesti usein vanhan metsäsuunnitelman kuviosta. Vuoden 1999 alusta voimaan astuneen metsälain muutoksen myötä on kuitenkin säädetty velvollisuus ilmoittaa tehdyistä uudistamistoista.
3. Tieto toteutuneista toimenpiteistä tulee suunnittelevan organisaation tietoon (pääsääntöisesti metsäkeskus) vain osassa tapauksia: pinta-alaverotuksessa olevat maanomistajat, kestävän metsätalouden rahoituslain mukaiset hankkeet. Toteutusilmoitusten kuvionrajaukset poikkeavat usein suunnitelmakuviointista, metsänkäsitteilyilmoituksen kuviosta ja todellisesta käsittelykuviosta. Kuvionrajoituksia ei toimiteta numeerisina eikä niitä tallenneta numeerisina.
4. Metsäkeskusten Solmu-metsäsuunnittelujärjestelmässä ei ole tällä hetkellä kaikkia tarvittavia tietorakenteita: metsänkäyttöilmoituskuviot ja toteutusilmoituskuviot puuttuvat. Lisäksi vanhan suunnitelmatiedon käyttö voi vaatia omat tietorakenteensa (tietoja ei tallenneta samaan tietokerrokseen varsinaisten kuvioiden kanssa).
5. Aktiivikuvioiden käyttö vaatii resursseja työmenetelmien kehittämiseen ja kattavaan koulutukseen.

Yhteenvedon voidaan todeta, että yksityismetsätaloudessa on huomattavia esteitä aktiivikuvioiden käyttöönotolle. Tietojärjestelmien jatkuva kehittyminen mahdollistaa kuitenkin uudet työmenetelmät. Aktiivikuvioiden käyttöä olisi ennakkoluulottomasti testattava pilottihankkeessa.

Aktiivikuvioihin pohjautuvan metsäsuunnittelun seuraukset

Myönteisiä seurauksia.

1. Suunnittelun yksikkökustannukset pienenevät ja pinta-alasuoritteet kasvavat.
2. Ennakkotulkintamenetelmä tuottaa tietoa, joka on hyödynnettävissä myös muuhun kuin metsäsuunnitteluun (esim. suunnatut neuvontakampanjat).
3. Menetelmä luo erityisesti mahdollisuuksia välialueinventoinnin kehittämiseen.

Kielteisiä seurauksia.

1. Metsäsuunnitelmien tietosisältö heikkenee, kun osa tiedoista pohjautuu entistä epätarkempaan aineistonkeruuseen. Täyttääkö aktiivikuvioihin perustuva metsäsuunnitelma metsäsuunnitelman määritelmän?
2. Juridiset ongelmat: voiko metsikön luokitus uudistuskysäksi perustua muuhun kuin maastomittaukseen?
3. Metsänomistajan mielipiteitä on vaikea ottaa huomioon, kun tehdään luokitusta aktiivikuvioihin.
4. Luokitus aktiivikuvioksi sisältää kannanoton metsikön käsittelystä. Näin inventoinnin ja suunnittelun raja hämärtyy entisestään.

7 METSÄSUUNNITTELUN TIETOHUOLLON KEHITTÄMINEN

Helena Mäkelä ja Jari Varjo

7.1 Seminaarin anti

Maa- ja metsätalousministeriö kutsui yli 50 metsäalan tietohuollon asiantuntijaa työseminariin miettimään metsäsuunnittelun tietohuollon kehittämisvaihtoehtoja. Tämän julkaisun projektiryhmä vastasi seminaarin käytännön järjestelyistä Kuopiossa lokakuussa 1998. Työskentelymuotona seminaarissa olivat ryhmätyöt, joissa pohdittiin yksityiskohtaisesti metsäsuunnittelun tietohuollon kehittämistä. Tavoitteena oli saada syntymään mahdollisimman konkreettisia ja toteuttamiskelpoisia vaihtoehtoja ja ehdotuksia.

Ryhmätöiden aiheet olivat: 1) vähimmäistietotarpeet alueellisessa ja tilakohtaisessa metsäsuunnittelussa, 2) metsäsuunnittelun tiedonkeruun tehostamismahdollisuudet, 3) laskennallisen ajantasaistuksen mahdollisuudet tietohuollossa, 4) tilakohtaisen metsäsuunnittelun strategiat ja 5) alueellisen metsäsuunnittelun tietohuollon strategiat. Seminaarissa käytiin aiheista vilkasta keskustelua. Laaja aihepiiri sisältää monia näkökantoja, tavoitteita, mahdollisuuksia ja myös uhkatekijöitä. Seuraavassa pyritään luettelonomaisesti tiivistämään keskeisimmät esille tulleet näkökannat.

Ryhmä 1. Vähimmäistietotarpeet alueellisessa ja tilakohtaisessa metsäsuunnittelussa

* Tavoitteena on julkisin varoin ylläpidettävä koko maan kattava metsävaratietokanta, jossa tiedot ovat kuviokohtaisia.

* Jos metsävaratiedot olisivat julkisia, metsänomistajat, metsänhoitoyhdistykset ja puunostajat voitaisiin velvoittaa päivittämään metsävaratietoja. Aktiivinen tietojenvaihto toisi myös säästöä.

* Puuntuotantolähtöisessä metsäsuunnittelussa vähimmäistietoja ovat puuvaratiedot sekä tiedot hakkuiden ja metsänhoitotöiden tarpeesta. Puustotunnusten minimitiedot ovat seuraavat: pohjapinta-ala tai runkoluku, ikä, keskipituus, keskiläpimitta, puulaji ja puulajiosuudet.

* Asiakaslähtöisyyden pitäisi toimia metsäsuunnittelussa siten, että passiivisellekin asiakkaalle voidaan tulostaa karsittu metsäsuunnitelma. Tällainen 'kevyt' suunnitelma voisi olla ote metsävaratietokannasta.

* Nykyresurssien ja menetelmin metsävaratietokanta saataneen kerätyksi vuoteen 2005 mennessä.

* Laskennallisella ajantasaistuksella metsäsuunnitelman käyttöikä voidaan helposti pidentää 15 vuoteen.

- * Tulevaisuudessa kuvioiden inventointitapa voi vaihdella puuston elinkaaren mukaan niin, että aktiivikuviot mitataan tarkemmin kuin lepokuviot.
- * Monijaksoinen puustotunnusten kuvaus maastossa on aikaavievää. Sen kustannukset on selvitettävä.

Ryhmä 2. Metsäsuunnittelun tiedonkeruun tehostamismahdollisuudet

Ryhmä laati tiedonkeruun tehostamiseksi toimenpideketjun, joka perustuu vanhojen kuviotietojen sekä uuden tekniikan entistä tehokkaampaan hyväksi käyttöön. Ehdotetuilla toimilla vähennetään maastotyöaikaa ja lyhennetään metsäsuunnitelman valmistumisaikaa. Maastotöistä säästynyt aika voitaisiin käyttää asiakaspalveluun, kuten metsänomistajan tavoitteiden selvittämiseen ja neuvontaan.

Välttämästi toteutettava toimenpideketju:

- Vanhan suunnitteluaineiston (TASO ja NALLE) siirto uuteen Solmu-suunnittelujärjestelmään paikkatietoaineistoksi
- Ilma- ja satelliittikuvat paikkatietojärjestelmään (Solmu), vähintään taustakartaksi
- Numeerisen kiinteistönraja-aineiston käyttö (karttatiedon tarkentaminen)
- Vanhan suunnitteluaineiston päivitys: laskennallinen päivitys ja toimenpiteiden kirjaus mahdollisimman kattavasti
- Ennakkokuviointi paikkatietojärjestelmässä -> maastokartan eli kuvioidun ilmakuva tulostus
- Laskennallisesti päivitettyjen kuviotietojen siirto maastotallentimelle
- Maastotyö osalla kuvioita (päivitetään vain muuttuneet tiedot)
- Maastossa muutettujen tietojen siirto paikkatietojärjestelmään
- Tilakohtaisten suunnitelmien laskenta ja tulostus
- Tilakohtaisen suunnitelman päivitys tarvittaessa

Välialueilla ei toistaiseksi ole syytä tehdä maastoinventointia. Ehdotetuilla tehostamistoimilla arvioitiin päästävän noin 20 % säästöön kokonaiskustannuksista.

Lähitulevaisuudessa toteutettavat tiedonkeruun tehostamistoimet perustuvat myös pääosin uuden tekniikan sekä uusien menetelmien käyttöönottoon.

- * Numeeristen ortoilmakuvien käyttö on merkittävin tiedonkeruuta ja ylläpitoa tehostava uudistus.
- * Ilmakuvien käyttö parantaa kuviotietojen sekä sisällön että sijainnin tarkkuutta.
- * Ilmakuvia voidaan käyttää myös muutosten tulkinnessa ja maastomittausten kohdentamisessa päivitettävillä kuvioilla.
- * Osa monimuotoisuustunnuksista, esimerkiksi jyrkänteet ja kurut, voisi löytää ja laskea suoraan numeeriselta korkeusmallilta tai eri paikkatietoaineistojen yhdistelmästä. Tätä aihetta on toistaiseksi tutkittu melko vähän, joten kehitys- ja tutkimustyö olisi tarpeellista.

* Uusien maastomittausvälineiden käyttöönotolla voidaan tehostaa maastotyötä. Tällaisia välineitä ovat esimerkiksi satelliittipaikannin (GPS), maastotallentimet ja etäisyysmittarit. Periaatteessa osa näistä välineistä on mahdollista ottaa heti käyttöön, mutta mittaus tietojen hyödyntäminen ja mittauskäytäntöjen ohjeistaminen vaativat vielä kehittämistä ja testausta.

* Satelliittikuviin perustuva monilähdeinventointi on myös eräs mahdollisuus tehostaa metsäsuunnittelun tietohuoltoa. Tilakohtaisen suunnittelun tietotarpeisiin monilähdeinventointi ei toistaiseksi riitä, mutta välialueiden puustotietojen inventointi kaukokartoituksella voi tulevaisuudessa olla riittävän luotettavaa.

*Lähivuosina metsäsuunnittelun tietohuoltoa voidaan tehostaa myös parantamalla tiedonkulkua metsäalan organisaatioiden välillä.

Ryhmä 3. Laskennallisen ajantasaistuksen mahdollisuudet tietohuollossa

* Ryhmän mukaan yksityismetsätaloudessa tilakohtainen ja alueellinen metsäsuunnittelu pitäisi erottaa toisistaan. Aluesuunnittelun tietotarpeet voitaisiin tyydyttää otantaan pohjautuvilla laskelmilla. Tilakohtainen metsäsuunnittelu nähtiin tulevaisuudessa jatkuvana ja laskennalliseen ajantasaistukseen perustuvana toimintana.

* Jotta laskennallista ajantasaistusta voitaisiin hyödyntää täysmittaisesti, tarvitaan tietoa ajantasaistuksen ja sen osien eli malliketjujen luotettavuudesta. Myös itse kasvumallien sekä puuston kuvauksessa käytettävän läpimittajakaumamallien kehittämistä tarvitaan. Tällä hetkellä tunnettuja ongelmakohtia ovat esimerkiksi kasvumallien käyttäytyminen Pohjois-Suomen vanhoissa metsissä sekä läpimittajakaumamallit Pohjois-Suomessa, turvemaidilla ja sekametsissä.

* Laskennallisesti ajantasaistetun tiedon tulee olla tarkkuudeltaan samantasoista kuin inventoidun tiedon. Laskennallisesti ajantasaistettavissa olevat tiedot ryhmiteltiin metsävaratietoihin, karttatietoihin, toimenpidetietoihin ja tietoon metsän käyttömuodoista.

* Tietojen laskennallista ajantasaistusta ei kuitenkaan voida jatkaa kuin 10–15 vuotta. Sen jälkeen uusi maastoinventointi on välttämätön.

*Vanhojen aineistojen (TASO) konvertoinnissa uuteen Solmu-järjestelmään tarvitaan kehitys- ja tutkimustyötä. Samalla tulisi selvittää kaikkien konvertoitujen aineistojen luotettavuus.

* Tehtyjen toimenpiteiden päivittämisessä metsävaratietokantaan voitaisiin käyttää nykyistä tehokkaammin kaukohavainnointia. Sopivia menetelmiä tulisi testata ja kehittää edelleen siten, että metsissä tehdyt työt voitaisiin havaita joko digitaalisilta ilmakuvilta tai satelliittikuvilta.

* Metsänkayttöilmoituksista saadaan tietoa aiotuista työkohteista eli potentiaalisista muutoskohteista, jotka voidaan sitten ottaa mukaan tarkempaan, esimerkiksi kaukohavainnointiseurantaan.

Ryhmä 4. Tilakohtaisen metsäsuunnittelun strategiat

- * Nykyinen kuvioittainen metsävaratieto on tarpeellista yhteiskunnallisten tietotarpeiden tyydyttämiseksi.
- * Alueellisen ja tilakohtaisen suunnittelun yhteys hoidetaan siten, että molemmissa käytetään samaa kuviointia ja samaa perustietosisältöä. Kuviointi voisi ehkä olla vähän nykyistä karkeampaa.
- * Välialueilta kerättävien tietojen tulee muodostaa metsävaratietojen perustaso, jota sitten tilakohtaisen suunnittelun yhteydessä tarkennetaan lisämittauksin. Tämän perustason eli tarvittavien minimitietojen selvittämiseksi pitäisi tehdä kustannus-hyötyanalyysi jokaiselle muuttujalle.
- * Perustietosisältö voitaisiin tuottaa eri menetelmin, ja siitä eteenpäin jalostetut tuotteet olisivat kaupallisia.
- * Minimitaloite on tuottaa seuraavat tiedot: aukeat alat, taimikot, nuoret metsät, uudistuskypsät metsät, erityisen tärkeät elinympäristöt ja toimenpide-ehdotukset.
- * Neuvontaa ja suunnittelua ei voi erottaa toisistaan. Neuvonnan merkitys, vaikutus ja kehittämistarpeet tulisi selvittää.
- * Tilakohtaisen suunnittelun eriyttäminen alueellisesta suunnittelusta lisäisi mahdollisuuksia panostaa asiakaslähtöiseen suunnitteluun. Erilaisia metsäsuunnitelmia tarvitaan, jotta entistä paremmin voidaan ottaa huomioon metsäomistajien toiveet.
- * Tarjolla voisi olla perustietosisältöön pohjautuva toimenpidesuunnitelma, nykyisen kaltainen metsäsuunnitelma tai erityissuunnitelma, joka painottaisi jotain muuta metsänkäyttömuotoa kuin puuntuotantoa.

Ryhmä 5. Alueellisen metsäsuunnittelun tietohuollon strategiat

- * Aluesuunnittelun tavoitteena on metsänomistajien aktivointi hyvään metsänhoitoon, metsän tehokkaan käytön ylläpito, metsänhoitotoimien aikaansaanti ja metsäluonnon monimuotoisuudesta huolehtiminen.
- * Aluesuunnitelmassa hakkuu- ja hoitotoimenpiteiden tulee olla paikannettuna. Aluesuunnittelussa tarvittavat tiedot voidaan kerätä neljällä tavalla: kuvioittaisella arvioinnilla, tehostetulla kuvioittaisella arvioinnilla, valtakunnan metsien inventoinnilla ja koeala-arvioinnilla.
- * Tavoitetilassa metsävaratiedot ovat paikkatietoa ja ne ovat kattavia, luotettavia ja sisällöltään yhtenäisiä. Tietojen hankinta ja ylläpito on tehokasta. Tietojärjestelmään liittyy myös muutosten seurantajärjestelmä.
- * Tavoitteisiin päästäneen jatkamalla nykyistä kuvioittaista arviointia vuoteen 2001 asti. Sen jälkeen siirrytään tehostettuun kuvioittaiseen arviointiin.
- * Seuraavan sukupolven eli noin vuonna 2005 käyttöön otettavan suunnittelujärjestelmän kehittäminen tulisi aloittaa samanaikaisesti tehostettuun kuvioittaiseen arviointiin siirtymisen kanssa vuonna 2002.

Tehostettuun kuvioittaiseen arviointiin siirtyminen edellyttää kehitys- ja testaus-työtä. Lähtökohtana on kattava kuvioittainen metsävaratietokanta. Muita periaatteita ovat:

- Koko toiminta-alueesta on käytössä numeerinen tilanrajakartta, tuore numeerinen peruskarttapohja ja tuore kaukokuvamateriaali.
- Välialueilla tehtyjen toimenpiteiden muutokset päivitetään kaukokuvilla.
- Käsittelemättömät kuvat päivitetään mahdollisimman pitkälle kasvumalleilla.
- Toimenpide-ehdotukset päivitetään maastossa niiltä osin, kun ne eivät riittävän luotettavasti ratkea malleilla.
- Tietokanta päivitetään joko maastoinventoinnin tai ilmakuvilla.
- Tilakohtaiset suunnitelmat laaditaan maastoinventoinnin ja metsänomistajan tavoitteiden pohjalta.

7.2 Tietotarpeiden kehittyminen

Metsiin liittyvät tietotarpeet ovat kasvaneet huomattavasti viime vuosina ja keskipitkällä aikavälillä niiden kasvu näyttää jatkuvan. Puun ostajat haluavat yhä ajantasaisempaa ja tarkasti metsikön rakennetta kuvaavaa tietoa. Puutavaralajien ja puun teknisen laadun entistä tarkempi kuvaus palvelevat heitä. Metsien muiden kuin puuntuotannollisten käyttömuotojen merkityksen kasvu on myös lisännyt tietotarpeita merkittävästi. Niin ikään kansainväliset markkinat asettavat metsätuotteille uudenlaisia vaatimuksia. Tuotteiden käyttäjät tulisi saada vakuuttuneiksi harjoitettavan metsätalouden kestävydestä ja luonnonsuojelullisten arvojen sisällyttämisestä myös talousmetsien hoitoon.

Samanaikaisesti yhä moninaisempien tietotarpeiden esiinmarssin kanssa myös käytettävissä olevat tietolähteet ovat monipuolistuneet. Tarjolla on sekä vanhoja toiskertaisia aineistoja että kokonaan uusia tietolähteitä. Vanhoista aineistoista tärkeimpiä ovat yksityismetsätalouden suunnitteluaineistot ja VMI:n vanhat aineistot. Viime mainitut palvelevat lähinnä vertailutarkoituksissa, mutta vanhoilla kuvioaineistoilla saattaa jatkossa olla käyttöä myös uusien maastoinventointien suunnittelussa. Uusista aineistoista merkittävimpiä ovat ajantasaiset VMI-aineistot ja kaukokartoitusaineistot sekä alunperin muihin kuin metsätalouden tarpeisiin kerätyt aineistot. Lisäksi teknologiakehitys luo koko ajan uusia välineitä, kuten GPS-laitteet, joita voidaan jatkossa käyttää metsätiedon tuotannossa, esimerkiksi hakkuiden yhteydessä.

Metsävaratietojen tuottamista kaukokartoitusmenetelmillä on viime vuosina tutkittu melko runsaasti. Koko mahdollisuuksien kirjoa ei kuitenkaan ole katettu, ja erityisesti käytännössä sovelluskelpoiset ratkaisut ja tavoiteltu tarkkuus puuttuvat vielä suurelta osin. Monet ratkaisuvaihtoehdot, kuten leimikoiden rajaaminen hakkuiden yhteydessä ja koealamittausten koordinaattien kirjaaminen, tuntuvat luontevilta kehitysvaihtoehdoilta heti, kun vaadittava teknologia saadaan laajasti

käyttöön. Tällä hetkellä suurin ongelma saattaakin olla se, että tutkimus ja käytännön tarpeet eivät ole kohdanneet. Yhtenä syynä tähän saattaa olla noudatettu perinteinen tutkimustiedon soveltamismalli, jossa tutkimuksen on odotettu tuottavan valmiita sovelluksia pitkällä aikavälillä. Tutkimuksen ja käytännön tulisivat jatkossa olla aiempaa läheisemmässä aidossa vuorovaikutussuhteessa uusien tuotteistamis- ja teknologiansiirtoajatusten mukaisesti.

Tietotarpeet näyttävät jatkossa vaihtelevan alueittain enemmän kuin pidettiin sallittavana nykyisen yksityismetsien inventointijärjestelmän kehittyessä. On vaikea kuvitella, että tulevaisuudessa metsäsuunnittelun tietohuollossa voitaisiin soveltaa vain yhtä menetelmää, tietolähdettä tai ratkaisumallia. Jatkossa tarvitaan keinovalikoima, jolla selviydytään mahdollisimman tehokkaasti eri tilanteissa ja erilaisilla lähtötiedoilla. Tutkimuksen menetelmäkehitys näyttää tukevan tätä ajatuslinjaa. Aineistolähtöiset ei-parametriset menetelmät ovat vallanneet alaa. Parhaimmillaan nämä menetelmät ja tietojen yhdistäminen voivat ratkaista monia ongelmia. Pahimmillaan taas käytettävän tietomäärän hallitsematon kasvattaminen ja analysoiminen saattaa vaarantaa järkevä toiminnan, etenkin jos päätökset perustuvat epätarkkaan tietoon.

Ajantasaisuuden parantamiseksi tulisi kehittää nykyistä monilähteisempiä ajantasaistusmenetelmiä, joilla inventointiaineistoja voidaan pitää nykyistä kauemmin käyttökelpoisina. Muutostunnistuksessa satelliittikuvilta on saavutettu riittävä tarkkuus vain päätehakkuukuvioiden tunnistuksessa. Suurimmat odotukset kohdistuvatkin laskennallisen ajantasaistuksen kehittämiseen. Tosin siinäkin tarvitaan muutostunnistusta. Muutostunnistuksen mahdollisuudet parantuvat, kun nykyistä tarkemmat satelliittikuvat tulevat käyttöön tai kun ilmakuvia pystytään nykyistä monipuolisemmin käyttämään suunnittelussa ja ajantasaistuksessa.

Inventointiyksikön määrittely aiheuttaa ongelmia, koska nykyisessä kuvioinnissa on yhdistetty metsävarojen arviointi ja toimenpidesuunnittelu. Nykyinen kuvio-
koko, keskimäärin 1–2 hehtaaria, on pitkän aikavälin kehityksen ja käytettävissä olevien inventointiresurssien tuloksena syntynyt kompromissi. Toimiakseen optimaalisesti tämä yhdistelmä edellyttää inventointiyksikkönä käytettävän kuvion olevan riittävän pieni, jotta toimenpidesuunnittelussa voitaisiin koostaa mikä tahansa haluttu tietosisältö, esimerkiksi puutavaralajiyhdistelmä, inventointikuvioita yhdistämällä. Kuvion tulisi olla myös riittävän pienipiirteinen palvellakseen metsävarojen arviointia monitavoitteisessa metsäsuunnittelussa. Samalla kuvion on kuitenkin oltava riittävän suuri, jotta se pystytään paikantamaan ja arvioimaan tehokkaasti. Käytännössä ongelmat korostuvat, jos toimenpidekuviota eroaa inventointikuvioista. Kuvion rajojen muuttuessa ajantasaistus edellyttää uusintainventointia. Nykyisellä kuviokoolla metsävaratiedot myös keskiarvoistuvat, varsinkin, jos kuviolta ei tallenneta tietoja mittauspisteittäin. Pahimmassa tapauksessa kuvion eri osat saattavat tällöin erota merkittävästi toisistaan.

Kuvioittaisen arvioinnin ongelmana on kuvioinnin lisäksi mittausten subjektiivisuus. Kuitenkin kuvioittainen arviointi on toistaiseksi ainoa menetelmä, jossa esimerkiksi tilavuusarviossa päästään noin 10–20% virrehajontaan nykyisellä kustannustasolla. Ainakin operatiivinen metsäsuunnittelu edellyttää tällaista tarkkuutta. Vastaavasti koela-otannalla päästään noin 5%:n tasolle, mikä luonnollisesti edellyttää huomattavasti enemmän maastotoita ja kasvattaa kustannuksia. Kuvioittaisessa arvioinnissa kuviotunnuksiin liittyy yleensä 5–10 %:n systemaattinen virhe, joka saattaa edelleen kumuloitua summätiedoissa. Kuviointiin liittyvistä ongelmista huolimatta metsäsuunnittelun tietohuollon asiantuntijaseminaarissa kuvioittaiseen arviointiin perustuva tietohuolto nähtiin ainakin keskipitkällä aikavälillä ainoana vaihtoehtona. Tämä ei luonnollisestikaan sulje pois nykyisen kuvioinnin työmenetelmien, kuvion määrittelyn ja tietojen kirjaamisen tehostamistarpeita.

Eri inventointimenetelmien tarkkuuden vaikutuksesta inventointitietojen käyttökelpoisuuteen on hyvin vähän tutkittua tietoa. Inventointitietojen tarkkuudesta puhuttaessa on erotettava systemaattiset virheet, harha ja tuloksissa esiintyvä virrehajonta. On selvää, että VMI:n kaltaisessa suuralueinventoinnissa tietojen harhattomuudella on suuri merkitys, koska näiden tietojen pohjalta arvioidaan esimerkiksi kestäviä hakkuumahdollisuuksia. Harhattomuuden vaikutuksesta tilakohtaisissa tiedoissa ei kuitenkaan ole esitetty selkeitä arvioita, vaikka kuvioittaisen arvioinnin yhtenä ongelmana on subjektiivisuus. Vielä harhattomuutta vaikeampi ongelma on eri tarkoituksiin kerättäviltä tiedoilta vaadittava tarkkuus ja sen vaikutus päätöksentekoon.

7.3 Tärkeimmät kehittämistoimet

Kun tarkastellaan metsäsuunnittelun tietotarpeiden täyttämistä perusinventoinnilla, käytettävissä on kolme menetelmäkehityksen vaihtoehtoa (kuva 9):

- olemassa olevan menetelmän parantaminen
- uuden menetelmän kehittäminen
- menetelmien yhdistäminen.

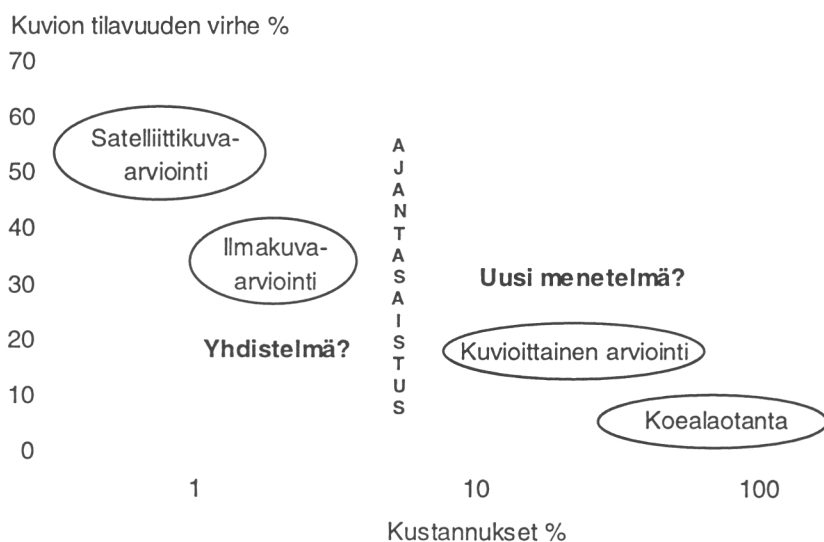
Yksittäisen inventointimenetelmän kehittämismahdollisuudet näyttävät tällä hetkellä rajallisilta. Kaikkia käytössä olevia menetelmiä pystytään varmasti parantamaan, mutta saavutettavat tarkkuusparannukset tai kustannussäästöt eivät näytä suurilta nykykäytäntöön verrattuna. Merkittävät tarkkuusparannukset ja kustannussäästöt edellyttävät suuria muutoksia, uusien menetelmien kehittämistä tai olemassa olevien menetelmien ja aineistojen yhdistämistä. Tähän tavoitteeseen liittyy myös aikajänne.

Lähitulevaisuudessa ratkaisuja voidaan hakea lähinnä nykyisiä toimintatapoja tehostamalla, kuten pyrkimällä automatisoimaan osa toiminnoista uutta teknolo-

giaa ja menetelmiä käyttäen. Inventointitiedon tuotannossa mielenkiintoisimmilta näyttävät erilaisten tiedonhankintamenetelmien ja tietolähteiden yhdistämismahdollisuudet sekä vanhojen tietojen nykyistä tehokkaampi hyödyntäminen. Tietojen järkevässä yhdistämisessä keskeistä on tieto eri menetelmien ja tietolähteiden sekä erityisesti saatavien estimaattien luotettavuudesta ja ajantasaistuskelpoisuudesta.

Erilaiset ei-parametriset sovellukset on vallanneet alaa niin kaukokartoituksessa kuin perinteisessä metsien inventoinnissa. Jos ei-parametrisissa sovelluksissa on riittävä havaintolukumäärä, niillä saavutetaan esimerkiksi muutostunnistuksessa usein huomattava parannus parametriin malleihin verrattuna. Tämän kaltainen kehityskulku näyttää tuottavan uusia mahdollisuuksia myös tietolähteiden yhdistämisessä.

Yhtenä vaihtoehtona alueellisen ja tilakohtaisen metsäsuunnittelun tietotarpeiden täyttämiseksi on aluesuunnittelun yhteydessä kerätty tietosisältö, jota jatkossa käytettäisiin tilakohtaisessa suunnittelussa. Tämä ajatus on kuitenkin jäänyt siinä mielessä puolitiehen, että tilakohtaisessa suunnittelussa käytetyn tietosisällön kerääminen vaaditulla tarkkuudella aluesuunnittelun yhteydessä on mahdollista vain nykyisellä menetelmällä. Jos aluesuunnittelussa valitaan tilakohtaisesta suunnittelusta eroava tietosisältö lähtökohdaksi kustannusperustein, se merkitsee ainakin toistaiseksi tarkkuustavoitteista tinkimistä. Tällöin nykyisestä kevenne-



Kuva 9. Metsäsuunnittelun tietohuollon vaihtoehdot suhteessa inventointikustannuksiin ja puuston tilavuusarvion tarkkuuteen. Ellipsoidilla on hahmoteltu olemassa olevan tiedontuotantomenetelmän kehittämismahdollisuuksien tuottama tarkkuus tai kustannushyöty.

tyllä aluesuunnittelun tietosisällöllä ei saavuteta tilakohtaisessa suunnittelussa etua ainakaan ominaisuustiedoissa. Sen sijaan kartat ja ilmakuvat ovat hyviä esimerkkejä aineistoista, joita tarvitaan sekä alueellisessa että tilakohtaisessa suunnittelussa. Tällainen aineistojen yhteiskäyttö tuo säästöä.

Jatkossa aluesuunnittelun ja osin mahdollisesti myös tilakohtaisen suunnittelun tietojen kerääminen saattaa muuttua osittaiseksi inventoinniksi, jossa yhdistetään vanhat metsätiedot ja olemassa olevat muut tiedot sekä laskennallinen ajantasaistus ja keskitetään uusien tietojen hankinta vain niille alueille, joilta ei muuten ole riittävän tarkkoja tietoja. Aluesuunnittelussa tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kaukohavainnoinnilla ja tietoyhdistelmillä inventoidaan ne alueet, joiden tietotarpeita ei voida enää ajantasaistuksella täyttää. Tilakohtaisessa suunnittelussa tämä edellyttäisi perusteellista paneutumista maastotöiden kustannus-hyötyanalyysiin. Tässä julkaisussa maastoinventoinnin kohdentamista aktiivikuvion avulla pohditaan luvussa 6.3.

Päätähakkuun, avohakkuun ja siemenpuuhakkuun ajantasaistus voidaan hoitaa satelliittikuvilta melko varmasti. Tuoreet ilmakuvat puolestaan mahdollistavat myös harvennushakkuiden rajauksen, mutta ilmakuvien hankinta esimerkiksi vuosittain tähän tarkoitukseen ei liene taloudellisesti järkevää. Mikäli hakkuukoneet tullaan jatkossa varustamaan GPS-laitteilla, rajausongelma voidaan ratkaista niillä. Tämä edellyttää kuitenkin hakkuutietojen keskitettyä kokoamista. Lisäksi on epätodennäköistä, että kattava GPS-varustus saadaan kaikkiin hakkuukoneisiin lyhyellä aikavälillä.

Keskipitkällä aikavälillä tietohuollon tehostamismahdollisuudet voi ryhmitellä esimerkiksi seuraavasti:

- Kuvioinnin tehostaminen
- Tietojen linkkaaren pidentäminen historiatiedoilla, ajantasaistuksella ja tietoja yhdistämällä
- Tietosisällön keventäminen koko alueella
- Alueiden jakaminen tietotarpeen mukaan, ja tietosisällöstä tai ajantasaisuudesta tinkiminen osalla aluetta
- Maastosta mitatun tiedon tarkempi paikantaminen
- Kaukokartoitusaineistojen käytön tehostaminen.

Kaikissa vaihtoehdoissa on varmistettava, että kerättyjen tietojen tulee mahdollistaa vähintään metsälain määräykset toteuttavien metsäsuunnitelmien laadinta. Nykyisin kuviointi tehdään ilmakuvilta käsityönä. Inventointiyksikön kokoa on vaikea muuttaa ennen kuin tiedetään, kerätäänkö kuviotiedot nykyisellä monijaksoisella puustonkuvauksella koko maasta vai jääkö osa kuvioista mahdollisesti laskennallisesti ajantasaistettujen vanhojen kuviotietojen varaan. Kuviointia

voidaan kuitenkin tehostaa pyrkimällä automatisoimaan kuviointivaihe segmentoimalla ilma- tai satelliittikuva ja tehostamalla vanhan kuviotiedon käyttöö.

Metsien kasvua ja kehitystä sekä toimenpiteitä kuvaavia malleja on koottu laskentajärjestelmiin, esimerkiksi MELA-ohjelmistoon, joka on laajasti käytössä metsäalan organisaatioissa. MELA-ohjelmistoa hyödynnetään lähinnä metsätalouden suunnittelussa. Puustotietojen ajantasaistukseen ohjelmistoa on toistaiseksi käytetty vain vähän. Useissa metsäalan organisaatioissa on jo nyt valmiudet hyödyntää laskennallista ajantasaistusta nykyistä enemmän. Ajantasaistuksen lähtöaineiston taso saattaa tulevaisuudessa vaihdella nykyistä enemmän. Siksi lähtöaineiston vaikutus ajantasaistukseen tulisi selvittää. Ennen kuin laskennallista ajantasaistusta voidaan käyttää laajamittaisesti täytyy ajantasaistuksen virheet tuntea paremmin. Samoin muutosten, esimerkiksi hakkuiden, hallinta laskennallisen ajantasaistuksen yhteydessä on vielä ratkaisematta.

Tietosisältöjen keventäminen edellyttää arviota siitä, miten kevennetty tietosisältö vaikuttaa tietojen käyttökelpoisuuteen. Asian selvittämiseksi vanhoihin kuviotietoihin, laskennalliseen ajantasaistukseen ja kaukohavainnointiin pohjautuvien metsätietojen tuottamismahdollisuus ja tarkkuus on tiedettävä sekä tietojen käyttökelpoisuus testattava käytännössä. Todennäköisesti kaikkea tarvittavaa tietoa ei voida tuottaa ilman maastokäyntiä. Tällöin on selvitettävä, voidaanko inventointialue osittaa siten, että maastokäynti olisi tarpeellinen vain osalla aluetta.

Satelliittikuvien ja VMI-maastokoealojen tietoa käytetään jo nyt esimerkiksi puutavaran hankinnassa sekä kunta- ja rajoitetussa määrin tilatason analyyseissä. Luonteva keino hakea oikeat sovellukset eri tietolähteille tapahtuu markkinoiden kautta, jolloin tietojen tarvitsijat arvioivat kustannukset ja saavutetut tarkkuudet suhteessa tietotarpeisiinsa. Uusia mahdollisuuksia tällä alueella tarjoavat eri tietolähteiden yhdistelmät.

Mikäli ilmakuvia tullaan jatkossakin käyttämään kuvioinnissa, olisi syytä selvittää, voidaanko niitä hyödyntää tehokkaammin myös muussa tiedon hankinnassa. Tärkeimpiä kohteita ovat subjektiivinen kuviotietojen arviointi, vanhojen tietojen ajantasaistaminen sekä numeeristen ilmakuvien hyödyntäminen kuviotunnusten estimoinnissa tai suoraan kovalta mittaamisessa.

Tällä hetkellä on vaikea ennustaa, millaisia sähköisen tiedonvälityksen, paikannuksen ja digitaalikuvauksen maastokelpoisia laitteita on käytettävissä 10–20 vuoden kuluttua. Teknisten laitteiden nopea kehitys saattaa avata mahdollisuuksia kokonaan uudenlaisten mittausmenetelmien käytölle. Jo tällä hetkellä digitaalikameraan perustuvan yhden rungon mittausmenetelmä tuottaa lähes mittasaksilla runkoanalyysissä saavutetun tarkkuuden. Menetelmää voitaneen jatkossa laajentaa koealamittausten ja esimerkiksi puutavaran laadun arvioimisen

suuntaan. Mikäli tämänkaltaiset mittalaitteet saadaan käyttöön ja niihin pystytään yhdistämään luotettava paikannus, voi olla mahdollista sekä nopeuttaa maastomittauksia että vähentää niihin liittyvää subjektiivisuutta.

Kun toimivan paikannuksen ja mittavälinekehityksen mahdollisuudet yhdistetään järkevästi määriteltyyn inventointiyksikköön, voidaan luoda skenaario, jossa inventointiyksiköiden rajausta ja vanhat laskennallisesti ajantasaistetut ominaisuustiedot ovat käytettävissä vaikkapa internetin kautta. Tällöin maanomistaja voi itse päättää, mitä lisätietoja hän tarvitsee ja mittaako hän ne itse vuokraamallaan neuvovalla mittalaitteella ja koostaa tarvitsemansa suunnitelman neuvovassa internetpalvelimessa vai käyttääkö hän konsulttia tietotarpeidensa tyydyttämiseen.

Tulevaisuuden arvioimiseen liittyvät riskit on kuitenkin syytä tunnistaa vaihtoehtoja hahmoteltaessa. Tutkimus ja menetelmäkehitys olisi aloitettava riittävän ajoissa, jotta uudet tekniset mahdollisuudet voitaisiin ottaa tehokkaasti käyttöön heti, kun se on taloudellisesti kannattavaa.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- Altman, N.S. 1992. An introduction to kernel and nearest-neighbour nonparametric regression. *The American Statistician* 46: 175–185.
- Anttila, P. 1998. Analyttisellä stereoplotterilla ilmakuvilta tulkittujen puukohtaisten tunnusten tarkkuus. *Metsäsuunnittelun ja -ekonomian pro gradu*. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 36 s.
- Ardö, J. 1992. Volume quantification of coniferous forest compartments using spectral radiance recorded by Landsat Thematic Mapper. *International Journal of Remote Sensing* 13(9): 1779–1786.
- Bailey, R.L. & Dell, T.R. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science* 19: 97–104.
- Befort, W. 1988. Controlled-scale aerial sampling photography: development and implications for multiresource inventory. *Journal of Forestry* 86(11): 21–28.
- Biggs, P. & Spencer, R. 1990. New approaches to extensive forest inventory in Western Australia using large-scale aerial photography. *Australian Forestry* 53(3): 182–193.
- Bilddataundersökningen. 1979. Skogsstyrelsen, bilddatagruppen. 38 s.
- 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.
- Borders, B.E., Souter, R.A., Bailey, R.L. & Ware, K.D. 1987. Percentile-based distributions characterize forest stand tables. *Forest Science* 33: 570–576.
- Braam, B., Okkonen, J., Aikio, M., Mäkisara, K. & Bolton, J. 1993. Design and first test results of the Finnish Airborne Imaging Spectrometer for different Applications, AISA. Presented at SPIE's International symposium on Optical Engineering and Remote Sensing: conference 1937 - Imaging Spectrometry of the Terrestrial Environment, Orlando Florida USA, 12–16 April.
- Burk, T.E. & Newberry, J.D. 1984. A simple algorithm for moment-based recovery of Weibull distribution parameters. *Forest Science* 30(2): 329–332.
- Cao, Q.V. & Burkhardt, H.E. 1984. A segmented approach for modeling diameter frequency data. *Forest Science* 30: 129–137.
- Chavez, P.S. Jr. & MacKinnon, D.J. 1994. Automatic Detection of Vegetation Changes in the Southwestern United States Using Remotely Sensed Images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 60(5):571–583.
- Dixon, T. (editor), 1992. SAR Interferometry and Surface Change Detection. RSMAS, Report of a Workshop held in Boulder, Colorado, USA, helmikuu 1992. 97 s.
- Dralle, K. & Rudemo, M. 1996. Stem number estimation by kernel smoothing in aerial photos. *Canadian Journal of Forest Research*, 26:1228–1236.
- EnsoMOSAIC. 1999. <http://www.storaenso.com/sefd/>.
- Erdas Imagine field guide. 1999. Fourth Edition. Erdas, Inc., Atlanta, Georgia.
- Gadow, K.von. 1984. Die Erfassung von Durchmesservertelungen in gleichaltigen kiefernbeständen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 103: 360–374.
- Gopal, S. & Woodcock, C. 1996. Remote Sensing of Forest Change Using Artificial Neural Networks. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 34, No. 2, March 1996. Pp 398–404.

- Guyenne, T. (editor). 1995. Scientific Achievements of ERS-1. ESA SP-1176/I, ISBN 92-9092-141-2, ESA-ESTEC, Noordwijk, Hollanti, 1995, s. 162.
- 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.
- Hafley, W.L. & Schreuder, H.T. 1977. Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands. *Canadian Journal of Forest Research* 4: 481–487.
- Hagberg, J., Ulander, L. & Askne, J. 1995. Repeat-Pass SAR Interferometry Over Forested Terrain. *IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2):331–340.
- Heikkilä, J. 1998. Monitoring boreal coniferous forest health in Finland using the reference sample plot method with multisource and multitemporal data. Thesis for the Licentiate Degree. *Forest Mensuration, Faculty of Forestry, University of Joensuu*. 1998.57 s.
- Heikkonen, J. & Varjo, J. 1998. Forest Change Detection via Landsat TM Difference Features. Submitted to SCIA '99.
- Holm, M., Väättäinen, S., Rantasuo, M., Herland, E., Rauste, Y., Häme, T., Kuhakoski, K., Alajärvi, P. & Sarkeala, J. 1997. PC-based system for capturing of airborne video imagery and creation of digital aerial mosaics. Konferenssiesitelmä. The third international airborne remote sensing conference, 7.–10.7.1997, Kööpenhamina.
- Holm, S., Hägglund, B. & Mårtensson, A. 1979. A method for generalization of sample tree data from the Swedish National Forest Survey. *Swedish University of Agricultural sciences. Department of Forest Survey. Report No. 25*. 94 s.
- Holmgren, P., Thuresson, T. & Holm, S. 1997. Estimating forest characteristics in scanned aerial photographs with respect to requirements for economic forest management planning. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12: 189–199.
- Holopainen, M. 1995. Kaukokartoitus luonnon monimuotoisuuden inventoinnissa. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen diplomityö. *Teknillinen korkeakoulu*. 60 s.
- 1998. Forest habitat classification by CASI airborne measurements. *Forest & Landscape Research* 1:431–446.
- & Jauhiainen, S. 1998. Detection of peatland vegetation types using digitized aerial photographs. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 13 s.
- & Lukkarinen, E. 1994. Digitaalisten ilmakuvien käyttö metsävarojen inventoinnissa. *Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja* 4. 33 s.
- & Wang, G. 1998a. The calibration of digitized aerial photographs for forest stratification. *International Journal of Remote sensing*, 19:677–696.
- & Wang, G. 1998b. Accuracy of digitized aerial photographs for assessing forest habitats at plot level. *Scandinavian Journal of Forest Research*.
- Huang, X. 1996. Possibilities to classify peatland ecosystems by remote sensing. Pro gradu. *Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos*. 61 s.
- Hyink, D.M & Moser, J.W. 1983. A generalized framework for projecting forest yield and stand structure using diameter distributions. *Forest Science* 29: 85–95.
- Hynynen, J. 1995. Predicting the growth response to thinning for Scots Pine stands using individual-tree growth models. *Silva fennica* 29: 225–246.
- & Ojansuu, R. (toim.) 1996. Puuston kehityksen ennustaminen: Mela ja vaihtoehdot. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 612. 116 s.

- Hyppänen, H. 1996. Kaukohavainnointiin perustuva metsätulkinta. Loppuraportti. 17.12.1996. Muutosalueiden tunnistus moniaikaisilta ilmakuvilta. Alue: Suonenjoki, Suontee. 15 s.
- , Pasanen, K. & Saramäki, J. 1996. Päätehakkuiden kuviorajojen päivytystarkkuus. *Folia Forestalia* 1996 (4): 321–335.
- Hyypä, J. 1993. Development and feasibility of airborne ranging radar for forest assesment. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, avaruusteknologian laboratorio. 112 s.
- 1997. Uudet menetelmät metsien kaukokartoituksessa. Väkiraportti 3. Teknillinen korkeakoulu, Avaruustekniikan laboratorio. 23 s.
- Häme, T. 1984. Interpretation of deciduous trees and shrubs in conifer seedling stands from Landsat imagery. *The Photogrammetric Journal of Finland* 9(2):209–217.
- 1991. Spectral interpretation of changes in forest using satellite scanner images. Metsän muutosten spektrinen tulkinta satelliittikeilankuvien avulla. *Acta Forestalia Fennica* 222. 107 s.
- & Saukkola, P. 1982. Satelliittikuvat Pohjois-Suomen metsäveroluokituksessa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, maankäytön laboratorio. Tutkimuksia 112. Espoo. 165 s.
- & Tomppo, E. 1986. Stand-based forest inventory from satellite images. General description. Esitelmä pohjoismaisessa metsäalan kaukokartoitusseminaarissa Hyttiälässä, 9.–10.12.1986.
- , Tomppo, E. & Parmes, E. 1988. Metsän kuvioittainen arviointi satelliittikuvasta. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, instrumenttitekniikan laboratorio, kaukokartoitus jaosto. Espoo. 48 s. + liitteet.
- Hänninen, H. & Karppinen, H. 1996. Kansalaismielipide metsien suojelusta ja talouskäytöstä. *Folia Forestalia* 1996(1):27–39.
- Härdle, W. 1989. Applied nonparametric regression. Cambridge University. 323 s.
- Häusler, T. & Akgöz, E. 1997. Mapping of Forest Condition in Central European Mountains Using Satellite Remote Sensing. In: Proceedings of Application of remote sensing in European forest monitoring. International Workshop held in Vienna, Austria 14th- 16th October 1996. Space Application Institute, FIRS: 309–323.
- Hökkä, H., Piironen, M.-L. & Penttilä, T. 1991. The estimation of basal area-dbh distribution using Weibull-function for drained pine- and birch dominated and mixed peatlands stands in north Finland. *Folia Forestalia* 781, 22 s.
- Jaakkola, S., Poso, S. & Skråmo, G. 1988. Satellite Remote Sensing for Forest Inventory – Experiences in the Nordic Countries. *Scandinavian Journal of Forest Research* 3:545–567.
- Jacobs, D. & Evans, D. 1996. Applications of airborne videography in forest inventory and analysis and in assessing catastrophic events. Teoksessa: Päivinen, R., Vanclay, J. & Miina, S. (toim.). New thrusts in forest inventory. *EFI Proceedings* 7: 91–104.
- Kangas, A. 1996. On the bias and variance of tree volume predictions. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 281–290.

- 1997. On the prediction bias and variance of long-term growth predictions. *Forest Ecology and Management* 96(3): 207–216.
- 1998. Uncertainty in long-term growth and yield projections due to annual variation of diameter growth. *Forest Ecology and Management*.
- & Kangas, J. 1997. Mallit, ennusteet ja simulointi metsätalouden laskentajärjestelmissä. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 3/1997: 389–404.
- & Maltamo, M. 1999a. Calibrating predicted diameter distribution with additional information. *Käsikirjoitus*.
- & Maltamo, M. 1999b. Percentile based basal area diameter distributions models for Scots pine, Norway spruce and birch species. *Käsikirjoitus*.
- Kangas, J. & Niemeläinen, P. 1995. Kansalaismielipide Suomen metsistä sekä metsien hoidosta ja käytöstä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 561.
- Kansallinen metsäohjelma 2010. MMM:n julkaisuja 2/1999.
- Karppinen, H. 1994. Tilan käyttötarkoitus ja metsänomistuksen tavoitteet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 484.
- Kaukohavainnointiin perustuva metsätulkinta. 1997. Loppuraportti. Tapio, FM-Kartta Oy, Euroopan metsäinstituutti, Joensuun yliopisto, Hämeen-Uudenmaan metsäkeskus, Pohjois-Savon metsäkeskus ja Eesti Metsakorralduskeskus. 19 s. + liitteet.
- Kenneweg, H., Sagischewski, H. & Schardt, M. 1997. Forest Damage Monitoring on European Level by means of Satellite Remote Sensing. In: *Proceedings of Application of remote sensing in European forest monitoring. International Workshop held in Vienna, Austria 14th - 16th October 1996. Space Application Institute, FIRS: 235–256.*
- Kilki, P. 1984. Metsänmittausoppi. *Silva Carelica* 2. Joensuu 222 s.
- & Päivinen, R. 1986. Weibull function in the estimation of the basal area DBH-distribution. *Silva Fennica* 20: 149–156.
- & Päivinen, R. 1987. Reference sample plots to combine field measurements and satellite data in forest inventory. *Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen tiedonantoja* 19: 209–215.
- & Siitonen, M. 1975. Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. *Acta Forestalia Fennica* 145. 33 s.
- , 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. 1998. MELA-laajennusosat. MELA96-versio. *Metsäntutkimuslaitos. Joensuun tutkimusasema. Moniste* 42 s.
- Kilpeläinen, P. 1996. Kuvionrajan vaikutus referenssikoealamenetelmän tarkkuuteen ja kuviorajatieiden integrointi referenssikoealamenetelmään. *Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuu yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.* 46 s.
- Knoebel, B.R. & Burkhart, H.E. 1981. A bivariate distribution approach to modelling forest diameter distributions at two points in time. *Biometrics* 47: 241–253.
- Knowe, S. A., Ahrens, G. R. & DeBell, D. S. 1997. Comparison of diameter-distribution -prediction, stand-table-projection, and individual-tree growth

- modeling approaches for young red alder plantations. *Forest Ecology and Management* 96: 207–216.
- Koch, B., Ammer, U., Schneider, T. and Wittmeier, H. 1990. Spectroradiometric measurements in the laboratory and in the field to analyse the influence of different damage symptoms on the reflection spectra of forest trees. *International Journal of Remote Sensing* 11(7):1145–1163.
- Kuru, G.A., Whyte, A.G.D. & Woollons, R.C. 1992. Utility of reverse Weibull and extreme value density functions to refine diameter distribution growth estimates. *Forest Ecology and Management* 48: 165–174.
- Kärki, T., Maltamo, M. & Eerikäinen, K. 1998. Static models for describing tree stock and quality of grey alder forests in eastern Finland.
- Kärkkäinen, M. 1980. Mäntytukkirunkojen laatuluokitus. Summary: Grading of pine sawlog stems. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 96(5). 152 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- & Päivinen, R. 1986. Kuvioittaisen inventoinnin tarkastamisesta. *Folia Forestalia* 664.
- Lappi, J. 1992. JLP: A linear programming package for management planning. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 414. 134 s.
- Leckie, D. 1986. Practical forestry applications of remote sensing in North America: present and future. Teoksessa: Sohlberg, S. & Sokolov, V. (toim.). *Practical application of remote sensing in forestry*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht. 15 s.
- Lillesand, T.M. & Kiefer, R.W. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons. 750 s.
- Loetsch, F., Zöhrer, F. & Haller, K.E. 1973. *Forest Inventory 2*. BLV. Verlagsgesellschaft, München. 469 s.
- Maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalan paikkatietostrategia. MMM:n julkaisuja 1/1999.
- Maltamo, M. 1988. Kuusten läpimittajakauman estimointi Weibull-funktion avulla. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto. 76 s.
- 1997. Comparing basal area diameter distributions estimated by tree species and for the entire growing stock in a mixed stand. *Silva Fennica*. 31(1):53–65.
- 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.
- & Kangas, A. 1998. Methods based on k-nearest neighbor regression in the estimation of basal area diameter distribution. *Canadian Journal of Forest Research* 28(8): 1107–1115.
- & Uuttera, J. 1998. Angle-count sampling in the description of forest structure. *Forest & Landscape Research* 1: 447–471.

- , Kangas, A., Uuttera, J., Torniaainen, T. & Saramäki, J. 1999. Comparison of percentile based predicted methods and Weibull distribution in describing diameter distribution of heterogeneous Scots pine stands. Käsikirjoitus.
- , Puumalainen, J. & Päivinen, R. 1995. Comparison of Beta and Weibull functions for modelling basal area diameter distribution in Stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 10:284–295.
- Mattila, E. 1985. The combined use of systematic field and photo samples in a large-scale forest inventory in North Finland. *Seloste: Systemaattisen ilmakuva- ja maastonäytteen käyttö laajan metsäalueen inventoinnissa Pohjois-Suomessa*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 131. 97 s.
- Metsäsuunnittelun kokonaisselvitys. 1997. Metsäsuunnittelun kokonaisselvityksen projektiryhmä, Tapio. 46 s.
- Metsävarojen inventointi kuvaavan spektrometrin ja maastomittausten avulla. Loppuraportti. 1997. Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus. 68 s.
- Moer, M. & Stage, A.R. 1995. Most similar neighbour: An improved sampling inference procedure for natural resource planning. *Forest Science* 41: 337–359.
- Mykkänen, R. 1986. Weibull-funktion käyttö puuston läpimittajakauman estimoinnissa. *Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma*. Joensuun yliopisto. 80 s.
- Mäkisara, K. 1998. Experiments with satellite and AISA data at Metla. *Julkisematon muistio*. 5 s.
- Nelson, F.R., 1983. Detecting Forest Canopy Change Due to Insect Activity Using Landsat MSS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 49(5):1303–1314.
- Nilson, T. 1991. Effect of needle loss on coniferous forest reflectance: a model prediction. *Proceedings IGARSS'91 symposium, Espoo, Finland*. 1543–1546.
- Nilsson, M. 1990. Forest inventory using an airborne LIDAR system. *Teoksessa: The usability of remote sensing for forest inventory and planning, Proceedings from SNS/IUFRO workshop in Umeå 26-28 February 1990. Remote Sensing Laboratory, Swedish University of Agricultural Sciences. Report 4: 133–139.*
- 1996. Estimation of tree heights and stand volume using an airborne lidar system. *Remote Sensing of Environment* 56: 1–7.
- Nyysönen, A. 1954. Metsikön kuutiomäärän arvioiminen relaskoopin avulla. *Commun. Inst. For. Fenn.* 44(6). 31 s.
- 1955. On the estimation of the growing stock from aerial photographs. *Selostus: Puuston arvioimisesta ilmakuvien avulla*. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 46(1). 57 s.
- , Kilkki, P. & Mikkola, E. 1967. On the precision of some methods of forest inventory. *Seloste: Eräiden metsänarvioimismenetelmien tarkkuudesta*. *Acta For. Fenn.* 81(4). 60 s.
- , Poso, S. & Keil, C. 1968. The use of aerial photographs in the estimation of some forest characteristics. *Seloste: Ilmakuvien käyttö eräiden metsän tunnusten arvioimisessa*. *Acta forestalia fennica* 82(4). 35 s.
- Ojanen, M. 1978. Kuviorajojen luotettavuus uudentyyppisessä kuvioittaisen arvioinnin menetelmässä. *Metsänarvioimistieteen laudatur-työ yleistä metsätutkimusta varten*. Helsingin yliopisto 1978. 37 s.

- Olsson, H. 1994. Monitoring of Local Reflectance Changes in Boreal Forests using Satellite Data. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Biometry and Forest Management, Remote Sensing Laboratory. Report 7. Umeå, 1994.
- Poso, S. 1972. A method of combining photo and field samples in forest inventory. *Commun. Inst. For. Fenn.* 76.1:1:133.
- 1983. Kuvioittaisen arvioimismenetelmän perusteita. *Silva Fennica* 17(4): 313–349.
- 1994. Metsätalouden suunnittelu uusiin puihin. Voidaanko silmävaraisesta kuvioittaisesta inventoinnista luopua? *Folia Forestalia* 1994(1):85–89.
- 1997. Metsätalouden suunnittelun perusteet. . Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 5. Helsinki 1997.
- & Kujala, M. 1971. Ryhmitetty ilmakuva- ja maasto-otanta Inarin, Utsjoen ja Enontekiön metsien inventoinnissa. *Folia Forestalia* 132:1–40.
- & Waite, M.-L. 1995. Calculation and comparison of different permanent sample plot types. *Silva Fennica* 29(2): 159–169.
- , Häme, T. & Paananen, R. 1984. A method of estimating the stand characteristics of a forest compartment using satellite imagery. *Silva Fenn.* 18(3):261–292.
- , Karlsson, M., Pekkonen, T. & Härmä, P. 1990. A system for combining data from remote sensing, maps and field measurements for forest planning purposes. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen tiedonantoja 23. 40 s.
- , Keil, C. & Honkanen, T. 1968. Comparison of film-scale combinations in examining some stand characteristics from aerial photographs. *Seloste: Eri filmimittakaavayhdistelmät eräiden metsikkötunnusten ilmakuvatulkinnassa.* *Folia Forestalia* 53. 22 s.
- , Paananen, R. & Similä, M. 1987. Forest inventory by compartments using satellite imagery. Tiivistelmä: Satelliittikuvia hyväksikäyttävä metsän inventointi- ja seurantamenetelmä. *Silva Fennica* 21(1):69–94.
- Pukkala, T. 1985. Metsän kaukokartoituksen perusteet. *Silva Carelica* 4. 166 s.
- 1994. Metsäsuunnittelun perusteet. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 242 s.
- Pulliainen, J.T. 1994. Investigation on the backscattering properties of Finnish boreal forests at c- and x-band: a semi-empirical modeling approach. Thesis for the degree of Doctor of Technology. Report 19. Laboratory of Space Technology, Helsinki University of Technology. 112 s.
- Pussinen, A. 1992. Ilmakuvat ja Landsat TM -satelliittikuva välialueiden kuvioittaisessa arvioinnissa. Syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 48 s.
- Puumalainen, J. 1994. Beta and Weibull functions and the grid method in estimating the diameter distribution of a conifer stand. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto. 46 s.
- Päivinen, R. 1980. On the estimation of stem diameter distribution and stand characteristics. *Folia Forestalia* 442: 28 s.
- 1987. Metsän inventoinnin suunnittelumalli. Joensuun yliopiston luonnontieteellisiä julkaisuja N:o 11. Joensuu 1987. 179 s.

- , Pussinen, A. & Tomppo, E. 1993. Assessment of boreal forest stand using field assessments and remote sensing. Proceedings. International symposium operationalization of remote sensing 19–23 April 1993 at ITC in Enschede, the Netherlands. Operationalization of remote sensing for bio- and agricultural applications. Vol. 8.
- Rennolls, K. & Geary, N. & Rollinson, T.J.D. 1985. Characterizing diameter distributions by the use of the Weibull distribution. *Forestry* 56: 57–66.
- Reunala, A. & Heikinheimo, M. 1987. Taistelu metsistä. Kirjayhtymä. Helsinki. 189 s.
- Roimela, T. 1994. Videokuvien numeerinen tulkinta metsän inventoinnissa. Metsänarvioimistieteen pro gradu. Helsingin yliopisto. 84 s.
- Rouvinen, S., Kangas, A. & Maltamo, M. 1997. Männikön laatuajakauman kuvaaminen oksarajatiedon avulla kuvioitaisessa arvioinnissa. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 4/1997: 477–492.
- Saramäki, J. 1992. A growth and yield prediction model of *Pinus Kesiya* in Zambia. *Acta Forestalia Fennica* 230. 68 s.
- Sarjakoski, T. 1989. Numeerinen stereokuvakartta – tulevaisuuden karttatuote? *Maanmittaus* no. 1:93–110.
- Saukkola, P. 1982. Uudistushakkuiden seuranta satelliittikuvista. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia 89. 108 s.
- Siipilehto, J. 1988. Metsätalouskuvioiden läpimittajakaumien ennustaminen Betafunktiolla. *Metsänarvioimistieteen syventävien opintojen tutkielma*. Helsingin yliopisto. 70 s.
- Siipilehto, J. 1996. Metsikön läpimitta- ja pituusajakauman kuvaaminen kaksiulotteisen todennäköisyysstiheysfunktion avulla. *Metsänarvioimistieteen lisensiaattityö*. Helsingin yliopisto. 71 s.
- Siipilehto, J. 1999. Improving and accuracy of predicted basal-area diameter distribution in advanced stands by determining stem number. *KäsiKirjoitus*.
- Siitonen, M. 1993. Experiences in the use of forest management planning models. Tiivistelmä: Kokemuksia mallien käytöstä metsätalouden suunnittelussa. *Silva Fennica* 27(2):167–178.
- , Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O. & Teuri, M. 1996. MELA Handbook 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 622. 452 s.
- Singh, A. 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. Review Article. *Int. J. Remote Sensing*. 10(6): 989–1003.
- Solmu. Maastotyöopas. 1996. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Helsinki 1996. 80 s.
- Spencer, R. & Hall, R. 1988. Canadian large-scale aerial photographic systems (LSP). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54(4): 475–482.
- Spencer, R., Green, M. & Biggs, B. 1997. Integrating eucalypt forest inventory and GIS in Western Australia. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 63(2): 179–181.
- Ståhl, G. 1992. En studie av kvaliteten i skogliga avdelningsdata som insamlats med subjektiva inventeringsmetoder. Summary: A study on the quality of compartmentwise forest data acquired by subjective inventory methods. *Sveriges*

- lantbruksuniversitet, institutionen för biometri och skogsindelning, Umeå. Rapport 24. 128 s.
- Suutarla, T. 1985. Kuvioittaisen inventoinnin päivitys ja sen luotettavuus. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma maatalous- ja metsätieteiden kandidaatin tutkintoa varten. Helsinki 1985. 47 s.
- Tapion taskukirja. 1997. Keuruu.
- Tapion tilastot 1988–1997.
- Tapion vuosikirja. 1996.
- Tapion vuosikirja. 1997.
- Tiihonen, P. & Virtanen, J. 1983. Suurimittakaavaisiin ilmakuviin ja maastoarviointiin perustuva metsätaloussuunnitelma. Summary: Forest management plan based on large-scale aerial photographs and field survey. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 115. 23 s.
- Tokola, T. 1990. Satelliittikuvan ja VMI-koealatiedon käyttö metsätalousoalueen puuston inventoinnissa. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Metsätalouden suunnittelun lisensiaattityö. 56 s.
- 1998. Spatial ground truth data selection for satellite image based forest inventory in eastern Finland. Käsikirjoitus. 19 s.
- & Heikkilä, J. 1995. Satelliittikuvainventoinnin puuston tilavuusestimaattien luotettavuus tilatasolla. Research meeting of Forest Research Institute, North Karelia, Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 568: 23–35.
- & Heikkilä, J. 1997. A priori site quality information in satellite image based forest inventory. *Silva Fennica* 31(1):67–78.
- , Hyppänen, H., Miina, S., Vesa, L. & Anttila, P. 1998. Metsän kaukokartoitus. *Silva Carelica* 32. 156 s.
- , Pitkänen, J., Partinen, S. & Muinonen, E. 1996. Point Accuracy of a Non-Parametric Method in Estimation of Forest Characteristics with Different Satellite Materials. *International Journal of Remote Sensing* 17(12):2333–2351.
- Tomppo, E. 1986. Stand delineation and estimation of stand variates by means of satellite images. Remote sensing-aided forest inventory, Seminars organised by SNS. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes no. 19.
- 1990. Designing a satellite image-aided national forest inventory. Proceedings from SNS/IUFRO workshop in Umeå 26–28 Feb. 1990. Remote Sensing Laboratory, Swedish University of Agricultural Sciences, Report 4:43–47.
- 1992. Satellite image aided forest site fertility estimation for forest income taxation. *Acta Forestalia Fennica* 229.
- 1993. Multi-Source National Forest Inventory of Finland. Proceedings of Ilvessalo Symposium on National Forest Inventories, Finland 17–21 August 1992. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 444:52–60.
- & Härkönen, E. 1989. Satelliittikuvapohjaisen metsäveroluokituksen kehittäminen Etelä-Suomessa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, instrumenttiteknikan laboratorio. Vuoden 1988 raportti. 25 s.
- , Henttonen, H., Korhonen, K.T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Ihalainen, A., Mikkilä, H., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 1998. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1968–97. Metsätieteen aikakauskirja – *Folia Forestalia* 2B/1998: 293–374.

- , Katila, M., Moilanen, J., Mäkelä, H. & Peräsaari, J. 1998. Kunnittaiset metsävaratiedot 1990–94. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 4B/1998: 619–839.
 - , Mikkilä, P., Veijanen, A., Henttonen, H., Katila, M., Pulliainen, J. & Hallikainen, M. 1996. Application of ERS-1 SAR -data in large area forest inventory. Teoksessa: Saramäki, J., Koch, B. & Lund, G. (toim.). Remote sensing and computer technology for natural resource assesment. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, tiedonantoja 48: 193–208.
- Uusi metsäpolitiikka, tavoitteena luonnon ja kansalaisten hyvinvointi. 1998. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki.
- Uutera, J. & Hyppänen, H. 1998. Determination of potential key-biotope areas in managed forests of Finland using existing inventory data and digital aerial photographs. *Forest & Landscape Research* 1:415–429.
- , Haara, A., Tokola, T. & Maltamo, M. 1998. Determination of the spatial distribution of trees from digital aerial photographs. *Forest Ecology and Management* 110: 275–282.
- Valtakunnan metsien 9. inventointi (VMI9). Maastotyön ohjeet 1996. Pohjois-Savo, Keski-Suomi, Etelä-Pohjanmaa, Rannikko (länsiosa). Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus, Valtakunnan metsien inventointi. Helsinki 1996. 148 s.
- Varjo, J. 1993. Controlling continuously updated forest data by satellite remote sensing. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Metsätalouden suunnittelun lisensiaattityö. 66 s.
- 1996. Controlling continuously updated forest data by satellite remote sensing. *Int. J. remote sensing* 17(1): 43-67.
 - 1997. Calibration and change detection method for controlling continuously updated forest information by Landsat TM material. *Acta Forestalia Fennica* 258:1–64.
- Vauhkonen, E. 1995. VMI-tietojen ajantasaistaminen MELAn avulla. Metsätalouden syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. 36 s.
- Veltheim, T. 1987. Pituusmallit männylle, kuuselle ja koivulle. Metsänarvioimistieteen syventävien opintojen tutkielma. Helsingin yliopisto.
- Åge, P. 1983. Mätning och tolkning i flygbilder för skogsinventering. Lantmäteriverket, Gävle. LMV-rapport 5. 44 s.



ISBN 951-40-1690-4
ISSN 0358-4283
Hakapaino Oy 1999