

Annika Kangas, Tuomas Aakala, Hanna Alanen, Maarit Haavisto, Jani Heikkilä, Annu Kaila, Sami Kankaanpää, Hannu Kämäri, Olli Leino, Antti Mäkinen, Eeva Nurmela, Sami Oksa, Antti Saari, Sanna-Maria Tikkanen ja Mikael Wathén

## Lahopuuinventoinnin menetelmien vertailu Nuuksion ulkoilualueilla

**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.

Tutkimuksessa vertailtiin nykyisin sovellettuja inventointimenetelmiä (ympyräkoeala- ja kaista-inventointi) linja-leikkaus-otantaan (Line Intersect Sampling LIS) lahopuun inventoinnissa. Tarkoituksena oli vertailla näiden kahden inventointitavan käyttökelpoisuutta, tuottavuutta ja luotettavuutta Nuuksion ulkoilualueella tehdyssä testissä. Testissä kaikille alueille laskettiin kaksi tai kolme riippumatonta inventointitulosta eri menetelmillä. LIS-menetelmässä tehtyjen havaintojen määrä (yhtä aluetta lukuun ottamatta) linjakilometriä kohden oli samaa luokkaa kaistainventoinnin kanssa. Kaista oli tässä tapauksessa niin kapea, ettei se juuri poikennut LIS-menetelmästä. Pienillä ympyräkoealoilla tehtiin vähiten havaintoja. Luotettavuudeltaan LIS-inventointi oli jokaisella alueella paras, mutta kun suhteutettiin luotettavuus linjan pituuteen, mittausaikaan tai mitattuihin puihin, muut menetelmät osoittautuivat usein tehokkaammiksi. Parantunut luotettavuus ei siis riittänyt kompensoimaan lisääntynyttä linjan pituutta. Tämä saattoi kuitenkin johtua ryhmien ja alueiden välisestä erosta, sillä yhdellä alueella, jossa linjat olivat täsmälleen samat, LIS oli tehokkaampi myös suhteessa linjan pituuteen.

Asiasanat: lahopuu, kaista, koeala, linja, luotettavuus, tuottavuus

Yhteystiedot: Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto.

Sähköposti annika.kangas@helsinki.fi

Hyväksytty 3.12.2003

## I Taustaa

Monimuotoisuuden arvioinnissa lahpuuston määrä on nykyisin keskeinen tieto (Siitonen ym. 2000). Lahopuun määrä on luonnonmetsissä suurimmillaan heti sukcession alussa, palon, myrskyn tai muun vastaavan suuren häiriön jälkeen. Myös vanhoissa luonnonmetsissä lahoppuuta on paljon, luonnontilaisista metsistä vähiten lahoppuuta on keski-ikäisissä metsissä. Luonnontilaisessa metsässä lahoppuun määrä voi olla 60–120 m<sup>3</sup>/ha (Siitonen 1998, 2000). Pohjois-Suomessa määrä on alempi kuin Etelä-Suomessa, noin 50–80 m<sup>3</sup>/ha, kitumailla ja metsärajalla määrä pienenee edelleen ja on keskimäärin noin 20 m<sup>3</sup>/ha (Siitonen 2000). Saman suuntaisia lahoppuunmääriä on havaittu myös monissa muissa maissa (Lee ym. 1997, Pedlar ym. 2002).

Valtakunnan metsien 9. inventoinnin tulokset lahoppuunmittauksista ovat saatavissa Etelä-Suomen osalta. Alueella on minimimitat (10 cm) täyttävää kuollutta puuta keskimäärin 2,44 m<sup>3</sup>/ha (Tonteri ja Siitonen 2001, taulukko 1). Pohjois-Karjalan tulokset eivät olleet tässä taulukossa vielä mukana, mutta tiedot ovat jo olemassa. Siellä lahoppuuta on keskimäärin 4,5 m<sup>3</sup>/ha (Korhonen ym. 2001). Luonnontilaisissa metsissä suurin osa lahoppuun tilavuudesta voi olla järeitä puita, mutta talousmetsissä pienten puiden, hakkuutähteen ja kantojen osuus lahoppuun tilavuudesta voi olla suuri.

Nykyisin sovelletut puuston arviointiin käytettävät inventointimenetelmät eivät kuitenkaan ole lahoppuun inventointiin tehokkaita menetelmiä, koska lahoppuuta on metsissä vähän ja se sijaitsee ryhmitäin. Tällöin tulokset ovat joko hyvin epäluotettavia tai inventointi kuluttaa paljon resursseja. Lahoppuun inventointiin on kuitenkin kehitetty erityisesti Ruotsissa uusia menetelmiä (esim. Ståhl 1998, Ståhl ja Lämås 1998, Ringvall 2000, Gove ym. 2002). Käyttöön on myös otettu aiemmin esimerkiksi hakkuutähteen arvioinnissa käytettyjä menetelmiä (esim. Lee ym. 1997, Lämås ja Ståhl 1998).

Useimmat näistä menetelmistä perustuvat alueelle vedettyihin linjoihin, joille osuneet ja/tai tietyn säännön mukaisesti näkyvät lahoppuungot lasketaan ja mitataan. Erona koealainventointiin on, että havainnot kirjataan koko kuljetulta matkalta. Tällöin lahoppuiden havaitsemisen todennäköisyys

**Taulukko 1.** Lahoppuun määrä eri metsäkeskusten alueella VMI IX:n mukaan (Tonteri ja Siitonen 2001).

Alue	Pystypuu		Maapuu		Yhteensä m <sup>3</sup> /ha
	m <sup>3</sup> /ha	%	m <sup>3</sup> /ha	%	
Ahvenanmaa	1,94	46	2,24	54	4,18
Etelä-Pohjanmaa	0,46	39	0,72	61	1,18
Häme-Uusimaa	1,19	39	1,87	61	3,06
Keski-Suomi	0,54	18	2,46	81	3,00
Kymi	0,82	35	1,50	64	2,32
Lounais-Suomi	0,83	46	0,99	54	1,82
Pirkanmaa	0,78	32	1,67	68	2,45
Pohjois-Savo	0,54	18	2,39	82	2,93
Rannikko	1,22	40	1,81	60	3,03

on maastossa suuri ja kasvaa lahoppuun pituuden kasvaessa. Silloin havaintoja saadaan paljon alueella kuljettua kilometriä kohti, jolloin inventointi on sekä tuottava että luotettava. Myös kaistainventoinnissa havaintoja tehdään koko kuljetulta matkalta, mutta puita mitataan myös linjan vierestä, jolloin linjan vetäminen ja puiden mittaaminen on työläämpää ja vaatii runsaasti resursseja.

Suomessa Metsähallitus on tehnyt selvityksen, jonka mukaan kaistainventointi osoittautui perinteisistä inventointimenetelmistä lahoppuun inventointiin parhaiten soveltuvaksi (Korhonen 1998). Metsähallituksen alueilla myös lahoppuun inventointeja on tehty jonkin verran (Siitonen ym. 2000). Uusia, lahoppuun inventointiin varta vasten kehitettyjä menetelmiä, kuten line transect sampling, line intersect sampling, transect relascope sampling (e.g. Shiver ja Borders 1996, Ståhl 1998), ei ole Suomessa testattu lainkaan. Ruotsissakin, jossa menetelmiä on kehitetty, testit ovat perustuneet lähinnä tietokonesimulointeihin sekä pieniin maastoinventointeihin.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on vertailla perinteisiä koealainventointeja uudempiin, lahoppuun inventointiin suoraan kehitettyihin menetelmiin, sekä työn tuottavuuden että tulosten luotettavuuden suhteen. Tutkimus tehtiin Helsingin kaupungin Nuuksion järviylängön ulkoilualueilla (Luukkaa, Pirttimäki ja Karjakaivo).

Kukin alue kuljettiin läpi kahden maastoryhmän voimin. Toinen ryhmä käytti joko perinteistä koealainventointia tai kaistainventointia ja toinen uutta testattavaa menetelmää. Molempien menetelmien luotettavuus arvioitiin otantateorian menetelmin ja

menetelmien luotettavuutta suhteessa tuottavuuteen verrattiin. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää lahopuun arviointiin Suomen oloissa tehokas ja luotettava menetelmä.

## 2 Otantamenetelmät

### 2.1 Linja-leikkaus-otanta

Kaikilla mitatuilla alueilla testattavana menetelmänä sovellettiin Line Intersect Sampling -menetelmää (LIS) eli ns. linja-leikkaus-otantaa. Menetelmässä sijoitetaan tutkittavalle alueelle linjoja, joilta mitataan kaikki linjalle osuneet kaatuneet puut. Tällöin otannassa puun todennäköisyys tulla valituksi otokseen on suoraan verrannollinen sen pituuteen. Tulokset saadaan estimoitua ns. Horwitz-Thompson-estimaattorilla, jossa tutkittavan muuttujan kokonaismäärän estimaatti saadaan, kun jaetaan havaitut tunnusten arvot puun todennäköisyydellä sisältyä otokseen. LIS-otannan tapauksessa estimaattori tunnusten määrälle pinta-alayksikköä kohti saadaan kaavasta (esim. Shiver ja Borders 1996)

$$\hat{T} = \frac{\pi}{2L} \sum_{i=1}^m \frac{y_i}{l_i} \quad (1)$$

missä

$L$  = kuljetun linjan pituus (m)

$l_i$  = mitatun puun  $i$  pituus (m)

$y_i$  = kiinnostavan tunnuksen arvo (tässä tapauksessa tilavuus) puulla  $i$

$m$  = havaittujen puiden määrä

Jos määritellään puun tilavuus ympyrälieriön kaavalla (myös ns. Huberin tilavuuskaava)

$$V_i = \pi \left( \frac{d_i}{2} \right)^2 l_i \quad (2)$$

missä  $d_i$  = puun  $i$  läpimitta (cm), niin pituus supistuu kaavasta pois, ja tilavuus voidaan laskea kaavalla (Shiver ja Borders 1996)

$$\hat{T} = \frac{\pi^2}{8L} \sum_{i=1}^m d_i^2 \quad (3)$$

Kaava 3 antaa tällöin tilavuuden suoraan kuutiometreinä hehtaaria kohti, koska pituuden ja läpimitan eri yksiköiden aiheuttamat muunnoskertoimet supistuvat kaavasta pois (Shiver ja Borders, s. 309–310).

LIS-menetelmässä riittää, että kustakin linjalle osuneesta puusta mitataan läpimitta siitä kohdasta, jossa linja leikkaa sen. Lieriön kaava antaa runkojen kapenemisen vuoksi hieman harhaisia tilavuuksia (aliarvioita), sitä suurempia mitä pidempiä pätkät ovat (Kangas ja Päivinen 2000, s. 44). Täsmällisemmät tulokset saadaan, jos sovelletaan jotakin muuta tilavuuskaavaa. Kokonaisilla puilla voidaan soveltaa esimerkiksi Laasasenahon tilavuusyhtälöitä (Laasasenaho 1982), katkenneilla puilla taas esimerkiksi Newtonin kaavaa (Kangas ja Päivinen 2000) tai katkaistun kartion kaavaa. Newtonin kaavassa oletetaan tunnetuksi puun läpimitta molemmissa päissä sekä keskellä, katkaistun kartion tapauksessa molemmissa päissä. Tällöinkin pituus voidaan supistaa kaavasta pois, jos tilavuus on sen suhteen lineaarinen. Muussa tapauksessa LIS-menetelmässäkin puiden pituudet on mitattava erikseen. Tässä tutkimuksessa kokonaisten runkojen tilavuus laskettiin Laasasenahon (1982) tilavuusmallilla ja pätkien (kahta poikkeusta lukuun ottamatta, joissa sovellettiin katkaistun kartion kaavaa) lieriön kaavalla.

LIS-menetelmän keskivirhe voidaan estimoida linjojen välisestä vaihtelusta kaavalla (esim. Shiver ja Borders 1996)

$$S_{\hat{T}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n L_j (\hat{T}_j - \hat{T})^2}{(n-1) \sum_{j=1}^n L_j}} \quad (4)$$

missä

$n$  = linjojen määrä

$\hat{T}_j$  = hehtaariohtainen tilavuus linjalla  $j$

$L_j$  = linjan  $j$  pituus

$\hat{T}$  = linjojen (linjan pituudella painotettu) keskitilavuus

Keskivirheen estimoinnissa oletetaan, että linjat on alueella vedetty satunnaisesti suuntiin tai vastaavasti että puut ovat alueella kaatuneet satunnaisesti suuntiin. Mikäli näin ei ole, yllämainitut kaavat voivat tuottaa harhaisia tuloksia. Tässä tutkimuksessa on kuitenkin kautta linjan oletettu, että puut ovat kaatuneet satunnaisesti suuntiin.

Menetelmän etuna on se, että mittauksia tarvitaan vain läpimitoista, mikäli tyydytään ympyrälieriön kaavaan. Työ on nopeaa mittausten määrään nähden. Huonona puolena on, että esimerkiksi kasvupaikkojen osuuksia ei voida arvioida mittaamatta linjan pituutta kussakin luokassa. Voidaan vain laskea, miten suuri osuus havaituista lahpuista oli missäkin kasvupaikkaluokassa. Pystykuolleiden puiden mittaamiseen menetelmä ei myöskään sovellu. LIS-menetelmän suurimpana heikkoutena voidaankin pitää sitä, ettei se välttämättä sovellu kovin hyvin käytettäväksi tilanteissa, joissa tarvitaan maapuun määrän lisäksi myös elävää/pystypuustoa koskevia tuloksia.

## 2.2 Vertailumenetelmät

Vertailumenetelmänä tässä tutkimuksessa käytettiin yhtä lukuun ottamatta kaikilla alueilla linjoittaista ympyräkoelaininventointia. Ympyräkoelainarvioinnissa mitataan joko 1) kaikkien niiden puiden tunnuksukset, joiden syntypiste on koelalla tai 2) koelalan sisäpuolelle osuva kaatuneen puun tilavuus. Ympyräkoelaininventoinnissa voidaan soveltaa samoja tilavuusyhtälöitä kuin LIS-menetelmässäkin.

Ympyräkoelaininventoinnissa puuston hehtaariohtainen tilavuus kullakin koelalla lasketaan kaavalla

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^m v_{ij}}{A_i} \quad (5)$$

missä

$v_{ij}$  = puun  $j$  tilavuus koelalla  $i$

$m$  = mitattujen puiden määrä koelalla  $i$

$A_i$  = koelalan  $i$  pinta-ala

Alueen keskitilavuus saadaan edelleen koalojen tilavuuksien keskiarvona. Keskiarvon keskivirhe estimoitiin tässä tapauksessa yksinkertaisen satunnaisotannan kaavalla

$$S_{\bar{v}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

missä

$s$  = koalojen tilavuuksien keskiahajonta

$n$  = koalojen määrä

Yksinkertaisen satunnaisotannan keskivirheen estimoinnissa oletetaan, että koelat on sijoitettu alueelle satunnaisesti, tai että lahpuut sijaitsevat alueella täysin satunnaisesti jakaantuneina. Mikäli lahoppuiden määrässä kuitenkin on trendinomaista vaihtelua alueen eri osissa, tämä kaava todennäköisesti hieman yliarvioi todellista keskivirhettä. Jaksoittaisen vaihtelun tapauksessa on mahdollista, että virheen arvio on aliarvio.

Yhdellä alueella sovellettiin vertailumenetelmänä kaistainventointia. Kaistainventointi voidaan käsittää ikään kuin koelaininventointina, jossa kaistat muodostavat suuria koaloja. Ongelmana on, että kaistat ovat eri pituisia, jolloin niillä on kullakin myös eri pinta-ala. Tällöin kaistojen keskiarvon käyttö keskitilavuuden estimaattina johtaa harhaiseen tulokseen (Shiver ja Borders 1996).

Parempaan tulokseen päästään käyttämällä tulosten laskennassa suhde-estimointia, jossa kaistan pinta-alaa käytetään aputietona. Tällöin kokonaistilavuuden estimaatti saadaan (esim. Shiver ja Borders 1996)

$$\hat{T}_R = \hat{R}A_T = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n A_i} A_T \quad (7)$$

missä

$V_i$  = lahoppuun kokonaistilavuus kaistalla  $i$

$A_i$  = kaistan  $i$  pinta-ala

$A_T$  = alueen koko pinta-ala

Jos halutaan tietää vain tilavuus hehtaaria kohti, riittää estimoida

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (8)$$

Koska tässä suhde-estimaattorissa sekä mitattujen kaistojen pinta-ala että niiden tilavuus vaihtelevat otoksesta toiseen, ei ole mahdollista estimoida suhteen keskivirhettä täsmälleen. Estimaatin likimääräinen keskivirhe saadaan kaavalla (esim. Cochran 1977, s. 33)

**Taulukko 2.** Käytetyt menetelmät ja valittu otoskoko alueittain.

Alue	Menetelmä	Linjaväli, m	Suunta	Koelakoko, m <sup>2</sup>	Koalaväli, m	Kaistaleveys, m	Minimi- läpimitta, cm
Karjakaivo-Pirttimäki pohjoisosa	LIS	100	Lounas-koillinen				-
	Ympyräkoela	150	Lounas-koillinen	300	200		5
Karjakaivo-Pirttimäki eteläosa	LIS	80–160	Etelä-pohjoinen				5
	LIS	300	Etelä-pohjoinen				5
	Kaista	600	Etelä-pohjoinen			10	5
Luukkaa	LIS	100	Itä-länsi				10
	Ympyräkoela	150	Itä-länsi	400	150		10
Tytinmäki	LIS	150	Itä-länsi				5
	Ympyräkoela	150	Itä-länsi	400	100		5

$$S_{\hat{R}} = \sqrt{\frac{1}{\mu_x^2} \frac{S_u^2}{n} \left( \frac{N-n}{N} \right)} \quad (9)$$

missä

$$S_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^2 + \hat{R}^2 \sum_{i=1}^n A_i^2 - 2\hat{R} \sum_{i=1}^n A_i V_i}{n-1}$$

$$\mu_x = \frac{A_T}{N} = \text{kaistojen keskimääräinen koko}$$

$n$  = mitattujen kaistojen määrä

$N$  = alueelle mahtuvien kaistojen määrä

Tässä estimaatissa otettiin huomioon myös populaation äärellisyyskorjaus  $(N-n)/N$ , toisin kuin koeloihin perustuvassa kaavassa 6. Tämä johtuu siitä, että kaistainventoinnin tapauksessa  $N$  on huomattavasti pienempi kuin koalojen tapauksessa. (Koealainventoinnin tapauksessa voidaan myös olettaa, että koelakeskipisteitä voidaan sijoittaa alueelle ääretön määrä, jolloin äärellisyyskorjausta ei tarvita.) Suhteen keskivirheestä päästään edelleen kokonaistilavuuden keskivirheeseen kertomalla tulos alueen pinta-alalla  $A_T$ .

Myös tässä tapauksessa joudutaan tekemään oletus, että lahoppuut ovat jakautuneet alueelle satunnaisesti. Kaistainventoinnin suurimpana heikkoutena on sen työläys. Sekä kaista- että ympyräkoelainventointi mahdollistavat myös pystykuolleitten puitten inventoinnin, joten keskimäärin näillä menetelmillä

saatava lahoppuun tilavuuden tulisi olla korkeampi kuin samalle alueelle LIS-menetelmällä saatu.

### 2.3 Mittaukset ja laskenta

Mittaukset toteutettiin hieman toisistaan poikkeavilla menetelmillä eri alueilla. Mittausajankohta oli heinä–syyskuu 2002. Aluekohtaiset menetelmät esitely taulukossa 2.

Koska kullekin alueelle tuli vähintään kaksi erillistä estimaattia, alueen lopullinen lahoppuun tilavuus saatiin näiden estimaattien painotettuna keskiarvona. Koska eri menetelmissä oli erilaiset linjavälit, painotettiin estimaatteja käänteisesti suhteessa niiden varianssiin. Yhdistetylle estimaatille on mahdollista laskea myös luotettavuusarvio (esim. Scott 1984). Se kuitenkin vaatii eri menetelmien vapausasteet, ja koealainventoinnin koealamäärän ja LIS:n kaistamäärän rinnastaminen on vaikeaa. Ongelmia aiheitti myös se, että osassa estimaateista oli mukana myös pystypuu, osassa ei.

## 3 Tulokset

Erilaisista alueista ja erilaisista menetelmistä johdettujen mittausten määrä vaihteli eri alueilla (taulukko 3). Mitattuja puita linjakilometriä kohti tuli eniten LIS- ja kaistainventoinnissa, noin 23–28 kpl, poikkeuksena Karjakaivo-Pirttimäen eteläosan toi-

**Taulukko 3.** Mittausten määrä eri alueilla ja eri menetelmillä.

Alue	Menetelmä	Linja, km	Koealoja, kpl	Mittausaika, h	Puita, kpl
Karjakaivo-Pirttimäki pohjoisosassa	LIS	58,1	-	44 h	1492
	Ympyräkoeala	39,6	186	27 h 45 min	74
Karjakaivo-Pirttimäki eteläosa	LIS	33,8	-	27 h 10 min	935
	LIS	17,8	-	11 h 30 min	193
	Kaista	7,1	6	7 h 45 min	163
Luukkaa	LIS	49,8	-	65 h 43 min	1190
	Ympyräkoeala	33,7	225	53 h 10 min	680
Tytinmäki	LIS	9,4	-	17 h 30 min	214
	Ympyräkoeala	9,4	85	23 h 30 min	97

**Taulukko 4.** Kuolleen puun tilavuus/ha ja estimaatin absoluuttinen ja suhteellinen keskvirhe alueittain eri menetelmillä.

Alue	Menetelmä	Tilavuus, m <sup>3</sup> /ha	Keskvirhe, m <sup>3</sup> /ha	Keskvirhe, %	Luotettavuus, %	Luotettavuus/ linjan pituus
Karjakaivo-Pirttimäki pohjoisosassa	LIS	3,23	0,44	11,3	88,7	1,53
	Ympyräkoeala	2,54	0,83	33,1	66,9	1,69
Karjakaivo-Pirttimäki eteläosa	LIS	3,42	0,25	7,3	92,7	2,74
	LIS	1,43	0,26	18,2	81,8	4,60
	Kaista	3,78	0,76	20,0	80	11,27
Luukkaa	LIS	5,5	0,55	10,0	90	1,81
	Ympyräkoeala	10,4	1,18	11,4	88,6	2,63
Tytinmäki	LIS	4,65	1,21	26,0	74	7,87
	Ympyräkoeala	3,6	1,05	29,2	70,8	7,53

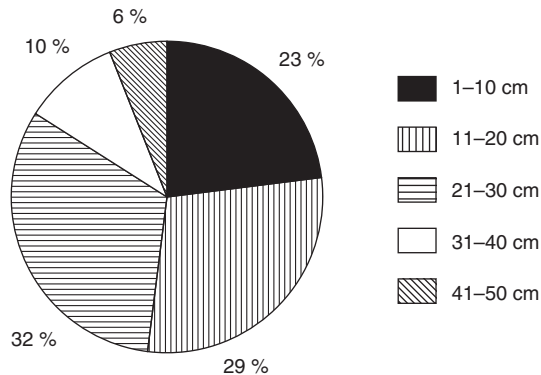
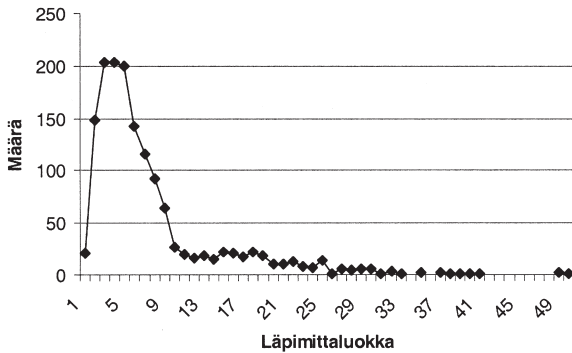
nen LIS-inventointi, jossa puita linjakilometriä kohti oli vain 11. Kaista oli tässä tutkimuksessa niin kapea, että mitattavaa ei kertynyt sen enempää kuin LIS-menetelmässäkään. Sen sijaan ympyräkoealoilla mitattuja puita oli linjakilometriä kohti huomattavasti vähemmän. Kun koealakoko oli kolme aaria, mitattuja puita tuli vain noin kaksi linjakilometriä kohti. Isommalla koealakoolla päästiin jo lähemmäksi muita menetelmiä, noin 10–20 puuhun.

Yhdessä minuutissa mitattiin LIS-menetelmässä keskimäärin 0,2–0,6 puuta, kun ympyräkoealamenetelmällä huonoimmillaan saatiin minuutissa 0,04 mittausta. Jos inventoinnin kustannukset arvioidaan kulutettuna aikana mitattua puuta kohti, yksikkökustannukset olivat suurimmat ympyräkoealainventoinnissa, moninkertaiset verrattuna muihin

menetelmiin. Suurin osa inventoinnin kustannuksista kuitenkin muodostunee linjan kävelystä, jonka suhteen erot menetelmien välillä olivat huomattavasti pienemmät. Tällöinkin ympyräkoealamenetelmän yksikkökustannukset muihin menetelmiin nähden olivat suurimmat lukuun ottamatta Karjakaivo-Pirttimäen pohjoisosaa, jossa koealat olivat pieniä ja pienten puiden mittaus hidasti LIS-menetelmän soveltamista.

Myös luotettavuuden suhteen LIS-menetelmän tulokset olivat keskimäärin hieman parempia kuin muilla menetelmillä, erityisesti verrattuna ympyräkoealaan ja pieniin koealoihin. Luotettavuus määriteltiin tässä tutkimuksessa kaavalla

$$R = 100 - s_e\% \quad (10)$$



**Kuva 1.** Lahopuiden lukumäärän ja tilavuuden jakautuminen läpimittaluokkiin Karjakaivo-Pirttimäen alueen pohjoisosan LIS-inventoinnissa.

Tulokset eivät kuitenkaan ole suoraan vertailukelpoiset, koska eri inventointien kustannuksia ei ollut vakioitu. Kun mittaukset suhteutetaan kustannuksiin, joiksi tässä tilanteessa voidaan määritellä mittausaika, kuljettu matka ja mitatut puut, tilanne on toinen. Vaikka luotettavuus LIS-menetelmässä oli paras, suhteutettuna mitatun linjan pituuteen kaistainventointi oli paras (taulukko 4). Samanlainen tilanne oli suhteessa mittausaikaan. Mitattua puuta kohti ympyräkoelamenetelmä pienillä koelajoilla oli luotettavuudeltaan paras. Jos taas mitataan tuottavuutta puukohtaisten yksikkökustannusten ja suhteellisen keskivirheen tulolla, ympyräkoelainventointi on suurten kustannustensa vuoksi tehottomin.

Nämä erot voivat kuitenkin osin selittyä ryhmien ja alueiden välisillä eroilla, esimerkiksi eroilla havaitussa keskitilavuudessa. Tytinmäessä linjat olivat molemmissa menetelmissä samat, ja tällöin LIS-me-

**Taulukko 5.** Kuolleen puun määrä jaoteltuna kuolleen pysty- ja maapuuhun alueittain.

Alue	Pystypuu m <sup>3</sup> /ha	Maapuu m <sup>3</sup> /ha
Karjakaivo-Pirttimäki pohjoisosassa	1,25	1,29
Karjakaivo-Pirttimäki eteläosassa	1,19	2,59
Luukkaa	4,9	5,5

netelmä oli luotettavin myös suhteessa linjan pituuteen ja aikaan (taulukko 4). Karjakaivo-Pirttimäki-alueen pohjoisosasta mitattiin myös pieniläpimittainen lahoppu. Sen osuus lahopuiden lukumäärästä on valtava, mutta tilavuudesta pieniläpimittainen, alle 10 cm puu muodosti tälläkin alueella vain 23 % (kuva 1). Pienten puiden mittaus heikensi merkittävästi LIS-menetelmän tehokkuutta sekä ajan että mitattujen puiden suhteen tällä alueella.

Taulukossa 4 on esitetty kullakin alueella alueen kuolleen puun tilavuus/ha ja sen keskivirhe sekä suhteellinen keskivirhe. Suhteellinen keskivirhe on saatu jakamalla keskivirhe alueen keskitilavuudella. Alueen keskimääräiset tulokset saatiin virheen käänteisluvulla painotettuna menetelmien keskiarvona. Nämä arvot olivat 3,07 m<sup>3</sup>/ha Karjakaivo-Pirttimäen pohjoisosalle, 2,53 m<sup>3</sup>/ha eteläosalle, 6,37 m<sup>3</sup>/ha Luukkaan alueelle sekä 4,05 m<sup>3</sup>/ha Tytinmäelle. Tosin on muistettava, että LIS-estimaateissa ei ole mukana pystykuolleita puita, joten ylläolevat keskiarvot ovat harhaisia kokonaistilavuuden estimaatteja. Pysty- ja maapuut pystyttiin erottelamaan vain kaista- ja ympyräkoelaininventoinneissa (taulukko 5). Tytinmäen alueella erottelua ei kuitenkaan tehty.

## 4 Tulosten tarkastelu

Harvinaisten ilmiöiden, kuten lahoppuun määrän, inventoinnissa epävarmuus on normaalia puustointointia suurempi. Nyt tehdyssä inventoinnissa lahoppuuston keskivirheet olivat 7 ja 33 prosentin välissä, missä pienimmät arvot ovat lähellä tyypillistä elävän puuston koelainventointia, ja suurimmat jopa heikompia kuin elävälle puustolle yksittäiselle kuviolle kuvioittaisella arvioinnilla saadut tulok-

**Taulukko 6.** Tilavuus/ha, varianssi ja hajonta kolmella eri pituuden määrittävällä Karjakaivo-Pirttimäen alueen eteläosassa.

Linjojen pituus	Tilavuus / ha	Varianssi	Hajonta
Kartan mukainen	3,4193895	0,066	0,257
Korjattu (kartta + 3 %)	3,3197957	0,063	0,250
Korjattu – järvet	3,4247631	0,061	0,247

set. Pienempien ositteiden, kuten kasvupaikkojen tilavuusosuudet taas saattavat vaihdella paljonkin, koska niille osuu vain muutamia havaintoja. Tässä työssä on kullekin alueelle tehty vähintään kaksi riippumatonta inventointia. Niiden tulokset ovat samaa suuruusluokkaa, lukuun ottamatta Luukkaan aarnialueen tuloksia, jossa kahden eri inventoinnin tulokset poikkesivat selvästi. Tämä ero kuitenkin selittyy täysin sillä, että LIS-inventoinnin tuloksista puuttuu pystykuollut puu: maapuun määrät arvioitiin molemmissa inventoinneissa samoiksi. Tämä antaa tukea sille, että tulokset ovat riittävän luotettavia.

LIS-menetelmä vaikutti yksinkertaisuutensa ja tehokkuutensa vuoksi soveltuvan hyvin käytännön inventointiin, mutta sen heikkoutena on kuolleitten pystypuitten arviointi. Kuolleet pystypuut pitäisikin inventoida samoilta linjoilta eri menetelmällä, esimerkiksi mittaamalla kaikki linjoilta havaitut kuolleet pystypuut ja etäisyys linjalta havaittuun puuhun (ns. line transect sampling, esim. Shiver ja Borders 1996). Suuret heitot luotettavuuksissa alueiden ja menetelmien välillä kuitenkin vaikeuttavat selvien johtopäätösten tekoa menetelmien keskinäisistä tehokkuuseroista.

Oletus lahopuiden riippumattomasta jakautumisesta alueelle ja kaatumissuuntien satunnaisuudesta ei välttämättä ole täysin realistinen. Kaatuneiden puiden jakaantuminen alueelle voi riippua esimerkiksi kasvupaikkojen ja ikäluokkien jakaumasta. Vallitsevat kovien tuulten suunnat voivat myös aiheuttaa sen, että kaatuneita maapuita on enemmän tässä suunnassa kuin muissa suunnissa. Tällöin linjoihin ja kaistoihin perustuvat otokset voivat olla herkemmät harhoille kuin koealainventoinnit.

Tehdyissä inventoinneissa on otantavirheen lisäksi muitakin virhemahdollisuuksia. Näitä ovat esimerkiksi mittausvirheisiin, puulajin tai lahoppuuluokan

määrittämisvirheisiin, linjojen paikannukseen ja linjojen pituuden määrittämiseen liittyvät virheet. Näitten virheitten vaikutuksia ei kuitenkaan voida analyttisesti huomioida tuloksissa. Linjojen pituuden vaikutuksesta tehtiin yhdellä alueella herkkyyssanalyysi, joka osoitti, että tulokset eivät olleet kovin herkkiä linjan pituuden pienille heitoille. Herkkyyssanalyysissä linjojen pituudet mitattiin kolmella tavalla. Ensimmäinen arvo on tarkka linjanpituus koordinaateista laskettuna. Toiseen on lisätty 3 %:n korjaus, jonka ryhmä arvioi kartan ja askelparimitauksien avulla todelliseksi kävelymatkaksi. Kolmas matka-arvo on korjattu matka vähennettynä järvien ja lampien pituuksilla linjoilla (taulukko 6).

Linjojen paikannusvirhe voi mahdollisesti aiheuttaa harhaa tuloksiin. Jos mittaajat siirtävät linjaa (alittajuisesti) sinne, missä maapuita on, tulee tuloksiin systemaattinen yliarvio ja päinvastoin. GPS-paikannus osoittautui tässä mielessä pettymykseksi: sen toiminta oli epävarmaa peitteisillä alueilla, tosin käytössä oli taskukokoisia Etrex-malleja eikä tarkempia reppumalleja. Suuripuustoisissa notkelmissa bussoli, kartta ja kompassi ovat vielä nykyisellään välttämättömyys.

Osoittain erot ajanmenekeissä voivat olla myös seurausta eroista ryhmien kokemuksessa maastossa liikkumisesta ja suunnistamisesta. Tätä ei voitu ottaa koejärjestelyssä huomioon, ryhmien kulkunopeutta ei voitu vakioida. Mittauksiin kuluva aikaa ei myöskään eritelty työlajeittain, jolloin olisi voitu selvittää pysty- ja maapuun mittaamiseen tai linjanvetoon ja puiden mittaamiseen kulunut aika erikseen.

Tutkimus on toteutettu opiskelijoiden harjoitustyönä, jolloin eri alueiden menetelmiä ja kustannuksia ei voitu vakioida (tehtävän opetuksellisen luonteen kärsimättä). Otokseen vaihtelun lisäksi pienin mitattu läpimittaluokka aiheuttaa tuloksiin ylimääräistä vaihtelua. Luotettavuusvertailu olisi myös ollut mielekkäämpi pelkästään maapuulle. Tutkimuksesta olisikin saanut enemmän irti, jos inventoinnit olisi toteutettu koesuunnittelun periaattein. Saadut tulokset antavat kuitenkin melko hyvän arvion eri menetelmien käyttökelpoisuudesta, tuottavuudesta ja luotettavuudesta käytännön mittauksissa.



## Kiitokset

Tekijät haluavat kiittää FT Juha Heikkistä ja anonyymiä tarkastajaa avusta kirjoituksen viimeistelyssä ja Helsingin kaupunkia rahallisesta avusta.

## Kirjallisuus

- Gove, J.H., Ducey, M.J. & Valentine, H.T. 2002. Multi-stage point relascope sampling and randomized branch sampling for downed coarse woody debris estimation. *Forest Ecology & Management* 155: 153–162.
- Kangas, A. & Päivinen, R. 2000. Metsän mittaus. 3. uudistettu painos. *Silva Carelica* 35. 205 s.
- Korhonen, K.T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 2001. Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueen metsävarat 1966–2000. *Metsätieteen aikakauskirja* 3B/2001: 495–576.
- Korhonen, P. 1998. VäliRaportti kuolleen puun mittausmenetelmästä. *Metsähallitus, Kehittämisyksikkö, Raportti* 5. 5 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Lee, P.C., Crites, S., Nietfeld, M., van Nguyen, H. & Stelfox, J.B. 1997. Characteristics and origins of deadwood material in aspen-dominated boreal forests. *Ecological Applications* 7: 691–701.
- Lämäs, T. & Ståhl, G. 1998. On the accuracy of line transect sampling of rare forest objects. *EFI proceedings* 18. s. 273–282.
- Pedlar, J.H., Pearce, J.L., Venier, L.A. & McKenney, D.W. 2002. Coarse woody debris in relation to disturbance and forest type in boreal Canada. *Forest Ecology & Management* 158: 189–194.
- Ringvall, A. 2000. Assessment of sparse populations in forest inventory. Development and evaluation of probability sampling methods. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae Silvestria* 151. s. 1–33.
- Scott, C.T. 1984. A new look at sampling with partial replacement. *Forest Science* 30: 157–166.
- Shiver, B.D. & Borders, B.E. 1996. Sampling techniques for forest resources inventory. 356 s.
- Siitonen, J. 1998. Lahopuun merkitys metsäluonnon monimuotoisuudelle – kirjallisuuskatsaus. *Julkaisussa: Annala, E. (toim.). Monimuotoinen metsä. Met-*
- säluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman väliRaportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 705. s. 131–161.
- 2002. Lahopuusto ja säästöpuut metsäsuunnittelussa. *Julkaisussa: Kangas, J., Kokko, A., Jokimäki, J. & Store, R. (toim.). Tutkimuksia ekologisen informaation liittämiseksi metsäsuunnitteluun. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 858. s. 25–32.
- Siitonen, P., Tanskanen, A. & Lehtinen, A. 2000. Metsien monimuotoisuuden arviointi. Osa 3. Pisteytys- ja optimointimenetelmät *MoniWin* ja *MoniOpti*. *Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja* 31. 98 s. + liitteet.
- Ståhl, G. 1998. Transect relascope sampling – a method for the quantification of coarse woody debris. *Forest Science* 44(1): 58–63.
- & Lämäs, T. 1995. A simulator for sampling of rare forest objects. *EFI Proceedings* 4. s. 185–196.
- Tonteri, T. & Siitonen, J. 2001. Lahopuu talousmetsissä 9. valtakunnan metsien tulosten mukaan – vertailu luonnonmetsiin. *Julkaisussa: Siitonen, J. (toim.). Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 812. s. 57–72.

### 17 viitettä