

FOLIA FORESTALIA 596

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1984

YRJÖ VUOKILA, JOUKO LAASASENAHO
JA ANTTI IHALAINEN

LUONNONMETSIEN PUIDEN RUNKOKÄYRÄ-
MALLIEN TARKKUUS VILJELY-
KUUSIKOISSA

THE ACCURACY OF STEM TAPER CURVE
FUNCTIONS FOR NATURAL TREES IN
SPRUCE PLANTATIONS



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyyssönen
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 596

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1984

Yrjö Vuokila, Jouko Laasasenaho &
Antti Ihalainen

LUONNONMETSIEN PUIDEN RUNKOKÄYRÄMALLIEN TARKKUUS VILJELYKUUSIKOISSA

The accuracy of stem taper curve functions for
natural trees in spruce plantations

Approved on 29.6.1984

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. TUTKIMUSAINEISTO	3
21. Aineiston otanta- ja mittausmenetelmät	3
22. Koealojen ja koepuiden jakaumat	4
23. Aineiston soveltuvuus runkomuototutkimukseen	5
3. POLYNOMIMUOTOISEN RUNKOKÄYRÄMALLIN TAUSTAA	6
4. TULOSTEN LASKENTA	7
41. Koepuiden tilavuuden laskenta	7
42. Tutkimusmenetelmä	7
5. TULOKSET	8
51. Yksittäisen rungon tilavuusarvion tarkkuus	8
52. Runkokäyrän ennustama läpimitta	10
53. Tyven muoto ja tilavuus	10
54. Puun runkomuodon vaikutus rungon tilavuuden virheeseen	11
55. Koko aineiston tilavuusarvion tarkkuus	12
6. TILAVUUSARVION TARKKUUS ERILAISISSA METSIKÖISSÄ	13
61. Tilavuuden virheen vaihtelu koealojen sisällä ja välillä	13
62. Virheen riippuvuus metsikkötunnuksista	13
7. TIIVISTELMÄ	15
KIRJALLISUUS	16

VUOKILA, Y., LAASASENAHO, J. & IHALAINEN, A. 1984. Luonnonmetsien puiden runkokäyrämallien tarkkuus viljelykuusikoissa. Abstract: The accuracy of stem taper curve functions for natural trees in spruce plantations. *Folia For.* 596: 1—16.

Tutkimuksessa tarkastellaan, voidaanko Laasasenahon (1982) lähinnä luonnonmetsistä kerättyyn aineistoon perustuvia runkokäyräyhtälöitä käyttää myös viljelymetsiköiden puiden runkotilavuuden arvioinnissa. Vertailu perustuu Vuokilan ja Väliahon (1980) viljelykuusikkoaineiston 1022 koepuuhun, joista tunnettiin tarkoin mitattu rungon läpimitta yhdeksältä korkeudelta. Molempien vertailtavien aineistojen koepuut olivat pääasiassa maan eteläosasta.

Luonnonmetsistä kerättyyn aineistoon perustuvat tilavuuden laskentamallit osoittautuivat keskimäärin ottaen varsin tarkoiksi myös viljelykuusikoiden puiden tilavuuden arvioinnissa. Yksittäiselle rungolle laskettu runkotilavuus oli kahden mittaustunnuksen (d, h) mallilla keskimäärin 1,38% liian suuri (hajonta 6,19%). Kolmen tunnuksen (d, d_6 , h) mallilla yliarvio oli keskimäärin 0,40% (hajonta 3,44%). Nämä koko puuta koskevat luotettavuustunnukset olivat vertailtavissa kahdessa aineistossa varsin samansuuruiset. Koko viljelykuusikkoaineiston puille saatu yhteenlaskettu tilavuus oli kahden tunnuksen mallilla vain 0,18% liian suuri ja kolmen tunnuksen mallilla 0,37% liian pieni.

Puun tyvellä, 1—2%:n korkeudella maasta, todettiin suurin ero ko. runkokäyrämalleilla istutuskuusille laskettujen ja niiden maastossa mitattujen läpimittojen välillä. Rungon 5%:n tyviosan läpimittojen yliarvioinnin vuoksi syntyi virhe, joka oli keskimäärin 1,0% koko rungon tilavuudesta, ts. suurempi kuin rungon muun osan (95%) tilavuuden arvioinnissa syntynyt virhe.

Merkittävin virhe runkokäyrämallien antamissa tilavuuksissa syntyi nuorissa metsiköissä kahden muuttujan runkokäyrällä. Alle 40-vuotiaille malli antoi noin kolme prosenttia liian suuren tuloksen.

This report deals with the possibility of applying the stem taper curve functions for natural stands (Laasasenaho 1982) to estimate the cubic volume of trees in spruce plantations. The comparison is based on 1022 spruce sample trees (Vuokila and Väliaho 1980) with known diameters at nine relative heights of the stem. Sample materials to be compared have been collected mainly from southern Finland.

On average, the tree volume calculation functions, based on sample material from natural stands, proved to be quite accurate in spruce plantations. The mean of the tree volume estimates was found to be 1.38% (standard deviation 6.19%) higher than the true mean when using a function with two independent variables (d, h) and 0.40% (standard deviation 3.44%) higher with three variables (d, d_6 , h). The estimate for the pooled volume of sample trees involved was found to be only 0.18% too high when using a function with two variables and 0.37% too small with three variables.

The greatest differences were found at the base of the tree, at relative heights of 1—2% of tree height. Because of the overestimation of diameters along the lowest 5% of the stem, an average error of 1.0% was added to the volume of the whole stem, this error being greater than that encountered along the remaining 95% of the stem.

The greatest error in the application of stem taper curve functions was encountered in young stands with a function of two independent variables. In spruce plantations under 40 years of age, the function gave an average overestimation of 3%.

ODC 524.1+526.5+174.7 *Picea abies*
ISBN 951-40-0669-0
ISSN 0015-5543

Helsinki 1984. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Puun runkotilavuuden arvioiminen on metsänarvioimistieteen keskeinen tehtävä. Suomessakin on tämän vuosisadan alkuvuosikymmeniltä lähtien julkaistu useita tilavuuden määrittämiseen liittyviä tutkimuksia. Merkittävä virstanpylväs suomalaisessa metsänarvioimistieteellisessä tutkimuksessa olivat Ilvessalon (1947) pystypuiden kuutioimistaulukot. Aivan viime vuosiin asti ne ovat olleet laajimmin käytetty pystypuiden runkotilavuuden arvioimismenetelmä.

Nyttemmin on merkittävässä metsänmittaustehtävissä, kuten valtakunnan metsien inventoinnin ja pystymittauksen tulosten laskennassa, alettu kuitenkin käyttää tilavuuden laskennassa erityisesti Laasasenahon (1982) kahteen ja kolmeen mittaustunnukseen perustuvia runkokäyräyhtälöitä (ks. myös Laasasenaho ja Snellman 1983). Edellinen yhtälötyyppi vaatii puusta mitattaviksi rinnan korkeusläpimitan (d) ja pituuden (h) sekä jälkimmäinen lisäksi kuuden metrin läpimitan (d_6). Männylle, kuuselle ja koivulle on kullekin omat yhtälönsä. Jäljempänä puhutaan kahden ja kolmen tunnuksen runkokäyristä tai käytetään merkintöjä $f(d, h)$ ja $f(d, d_6, h)$.

Laasasenahon (1982) runkokäyräyhtälöiden laadinnassa käyttämä koepuuaineisto oli peräisin pääasiassa luonnonmetsistä, joista

viljelymetsien voidaan olettaa poikkeavan monessa suhteessa. Viljelymetsät sijaitsevat mm. keskimäärin paremmilla kasvupaikoilla kuin luontaisesti syntyneet (Vuokila ja Väliaho 1980, s. 8). Erottavia tekijöitä ovat lisäksi alku- ja kasvatustiheys, itämiskohdan valinta tai valikoituminen (ks. s. 10) ja geneettinen alkuperä. Siksi on mahdollista, että viljelymetsiköiden puut poikkeavat runkomuodoltaan luonnonmetsien puista siinä määrin, että se vaikuttaa myös tilavuusarvioinnin menetelmään.

Viljelymetsiköiden erityispiirteiden vaikutusta runkomuotoon ei toistaiseksi tunneta. Tämän tutkimuksen tarkoitus on suureen koepuuaineistoon perustuen tutkia istutuskuusikoiden puiden runkomuotoa ja sen vaikutusta Laasasenahon (1982) runkokäyräyhtälöillä lasketun tilavuusarvion tarkkuuteen. On oletettavaa, että juuri istutusmetsiköiden puiden runkotilavuuden arvioinnissa luonnonmetsäaineistoon perustuva menetelmä voidaan perustelluimmin asettaa kyseenalaiseksi.

Tutkimus on Metsäntutkimuslaitoksen puuntuotoksen tutkimussuunnalla Vuokilan aineistosta Laasasenahon opastamana valmistettu Ihalaisen laudaturtyö metsätutkintoa varten, jonka Vuokila on muokannut julkaisuasuun.

2. TUTKIMUSAINEISTO

21. Aineiston otanta- ja mittausmenetelmät

Tässä tutkimuksessa käytettyä puuaineistoa on kuvattu viljelymetsien kehitystä ja kasvatusmalleja koskevassa tutkimuksessa (Vuokila ja Väliaho 1980). Siksi nyt keskitytään erityisesti koepuiden rungon muotoa koskeviin mittauksiin ja verrataan tämän tutkimuksen aineistoa Laasasenahon (1982) runkokäyräyhtälöiden laadinta-aineiston otantatapaan, mitattuihin muuttujiin, mittaus-tekniikkaan ja kerätyn aineiston rakenteeseen.

Taimikkovaihetta vanhempien viljelymetsien määrä oli tämän tutkimuksen aineistoa vuosina

1969—73 kerättäessä vielä niin vähäinen, että satunnaisotantaan perustuva menetelmä koelajen paikan määrittämiseksi ei olisi ollut käytännössä mahdollinen. Eri puolilla maata toimivien metsäammattimiesten ilmoitusten perusteella paikallistettiin eri ikävaiheissa olevia kohteita. Kaikki metsiköt, jotka täyttivät ennakkovaatimukset, otettiin mukaan aineistoon. Vaatimuksena oli, että metsikköön mahtui 0,1—0,25 ha:n koelavaipponen, että metsikkö oli täystiheä ja että sekapuuta oli korkeintaan 10% pohjapinta-alasta. Kivisyys hyväksyttiin, mutta vain lievä soistuneisuus (Vuokila ja Väliaho 1980, s. 10).

Laasasenahon (1982, s. 8—9) aineiston otanta perustui valtakunnan metsien inventoinnin lohkojako. Kultakin 50 inventointilohkoa sisältävältä suuralueelta valittiin satunnaisesti yksi lohko, jolta mitattiin 26 koalaa 200 metrin välein. Aineistoa täydennettiin lähinnä tarkistuksia varten Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueiden metsistä. Laasasenahon aineistossa oli otantasysteemin johdosta mukana niin vähän viljelymetsiä, että sitä voidaan pitää luonnonmetsäaineistona.

Viljelymetsäaineiston määräälaisten koalojen koeput valittiin rajoitettua systemaattista otantaa käyttäen, kahdeksan puuta kultakin koalalta. Menetelmä tähtäsi siihen, että koeput edustaisivat koalan puuston eri läpimittaluokkia niiden pohjapinta-alojen suhteessa. Luonnonmetsäaineiston koalat olivat relaskooppikoaloja, joita mitattaessa eri läpimittaluokat tulevat edustetuiksi niinkään pohjapinta-alojensa suhteessa. Molemmissa aineistoissa valintaperiaate oli siis samantyyppinen ja sellainen, että suuria puuta on enemmän kuin niiden osuus runkolukusarjasta edellyttäisi. Tämä on tarkoituksenmukaista, kun kysymyksessä on tilavuuden määrittämiseen tähtäävä tutkimus.

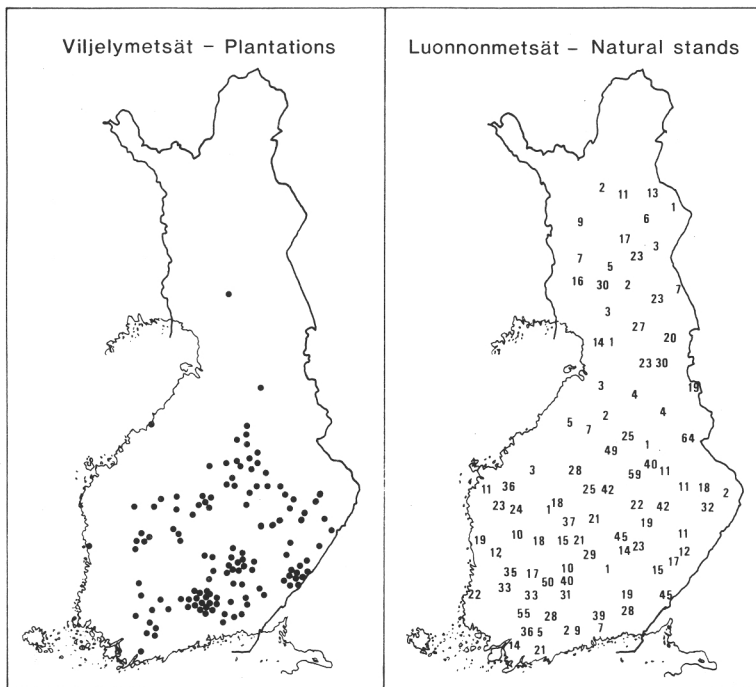
Kuvassa 1 on esitetty koeputien maantieteellinen jakaantuminen. Viljelymetsäaineisto on mitattu pääosin Järvi-Suomesta. Valtaosa luon-

nonmetsäaineistonkin puista sijaitsee samalla alueella.

Koeputia tehtyjen mittausten lähtökohtana oli molemmissa aineistoissa maanpinnan taso puun tyvellä. Läpimitat mitattiin kiinteiltä ja suhteellisilta korkeuksilta millimetrin tarkkuudella kahdesta toisiinsa nähden kohtisuorasta suunnasta. Rinnankorkeusläpimitan (d) ja kuuden metrin korkeuden läpimitan (d_6) lisäksi mitattiin viljelymetsäkoissa läpimitta 1, 2, 6, 10, 20, 30, 50, 70 ja 85 %:n korkeuksilta puun pituudesta. Luonnonmetsäaineistossa läpimitan mittauskorkeudet olivat 1, 2,5, 5, 7,5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ja 90 %. Pituus mitattiin desimetrin tarkkuudella (Laasasenaho 1982, s. 14).

22. Koalojen ja koeputien jakaumat

Viljelymetsäaineiston koalojen jakaantuminen metsätyyppeihin, kasvupaikkaryhmiin ja ikäluokkiin on esitetty taulukossa 1. Luonnonmetsien aineistossa (Laasasenaho 1982, taulukko 14, s. 57) varttuneiden ja uudistuskypsien metsiköiden osuus on merkittävästi suurempi kuin viljelymetsäaineistossa. Varttuneiden metsien vähyys viljelymetsäaineistossa on puute, koska käytännön puunmittauksesta valtaosa tehdään tällaisissa



Kuva 1. Koeputuaineistojen maantieteellinen sijainti. Viljelymetsät (Vuokila ja Väliaho 1980), luonnonmetsät (Laasasenaho 1982).

Fig. 1. Location of sample trees. Plantations (Vuokila and Väliaho 1980), natural stands (Laasasenaho 1982).

Taulukko 1. Viljelymetsäaineiston koalojen lukumäärä (N) eri metsätyypeillä, kasvupaikkaryhmissä ja ikäluokissa.

Table 1. The number of sample plots (N) in the plantation material by forest site types (Cajander 1909), site categories and age classes.

Metsätyyppi	N	Kasvupaikan laatu Previous site category	N	Ikäluokka Age class	N
OMaT	4	Metsä — Forest	51	— 40	57
OMT	85	Kaski — Burned-over	19	41 — 60	57
MT	38	Pelto — Field	58	61 — 80	13
VT	1			81 —	1
Σ	128		128		128

metsissä. Lähes puolet viljelymetsäaineistosta on metsitetyiltä pelloilta. Luonnonmetsäaineistoon vastaavia kohteita sisältynee erittäin vähän.

Taulukossa 2 on esitetty viljelymetsäaineiston koepuiden jakaantuminen läpimitta- ja pituusluokkiin. Rinnankorkeusläpimittojen aritmeettinen keskiarvo on 19,5 cm ja pituuden 17,1 m. Luonnonmetsäaineistossa vastaavat luvut olivat 18,0 cm ja 13,8 m. Kapeneminen on 5 cm tai vähemmän 93%:lla viljelymetsäaineiston puista, luonnonmetsäaineistossa 69%:lla (Laasasenaho 1976, s. 54). Pituuden ja läpimitan suhde, ns. so-

lakuus, on siis näissä kahdessa aineistossa keskimäärin selvästi erilainen.

Laasasenahon (1982, s. 11) aineisto käsitti yhteensä 1864 kuusta, joiden rinnankorkeusläpimitan vaihtelualue oli 1,5—61,9 cm ja pituuden 1,8—32,7 m. Puiden koon vaihtelualue oli siis jonkin verran suurempi kuin viljelymetsäaineistossa (taulukko 2).

23. Aineiston soveltuvuus runkomuototutkimukseen

Viljelymetsien tutkimusaineisto on kerätty alunperin kasvu- ja tuotostutkimusta varten, josta syystä sen valinta on ollut subjektiivinen. Voidaan kuitenkin olettaa, että ainakin Etelä-Suomen alueella aineisto edustaa viljelymetsiä harhattomasti. Yhtä puuta kuvaavien mittausten määrä mahdollistaa tarkan tilavuuden laskennan, eikä mittaustekniikka eroa Laasasenahon käytämästä. Yhdenkaltaisuus on tärkeää, sillä erilaisista mittaustavoista yms. johtavia eroja olisi vaikea eliminoida tai erottaa todellisista eroista. Merkittävin ero aineistojen välillä on niiden erilainen ikäluokkajakauma, sillä rungon muoto voi muuttua puun vanhetessa (esim. Vuokila 1960).

Taulukko 2. Viljelymetsäaineiston koepuiden jakaantuminen läpimitta- ja pituusluokkiin.

Table 2. The distribution of sample trees of the plantation material by diameter (d) and height (h) classes.

d, cm	h, m														Σ	
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31		
5	3	2														5
7	3	7	2													12
9		4	16	9	2											31
11		1	10	25	17	1										54
13			4	32	42	19	1									98
15				10	44	38	13	3								108
17			1	5	33	44	38	14	3	1						139
19				2	8	34	50	35	13							142
21				2	3	13	23	28	29	9						107
23					2	5	12	20	27	17	3					86
25					1	5	11	9	23	24	7					80
27						1	6	5	15	20	13	4				64
29							2	1	7	13	8	3	1			35
31								1	4	6	12	6	2			31
33										1		3	1			5
35									1		3	5	4			13
37											1	3				4
39										1	2	2	1			6
41															1	1
43											1					1
Σ	6	14	33	85	152	160	156	116	122	92	50	26	9	1		1022

3. POLYNOMIMUOTOISEN RUNKOKÄYRÄMALLIN TAUSTAA

Laasasenahon (1982, s. 20—21) polynomimalli runkokäyrän laskemiseksi perustuu toteamukseen, että suhteelliset läpimitat (20%:n korkeudelta mitattu vertailuläpimitta $d_{.2h} = 100$) ovat tietyn puulajin erikokoisilla puilla lähes samansuuruiset kullakin osakorkeudella. Kun istutuskuusikkoaineiston puiden osakorkeuksien läpimitat muunnettiin suhteellisiksi (taulukko 3), osoitautui, että oletus erikokoisten runkojen samantoisuudesta pätee myös niissä.

Kullekin puulajille muodostettiin keskimääräinen runkokäyrä, ns. peruskäyrä, käyttämällä eri osakorkeuksien suhteellisia, $d_{.2h}$:lla painotettuja keskiläpimittoja. Relaskooppiotannasta aiheutunut isojen puiden määräävä vaikutus peruskäyrän muotoon vahvistui edelleen painotuksen johdosta (Laasasenaho 1982, s. 28).

Peruskäyrän matemaattinen kuvaus onnistui parhaiten polynomilla:

$$d_1/d_{.2h} = b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^5 + b_5x^8 + b_6x^{13} + b_7x^{21} + b_8x^{34},$$

missä $d_{.2h}$ = perusläpimitta 20%:n korkeudelta

d_1 = läpimitta korkeudella l

$x = 1 - l/h$, suhteellinen etäisyys latvasta,

x :n eksponentit ovat ns. Fibonacci-sarjan termit.

Kertoimilla b on ehto, että polynomin arvo (= $d_1/d_{.2h}$) korkeudella $h = 0$ ja korkeudella $0_{.2h} = 1$ (vrt. Laasasenaho 1982, s. 22).

Käytännön mittaustehtävissä puista mitataan yleensä läpimitta rinnankorkeudelta (d) ja pituus

(h) tai näiden lisäksi vielä läpimitta kuuden metrin korkeudelta (d_6). Puulajeittaisia perusyhtälöitä voidaan tarkentaa, kun puusta tunnetaan puulajin lisäksi d ja h ja mahdollisesti d_6 . Sen tähden on johdettu edellä mainitut kahteen tai kolmeen mittaustunnukseen perustuvat mallit.

Kahden tunnukseen yhtälö muodostetaan laskemalla perusyhtälölle pituus- ja läpimittatietojen perusteella korjaustekijäyhtälöt kolmelle korkeudelle, 10, 40 ja 70%:n korkeudelle puun pituudesta. Näiden kolmen korjatun pisteen ja latvan kautta kulkevan kolmannen asteen korjauspolynomin kertoimet lasketaan yhteen perusyhtälön vastaavien kertoimien kanssa, jolloin saadaan tarkennettu runkokäyräyhtälö (Laasasenaho 1982, s. 24).

Kolmeen mittaustunnukseen perustuva yhtälö isoille puille muodostetaan laskemalla korjauspolynomi, joka yhtyy todelliseen runkokäyrään 1,3 ja 6 m:n korkeudella sekä latvassa. Lisäksi se kulkee yhden, puun pituudesta riippuvalle korkeudelle lasketun korjauspisteen kautta (Laasasenaho 1982, s. 25, 30).

Laasasenahon (1982) mallien laadinta-aineistoon perustuvat runkokäyrän läpimitta- ja tilavuusarvioiden luotettavuusluvut on esitetty tuonempana taulukossa 6 ja kuvassa 3, joissa niitä verrataan istutuskuusikkoaineistolla laskettuihin vastaaviin lukuihin.

Taulukko 3. Suhteellinen läpimitta puun eri korkeuksilla läpimittaluokittain istutuskuusikoissa ($d_{.2h} = 100$).

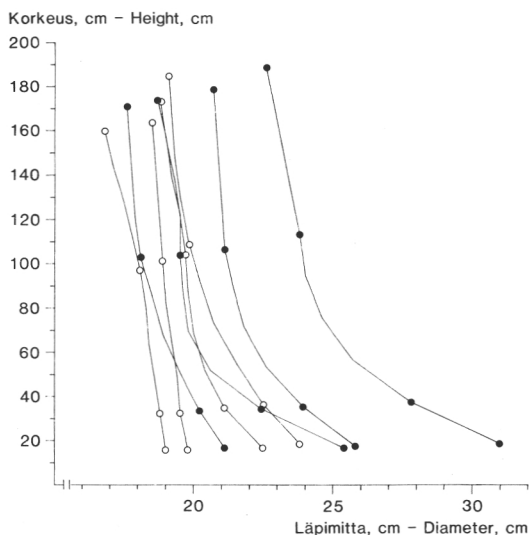
Ta ble 3. The relative diameters at different heights of planted spruce trees by dbh-classes ($d_{.2h} = 100$).

d, cm	Koeputia Number of sample trees	Suhteellinen korkeus, % Relative height							
		1	2	6	10	30	50	70	85
		Suhteellinen läpimitta — Relative diameter							
5—10	48	136	125	114	108	93	74	52	33
10—15	205	131	122	112	107	93	75	52	31
15—20	336	133	123	111	107	93	75	51	29
20—25	241	135	124	111	106	93	77	53	30
25—30	131	136	124	110	106	94	77	53	30
30—35	44	140	126	109	106	94	78	54	30
35—40	15	141	127	110	106	93	77	52	30
40—45	2	145	130	114	107	94	74	49	26
Σ	1022	134	123	111	107	93	76	52	30

4. TULOSTEN LASKENTA

41. Koepuiden tilavuuden laskenta

Istutuskuusikoista mitattujen koepuiden tarkka tilavuus laskettiin spline-funktioihin perustuvalla runkokäyrällä. Spline-funktioiden etu runkokäyrän muodostamisessa on se, että käyrä voidaan muodostaa useasta osasta, jotka kuitenkin muodostavat luonnollisen, jatkuvan kokonaisuuden. Spline-käyrä muodostettiin käyttämällä kaikkia yhdeksää mitattua osakorkeuden läpimittaa, ja tilavuus laskettiin käyrän pyörähdysintegraalina kannosta latvaan. Kannonkorkeus määritettiin puulajiin, läpimittaan ja pituuteen



Kuva 2. Koepuiden rungon tyviosalle (1—10 % puun pituudesta) spline-yhtälöillä muodostetut runkokäyrät. Esimerkki eräästä kahdeksan koepuuta käsittäneestä istutuskuusikosta. Mitatut läpimitat 1, 2, 6 ja 10 %:n korkeudella.

Fig. 2. Stem taper curves for the base section (1—10 % of tree height) constructed by means of spline functions. Example from a spruce plantation comprising eight sample trees. Measured diameters at the heights of 1, 2, 6 and 10%.

perustuvalla kannonkorkeusyhtälöllä, kuitenkin niin, että kanto oli vähintään 10 cm. Spline-funktioilla lasketun tilavuuden tarkkuutta ovat tarkastelleet esim. Lahtinen ja Laasasenaho (1979, s. 45) ja Laasasenaho (1982, s. 16).

Spline-funktioilla tehdyn tarkan runkokäyrän muoto tutkittiin yhdeltä koealalta mitatuista koepuista, koska alimpien mittauskorkeuksien epätasaiset välit (1, 2, 6 ja 10 %) voivat aiheuttaa runkokäyrän tyviosassa mutkittelua (ks. Lahtinen ja Laasasenaho 1979, s. 54). Runkokäyrien tyvi-osan muoto tutkittiin laskemalla läpimitta yhden prosentin (1—10 %) välein puun pituudesta. Tutkitut kahdeksan tyvettä on esitetty kuvassa 2. Kuvan mukaan runkokäyrän tyvi-osan muoto on käytetyllä menetelmällä looginen.

42. Tutkimusmenetelmä

Tämä tutkimus on tilastollinen testi, jossa Laasasenahon (1982) polynomirunkokäyrillä istutuskuusikoiden koepuille laskettuja tilavuuksia ja läpimittoja verrataan koepuiden tarkkaan tilavuuteen ja mitattuihin läpimitoihin. Todettuja eroja verrataan Laasasenahon omalla aineistolaan saamiin virhearvioihin. Puun muodon vaikutus tilavuusarvion tarkkuuteen selvitetään ja tarkastellaan virheen vaihtelua koealojen välillä ja sisällä.

Osa keskiarvojen eroista testattiin tilastollisesti. Tilastollinen merkitsevyys ja käytännöllinen merkittävyys eivät ole kuitenkaan sama asia. Viljelymetsäaineisto on niin suuri, että pienetkin erot keskiarvoissa voivat olla tilastollisesti merkitseviä, mutta erojen käytännöllinen merkitys riippuu tarkastelijasta. Esimerkiksi puun ostajalle voi riittää se, että tulos on keskimäärin oikea eri leimikoissa, kun myyjälle puolestaan on tärkeää, että juuri hänen leimikossaan saadaan oikea tulos.

Laskelmissa ei painotettu yksittäisen puun tilavuuden virhettä millään puun kokoa kuvaavalla tunnuksella. Sen tähden laskettiin erikseen tilavuuden virhe koko aineistossa sekä muotoluku-luokittain.

5. TULOKSET

51. Yksittäisen rungon tilavuusarvion tarkkuus

Luonnonmetsien puiden polynomirunkokäyräyhtälön (Laasasenaho 1982) istutuskuusille ennustaman tilavuuden virhe laskettiin vähentämällä runkokäyrän antamasta tilavuudesta todellinen tilavuus ja jakamalla erotus todellisella tilavuudella.

Taulukossa 4 on esitetty kahden ja kolmen tunnuksen yhtälöillä saatujen tilavuuksien virheiden keskiarvot, hajonnat ja tilastollista merkitsevyyttä mittaava testisuure t pituusluokittain. Luonnonmetsien kuusten runkokäyräyhtälöillä istutuskuusille saatu tilavuusarvio on kahta mittaustunnusta käyttäen

keskimäärin 1,38 % ja kolmella tunnuksella 0,40 % liian suuri. Virheen hajonnat ovat näillä yhtälöillä 6,19 ja 3,44 %.

Luonnonmetsäaineiston mukaan kuusen tilavuusarvion virhe oli kahden tunnuksen yhtälöllä 0,55 % ja sen hajonta 7,49 %, ja kolmen tunnuksen yhtälöllä vastaavasti 0,39 % ja 3,41 % (Laasasenaho 1982, s. 54). Lukuunottamatta kahden tunnuksen runkokäyräyhtälöllä saadun tilavuusarvion virheprosenttia yhtälöiden tarkkuutta osoittavat luvut ovat molemmilla aineistoilla samansuuruisia. Luonnonmetsäaineistossa nostavat runkokäyrien laadinnassa käytetyssä aineistossa mukana olleet aivan pienet, 1—4 m:n

Taulukko 4. Kahden ja kolmen tunnuksen polynomirunkokäyrillä istutuskuusille arvioitujen tilavuuksien virhekeskiarvot (\bar{x}) ja hajonnat (s) sekä testisuureet pituusluokittain.

Table 4. The mean errors (\bar{x}) of tree volume estimates in spruce plantations, their standard deviations (s) and t -values by height classes when using the polynomial stem taper curve models with two and three variables.

h, m	f(d,h)				f(d,d ₆ ,h)			
	N	\bar{x} , %	s, %	t	N	\bar{x} , %	s, %	t
4	1	1,00						
5	3	-1,37	4,95	-0,39				
6	2	5,30	11,21	0,47				
7	9	-2,01	4,65	-1,22	6	0,15	3,89	0,09
8	10	-1,39	4,37	-0,95	10	-0,79	5,63	-0,42
9	13	-0,13	8,97	-0,05	13	1,15	4,58	0,87
10	29	0,33	4,97	0,35	29	0,79	2,96	1,41
11	50	0,74	6,13	0,85	50	0,78	3,45	1,58
12	47	-0,33	5,42	-0,41	47	-0,05	2,78	-0,12
13	85	2,95	6,01	4,50	85	0,19	3,03	0,57
14	69	2,62	6,08	3,55	69	0,59	2,65	1,84
15	93	2,93	5,55	5,06	93	0,77	2,85	2,59
16	79	3,22	6,34	4,49	79	0,60	3,10	1,71
17	85	2,64	6,62	3,65	85	1,25	3,22	3,56
18	58	3,00	5,56	4,07	58	0,98	2,85	2,60
19	61	3,43	6,70	3,97	61	-0,32	3,51	-0,71
20	55	2,08	4,88	3,13	55	0,53	3,61	1,08
21	60	0,74	5,32	1,07	60	0,05	4,10	0,09
22	69	-1,50	5,76	-2,15	69	-0,78	3,63	-1,77
23	41	0,54	6,29	0,54	41	0,50	3,50	0,90
24	34	-1,53	6,48	-1,36	34	0,86	3,53	1,40
25	23	-1,74	4,82	-1,69	23	0,08	4,66	0,08
26	21	-3,12	5,63	-2,48	21	-1,08	4,39	-1,10
27	11	-5,05	4,69	-3,41	11	-0,36	4,80	-0,24
28	7	-2,44	7,81	-0,77	7	1,54	6,92	0,55
29	6	-1,45	5,91	-0,55	6	1,06	4,64	0,51
31	1	0,08			1	-0,47		
Σ	1022	1,38	6,19	7,12	1013	0,40	3,44	3,70

mittaiset puut kahden tunnuksen runkokäyrillä saatujen tulosten virheen hajontaa.

Testisuureet on laskettu kaavalla:

$$t = \frac{x - m}{s / \sqrt{N - 1}}$$

missä x = läpimittaluokan virhekeskiarvo
 m = virheen oletusarvo = 0
 s = virheen hajonta
 N = puiden lukumäärä luokassa

Virhe on riittävän normaalisti jakautunut, joten t-testiä voidaan käyttää.

Luonnonkuusikoiden puiden kahden tunnuksen runkokäyrä antaa keskimäärin 2–3 %:n yliarvion istutuskuusille, joiden pituus on 13–20 m. Ero on tilastollisesti merkitsevä alle 1 %:n riskillä. Yli 24 m pitkille istutuskuusille kahden tunnuksen runkokäyrä on antanut keskimäärin liian pienen tilavuuden, kun taas Laasasenaho (1982, s. 54) on todennut luonnonmetsien hyvin suurien puiden tilavuudessa systemaattisen yliarvion. Kolmen tunnuksen runkokäyrän istutuskuusille antamat pituusluokittaiset tilavuusarviot ovat muutamaa poikkeusta lukuunottamatta hieman liian suuria, mutta erot ovat lähellä nollaa. Virheen hajonta on molemmilla runkokäyrämalleilla puun koosta lähes riippumaton.

Istutuskuusien pituusluokittaiset virhekeskiarvot on esitetty edellisen taulukon lisäksi kuvassa 3, jossa niitä on verrattu luonnonmetsäaineistossa syntyneisiin virheisiin. Kuva 3 osoittaa, että vaikka eroja eri aineistojen välillä on, niin selvää systemaattista eroa ei synny viljely- ja luonnonkuusien tilavuuden arvioinnissa.

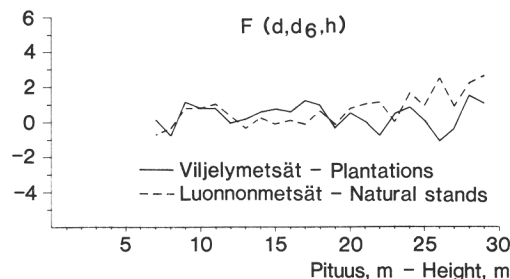
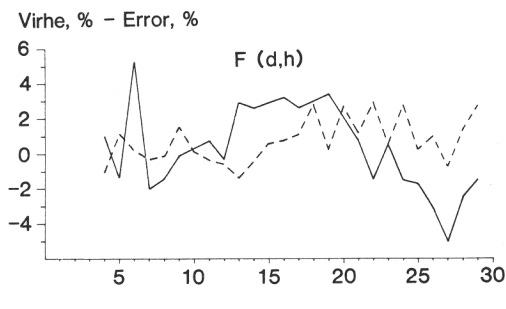
Runkokäyräyhtälöllä yksittäiselle istutuskuusirungolle saadun tilavuusarvion tarkkuus on esitetty taulukossa 5, jossa on esitet-

ty virheprosenttiluokittain puiden lukumäärä ja suhteellinen summafrequenssi. Kahden tunnuksen runkokäyrällä 56 %:lla istutuskuusista virhe oli 5,5 % tai vähemmän, ja kolmen tunnuksen käyrällä yli 81 % aineistosta mahtui saman rajan alle. Suurin virhe yksittäisen puun tilavuuden arvioinnin kahden tunnuksen käyrällä oli 28 % ja kolmen tunnuksen käyrällä 17 %.

Taulukko 5. Puiden lukumäärä (N) ja suhteellinen summafrequenssi (SF) virheprosenttiluokittain.

Table 5. The number of trees (N) and the relative sum frequency (SF) by classes of error percent.

Virhe, % Error	f(d,h)		f(d,d ₆ ,h)	
	N	SF	N	SF
1	78	7,6	124	12,2
2	129	20,3	212	33,2
3	139	33,9	216	54,5
4	108	44,4	171	71,4
5	117	55,9	102	81,4
6	80	63,7	77	89,0
7	88	72,3	48	93,8
8	66	78,8	33	97,0
9	41	82,8	17	98,7
10	53	88,0	4	99,1
11	24	90,3	6	99,7
12	24	92,7	1	99,8
13	21	94,7	—	—
14	10	95,7	1	99,9
15	13	97,0	—	—
16	9	97,8	—	—
17	6	98,4	1	100,0
18	4	98,8	—	—
19	4	99,2	—	—
20	2	99,4	—	—
21	1	99,5	—	—
22	1	99,6	—	—
23	2	99,8	—	—
24	1	99,9	—	—
28	1	100,0	—	—



Kuva 3. Runkokäyräyhtälöllä istutuskuusikoiden puiden runkotilavuuden arvioinnissa keskimäärin syntyvä virhe verrattuna luonnonmetsäaineistossa havaittuun vastaavaan virheeseen.

Fig. 3. The average error encountered in estimating the tree stem volume in spruce plantations by means of stem taper curve functions, compared with that observed in the material from natural stands.

52. Runkokäyrän ennustama läpimitta

Taulukossa 6 on esitetty istutuskuusten luonnonpuiden polynomirunkokäyrällä ennustettujen ja mitattujen läpimittojen erot eri osakorkeuksilla. Sekä kahden että kolmen tunnuksen käyrien ennustamat läpimitat puun tyvellä, 1 ja 2%:n korkeudella, ovat keskimäärin liian suuria. Yliarvio on yli 2 cm yhden prosentin ja noin 1,5 cm kahden prosentin korkeudella. Muilla korkeuksilla keskimääräiset erot ovat lähellä nollaa. Laasasenahon (1982, s. 50) aineistossa ei tyven ja rungon ylempien läpimittojen ennustamistarkkuudessa ollut eroja. Läpimitan virheen hajonta on koko rungon matkalla molemmissa aineistoissa yhtä suuri.

53. Tyven muoto ja tilavuus

Luonnonkuusikoiden runkokäyrämallit ennustivat istutuskuusten tyven läpimitan keskimäärin liian suureksi. Luonnonmetsäaineistossa 20%:n korkeuden läpimitalla ($d_{.2h}$) painotettujen yhden prosentin korkeuden läpimittojen keskiarvo suhteessa 20%:n korkeudella olevaan keskiläpimittaan oli 1,51 (Laasasenaho 1982, s. 28). Istutuskuusikkoaineistossa sama suhteellisten läpimittojen keskiarvo oli 1,34, ts. 11,2% pienempi. Esim. kahden tunnuksen yhtälöllä ennustettujen ja mitattujen läpimittojen ero yhden prosentin korkeudella oli 9,4%. Vajaan kahden prosenttiyksikön verran pystyy malli tasoittamaan aineistojen välistä eroa.

Rungon kapeneminen on aivan puun tyvellä voimakasta. Istutuskuusikkoaineistossa oli erotus $d_{.01h} - d_{.02h}$ keskimäärin 19,7 mm ja välillä $d_{.02h} - d_{.06h}$ 23,4 mm. Kannonkorkeuden alentaminen yhdestä puoleen prosenttiin puun pituudesta (esim. 20 m:n mittaisella puulla 10 cm) lisää kuusen runkopuun tilavuutta 2,1% (Laasasenaho 1982, s. 65). Pienetkin erot mittausten alkamispuolesta määrittämisessä vaikuttavat siten tyven läpimittoihin ja puun tilavuuteen. Mittausten alkamiskohdan määrittämishajonta oli viljelymetsäaineistossa ja Laasasenaholla samat (ks. emt. s. 10). Käytännössä on kuitenkin voinut olla eroja maanpinnan tason määrittämisessä.

Maanpinnan tason määrittämistavan lisäksi mahdollisia selityksiä tyven muodon erolle ovat seuraavat:

1. Viljelymetsäaineistosta, jossa ei ollut soita mukana, puuttuvat puut, jotka ovat maan painumisen myötä jääneet ikään kuin mättäälle ja joiden tyvellä on siten ollut tilaa laajentua. Luonnonmetsäaineiston maastotyöohjeissa oli erityisohjeet ojitetulla turvemaalla maanpinnan tason määrittämistä varten (Laasasenaho 1976, liite 1, s. 147).
2. Viljelymetsät ovat kasvaneet täystiheinä, joten niissä puiden tyven vahvistamisen tarve on pienempi kuin aukkoisissa luonnonmetsissä. Pohjapinta-alan keskiarvo oli viljelymetsäaineistossa peräti 32,1 m²/ha.
3. Blum on esittänyt (Larson 1963, 17), että luonnontilaisissa metsissä itämisalustana on usein vanha puunrunko tai kanto, joka lahotessaan antaa tilaa tyven laajentumiselle.

Puun tyven muotoon vaikuttavista tekijöistä on esitetty erilaisia tutkimustuloksia (esim. Lappi-Seppälä 1937, s. 11–16). Tyven muotoa on vaikea ennustaa. Siksi tilavuuden

Taulukko 6. Ennustettujen ja mitattujen läpimittojen erot (\bar{x}) sekä erojen hajonta (s) kahden ja kolmen tunnuksen runkokäyriä sovellettaessa luontaisesti syntyneissä ja istutetuissa metsiköissä.

Table 6. The differences between the estimated and true diameters (\bar{x}) and the standard deviations of differences (s) when using the stem taper curve models with two and three variables in natural and planted stands.

Viljelymetsät Plantations					Luonnonmetsät Natural forests				
h, %	f(d,h)		f(d,d _g ,h)		h, %	f(d,h)		f(d,d _g ,h)	
	\bar{x} ,cm	s,cm	\bar{x} ,cm	s,cm		\bar{x} ,cm	s,cm	\bar{x} ,cm	s,cm
1	2,27	1,82	2,24	2,90	1	-0,05	2,40	-0,14	2,54
2	1,49	1,05	1,47	1,81	2,5	0,17	1,30	0,16	1,35
6	-0,08	0,37	-0,07	0,38	5	-0,13	0,63	-0,17	0,65
10	-0,03	0,36	0,00	0,32	10	0,09	0,47	0,09	0,43
20	-0,10	0,51	-0,07	0,34	20	0,03	0,62	0,03	0,42
30	-0,01	0,59	0,00	0,34	30	0,03	0,70	0,04	0,39
50	-0,04	0,85	-0,11	0,56	50	0,02	0,89	0,03	0,57
70	0,07	0,93	-0,07	0,82	70	0,05	0,91	0,04	0,74
85	0,16	0,97	0,04	0,96	80	0,10	0,82	0,09	0,75
					90	-0,01	0,65	-0,02	0,64

virheestä suuri osa syntyy puun tyvellä. Tyven muodon merkityksen selvittämiseksi tehtiin eräitä laskelmia.

Tyveksi oletettiin väli kannosta viiden prosentin korkeudelle puun pituudesta. Tämän rungonosan tilavuus laskettiin sekä spline- että polynomirunkokäyrällä. Seuraavassa asetelmassa on esitetty koko rungon ja tyviosan tilavuuden virheen keskiarvo, hajonta ja keskiarvon t-arvo. Tyven tilavuuden virhe tarkoittaa tyven osalta syntyvän virheen suhdetta koko rungon tilavuuteen.

F (d, h)	Koko runko			\bar{x} , %	Tyvi s. %	t
	\bar{x} , %	s, %	t			
F (d, h) :	1,38	6,19	7,12	0,97	0,75	41,33
F (d, d ₆ , h) :	0,40	3,44	3,70	0,99	0,77	40,90

Tyven läpimitan yliarvioista aiheutuu keskimäärin yhden prosentin yliarvio koko puun tilavuuteen. Koko rungon keskimääräisestä tilavuuden virheestä on siten huomattava osa tyvestä johtuvaa.

Tyven tilavuuden virheprosentti riippuu puun koosta ja on suurin pienillä puilla. Seuraavat luvut kertovat erikokoisilla puilla tyven tilavuuden laskennassa syntyvän todellisen virheen:

Läpimitta, d	10	14	18	22	26	30	34	38 cm
Virhe:								
F (d, h)	0,5	1,2	2,2	3,3	4,5	5,1	5,8	6,5 dm ³
F (d, d ₆ , h)	0,6	1,2	2,3	3,1	4,3	4,5	4,9	5,3 dm ³

54. Puun runkomuodon vaikutus rungon tilavuuden virheeseen

Koska runkokäyrää kuvaavan polynomimallin rakentaminen perustui keskimääräi-

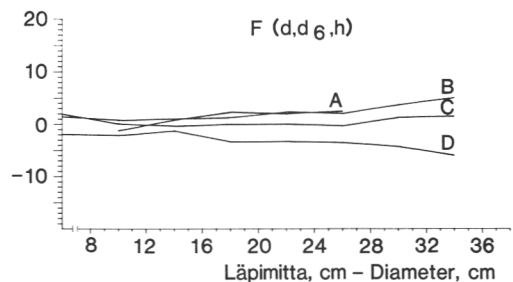
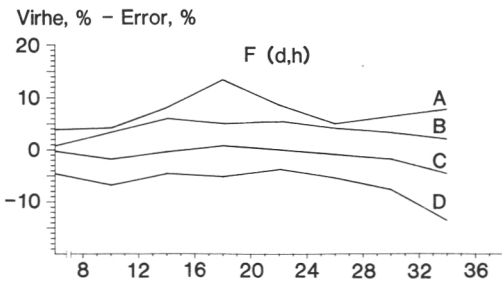
seen runkomuotoon (s. 14), on syytä olettaa, että se antaa runkomuodoltaan keskimääräisestä poikkeaville puille virheellisen tilavuuden. Käyttäen 10%:n korkeuden muotoluokaa (f_{1h}) muodon kuvaajana, laskettiin tilavuuden virhe muotolokuluokittain.

Kahden tunnuksen yhtälöllä virheen muotolokuluokittaiset erot ovat erittäin selvät, mutta myöskään kuuden metrin läpimitta ei täysin selitä rungon yläosan muotoa (kuva 4). Tilavuuden virheprosentin ja muotoluvun f_{1h} välinen korrelaatiokerroin oli kahden tunnuksen runkokäyrällä $-0,636$. Kuuden metrin läpimitan mukanaolo runkokäyrämallissa alensi korrelaatiokerroimen $-0,419$:ksi.

Kuvassa 5 on esitetty runkokäyrämallilla saatujen ja mitattujen läpimittojen erot eri osakorkeuksilla muotolokuluokittain. Kahden tunnuksen malli ennustaa 6 ja 10%:n korkeuksien läpimitat melko tarkasti, sillä rinnankorkeus osuu useimmilla puilla tuolle välille. Kolmen tunnuksen malli ennustaa vielä 20 ja 30%:n korkeuksien läpimitat lähes tarkalleen, koska d_6 sattuu niiden lähelle. Näitä ylemmät läpimitat saavat puun muodosta riippuvan yli- tai aliarvion.

Muotoluvun f_{1h} riippuvuus eräistä puu- ja metsikkötunnuksista on seuraavaan asetelman mukainen (r = korrelaatiokerroin).

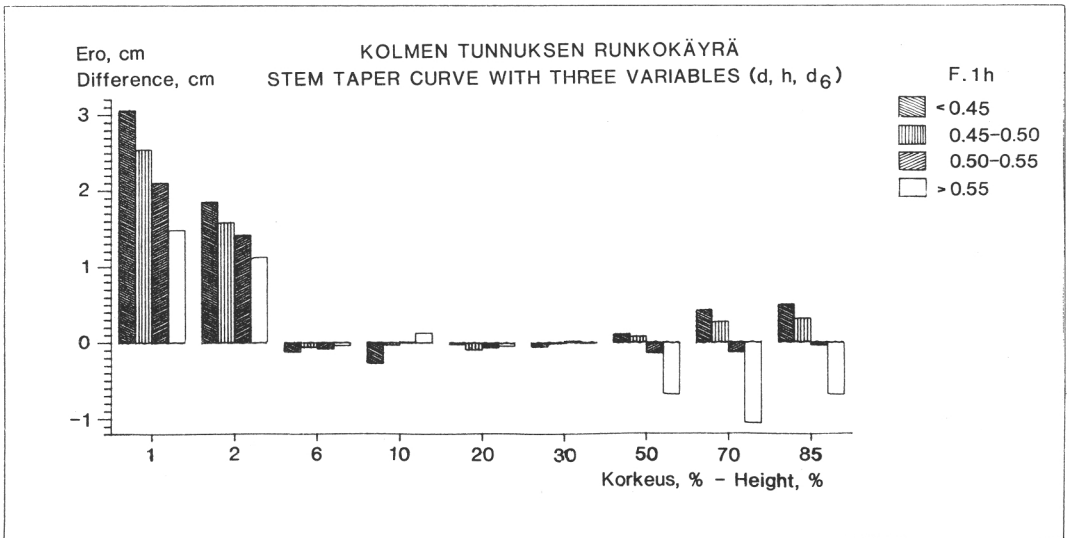
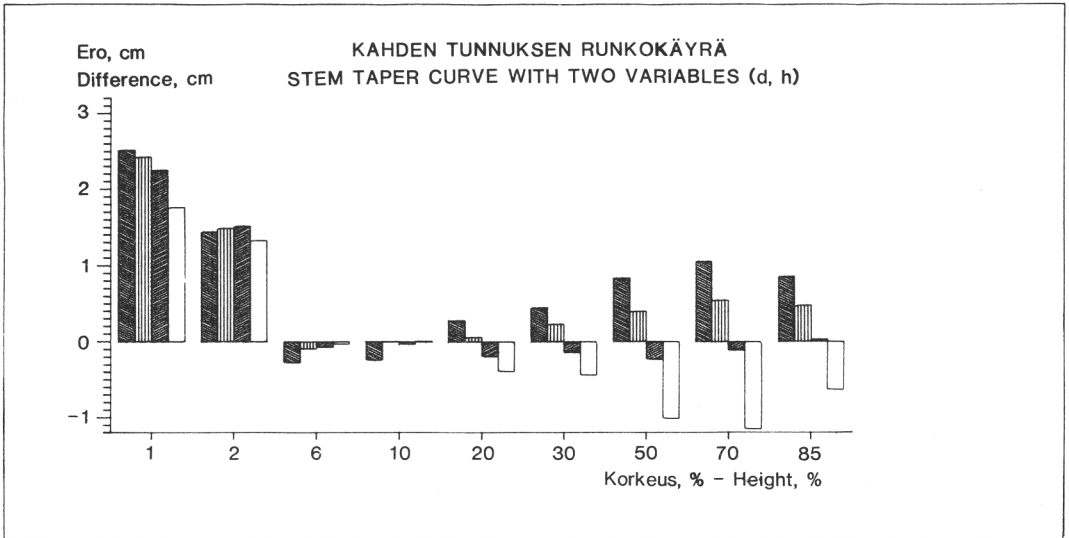
	r
1. kapeneminen	-0,711
2. latvuksen alaraja	0,536
3. ikä	0,519
4. pituus	0,441
5. latvussuhde	-0,431
6. rinnankorkeuden läpimitta	0,212
7. pohjapinta-ala	0,134
8. lämpösumma	0,134



Kuva 4. Runkokäyräyhtälöllä erikokoisille puille ennustetun runkotilavuuden systemaattinen virhe muotolokittain

Luokat A = $f_{1h} < 0,45$ C = $0,50 < f_{1h} < 0,55$
 B = $0,45 < f_{1h} < 0,50$ D = $f_{1h} > 0,55$

Fig. 4. The average error encountered in the volume estimation of trees of varying form classes (f_{1h}) and sizes by means of stem taper curve functions. Classes A, B, C and D as given above.



Kuva 5. Ruokokäyräyhtälöillä ennustettujen läpimittojen poikkeavuus mitatuista läpimitoista muotoluokittain (f_{1h}).

Fig. 5. The difference between the diameters estimated by the stem taper curve functions and those measured in the field, by form classes (f_{1h}).

55. Koko aineiston tilavuusarvion tarkkuus

Seuraavassa asetelmassa on esitetty spline-funktioilla ja runkokäyräyhtälöillä laskettu kaikkien viljelymetsäaineiston koepuiden yhteinen runkotilavuus. Ylemmällä rivillä ovat mukana kaikki puut ja runkokäyrätilavuus (rk) on laskettu kahden tunnuksen runkokäyrällä. Alemmalla rivillä ovat puut, joiden pituus on yli 7,1 m, ja niiden tilavuus on laskettu kolmen tunnuksen käyrällä.

	N	V (spl) m ³	V (rk) m ³	Ero-%
Kaikki puut	1022	322,698	322,116	-0,18
h > 7,1 m	1013	322,522	323,639	0,32

Molemmilla malleilla on saatu lähes tarkalleen oikea tulos. Kahden ja kolmen tunnuksen runkokäyrien tarkkuudessa ei näin suuressa ja keskimääräisessä aineistossa ole eroja. Laasasenahon (1982, s. 54) tutkimuksessa koko aineiston puiden tilavuuden virheprosentit olivat kahden tunnuksen käyrällä

0,61 ja kolmen tunnuksen käyrällä 0,77. Kokonaistilavuuden ennuste on siis viljelymetsä-aineistossa tätä tarkempi. Laasasenaho selittää kokonaistilavuuden virheen omassa tutkimuksessaan syntyvän siitä, että yhtälöt antavat isoille kuusille liian suuren tilavuuden. Tämän tutkimuksen aineistolla saadut tulokset eivät kuitenkaan tue tätä (taulukko 3, s. 6). Muotolukuluokittain kokonaistilavuuden virheprosentit ovat taulukon 7 mukaiset.

Taulukko 7. Istutuskuusten tilavuusarvion suhteellinen virhe muotoluokittain.

Table 7. The relative error of volume estimates in spruce plantations by form classes.

$f_{1,h}$	N	$f(d,h)$ Error, %	N	$f(d,d_6,h)$ Error, %
<0,45	53	9,07	49	3,65
0,45—0,50	366	4,87	361	1,70
0,50—0,55	487	—0,99	487	0,37
>0,55	116	—5,52	116	—3,12

6. TILAVUUSARVION TARKKUUS ERILAISISSA METSIKÖISSÄ

61. Tilavuuden virheen vaihtelu koealojen sisällä ja välillä

Luonnonkuusten runkokäyräyhtälöillä istutuskuusille saatujen tilavuusarvioiden virheen vaihtelu koealojen sisällä ja välillä tutkittiin erikseen. Hajonnat olivat seuraavan asetelman mukaiset:

	$f(d,h)$	$F(d,d_6,h)$
Koealojen sis. hajonta	5,33	3,08
Koealojen väl. hajonta	3,15	1,54
Kokonaishajonta	6,19	3,44

Sisäisen ja ulkoisen vaihtelun suhde, joka on kahden tunnuksen mallilla 1,69, nousee 2,00:aan, kun mallissa on ylempi läpimitta. Koealojen välinen vaihtelu pienenee 51%, mutta kun kapenemisen mukanaolo mallissa pienentää myös sisäistä vaihtelua (42%), näiden kahden vaihtelun suhde pysyy lähes ennallaan.

Taulukko 8. Runkokäyrämallilla lasketun tilavuuden virheen (= koealan puiden virheprosenttien keskiarvo) riippuvuus eri tekijöistä.

Table 8. The correlation between the error of volume estimate (average for each stand) and some stand characteristics.

Tunnus	$f(d,h)$	$f(d,d_6,h)$
Characteristic	r	
ikä, A	—0,496	—0,422
keskiläpimitta, \bar{d}	—0,353	—0,209
runkoluku, N	0,340	0,190
keskipituus, \bar{h}	—0,295	—0,256
kapeneminen — taper	0,286	0,157
lavussuhde — crown ratio	0,194	0,263
pohjapinta-ala, G	0,182	0,031
lämpösumma, dd	—0,108	—0,026

Kilkki (1983) on esittänyt, että latvusraja sekä metsikkötunnukset, kuten ilmastovyöhyke, boniteetti ja puuston rakenne, voisivat metsiköiden välisen vaihtelun selittäjinä korvata kapenemisen rungon muodon kuvaajana.

Taulukko 8 antaa suuntaviivoja siitä, miten kapeneminen, latvussuhde ja eräät metsikkötunnukset selittävät runkokäyrämallilla saatavan tilavuusarvion virheen metsikkökohtaista vaihtelua (puukohtaisen virheen vaihtelun selittäjät s. 14).

Ikä, joka oli yksittäisen rungon muodon selittäjänäkin melko hyvä, osoittautui koealojen välisen virheen selittäjänä parhaaksi metsikkötunnukseksi. Mitään muunnoksia tai yhdistelmämuuttujia ei kokeiltu.

62. Virheen riippuvuus metsikkötunnuksista

Tilavuusarvioiden tarkastelu osoitti, että tarkkuus riippuu puun muodosta. Käytännön puunmittaustilanteissa kuutioitavalla puujoukolla on usein yhteisiä rungon muotoon vaikuttavia tekijöitä, kuten kasvupaikan laatu, metsikön tiheys, ikä, ilmasto ja latvuseros (harvennuksissa). Puujoukon jokaisen puun tilavuuteen voi siten tulla muodosta johtuva virhe. Sen tähden valittiin joitakin metsikkö- ja puukohtaisia tunnuksia, joiden suhteen aineisto luokiteltiin. Kuvassa 6 on esitetty sekä kahden että kolmen tunnuksen runkokäyrämalleilla lasketun tilavuuden virheprosenttien keskiarvot metsikkö- ja puutunnusluokittain.

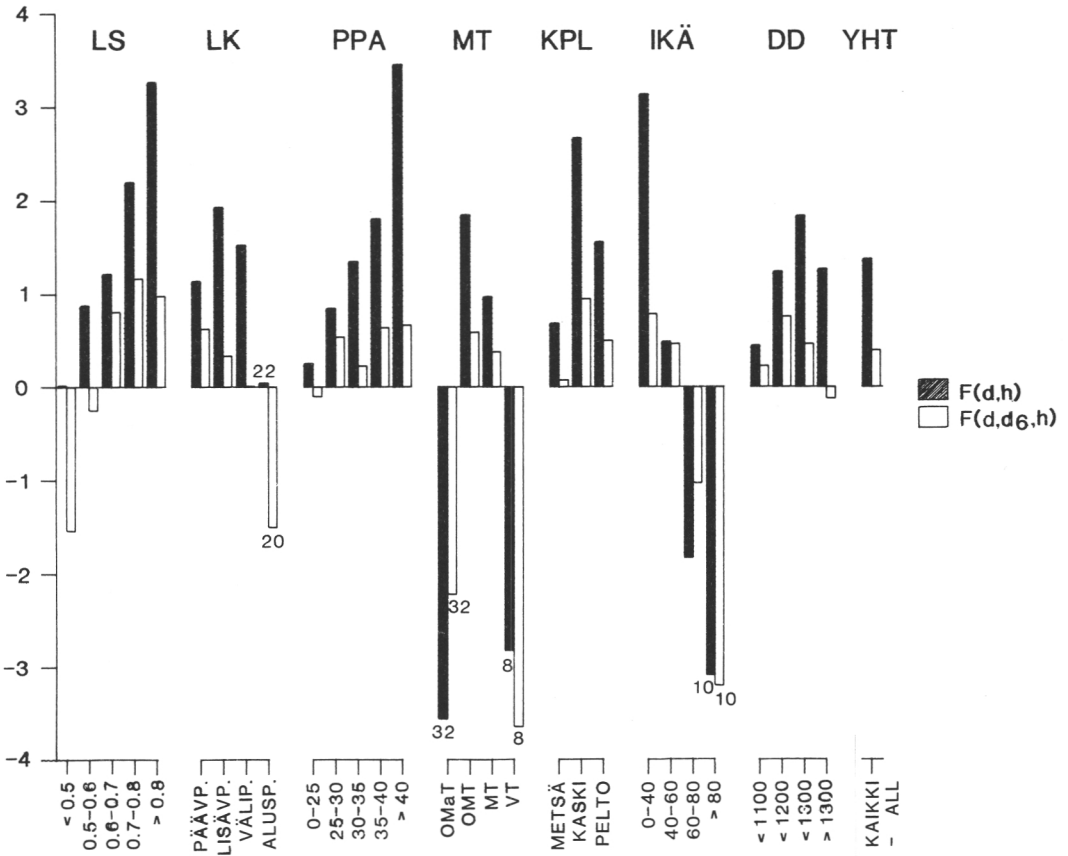
Kuvasta voidaan päätellä seuraavaa:

- Poikkeamat nolasta ovat vähäisiä, kun havaintoja on yli 50.
- Virhe on kolmen tunnuksen runkokäyrällä saman suuntainen mutta pienempi kuin kahden tunnuksen mallilla. Poikkeuksena ovat luokat, joissa puiden määrä on vähäinen.
- Suurimmat luokittaiset erot syntyvät latvussuhteesta, pohjapinta-alasta ja ikäluokasta. Näiden sekä $f_{1,h}$:n väliset korrelaatiokertoimet ovat:

	latvus- suhde	ppa	ikä	$f_{1,h}$
latvus- suhde	1,000			
ppa	-0,443	1,000		
ikä	-0,280	0,059	1,000	
$f_{1,h}$	-0,431	0,134	0,519	1,000

- Latvuserkos vaikuttaa virheen suuruuteen vain vähän. Harvennuksissa ja päätehakuissa saadaan siis yhtä tarkkoja tuloksia.
- Entisillä pelloilla kasvavat puut eivät poikkea muoltoltaan metsämaan puista.
- Lämpösommalla mitattu ilmasto ei vaikuta tilavuuden tarkkuuteen.

Virhe, % - Error, %



Kuva 6. Kahden ja kolmen muuttujan runkokäyräyhdyntäillä arvioitujen runkotilavuuksien keskimääräinen virhe latvussuhde (LS)-, latvuserkos (LK)-, pohjapinta-ala (PPA, m²/ha)-, metsätyyppi (MT)-, kasvupaikka (KPL)-, ikä (IKÄ, v)- ja lämpösommaluokittain (DD, dd).

Fig. 6. The average error of the tree volumes according to the stem taper curve functions with two and three variables by classes of crown ratio (LS), crown canopy (LK), basal area (PPA), site type (MT), site category (KPL), age (IKÄ) and degree days (DD).

7. TIIVISTELMÄ

Kylvö ja istutus ovat yleistyneet metsänuudistusmenetelminä Suomessa niin, että huomattava osa maamme metsistä on viljelmällä syntyneitä. Viljelymetsien hakkuiden lisääntymisen ja viljelymetsiin kohdistuvan tutkimuksen vuoksi oli tarpeen selvittää yleiseen käyttöön otettujen luonnonmetsien runkokäyrämallien tarkkuus viljelymetsien puiden tilavuuden laskennassa.

Tutkimusaineistona käytettiin aikaisemmin kerättyä aineistoa (Vuokila ja Väliaho 1980). Mukana oli 1022 istutuskusikoista mitattua koepuuta, joista oli mitattu läpimitta yhdeksältä suhteelliselta korkeudelta. Koepuiden tarkka tilavuus laskettiin näiden yhdeksän pisteen kautta kulkevan spline-runkokäyrän avulla. Tätä tarkkaa tilavuutta ja mitattuja läpimittoja verrattiin sekä kahden (d, h), että kolmen (d, d₆, h) tunnuksen runkokäyrämalleilla (Laasasenaho 1982) saatuihin tilavuuksiin ja rungon läpimittoihin.

Laasasenahon (1982) luonnonmetsistä kerättyyn aineistoon perustuvat tilavuuden laskentamallit osoittautuivat varsin tarkoiksi myös viljelykusikoiden puiden tilavuuden arvioinnissa. Yksittäiselle rungolle lasketun runkotilavuuden virhe oli keskimäärin 1,38 % käytettäessä kahta mittaustunnusta ja 0,40 % kolmella tunnuksella. Aineiston kaikkien koepuiden yhteenlasketun runkotilavuuden virheet olivat vastaavasti 0,18 ja -0,32 %. Suurimmat yksittäisen rungon tilavuuden virheet olivat 28 ja 17 %. Kahden tunnuksen mallilla saatu virheprosenttien keskiarvo oli hieman suurempi kuin mitä Laasasenaho (1982) sai malliensa laadintaan käyttämälleen aineistolla. Muuten em. luotettavuustunnukset olivat molemmissa aineistoissa samaa suuruusluokkaa.

Puun tyvellä, yhden ja kahden prosentin korkeudella puun pituudesta, syntyi suurin systemaattinen ero ko. runkokäyrämalleilla istutuskusikoille laskettujen ja niiden mitattujen läpimittojen välillä. Tyviosan läpimittojen yliarvion vuoksi syntyi sen tilavuuteen virhe, joka oli keskimäärin 1,0 % koko puun tila-

vuudesta, ts. suurempi kuin rungon muun osan tilavuuden arvioinnissa syntynyt keskimääräinen virhe, kun tyveksi laskettiin 5 %:n korkeuden alapuolella oleva rungon osa. Yksittäisen puun ja metsikön runkotilavuuden arviointivirhe riippui puun muodosta. Kun muototunnuksena käytettiin muotolukua f_{1h}, muodon ja tilavuuden virheen välinen korrelaatio oli kahteen tunnukseen perustuvalla runkokäyrällä -0,636 ja kolmen tunnuksen runkokäyrällä -0,419. Runkomuodon selittivät mitatuista muuttujista parhaiten puun kapeneminen, latvuksen alaraja, ikä ja pituus.

Koealojen sisäisen tilavuusarvion virheen vaihtelu oli sekä kahden että kolmen tunnuksen mallilla noin kaksinkertainen koealojen väliseen vaihteluun verrattuna. Koealojen välistä vaihtelua selittivät parhaiten puiden ikä, keskiläpimitta, runkoluku, keskipituus, keskimääräinen kapeneminen ja latvussuhde. Metsätyyppi, kasvupaikkaluokka, lämpösumma ja latvuserkos eivät selittäneet runkomuotoa eivätkä tilavuuden virhettä kovin paljon. Tulos on osittain samansuuntainen Lappi-Seppälän (1937, s. 59) mäntyä ja koivua koskevassa tutkimuksessaan esittämien tulosten kanssa. Lappi-Seppälä tuli siihen tulokseen, että kasvupaikan laatu ei vaikuta runkomuotoon, mutta että puun asema metsikössä on eräs tärkeimpiä runkomuotoon vaikuttavia tekijöitä. Muototunnuksina hän käytti muotosuhteita ja solakkuutta.

Merkittävin virhe runkokäyrämallien antamissa tilavuusarvioissa syntyi nuorissa metsiköissä kahden tunnuksen runkokäyrällä. Alle 40-vuotiaille puille (toisaalta myös 13—20 m:n mittaisille) malli antoi noin kolme prosenttia liian suuren tuloksen.

Edellä esitetystä huomautuksista huolimatta voidaan päätellä, että Laasasenahon (1982) runkokäyräyhtälöt ja niillä lasketut taulukot (Laasasenaho ja Snellman 1983) soveltuvat myös viljelymetsiköiden puiden tilavuuden arviointiin.

KIRJALLISUUS

- Cajander, A. K. 1909. Ueber Waldtypen. Acta For. Fenn. 1.1: 1—175.
- Ilvessalo, Y. 1947. Pystypuiden kuutioimistaulukot. Commun. Inst. For. Fenn. 34.4: 1—149.
- Kilki, P. 1983. Kannattaako kapenemista mitata. Met-sä ja Puu 9: 16—18.
- Laasasenaho, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutioimisytälöt. Metsänarvioimistieteen lisensiaattitutkimus. Helsingin yliopisto. Konekirjoite. 109 s.
- 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Commun. Inst. For. Fenn. 108: 1—74.
- & Snellman, C.-G. 1983. Männyn, kuusen ja koivun tilavuustaulukot. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 113: 1—91.
- Lahtinen, A. & Laasasenaho, J. 1979. On the construction of taper curves by using spline functions. Commun. Inst. For. Fenn. 95.8: 1—63.
- Lappi-Seppälä, M. 1937. Tutkimuksia männyn ja koivun runkomuodosta. Acta For. Fenn. 44: 1—61.
- Larson, P. 1963. Stem form development of forest trees. Forest Science-Monograph 5—1963. A Publication of the Society of American Foresters.
- Vuokila, Y. 1960. Männyn runkomuodon kehityksestä. Metsätal. Aikakausi. 9: 306—308.
- & Väliho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatustallit. Commun. Inst. For. Fenn. 99.2: 1—271.

Total of 11 references

ODC 524.1+526.5+174.7 *Picea abies*
ISBN 951-40-0669-0
ISSN 0015-5543

VUOKILA, Y., LAASASENAHO, J. & IHALAINEN, A. 1984. Luonnonmetsien puiden runkokäyrämallien tarkkuus vijelykuukoissa. Abstract: The accuracy of stem taper curve functions for natural trees in spruce plantations. *Folia For.* 596: 1—16.

The report is a test of the stem taper curve functions for estimation of tree cubic volume in natural stands (Laasaseno 1982), if applied in spruce plantations. The test material consists of 1022 sample trees from plantations located in the southern part of Finland.

The main conclusion is that the functions are equally applicable in natural and planted stands of Norway spruce (*Picea abies*). The statistical characteristics are in both cases practically the same. The main difference was found at the relative heights of 1—2 per cent from the base at which the functions in question result in a significant overestimation of stem diameters of planted spruces.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 524.1+526.5+174.7 *Picea abies*
ISBN 951-40-0669-0
ISSN 0015-5543

VUOKILA, Y., LAASASENAHO, J. & IHALAINEN, A. 1984. Luonnonmetsien puiden runkokäyrämallien tarkkuus vijelykuukoissa. Abstract: The accuracy of stem taper curve functions for natural trees in spruce plantations. *Folia For.* 596: 1—16.

The report is a test of the stem taper curve functions for estimation of tree cubic volume in natural stands (Laasaseno 1982), if applied in spruce plantations. The test material consists of 1022 sample trees from plantations located in the southern part of Finland.

The main conclusion is that the functions are equally applicable in natural and planted stands of Norway spruce (*Picea abies*). The statistical characteristics are in both cases practically the same. The main difference was found at the relative heights of 1—2 per cent from the base at which the functions in question result in a significant overestimation of stem diameters of planted spruces.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

Tilaan kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND



Folia Forestalia _____

Communicationes Instituti Forestalis Fenniae _____

Huomautuksia

Remarks _____

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoeasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (991) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

1983

- No 572 Korhonen, Kirsi-Marja, Teivainen, Terttu, Kaikusalo, Asko, Kananen, Aino & Kuhlman, Eeva: Lapinmyyrän aiheuttamien tuhojen esiintyminen Pohjois-Suomen mäntymetsissä huippuvuoden 1978 jälkeen.
Occurrence of damage caused by the root vole (*Microtus oeconomus*) on Scots pine in northern Finland after the peak year 1978.
- No 573 Jokinen, Katriina: Metsänlannoituksen vaikutus juurikäävän esiintymiseen — Kirjallisuuskatsaus.
The effect of fertilization on the occurrence of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. — A literature review.
- No 574 Sevola, Yrjö: Metsähallinnon Nurmeksens hoitoalueen voimaperäinen puunkasvatus: Seurantajärjestelmä ja tuloksia.
Intensive timber growing in a state forest district: Monitoring system and results.
- No 575 Nepveu, Gerard & Velling, Pirkko: Rauduskoivun puuaineen laadun geneettinen vaihtelu.
Individual genetic variability of wood quality in *Betula pendula*.
- No 576 Gustavsen, Hans Gustav & Fagerström, Håkan: Brösthöjdsformalets variation i tall-, gran- och björkbestånd.
The variation of the breast height form factor for pine, spruce and birch stands in Finland.
Männyn, kuusen ja koivun muotolukujen vaihtelu.
- No 577 Laakkonen, Olavi, Keipi, Kari & Lipas, Erkki: Typpilannoituksen kannattavuus varttuneissa kangasmetsissä.
Profitability of nitrogen fertilization in mature forests on mineral soils.
- No 578 Vuollekoski, Martti: Hydrostaattisella voimansiirrolla varustetun kaivurin soveltuvuus metsäojien perkaukseen.
Evaluation of a specially developed excavator for forest ditch cleaning.
- No 579 Lähde, Erkki, Högnäs, Bo, Jaakkola, Aimo & Huuri, Olavi: Tall- och granplanteringarnas utveckling på Åland.
Männyn ja kuusen istutuksen onnistuminen Ahvenanmaalla.
The success of Scots pine and Norway spruce planting in the Åland Islands.

1984

- No 580 Paavilainen, Eero & Tiihonen, Paavo: Etelä- ja Keski-Suomen suomensäät vuosina 1951—1981.
Peatland forests in southern and Central Finland in 1951—1981.
- No 581 Sirén, Matti: Tutkimustuloksia Norcar HT-440 Turbo harvennustraktorista.
Study results of Norcar HT-440 Turbo thinning tractor.
- No 582 Kohmo, Ilkka: Lehtipuuston runkolukusarjat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueilla 1977—1982.
Statistics on the deciduous growing stock in the Forestry Board Districts of South Finland during the period 1977 to 1982.
- No 583 Saksa, Timo & Lyly, Olavi: Istutustiheyden vaikutus nuoren männikön kehitykseen kuivalla kankaalla.
The effect of stocking density on the development of young Scots pine stands on a dry heath.
- No 584 Kalaja, Hannu: An example of terrain chipping system in first commercial thinning.
Esimerkki ensiharvennuspuun korjuusta palstahaketusmenetelmällä.
- No 585 Kaunisto, Seppo & Tukeva, Jorma: Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuasteen männikoissä.
Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs.
- No 586 Hakkila, Pentti: Forest chips as fuel for heating plants in Finland.
Metsähake lämpölaitosten polttoaineena Suomessa.
- No 587 Jalkanen, Risto & Kurkela, Timo: Männynversoruston aiheuttamat vauriot ja varhaiset pituuskasvutappiot.
Damage and early height growth losses caused by *Melampsora pinitorqua* on Scots pine.
- No 588 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin perusteella.
Growth variation in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala and Pohjois-Savo according to the 7th National Forest Inventory.
- No 589 Paavilainen, Eero: Typpi ja hivenravinteet ojitettujen rämeiden jatkolannoituksessa.
Nitrogen and micronutrients in the refertilization of drained pine swamps.
- No 590 Metsätalastollinen vuosikirja 1983.
Yearbook of Forest Statistics, 1983.
- No 591 Elovirta, Pertti & Ihalainen, Ritva: Metsä- ja maatalousammatit nuorten ammattisuunnitelmissa.
Young people's professional plans in forestry and agriculture.
- No 592 Lilja, Arja: Ilmavintäisen sinistymisen aiheuttajista ja eräiden fungisidien tehosta niiden torjunnassa.
Fungi causing air-borne sap stain in wood and efficiency of some fungicides against them.
- No 593 Parviainen, Jari: Männyn taimilajien menestyminen eri tavoin muokatuilla uudistamisaloilla.
The success of different types of pine nursery stock on regeneration sites prepared in different ways.
- No 594 Mäki, Elina: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1982.
Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1982 by districts.
- No 595 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1983.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1983.
- No 596 Vuokila, Yrjö, Laasasenaho, Jouko & Ihalainen, Antti: Luonnonmetsien puiden runkokäyryämien tarkkuus viljelykuusikoissa.
The accuracy of stem taper curve functions for natural trees in spruce plantations.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Institutii Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonteista koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17341

ISBN 951-40-0669-0
ISSN 0015-5543