



Olli Leino



Markus Holopainen

Olli Leino, Markus Holopainen, Antti Mäkinen,  
Hanna Happonen, Tarja Kiviaho ja Riina Tuominen

## Pysty- ja maalahopuuston inventointi relaskooppiotannan avulla

**Leino, O., Holopainen, M., Mäkinen, A., Happonen, H., Kiviaho, T. & Tuominen, R.** 2006. Pysty- ja maalahopuuston inventointi relaskooppiotannan avulla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2006: 383–390.

Useimmat käytössä olevat lahopuuston inventointimenetelmät on kehitetty maalahopuun inventointiin. Metsikön sukkessiovaiheesta ja häiriödynamiikasta riippuen luonnontilaisen boreaalisen metsän lahopuusta noin kolmannes muodostuu pystyyn kuolleesta puustosta. Näin ollen on tärkeää kehittää ja tutkia menetelmien soveltuvuutta myös kokonaislahopuuston määrän arvioimiseen. Tutkimuksessa selvitettiin kahden relaskooppilahlon käyttöä pysty- ja maalahopuusuoksien inventoinnissa. Relaskooppiotannalla inventoidun lahopuuston tunnuksia verrattiin useissa tutkimuksissa käytettyyn ympyräkoealainventointiin. Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää menetelmän käyttökelpoisuutta, luotettavuutta ja tuottavuutta Siuntion metsissä tehdyssä testissä. Tuloksien perusteella relaskooppiotantaan perustuvien inventointimenetelmien tuottavuus laskettaessa yksittäisen koealan mittaamiseen kulunutta aikaa oli usein kiinteälaisia koealoja pienempi. Toisaalta mittausteknisten päätösten vaikutus mittaussnopeuteen havaittiin merkittäväksi. Vaihtuväsaiteiset menetelmät osoittautuivat kiinteäsaiteisista suositeltavimmiksi niiden paremman luotettavuuden ansiosta. Pysty- ja maalahopuuston mittaaminen relaskooppikoealalta samanaikaisesti ei vaikuttanut merkittävästi koealan mittaukseen kuluneeseen aikaan.

Asiasanat: lahopuu, relaskooppiotanta, ympyräkoeala, luotettavuus, tuottavuus

Yhteystiedot: Helsingin yliopisto, Metsävarojen käytön laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto

Sähköposti [olli.pt.leino@helsinki.fi](mailto:olli.pt.leino@helsinki.fi)

Hyväksytty 30.8.2006

## I Taustaa

Metsätalouden toimintaympäristö on muuttunut viimeisen 15 vuoden aikana ekologista kestävyttä korostavampaan suuntaan. Ekologisella kestävyydellä tarkoitetaan luonnon monimuotoisuuden turvaamista metsätaloudessa. Monimuotoisuutta voidaan käytännössä arvioida lajien tai elinympäristöjen tasolla. Käytännön mittauksissa ja seurannassa joudutaan usein tyytymään monimuotoisuutta kuvaaviin indikaattoreihin. Yksi tärkeimmistä indikaattoreista on lahoppuuston määrä, joten kiinnostus sen määrään ja dynamiikkaan on lisääntynyt (mm. Siitonen ym. 2001).

Luonnontilaisissa metsissä lahoppuun määrään vaikuttavat mm. kasvupaikan puuntuotto-kyky, kuolleen puun lahoamisnopeus sekä puustoa vaurioittavat häiriötilat. Talousmetsien lahoppuusta valtaosa koostuu kannoista sekä puunkorjuun yhteydessä leimikkoon jätetyistä pieniläpimittaisista latvuksista ja rangoista. Luonnontilaisissa vanhoissa metsissä lahoppu on lukumääräisesti tasaisemmin jakautunut kaikkiin eri läpimittaluokkiin (mm. Siitonen ym. 2001). Valtakunnan metsien yhdeksän inventoinnin (VMI9) tulosten mukaan läpimitaltaan yli 10 cm olevaa lahoppuuta on Etelä-Suomen talousmetsissä keskimäärin 2,44 m<sup>3</sup>/ha. Borealisessa luonnonmetsässä lahoppuuta on yleensä vähintään 20–30 prosenttia elävän puuston määrästä, enimmillään Etelä-Suomen tuoreen kankaan vanhoissa kuusikoissa 60–120 m<sup>3</sup>/ha (Tonteri ja Siitonen 2001).

Kuolleen puuston jakautuminen maa- ja pystypuihin vaihtelee metsikön kehityshistorian ja sukkessiovaiheen mukaan. Borealisen luonnonmetsän lahoppuun jakautumista maa- ja pystypuustoon on selvitetty viime vuosina useissa tutkimuksissa (mm. Karjalainen ym. 2002, Rouvinen ym. 2002b, Lampainen ym. 2004, Lilja ym. 2006). Pystyyn kuolleen puuston osuus vaihtelee luonnonmetsän eri kehitysvaiheissa. Liljan ym. (2006) tutkimuksen mukaan sen osuus vanhoissa kuusivaltaisissa luonnonmetsissä oli suurimmillaan (n. 40 %) 110–140-vuotiaissa metsiköissä. Sen prosentuaalinen osuus pienentyi huomattavasti, kun metsikön keski-ikä kasvoi yli 200 vuoden, ja oli yli 280 vuotiaissa metsiköissä noin 28 %. Maalahoppuun tilavuuden suhteen muutos havaittiin samansuuntaiseksi, mutta huomattavasti

hitaammaksi. Lahoppujakauman normaalin kehityksen lisäksi ympäristön hetkelliset muutostilat, kuten poikkeuksellisen kuivat kaudet ja metsäpalot, saattavat tilapäisesti nostaa huomattavasti pystyyn kuolleen puuston tilavuutta (mm. Leino 2005).

Lahoppuuta muodostuu metsiin monien eri tekijöiden vaikutuksesta. Vaikka esimerkiksi myrskytuhot saattavat pienillä alueilla kaataa suuriakin määriä puustoa, Rouvisen ym. (2002a) mukaan noin 90 % luonnonmetsässä kuolleesta puustosta on pystyssä useamman vuoden puun kuoleman jälkeen. Karuilla kasvupaikoilla pystyyn kuolleen puuston osuus on Lampaisen (2001) tutkimuksen mukaan kokonaisuudessaan lahoppuuston määrästä rehevempiä kasvupaikkoja suurempi. Toisaalta karummilla kasvupaikoilla maapuun lahoaminen on reheviä kasvupaikkoja hitaampaa.

Nykyisin metsätaloudessa käytetyt puuston inventointimenetelmät eivät ole tehokkaita lahoppuun inventointiin, koska lahoppuuta on varsinkin talousmetsissä vähän ja usein hajallaan sijoittuneena. Vallitsevien ilmiöiden inventointiin kehitetyt menetelmät ovat tällöin useimmiten joko epäluotettavia tai inventointi vaatii liikaa resursseja. Lahoppuun inventointiin on viimeaikoina kehitetty useita uusia menetelmiä (esim. Ståhl 1998, Ståhl ja Lämås 1998, Ståhl ym. 2001, Ringvall 2003, Gove ym. 2001, Talvitie ym. 2006). Osa menetelmistä perustuu linjainventointiin, jolloin linjalle osuvat tai siltä näkyvät puut inventoidaan. Tällöin menetelmien etuna koelaitteeseen inventointiin verrattuna on havaintojen kerääminen koko kuljetulta matkalta. Näin lahoppuun havaitsemisen todennäköisyys kasvaa linjan pituuden sekä puun pituuden kasvaessa. Kaistoittain tapahtuvassa inventoinnissa havaintoja kerätään myös koko kuljetulta matkalta, mutta havainnot kerätään ennalta päätetyn kaistan leveydeltä. Näin inventointi vaatii linjoittaista inventointia enemmän resursseja.

Suomessa lahoppuun inventointiin kehitettyjä menetelmiä on tutkittu varsin vähän. Linjoittaiseen inventointiin perustuvien menetelmien tehokkuutta lahoppuiden inventointiin on vertailtu Kankaan ym. (2004) artikkelissa. Linjoittainen koelaitteisto (Line Intersect Sampling, LIS) havaittiin tehokkaimmaksi menetelmäksi. Sen heikkoutena oli, ettei sen avulla voida inventoida pystyyn kuollutta puustoa, vaikka sen osuus kaikesta lahoppuusta on varsinkin luonnontilaisessa metsässä huomattava.

Maapuiden relaskooppi-otanta (Point Relascope Sampling, PRS) on yksi uusista maalahopuun inventointiin kehitetyistä menetelmistä, mutta sen käyttökelpoisuutta käytännön inventoinneissa on tutkittu toistaiseksi vähän. PRS-menetelmässä maapuun todennäköisyys sisältyä otokseen riippuu kappaleen pituudesta. PRS voidaankin rinnastaa perinteiseen relaskooppi-otantaan (Horizontal Point Sampling, HPS), jossa puiden sisältyminen otokseen riippuu puiden pohjapinta-alasta.

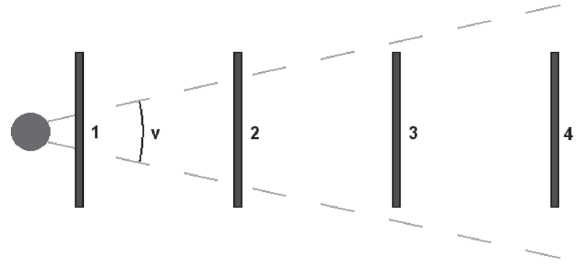
Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää PRS-menetelmän soveltuvuutta lahopuun inventointiin ja sen tuloksien luotettavuutta. Tutkimuksessa tutkittiin myös PRS- ja HPS-menetelmien yhdistämistä kokonaislahopuuston estimaatin määrittämiseksi. Tällöin PRS-mittalaitteeseen liitettiin hahlo pystyyn kuolleeseen puuston inventoimiseksi. Vertailuaineistona käytettiin kiinteäsäteistä ympyräkoelalaa.

Aineisto kerättiin Helsingin yliopiston Suitian opetus- ja tutkimustilalla Siuntiossa. Metsäalue on topografialtaan ja rakenteeltaan pienimuotoista ja muuhun Etelä-Suomeen verrattuna keskivertoa rehevämpää. Alueella esiintyy kaikkia metsätyyppejä karukokankaasta lehtoon. Tutkimusalueella on kaksi tuoretta hakkuuaukkoa, mutta muuten puuston kehitysluokkajakauma on painottunut taimikkovaiheita varttuneempiin luokkiin. Alueelle on tunnusomaista myös useat puustoltaan erikoisrakenteiset kuviot; tutkimusalueen metsät ovat maisemanhoidon ja luonnon monimuotoisuuden kannalta tärkeitä alueita, joita on käsitelty varsinaisia talousmetsiä varovaisemmin mikä edelleen korostaa alueen pienimuotoisuutta.

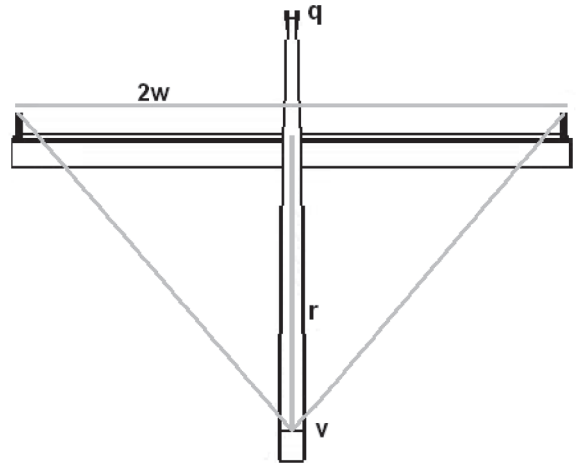
## 2 Otantamenetelmät

### 2.1 PRS-menetelmä

PRS-menetelmän periaate on vastaava kuin perinteisessä, pystypuiden pohjapinta-alan arviointiin käytetyssä relaskooppi-menetelmässä. Relaskoopilla tähdätään koelan keskipisteestä näkyviä kuolleita maapuita, joista hahlon täyttävät luetaan mukaan otokseen. Maapuun sisältyminen otokseen riippuu siten sen pituudesta ja etäisyydestä koelan keskipisteeseen. Mitä kauempana puu on, sitä pidempi



Kuva 1. PRS-koelan mittaaminen.



Kuva 2. Tutkimuksessa käytetty relaskooppi.

sen täytyy olla tullakseen luetuksi mukaan (kuva 1). Kuvassa kulmaa  $v$  pidemmät puut 1 ja 2 kuuluvat koelaan. Tutkimuksessa rajapuita ei tarkistettu, vaan otokseen valittiin mukaan joka toinen rajapuu. Epävarmojen tapausten määrää voitiin vähentää käyttämällä tutkimuksessa osoitinpuita puun tarkan sijainnin määrittämiseksi. Rajapuiden tarkistamista on selvitetty mm. Goven ym. (1999) tutkimuksessa.

Jokainen luettu puu edustaa pohjapinta-alan sijaan tiettyä pituuden neliötä hehtaarilla. Yksittäisen puun edustama pituuden neliö määräytyy relaskoopin hahlon tai oikeammin sen kulman ( $v$ ) perusteella, joka muodostuu hahlon leveydestä ( $2w$ ) ja etäisyydestä ( $r$ ) katsojan silmään (kuva 2). Pystypuuston inventoimiseksi relaskoopissa on myös kapeampi hahlo ( $q$ ).

Kerroin yksittäisen puun edustamalle pituuden neliölle ( $L$ ) ( $m^2$ ) lasketaan kaavalla

$$L = \frac{H}{\varphi} \quad (1)$$

jossa

$H = 10000$  (yhden ha:n pinta-ala,  $m^2$ )

$$\varphi = \frac{\pi \left(1 - \frac{v}{180}\right) + \sin v \cos v}{2 \sin^2 v}$$

jossa  $v$  = relaskoopin avauskulma asteina.

Kertoimen avulla mille tahansa maapuuhun liittyvälle määrälliselle tunnukselle voidaan edelleen laskea koealakohtaiset estimaatit kaavalla

$$\hat{y} = L \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{l_i^2} \quad (2)$$

jossa  $y_i$  on estimoitava tekijä ja  $l_i^2$  on koealakeskipisteeltä otokseen tulleen yksittäisen rungon  $i$  pituuden neliö. PRS-menetelmää ovat tarkemmin kuvailleet muun muassa Gove ym. (1999), Gove ym. (2001) ja Jordan ym. (2004).

Koealakohtaisista estimaateista ( $\hat{y}_k$ ) koko otoksen estimaatti ( $\hat{Y}$ ) lasketaan kaavalla

$$\hat{Y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \hat{y}_k \quad (3)$$

PRS-menetelmän otoksiin lukeutuville maapuille laskettiin tilavuus Smalianin kaavalla

$$y_i = \left( \frac{B_i + b_i}{2} \right) l_i \quad (4)$$

jossa  $B_i$  on poikkileikkauspinta-ala rungon  $i$  tyvellä,  $b_i$  on poikkileikkauspinta-ala latvassa ja  $l_i$  on rungon  $i$  pituus. Yhtälö valittiin, koska suurin osa inventoituista rungoista oli katkennut. Tämän lisäksi koealan mittaaminen nopeutuu, koska kappaleen päiden läpimitan mittaaminen käy nopeasti mittaajan apulaisten osoittaessa mittaajalle kappaleen päiden tarkat sijainnit.

PRS-menetelmän estimaatin harhaton varianssi laskettiin kaavasta

$$\text{var}(\hat{Y}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (\hat{y}_k - \hat{Y})^2 \quad (5)$$

Tarvittaessa yksittäisen koealan sisäinen varianssi voidaan johtaa samasta kaavasta.

Alueen keskitilavuus laskettiin koealojen tilavuuksien keskiarvona. Keskiarvon keskivirhe estimoititiin tässä tapauksessa yksinkertaisen satunnaisotannan kaavalla

$$s_{\hat{y}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

missä

$s$  = koealojen tilavuuksien keskihajonta

$n$  = koealojen määrä

PRS-menetelmän testaamista varten valmistettiin kaksi relaskoopia Gove ym. (2001) ohjeiden mukaisesti (kuva 2). Toisen relaskoopin kulmat olivat 20, 50 ja 80 astetta, toisessa vastaavasti 30, 60 ja 90 astetta. PRS-menetelmällä mitatuilla koealoilla otoksiin luettavilta lahpuurungoilta mitattiin läpimitta (mm) rungon tyvipäästä ja latvapäästä sekä rungon pituus (dm). Testikoealojen perusteella tutkimukseen valittiin kaksi olosuhteisiin sopivinta kulmaa (20 ja 50 astetta), joita käytettiin kaikkien koealojen mittaauksissa. Suuren hahlon lisäksi relaskoopeihin liitettiin kertoimen 0,5 hahlo pystypuiden mittaamiseksi HPS-menetelmällä. Katkenneiden pystyynkuolleiden puiden kokonaispituuden laskemiseksi kerättiin alueelta koepuuaineisto, jonka avulla laadittiin malli pituudelle rinnankorkeusläpimitan suhteen. Mallit laadittiin erikseen männylle, kuuselle ja koivulle. Muut lehtipuut yhdistettiin omaksi mallikseen. Kokonaisten ja katkenneiden puiden tilavuus määritettiin Laasasenahon (1982) kahden selittäjän tilavuusyhtälöillä. Katkenneiden puiden tilavuus määritettiin runkokäyrien avulla käyttäen hyväksi mallin avulla laskettua kokonaisten puun pituuden estimaattia sekä maastossa havaittua katkeamiskohdan korkeutta. Kaikkien lehtipuiden tilavuusmallina käytettiin koivun mallia.

## 2.2 Vertailuaineisto

Vertailuaineistoksi määritettiin lahpuun määrä 10 metrin säteisiltä ympyräkoealoilta. Eri menetelmien koealat mitattiin samasta koealakeskipisteestä. Kiinteäsäteisiltä koealoilta otokseen luettiin läpimitaan yli 5 cm olevat pystyyn kuolleet puut sekä koealan sisällä olevat maapuut. Otokseen sisältyvistä lahpuurungoista mitattiin läpimitta (mm) koealalle

sisältyvän rungon osuuden puolivälistä sekä rungon koealalle sisältyvän osuuden pituus (dm). Kiinteäsäteisiltä koealoilta mitatuille maapuille laskettiin tilavuuden estimaatti Smalianin (kaava 4) yhtälöllä. Pystyyn kuolleen puuston tilavuus estimoitiin kuten PRS-menetelmän yhteydessä.

Kaikkien otantamenetelmien yhteydessä oletettiin, että lahopuut sijaitsevat alueella täysin satunnaisesti jakautuneina.

### 2.3 Mittaukset ja laskenta

Aineisto kerättiin peltojen rajaamalla noin 42 ha alueella, jolle sijoitettiin systemaattinen koealaverkko. Koealakeskipisteiden etäisyys oli 100 metriä. Yhteensä mitattavia koealoja oli 34. Mitattavien koealojen määrää rajoitti tutkimusalueen muoto. Ne systemaattisesti valituista koealoista, jotka sijaitsevat vain osittain tutkimusalueen rajojen sisäpuolella, hylättiin ja jätettiin mittaamatta. Ratkaisuun päädyttiin, koska tutkimusalue rajautui joka suunnalla joko teihin tai peltoihin jolloin koealat olisi jouduttu mittaamaan vajaina. Koealakeskipisteet paikannettiin GPS-laitteella (Garmin Geko 101).

Menetelmien tehokkuutta tutkittiin myös vertaamalla eri menetelmien inventointiaikaa. PRS-menetelmästä kirjattiin ylös 20 asteen kulmalla mitatut koealat. Menetelmiä vuoroteltiin siten, että joka toisella koealakeskipisteellä tehtiin ensimmäisenä ympyräkoelaininventointi ja joka toisella PRS-inventointi. Näin toimittiin, jotta puiden etsimisestä johtuvat aikaerot saatiin huomioitua ajanotossa. Huomattavan suuri osa PRS-menetelmän mittaustuloksista kului puiden etsimiseen. Tästä syystä vain 20 asteen kulmalla tehdyn otoksen ajat kirjattiin ylös. Vertailutuloksien 50 asteen kulman mittaustuloksissa. Mallina käytettiin eksponenttifunktiota, jolloin mittaustulosten kasvu koealalla puiden lukumäärän kasvaessa voitiin huomioida. Malli laadittiin laskemalla yksittäisen puun mittaukseen kulunutta aikaa. Mallissa ei huomioitu mittaustulosten eroa, joka muodostuu eri mittaustuloksilla mitattujen puiden keskimääräisen mittaustuloksen eroa.

Eri menetelmien tuottamille keskitilavuuksille laskettiin luotettavuudet kaavalla

$$R = 100 - s_{e\%} \quad (7)$$

missä

$s_{e\%}$  = keskiarvon keskivirheen suhde keskiarvoon.

Tämän lisäksi menetelmille määritettiin variaatiokerroin (CV), jolla suhteutettiin otoksen keskihajonta sen keskiarvoon. Näin voitiin tutkia useampien eri otoksien keskihajontojen suuruutta.

Menetelmien soveltuvuutta maastoinventointiin selvitettiin paitsi määrällisten ja tilastollisten tunnusien avulla myös tarkastelemalla niiden tuottavuutta koealakohtaisen mittaustuloksen perusteella. Tämän lisäksi eri menetelmille laskettiin indeksi kustannustehokkuudelle jakamalla menetelmien luotettavuusprosentti koealakohtaisella mittaustuloksella. Koealan mittaukseen kulunut aika määritettiin ryhmältä yhteen koealaan keskimäärin kuluneena aikana.

## 3 Tulokset

Menetelmien vertaamisessa käytettiin kaikkia mitattuja 34 koealaa. Vertailun tulokset on kerätty taulukkoon 1.

PRS-menetelmien ja HPS-menetelmän yhdistelmät tuottivat keskimäärin samansuuruisia puuston määrän estimaatteja kuin kiinteäsäteinen ympyräkoelainen menetelmä. Kiinteäsäteisen ympyräkoelaininventoinnin tuottama keskitilavuus oli 1,5 m<sup>3</sup>/ha suurempi kuin PRS (20/50 astetta) + HPS-inventoinnin tuottama keskitilavuus. Vertailtaessa menetelmien keskivirheitä sekä luotettavuutta, PRS + HPS-menetelmät osoittautuivat kiinteäsäteistä ympyräkoelainen menetelmää luotettavammiksi. Otoksen tuleva pinta-ala muodostui PRS-menetelmällä paljon suuremmaksi kuin kiinteäsäteisen ympyräkoelain tapauksessa. Tämä selittää pienemmät keskihajonnat, sillä koealojen välinen vaihtelu pienenee koealan koon kasvaessa. Verrattaessa PRS-menetelmän tuloksia kiinteäsäteisellä ympyräkoelainen menetelmällä saatuihin maapuita koskeviin tuloksiin erot olivat edelleen samansuuntaisia. Sama ilmiö oli havaittavissa myös verrattaessa HPS-menetelmän tuloksia ja kiinteäsäteisen ympyräkoelain pystypuita koskeviin tuloksiin.

**Taulukko 1.** Eri menetelmien tunnusten vertailu. Luku PRS-menetelmän yhteydessä kuvaa relaskoopin hahlon koea.

	PRS20	PRS50	HPS	PRS20+HPS	PRS50+HPS	Kiint. pystypuut	Kiint. maapuut	Kiint. yht.
Tilavuus, m <sup>3</sup> /ha	8,76	7,49	5,68	14,43	13,17	5,55	9,57	15,45
Keskivirhe, m <sup>3</sup> /ha	1,23	1,4	0,72	1,49	1,68	1,28	2,15	2,67
Keskivirhe, %	14,1	18,7	12,7	10,3	12,7	23,0	22,5	17,3
R, %	86,0	81,3	87,3	89,7	87,3	77,0	77,5	82,7

**Taulukko 2.** Eri menetelmien tuottavuuden vertailu.

Menetelmä	Mittausaika (min)	Hajonta (min)	Kustannustehokkuus	Puiden lkm koealalla (ka)
PRS20 + HPS	13,9	3,64	6,45	8,3
PRS50 + HPS	6,7	0,33	13,03	2,15
Kiinteä	7	0,81	11,81	5,16

PRS-menetelmään käytetty aika vaihteli koealojen välillä enemmän kuin kiinteäsäteiseen menetelmään käytetty aika (taulukko 2). Suuri vaihtelu selittyi paitsi koealaan kuuluvien puiden lukumäärän vaihtelulla, myös epätasaisella maastolla ja paikoittaisella huonolla näkyvyydellä. Varsinkin pienempää hahloa käytettäessä pitkät maapuut saattavat kuulua koealaan kaukaa, joten niiden etsiminen johtaa suurempaan mittausaikaan. Kustannustehokkuuden indeksi havaittiin hyvin herkäksi koealakohtaisen mittausajan vaihtelulle, mikä vaikeuttaa tunnuksen tulkintaa. Testin perusteella PRS50:n ja kiinteäsäteisen koealan kustannustehokkuudet ovat keskenään samaa kokoluokkaa, pienemmällä hahlolla mitatun relaskoopiakoealan kustannustehokkuuden ollessa merkittävästi pienempi.

## 4 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa käytettyjä lahopuun inventointimenetelmiä voidaan kerätyn aineiston avulla verrata menetelmien tuottamien keskitunnusten hajontojen ja luotettavuuksien sekä menetelmiin käytetyn ajan perusteella. Taulukossa 1 esitettyjen tulosten perusteella PRS-menetelmä tuottaa jonkin verran luotettavampia tuloksia kuin kiinteäsäteinen ympyräkoelamenetelmä. Kahden eri kulman luotettavuuden väli-

nen ero on huomattavasti pienempi kuin ero kiinteäalaiseen koealaan. Verrattaessa otoksien tuottavuutta mittausajan ja kustannustehokkuuden avulla PRS50 osoittautuu tehokkaimmaksi. Nyt tutkitulla alueella PRS-menetelmä (20 astetta) lähestyikin jo alueen täysin inventointia, sillä pienellä kulmalla lahopuita luetaan otokseen jopa 30 metrin päästä. Suuremmalla hahlolla puiden lukuetaisyys pysyi riittävän pienenä. Toisaalta varsinkin metsätalouden piirissä olevissa metsiköissä suuren hahlon käyttö laskee huomattavasti menetelmän luotettavuutta. Tutkimusalueen kaltaisissa metsiköissä, jossa näkyvyys oli paikoin hyvin rajoitettu sekä lahopuukappaleiden keskikoko oli huomattavan suuri, suuremmalla hahlolla päästiin hyviin tuloksiin, vaikkakin luettavien puiden lukumäärä koealoilla oli huomattavan pieni. Suuremmalla hahlolla puiden pienemmästä maksimietäisyydestä johtuen havaitsemistodennäköisyys on suurempi ja puiden lukeminen nopeampaa. Varttuneissa talousmetsissä, joissa näkyvyys on yleensä hyvä sekä lahopuukappaleiden keskikoko ja lukumäärä pienempi, pienemmän hahlon käyttö vaikuttaisi tutkimuksen tulosten mukaan perustellulta. Tätä nuoremmassa metsiköissä suuremman hahlon käyttö on suositeltavaa heikomman näkyvyyden johdosta. Tutkimusalueella oli suuria korkeusvaihteluita. Ståhl ym. (2002) artikkelissa todettiin koealojen sisäisen korkeusvaihtelun aiheuttavan estimaatteihin harhaa, mutta tässä tutkimuksessa korjauksia ei tehty. Korkeusvaihteluilla on vaikutus lukuetaisyyden virheen lisäksi myös puiden löytymiseen ja tarkkaan havainnointiin.

Menetelmien kustannustehokkuudelle laskettu indeksi korostaa koealan mittausajan merkitystä varsinkin kun eri menetelmien luotettavuuksien vaihtelu on testissä hyvin pientä. Käytännössä eri menetelmien vaatimat resurssit ovatkin merkittävässä asemassa inventointimenetelmää valittaessa,

mikäli niillä saatavien tunnuksien luotettavuudella ei ole suurta eroa. Toisaalta vertailtaessa tunnuksien prosentuaalista keskivirhettä ja eri otantamenetelmillä keskimäärin mitattujen puiden lukumääriä, menetelmien välillä on merkittäviä eroja. Testin perusteella voidaan sanoa, että relaskooppi-koalojen tehokkuus lahoppuinventoinnissa riippuu hyvin paljon mittausteknisten päätösten soveltuvuudesta tutkimusalueelle. Oikein valitulla hahlon koolla PRS-menetelmällä päästään erittäin hyviin tuloksiin. Inventoitavan metsän rakenne vaikuttaa huomattavasti menetelmän käyttökelpoisuuteen. Vanhassa metsässä, jossa näkyvyys on parempi ja maapuiden keskikoko suuri, relaskooppi-otanta soveltuu hyvin lahoppuun inventointimenetelmäksi. Nuorten metsien ja rakenteeltaan tiheämpien metsien kohdalla heikentynyt näkyvyys ja pienten yksittäisten maalahopuiden suurempi lukumäärä hidastaa inventointia huomattavasti. Nuorissa metsissä lahoppuiden inventointi PRS-menetelmällä havaittiin huomattavasti hankalammaksi kuin esimerkiksi linjoittain tapahtuva LIS-menetelmä. Toisaalta mittausnopeuden lasku on pienempi, mikäli inventoinnilta vaaditaan paikkatietoa lahoppuun sijainnista, ja vaihtoehtoinen otantamenetelmä on kiinteäsäteinen koeala, jolloin kaikki koealan sisällä olevat puut jouduttaisiin lukemaan yksitellen joka tapauksessa.

Kiinteäsäteinen ympyräkoela voidaan inventoida kahden hengen voimin, mutta PRS-koelan mittaamiseen sujuvasti tarvitaan kolmen hengen ryhmä. PRS-menetelmässä relaskoopin käyttäjä ei pysty havaitsemaan kaikkia otokseen tulevia lahoppuita ilman apulaisia. Relaskoopin käyttäjä ei myöskään voi osallistua puiden mittaamiseen. Mittausryhmän koon merkitys korostuu erityisesti mitattaessa metsiköitä, missä heikomman näkyvyyden johdosta maapuiden päät joudutaan osoittamaan mittaajalle.

Testissä tutkimusalueen vajaiksi rajaamat koealat jätettiin mittaamatta. Yksinkertaisin menetelmä tutkimusalueen rajaamien koealojen mittaamiseksi olisi ollut mitata koeala siltä osin kun se kuuluu tutkimusalueeseen ja painottaa tunnuksat mitatun pinta-alaosuuden mukaan. Tutkimusalueelle oli ominaista se, että tiestön välittömässä läheisyydessä oli huomattavan paljon uralta kerättyä lahoppuustoa joka olisi näin toimien tuottanut kokonaistulokseen huomattavaa yliarviota. Toinen yksinkertainen vaihtoehto olisi ollut siirtää vajaiksi rajautuvia koealoja

systemaattisesti pois päin rajasta. Tässä tutkimuksessa koealaverkoston tiheys oli niin suuri, että koealojen siirrot olisivat johtaneet joidenkin koealojen mitaamiseen osin samalta alalta. Gove ym. (1999) ovat selvittäneet tutkimuksessaan heijastusmenetelmän (reflection method) käyttöä tutkimusalueen rajojen tarkistuksessa PRS-koelan yhteydessä. Tilastollisesti heijastusmenetelmä on esitetyistä menetelmistä harhattomin, mutta sen soveltaminen maastossa on hyvin työlästä.

PRS-menetelmä on kehitetty linjoittaisen relaskooppi-otantamenetelmän (Transect Relascope Sampling, TRS) pohjalta (mm. Ståhl 1997). Koealoittain mitattaessa menetetään Horwitz-Thompsonin estimaattorilla saatava hyöty mitattavien kappaleiden pituuden supistumisesta pois yhtälöstä. Tällöin mitattavien tunnusten lukumäärän lisääntyessä koealakohtainen mittausaika kasvaa ja menetelmän kustannustehokkuus laskee. Toisaalta PRS-menetelmä tarjoaa tutkimuskäyttöön kiinteäsäteiseen koealainventointiin verrannollista paikkakohtaista tietoa puuston sijainnista ja laadusta. Yhdistettynä perinteiseen relaskooppi-koelaan se tuottaa myös tärkeää tietoa pystyyn kuolleen puuston määrästä. Koealojen mittauksen tapahtuessa samanaikaisesti pystypuiden inventoinnin vaatima lisäaika on suhteellisen pieni. Kiinteäsäteisiin koealoihin verrattuna suuremman koealakohtaisen mittausajan avulla saadaan selvästi luotettavampaa tietoa. Näin ollen jatkotutkimuksessa tulisikin keskittyä menetelmän mittaustehokkuuden parantamiseen maastomenetelmiä kehittämällä. Tehokkaamman kenttätyön ja oikein valitun hahlon leveyden kanssa menetelmä soveltuu hyvin tutkimusaineiston keruuseen. Tutkimuksessa käytetty aineisto on yhden mittausryhmän aineistoa. Mittaustekninen virhelähde voidaan olettaa tutkimuksessa vakioksi.

## Kirjallisuus

- Gove, J.H., Ringvall, A., Ståhl, G. & Ducey, M.J. 1999. Point relascope sampling of downed coarse woody debris. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1718–1726.
- , Ducey, M.J., Ståhl, G. & Ringvall, A. 2001. Point relascope sampling – a new way to assess downed

- coarse woody debris. *Journal of Forestry* 99: 4–11.
- Jordan, G.J., Ducey, M.J. & Gove, J.H. 2004. Comparing line-intersect, fixed-area and point relascope sampling for dead and downed coarse woody material in a managed northern hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 1766–1775.
- Kangas, A., Aakala, T., Alanen, H., Haavisto, M., Heikkilä, J., Kaila, A., Kankaanpää, S., Kämäri, H., Leino, O., Mäkinen, A., Nurmela, E., Oksa, S., Saari, A., Tikkanen, S.-M. & Wathén, M. 2004. Lahopuuinventoinnin menetelmien vertailu Nuuksion ulkoilualueilla. *Metsätieteen aikakauskirja 1/2004*: 43–51.
- Karjalainen, L. & Kuuluvainen, T. 2002. Amount and diversity of coarse wood debris within a boreal forest landscape dominated by *Pinus sylvestris* in Vienansalo wilderness, Eastern Fennoscandia. *Silva Fennica* 36(1): 147–167.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt*. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Lampainen, J. 2001. Puuston rakenne ja uudistuminen mäntyvaltaisen metsän 30 vuotta vanhalla paloalalla Vienansalon erämaa-alueella. Helsingin yliopisto. Pro gradu -tutkimus.
- , Kuuluvainen, T., Wallenius, T., Karjalainen, L. & Vanha-Majamaa, I. 2004. Long-term forest structure and regeneration after wildfire in Russian Karelia. *Journal of Vegetation Science* 15: 245–256.
- Leino, O. 2005. Visuaalinen ilmakuvatulkinta ja sopeutuva ryväsotanta Helsingin kaupungin kuivuustuhojen inventoinnissa. Helsingin yliopisto. Pro gradu -tutkimus.
- Lilja, S., Wallenius, T. & Kuuluvainen T. 2006. Structure and development of old *Picea abies* forests in northern boreal Fennoscandia. *Ecoscience*. (In press).
- Ringvall, A. 2003. Guided transect sampling with a new strategy for second-stage guidance. *Forest Science* 49(2): 169–175.
- Rouvinen, S., Kuuluvainen, T. & Karjalainen, L. 2002a. Coarse woody debris in old *Pinus sylvestris* dominated forests along a geographic and human impact gradient in boreal Fennoscandia. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 2184–2200.
- , Kuuluvainen, T. & Siitonen, J. 2002b. Tree mortality in a *Pinus sylvestris* dominated boreal forest landscape in Vienansalo Wilderness, Eastern Fennoscandia. *Silva Fennica* 36(1): 127–145.
- Siitonen, J., Kaila, L., Kuusinen, M., Martikainen, P., Penttilä, R., Punntila, P. & Rauh, J. 2001. Vanhojen talousmetsien ja luonnonmetsien rakenteen ja lajiston erot Etelä-Suomessa. Julkaisussa: Siitonen, J. (toim.). Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 812. s. 25–53.
- Ståhl, G. 1997. Transect relascope sampling for assessing coarse wood debris: The case of a  $\pi/2$  relascope angle. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12: 375–381.
- 1998. Transect relascope sampling. A method for quantification of coarse wood debris. *Forest Science* 44: 58–63.
- & Lämås, T. 1998. Assessment of coarse woody debris. A comparison of probability sampling methods. Julkaisussa: Bachmann, P., Köhl, M. & Päivinen, R. (toim.). Assessment of Biodiversity for Improved Forest Planning. Proceedings of the Conference on Assessment of Biodiversity for Improved Forest Planning, 7–11 October 1996, Monte Verità, Switzerland. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. *EFI Proceedings* 18: 241–248.
- , Ringvall, A. & Fridman, J. 2001. Assessment of coarse woody debris – a methodological overview. *Ecological Bulletin* 49: 57–70.
- , Ringvall, A., Gove, J.H. & Ducey, M.J. 2002. Correction for slope in point and transect relascope sampling of downed coarse woody debris. *Forest Science* 48: 85–92.
- Talvitie, M., Leino, O. & Holopainen, M. 2006. Inventory of sparse forest populations using adaptive cluster sampling. *Silva Fennica* 40(1): 101–108.
- Tonteri, T. & Siitonen, J. 2001. Lahopuu talousmetsissä valtakunnan metsien 9. inventoinnin tulosten mukaan – vertailu luonnonmetsiin. Julkaisussa: Siitonen, J. (toim.). Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 812. s. 57–72.

## 22 viitettä