



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1992

786

Antti Ihalainen, Kari T. Korhonen & Jari Varjo

PUIDEN KÄYTTÖOSAN MITTAUKSIIN PERUSTUVA METSURIMITTAUS

Estimation of harvested timber volume using treewise measurements made during felling

FOLIA FORESTALIA

Julkaisija — *Publisher*

Metsäntutkimuslaitos
The Finnish Forest Research Institute

Toimitus — *Editors*

Päätoimittaja — <i>Editor in chief:</i>	Erkki Annila
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Seppo Oja
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Tommi Salonen

Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland
tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308

Toimituskunta — *Editorial Board*

Erkki Annila (pj. — *chairman*), Pentti Hakkila, Seppo Kaunisto, Jari Kuuluvainen,
Juha Lappi, Eino Mälkönen

Tavoitteet ja tarkoitus — *Aim and Scope*

Sarjassa julkaistaan tutkimuksia, tilastoja ja kirjallisuuskatsauksia, joilla on ensisijaisesti kotimaista merkitystä. Julkaisukielenä on kotimainen kieli, mutta julkaisut sisältävät englanninkielisen selosteen tärkeimmistä tutkimustuloksista.

Folia Forestalia publishes research reports, statistics and literature reviews relevant to Finnish forestry.

Tilaukset — *Subscriptions*

Tilaukset ja tiedustelut pyydetään osoittamaan Metsäntutkimuslaitoksen kirjastolle.
Subscriptions and orders for back issues should be addressed to the Library of the Institute.

Antti Ihalainen, Kari T. Korhonen & Jari Varjo

PUIDEN KÄYTTÖOSAN MITTAUKSIIN PERUSTUVA
METSURIMITTAUS

Estimation of harvested timber volume using tree-wise measurements
made during felling

Approved on 30.1.1992

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
11. Nykyinen metsurimittaus	3
12. Tutkimuksen tavoite	3
2. AINEISTOT	4
3. LASKENTAMENETELMÄN KUVAUS	4
31. Menetelmän perustelut	4
32. Latvahukkaosan pituusmallit	4
33. Mitattavat puutunnukset	5
331. Puiden luku	5
332. Koepuiden otanta ja mittaus	5
34. Läpimittaluokittaisten yksikkötilavuuksien laskenta	5
341. Käyttöosan tilavuuden laskenta	5
342. Tukkiosan tilavuuden laskenta	6
35. Leimikon puutavaralajeittaisten tilavuuksien laskenta	6
4. MENETELMÄN LUOTETTAVUUS	7
41. Koepuiden tilavuusestimaattien luotettavuus	7
42. Tukkiosan tilavuusestimaattien luotettavuus	7
5. MENETELMÄN JATKOKEHITTELY	9
KIRJALLISUUS – REFERENCES	10
SUMMARY	10
LIITTEET – APPENDICES	12

Ihalainen, A., Korhonen, K. T. & Varjo, J. 1992. Puiden käyttöosan mittauksiin perustuva metsurimittaus. Summary: Estimation of harvested timber volume using treewise measurements made during felling. *Folia Forestalia* 786. 18 p.

Tutkimuksessa esitetään metsurin tekemisiin mittauksiin perustuva poistettavan puuston tilavuuden laskentamenetelmä. Menetelmän tehokas hyödyntäminen edellyttää sähköisen mittaus- ja tiedonkeruulaitteen, jolla voidaan mitata läpimitta 1 cm:n tarkkuudella ja jonka muistiin voidaan tallettaa läpimittaluokittaisia kappalemääriä ja koepuista mitattuja tunnuksia. Kehitetystä menetelmästä kaikista kaadettavista puista mitataan läpimitta. Leimikon kultakin koepuualueelta mitataan noin 50 koe-puusta kuitupuun minimiläpimitan korkeus, eli käyttöosan pituus. Kaikista tukkipuista mitataan tukkiosan pituus. Puuston tilavuuden laskentaa varten läpimittaluokittaiset käyttöosan pituudet muutetaan kokonaispituuk-siksi tutkimuksessa laaditun latvahukkaosan pituusmal-lin avulla. Käyttö- ja tukkiosan tilavuudet lasketaan Laa-sasenahon runkokäyrämallilla. Menetelmä on tarkoitettu käytettäväksi ensiharvennusleimikoissa, joissa pääosa hakkuukertymästä on kuitupuuta.

A method for estimating the volume of harvested timber is presented. The method is based on an electronic cali-per and a data logger. During felling the breast height diameter of every felled tree is measured. The length of merchantable timber is also measured on about 50 trees per cutting area. Näslund's function is fitted to estimate the length of merchantable timber on the basis of diame-ter. The total height of the trees is estimated using mod-els developed for estimating the length of the nonmer-chantable top. The volume of saw timber and of mer-chantable timber are calculated using taper curve func-tions.

Keywords: timber measurement, length of merchantable timber and top waste piece, measurement equipment.
FDC 524

Authors' addresses: *Ihalainen*: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Resources, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland; *Korhonen*: The Finnish Forest Research Institute, Joensuu Research Station, PL 68, SF-80101 Joensuu, Finland; *Varjo*: University of Joensuu, Faculty of Forestry, PL 111, SF-80101 Joensuu, Finland.

ISBN 951-40-1195-3
ISSN 0015-5543

Tampere 1992. Tammer-Paino Oy

1. Johdanto

11. Nykyinen metsurimittaus

Metsurimittaus on leimikon puutavaran mittausten menetelmä, joka perustuu koepuiden mittaukseen ennen hakkuuta ja poistettavien puiden läpimitan mittaukseen hakkuun yhteydessä. Menetelmään kuuluu, että työnjohto suunnittelee leimikon ja mittaa koepuut. Metsuri mittaa poistettavien puiden läpimitat käyttäen tasavaa 3 cm:n luokitusta, eli ns. R-luokkia. Koepuiden läpimitta mitataan 1 cm:n ja pituus 1 m:n tarkkuudella. Metsurimittaus on tarkoitettu käytettäväksi leimikoissa, joissa runkojen keskitilavuus on alle 0,086 m³. Leimikon tilavuus lasketaan koepuiden avulla määrättyjen läpimittaluokittaisten yksikkötilavuuksien ja vastaavien runkolokujen perusteella (Palojärvi 1988, Metsurimittausohje 1989).

12. Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää metsurimittausmenetelmää siten, että mittauksia siirretään työnjohdolta metsurille. Samalla otetaan huomioon uusien mittalaitteiden entistä paremmat ominaisuudet. Elektronisten mittasaksien kehittyminen ja muistikapasiteetin laajeneminen mahdollistavat koepuutietojen tallentamisen hakkuun yhteydessä. Uusi mittalaite mahdollistaa myös aikaisempaa tarkemman luokituksen sekä koe- että lukupuiden mittauksessa. Näiden mahdollisuuksien hyödyntämiseksi tarvitaan uusi mittausmenetelmä, jossa hakkuumies voi mitata tarvittavat koepuutunnukset hakkuutyön yhteydessä.

Keskeiset tavoitteet uutta metsurimittausmenetelmää kehitettäessä ovat seuraavat.

1. Mittaustarkkuuden parantaminen.
2. Mittauskustannusten alentaminen.
3. Rungon käyttöosan pituuteen perustuvan käyttöosan tilavuuden laskentamenetelmän kehittäminen.
4. Tukkien tilavuuden mittaaminen metsurimittauksessa.

Menetelmää kehitettäessä on otettava huomioon, että leimikon puuston tilavuus on tarvittaessa voitava laskea myös käsin, vaikka pääasiassa laskenta tehdään mikrotietokoneella. Käsinlaskennan mahdollistamiseksi kaikki laskennassa tarvittavat yhtälöt esitetään taulukoina.

Tutkimus perustui Metsäteollisuuden Työnantajaliittoa edustavan Pystymittauksen hoitokunnan ja Metsäntutkimuslaitoksen väliseen tutkimussopimukseen, joka allekirjoitettiin 13.12.1990. Jotta tutkimuksen tulokset olisivat olleet mahdollisimman joustavasti sovellettavissa käytännön puutavaranmittauksessa, perustettiin tutkimusta tukemaan ”valvontaryhmä”, johon kuuluivat Juhani Pöllänen Metsäteollisuuden Työnantajaliitosta, Jouko Hast, Seppo Korteniemi ja Juho Yli-Hukkala Veitsiluoto Oy:stä, Jaakko Niskanen Metsähallituksesta, Kari-Pekka Uurtamo Masser Oy:stä, Jari Marjomaa Metsätehosta, Lauri Ainasto Maaseututyöväen Liitosta ja Pekka Airaksinen Maataloustuottajain Keskusliitosta. Raportin viimeistelyä lukuunottamatta tutkimus valmistui keväällä 1991 niin, että Metsäntutkimuslaitos 5.4.1991 Mittausneuvostolle antamassaan lausunnossa esitti tutkimuksessa kehitetyn menetelmän ottamista koe-käyttöön metsurimittauksessa.

Käsikirjoituksen ovat tarkastaneet apul.professori Jouko Laasasenaho ja professori Olli Uusvaara. Heidän lisäksi käsikirjoitukseen tutustui ja sitä kommentoi VTT Juha Lappi. Tutkimusraportin englanninkieliset tekstit tarkasti John Derome ja kuvat piirsi Ulla Suhonen. Tekstinkäsittelyä tekivät kirjoittajien lisäksi Anja Leskinen ja Kaarina Linna. Kiitämme kaikkia edellä mainittuja. Kiitämme myös Metsäteollisuuden Työnantajaliittoa tutkimuksen rahoitukseen osallistumisesta.

Jari Varjo teki tutkimukseen liittyneen laskentatyön sekä tutkimuksen käsikirjoituksen alustavan version. Antti Ihalainen ja Kari T. Korhonen vastasivat tutkimuksen suunnittelusta ja käsikirjoituksen viimeistelystä.

2. Aineistot

Menetelmän kehittämisessä tarvittavien mallien laadinta-aineistona oli Metsäntutkimuslaitoksen keräämä koko maan kattava koepuuaineisto (Laasasenaho 1982). Tutkimuksessa käytettiin puita, joiden rinnankorkeusläpimitta oli 4–25 cm. Tällaisia puita oli aineistossa kaikkiaan 3502 kappaletta. Mäntyjä oli 1501, kuusia 1340 ja koivuja 661.

Jokaiselle puulle laskettiin käyttöosan tilavuus. Latvaläpimittana käytettiin 6 cm kuoren alta mitattuna. Kuorellinen latvaläpimitta oli tällöin männyllä 6,3, kuusella 6,5 ja koivulla 6,4 cm. Kannonkorkeutena käytet-

tiin ylimmän juurenniskan korkeutta siten, että kannonkorkeuden oletettiin olevan kuitenkin vähintään 10 cm. Käyttöosan tilavuudet laskettiin spline-funktiolla 15 korkeudelta mitatun läpimitan avulla (Lahtinen & Laasasenaho 1979).

Tutkimuksessa kehitettyjä menetelmiä testattiin Marjomaan (1990) työaikatutkimusta varten keräämässä kahden leimikon aineistossa, jossa oli 681 mäntyä, 232 kuusta ja 408 koivua. Puista oli koepuina mitattu 218 mäntyä, 78 kuusta ja 147 koivua.

3. Laskentamenetelmän kuvaus

31. Menetelmän perustelut

Menetelmän kehittämisessä asettivat rajoitteita seuraavat seikat.

1. Menetelmää käytetään leimikoissa, joissa suurin rinnankorkeusläpimitta on mittalaitteen vuoksi 24,5 cm.
2. Uudella mittalaitteella metsuri voi hakkuun yhteydessä tallettaa 1 cm:n läpimittaluokissa summalukuja, kuten kappalemääriä ja käyttö- tai tukkiosan pituuksia. Lisäksi korkeintaan 80 koepuusta voidaan tallentaa rinnankorkeusläpimitta ja pituus. Laitteen muistikapasiteetti ei riitä koepuiden täydellisten ap-teeraustietojen tallentamiseen.
3. Koepuumittaukset on voitava tarkistaa hakkuun jälkeen.
4. Koska metsuri tekee tarvittavat mittaukset hakkuun yhteydessä, mittausten täytyy olla yksinkertaisia ja nopeasti suoritettavia.

Koepuiden pituustunnuksena ei voitu käyttää puun koko pituutta, koska tällöin tarkistusmittauksessa olisi jouduttu etsimään katkaistu latva ja lisäämään sen pituus tarkistettavan rungon käyttöosan pituuteen. Tästä syystä koepuiden pituustunnukseksi valittiin käyttöosan pituus.

Käyttöosan pituuden hyödyntäminen koepuiden pituustunnuksena edellyttää uutta laskentamenetelmää, jossa tilavuus määritetään rinnankorkeusläpimitan ja käyttöosan pituuden avulla. Käyttöosan tilavuus on laskettavissa

Laasasenahon (1982) runkokäyrämalleilla, mikäli puun pituus tunnetaan. Pituuden laskemiseksi laadittiin mallit, joilla latvahukkaosan pituus estimoidaan käyttäen selittäjinä puun rinnankorkeusläpimittaa ja käyttöosan pituutta. Lisäämällä mallilla saatu hukkaosan pituuden estimaatti mitattuun käyttöosan pituuteen saadaan puun kokonaispituus.

Kun puun pituus tunnetaan, Laasasenahon (1982) runkokäyrämalleilla voidaan laskea sekä käyttöosan että tukkiosan tilavuus.

32. Latvahukkaosan pituusmallit

Latvahukkaosan pituusmallit on laadittu puulajeittain Laasasenahon (1982) aineiston rinnankorkeusläpimitaltaan yli 4 cm:stä puista. Malleiksi estimoituihin seuraavat yhtälöt:

Mänty:

$$\hat{h}_1 = 1,751121 - 0,056869 * d_{1,3} + 14,653194 / d_{1,3} + 0,104522 * h_k \quad (1)$$

Kuusi:

$$\hat{h}_1 = 50,539699 + 0,789796 * d_{1,3} - 19,208957 * \ln(d_{1,3}) - 102,356525 / d_{1,3} - 0,004687 * d_{1,3}^2 + 0,353291 * h_k - 0,724371 * \ln(h_k) - 0,012121 / h_k - 0,008771 * h_k^2 \quad (2)$$

Koivu:

$$\hat{h}_1 = 33,435503 + 0,315919 * d_{1,3} - 47,283346 / d_{1,3} - 11,868107 * \ln(d_{1,3}) + 0,167598 * h_k \quad (3)$$

missä:

\hat{h}_1 = latvahukkaosan pituus (m),

$d_{1,3}$ = rinnankorkeusläpimitta (cm) ja

h_k = käyttöosan pituus kannolta 6 cm:n läpimittarajaan (m).

Puun koko pituus \hat{h} saadaan lisäämällä mallilla ennustettu käyttöosan yläpuolisen latvuksen pituus käyttöosan pituuteen:

$$\hat{h} = h_k + \hat{h}_1 \quad (4)$$

33. Mitattavat puutunnukset

331. Puiden luku

Kaikista poistettavista puista mitataan puulaji ja rinnankorkeusläpimitta sekä tukkirungoista lisäksi tukkiosan pituus. Läpimitat tallentuvat mittalaitteelle 1 cm:n tasaavalla luokituksella. Pituudet tallennetaan 0,5 m:n tasaavalla luokituksella.

Kukin kuitupuuna korjattava puu voidaan tallettaa mittalaitteelle vain yhtenä puutavaralajina. Mikäli kuitupuun tyvellä on lahoa tai muu vastaava vika, voidaan rungon tyveltä tehdä hylkyleikko. Tällöin rungon alkuperäinen rinnankorkeusläpimitan mittaus hylätään ja rungosta mitataan uusi rinnankorkeusläpimitta 1,3 m:n korkeudelta leikon päättymiskohdasta.

Tukkipuista voidaan poistaa lyhyitä vikaisuksia tyveltä tekemällä hylkyleikko samoin kuin kuitupuilla. Jos tukkirungon tyvellä on vika, joka voidaan poistaa tekemällä kuituleikko niin, että jäljelle jäävästä rungonosasta voidaan tehdä tukki, menetellään seuraavasti. Kuituleikon pituus tallennetaan mittalaitteelle ja sen jälkeen tukkiosan pituutena tallentuu tukkiosan pituus lisättyinä kuituleikon pituudella. Kuituleikkojen pituuksien summa ja kappalemäärä tallennetaan läpimittaluokittain leikkojen tilavuuden laskentaa varten.

332. Koepuiden otanta ja mittaus

Nykyisessä metsurimittauksessa mitataan koepuita sekä 3 cm:n R-luokkien sisäisen läpimittajakauman että leimikon pituuskäyrän estimoimiseksi. Läpimittajakauman estimoimiseksi

suositellaan mitattavaksi 100 koepuuta ja pituuskäyrän estimoimiseksi 50 koepuuta koepuualuetta kohden (Palojärvi 1988). Koepuualueen muodostavat pystymittauksen tapaan runkomuodoltaan likimain samankaltaiset leimikon osat. Käytännössä metsurimittausleimikoissa on yleensä vain yksi koepuualue.

Kun hakkuun yhteydessä talletetaan kaikkien poistettavien puiden lukumäärät 1 cm:n läpimittaluokittain, koepuita tarvitaan ainoastaan pituuskäyrän estimoimiseen. Koepuut, joita pyritään saamaan 50 kappaletta jokaiselta koepuualueelta, poimitaan määrävähliotannalla painotetaan läpimittaluokkia suhteessa niiden tilavuuteen. Koepuualueelta arvioidaan poistettavien runkojen määrä (yksikkönä 1000 runkoa/koepuualue), jonka perusteella määräytyy kunkin läpimittaluokan poimintatiheys. Mittalaitteen sisältämä koepuiden poiminta-algoritmi ilmoittaa kunkin hakattavan rungon rinnankorkeusläpimitan mittauksen jälkeen, onko kyseessä koepuu. Koepuiden tasainen jakautuminen läpimittaluokkiin varmistetaan siten, että kun luokkaan on osunut 3 koepuuta, luokan otantatiheyttä harvennetaan. Tämän jälkeen otantatiheyttä harvennetaan aina, kun luokkaan osuu uusi koepuu.

Kaikista koepuuksi osuvista rungoista mitataan rinnankorkeusläpimitan lisäksi käyttöosan pituus käyttäen 0,5 m:n tasaavaa luokitusta. Käyttöosan katsotaan kaikilla puulajeilla päättyvän kohtaan, jossa läpimitta kuoren alta on 6 cm. Mikäli esimerkiksi määrämittakatkonnan vuoksi käyttöosa päättyy ennen 6 cm:n läpimittaa, käyttöosan pituutena on kuitenkin ilmoitettava pituus kannolta 6 cm:n läpimittaan saakka.

Ns. lisäraaka-aineeksi hakattavista alle 8 cm:n läpimittaisista rungoista mitataan käyttöosan pituuden sijasta rungon koko pituus ja vastaavasti tilavuudeksi lasketaan käyttöosan tilavuuden sijasta rungon koko tilavuus. Läpimittaan ja pituuteen perustuvat tilavuudet on esitetty esim. Laasasenahon & Snellmanin (1983) taulukoissa.

34. Läpimittaluokittaisten yksikkötilavuuksien laskenta

341. Käyttöosan tilavuuden laskenta

Koepuista mitattujen rinnankorkeusläpimittojen ja käyttöosan pituuksien avulla estimoidaan käyttöosan pituuskäyrä ns. Näslundin yhtälöllä. Yhtälön avulla kullekin leimikossa esiintyvälle läpimittaluokalle voidaan estimoida käyttöosan

pituus. Laskettaessa läpimittaluokittaisia käyttöosan tilavuuksia lisätään käyttöosan pituusestimaattiin puulajista riippuen yhtälöllä (1), (2) tai (3) saatu latvahukkaosan pituusestimaatti. Näin saadun pituuden avulla estimoidaan Laasasenahon (1982) malleilla puun runkokäyrä. Runkokäyrän avulla lasketaan käyttöosan tilavuus kullekin läpimittaluokalle.

Käsinlaskentaa varten käyttöosan tilavuudet on taulukoitu läpimitan ja käyttöosan pituuden suhteen puulajeittain (liite 1). Samoin latvahukkaosan pituudet on taulukoitu puulajeittain rinnankorkeusläpimitan ja käyttöosan pituuden funktiona (liite 2).

342. Tukkiosan tilavuuden laskenta

Mittalaitteen asettamien rajoitusten vuoksi kussakin läpimittaluokassa voidaan tallentaa vain tukkiosan pituuksien summa ja tukkirunkojen lukumäärä. Kunkin luokan tukkiosan keskimääräinen pituus lasketaan luokan tukkiosan pituuksien keskiarvona. Kun kunkin läpimittaluokan pituus on estimoitu edellisessä kappaleessa kuvatulla tavalla, tukkiosan tilavuus lasketaan Laasasenahon (1982) runkokäyrillä kannolta keskimääräisen tukkiosan päättymispisteeseen.

Käsinlaskentaa varten tukkiosan tilavuudet on taulukoitu läpimittaluokittain tukkiosan pituuden ja rungon pituuden suhteen (liite 3). Tukkiosan pituuden ollessa vakio rungon pituus vaikuttaa vain vähän tukkiosan tilavuuteen. Tämän vuoksi kullekin läpimittaluokalle on käytetty vain kolmea eri pituutta. Tukkiosan pituudet on taulukoitu 0,5 m:n välein.

Taulukoita käytettäessä on ensin valittava, mikä pituusluokka soveltuu parhaiten kussakin tapauksessa. Valinta tehdään vertaamalla leimikon koepuualueen läpimittaluokittaisia pituusestimaatteja liitteen 3 taulukoissa esittyihin pituusluokkiin. Taulukoiden pituusluokat on valittu siten, että keskimmissä luokassa runkojen pituutena on käytetty Laasasenahon (1982) aineiston läpimittaluokittaisia keskimääräisiä pituuksia. Kaksi muuta pituusluokkaa ovat 3 m keskimääräistä pituutta lyhemmille ja 3 m keskimääräistä pidemmille puille. Käytettävät kolme pituusluokkaa vastaavat metsä- ja uittoalan työehtosopimuksessa (1990) kuvattuja pituusluokkia siten, että männyllä ja kuusella alin pituusluokka = P1, keskimäinen = P2 ja ylin = P3. Koivulla alin pituusluokka vastaa luokkaa P2 ja kaksi ylintä sijoittuvat luokkaan P3.

35. Leimikon puutavaralajeittaisten tilavuuksien laskenta

Kunkin läpimittaluokan puiden käyttöosan kokonaistilavuus saadaan kertomalla läpimittaluokalle laskettu käyttöosan yksikkötilavuus luokkaan kuuluvien lukupuiden määrällä. Leimikon kokonaistilavuus saadaan laskemalla yhteen luokittaiset kokonaistilavuudet.

Kunkin läpimittaluokan puiden tukkiosan kokonaistilavuus saadaan kertomalla läpimittaluokan keskimääräinen tukkiuosuuden tilavuus läpimittaluokkaan kuuluvien tukkirunkojen määrällä. Leimikon kokonaistukkitilavuus saadaan laskemalla yhteen läpimittaluokittaiset tukkiuosien tilavuudet ja vähentämällä tästä kuituleikkojen tilavuus. Tukki- ja kuituleikkosissa ja tilavuuksissa ovat mukana tukkiuosissa olevat kuituleikot. Tämän vuoksi kuituleikkojen tilavuus on vähennettävä lasketusta tukkitilavuudesta yhtälön (5) mukaisesti.

Kuituleikkojen läpimittaluokittainen yhteispituus ja kappalemäärä tallentuvat mittalaitteelle. Niiden perusteella lasketaan läpimittaluokittain kuituleikkojen keskipituus. Luokan rinnankorkeusläpimitan, pituusestimaatin ja leikkojen keskipituuden avulla kuituleikoille lasketaan tilavuus runkokäyrillä samoin kuin tukeille.

Käsinlaskennassa kunkin luokan leikkojen keskimääräinen tilavuus saadaan Laasasenahon (1982) runkokäyrien avulla laaditusta taulukosta (liite 4). Kunkin läpimittaluokan leikkojen kokonaistilavuus saadaan kertomalla luokan keskimääräisen leikon tilavuus leikkojen lukumäärällä. Vastaavasti puulajeittainen kuituleikkojen tilavuus saadaan laskemalla kaikkien läpimittaluokkien leikkojen tilavuudet yhteen.

Kokonaistilavuus jaetaan puutavaralajeihin puulajeittain seuraavasti:

$$\hat{V}_{\text{tukki}} = V_{\text{tukki}} + V_{\text{kuituleikko}} - V_{\text{kuituleikko}} \quad \text{ja} \quad (5)$$

$$\hat{V}_{\text{kuitu}} = V_{\text{kok}} - \hat{V}_{\text{tukki}} \quad (6)$$

missä

- \hat{V}_{tukki} = leimikon tukki-tilavuus,
- \hat{V}_{kuitu} = leimikon kuitupuuosan tilavuus,
- V_{kok} = puittaisen käyttöosan tilavuuksien summa,
- $V_{\text{kuituleikko}}$ = kuituleikkojen tilavuuksien summa leimikossa ja
- $V_{\text{tukki}} + V_{\text{kuituleikko}}$ = tukki- ja kuituleikkojen tilavuuksien summa.

4. Menetelmän luotettavuus

41. Koepuiden tilavuusestimaattien luotettavuus

Koepuiden tilavuuksien laskennassa virhettä voivat aiheuttaa mittausvirheet läpimitan ja pituuden mittaamisessa sekä käyttöosan päättymiskohdan määrittämisessä, käyttöosan pituus-käyrän estimointi, runkokäyrämallin ja pituusmallin virheet sekä käytetyistä luokituksista aiheutuvat pyöristysvirheet.

Mittausvirheet ja käyttöosan päättymiskohdan määrittämisvirheet eivät Marjomaan (1990) tutkimuksen mukaan ole kovin suuria. Kaikilla puulajeilla rinnankorkeusläpimitoista mitattiin 92,7 % oikein eikä 1 cm suurempaa virhettä esiintynyt. Menetelmää sovellettaessa tulee kuitenkin kiinnittää huomiota läpimitan mittaukseen ja erityisesti rinnankorkeuden määrittämiseen, koska systemaattinen mittausvirhe aiheuttaa merkittävää harhaa tuloksiin.

Käyttöosan pituus oli Marjomaan (1990) tutkimuksessa mitattu oikein 77,6 %:ssa tapauksista ja virhe oli suurempi kuin 0,5 m vain 2,0 %:ssa tapauksista.

Pituuskäyrän estimoinnissa tapahtuvat virheet voivat olla suuria etenkin, jos pituuskäyrä tehdään silmävaraisesti tasoittaen. Latvahukkaosan pituusmallin keskivirheet ovat taulukossa 1. Suhteellinen keskivirhe on laskettu suhteessa ennustetun latvahukkaosan pituuteen.

Tässä tutkimuksessa esitetyn menetelmän luotettavuutta tilavuuden määrittämisessä tarkasteltiin Laasasenahon (1982) aineistossa. Tarkastelussa aineiston puista oletettiin mitatuksi rinnankorkeusläpimita ja käyttöosan pituus. Puille estimoititiin kokonaispituus latvahukkaosan pituusmallin avulla. Käyttöosan tilavuus estimoititiin saadun pituusestimaatin ja Laasasenahon (1982) runkokäyrämallin avulla. Laskettuja tuloksia verrattiin puiden todellisiin tilavuuksiin (todellinen – estimaatti). Tällöin estimaattien virheessä olivat mukana runkokäyrämallista, latvahukkaosan pituusmallista ja käyttöosan pituuden pyöristämisestä 0,5 m:n luokkaan aiheutuvat virheet. Vertailussa olivat mukana puut, joiden rinnankorkeusläpimita oli 4,0–25,0 cm. Tulokset ovat taulukossa 2. Lisäksi kuvissa 1a, 1b ja 1c on esitetty läpimitaluokittain todellisten ja estimoitujen tilavuuksien erotusten keskiarvot ja keskihajonnat.

Taulukko 1. Latvahukkaosan pituusmallin keskivirhe.
Table 1. RMSE of the estimates of the length of nonmerchantable top.

	cm	RMSE %
Mänty – Pine	60	22,3
Kuusi – Spruce	59	18,1
Koivu – Birch	87	18,2

Taulukko 2. Laaditun menetelmän luotettavuus käyttöosan tilavuuden estimoinnissa.

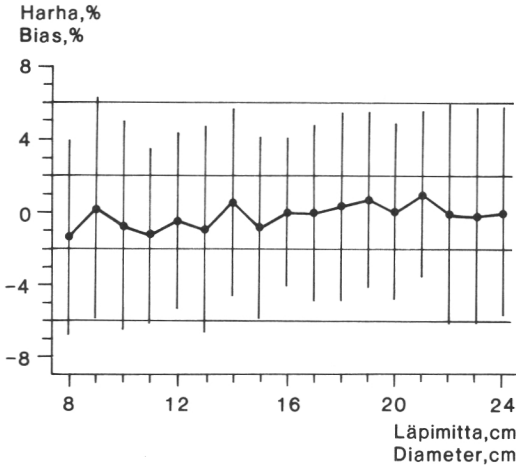
Table 2. Reliability of the method in the estimation of the volume of merchantable timber.

	Havainnot Observations	Harha Bias		Virhehajonta Standard deviation of residuals	
		dm ³	%	dm ³	%
Mänty – Pine	1 501	0,2	0,12	11,0	6,7
Kuusi – Spruce	1 340	0,8	0,53	9,4	6,0
Koivu – Birch	661	1,5	0,90	13,8	8,1

Virheitä tarkasteltiin myös laskemalla tilavuudet Marjomaan (1990) tutkimuksessa mitatuille koepuille. Tällöin tutkittiin pituuden pyöristämisestä 0,5 m:n tarkkuuteen sekä latvan pituusmallista aiheutuvaa virhettä. Runkokäyrämallin virhettä ei voitu ottaa huomioon, koska puiden todellisia tilavuuksia ei tunnettu. Käyttöosan pituuden pyöristäminen ja latvahukkaosan pituusfunktio aiheuttivat männyillä tilavuuteen keskimäärin 0,1 %:n suuruisen yliarvion. Kuusella yliarvio oli keskimäärin 2,2 % ja koivulla 1,7 %. Päätelmiä tehtäessä on otettava huomioon, että aineisto koostui vain kahdesta leimikosta.

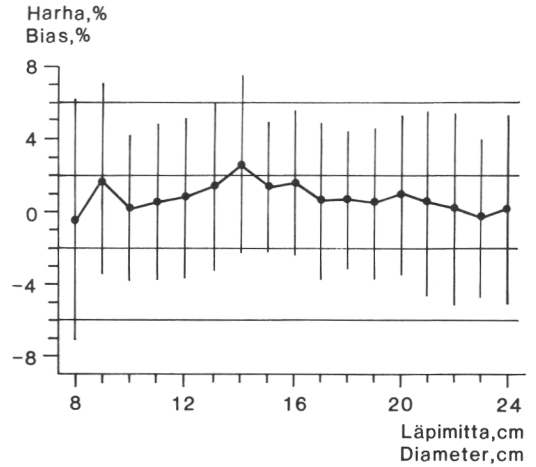
42. Tukkiosan tilavuusestimaattien luotettavuus

Virhettä tukkiosan tilavuuden määrittämisessä saattavat aiheuttaa mittausvirheet, tukkiosan pituuden mittaus 0,5 m:n luokkiin sekä runkokäyrämallien ja latvahukkaosan pituusmallien



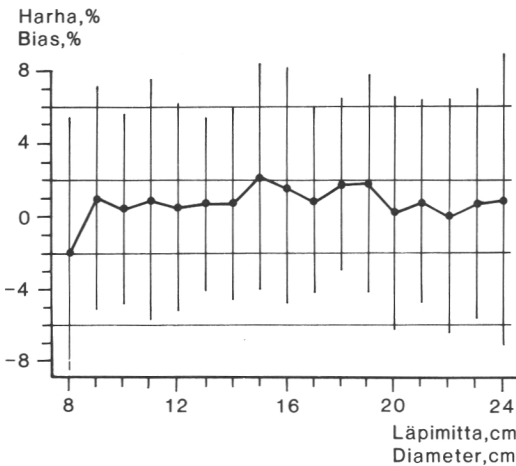
Kuva 1a. Tilavuusestimaattien keskimääräiset poikkeamat (•) ja poikkeamien keskihajonnat (|) läpimittaluokittain. Mänty.

Fig 1a. Means (•) and standard deviations (|) of errors of volume estimates in different diameter classes. Pine.



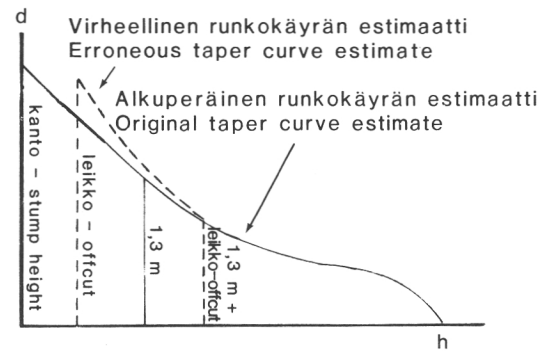
Kuva 1b. Tilavuusestimaattien keskimääräiset poikkeamat (•) ja poikkeamien keskihajonnat (|) läpimittaluokittain. Kuusi.

Fig 1b. Means (•) and standard deviations (|) of errors of volume estimates in different diameter classes. Spruce.



Kuva 1c. Tilavuusestimaattien keskimääräiset poikkeamat (•) ja poikkeamien keskihajonnat (|) läpimittaluokittain. Koivu.

Fig 1c. Means (•) and standard deviations (|) of errors of volume estimates in different diameter classes. Birch.



Kuva 2. Esimerkki hylkyleikon runkokäyräestimaattiin aiheuttamasta virheestä.

Fig. 2. An example of error in the taper curve estimate caused by offcut.

virheet. Lisäksi läpimittaluokan keskimääräisen tukkiosan pituuden käyttö aiheuttaa lievän yliarvion tilavuuteen.

Puun pituuden vaikutus tukkiosan tilavuuteen on melko vähäinen, kun tukkiosan pituus pidetään vakiona. Tämä käy ilmi tukkiosan tilavuustaulukoista (liite 2). Tukkiosan pituuden

pyöristämisestä sekä pituusmallista aiheutuva virhe tutkittiin Marjoman (1990) aineistossa. Männyn kokonaistukkitilavuudelle saatiin 1,1 %:n yliarvio, joka merkitsi keskimäärin 1,3 dm³:n runkokohtaista yliarviota. Aineisto käsitti vain 15 tukkia.

Hylkyleikkoja tehtäessä rinnankorkeuslöpimitan mittauskohdasta siirretään kannosta leikon pituuden verran ylöspäin. Vastaavasti rungon pituutena mitataan leikon yläpuolinen osa.

Rinnankorkeuslöpimitan mittauskohdan siirtämisestä aiheutuva virhe tutkittiin Laasa-

senahon (1982) aineistossa puilla, joiden läpimitta oli korkeintaan 25 cm. Jokaisesta puusta oletettiin tehtäväksi 0,5 metrin pituinen hylkyleikko tyveltä. Hylkyleikon yläpuolisen käyttöosan tilavuus laskettiin sekä alkuperäisten mitatietojen perusteella että käyttäen mittausten lähtöpisteinä leikon päättymiskohtaa (ks. kuva 2). Tulosten mukaan 0,5 metrin mittainen leikko aiheutti männyn tilavuusestimaattiin keskimäärin 1,2 %:n yliarvion. Kuusella yliarvio oli 4,1 % ja koivulla 2,5 %. Metrin mittaisella leikolla keskimääräiset yliarviot olivat puulajeittain vastaavasti 0,8, 4,3 ja 2,7 %. Suurimmat puukohtaiset virheet olivat puulajista riippuen 4–6 %. Tilavuuden lievät yliarviot aiheutuvat siitä, että runkokäyrämallit olettavat tyvilaajentuman olevan olemassa myös leikon poistami-

sen jälkeen, mikä ei todellisuudessa pidä paikkaansa.

Myös läpimittaluokan tukkiosien keskiarvon käyttäminen tukkiosan pituutena luokittaisia tukkitilavuuksia laskettaessa saattaa aiheuttaa virhettä tuloksiin. Leimikon kokonaistukkitilavuuteen ei kuitenkaan aiheudu virhettä, jos tukkiosan tilavuus kussakin läpimittaluokassa riippuu lineaarisesti tukkiosan pituudesta. Tukkitilavuustaulukoista voidaan todeta, että riippuvuus on lähes lineaarinen. Jos menetelmää sovelletaan leimikoihin, joissa maksimirinnan korkeusläpimitta on yli 24,5 cm, virhe kasvaa, koska suurilla puilla tukkiosan pituuden hajonta on suurempi kuin pienillä puilla. Tästä syystä järeissä leimikoissa tukkiosan pituus on tallettava runkokohtaisesti.

5. Uuden menetelmän edut ja jatkokehittely

Nykyisessä metsurimittauksessa metsuri mittaa poistettavista puista ainoastaan läpimitat. Käyttöosan tilavuuden laskenta perustuu ennen kaatoa pystypuista tehtäviin mittauksiin. Tässä tutkimuksessa esitetyssä menetelmässä koepuutiedot mitataan kaadon yhteydessä. Menetelmässä on tulosten luotettavuuden kannalta seuraavia etuja nykyiseen metsurimittaukseen verrattuna:

1. Koepuut tulevat valituksi ainoastaan poistettavista puista, joten otos on todennäköisesti edustavampi kuin koepuiden pystymittauksessa.
2. Koepuutunnusten mittaus on tarkempaa, koska tunnuksat mitataan kaadetuista puista.
3. Koepuilla käyttöosan pituus on aina mitattu, jolloin runkokäyrämallien virheet eivät aiheuta virhettä käyttöosan pituuden määrittelyyn.

Tukkiosan käsittelyä menetelmässä laajennetaan siten, että myös pieniä tukkeja voidaan mitata. Tämä edellyttää tukkitilavuustaulukoiden laajentamista esitettyä pienemmille rungoille. On kuitenkin huomattava, että myös jatkossa tässä kuvattulla menetelmällä voidaan käsitellä vain yhtä tukkilajia kerrallaan. Mikäli leimikolta korjataan useampia tukkilajeja, on ne eroteltava muulla tavoin.

Menetelmässä latvahukkaosan pituus estimoidaan koko maan kattavaan aineistoon sovitettujen regressiomallien avulla. Tällöin leimikoitten välinen pituusvaihtelu saattaa aiheuttaa joissain

tapauksissa virheitä. Jatkossa menetelmää voidaan tältä osin kehittää tarkentamalla latvahukkaosan pituuden estimoinnista. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi mittaamalla muutamasta koepuusta kullakin koepuualueella todellinen latvahukkaosan pituus. Tällöin todellisen pituustiedon avulla voidaan kalibroida malleja.

Toinen vaihtoehto on käyttää Lapin (1986) ja Korhosen (1990) esittämiä napakoordinaatistoon perustuvia runkokäyrämalleja. Lapin ja Korhosen esittämien runkokäyrämallien etuna Laasasenahon (1982) esittämiin malleihin verrattuna on, että niitä käytettäessä ei tarvitse tuntea puun pituutta, vaan runkokäyrä voidaan estimoida miltä tahansa rungon kohdalta mitattujen läpimittojen avulla. Mallien luotettavuus on todettu yhtä hyväksi kuin Laasasenahon (1982) mallien. Ennen uusien runkokäyrämallien käyttöön ottoa on verrattava Korhosen (1990) ja Laasasenahon (1982) mallien antamia estimaatteja toisiinsa erityisesti tavanomaisista poikkeavilla $d_{1,3}$, h -yhdistelmillä.

Mittalaitteiden muistikapasiteetin ja käsiteltävyyden nopea kehittäminen jatkunevat tulevaisuudessa. Tällöin on mahdollista, että jatkossa pystytään metsurimittauksessa käytettävillä välineillä hallitsemaan melko suuria tietomääriä. Yksi vaihtoehto on nykyisen kahden tunnuksen pystymittausmenetelmän (PMP) soveltaminen hakkuutyön yhteydessä käytettäväksi. Tämä edellyttää PMP:ssä käytettävien tunnuksen tal-

lettamista metsurimittalaitteelle ja tilavuudenlaskentaohjelmiston muokkaamista metsurimitaukseen sopivaksi.

Kesällä 1991 käyttöön otetut uudet kuitupuun minimiläpimittavaatimukset ovat jo (ennen ra-

portin painoon menoa) edellyttäneet menetelmän kehittelyä. Latvahukkaosan pituusmallit tullaan tekemään sellaisiksi, että niitä voidaan soveltaa muullakin kuin 6 cm:n katkaisuläpimittalla.

Kirjallisuus – References

- Korhonen, K.T. 1990. Runkokäyrämallien käyttö metsäninventoinnissa. Lisensiaattitutkimus. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 74 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Seloste: Männy, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt*. Communications Institutu Forestalis Fenniae 108. 74 s.
- & Snellman, C.-G. 1983. Männy, kuusen ja koivun tilavuustaulukot. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 113. 91 s.
- Lahtinen, A. & Laasasenaho, J. 1979. On the construction of taper curves by using spline functions. *Seloste: Runkokäyrän muodostaminen splinifunktiolla*. Communications Institutu Forestalis Fenniae 95(8). 63 s.
- Lappi, J. 1986. Mixed linear models for analyzing and predicting stem form variation of Scots pine. *Seloste: Männy runkomuodon vaihtelun analysointi ja ennustaminen lineaaristen sekamallien avulla*. Communicationes Institutu Forestalis Fenniae 134. 69 s.

- Marjomaa, J. 1990. Mittausten ajanmenekki metsurimitauksessa. *Julkaisematon käsikirjoitus*. Metsäteho, Helsinki.
- Metsä- ja uittoalan työehtosopimus 1.3.1990–29.2.1991. 1990. Vantaa. s. 109–111.
- Metsurimittausohje. Mittausneuvosto 1989. 6 s.
- Palojärvi, P. 1988. Koepuiden tarve metsurimittausmenetelmässä luettaessa puut kolmen senttimetrin luokin. *Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma*. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. 30 s. + liitteet.

Total of 9 references

Summary

Estimation of harvested timber volume using treewise measurements made during felling

The goal of this study was to develop a method for estimating the volume of harvested timber. The method is based on an electronic caliper and a data logger developed for measuring and storing breast height diameters during felling. The data logger can also be used for storing the data measured on sample trees, e.g. tree height. The method presented in this paper can be used only for trees with a breast height diameter of less than 24.5 cm because this is the maximum diameter of the caliper.

The method is based on the following measurements:

- 1) Diameter at breast height measured on every felled tree.
- 2) Length of merchantable timber measured on about 50 stems per stand.
- 3) Length of saw timber measured on every felled tree.

Näslund's function is fitted to the measured lengths of merchantable timber. The estimated function is used in estimating the length of merchantable timber for each 1 cm diameter class. A regression model was developed for estimating the length of the nonmerchantable top (see formulae 1, 2, and 3). The total height for each diameter class is calculated by summing the estimates of merchantable timber length and nonmerchantable top length. When the height of a tree is known the volume of merchantable timber and saw timber is calculated using taper curve models (Laasasenaho 1982).

The reliability of the method was tested on the data set of Laasasenaho (1982) by studying the errors of estimates of merchantable timber volume for individual trees. The breast height diameter and length of merchantable timber (measured in 0.5 m classes) were assumed to have been measured on every tree. Thus, the

errors in the estimates of merchantable timber were caused by 1) errors in estimating the total height of trees (= residuals of the model for the length of the nonmerchantable top), 2) errors in the taper curve models, and 3) rounding off the measured length of merchantable timber into 0.5 m classes.

The results (Fig. 1) showed that the method is almost unbiased. The results obtained with another dataset of Marjomaa (1990) also showed that the standwise estimates of merchantable and saw timber volume are reliable.

Liite 1a

K o ä s y a t t ö m	KÄYTTÖOSAN TILAVUUS dm ³ M Ä N T Y (Minimiläpimitta 6 cm)																			
	Läpimittaluokka cm																			
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
2,0	12	15	19	23	27	32	36	41	45	51	58	65	72	80	88	96	104			
2,5	14	17	22	26	31	36	42	47	53	59	65	73	81	90	99	109	119			
3,0	15	19	24	29	34	40	46	53	59	67	74	81	89	98	108	119	130			
3,5	17	21	26	31	37	43	50	57	65	73	81	90	98	108	117	128	139			
4,0	19	23	28	34	40	47	54	62	70	78	87	97	107	117	127	138	149			
4,5	20	25	31	37	43	50	58	66	74	84	93	103	114	125	136	148	161			
5,0	22	27	33	39	46	54	62	70	79	89	99	110	121	133	145	158	171			
5,5	23	29	35	42	49	57	66	75	84	94	105	116	128	141	154	167	181			
6,0	25	31	37	45	52	61	70	79	89	100	111	123	135	148	162	176	191			
6,5	26	33	40	47	55	64	74	84	94	106	117	130	143	156	171	186	201			
7,0	28	34	42	50	59	68	78	88	99	111	124	137	150	165	180	195	211			
7,5		36	44	53	62	71	82	93	105	117	130	144	158	173	189	205	222			
8,0		38	46	55	65	75	86	98	110	123	137	151	166	182	198	215	233			
8,5			49	58	68	79	90	102	115	129	143	158	174	190	207	225	244			
9,0			51	61	71	82	94	107	121	135	150	166	182	199	217	235	255			
9,5				63	74	86	99	112	126	141	157	173	190	208	226	246	266			
10,0				66	77	90	103	117	131	147	163	180	198	217	236	256	277			
10,5					80	93	107	121	137	153	170	188	206	226	246	267	289			
11,0					83	97	111	126	142	159	177	195	215	235	256	278	300			
11,5						100	115	131	147	165	183	203	223	244	266	288	312			
12,0						104	119	135	153	171	190	210	231	253	275	299	323			
12,5						123	140	158	177	196	217	239	261	285	310	335				
13,0						127	144	163	182	203	224	247	270	295	320	346				
13,5							149	168	188	209	232	255	279	304	330	358				
14,0							153	173	194	216	239	262	288	314	341	369				
14,5								178	199	222	245	270	296	323	351	380				
15,0								183	205	228	252	278	304	332	361	391				
15,5									210	234	259	285	312	341	371	402				
16,0									215	240	265	292	320	350	380	412				
16,5										245	272	299	328	358	390	422				
17,0										251	278	306	336	367	399	432				
17,5											284	313	343	375	408	442				
18,0											290	319	351	383	417	452				
18,5												326	358	391	425	461				
19,0													332	364	398	434	470			
19,5														371	406	442	479			
20,0														378	413	450	488			
20,5															420	457	496			
21,0															426	465	504			
21,5																472	512			
22,0																479	520			
22,5																	527			
23,0																	534			

Liite 1b

K o ä s y t t m ö	KÄYTTÖÖSAN TILAVUUS dm ³ K U U S I (Minimiläpimitta 6 cm)																							
	Läpimitalluokka cm																							
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24							
2,0	12	15	18	22	26	30	34	40	45	48	52	56	62	68	75	82	90							
2,5	13	17	21	26	30	35	40	46	53	60	66	71	76	80	88	96	104							
3,0	15	19	23	28	34	39	45	52	59	67	76	86	93	99	106	112	119							
3,5	17	21	26	31	37	43	49	57	64	72	82	93	105	117	126	134	143							
4,0	18	23	28	34	40	46	53	61	69	78	87	98	110	123	138	154	165							
4,5	20	25	30	36	43	49	57	64	73	82	92	103	115	128	142	159	177							
5,0	22	27	33	39	46	53	60	68	77	86	97	108	120	133	147	163	180							
5,5	23	29	35	42	49	56	64	72	81	91	101	113	125	138	153	168	184							
6,0	25	31	38	45	52	60	68	77	86	96	106	118	130	143	158	174	191							
6,5	27	33	40	48	55	64	72	81	91	101	112	123	136	149	164	179	197							
7,0	28	35	43	51	59	68	76	86	96	106	117	129	142	155	170	186	203							
7,5	38	46	54	63	72	81	91	101	112	124	136	149	162	177	193	210	210							
8,0	40	48	57	66	76	86	96	107	118	130	143	156	170	185	201	217	217							
8,5		51	60	70	80	91	102	113	125	137	150	164	178	193	209	226	226							
9,0		54	64	74	85	96	107	119	131	144	158	172	187	202	219	236	236							
9,5			67	78	89	101	113	125	138	152	166	180	196	212	229	246	246							
10,0			70	82	94	106	119	132	146	160	174	189	205	222	239	257	257							
10,5				86	98	111	125	139	153	168	183	199	215	232	250	269	269							
11,0				90	103	117	131	145	160	176	192	208	225	243	262	281	281							
11,5					108	122	137	152	168	184	201	218	236	255	274	294	294							
12,0					112	128	143	159	176	193	210	228	247	266	286	307	307							
12,5						133	149	166	184	201	220	239	258	278	299	320	320							
13,0						138	156	173	191	210	229	249	269	290	312	334	334							
13,5							162	180	199	219	239	259	281	302	325	348	348							
14,0							168	187	207	228	249	270	292	315	338	362	362							
14,5								195	215	237	258	281	304	327	352	376	376							
15,0								202	223	245	268	292	315	340	365	391	391							
15,5									231	254	278	302	327	353	379	406	406							
16,0									239	263	288	313	339	366	393	421	421							
16,5										272	298	324	351	378	407	435	435							
17,0										281	307	335	363	391	420	450	450							
17,5											317	345	374	404	434	465	465							
18,0											326	356	386	417	448	480	480							
18,5												367	398	429	462	495	495							
19,0													377	409	442	476	510	510						
19,5														421	455	489	525	525						
20,0														431	467	503	539	539						
20,5															479	516	554	554						
21,0															491	530	569	569						
21,5																542	583	583						
22,0																555	597	597						
22,5																	611	611						
23,0																		622	622					

Liite 1c

K o ä s y a t t ö m	KÄYTTÖOSAN TILAVUUS dm ³ K O I V U (Minimiläpimitta 6 cm)																		
	Läpimittaluokka cm																		
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
2,0	12	15	19	23	27	32	37	42	46	51	56	62	67	73	80	86	93		
2,5	14	17	21	26	31	37	43	49	56	62	68	75	82	89	96	104	112		
3,0	15	19	24	29	35	41	47	55	63	72	79	87	96	104	113	122	131		
3,5	17	22	26	32	38	44	52	60	68	78	88	99	108	118	128	139	150		
4,0	19	24	29	35	41	48	55	64	73	83	94	106	120	131	143	155	167		
4,5	20	26	31	37	44	51	59	68	77	88	99	112	125	140	155	169	183		
5,0	22	28	34	40	47	55	63	72	82	92	104	117	131	146	163	180	197		
5,5	23	29	36	43	50	58	67	76	86	97	109	122	136	151	168	186	205		
6,0	25	31	38	46	53	62	70	80	90	102	114	127	141	157	174	192	211		
6,5	26	33	40	48	56	65	74	84	95	106	119	132	147	163	179	198	217		
7,0	27	35	43	51	60	69	78	89	100	112	124	138	153	169	186	204	223		
7,5	28	36	45	54	63	72	83	93	105	117	130	144	159	175	192	211	230		
8,0	28	37	47	56	66	76	87	98	110	122	136	150	165	182	199	218	238		
8,5	29	39	49	59	69	80	91	103	115	128	142	157	172	189	207	226	246		
9,0	29	40	50	61	73	84	96	108	120	134	148	163	180	197	215	234	255		
9,5	29	40	52	64	76	88	100	113	126	140	155	171	187	205	223	243	264		
10,0	30	41	53	66	79	92	105	118	132	146	162	178	195	213	232	252	274		
10,5		41	55	68	82	95	109	123	138	153	169	186	203	222	241	262	284		
11,0		42	56	70	84	99	113	128	144	160	176	193	212	231	251	272	295		
11,5			56	72	87	102	118	134	150	166	183	202	220	240	261	283	306		
12,0			57	73	89	106	122	139	156	173	191	210	229	250	271	294	317		
12,5				74	92	109	126	144	162	180	199	218	238	260	282	305	329		
13,0				75	94	112	130	149	168	187	206	227	248	270	292	316	341		
13,5					95	115	134	154	173	194	214	235	257	280	303	328	354		
14,0					97	117	138	158	179	200	222	244	267	290	315	340	367		
14,5						119	141	163	185	207	229	252	276	301	326	352	380		
15,0						121	144	167	190	214	237	261	286	311	337	365	393		
15,5							147	171	196	220	245	270	295	322	349	377	406		
16,0							150	175	201	226	252	278	305	332	361	390	420		
16,5								179	205	232	259	287	314	343	372	402	434		
17,0								182	210	238	266	295	324	354	384	415	447		
17,5									214	243	273	303	333	364	396	428	461		
18,0									218	249	280	311	342	375	407	441	475		
18,5												319	351	385	419	453	489		
19,0												326	360	395	430	466	503		
19,5													369	405	441	478	516		
20,0													377	414	452	491	530		
20,5														424	463	503	544		
21,0														433	474	515	557		
21,5															484	527	570		
22,0																494	538	583	
22,5																	550	596	
23,0																		561	608

Liite 2a

k o ä s y t t m ö	KÄYTTÖOSAN YLÄPUOLISEN LATVAN PITUUS m M Ä N T Y				Läpimittaluokka cm
	17	18	19	20	
2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
2,5	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
3,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
3,5	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
4,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5
4,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5
5,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5
5,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5
6,0	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
6,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
7,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
7,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
8,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
8,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
9,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
9,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
10,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0
10,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0
11,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0
11,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5
12,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
12,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
13,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
13,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
14,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
14,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
15,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
15,5	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5
16,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
16,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
17,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
17,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
18,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
18,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
19,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
19,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
20,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
20,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
21,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
21,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
22,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
22,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
23,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0

MALLI:

$$\text{Latva} = 1,751121 - 0,056869 \cdot d_{13} + 14,653194/d_{13} + 0,104522 \cdot h_k$$

missä: d_{13} = rinnankorkeusläpimitta cm
 h_k = käyttöosan pituus m

Liite 2b

k o ä s y t t m ö	KÄYTTÖOSAN YLÄPUOLISEN LATVAN PITUUS m K U U S I				Läpimittaluokka cm
	17	18	19	20	
2,0	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
3,0	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
3,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
4,0	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
4,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
5,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
5,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
6,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0
6,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0
7,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0
7,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0
8,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0
8,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0
9,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
9,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
10,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
10,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
11,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
11,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
12,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
12,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
13,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
13,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
14,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
14,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
15,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
15,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
16,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
16,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
17,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
17,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
18,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
18,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
19,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
19,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
20,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
20,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
21,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
21,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
22,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
22,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
23,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5

MALLI:

$$\text{Latva} = 50,539699 + 0,789796 \cdot d_{13} - 19,208957 \cdot \ln(d_{13}) - 102,356525/d_{13} - 0,004687 \cdot d_{13}^2 + 0,353291 \cdot h_k - 0,724371 \cdot \ln(h_k) - 0,012121/h_k - 0,008771 \cdot h_k^2$$

missä: d_{13} = rinnankorkeusläpimitta cm
 h_k = käyttöosan pituus m

Liite 2c

k o ä s y t t m ö	KÄYTTÖOSAN YLÄPUOLISEN LATVAN PITUUS m K O I V U				Läpimittaluokka cm
	19	20	21	22	
2,0	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	1,5
3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	1,5
3,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0
4,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0
4,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0
5,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0
5,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
6,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
6,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
7,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
7,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
8,0	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
8,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0
9,0	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0
9,5	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0
10,0	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0
10,5	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0
11,0	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0
11,5	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5
12,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5
12,5	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5
13,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5
13,5	4,5	4,0	4,0	4,0	3,5
14,0	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0
14,5	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0
15,0	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0
15,5	4,5	4,5	4,5	4,0	4,0
16,0	4,5	4,5	4,5	4,0	4,0
16,5	5,0	4,5	4,5	4,0	4,0
17,0	5,0	4,5	4,5	4,5	4,0
17,5	5,0	4,5	4,5	4,5	4,5
18,0	5,0	4,5	4,5	4,5	4,5
18,5	5,0	5,0	4,5	4,5	4,5
19,0	5,0	5,0	4,5	4,5	4,5
19,5	5,0	5,0	4,5	4,5	4,5
20,0	5,0	5,0	5,0	4,5	4,5
20,5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5
21,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
21,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
22,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
22,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
23,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

MALLI:

$$\text{Latva} = 33,435503 + 0,315919 \cdot d_{13} - 47,283346/d_{13} - 11,868107 \cdot \ln(d_{13}) + 0,167598 \cdot h_k$$

Liite 3a

		TUKKIOSAN TILAVUUS dm ³ M Ä N T Y															
d	h	Tukkiosan pituus m															
		3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10	10,5
10		70															
17	13	71	80														
	16	72	81	89													
	11	79	89	97													
18	14	80	90	99	108	117											
	17	80	91	100	110	119	127										
	11	88	99	109	118												
19	14	89	100	111	121	130	139	148									
	17	90	101	112	122	132	142	151	160								
	11	98	109	120	130	139											
20	14	99	111	123	134	144	154	164	172								
	17	99	112	124	135	146	157	167	177	187	196	204					
	12	108	121	133	145	156	165	174									
21	15	109	123	136	148	160	171	182	192	202	211						
	18	109	123	136	149	162	174	185	196	207	217	227	236	245			
	12	118	133	146	159	171	181	191	200								
22	15	119	134	149	162	176	188	200	211	221	231	240					
	18	120	135	150	164	177	190	203	215	227	238	249	259	269	278	286	
	12	129	145	160	174	186	198	209	218	227							
23	15	130	147	162	178	192	205	218	231	242	252	262	271				
	18	131	148	164	179	194	208	222	235	248	260	272	283	293	303	312	321
	13	141	158	175	191	205	219	232	243	254	263	271					
24	16	142	160	177	194	210	225	240	253	266	279	290	301	311	319		
	19	143	161	178	195	211	227	242	257	271	285	298	310	322	333	344	354

d = rinnankorkeusläpimitalluokka cm

h = rungon koko pituus m

Liite 3b

		TUKKIOSAN TILAVUUS dm ³ K U U S I																
d	h	Tukkiosan pituus m																
		3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10	10,5	11,0
11		-																
17	14	70																
	17	72	82															
	11	77																
18	14	79	89	99														
	17	81	92	102	113	123												
	12	86	97	107														
19	15	88	100	111	122	132	142											
	18	90	103	115	127	138	149	159	170	179								
	13	96	108	119	130	140												
20	16	98	112	124	136	148	159	170	179									
	19	100	114	128	141	154	166	178	190	201	212	222	231					
	13	106	119	131	143	153	163											
21	16	108	123	137	150	162	174	186	196	206								
	19	110	126	140	155	169	182	196	208	220	232	243	253	263				
	14	117	132	146	159	171	182	192	202									
22	17	119	135	151	166	180	194	207	219	231	241	251						
	20	121	138	155	171	186	201	216	230	244	257	270	282	293	304	314	323	
	15	128	145	161	175	189	203	215	226	236	245							
23	18	131	149	166	183	199	214	229	243	256	268	280	291	301	311			
	21	133	152	170	187	204	221	237	253	269	283	298	311	325	337	349	360	370
	15	139	157	174	190	205	219	232	244	255	265							
24	18	142	162	180	198	215	232	248	263	277	290	303	314	325	335			
	21	144	165	184	203	222	240	258	275	291	307	322	337	351	364	377	389	400

d = rinnankorkeusläpimitalluokka cm

h = rungon koko pituus m

Liite 3c

		TUKKIOSAN TILAVUUS dm ³ K O I V U															
d	h	Tukkiosan pituus m															
		3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10	10,5
19	15	88															
	18	89															
	21	90															
20	16	98	111	123													
	19	99	113	126	138												
	22	100	114	127	140	152											
21	16	108	122	136	149	161											
	19	109	124	138	152	166	178	191									
	22	111	126	140	154	168	181	195	207								
22	16	118	134	149	163	176	189										
	19	120	136	152	167	181	196	209	222	234							
	22	121	138	154	169	184	199	214	228	241	254	267					
23	17	130	147	163	179	194	209	223	235								
	20	131	149	166	183	199	215	230	245	259	272	284					
	23	133	151	168	185	202	218	234	250	265	280	294	307	320	333		
24	17	141	160	178	195	211	227	242	256	269	280						
	20	143	162	181	199	217	234	250	266	281	296	309	322				
	23	144	164	183	202	220	238	255	272	288	304	320	334	349	362	375	387

d = rinnankorkeusläpimittaluokka cm

h = rungon koko pituus

Liite 4a

		KUITULEIKON TILAVUUS dm ³ M Ä N T Y															
d		Leikon pituus m															
		1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0		
17		41	52	62	71												
18		46	58	69	80	90	99	108									
19		52	65	77	89	100	111	121	130	139							
20		57	72	86	99	111	123	134	144	154	164						
21		63	79	94	109	123	136	148	160	171	182	192	202				
22		69	87	103	119	134	149	162	176	188	200	211	221	231			
23		75	95	113	130	147	162	178	192	205	218	231	242	252	262		
24		82	103	123	142	160	177	194	210	225	240	253	266	279	290		

d = rinnankorkeusläpimittaluokka cm

Liite 4b

KUITULEIKON TILAVUUS dm ³ K U U S I														
d	Leikon pituus m													
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
17	39	50	61											
18	44	56	68	79	89									
19	49	63	76	88	100	111	122	132						
20	55	70	84	98	112	124	136	148	159	170				
21	60	77	93	108	123	137	150	162	174	186	196			
22	66	85	102	119	135	151	166	180	194	207	219	231	241	
23	73	93	112	131	149	166	183	199	214	229	243	256	268	280
24	79	101	122	142	162	180	198	215	232	248	263	277	290	303

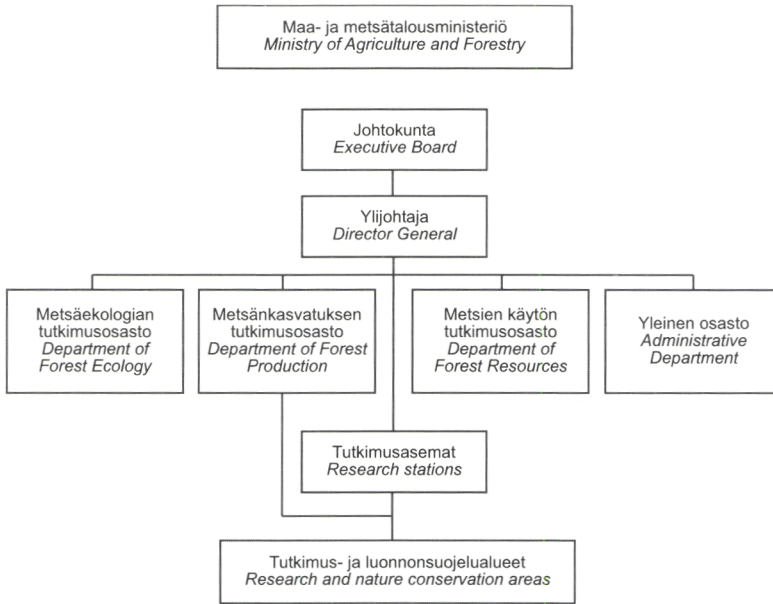
d = rinnankorkeusläpimittaluokka cm

Liite 4c

KUITULEIKON TILAVUUS dm ³ K O I V U														
d	Leikon pituus m													
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
19	50	64	77											
20	56	71	85	99	113	126								
21	61	78	94	109	124	138	152	166	178					
22	67	86	103	120	136	152	167	181	196	209	222			
23	74	94	113	131	149	166	183	199	215	230	245	259	272	
24	80	102	123	143	162	181	199	217	234	250	266	281	296	309

d = rinnankorkeusläpimittaluokka cm

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*



Metsäntutkimuslaitos — *The Finnish Forest Research Institute*

Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland

tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308, telex 121298 metla sf

Ylijohtaja — *Director General*

Eljas Pohtila

Hallintojohtaja — *Administrative Director*

Tero Oksa

Tiedotuspäällikkö — *Head of Information*

Marja Ruutu

Metsäekologian tutkimusosasto — *Department of Forest Ecology*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Eero Paavilainen

Metsänkasvatuksen tutkimusosasto — *Department of Forest Production*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Jari Parviainen

Metsien käytön tutkimusosasto — *Department of Forest Resources*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Risto Seppälä (Aarne Reunala)

Tutkimusasemat — *Research Stations*

Joensuu

Parkano

Kannus

Punkaharju

Kolari

Rovaniemi

Muhos

Suonenjoki



- No 778 Kaunisto, Seppo: Maa-analyysin käyttö kasvupaikan ravinnetilan arvioimiseksi erällä Alkkian metsitetyillä suopelloilla.
Soil analysis as a means of determining the nutrient regime on some afforested peatland fields at Alkkia.
- No 779 Eeronheimo, Olli: Suometsien puunkorjuu.
Forest harvesting on peatlands.
- No 780 Hytönen, Jyrki & Silfverberg, Klaus: Kuivatustehon vaikutus turvemaan lämpöoloihin.
Effect of drainage on thermal conditions in peat soils.
- No 781 Hökkä, Hannu, Piironen, Marja-Leena & Penttilä, Timo: Lämpimittajakauden ennustaminen Weibull-jakaumalla Pohjois-Suomen mänty- ja koivuvaltaisissa ojitusaluemetsiköissä.
The estimation of basal area-dbh distribution using the Weibull-function for drained pine- and birch dominated and mixed peatland stands in north Finland.
- No 782 Niemistö, Pentti. Hieskoivikoiden kasvatustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemailla.
Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on peatlands in northern Finland.
- 1992
- No 783 Riihinen, Arto & Uotila, Antti: Versosurman vaikutus varttuneiden männiköiden kasvuun.
Effect of Scleroderris canker on the growth of middle-aged Scots pine stands.
- No 784 Siekkinen, Virpi & Pajuoja, Heikki: Suomen piensahat 1990.
Small sawmills in Finland, 1990.
- No 785 Kinnunen, Kaarlo: Kylvöalustan, ajankohdan ja menetelmän vaikutus männyn kylvön onnistumiseen.
Effect of substratum, date and method on the post-sowing survival of Scots pine.
- No 786 Ihalainen, Antti, Korhonen, Kari T. & Varjo, Jari: Puiden käyttöosan mittauksiin perustuva metsurimittaus.
Estimation of harvested timber volume using treewise measurements made during felling.
- No 787 Päivinen, Risto, Nousiainen, Merja & Korhonen, Kari T.: Puutunnusten mittaamisen luotettavuus.
Accuracy of certain tree measurements.
- No 788 Saarilahti, Martti: Turpeen kokoonpuristuvuus ja tiealueen kuivatuspainuman arviointi.
Compressibility of peat and estimation of drainage settlement of a road right-of-way.