



Raisa Sell

Raisa Sell

## Segmentointimenetelmien käyttökelpoisuus ennakkokuvioinnissa

**Sell, R.** 2002. Segmentointimenetelmien käyttökelpoisuus ennakkokuvioinnissa. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002: 499–507.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää automaattisten ja puoliautomaattisten kuviointimenetelmien käyttökelpoisuutta ennakkokuvioinnissa. Tutkimuksessa vertailtiin visuaalisella kuvatulkinnalla, puoliautomaattisella menetelmällä ja kolmella eri segmentointiohjelmalla automaattisesti tuotettuja kuviointeja. Käytetyt segmentointiohjelmat olivat 1) Helsingin yliopistolla kehitetty automaattinen Winseg32-segmentointiohjelma, 2) Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetty automaattinen segmentointiohjelma ja 3) Oy Arbonaut Ltd:n kehittämä puoliautomaattinen Stand Delineation Tool -segmentointiohjelma. Tutkimuksessa vertailtiin eri menetelmillä tuotettujen kuvioiden puustotunnusten homogeenisuutta ja kuviorajojen sijaintitarkkuutta. Puustotunnusten homogeenisuuden tarkastelussa visuaalinen ja puoliautomaattinen tulkinta osoittautuivat yhtä hyväksi menetelmiksi. Puoliautomaattisessa menetelmässä segmentointiohjelman tuottamia kuviorajoja jätettiin ennakkokuviointiin visuaalista tulkintaa enemmän. Kuviorajojen sijaintitarkkuus oli paras visuaalisessa tulkinnassa. Automaattiset menetelmät eivät tuota lopullista kuviointia, vaan visuaalinen tarkistus ja maastotarkistus ovat tarpeen.

Asiasanat: segmentointi, ennakkokuviointi, kuvioittainen arviointi, metsäsuunnittelu, ortoilmakuva

Yhteystiedot: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Soidinkuja 4, 00700 Helsinki. Sähköposti raisa.sell@tapio.mailnet.fi

Hyväksytty 6.9.2002

## I Johdanto

Metsäsuunnittelu perustuu Suomessa kuvioittaiseen arviointiin. Kriittisin tekijä suunnittelun tehostamisessa on maastotyö, sillä se on aikaa vievin ja siten kallein työvaihe. Kuvioinnin muodostaminen on yksi suunnitteluprosessin vaihe, jossa työskentelyä voidaan tehostaa. Ennakkokuviointi pitäisi saada mahdollisimman lähelle lopullista kuviointia, jotta kuviorajojen tarkistukset maastossa voidaan minimoida. Samalla ennakkokuvioinnin tekemisen automaatioastetta tulisi nostaa, jolloin voidaan osaltaan poistaa subjektiivisesta visuaalisesta tulkinnasta aiheutuvia kuviointien eroja eri henkilöiden välillä. Teollisuuden konenäkösovelluksiin kehitetyillä numeeriseen kuvatulkintaan perustuvilla segmentointimenetelmillä on havaittu olevan hyvät soveltamismahdollisuudet myös metsätaloudessa numeeristen kaukokartoitusaineistojen käytön yleistyessä. Automaattiset tai puoliautomaattiset segmentointimenetelmät ovat tulevaisuudessa mahdollisia metsikkökuvioinnin työkaluja.

Automaattisessa kuvatulkinnassa tietokone tunnistaa ja luokittelee kuvalla näkyvät kohteet niiden sävyarvon, sijainnin tai naapuruston ja taustatietämyksen perusteella. Automaattisen tulkinnan tulokseen voidaan vaikuttaa parametreja säätämällä. Automaattinen kuvatulkinta on kuitenkin varsin herkkä kuvan laadulle. Puoliautomaattisessa kuvatulkinnassa hyödynnetään automaattisen ja visuaalisen tulkinnan ominaisuuksia. Tietokone tekee automaattisen esitulkinnan, jonka jälkeen ihminen tekee visuaalisen tarkastuksen ja muokkauksen. Puoliautomaattisessa tulkinnassa ihminen voi mm. poistaa kuvan mahdollisesta heikosta laadusta aiheutuvia virheitä, lisätä koneen havaitsemattomia kohteita ja käsitellä varjokohdat oikein.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää automaattisten ja puoliautomaattisten kuviointimenetelmien käyttökelpoisuutta ennakkokuvioinnissa. Tutkimuksessa vertailtiin visuaalisella kuvatulkinnalla, puoliautomaattisella menetelmällä ja kolmella eri segmentointiohjelmalla automaattisesti tuotettuja kuviointia.

Käytetyt segmentointiohjelmat olivat:

- 1) Helsingin yliopistolla kehitetty automaattinen Winseg32-segmentointiohjelma (Karjalainen 1996)
- 2) Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetty automaattinen

segmentointiohjelma (Pekkarinen 2001) ja

- 3) Oy Arbonaut Ltd:n kehittämä puoliautomaattinen Stand Delineation Tool -segmentointiohjelma (Handbook for... 2002).

Muita kehitettyjä segmentointiohjelmiä ovat mm. eCognition (Hoeltje 2001) ja Feature Analyst (Vanderzanden 2002).

Segmentoinnilla tarkoitetaan kuvan jakamista spatiaalisesti jatkuviin ja toisensa poissulkeviin osa-alueisiin, jotka ovat tiettyjen ominaisuuksien, esimerkiksi sävyarvojen tai tekstuurin, suhteen homogeenisiä (Gonzales ja Woods 1993). Tutkimuksessa käytetyissä ohjelmissa kuvan automaattinen segmentointi perustuu kaksivaiheiseen menetelmään. Ensimmäisessä vaiheessa tuotetaan paljon pieniä kuvioita sisältävä alustava segmentointi. Tämän jälkeen segmenttejä yhdistetään suuremmiksi kokonaisuuksiksi aluepohjaisilla segmentointimenetelmillä, jotka perustuvat alueiden samankaltaisuuden mittaamiseen tilastollisen päättelyn tai vierekkäisten alueiden sävyarvojen keskiarvon ja hajonnan sääntöpohjaisen päättelyn avulla. Alueiden yhdistämistä ohjataan kaikissa tutkimuksessa käytetyissä ohjelmissa lisäksi alueiden kokorajoitusten avulla.

Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyssä ja Stand Delineation Tool -ohjelmissa alustavat segmentit tuotetaan reunaviivapohjaisilla menetelmillä, joissa tavoitteena on erottaa reunapikseleiksi ne pikselit eli kuva-alkiot, joiden sävyarvo muuttuu naapuripikseliin haluttua kynnsarvoa enemmän (Jain ym. 1995). Winseg32-ohjelmassa alustavat alueet tuotetaan K-means-algoritmiin perustuvan klusteroinnin avulla (Tokola ym. 1998).

## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Aineisto

Tutkimusalue sijaitsee Hyytiälässä (61°49'P, 24°18'T) Juupajoen kunnassa. Tutkimusalueen koko on 63,5 ha. Alueelta oleva tutkimuksessa käytetty orto-oikaistu väri-infrailmakuva on kuvattu kesäkuussa 1999. Kuvausmittakaava on 1:30 000, ja kuvan maastoresoluutio on noin 0,8 metriä.

Eri menetelmillä tuotettujen kuvioiden homogee-

nisuuden määrittämisessä käytettiin alueelta kesän 1999 aikana mitattuja 355 maastokoealaa, jotka on paikannettu GPS-satelliittipaikantimella. Kuviointien vertailua varten alueelle tehtiin lisäksi heinäkuussa 2000 referenssikuviointi, jonka kuviorajoista noin kolmasosa on paikannettu GPS-laitteella koealamittausten yhteydessä. Loput kuviorajat digitointiin ortoilmakuvan avulla mahdollisimman tarkasti kohdalleen. Kaikki referenssikuvioinnin kuviorajat tarkistettiin maastossa huolellisesti.

Tutkimusalueelle tehtiin viisi erilaista kuviointia:

- 1) Winseg32-ohjelmalla automaattisesti tuotettu kuviointi (Winseg32)
- 2) Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyllä ohjelmalla automaattisesti tuotettu kuviointi (APseg)
- 3) Stand Delineation Tool -ohjelmalla automaattisesti tuotettu kuviointi (SDT)
- 4) metsäsunnittelijan visuaalisella tulkinnalla tekemä kuviointi Xforestilla kuvaruutudigitointina (Msuun visu) ja
- 5) metsäsunnittelijan puoliautomaattisesti SDT-ohjelmalla tekemä kuviointi (Msuun SDT).

Tuotettaessa kuviointeja eri menetelmillä kriteerinä oli, että kuviomäärän tuli olla mahdollisimman lähellä referenssikuvioinnin kuviomäärää. Winseg32- ja SDT-ohjelmilla tuotetut kuviorajat tasoitettiin kyseisten ohjelmien sisällä olevalla spline-funktiolla. APseg-ohjelma ei sisällä kuviorajojen tasoitustoimintaa, minkä takia kyseisellä ohjelmalla tuotetut kuviorajat tasoitettiin ARC/INFO-ohjelmistossa olevalla spline-funktiolla. Aineiston tarkempi kuvaus on julkaisussa Sell (2001).

## 2.2 Kuviointien vertailumenetelmät

### 2.2.1 Puustotunnusten vaihtelu, varianssianalyysi

Kuvioiden homogeenisuutta tarkasteleva menetelmä perustuu havaintoaineistossa esiintyvän kokonaisvaihtelun jakamiseen kuvioiden sisäiseen ja väliseen vaihteluun. Vaihtelun suuruutta kuvataan neliösummien  $SS_{\text{total}}$ ,  $SS_{\text{within}}$  ja  $SS_{\text{between}}$  avulla ( $SS_{\text{total}} = SS_{\text{within}} + SS_{\text{between}}$ ). Neliösummat määritetään havaintoaineiston pohjalta seuraavasti (Ranta ym. 1997):

$$SS_{\text{total}} = \sum_i^k \sum_j^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad (1)$$

$$SS_{\text{within}} = \sum_i^k \sum_j^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (2)$$

$$SS_{\text{between}} = \sum_i^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

missä

$k$  = kuvioiden lukumäärä

$n_i$  = koealahavaintojen lukumäärä kuviolla  $i$

$x_{ij}$  = kuvion  $i$  koealahavainto  $j$

$\bar{x}$  = koealahavaintojen keskiarvo koko alueella

$\bar{x}_i$  = koealahavaintojen keskiarvo kuviolla  $i$

Varsinaisena mittaussuureena käytettiin tavallista regressioanalyysin selitysteesta johdettua tunnuslukua, joka kuvaa kuvioinnin selittämää osuutta kokonaisvaihtelusta. Kuvioinnin onnistuessa kuvioiden välinen vaihtelu on suurta ja kuvioiden sisäinen vaihtelu mahdollisimman pientä. Käytetty selityste  $R_{\text{adj}}^2$  laskettiin seuraavasti (Lappi 1993):

$$R_{\text{adj}}^2 = 1 - \frac{SS_{\text{within}} / (n - k)}{SS_{\text{total}} / (n - 1)} \quad (4)$$

### 2.2.2 Puskurivyöhykemenetelmä

Tapa 1

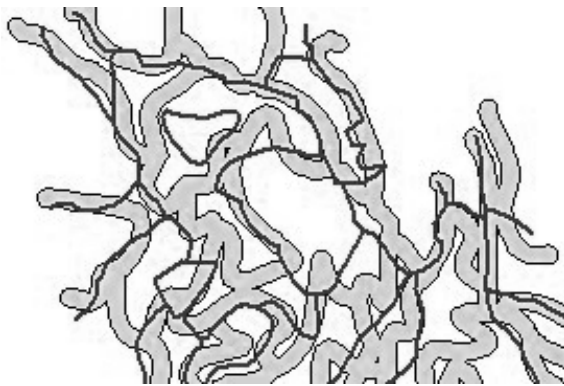
*Tarkasteltavien kuviointien* kuviorajojen ympärille tehtiin eri levyisiä puskurivyöhykkeitä (Bolstad ja Smith 1992). Tämän jälkeen laskettiin kyseisten vyöhykkeiden sisälle osuva osuus ( $VA_1$ ) referenssikuvioinnin kuviorajaviivasta seuraavasti:

$$VA_1 = \frac{R_k}{R_l} * 100 \quad (5)$$

missä

$R_k$  = tarkasteltavalle kuvioinnille tehdyn tietyn levyisen puskurivyöhykkeen sisälle osuvan referenssikuvioinnin kuviorajaviivan pituus (m)

$R_l$  = referenssikuviorajaviivan pituus (m) koko alueella



■ Segmentointiohjelmalla tuotetulle kuvioinnille tehty 10 m:n puskurivyöhyke  
— Referenssikuviointi

**Kuva 1.** Puskurivyöhykemenetelmän periaate.

Tämä osuus kertoo, kuinka suurelle osalle referenssikuvioinnin kuviorajaviivasta löytyy vastinkuviorajaa eri kuvioinneissa eri tarkkuusvaatimuksilla eli kuinka suuren osuuden referenssikuvioinnin kuviorajoista eri menetelmät pystyvät ilmakuvalta löytämään. Menetelmää on havainnollistettu kuvassa 1.

## Tapa 2

*Referenssikuvioinnin* kuviorajojen ympärille tehtiin eri levyisiä puskurivyöhykkeitä, minkä jälkeen laskettiin kyseisten vyöhykkeiden sisälle osuva osuus ( $VA_2$ ) tarkasteltavan kuvioinnin kuviorajaviivasta seuraavasti:

$$VA_2 = \frac{T_k}{T_t} * 100 \quad (6)$$

missä

$T_k$  = referenssikuvioinnille tehdyn tietyn levyisen puskurivyöhykkeen sisälle osuvan tarkasteltavan kuvioinnin kuviorajaviivan pituus (m)

$T_t$  = vastaavan tarkasteltavan kuvioinnin kuviorajaviivan pituus (m) koko alueella

Tämä osuus kertoo, kuinka suuri osuus tarkasteltavan kuvioinnin kuviorajoista on käyttökelpoista aineistoa kuvioinnissa eri tarkkuusvaatimuksilla.

## 2.2.3 Kelvollisten kuviorajojen määrittäminen

Automaattisesti tuotettujen kuviorajojen kelvollisuuden määrittämiseksi metsäsuunnittelija valitsi eri segmentointiohjelmilla automaattisesti tuotetuista kuvioinneista mielestään kelvolliset kuviorajat ortoilmakuvan ja peruskartan avulla. Kriteerinä oli valita ne kuviorajat, jotka metsäsuunnittelija hyväksyisi sellaisenaan metsäsuunnitelman kuvio-karttaan.

Kelvollisten kuviorajojen osuus  $K$  eri kuvioinneissa laskettiin seuraavasti:

$$K = \frac{K_k}{K_t} * 100 \quad (7)$$

missä

$K_k$  = kelvollisen kuviorajaviivan pituus (m) tarkasteltavassa kuvioinnissa

$K_t$  = kuviorajaviivan kokonaispituus (m) tarkasteltavassa kuvioinnissa

# 3 Tulokset

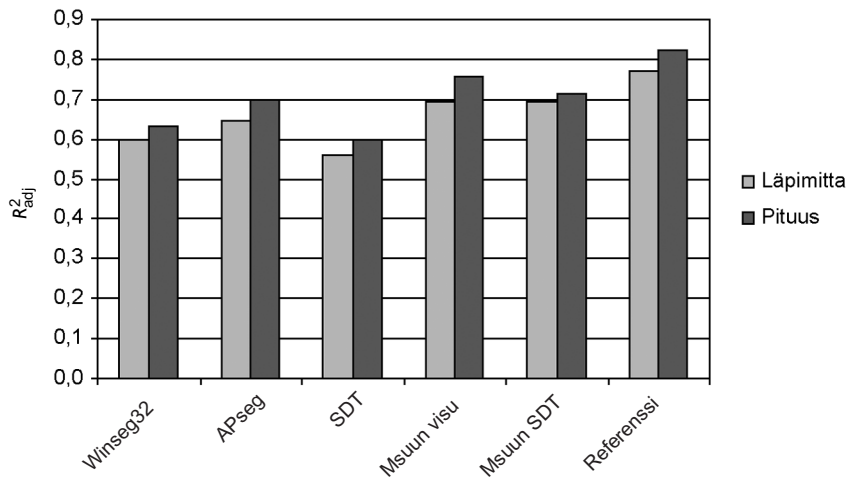
## 3.1 Kuviointien yleistietoja

Taulukkoon 1 on koottu eri menetelmillä tehtyjä kuviointia koskevia yleistietoja.

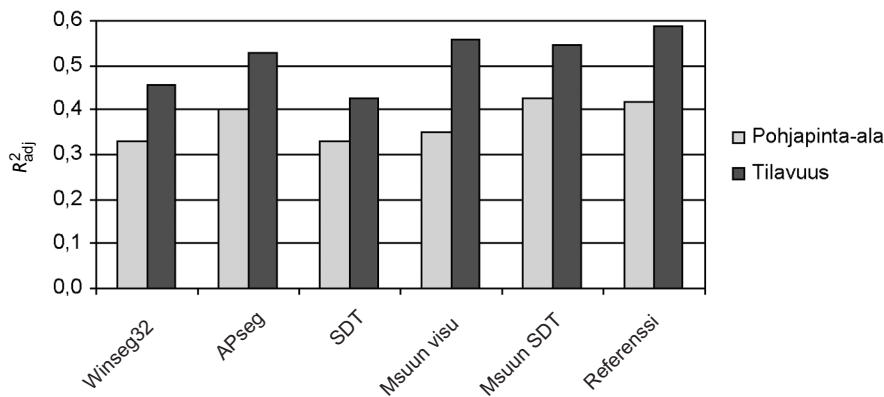
Tuotettaessa kuviointia eri menetelmillä kriteerinä oli, että kuviomäärän tuli olla mahdollisimman lähellä referenssikuvioinnin kuviomäärää. Tavoite saavutettiin varsin hyvin muiden kuviointien paitsi metsäsuunnittelijan puoliautomaattisesti tekemän

**Taulukko 1.** Eri menetelmillä tuotettuja kuviointia koskevia yleistietoja.

	Lkm	Keskikoko (ha)	Min (ha)	Max (ha)	Viiivaa (m)
Winseg32	51	1,25	0,51	3,82	14 391
APseg	50	1,27	0,20	6,62	17 039
SDT	48	1,32	0,15	10,11	14 997
Msuun visu	46	1,38	0,21	6,25	10 674
Msuun SDT	70	0,91	0,15	3,96	15 436
Referenssi	48	1,32	0,14	7,47	12 157



Kuva 2. Eri kuvioiteja koskevat  $R^2_{adj}$ -arvot puuston keskiläpimitalle ja keskipituudelle.



Kuva 3. Eri kuvioiteja koskevat  $R^2_{adj}$ -arvot puuston pohjapinta-alalle ja tilavuudelle.

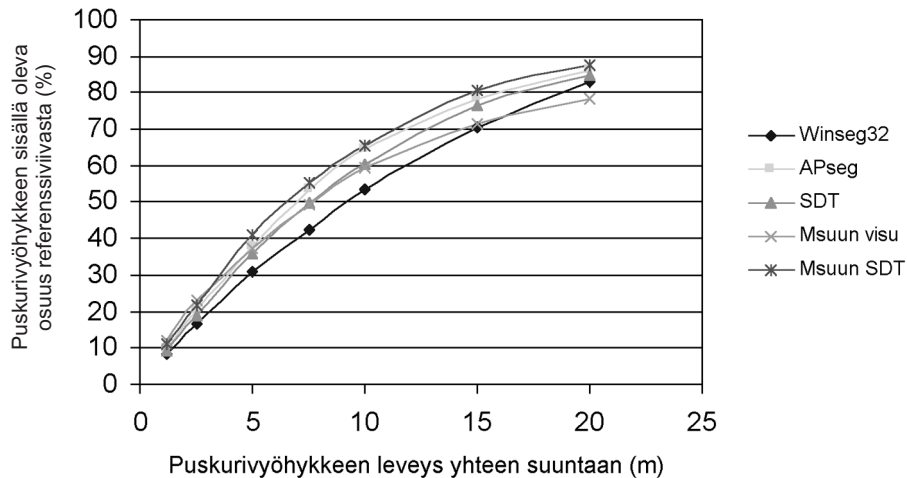
kuvioinnin kohdalla. Automaattisesti tuotetuissa kuvioinneissa minimikuvioikoko määriteltiin parametrin avulla. Winseg32-ohjelmassa kuviointitulokset riippuu hyvin pitkälle kuvion minimikokoparametrin arvosta, minkä takia parametrin arvo oli asetettava varsin suureksi (0,5 ha), jotta haluttu kuviomäärä saavutettiin. Muissa segmentointiohjelmissa minimikuvioikoko voitiin asettaa riittävän pieneksi (0,15–0,2 ha). Suurin kuvioikoko oli useissa kuvioinneissa yli 6 hehtaarin suuruinen, mikä johtuu suurelta osin tutkimusalueen luonteesta. Tutkimusalueesta suurin osa oli melko homogeenista uudistuskypsää puustoa, jonka kuviointi oli varsin vaikeaa.

Automaattisilla kuviointiohjelmillä tuotetuissa

kuvioinneissa oli selvästi enemmän kuviorajaviivaa kuin visuaalisesti tuotetussa ja referenssikuvioinnissa (taulukko 1). Automaattisilla kuviointiohjelmillä tuotetut kuviorajat olivatkin yleensä mutkaisempia, mikä johtui pääasiassa pikseleittäisestä tai pikseliryhmittäisestä tarkastelutavasta.

### 3.2 Puustotunnusten vaihtelu

Varianssianalyysitarkastelussa visuaalinen ja puoliautomaattinen tulkinta osoittautuivat kuvioiden homogeenisuuden suhteen yhtä hyväksi menetelmiksi (kuvat 2 ja 3). Selitysaste läpimitan osalta



**Kuva 4.** Eri menetelmillä tuotetuille kuvioinneille tehtyjen puskurivyöhykkeiden sisälle osuva osuus (%) referenssiiviivan pituudesta (tapa 1).

oli kummassakin kuvioinnissa noin 0,69. Täysin automaattisesti tuotetut kuvioinnit johtivat jonkin verran heikompiin tuloksiin, tosin APseg-kuvioinnissa päästiin useiden tunnusten kohdalla varsin lähelle kahden edellä mainitun kuvioinnin tasoa. Heikoimmat selitysasteet oli automaattisesti tuotetulla SDT-kuvioinnilla (löpimitan osalta 0,56). Referenssikuvioinnilla saavutettiin selvästi paras tulos kaikilla tunnuksilla lukuun ottamatta pohjapinta-alaa. Maastotarkistus on siten kuvioinnissa aina tarpeellinen.

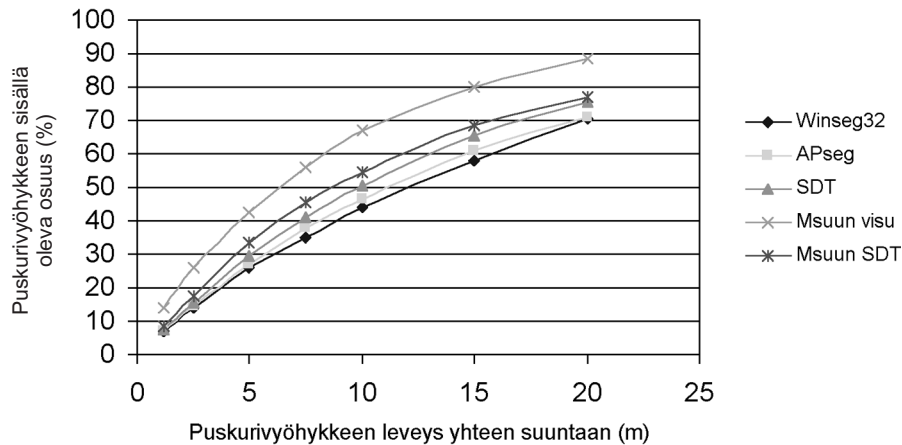
### 3.3 Puskurivyöhykemenetelmä

Puskurivyöhykemenetelmässä tapaa 1 käytettäessä tarkasteltaville kuvioinneille tehtyjen 20 metrin puskurivyöhykkeiden sisälle mahtui eri kuvioinneissa 78–88 % referenssiiviivasta (kuva 4). Jäljelle jäävä 12–22 % on se osuus referenssikuvioinnin kuviorajoista, joita eri menetelmät eivät ole pystyneet ilmakuvasta löytämään. Noin puolet referenssikuvioinnin kuviorajoista löytyi käytettäessä 7,5 metrin puskurivyöhykettä. Puskurivyöhykkeen leveydet kuvaajissa ovat leveyksiä yhteen suuntaan vyöhykkeen keskiviivasta eli kuviorajasta. Esimerkiksi leveys 5 m tarkoittaa 5 metriä kumpaankin suuntaan

vyöhykkeen keskiviivasta, jolloin puskurivyöhykkeen kokonaisleveys on 10 metriä.

Parhaimmat tulokset antoi puskurivyöhykemenetelmässä tavalla 1 puoliautomaattisesti tehty Msuun SDT -kuviointi kapeimpia puskurivyöhykkeitä lukuun ottamatta. Kapeimmilla puskurivyöhykeleveyksillä parhaat tulokset saavutettiin Msuun visu -kuvioinnilla, eli kuviorajojen sijaintitarkkuus on visuaalisessa tulkinnassa hyvä. Msuun visu -kuvioinnin tulokset heikkenivät kuitenkin varsin jyrkästi leveämmillä puskurivyöhykkeillä, mikä kertoo siitä, että visuaalisessa tulkinnassa osa todellisista kuviorajoista jäi löytymättä. Näiden kuviorajojen löytäminen jää maastotarkistuksen varaan. Automaattisesti tuotetuista kuvioinneista tarkimmin referenssikuvioinnin kuviorajat löysi APseg-segmentointiohjelma. Tosin ero SDT:n tuloksiin oli keskimäärin vain 2,0 %-yksikköä. Heikoimmin referenssikuvioinnin kuviorajat löysi Winseg32-ohjelma.

Tavalla 2 selvästi parhaimmat tulokset kaikilla puskurivyöhykeleveyksillä antoi Msuun visu -kuviointi (kuva 5). Ero parhaaseen täysin automaattisesti tehtyyn kuviointiin oli keskimäärin 12,7 %-yksikköä ja Msuun SDT -kuviointiin 9,9 %-yksikköä. Visuaalisesti tulkittujen kuviorajojen käyttökelpoisuus kuvioinnissa eri tarkkuusvaatimuksilla on siten huomattavan korkea muihin menetelmiin verrattuna.



**Kuva 5.** Referenssikuvioinnille tehtyjen puskurivyöhykkeiden sisälle osuva osuus (%) eri menetelmillä tuotettujen kuviointien kuviorajaviivan pituudesta (tapa 2).

Automaattiset työkalut tuottavat puolestaan herkemmin myös ylimääräisiä kuviorajoja, jotka voidaan poistaa maastotarkistuksen yhteydessä. Tulosten perusteella automaattisilla ohjelmilla tuotettujen kuviorajojen käyttökelpoisuusaste oli suurin SDT-kuvioinnissa. Ero APseg-kuviointiin oli keskimäärin 3,0 %-yksikköä. Pienin käyttökelpoisten rajojen osuus oli Winseg32-kuvioinnissa, johon SDT-kuvioinnissa oli eroa keskimäärin 4,4 %-yksikköä.

### 3.4 Kelvollisten kuviorajojen määrittäminen

Käyttökelpoisten kuviorajojen osuutta määrittäessä APseg- ja SDT-kuvioinnit osoittautuivat noin 10 %-yksikköä paremmiksi kuin Winseg32-kuviointi (taulukko 2). Parhaimman tuloksen antoi SDT-kuviointi, jonka kuviorajoista 65 % voitaisiin hyväksyä sellaisenaan kuviokarttaan. Täysin automaattisesti tuotettu kuviointi vaatii siten vielä varsin paljon manuaalista korjailua.

## 4 Tulosten tarkastelu

Automaattiset segmentointimenetelmät eivät tuota lopullista kuviointia, joten visuaalinen tarkistus ja

**Taulukko 2.** Kelvollisen kuviorajaviivan osuus automaattisesti tuotetuissa kuvioinneissa.

	Kelv. (m)	Kuviorajaa yht. (m)	%
Winseg32	7 621	14 397	52,9
APseg	10 572	17 044	62,0
SDT	9 773	14 995	65,2

maastotarkistus ovat tarpeen. Automaattisilla menetelmillä löydetään selvät kuviorajat luotettavasti lukuun ottamatta varjojen vaikutusta. Segmentointiohjelmat muodostavat tummista varjoalueista joko oman kuvionsa tai yhdistävät ne suurempipuustoiseen kuvioon. Myös tiet voivat muodostua omiksi kuvioikseen. Segmentointiohjelmat eivät myöskään pysty erottamaan ilmakuvalta turve- ja kangasmaita, jotka käytännön kuviointia tehtäessä erotetaan omiksi kuvioikseen. Segmentoinnin ohjauksessa tulisi pystyä hyödyntämään ilmakuvan ulkopuolista karttatietoa rajoittamalla segmenttien muodostumista mm. suomaskin ja tieaineiston avulla. SDT-ohjelmassa peruskarttaa on mahdollista hyödyntää taustakuvana kuviorajojen muokkaamisessa käsin.

Automaattisen tulkinnan heikkouksia voidaan käytännön kuvioinnissa poistaa soveltamalla ns. puoliautomaattista menetelmää, jossa automaatti-

sesti tuotettua esitulkintaa voidaan muokata käsin. Tällä hetkellä pisimmälle kehitetty puoliautomaattinen kuviointiohjelma on tässä tutkimuksessa käytetty Stand Delineation Tool -ohjelma, joka on tässä tutkimuksessa käytetyistä ohjelmista ainoa kaupallinen ohjelma. Tulosten perusteella visuaalinen ja puoliautomaattinen menetelmä osoittautuivat kuvioiden sisäisen homogeenisuuden suhteen yhtä hyviksi menetelmiksi. Puoliautomaattisessa menetelmässä tietokoneen tuottamia kuviorajoja jätetään ennakkokuviointiin visuaalista tulkintaa enemmän, koska ihminen luottaa helposti tietokoneen kykyyn löytää rajoja ja on tällöin näkevinään eroja puuston rakenteessa rajan eri puolilla varsin homogeenisilläkin alueilla. Visuaalisessa tulkinnassa näitä rajoja ei useinkaan erota tai rajojen tarkan sijainnin määrittäminen vaihettumisalueilla on vaikeaa, jolloin kuviorajan olemassaolon selvittäminen jää maastotyön varaan. Visuaalisen tulkinnan kuviorajojen sijaintitarkkuus osoittautui muita menetelmiä paremmaksi.

Automaattisten kuviointiohjelmien hyödyt tulevat esille etenkin tehtäessä kuviointia suurille alueille, koska automaattiset menetelmät pystyvät erottamaan selvät kuviorajat nopeasti ilman ihmistyötä. Pienillä alueilla automaattisuuden nopeushyöty jää vähäiseksi. Täysin automaattisilla segmentointimenetelmillä tullaan tuskin vielä pitkään aikaan tuottamaan lopullista kuviointia. Puoliautomaattinen menetelmä on sen sijaan varteen otettava vaihtoehto ennakkokuvioinnissa visuaalisen kuvatulkinnan ja vanhojen kuviorajojen hyödyntämisen rinnalla. Puoliautomaattisen menetelmän käyttöönotto metsäsuunnittelussa riippuu oleellisesti mahdollisista menetelmän tuottamista kustannussäästöistä. Eri kuviointimenetelmien tuottavuusvertailu ei ollut tämän tutkimuksen tavoitteena, mutta käyttökokeuksen perusteella voidaan arvioida, että hyvin toimivalla kuviointiohjelmalla ennakkokuvioinnin nopeus voidaan vähintäänkin kaksinkertaistaa visuaaliseen tulkintaan verrattuna. Puoliautomaattiset kuviointimenetelmät tarjoavat hyvän vaihtoehdon ennakkokuviointiin etenkin silloin, kun vanhojen kuviorajojen sijaintitarkkuus on riittämätön, alueella on tehty paljon hakkuita tai vanhaa kuvioraja-aineistoa ei ole saatavissa.

## Kiitokset

Tämä tutkimus on osa Metsätalouden kehittämiskeskus Tapiion ja metsäkeskusten yhteistä vuonna 2000 toteutettua metsäsuunnittelun tehostamisprojektia. Tutkimus on tehty pro gradu -työnä Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitokselle. Työn ohjaajina ovat toimineet MMM Raito Paananen ja FT, MML Janne Uuttera Tapiosta. Arvokasta apua on Tapiosta antanut myös MMM Esa Ärölä.

Merkittävän panoksen tutkimuksen tekemiseen ovat antaneet tutkimuksessa käytettyjen segmentointiohjelmien kehittäjät MMM Anssi Pekkarinen Metsäntutkimuslaitoksesta, Oy Arbonaut Ltd:n/Falcon Informatics Inc:n henkilökunta, erityisesti MMM Mikko Lehikoinen, sekä MMM Jorma Karjalainen, joilta olen saanut arvokasta tietoa ohjelmien käyttöön ja sisältöön liittyen.

Työn edistymiseen on vaikuttanut lisäksi useampi henkilö Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitokselta. Tutkimusaineiston hankinnassa sain hyödyntää MML Jyrki Koivuniemen koelamittauksia. MMM Jussi Rasinmäki on puolestaan auttanut kehittämänsä MapInfo-pohjaisen ohjelman muokkaamisessa tarpeitani vastaavaksi.

Lämpimät kiitokseni edellä mainituille henkilöille ja kaikille muille, jotka ovat edesauttaneet työn edistymistä.

## Kirjallisuus

- Bolstad, P. & Smith, J. 1992. Errors in GIS. Assessing spatial data accuracy. *Journal of Forestry*. November 1992.
- Gonzales, R.C. & Woods, R.E. 1993. *Digital image processing*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Handbook for the Stand Delineation Tool / Falcon forest assessment and classification tools. 2002. Copyright 2002 Falcon Informatics Inc. USA.
- Hoeltje, A. 2001. eCognition: advanced image understanding for land-use classification. Teoksessa: *Maanmittauspäivät*. Lahti, Finland, 15.–16.3.2001. s. 21–23.
- Jain, R., Kasturi, R. & Schunck, B. G. 1995. *Machine vision*. Computer Science Series.
- Karjalainen, J. 1996. Automaattinen metsikkökuvioiden rajaaminen monilähteiseen tietoon perustuen. Helsingin



- yliopiston metsävarojen käytön laitos. Moniste.
- Lappi, J. 1993. Metsäbiometrian menetelmiä. *Silva Carelica* 24. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.
- Pekkarinen, A. 2001. Image segment-based spectral features in the estimation of timber volume. Submitted to *Remote Sensing of Environment*.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1997. *Biometria: tilastotiedettä ekologeille*. 6. painos. Yliopistopaino, Helsinki.
- Sell, R. 2001. Segmentointimenetelmien käyttökelpoisuus ennakkokuvaioinnissa. *Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma*. Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos.
- Tokola, T., Hyppänen, H., Miina, S., Vesa, L. & Anttila, P. 1998. *Metsän kaukokartoitus*. *Silva Carelica* 32. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.
- Vanderzanden, D. 2002. ArcView software's feature analyst extension: a Forest Service beta test. Abstract of Conference, Proceeding of ESRI International User Conference 8.–12.7.2002, San Diego, USA.

## 12 viitettä