

# FOLIA FORESTALIA 652

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1986

---

MARTTI VARMOLA & ERKKI VUOKILA

---

PIENTEN MÄNTYJEN TILAVUUSYHTÄLÖT  
JA -TAULUKOT

---

TREE VOLUME FUNCTIONS AND TABLES  
FOR SMALL-SIZED PINES

---



METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

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

Puhelin: (90) 661 401  
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyssönen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Tommi Salonen

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 kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n.150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen 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 ten 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 652

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1986

Martti Varmola & Erkki Vuokila

PIENTEN MÄNTYJEN TILAVUUSYHTÄLÖT JA -TAULUKOT

Tree volume functions and tables for small-sized pines

*Approved on 28.2.1986*

VARMOLA, M. & VUOKILA, E. 1986. Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöt ja -taulukot. Summary: Tree volume functions and tables for small-sized pines. *Folia For.* 652: 1—24.

Tutkimuksessa tarkastellaan eri vaihtoehtoja pienten mäntyjen tilavuuden määrittämiseksi pituuden ja suhteellisilta korkeuksilta mitattujen läpimittojen avulla. Aineiston muodostaa 1283 alle 6 m:n pituista tainta ja riukuvaiheen puuta. Yhtälöt esitetään runkopuun kokonaistilavuudelle sekä maanpinnan tasosta alkaen että käyttöpuulle 10 cm:n kannosta alkaen kuorellisina ja kuorettomina. Pituuteen perustuvien yhtälöiden keski-  
virhe on  $\pm 37$ — $39$  %, läpimittaan  $d_{,5h}$  perustuvien  $\pm 25$ — $28$  %, pituuteen ja läpimittaan  $d_{,2h}$  perustuvien  $\pm 6,2$ — $8,9$  % ja pituuteen sekä läpimittoihin  $d_{,1h}$  ja  $d_{,4h}$  perustuvien  $\pm 3,8$ — $7,7$  %. Käytettäessä yhtälöitä testimateriaalin 6—10 m:n pituisten puiden tilavuuden määrittämiseen systemaattiset virheet vaihtelivat yhtälöstä riippuen  $-3,5$  %:sta  $+0,8$  %:iin. Verrattuna kookkaiden mäntyjen tilavuusyhtälöihin parhaimmat tilavuutta selittävät läpimitat sijaitsevat keskimäärin 10 %-yksikköä alempana rungossa.

Different alternatives for estimating the volume of small-sized pines by using height and relative-height diameters are discussed. The material consists of 1283 Scots pines under 6 m. Volume functions and tables are presented for both whole stemwood volume above the ground level and stemwood volume from 10 cm over the ground level incl. and excl. bark. The standard error of functions based on height is  $\pm 37$ — $39$  %, on  $d_{,5h}$   $\pm 25$ — $28$  %, on height and  $d_{,2h}$   $\pm 6,2$ — $8,9$  % and on height,  $d_{,1h}$ , and  $d_{,4h}$   $\pm 3,8$ — $7,7$  %. The biases in the test material of 6 to 10 m high pines vary from  $-3,5$  to  $+0,8$  % depending on the function used. In comparison with the Finnish volume functions for tall pines the most effective relative-height diameters for predicting the volume of small-sized pines are situated about 10 %-units lower in the stem.

ODC 524 + 525.1 + 526.5  
ISBN 951-40-0735-2  
ISSN 0015-5543

Helsinki 1986. Valtion painatuskeskus

## SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	5
2. TUTKIMUSAINEISTO .....	6
21. Mittaukset .....	6
22. Koepuiden tilavuuden laskenta .....	7
3. TILAVUUSYHTÄLÖIDEN LAADINTA .....	8
31. Tavoitteet .....	8
32. Mallityypit ja muuttujat .....	8
4. TILAVUUSYHTÄLÖT .....	9
41. Yleistä .....	9
42. Yhden muuttujan yhtälöt .....	9
421. Pituuteen perustuvat yhtälöt .....	9
422. Yhteen läpimittaan perustuvat yhtälöt .....	10
43. Kahden muuttujan yhtälöt .....	10
44. Kolmen muuttujan yhtälöt .....	11
5. TULOSTEN TARKASTELU .....	12
51. Oma aineisto .....	12
52. Testiaineisto .....	13
53. Laasasenahon yhtälöt .....	14
54. Mittausvirheiden merkitys .....	15
6. TILAVUUSTAULUKOT .....	17
7. PÄÄTELMÄT .....	18
8. YHTEENVETO .....	19
KIRJALLISUUS—REFERENCES .....	20
SUMMARY .....	20
LIITE—APPENDIX .....	21

## MERKINNÄT—SYMBOLS

$b_b$	= mittausten harhaisuuteen liittyvä tilavuusestimaatin harha, % <i>bias due to biased measurements, %</i>	$s_s$	= otannasta aiheutuva keskivirhe <i>standard error due to sampling</i>
$b_f$	= tilavuusyhtälöön liittyvä harha, % <i>bias due to volume function, %</i>	$v$	= runkopuun todellinen tilavuus kuorineen tai kuoretta, $dm^3$ <i>actual stemwood volume of a tree incl. or excl. bark, <math>dm^3</math></i>
$d$	= läpimitta rinnantasalla kuorineen, cm <i>diameter at breast height incl. bark, cm</i>	$v_b$	= runkopuun tilavuus kuorineen maanpinnan tasolta (0 %) alkaen, $dm^3$ <i>volume of stemwood above ground level (0 %) incl. bark, <math>dm^3</math></i>
$d_6$	= läpimitta 6 m:n korkeudella, cm <i>diameter at a height of 6 m, cm</i>	$v_f$	= tilavuusyhtälöllä laskettu runkopuun tilavuus, $dm^3$ <i>volume of stemwood estimated with volume function, <math>dm^3</math></i>
$d_{,xh}$	= läpimitta kuorineen suhteellisella tai absoluuttisella korkeudella $x$ , cm <i>diameter incl. bark at the relative or absolute height <math>x</math>, cm</i>	$v_{fb}$	= harhaisilla muuttujien arvoilla laskettu runkopuun tilavuus, $dm^3$ <i>volume of stemwood estimated with biased variables, <math>dm^3</math></i>
$f$	= puun muotoa kuvaava rinnankorkeusmuotoluku <i>breast height form factor</i>	$vk_b$	= runkopuun tilavuus kuorineen 10 cm:stä alkaen, $dm^3$ <i>volume of stemwood from 10 cm above ground level incl. bark, <math>dm^3</math></i>
$g$	= puun poikkileikkauspinta-ala kuorineen rinnantasalla, $cm^2$ <i>cross-sectional area of tree at breast height incl. bark, <math>cm^2</math></i>	$vk_u$	= runkopuun tilavuus kuoretta 10 cm:stä alkaen, $dm^3$ <i>volume of stemwood from 10 cm above ground level excl. bark, <math>dm^3</math></i>
$h$	= puun pituus, m <i>tree height, m</i>	$v_u$	= runkopuun tilavuus kuoretta maanpinnan tasolta (0 %) alkaen, $dm^3$ <i>volume of stemwood above ground level (0 %) excl. bark, <math>dm^3</math></i>
$n$	= havaintojen lukumäärä <i>number of observations</i>	TIH	= metsikön tiheyttä kuvaava valemuuttuja, 1, kun $N < 5000$ kpl/ha 0, kun $N > 5000$ kpl/ha <i>dummy variable describing the density of a stand, 1, when <math>N &lt; 5000</math> st/ha 0, when <math>N &gt; 5000</math> st/ha.</i>
$N$	= metsikön runkoluku, kpl/ha <i>number of stems per hectare</i>		
$s$	= keskivirhe <i>standard error</i>		
$s_b$	= mittausten harhaisuuteen liittyvä tilavuusestimaatin keskivirhe, % <i>standard error of volume function due to biased measurements, %</i>		
$s_f$	= tilavuusestimaatin suhteellinen keskivirhe, % <i>relative standard error of volume estimate, %</i>		
$s_m$	= mittauksista aiheutuva keskivirhe <i>standard error due to measurements</i>		

# 1. JOHDANTO

Puu on yleensä sitä arvokkaampaa kokonaisuutena ja tilavuusyksikköä kohti, mitä kookkaampi se on. Siksi puun runkotilavuuden arvioimismenetelmiä kehitettäessä päähuomio on kiinnitetty käyttöpuuta antaviin yksilöihin. Pienet puut ovat jääneet vähälle huomiolle. Puun entistä tarkempi talteenotto esim. kokopuukorjuussa korostaa kuitenkin myös pienten puiden tilavuuden määrittämisen tärkeyttä.

Ensimmäiset laajat kotimaiset puiden tilavuustaulukot julkaisi Suomessa Ilvessalo (1947). Taulukoiden laadinta perustui graafiseen tasoitukseen. Taulukoissa pienten puiden (2—5 m) tilavuus saadaan rinnankorkeusläpimitan ja pituuden perusteella.

Tietokoneiden kehittyessä ovat puun runkotilavuuden määrityskeinot lisääntyneet. Nytemmin lähtökohtana on useimmiten runkokäyrä. Suomessa on julkaistu männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt (Laasasenaho 1982) ja niiden perusteella vastaavat tilavuustaulukot (Laasasenaho ja Snellman 1983). Kahteen muuttujaan, rinnankorkeusläpimitaan ja pituuteen perustuvien tilavuusyhtälöiden avulla lasketut taulukot sisältävät tilavuudet yli 3 m:n mittaisille puille. Näissä uusimmissakin taulukoissa runkotilavuutta selittävät muuttujat ovat perinteisen suomalaisen käytännön mukaiset. Laasasenahon tutkimuksessa (1982) on esitetty myös muutamiin suhteellisilta korkeuksilta mitattuihin läpimitoihin ja pituuteen perustuvat tilavuusyhtälöt. Suhteellisilta korkeuksilta mitattujen läpimittojen

käyttöä puun tilavuuden määrittämiseksi on aiemmin tarkastellut Kuusela (1965).

Runkokäyriä käytettäessä mittauskorkeus voidaan valita vapaasti. Kilkki ja Varmola (1979) ovat esittäneet runkokäyrän määrittämisen epälineaarisen simultaanisen moniyhtälömallin avulla. Aineistona on käytetty 2—10 m:n mittaisia mäntyjä. Menetelmän soveltaminen käytäntöön tilavuuden laske-  
miseksi on hankalaa laskennan vaatiman tietokoneajan vuoksi.

Suomessa on siis olemassa menetelmiä, joiden avulla voidaan arvioida vähintään 2—3 m:n pituisten puiden tilavuus ja rungon muoto. Kaikkein pienimmistä puista ei ole kuitenkaan käytettävissä tilavuuslukuja. Näiden tilavuutta arvioitaessa on irrottauduttava rinnankorkeusläpimitasta, sijaitseehan se pienillä puilla aivan rungon yläosassa tai sitä ei ole lainkaan.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan eri vaihtoehtoja pienten mäntyjen tilavuuden määrittämiseksi suhteellisilta korkeuksilta mitattuja läpimittoja ja pituutta käyttäen sekä esitetään tilavuusyhtälöt ja -taulukot eri mitaustilanteita varten. Pienillä männyllä tarkoitetaan alle 6 m:n mittaisia taimia ja riukuvaiheen puita.

Tutkimus on tehty puuntuotoksen tutkimussuunnalla prof. Yrjö Vuokilan aloitteesta. Kirjoittajista Vuokila on laatinut osa-aineistosta opinnäytetyön Varmolan ohjaamana. Lopulliset yhtälöt on laatinut Varmola, joka on myös huolehtinut käsikirjoituksen loppuunsaattamisesta. Käsikirjoituksen ovat lukeneet ja arvokkaita neuvoja antaneet professorit Kullervo Kuusela ja Yrjö Vuokila.

## 2. TUTKIMUSAINEISTO

### 21. Mittaukset

Tutkimusaineisto koostuu kahdesta osasta. V. 1968—71 mitattiin laajemman tutkimuksen yhteydessä 100 viljelytaimikossa kussakin 20 runkoanalyysipuuta. Puut valittiin satunnaisotannalla eri rinnankorkeusläpimittaluokista. Koepuiksi hyväksyttiin kuitenkin vain kehityskelpoiset taimet. Puista mitattiin kaksi läpimittaa ristikkäin mm:n tarkkuudella 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ja 90 %:n suhteellisilta korkeuksilta, sekä rinnankorkeudelta. Kaksinkertainen kuorenpaksaus mitattiin mm:n ja puun pituus dm:n tarkkuudella.

Kaikkiaan mitattiin 2000 puuta. Niiden pituus vaihteli 1,7 m:stä 9,9 m:iin, keskiarvona 5,6 m. 29 taimikoa oli istutettuja ja 71 kylvettyjä. 37 kylvötaimikkoa oli harvennettu, usein yhdistettynä perkaukseen, muita ei oltu käsitelty (24) tai käsittely oli ollut vain perkausta (10). Istutustaimikoista 3 oli sekä harvennettu että perattu, 9 vain perattu. Taimikonharvennuksesta kulunut aika vaihteli 2:sta 14 vuoteen. Näitä koepuita kutsutaan seuraavassa A-aineistoksi.

Toinen osa-aineisto kerättiin ns. hirtvauriokokeiden perustamisen yhteydessä v. 1983. 18 metsikössä mitattiin 7—10 koepuuta, yhteensä 257 puuta. Hirtvauriokokeen perustamisen yhteydessä taimikot asetettiin erilaisiin kasvatustiheyyksiin, josta syystä taimia jouduttiin kaatamaan. Aineisto koostuu pääasiassa systemaattisesti valituista kaadetuista taimista. Näiden lisäksi mitattiin kunkin koalueen ulkopuoliselta kuviolta viisi

koepuuta, jos aineistoon ei muuten sisällynyt myös kaikkein kookkaimpia tai pienimpiä puuta.

Puista mitattiin kaksi läpimittaa ristikkäin mm:n tarkkuudella 0, 10, 20, 30, 50, 70 ja 90 %:n suhteellisilta korkeuksilta, sekä rinnankorkeudelta. Kaksinkertainen kuorenpaksaus mitattiin mm:n ja puun pituus cm:n tarkkuudella.

Puiden pituus vaihteli 0,5 m:stä 5,8 m:iin. Keskiarvo oli 2,1 m. Metsiköistä oli istutettuja 11 (159 puuta), kylvettyjä 3 (46 puuta) ja luontaisesti syntyneitä 4 (52 puuta). Kylvetyt ja luontaisesti syntyneet taimikot olivat joko harventamattomia tai vastikään harvennettuja. Istutustaimikot olivat hoidettuja. Jatkossa hirtvauriokokeen koepuita kutsutaan B-aineistoksi (Vuokila 1985).

Koska tutkimuksen tarkoituksena on laatia pienten puiden tilavuusyhtälöt, aineisto rajattiin koskemaan vain alle 6 m:n pituisia taimia. B-aineisto voitiin hyödyntää kokonaisuudessaan. A-aineistosta karsittiin yli 6 m pitkät puut ja lisäksi sellaisien taimikoiden puut, joiden harvennuksesta oli kulunut vähemmän kuin 5 vuotta. Rajoituksella pyrittiin erottelemaan pitkään harvana kasvaneiden taimikoiden puut tiheinä kasvineiden taimikoiden puista.

Kasvutilaa kuvataan luokkamuuttujalla TIH. A-aineistossa tämä perustuu runkolukuun. Tiheysluokkien raja-arvona oli 5000 tainta/ha. B-aineiston kaikki istutustaimikoiden taimet kuuluvat luokkaan <5000, kylvö- ja luontaisesti syntyneiden taimikoiden puut luokkaan >5000.

Taulukko 1. Koepuiden jakautuminen rinnankorkeusläpimitta- ja pituusluokkiin.  
Table 1. Breast height diameter and height distribution of the sample trees.

d, cm	h, m											YHT TOTAL	
	<0.5	<1.0	<1.5	<2.0	<2.5	<3.0	<3.5	<4.0	<4.5	<5.0	<5.5 = <6.0		
0	1	34	39										74
1			18	41	7								66
2				16	36	10	3						65
3					15	45	26	18	5	1			110
4						15	53	50	22	12	5	2	159
5						1	18	42	68	35	14	9	187
6							6	20	59	46	32	35	198
7								1	5	36	43	39	175
8									1	7	15	47	116
9										1	5	21	74
10											5	13	40
11												1	12
12												1	4
13													2
YHT TOTAL	1	34	57	57	58	71	107	136	198	163	172	229	1283

Rajoitusten jälkeen varsinaisen aineiston muodostaa 1283 mäntyä.

Kasvupaikkatyypeittäin aineisto jakautuu seuraavasti:

lehtomaiset kankaat	228
tuoreet kankaat	332
kuivahkot kankaat	715
kuivat kankaat	8
Yht.	1283

Syntytyvoittain aineisto jakautuu seuraavasti:

istutettuja	460
kylvettyjä	771
luontaisesti syntyneitä	52

Aineiston d/h-jakauma on esitetty taulukossa 1. Kuvassa 1 on esitetty koalojen sijainti. Osakorkeusläpimittojen ja muutamien muiden tunnusten minimi-, maksimi- ja keskiarvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Koepuutunnusten minimi, maksimi ja keskiarvot.

Table 2. Minima, maxima and means of the sample tree characteristics.

Muuttuja Variable	Minimi Minimum	Maksimi Maximum	Keskiarvo Mean
d <sub>,0h</sub>	1,0 cm	16,8 cm	8,2 cm
d <sub>,1h</sub>	1,0 cm	14,2 cm	6,6 cm
d <sub>,2h</sub>	0,9 cm	13,1 cm	6,0 cm
d <sub>,3h</sub>	0,8 cm	12,2 cm	5,4 cm
d <sub>,4h</sub>	0,6 cm	10,9 cm	4,8 cm
d <sub>,5h</sub>	0,6 cm	9,3 cm	4,1 cm
d <sub>,7h</sub>	0,4 cm	6,5 cm	2,6 cm
d <sub>,9h</sub>	0,1 cm	2,5 cm	1,1 cm
d	0,0 cm	12,9 cm	
h	0,5 m	6,0 m	4,0 m
ikä/age	6 a	35 a	17 a

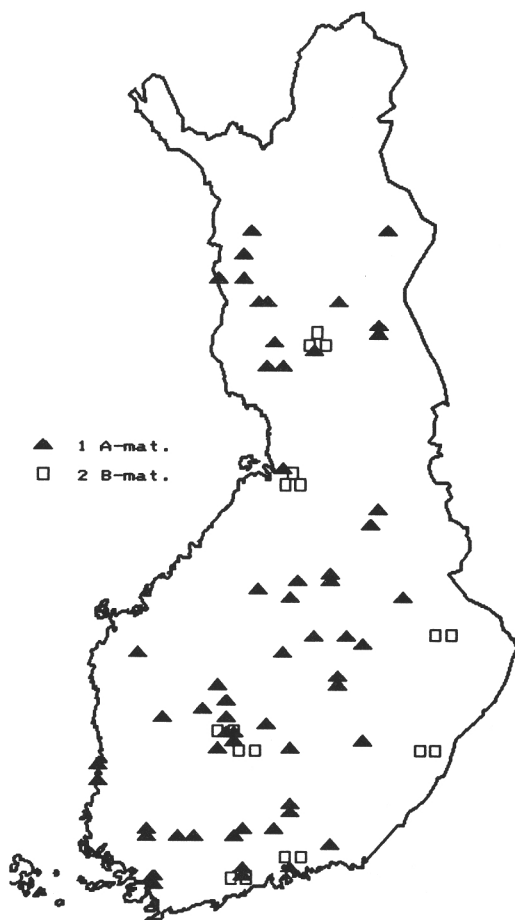
## 22. Koepuiden tilavuuden laskenta

Koepuiden runkotilavuudet laskettiin Metlan runko-käyräaliohjelmistoa käyttäen. Mitattujen pisteiden kautta tasoitettiin kulkemaan kuutioplini-käyrä, jonka avulla tilavuudet estimoitiin.

A-aineiston koepuiden alin läpimitta oli mitattu 1 %:n korkeudelta. Kuutioplini-käyrältä estimoitiin siksi läpimitta maanpinnan tasolta (0 %) , jota jatkossa käsiteltiin mitattujen läpimittojen tapaan. B-aineistossa määritettiin vastaavasti 40 %:n korkeudella oleva läpimitta. Latvan huipun läpimitaksi asetettiin 0,4 cm (ks. Laasasenaho 1982, s. 52). Jos 90 %:n korkeudella oleva läpimitta oli alle 0,5 cm, latvaläpimitaksi asetettiin puolet 90 %:n korkeudelta mitatusta läpimitasta, jotta rungon muoto säilyisi kapenevana latvan huippuun asti. Kuoretomat tilavuudet laskettiin vastaavasti. Latvan huipun kuorettomaksi läpimitaksi asetettiin 0,3 cm. Myös kuoreton latvaläpimitta asetettiin puoleksi 90 %:n korkeudella mitatusta läpimitasta, jos tämä oli alle 0,5 cm.

Puun tilavuutta estimoitaessa on päätettävä tilavuuden laskennan aloituskorkeudesta. Jos ollaan kiinnostuneita puun ja puuston kokonaisrunkotilavuudesta, maanpinnan taso on luonnollinen lähtökorkeus. Suomessa on perinteisesti laskettu puun tilavuus ylimmästä kaatoa haittaavasta juurenniskasta alkaen (Ilvessalo 1947, Laasasenaho 1982). Taimilla tämän määritelmän mukaan kannonkorkeus olisi sama kuin maanpinnan taso, koska kaatoa haittaavaa juurenniskaa ei ole ehtinyt muodostua. Laasasenaho (1982) on kuitenkin määritellyt pienten puiden kannonkorkeudeksi vähintään 10 cm sillä perusteella, että käytännössä kantoa jää vähintään 5—10 cm etenkin lumen aikana puita kaadettaessa. Jos kannonkorkeutena pidetään 10 cm:ä, jää huomattava osa taimen pituudesta ja etenkin tilavuudesta kantoon. Esim. 2 m:n puulla 10 cm on 5 % pituudesta. Ruotsissa kannonkorkeus on asetettu 1 %:iin puun pituudesta (Näslund 1947). Samaa määritelmää ovat käyttäneet Kilkki ym. (1978) ja Kilkki ja Varmola (1979, 1981).

Tutkimuksessa esitetään yhtälöitä sekä maanpinnan tasolta että 10 cm:n kannonkorkeudelta määritellyille tilavuuksille. Ensimmäisessä tapauksessa saadaan selville puun ja puuston kokonaistilavuus ja viimeksimainitussa Laasasenahon (1982) määritelmän kanssa yhdenmukainen käyttöpuun määrä.



Kuva 1. Koalojen sijainti.

Fig. 1. Location of the sample stands.

### 3. TILAVUUSYHTÄLÖIDEN LAADINTA

#### 31. Tavoitteet

Puun tilavuus estimoidaan nykyisin joko runkokäyrän tai tilavuusyhtälön avulla. Runkokäyrällä saadaan kuva puun rungon muodosta, ja puu voidaan esim. jakaa puutavaralajeihin. Pienillä puilla tätä vaatimusta ei ole. Lisäksi pienillä puilla tilavuusyhtälöitä puoltaa niiden käytön helppous. Kun runkokäyrällä ja tilavuusyhtälöllä päästään suurin piirtein samaan tarkkuuteen (ks. Laasasenaho 1982, s. 62), on tässä tutkimuksessa päädytty tilavuusyhtälöiden laadintaan.

Pienillä puilla on irrottauduttava rinnankorkeusläpimitasta perusläpimitana. Rinnankorkeusläpimitalla ei ole suurta selitysarvoa, jos se sijaitsee rungon yläosassa. Aivan pienillä puilla rinnankorkeusläpimitaa ei ole lainkaan. Käyttämällä yhdeltä tai useammalta suhteelliselta korkeudelta mitattuja läpimittoja ja pituutta tilavuusyhtälöiden selittävinä muuttujina päästään suunnilleen samaan tarkkuuteen kuin käyttämällä absoluuttisilta korkeuksilta (esim. 1,3 ja 6,0 m) mitattuja läpimittoja ja pituutta (Laasasenaho 1982, s. 43, 45).

Taimikoissa mitattavien puiden lukumäärä on usein suurempi kuin varttuneissa metsissä. On siksi aiheellista laatia yksinkertaisiakin menetelmiä puiden tilavuuden määrittämiseksi, jotta välttyttäisiin liialliselta mitaustyöltä. Yksinkertaisin tilavuusyhtälö perustuu yhteen puusta mitattuun tunnukseen, joka voi olla joko pituus tai suhteelliselta korkeudelta mitattu läpimita. Perinteistä rinnankorkeusläpimitaan ja pituuteen perustuvaa menetelmää vastaa taimikossa yhteen osakorkeusläpimitaan ja pituuteen perustuva tilavuusyhtälö. Kookkaiden puiden kolmen tunnuksen tilavuusyhtälöä ( $d$ ,  $d_6$  ja  $h$ ) vastaa kahteen osakorkeusläpimitaan ja pituuteen perustuva yhtälö.

Mallien luotettavuutta voidaan parantaa ns. eksogeenisilla eli puun ulkopuolisilla muuttujilla. Näitä ovat esim. syntytapa, kasvupaikka, boniteetti, ilmastovyöhyke tai metsikön tiheys.

#### 32. Mallityypit ja muuttujat

Puun runkotilavuuden yleinen kaava on:

$$v = g \cdot h \cdot f \quad (32.1)$$

Kaavan mukaan tilavuutta estimoidaessa on tunnettava puun pituuden ja rinnankorkeudelta mitatun poikkileikkausalan lisäksi rungon muoto. Runkomuotoa on Suomessa yleensä kuvattu kahden läpimitan erona ( $d-d_6$ ). Puun muoto voidaan kuvata myös parametrilla ( $\beta$ ) ja virhetekijällä ( $\epsilon$ ), jolloin kaava saa muodon

$$v = \beta \cdot g \cdot h \cdot \epsilon \quad (32.2)$$

Yhtälö voidaan linearisoida ottamalla logaritmi kaavan kummastakin puolesta:

$$\log(v) = \beta + \log(g) + \log(h) + \log(\epsilon) \quad (32.3)$$

Tällöin oletetaan, että virhetermin logaritmi on normaalisti jakautunut, sen keskiarvo 0 ja hajonta  $\sigma$ .

Puun rungon tilavuutta kuvataan siis yleensä ja myös tässä tutkimuksessa tulomuotoisella mallilla. Yksinkertaisimmillaan mallissa on vain yksi selittävä muuttuja. Mallin muoto on tällöin:

$$v = \beta_1 \cdot d_{,xh}^{\beta_2} \quad (32.4)$$

Selittävinä muuttujina voidaan käyttää myös eksogeenisiä muuttujia. Vastaava mallityyppi soveltuu myös pelkkään pituuteen perustuvan tilavuusyhtälön perustaksi.

Kahteen muuttujaan perustuva tulomuotoinen malli on seuraava:

$$v = \beta_1 \cdot d_{,xh}^{\beta_2} \cdot h^{\beta_3} \quad (32.5)$$

Jos arvioidaan taimikoissa käyttöpuun määrää, ts. 10 cm:n kanto poisluettuna, mallin tarkkuutta voidaan parantaa pituutta kuvaavan tunnuksen muunnoksella ( $h-0,1$ ).

Malleissa käytettäville muuttujille voidaan

antaa mittaustyön rationalisoinnin takia ehtoja. Yhteen selittävään muuttujaan perustavassa yhtälössä läpimitan tulisi olla sellainen, että se voidaan määrittää puun pituutta mittaamalla. 50 %:n läpimitta on tässä mielessä luontevin. Jos puun pituus mitataan, kuten on laita kahden ja useamman tunnuksen yhtälössä, ei läpimitan mittauskorkeudella ole merkitystä. Yhtenä kriteerinä voidaan tosin

pitää sitä, että läpimitta voidaan mitata maasta käsin. Esim. alle 6 m:n pituisilla puilla 30 %:n läpimitta on alempana kuin 1,8 m:n korkeudella, jota ylempää ei läpimittaa kyetä ilman tikkaita mittaamaan.

Kolmen muuttujan malleja käytetään lähinnä tutkimustoiminnassa. Tällöin läpimittojen mittauskorkeudet ratkaisee yhtälöillä saavutettava tarkkuus.

## 4. TILAVUUSYHTÄLÖT

### 41. Yleistä

Tilavuusyhtälöt on laadittu erikseen maanpinnan tasolta ja 10 cm:n kannonkorkeudelta alkaville tilavuuksille kuorellisina ( $v_b$  ja  $vk_b$ ) ja kuorettomina ( $v_u$  ja  $vk_u$ ). Yhtälöissä pituus annetaan metreinä (m) ja läpimitat senttimetreinä (cm). Tilavuus saadaan kuutiodesimetreinä ( $dm^3$ ). Eräissä yhtälöissä esiintyvä valemuuttuja (TIH) saa arvon 1, kun männikön runkoluku on alle 5000 kpl/ha ja arvon 0, kun runkoluku ylittää 5000 kpl/ha.

Mallien hyvyttä testattaessa on ensisijaisesti tarkasteltu logaritmisten mallien jäänöhajontoja, jotka pieninä ovat suurinpiirtein tilavuusestimaatin suhteellisen keskivirheen suuruisia. Tämä on laskettu kaavalla (ks. Laasasenaho 1982, s. 40):

$$s_f = \sqrt{e^{\sigma^2} - 1} \quad (41.1)$$

Tilavuusestimaatin keskivirhe voidaan laskea myös kaavalla (ks. Vuokila 1960, s. 13):

$$s_f = 100 \cdot \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{v_f - v}{v_f} \right)^2}{n - 1}} \quad (41.2)$$

Kumpikin kaava antaa suurin piirtein samansuuruisen keskivirheen.

Logaritmisten mallien vakiotermin on lisätty korjaustermi  $\sigma^2/2$ . Jos aineisto on normaalisti jakautunut, korjaustermi poistaa systemaattisen virheen. Systemaattinen virhe on laskettu kaavalla:

$$b_f = 100 \cdot \frac{\sum \left( \frac{v_f - v}{v_f} \right)}{n} \quad (41.3)$$

### 42. Yhden muuttujan yhtälöt

#### 421. Pituuteen perustuvat yhtälöt

Pituuteen perustuvien yhtälöiden perustana on mallityyppi (32.4). Metsikön tiheyttä kuvaava valemuuttuja TIH paransi mallin selitysastetta. Syntytapaa ja kasvupaikkaa kuvaavien valemuuttujien merkitys oli vähäinen. Käyttöpuun tilavuutta ( $vk_b$  ja  $vk_u$ ) enustettaessa pituusmuuttuja on muotoa  $\ln(h-0,1)$ . Eri tilavuuksia kuvaavien yhtälöiden kertoimet ja luotettavuustunnukset ovat:

	vakio constant	$\ln(h)$	TIH	$s_f, \%$	$b_f, \%$	
$\ln(v_b)$	-1,94686	2,63254	0,301040	37,7	0,207	(421.1)
$\ln(v_u)$	-2,33031	2,71175	0,309189	38,9	0,158	(421.2)
		$\ln(h-0,1)$				
$\ln(vk_b)$	-1,95127	2,62493	0,302423	37,4	0,199	(421.3)
$\ln(vk_u)$	-2,31611	2,69921	0,307808	38,4	0,152	(421.4)

Yhtälöiden käyttö edellyttää, että taimikko on joko harventamaton tai harvennukselta on kulunut vähintään viisi vuotta. Jos metsikön tiheyttä tai harvennusajankohtaa ei tiedetä, voidaan käyttää yhtälöitä, joissa selittävänä muuttujana on pelkästään puun pituus. Näiden yhtälöiden kertoimet ja niiden luotettavuustunnukset ovat:

	vakio constant	ln(h)	s <sub>f</sub> , %	b <sub>f</sub> , %	
ln(v <sub>b</sub> )	-1,77328	2,65197	40,8	0,340	(421.5)
ln(v <sub>u</sub> )	-2,15172	2,73170	42,1	0,264	(421.6)
		ln(h-0,1)			
ln(vk <sub>b</sub> )	-1,77414	2,64283	40,5	0,328	(421.7)
ln(vk <sub>u</sub> )	-2,13563	2,71743	41,6	0,250	(421.8)

#### 422. Yhteen läpimittaan perustuvat yhtälöt

Yhteen läpimittaan perustuvat yhtälöt ovat mallin (32.4) mukaisia. Myös tässä tapauksessa metsikön tiheyttä kuvaava valemuuttuja TIH toi lisäselitystä malliin. Termi  $e^{\beta_1 \cdot d_{,xh}}$  pienensi mallien jäännöshajontoja, mutta sen käyttö olisi vääristänyt mallin käyttäytymistä sovellutusalueen ulkopuolella. Eri osakorkeusläpimittojen antaman tilavuusestimaatin luotettavuutta kuvaa seuraava asetelma, jossa selitettävänä muuttujana

	vakio constant	ln(d <sub>,5h</sub> )	TIH	s <sub>f</sub> , %	b <sub>f</sub> , %	
ln(v <sub>b</sub> )	-2,36697	3,03804	-0,0884235	25,0	0,041	(422.1)
ln(v <sub>u</sub> )	-2,76120	3,12778	-0,0916877	26,2	0,053	(422.2)
		ln(d <sub>,5h</sub> -0,1)				
ln(vk <sub>b</sub> )	-2,37071	3,04462	-0,1011210	26,4	0,063	(422.3)
ln(vk <sub>u</sub> )	-2,74317	3,12791	-0,1066160	27,7	0,089	(422.4)

Myös näiden yhtälöiden käyttö edellyttää, että taimikko on harventamaton tai harvennuksesta on kulunut vähintään viisi vuotta. Seuraavassa asetelmassa on esitetty pelkkään 50 %:n korkeudelta mitattuun läpimittaan perustuvien yhtälöiden kertoimet ja luotettavuustunnukset:

	vakio constant	ln(d <sub>,5h</sub> )	s <sub>f</sub> , %	b <sub>f</sub> , %	
ln(v <sub>b</sub> )	-2,39438	3,01780	25,4	0,054	(422.5)
ln(v <sub>u</sub> )	-2,78960	3,10680	26,6	0,074	(422.6)
		ln(d <sub>,5h</sub> -0,1)			
ln(vk <sub>b</sub> )	-2,40415	3,02266	26,8	0,079	(422.7)
ln(vk <sub>u</sub> )	-2,77837	3,10475	28,1	0,101	(422.8)

on ollut ln(v<sub>b</sub>):

	Läpimitan mittauskorkeus, % Measurement height of diameter, %								
s <sub>f</sub> , %	0	10	20	30	40	50	70	90	
	30,2	29,1	26,3	24,8	23,5	25,0	37,5	67,9	

Tilavuusestimaatin suhteellinen keskivirhe on pienin silloin, kun läpimitta on mitattu 40 %:n korkeudelta. B-aineistossa 40 %:n läpimittaa ei tosin mitattu maastossa, vaan se estimoitiiin runkokäyrältä. Tämä ei kuitenkaan ole vaikuttanut 40 %:n läpimitan paremmuuteen. 40 %:n korkeudelta mitattu läpimitta antoi tarkimman tuloksen myös laskettaessa vastaavat mallit vain A-aineistoa käyttäen.

Erot mittauskorkeuksien 30, 40 ja 50 % välillä ovat pienet. Laasasenahon (1982) vastaavassa tarkastelussa 50 %:n läpimitta antoi parhaan tuloksen. Keskivirhe oli tällöin 24,3 %. Koska käytännön mittaustyössä puolikorkeuden arviointi on huomattavasti helpompaa kuin esim. 40 %:n korkeus, perusläpimitaksi yhden läpimitan yhtälöihin valittiin 50 %:n korkeudelta mitattava läpimitta.

Käyttöpuun määrää (vk<sub>b</sub> ja vk<sub>u</sub>) ennustettaessa läpimittamuuttujaan tehty muunnos (d<sub>,5h</sub>-0,1) paransi yhtälöiden tarkkuutta. Eri tilavuuksia kuvaavien yhtälöiden kertoimet ja luotettavuustunnukset ovat:

#### 43. Kahden muuttujan yhtälöt

Kahden muuttujan yhtälöt ovat mallin (32.5) mukaisia. Tekijä  $e^{\beta_1 \cdot d_{,xh}}$  toi lisäselitystä malliin. Sen sijaan tiheyttä kuvaava valemuuttuja TIH oli merkityksetön tai vähämerkityksinen. Yksikin läpimitta pituuteen yhdistettynä kertoo rungon muodosta niin paljon, ettei luokkamuuttujalla ole lisäselitysarvoa.

Esimerkkinä eri muuttujakokeilujen tuloksista on seuraava asetelma, jossa selitettävänä muuttujana on ln(v<sub>b</sub>) ja selittävinä muuttujina ln(h) ja kukin osakorkeusläpimitta vuorollaan:

		Läpimitan mittauskorkeus, % Measurement height of diameter, %							
		0	10	20	30	40	50	70	90
$s_p$ , %		13,7	7,1	6,2	6,9	9,6	14,1	25,9	39,3

Parhaiten selittää tilavuutta 20 %:n korkeudelta mitattu läpimitta. Vain käyttöpuun kuoretonta määrää ( $vk_u$ ) selittävässä mallissa 30 %:n läpimitta antoi tarkemman tuloksen kuin 20 %:n läpimitta. Laasasenahon

	vakio constant	$\ln(d_{,2h})$	$d_{,2h}$	$\ln(h)$	$s_f$ , %	$b_f$ , %	
$\ln(v_b)$	-2,96484	1,77118	0,00545343	1,16366	6,2	0,000	(43.1)
$\ln(v_u)$	-3,38963	1,85741	-0,00349309	1,20512	8,7	0,002	(43.2)
				$\ln(h-0,1)$			
$\ln(vk_b)$	-3,09847	1,76919	0,00326471	1,23488	6,3	0,001	(43.3)
$\ln(vk_u)$	-3,49914	1,84125	-0,00535459	1,28295	8,9	0,004	(43.4)

#### 44. Kolmen muuttujan yhtälöt

Yhteen läpimittaan ja pituuteen perustuva yhtälö on riittävän tarkka käytännön mitauksiin. Tutkimustyössä saattaa kuitenkin olla perusteltua käyttää myös tarkempia menetelmiä. Tällöin tulee kyseeseen kahteen osakorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuva malli.

Eräänlaiseksi perusläpimitaksi osoittautui 10 %:n korkeudelta mitattu läpimitta. Kun ennalta asetettiin mitatuiksi tunnuksiksi pituus ja  $d_{,3h}$ ,  $d_{,4h}$  tai  $d_{,5h}$ , oli kolmantena tunnuksena  $d_{,1h}$  parhaimman tuloksen antava. Pienimmän keskivirheen antoi  $d_{,1h}$ :n ja  $d_{,4h}$ :n

(1982) tutkimuksessa parhaan tuloksen antoi 30 %:n korkeudelta mitattu läpimitta.

Perusläpimitaksi kahden tunnuksen yhtälöihin valittiin 20 %:n läpimitta. Käyttöpuun tilavuutta ennustavissa yhtälöissä pituusmuuttuja on muotoa  $\ln(h-0,1)$ . Eri tilavuuksia kuvaavien yhtälöiden kertoimet ja luotettavuustunnukset ovat:

käyttö yhdistettynä pituuteen. Termi  $e^{\beta_1 \cdot d_{,xh}}$  ei tuonut lisäselitystä malliin kuten ei tiheyttä kuvaava valemuuttujakaan.

Laasasenahon (1982) tutkimuksessa pienimmän keskivirheen antoi yhdistelmä  $d_{,1h}$ ,  $d_{,5h}$  ja pituus. Keskivirhe (3,6 %) oli huomattavasti pienempi kuin käytettäessä 10 ja 30 %:n korkeudelta mitattuihin läpimittoihin ja pituuteen perustuvaa yhtälöä (5,2 %). Tässä tutkimuksessa em. yhdistelmät olivat jokseenkin tasavertaiset ja yhdistelmä  $d_{,1h}$ ,  $d_{,4h}$  ja pituus näitä vain noin 0,3 %-yksikköä parempi.

Eri tilavuuksia kuvaavien yhtälöiden kertoimet ja luotettavuustunnukset ovat:

	vakio constant	$\ln(d_{,1h})$	$\ln(d_{,4h})$	$\ln(h)$	$s_f$ , %	$b_f$ , %	
$\ln(v_b)$	-2,95052	1,056350	0,835010	1,08931	3,8	-0,001	(44.1)
$\ln(v_u)$	-3,32584	0,977931	0,959958	1,13068	7,6	0,003	(44.2)
				$\ln(h-0,1)$			
$\ln(vk_b)$	-3,06735	0,972306	0,914305	1,15874	4,0	-0,002	(44.3)
$\ln(vk_u)$	-3,42176	0,892051	1,028540	1,20671	7,7	0,001	(44.4)

## 5. TULOSTEN TARKASTELU

### 51. Oma aineisto

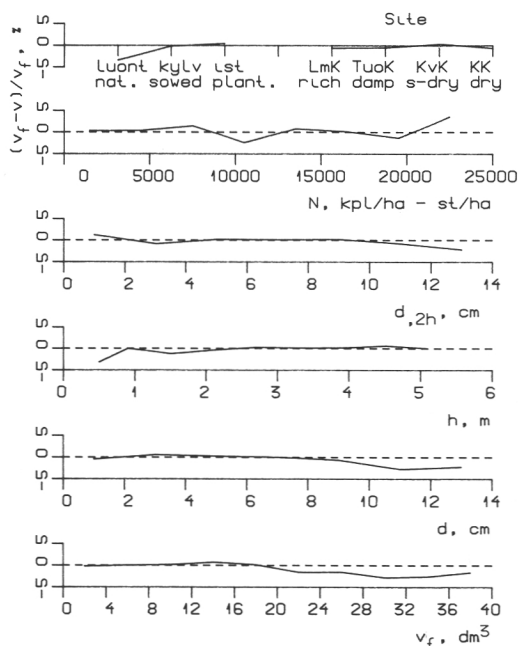
Yhtälöiden yhteydessä on esitetty tilavuus-estimaattien suhteelliset keskivirheet ja harhat. Keskivirheet ovat samaa suuruusluokkaa muiden tutkimusten kanssa (Kilkki ym. 1979, Kilkki ja Varmola 1979, 1981, Laasanaho 1982). Tarkimmin kyetään ennustamaan kuorellinen kokonaistilavuus ( $v_b$ ), vaikkakin miltei yhtä hyvään tulokseen päästään myös käyttöpuun ( $vk_b$ ) tilavuutta enustettaessa.

Kuorettomien tilavuuksien ( $v_u$  ja  $vk_u$ ) yhtälöihin liittyvä keskivirhe on yleensä noin 2 %-yksikköä suurempi kuin kuorellisten tilavuuksien. Tämä johtuu kuoren paksuuden vaihteluista. Tässä tutkimuksessa kuorettomatkin tilavuudet ennustetaan kuitenkin kuorellisilla läpimitoilla. Tällöin kuoren paksuusvaihtelut aiheuttavat kuorettomiin tilavuuksiin lisävaihtelua, jota ei kyetä enustamaan kuorellisilla läpimitoilla. Kuorellisten läpimittojen käyttöön on päädytty sen vuoksi, että taimikoissa kuoren mittaaminen esim. kuorimittarilla on erittäin epätarkkaa. Lisäksi kuoren mittaaminen merkitsee taimien ollessa kyseessä kohtuutonta lisätyötä.

Kolmen muuttujan yhtälöissä (44.1, 44.2, 44.3, 44.4) kiinnittävät huomiota eri tilavuuksia selittävien yhtälöiden keskivirheiden erot. Kuorettomia tilavuuksia ennustavien yhtälöiden keskivirheet ovat lähes 4 %-yksikköä suuremmat kuin kuorellisia tilavuuksia enustettaessa. Vastaava kuoreton tilavuus kyetään ennustamaan miltei yhtä tarkasti kahden tunnuksen yhtälöllä. Syytä ei kyetty selvittämään.

Logaritmisien mallin vakioon lisätty korjausermi on poistanut yhtälöistä harhan pituuteen perustuvia yhtälöitä lukuunottamatta, joissa harha on +0,15—+0,34 %. Aineisto ei ole pituuden suhteen normaalisti jakautunut (taulukko 1), vaan annetusta pituusrajoituksesta johtuen yläpäästä leikattu. Valemuuttujan TIH lisääminen selittäväksi muuttujaksi on pienentänyt jonkin verran harhaa.

20 %:n korkeudelta mitattuun läpimittaan ja pituuteen perustuvat yhtälöt (43.1—43.4)



Kuva 2. Tilavuusyhtälön (43.3) jäännösvaihtelutarkastelu eri muuttujien suhteen.

Fig. 2. Studies of residuals of function (43.3) as a function of different variables.

lienevät yleisesti ottaen mittaustyössä käytökelpoisimmat. Seuraavassa tarkastellaan lähemmin käyttöpuun kuorellista tilavuutta ( $vk_b$ ) ennustavan yhtälön (43.3) luotettavuutta. Kuvassa 2 on esitetty yhtälön jäännösvaihtelu sekä mallin muuttujien että muutamien muiden muuttujien suhteen.

Malli aliarvioi keskimäärin 3,4 %:lla luontaisesti syntyneiden taimien tilavuuden. Havaintojen lukumäärä on tosin niin pieni, ettei erosta voi tehdä tarkkoja johtopäätöksiä. Tarkastelemalla eri tavoin syntyneiden taimien runkomuotoa saatiin viitteitä siitä, että luontaisesti syntyneiden taimien tyvilajentuma olisi voimakkaampi kuin viljeltyjen taimien, vaikka luontaisesti syntyneet taimet olivat jopa jonkin verran viljeltyjä taimia pienempiä tässä aineistossa. Kasvupaikan suhteen ei voitu havaita systemaattisia eroja.

A-aineistosta oli tiedossa taimikon runkoluku, joka harvennetuissa taimikoissa ei tosin kerro sitä, millaisessa ympäristössä taimet ovat suurimman osan elämästään kasvaneet. Kuitenkaan ei edes suurilla tiheyksillä voitu havaita systemaattista virhettä.

Kaikkein kookkaimpien puiden tilavuutta malli aliarvioi muutaman prosentin verran. Tämä näkyy jäännösvaihtelussa sekä rinnankorkeusläpimitan että selittävien muuttujien suhteen. Myös tilavuusestimaatin suhteen on nähtävissä sama ilmiö. Kaiken kaikkiaan malli käyttäytyy hyvin laadinta-aineiston alueella.

Vaikka yhteen mitattuun tunnukseen perustuvissa yhtälöissä on tiheyttä kuvaava valemuuttuja, on ilmeistä, että yhtälöiden tarkkuutta kyettäisiin parantamaan, jos metsikön tiheys voitaisiin ilmaista täsmällisemmin. Tästä saatiin viitteitä tarkastelemalla kyseisten mallien jäännöshajontoja runkoluvun suhteen A-aineistossa. Valemuuttujan TIH jättäminen pois suurensi keskivirhettä pituuteen perustuvissa yhtälöissä n. 3 %-yksikköä, 50 %:n korkeudelta mitattuun läpimittaan perustuvissa yhtälöissä sen sijaan vain n. 0,5 %-yksikköä.

Runkoluvun käyttöä selittävänä muuttujana vaikeuttaa runkoluvun muutos harvennetuissa taimikoissa. Näissä mittaushetken runkoluku on aivan toisenlainen kuin se tiheys, jossa puu on suurimman osan aikaa kasvanut. Edellä tehty tarkastelu osoittaa kuitenkin, että jo yhteen läpimittaan ja pituuteen perustuva malli kykenee ennustamaan tilavuuden tyydyttävästi eri tiheyden taimikoissa.

## 52. Testiaineisto

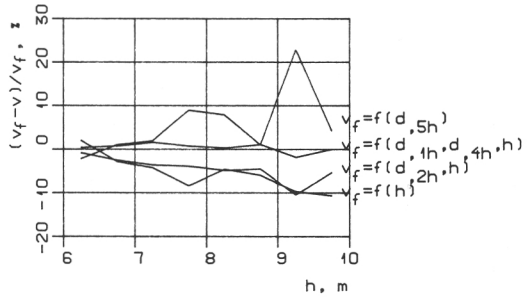
Kun tutkimusaineisto rajoitettiin (ks. s. 6), jätettiin A-aineistosta pois kaikki yli 6 m pitkät puut sekä niiden harvennettujen kylvötaimikoiden koepuut, joissa harvennuksesta oli kulunut vähemmän kuin viisi vuotta. Vaikka tilavuusyhtälöiden sovellutusalue onkin sama kuin laadinta-aineiston, alle 6 m:n pituiset männyt, on aihetta tarkastella, miten yhtälöt käyttäytyvät jonkin verran kookkaampien puiden tilavuuksia ennustettaessa.

Testiaineiston muodostaa 714 A-aineiston mäntyä, joiden pituus vaihtelee rajoissa 6,1—9,9 m. Rinnankorkeusläpimitta vaihtelee 4,5 cm:stä 17,3 cm:iin. Puista 435 on kylvetettyjä

Taulukko 3. Eri tavoin ennustetun käyttöpuun tilavuuden ( $vk_b$ ) luotettavuus testimateriaalissa (ero =  $100 \cdot ((v_f - v) / v_f)$ ).

Table 3. The accuracy of volume estimates for stemwood ( $vk_b$ ) with different functions in the test material (diff =  $100 \cdot ((v_f - v) / v_f)$ ).

Yhtälö Function	max (ero), % max (diff), %	min (ero), % min (diff), %	$b_f$ , % (41.3)	$s_f$ , % (41.2)
421.3	63,4	-156,5	-3,53	37,6
422.3	52,7	-85,1	3,03	23,5
43.3	15,7	-26,0	-3,19	6,9
44.3	13,6	-10,0	0,79	3,5



Kuva 3. Käyttöpuun tilavuusestimaatin ( $vk_b$ ) ero todellisesta eri tilavuusyhtälöillä testiaineistossa pituusluokittain tarkasteltuna.

Fig. 3. Difference between estimated volume ( $vk_b$ ) with different functions and actual volume in the test material as a function of height.

ja 279 istutettuja. Seuraavassa tarkastellaan kuorellista käyttöpuuta ( $vk_b$ ) ennustavien yhtälöiden luotettavuutta. Puille laskettiin tilavuusestimaatit ja niitä verrattiin todellisiin tilavuuksiin. Taulukossa 3 on esitetty tunnuslukuja eri yhtälöille.

Systemaattiset virheet ovat pieniä. Yhden tunnuksen yhtälöitä käytettäessä suurimmat erot ovat huomattavia. Sen sijaan kahden ja kolmen tunnuksen yhtälöillä suurimmat erot jäivät suhteellisen pieniksi. Kahteen tunnukseen perustuvalla yhtälölläkään ei päästä kuitenkaan harhattomaan tulokseen, vaan yhtälön käyttöön liittyy testimateriaalissa keskimäärin 3,2 %:n aliarvio. Vasta kolmen tunnuksen yhtälöllä systemaattinen virhe on merkityksetön.

Eri yhtälöillä saatujen tilavuusestimaattien eroja on tarkasteltu pituuden funktiona kuvassa 3. Yhden tunnuksen yhtälöistä aiheutuvat systemaattiset virheet ovat pituusluo-

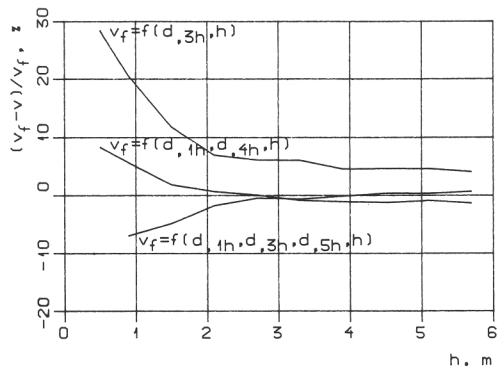
kittain toistensa peilikuvia. Pituuteen perustuva yhtälö aliarvioi ja 50 %:n korkeudelta mitattuun läpimittaan perustuva yhtälö yliarvioi tilavuuksia sitä enemmän, mitä pitemmästä puusta on kyse. Kahden tunnuksen yhtälöön liittyvä systemaattinen virhe suurenee jonkin verran pituuden kasvaessa. Kolmen tunnuksen yhtälö käyttäytyy hyvin koko testiaineiston alueella. Kaikki yhtälöt ennustavat parhaiten testiaineiston lyhimpien, lähinnä laadinta-aineistoa olevien puiden tilavuudet.

### 53. Laasasenahon yhtälöt

Laasasenahon (1982) tutkimuksen mukaan tehokkaimmat osakorkeusläpimitat sijaitsevat keskimäärin ylempänä rungossa, kuin mihin on päädytty tässä tutkimuksessa. Tämä johtunee aineistoroista. Vaikka erisuuruiset puut ovatkin keskimäärin jokseenkin samanmuotoisia (Laasasenaho 1982, s. 21), puilla esiintyy etenkin iänmukaista vaihtelua. Niinpä nuorissa istutusmännnyissä on tyvilajentuman todettu olevan keskimäärin pienempi kuin samankokoisissa vanhemmissa männnyissä (Varmola 1980). Nopeasti kasvaneessa nuoressa puussa ei tyvilajentumaa ole ehtinyt syntyä siinä määrin kuin esim. samankokoisessa alistettuna kasvaneessa vanhemmassa puussa. Osasyynä nyt havaittuun runkomuotojen erilaisuuteen saattavat olla myös syntytaivoiltaan erilaisten puiden erilaiset osuudet vertailtavissa aineistoissa. Laasasenahon aineisto koostuu lähinnä luontaisesti syntyneistä ja tämän tutkimuksen aineisto lähinnä viljellyistä puista.

Taimien tyvilajentuman vähäisyys vaikuttaa myös runkokäyrän käännepisteeseen siten, että se sijaitsee alempana rungossa kuin kookkailla puilla. Käännepisteen sijainnin erilaisuus vaikuttanee siihen, että tämän tutkimuksen tilavuutta parhaimmin selittävät osakorkeusläpimitat ovat keskimäärin 10 %-yksikköä alempana kuin Laasasenahon (1982) tutkimuksen.

Laasasenahon tutkimuksessa on esitetty kahteen tunnuksen perustuva tilavuusyhtälö, jossa pituuden lisäksi selittävänä muuttujana on 30 %:n korkeudelta mitattu läpimitta. Tämä vastaa lähinnä mallia (43.3) tässä tutkimuksessa. Mallia (44.3) vastaavaa tilavuusyhtälöä Laasasenaho ei ole esittänyt, mutta sitä vastaava tilavuus voidaan estimoida esim. polynomi-yhtälöihin perustuvalla



Kuva 4. Laasasenahon yhtälöillä laskettujen tilavuusestimaattien ero todellisista laadinta-aineistossa pituusluokittain tarkasteltuna.

Fig. 4. Difference between the volumes estimated with Laasasenaho's functions and actual volumes as a function of height (study material).

runkokäyrällä. Lisäksi Laasasenaho on esittänyt kolmeen läpimittaan ( $d_{1h}$ ,  $d_{3h}$  ja  $d_{5h}$ ) ja pituuteen perustuvan tilavuusyhtälön.

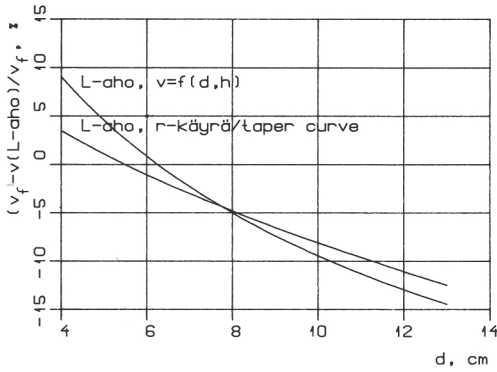
Estimoimalla Laasasenahon yhtälöillä ja runkokäyrällä tilavuudet tämän tutkimuksen aineiston puille ja vertaamalla niitä todellisiin tilavuuksiin saatiin seuraavan asetelman mukaiset systemaattiset virheet:

	$b_f$ , %
$v = f(d_{3h}, h)$	6,02
$v = f(d_{1h}, d_{4h}, h)$ runkokäyrä/taper curve	-0,48
$v = f(d_{1h}, d_{3h}, d_{5h}, h)$	-0,29

Eri malleilla saatuja tilavuuksia on tarkasteltu lisäksi kuvassa 4, jossa on esitetty pituusluokittain keskimääräiset erot.

Kolmeen ja neljään muuttujaan perustuvat mallit ennustavat tilavuuden keskimäärin oikein puun ollessa yli kaksi metriä pitkä ts. Laasasenahon tutkimuksen aineiston alueella. Kahta metriä lyhyempien puiden tilavuuden määrittämisessä syntyy systemaattisia virheitä. 30 %:n korkeudelta mitattuun läpimittaan ja pituuteen perustuvalla mallilla todettiin pienimpien puiden tilavuuden arvioinnissa syntyvän jopa 20 %:n yliarvio.

Tarkastelu osoittaa, että mitattaessa pituuden lisäksi kaksi läpimittaa päästään suhteellisen luotettavaan tulokseen puun koosta riippumatta. Sama havaittiin testaamalla tämän tutkimuksen yhtälöitä lisäaineistolla. Laasasenahon 30 %:n korkeudelta mitattuun läpimittaan ja pituuteen perustuva kah-



Kuva 5. Yhtälöllä (43.3) saadun tilavuusestimaatin ero Laasasenahon rinnankorkeusläpimitaan ja pituuteen perustuvilla yhtälöillä lasketusta tilavuudesta, kun puun pituus on 6,5 m.

Fig. 5. Difference between the volumes estimated with function (43.3) and Laasasenaho's models based on breast height diameter and height ( $h = 6,5$  m).

den muuttujan malli sen sijaan antaa harhaisen tuloksen tämän tutkimuksen aineistossa.

Edellä on tarkasteltu Laasasenahon suhteellisilta korkeuksilta mitattuihin läpimitoihin ja pituuteen perustuvien yhtälöiden soveltuvuutta tämän tutkimuksen aineistoon. Jos taimikoissa estimoidaan tilavuudet tämän tutkimuksen kahden muuttujan yhtälöllä, lienee puiden ja metsikön kasvaessa kuitenkin rinnankorkeusläpimitaan ja pituuteen perustuva menetelmä yleisin. Etenkin tilavuuskasvun laskennassa on tällöin tärkeää, että siirryttäessä menetelmästä toiseen tilavuuksissa ei tapahdu "hyppäyksiä".

Kuvassa 5 on esitetty eri menetelmillä saatavien tilavuusestimaattien eroja, kun puun pituus on asetettu 6,5 m:ksi, jolloin 20 %:n korkeudella oleva läpimita on rinnankorkeudella. Alle 6 cm rinnantasalta oleville puille Laasasenahon yhtälöillä saadaan pienempi tilavuus kuin tämän tutkimuksen yhtälöllä (43.3). 6 cm:ä paksummille puille Laasasenahon yhtälöillä saadaan vastaavasti suurempi tilavuus.

Syinä eroihin etenkin paksuilla puilla ovat toisaalta tämän tutkimuksen yhtälön antama lievä aliarvio tilavuudelle tutkimusaineiston ylärajalla (kuva 2) ja 6–10 m:n pituisilla puilla (kuva 3) ja toisaalta Laasasenahon kahden muuttujan yhtälöiden antama yliarvio (kuva 4). Tässä tapauksessa vaikutukset näkyvät kumuloituneina tilavuuseroina verrattaessa menetelmiä toisiinsa. Siirryttäessä menetelmästä toiseen ei voida siten täysin välttää tilavuusestimaatin muuntumi-

selta, joka on sitä suurempi, mitä paksumpi puu on.

## 54. Mittausvirheiden merkitys

Puujoukon tilavuuden määrittämisen tarkkuus riippuu otannan tehokkuudesta, tilavuusyhtälöiden luotettavuudesta ja mittaus-ten tarkkuudesta. Jos kukin virhekomponentti voidaan laskea, ja ne voidaan olettaa riippumattomiksi toisistaan, saadaan tilavuuden määrittämisen tarkkuus laskettua seuraavasti:

$$s = \sqrt{s_s^2 + s_f^2 + s_m^2} \quad (54.1)$$

Yksittäisen puun tilavuuden määrittämisessä ei otantavirhettä esiinny. Tilavuusyhtälöiden tarkkuutta on tarkasteltu aiemmin. Seuraavassa keskitytään mittausvirheiden merkityksen analysointiin.

Pienten puiden mittauksen tarkkuusvaatimus on suuri. Jo pyöristys lähimpään mm:iin läpimitan ja dm:iin pituuden mittaamisessa voi tulla merkitsevänä näkyviin tilavuudessa. Loetsh ym. (1973) esittävät kolme erilaista mittauksiin liittyvää virhelähdettä:

1. systemaattinen virhe
2. kaksipuolinen satunnaisvirhe
3. toispuolinen satunnaisvirhe

Virhettä 1 esiintyy esim., jos mittasakset antavat systemaattisesti liian suuren tai pienen läpimitan. Virhettä 2 esiintyy mittauksissa miltei aina. Jos virheet kumoavat toisensa, keskiarvo on harhaton. Virhettä 3 esiintyy esim., jos kuorimittariin liittyy systemaattista virhettä ja mittarin käyttöön lyönin voimakkuuden vaihtelusta johtuen satunnaisvaihtelua.

Läpimitan mittauksessa mittaustarkkuus voidaan jakaa kahteen komponenttiin (Hypönen ja Roiko-Jokela 1978):

$$A^2 = P^2 + B^2 \quad (54.2)$$

missä

where

A = mittaustarkkuus/

accuracy

P<sup>2</sup> = varianssi/

variance

B = harha/

bias

Varianssi käsittää satunnaiset poikkeamat (virhe 2). Harha on systemaattista virhettä

(virhe 1 tai 3). Harhan suuruus on yleensä vakio, mutta voi vaihdella muuttujan arvon mukaan. Harhaa ei voida poistaa mittauksista toistamalla vaan ainoastaan mittausmenetelmää parantamalla.

Harhan vaikutusta tilavuusestimaatin tarkkuuteen tarkasteltiin käyttäen mallia (43.3). Kunkin koepuun läpimittaan lisättiin ja vähennettiin 0,5, 1,0, 1,5 tai 2,0 mm, minkä jälkeen laskettiin näillä virheellisillä arvoilla, pituus muuttumattomana säilyttäen, tilavuudet. Vastaavasti lisättiin ja vähennettiin pituudesta 5, 10 tai 15 cm läpimitta muuttumattomana pitäen. Mittausvirheen vaikutusta tilavuusestimaattiin tutkittiin laskemalla seuraavat tunnusluvut:

$$s_b = 100 \cdot \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{v_b - v_f}{v_b} \right)^2}{n - 1}} \quad (54.3)$$

$$b_b = 100 \cdot \frac{\sum \left( \frac{v_b - v_f}{v_b} \right)}{n} \quad (54.4)$$

Tulokset on esitetty taulukossa 4. Samaan taulukkoon on laskettu myös kaavan (54.1) mukainen kokonaisvirhe ilman otantavirhettä. Tilavuusyhtälöön liittyvä keskivirhe on laskettu kaavalla (41.1). Läpimitan noin 1,5 mm:n systemaattinen yli- tai aliarvio merkitsee yhtä suurta keskivirhettä tilavuuteen kuin minkä tilavuusyhtälö aiheuttaa. Pituusmittauksessa vastaava systemaattinen mittausvirhe on 10–15 cm.

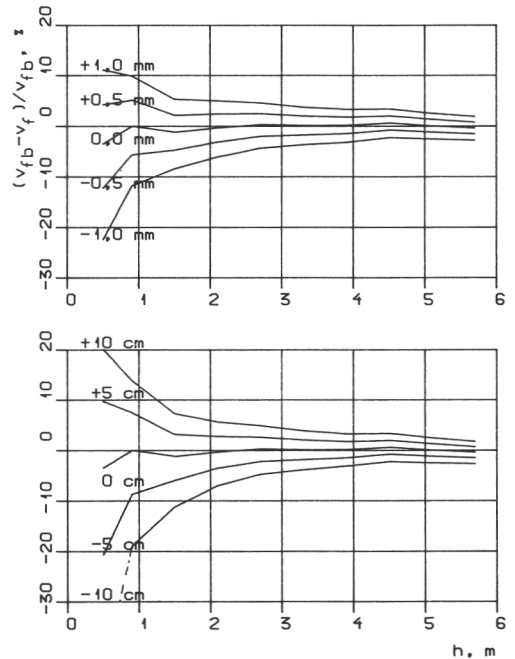
Mittausten aliarvio vaikuttaa voimakkaammin suhteelliseen keskivirheeseen kuin yliarvio. Tämä johtuu siitä, että pienillä puilla samansuuruinen aliarvio merkitsee tilavuudessa suhteellisesti enemmän kuin yliarvio. Systemaattisen mittausvirheen vaikutusta eri kokoisille puille on esitetty tarkemmin kuvassa 6. Samansuuruinen mittausvirhe vaikuttaa luonnollisesti tilavuusestimaattiin suhteellisesti sitä enemmän, mitä pienempi puu on. Alle 3 m:n mittaisilla puilla vähäisetkin virheet ovat merkittäviä.

Jos puusta mitataan vain yksi tunnus, on mielenkiintoista verrata eri tilavuusyhtälöiden tarkkuuksia mittaustarkkuus huomioon ottaen. Esim. käyttöpuuta ennustavista yhtälöistä läpimittaan (422.3) perustuva on 11 %-yksikköä tarkempi kuin pituuteen (421.3) perustuva. Käytännön mittaustyössä voidaan olettaa, että pituuden mittaukseen liittyvä

Taulukko 4. Systemaattisen mittausvirheen vaikutus yhtälöllä (43.3) lasketun tilavuusestimaatin keskivirheeseen ja harhaan.

Table 4. The effect of systematic measurement error on standard error and bias of the volume estimate (function 43.3).

Harha Bias	$s_f$ , % (41.1)	$b_f$ , % (41.3)	$s_b$ , % (54.3)	$b_b$ , % (54.4)	$s_v$ , % (54.1)
<b>d<sub>2h</sub></b>					
+0,5 mm	6,3	0,001	2,1	1,7	6,6
+1,0 mm	6,3	0,001	4,1	3,5	7,5
+1,5 mm	6,3	0,001	5,9	5,2	8,6
+2,0 mm	6,3	0,001	7,7	6,7	9,9
-0,5 mm	6,3	0,001	2,2	-1,9	6,6
-1,0 mm	6,3	0,001	4,6	-3,8	7,7
-1,5 mm	6,3	0,001	7,1	-5,8	9,5
-2,0 mm	6,3	0,001	9,8	-7,9	11,6
<b>h</b>					
+ 5 cm	6,3	0,001	2,5	2,0	6,8
+10 cm	6,3	0,001	4,8	3,9	7,9
+15 cm	6,3	0,001	6,9	5,6	9,3
- 5 cm	6,3	0,001	2,8	-2,1	6,9
-10 cm	6,3	0,001	6,1	-4,4	8,7
-15 cm	6,3	0,001	10,0	-6,9	11,8



Kuva 6. Systemaattisen mittausvirheen vaikutus yhtälöllä (43.3) lasketuun tilavuusestimaattiin pituusluokittain tarkasteltuna.

Fig. 6. The effect of systematic measurement error on volume estimate as a function of height (function 43.3).

mittausvirhe on pieni tai sitä ei ole lainkaan. Pituus voidaan taimikoissa mitata tarkasti cm-jaotuksella varustetulla mittatangolla. Jos puusta mitataan vain puolikorkeuden läpimita, liittyy mittauskorkeuden määrittämiseen silmävaraisesti aina virhettä. Virhe lienee suhteessa puun pituuteen ja saattaa olla systemaattista.

Virheen merkitystä on selvitetty taulukossa 5, jossa on oletettu osakorkeusläpimitan arviokorkeudeksi vuorollaan 1, 2, 3, 4, ja 5 %:n verran virheellinen korkeus. Vastaavat läpimitat on laskettu koepuiden mitattujen läpimittojen kautta kulkevalta kuutio-splini-käyrältä.

Mittauskorkeuden arviointi 4 % liian ylös tai 5 % liian alas aiheuttaa sen, että tilavuusestimaatin kokonaistarkkuus on samaa luokkaa kuin käytettäessä pituuteen perustuvaa yhtälöä. Tutkimusaineistossa se merkitsee keskiarvopuulla (4 m) 16 cm liian ylhäältä tai 20 cm liian alhaalta mitatun läpimitan käyttöä.

Taulukko 5. Mittauskorkeuden systemaattisen virheen vaikutus yhtälöllä (422.3) lasketun tilavuusestimaatin keskivirheeseen ja harhaan.

Table 5. The effect of systematic error of measurement height on standard error and bias of the volume estimate (function 422.3).

Harha Bias	$s_f$ , % (41.1)	$b_f$ , % (41.3)	$s_b$ , % (54.3)	$b_b$ , % (54.4)	$s$ , % (54.1)
$d_{,sh}$					
+ 1 %	26,4	0,063	5,8	-5,5	27,0
+ 2 %	26,4	0,063	12,2	-11,4	29,1
+ 3 %	26,4	0,063	19,1	-17,9	32,6
+ 4 %	26,4	0,063	26,6	-24,9	37,4
+ 5 %	26,4	0,063	34,8	-32,6	43,6
- 1 %	26,4	0,063	5,4	5,0	26,9
- 2 %	26,4	0,063	10,4	9,6	28,3
- 3 %	26,4	0,063	14,9	13,8	30,3
- 4 %	26,4	0,063	19,1	17,7	32,6
- 5 %	26,4	0,063	22,9	21,3	34,9

## 6. TILAVUUSTAULUKOT

Tilavuustaulukoita on esitetty liitteessä 1. Tilavuudet on taulukoissa ilmoitettu kuutio-desimetreinä (= litroina). Käyttöpuun määritelmä on yhdenmukainen Laasasenahon (1982) yleisten tilavuusyhtälöiden ja runkokäyrien kanssa. Tämä mahdollistaa eri menetelmien käytön esim. kasvunlaskennassa siirtäessä taimikoista varttuneempiin metsiin. Mahdollinen ”hyppäys” tilavuuksissa johtuu tällöin tilavuusyhtälöiden eroista, ei käyttöpuun tilavuuden määrityseroista.

Yhden tunnuksen yhtälöillä saatavia runkopuun kokonaistilavuuksia ( $v_b$  ja  $v_u$ ) ei ole taulukoitu. Näiden likiarvo saadaan kuitenkin kertomalla vastaava käyttöpuun määrä taulukossa esitettyllä kertoimella. 10 cm:n kannosta alkaen lasketun käyttöpuun tilavuuden ja maanpinnan tasosta alkaen laske-

tun runkopuun kokonaistilavuuden suhde on nimittäin jokseenkin vakio puiden eri pituusluokissa. Tarkimmin runkopuun kokonaistilavuus saadaan kuitenkin ao. yhtälöillä.

Yhden tunnuksen yhtälöissä on erikseen taulukoitu harvana kasvaneiden taimikoiden puiden tilavuudet (<5000 kpl/ha) ja tiheinä kasvaneiden taimikoiden puiden tilavuudet (>5000 kpl/ha). Lisäksi on esitetty tilavuudet ilman valemuuttujaa TIH.

Lähinnä tutkimustoiminnassa käytettäväksi tarkoitettuja kolmen tunnuksen yhtälöillä saatavia tilavuuksia ei ole taulukoitu. Mittaustarkkuuden ollessa läpimittojen kohdalla yleensä mm ja pituuden kohdalla cm tilavuudet saadaan parhaiten suoraan yhtälöillä.

## 7. PÄATELMÄT

Pienten mäntyjen runkomuoto poikkeaa suurten mäntyjen vastaavasta. Laadittaessa pienten mäntyjen tilavuusyhtälöitä rungon muotoa selittävät tehokkaimmat läpimitat sijaitsevat keskimäärin 10 %-yksikköä alempana rungolla kuin suurilla puilla. Syynä tähän on tyvilaaientuman vähäisyys, josta syystä runkokäyrän käännepeiste on pienillä puilla suhteellisesti alempana kuin suurilla.

Luontaisesti syntyneiden taimien tyvilaaientuma on voimakkaampi kuin viljelytaimien. Tästä johtuen luontaisesti syntyneiden taimien tilavuus tulee keskimäärin 3,4 %:lla aliarvioiduksi esim. kahden tunnuksen yhtälöllä. Syntyntapa ei kuitenkaan muodostunut tässä tutkimuksessa merkittäväksi muuttujaksi, mikä johtuu epätasapainoisesta koepuiden jakaumasta. Istutettujen ja kylvämällä syntyneiden puiden runkomuodoissa ei todettu selviä eroja. Syntyntavan merkityksen selvittämiseksi tarvitaan lisätutkimuksia ja etenkin luontaisesti syntyneiden männyn- taimien koeputia eri kasvupaikoilta ja eri tiheyksisistä taimikoista.

Yhden tunnuksen yhtälöillä saadaan vain karkea arvio tilavuudesta. Puolikorkeudelta mitattu läpimitta antaa tarkemman tuloksen kuin pituus. Jos puusta mitataan vain yksi läpimitta, liittyy mittauskorkeuden määrittämiseen silmävaraisesti kuitenkin aina virhetä. Puujoukon tilavuuden määrittämisessä virheet saattavat kumota toisensa, mutta on luultavaa, että menetelmällä saadaan harhainen tilavuusestimaatti. Jo noin 4 %-yksikön systemaattinen yliarvio tai 5 %-yksikön aliarvio mittauskorkeudessa huonontaa läpimitaan perustuvan mallin tuloksen pituuteen perustuvan mallin tasolle. Sen sijaan taimien pituus voidaan mitata jopa cm:n tarkkuudella harhattomasti yksinkertaisillakin välineillä.

Jos ajatellaan vähistä mittauksista saatavaa hyötyä, on metsikön pituusjakauman tunteminen tärkeämpää kuin 50 %:n korkeu-

delta mitattujen läpimittojen jakauman tunteminen. Tämän vuoksi on suositeltavaa perustaa tilavuuden määrittäminen pituuteen, jos on päätetty mitata kustakin puusta vain yksi tunnus.

Yhden tunnuksen yhtälöiden tarkkuutta voidaan parantaa ns. eksogeenisilla, puun ulkopuolisilla muuttujilla. Tässä tutkimuksessa osoittautui parhaaksi eksogeeniseksi muuttujaksi metsikön tiheyttä ja käsittelyä kuvaava valemuuttuja, joka sai arvon 1, kun metsikön tiheys oli alle 5000 kpl/ha ja arvon 0, kun tiheys oli yli 5000 kpl/ha. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat harvana alusta asti kasvaneet taimikot ja ne, joissa taimikon harvennuksesta oli kulunut vähintään 5 vuotta.

Runkoluvun vaikutus tilavuuteen tuli selvästi ilmi yhden tunnuksen yhtälöiden jään- nösvaihtelutarkastelussa. Onkin ilmeistä, että yhtälöiden tarkkuutta voitaisiin parantaa esim. lisäämällä runkolukuluokkia. Runkoluvun määrittäminen rajatapauksissa saattaa kuitenkin muodostua vaikeaksi. Taimikon harvennuksen aiheuttama runkoluvun muutos vaikeuttaa entisestään runkoluku- muuttujan käyttöä.

Eksogeenisista muuttujista ainakin kasvupaikka ja syntyntapa ovat muuttumattomia, mutta niiden selitysarvo ei ole samaa luokkaa metsikön tiheyden kanssa.

Erimuotoisten puiden tilavuutta ei voida määrittää kaikissa tapauksissa luotettavasti kahdenkaan tunnuksen yhtälöillä. Tästä on osoituksena toisaalta se, että Laasasenahon (1982) kahden tunnuksen yhtälö yliarvioi systemaattisesti tutkimuksen koepuiden tilavuuksia, ja toisaalta se, että testiaineistossa tämän tutkimuksen malli aliarvioi tilavuuksia jonkin verran. Sen sijaan kahteen läpimitaan ja pituuteen perustuvilla yhtälöillä saadaan yleensä harhattomat tilavuusestimaatit.

## 8. YHTEENVETO

Tutkimuksessa tarkastellaan eri vaihtoehtoja pienten mäntyjen tilavuuden määrittämiseksi pituutta ja suhteellisilta korkeuksilta mitattuja läpimittoja käyttäen. Pienillä männyllä tarkoitetaan alle 6 m pitkiä taimia ja riukuvaiheen puita.

Aineisto koostuu kahdesta osamateriaalista, yhteensä 1283 männystä, joista 52 on luontaisesti syntyneitä, 771 kylvettyjä ja 460 istutettuja. Puista on mitattu 7—10 suhteellisen korkeuden läpimittaa kuorellisina ja kuorettomina sekä rinnankorkeusläpimitta ja pituus.

Yhtälöitä esitetään kuorelliselle ja kuoretomalta maanpinnan tasosta lähtien lasketulle tilavuudelle ( $v_b$  ja  $v_u$ ) ja käyttöpuun määrittämiseksi 10 cm:n korkeudelta alkaen ( $vk_b$  ja  $vk_u$ ). Yhtälöt perustuvat seuraaviin muuttujiin:

1. Yhden muuttujan yhtälöt: pituus tai  $d_{5h}$  sekä eksogeeninen luokkamuuttuja TIH ( $<5000/>5000$  kpl/ha),
2. Kahden muuttujan yhtälöt: pituus ja  $d_{2h}$ ,
3. Kolmen muuttujan yhtälöt: pituus,  $d_{1h}$  ja  $d_{4h}$ .

Yhtälöihin liittyvät tilavuusestimaatin suhteelliset keskivirheet ovat: pituus ( $\pm 37$ – $39$  %),  $d_{5h}$  ( $\pm 25$ – $28$  %), pituus ja  $d_{2h}$  ( $\pm 6,2$ – $8,9$  %) ja pituus,  $d_{1h}$  ja  $d_{4h}$  ( $\pm 3,8$ – $7,7$  %).

Yhtälöiden luotettavuutta tarkasteltiin testineistolla, joka koostui 6—10 m:n pituisis-

ta puista. Systemaattiset virheet vaihtelevat yhden tunnuksen yhtälön  $-3,5$  %:sta kolmen tunnuksen yhtälön  $+0,8$  %:iin.

Parhaimmat tilavuutta selittävät läpimitat sijaitsevat keskimäärin 10 %-yksikköä alempana runkokäyrällä kuin kookkaiden mäntyjen malleissa (Laasasenaho 1982). Tämä johtuu pienten puiden tyvilaaajentuman vähyydestä ja siten runkokäyrän käännepesteen alemmasta sijainnista.

Mittausvirheiden merkitys pienillä puilla on huomattava. Jo 1,5 mm:n systemaattinen yli- tai aliarvio läpimitassa tai 10—15 cm:n systemaattinen virhearvio pituudessa aiheuttaa yhtä suuren suhteellisen keskivirheen kuin mitä tilavuusyhtälöihin liittyy. Pelkään yhteen läpimittaan perustuvaan tilavuuden määrittämiseen liittyy aina läpimitan mittauskorkeuden silmävaraisesta arvioinnista johtuva virhe. Tästä syystä suositellaan pituuden mittaamista ja vastaavan yhtälön käyttöä, jos puista mitataan vain yksi tunnus.

Yhteen läpimittaan ja pituuteen perustuva malli on aineistokohtainen ja voi antaa harhaisia tuloksia laadinta-aineiston ulkopuolella. Sen sijaan kahteen läpimittaan ja pituuteen perustuva malli antaa yleensä harhattoman tuloksen aineistosta riippumatta.

## KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Hypönen, M. & Roiko-Jokela, P. 1978. Koepuiden mittauksen tarkkuus ja tehokkuus. Summary: On the accuracy and effectivity of measuring sample trees. *Folia For.* 356: 1—25.
- Ilvessalo, Y. 1947. Pystypuiden kuutioimistaulukot. Summary: Volume tables for standing trees. *Commun. Inst. For. Fenn.* 34(4): 1—149.
- Kilkki, P., Saramäki, M. & Varmola, M. 1978. A simultaneous equation model to determine taper curve. Seloste: Runkokäyrän määrittäminen simultaanisen moniyhtälömallin avulla. *Silva Fenn.* 12(2): 120—125.
- & Varmola, M. 1979. A nonlinear simultaneous equation model to determine taper curve. Seloste: Runkokäyrän määrittäminen epälineaarisen simultaanisen moniyhtälömallin avulla. *Silva Fenn.* 13(4): 293—303.
- & Varmola, M. 1981. Taper curve models for Scots pine and their applications. Seloste: Männyn runkokäyrämalleja ja niiden sovellutuksia. *Acta For. Fenn.* 174: 1—60.
- Kuusela, K. 1965. A method for estimating the volume and taper curve of tree stem and for preparing volume functions and tables. Seloste: Menetelmä puun

- runгон kuutiomäärän ja kapenemiskäyrän arvioimiseksi, sekä kuutioimisfunktioiden ja -taulukoiden valmistamiseksi. *Commun. Inst. For. Fenn.* 60(2): 1—18.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 108: 1—74.
- & Snellman, C—G. 1983. Männyn, kuusen ja koivun tilavuustaulukot. *Volymtabeller för tall, gran och björk. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 113: 1—91.
- Loetsch, F., Zöhrer, F. & Haller, K.E. 1973. *Forest inventory. Volume 2.* München. 1—469.
- Näslund, M. 1947. *Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. Tall, gran och björk i södra Sverige samt i hela landet.* Summary: Functions and tables for computing the cubic volume of standing trees. Pine, spruce and birch in southern Sweden, and in the whole of Sweden. *Medd. från Statens skogs-forskningsinstitut* 36(3): 1—81.
- Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. *Folia For.* 451: 1—21.
- Vuokila, E. 1985. Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöt ja -taulukot. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. *Konekirjoite.* 40 s.
- Vuokila, Y. 1960. Lehtikuusen kuutioimisytälöt ja -taulukot. Summary: Tree volume functions and tables for larch. *Commun. Inst. For. Fenn.* 51(10): 1—89.

*Total of 13 references*

## SUMMARY

### Tree volume functions and tables for small-sized pines

Alternative methods for determining volume of small-sized pines using height and relative-height diameters are discussed in this study. Two different materials were connected together. The whole material consists of 1283 sapling and pole stage pines, of which 52 naturally regenerated, 771 sowed and 460 planted. In all 7 to 10 relative-height diameters incl. and excl. bark, dbh and height were measured.

Volume functions are presented for the whole stemwood volume above ground level incl. and excl. bark ( $v_b$  and  $v_v$ ) and for stemwood volume from 10 cm ( $vk_b$  and  $vk_v$ ). The functions are based on the following independent variables:

1. functions with one variable: height or  $d_{5h}$  and an exogenous variable describing the density of a stand  $TIH (<5000/>5000 \text{ st/ha})$ ,
2. functions with two variables: height and  $d_{2h}$ ,
3. functions with three variables: height,  $d_{1h}$ , and  $d_{4h}$ .

The corresponding standard errors of the functions are: height ( $\pm 37-39 \%$ ),  $d_{5h}$  ( $\pm 25-28 \%$ ), height and  $d_{2h}$  ( $\pm 6,2-8,9 \%$ ) and height,  $d_{1h}$ , and  $d_{4h}$  ( $\pm 3,8-7,7 \%$ ).

The accuracy of the functions was examined with a

test material consisting of 6 to 10 m high young pines. Biases varied from  $-3,5$  to  $+0,8 \%$  depending on the function used.

The most effective relative-height diameters for predicting the volume of small-sized pines are situated about 10 %-units lower in the taper curve than are those of tall pines. This is due to the smaller butt swelling in small trees and thus the lower situation of the turning point of the taper curve.

The effect of the measurement errors in predicting the volume of small trees is considerable. A systematic over- or underestimation of only 1,5 mm in the diameter or 10 to 15 cm in the height means standard error as large as those of the volume function. When measuring only one diameter ( $d_{5h}$ ) there is always the danger of error due to the ocular determination of the measurement height. Thus the measurement of height is recommended, if only one variable is being measured.

The functions based on one relative-height diameter and height can give biased results in different materials. This became obvious when using the functions in the test material and the corresponding model of Laasasenaho (1982) in the study material. Three variable functions usually give unbiased results in any material.

LIITE — APPENDIX

Rungon tilavuus pituuden funktiona (kerroin =  $v_b/vk_b$  tai  $v_u/vk_u$ ).

Stem volume as a function of height (coefficient =  $v_b/vk_b$  or  $v_u/vk_u$ ).

h, m	$vk_b, dm^3$		(421.7)	$vk_u, dm^3$		kerroin coefficient	
	(421.3)			(421.4)			
	<5000	>5000		<5000	>5000		
0,25	0,00132	0,00098	0,00113	0,00080	0,00059	0,00068	3,828
0,50	0,0174	0,0128	0,0151	0,0113	0,00832	0,00980	1,790
0,75	0,0621	0,0459	0,0543	0,0420	0,0308	0,0367	1,452
1,00	0,146	0,108	0,128	0,101	0,0742	0,0888	1,317
1,25	0,277	0,205	0,245	0,196	0,144	0,173	1,245
1,50	0,465	0,344	0,413	0,333	0,245	0,295	1,200
1,75	0,716	0,529	0,637	0,519	0,381	0,461	1,170
2,00	1,04	0,766	0,925	0,759	0,558	0,676	1,148
2,25	1,43	1,06	1,28	1,06	0,779	0,946	1,132
2,50	1,91	1,41	1,72	1,43	1,05	1,28	1,119
2,75	2,48	1,83	2,23	1,86	1,37	1,67	1,109
3,00	3,15	2,32	2,83	2,38	1,75	2,13	1,101
3,25	3,91	2,89	3,52	2,97	2,18	2,67	1,094
3,50	4,78	3,53	4,31	3,65	2,68	3,29	1,089
3,75	5,75	4,25	5,19	4,42	3,25	3,99	1,084
4,00	6,85	5,06	6,19	5,29	3,89	4,77	1,079
4,25	8,06	5,96	7,29	6,25	4,60	5,65	1,076
4,50	9,40	6,94	8,51	7,32	5,38	6,62	1,073
4,75	10,9	8,03	9,85	8,50	6,25	7,70	1,070
5,00	12,5	9,21	11,3	9,79	7,20	8,87	1,067
5,25	14,2	10,5	12,9	11,2	8,23	10,2	1,065
5,50	16,1	11,9	14,6	12,7	9,35	11,6	1,063
5,75	18,1	13,4	16,5	14,4	10,6	13,1	1,061
6,00	20,3	15,0	18,5	16,2	11,9	14,7	1,060

Rungon tilavuus 50 %:n korkeudelta mitatun läpimitan funktiona (kerroin =  $v_b/vk_b$  tai  $v_u/vk_u$ ).

Stem volume as a function of diameter at 50 % relative height (coefficient =  $v_b/vk_b$  or  $v_u/vk_u$ ).

d, sh, cm	vk <sub>b</sub> , dm <sup>3</sup>		vk <sub>u</sub> , dm <sup>3</sup>		kerroin coefficient		
	(422.3)		(422.7)		(422.8)		
	<5000	>5000	<5000	>5000	(422.4)	(422.8)	
0,5	0,00519	0,00574	0,00566	0,00329	0,00366	0,00361	1,991
1,0	0,0613	0,0678	0,0657	0,0416	0,0463	0,0448	1,383
1,5	0,235	0,260	0,250	0,166	0,184	0,177	1,235
2,0	0,596	0,659	0,629	0,431	0,479	0,456	1,168
2,5	1,21	1,34	1,27	0,895	0,995	0,942	1,131
3,0	2,16	2,39	2,26	1,62	1,80	1,69	1,106
3,5	3,50	3,88	3,65	2,66	2,96	2,78	1,089
4,0	5,32	5,89	5,53	4,08	4,54	4,25	1,077
4,5	7,68	8,50	7,96	5,96	6,63	6,18	1,067
5,0	10,7	11,8	11,0	8,34	9,28	8,63	1,059
5,5	14,3	15,9	14,8	11,3	12,6	11,7	1,053
6,0	18,8	20,8	19,3	14,9	16,6	15,4	1,048
6,5	24,0	26,6	24,7	19,2	21,4	19,8	1,043
7,0	30,2	33,4	31,0	24,3	27,1	25,0	1,039
7,5	37,4	41,4	38,3	30,3	33,7	31,1	1,036
8,0	45,6	50,5	46,7	37,2	41,3	38,0	1,033
8,5	55,0	60,9	56,2	45,0	50,1	46,0	1,031
9,0	65,6	72,6	66,9	53,9	60,0	55,1	1,028
9,5	77,5	85,7	78,9	64,0	71,2	65,3	1,026
10,0	90,7	100,4	92,3	75,3	83,7	76,7	1,025

Rungon tilavuus pituuden ja 20 %:n korkeudelta mitatun läpimitan funktiona.  
 Stem volume as a function of height and diameter at 20 % relative height.

h, m

	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
$d_{2h}$ cm	$v_b, \text{dm}^3$											
0,5	0,00676	0,0152										
1,0	0,0232	0,0519	0,0831	0,116								
1,5	0,0476	0,107	0,171	0,239	0,310	0,383						
2,0		0,178	0,285	0,399	0,517	0,639	0,765					
2,5		0,265	0,425	0,594	0,769	0,951	1,14	1,33				
3,0		0,367	0,588	0,822	1,07	1,32	1,58	1,84	2,11	2,39		
3,5			0,775	1,08	1,40	1,74	2,08	2,43	2,78	3,15	3,51	3,89
4,0			0,984	1,38	1,78	2,21	2,64	3,08	3,53	4,00	4,46	4,94
4,5			1,22	1,70	2,20	2,72	3,26	3,81	4,37	4,94	5,51	6,10
5,0				2,05	2,66	3,29	3,94	4,60	5,28	5,96	6,66	7,37
5,5				2,44	3,16	3,91	4,68	5,46	6,26	7,08	7,91	8,75
6,0				2,85	3,70	4,57	5,47	6,39	7,33	8,28	9,25	10,2
6,5					4,27	5,28	6,32	7,38	8,47	9,57	10,7	11,8
7,0					4,88	6,04	7,23	8,44	9,68	10,9	12,2	13,5
7,5						6,84	8,19	9,56	11,0	12,4	13,9	15,3
8,0						7,69	9,20	10,8	12,3	13,9	15,6	17,2
8,5							10,3	12,0	13,8	15,6	17,4	19,2
9,0							11,4	13,3	15,3	17,3	19,3	21,3
9,5								14,7	16,9	19,1	21,3	23,6
10,0								16,1	18,5	20,9	23,4	25,9
10,5									20,2	22,9	25,6	28,3
11,0									22,0	24,9	27,8	30,0
11,5										27,0	30,2	33,4
12,0										29,2	32,6	36,1
12,5										31,5	35,2	38,9
13,0											37,8	41,8
13,5											40,5	44,9
14,0											43,4	48,0

h, m

	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
$d_{2h}$ cm	$v_u, \text{dm}^3$											
0,5	0,00403	0,00929										
1,0	0,0146	0,0336	0,0548	0,0775								
1,5	0,0309	0,0712	0,116	0,164	0,215	0,268						
2,0		0,121	0,198	0,280	0,366	0,456	0,549					
2,5		0,183	0,299	0,423	0,553	0,689	0,830	0,975				
3,0		0,257	0,419	0,592	0,775	0,965	1,16	1,36	1,57	1,79		
3,5			0,556	0,787	1,03	1,28	1,54	1,81	2,09	2,37	2,66	2,96
4,0			0,712	1,01	1,32	1,64	1,98	2,32	2,67	3,04	3,41	3,78
4,5			0,884	1,25	1,64	2,04	2,45	2,88	3,32	3,77	4,23	4,70
5,0				1,52	1,99	2,48	2,98	3,50	4,03	4,58	5,14	5,71
5,5				1,81	2,37	2,95	3,55	4,17	4,81	5,46	6,12	6,80
6,0				2,12	2,78	3,46	4,17	4,89	5,64	6,40	7,18	7,98
6,5					3,22	4,01	4,83	5,67	6,53	7,42	8,32	9,24
7,0					3,69	4,59	5,53	6,49	7,48	8,50	9,53	10,6
7,5						5,21	6,27	7,37	8,49	9,64	10,8	12,0
8,0						5,86	7,06	8,29	9,56	10,9	12,2	13,5
8,5							7,89	9,27	10,7	12,1	13,6	15,1
9,0							8,76	10,3	11,9	13,5	15,1	16,8
9,5								11,4	13,1	14,9	16,7	18,5
10,0								12,5	14,4	16,3	18,3	20,3
10,5									15,7	17,8	20,0	22,2
11,0									17,1	19,4	21,8	24,2
11,5										21,0	23,6	26,2
12,0										22,7	25,5	28,3
12,5										24,5	27,5	30,5
13,0											29,5	32,7
13,5											31,6	35,0
14,0											33,7	37,4

$d_{,2h}$ cm	h, m												
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
	$vk_b, dm^3$												
0,5	0,00428	0,0116											
1,0	0,0146	0,0397	0,0686	0,100									
1,5	0,0300	0,0816	0,141	0,205	0,274	0,346							
2,0		0,136	0,235	0,342	0,456	0,576	0,702						
2,5		0,202	0,349	0,508	0,678	0,857	1,04	1,24					
3,0		0,279	0,482	0,703	0,938	1,19	1,44	1,71	1,98	2,26			
3,5			0,634	0,925	1,23	1,56	1,90	2,25	2,61	2,98	3,36	3,75	
4,0			0,805	1,17	1,57	1,98	2,41	2,85	3,31	3,78	4,26	4,75	
4,5			0,993	1,45	1,93	2,44	2,97	3,52	4,08	4,66	5,26	5,87	
5,0				1,75	2,33	2,94	3,58	4,25	4,93	5,63	6,35	7,08	
5,5				2,07	2,76	3,49	4,25	5,03	5,84	6,67	7,52	8,39	
6,0				2,42	3,23	4,08	4,96	5,88	6,83	7,80	8,79	9,81	
6,5					3,73	4,71	5,73	6,79	7,88	9,00	10,1	11,3	
7,0					4,26	5,38	6,54	7,75	9,00	10,3	11,6	12,9	
7,5						6,08	7,40	8,77	10,2	11,6	13,1	14,6	
8,0						6,83	8,31	9,85	11,4	13,1	14,7	16,4	
8,5							9,27	11,0	12,7	14,6	16,4	18,3	
9,0							10,3	12,2	14,1	16,1	18,2	20,3	
9,5								13,4	15,6	17,8	20,0	22,4	
10,0								14,7	17,1	19,5	22,0	24,5	
10,5									18,6	21,3	24,0	26,8	
11,0									20,3	23,2	26,1	29,1	
11,5										25,1	28,3	31,6	
12,0										27,1	30,6	34,1	
12,5										29,2	32,9	36,7	
13,0											35,3	39,4	
13,5											37,8	42,2	
14,0											40,4	45,1	

$d_{,2h}$ cm	h, m												
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
	$vk_u, dm^3$												
0,5	0,00260	0,00735											
1,0	0,00928	0,0263	0,0463	0,0685									
1,5	0,0195	0,0553	0,0974	0,144	0,194	0,248							
2,0		0,0936	0,165	0,244	0,329	0,420	0,515						
2,5		0,141	0,248	0,367	0,495	0,632	0,775	0,924					
3,0		0,196	0,346	0,512	0,691	0,881	1,08	1,29	1,50	1,73			
3,5			0,459	0,679	0,916	1,17	1,43	1,71	1,99	2,29	2,59	2,90	
4,0			0,585	0,865	1,17	1,49	1,83	2,18	2,54	2,92	3,31	3,70	
4,5			0,725	1,07	1,45	1,84	2,26	2,70	3,15	3,61	4,09	4,59	
5,0				1,30	1,75	2,23	2,74	3,27	3,81	4,38	4,96	5,55	
5,5				1,54	2,08	2,65	3,26	3,88	4,53	5,20	5,89	6,60	
6,0				1,81	2,44	3,11	3,81	4,54	5,30	6,09	6,90	7,73	
6,5					2,82	3,59	4,40	5,25	6,13	7,04	7,97	8,93	
7,0					3,22	4,11	5,03	6,00	7,01	8,05	9,11	10,2	
7,5						4,65	5,70	6,80	7,94	9,11	10,3	11,6	
8,0						5,22	6,40	7,64	8,91	10,2	11,6	13,0	
8,5							7,14	8,51	9,94	11,4	12,9	14,5	
9,0							7,91	9,43	11,0	12,6	14,3	16,0	
9,5								10,4	12,1	13,9	15,8	17,7	
10,0								11,4	13,3	15,3	17,3	19,4	
10,5									14,5	16,7	18,9	21,1	
11,0									15,8	18,1	20,5	23,0	
11,5										19,6	22,2	24,9	
12,0										21,1	23,9	26,8	
12,5										22,7	25,7	28,8	
13,0											27,6	30,9	
13,5											29,5	33,0	
14,0											31,5	35,2	

ODC 524 + 525.1 + 526.5  
ISBN 951-40-0735-2  
ISSN 0015-5543

VARMOLA, M. & VUOKILA, E. 1986. Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöt ja -taulukot. Summary: Tree volume functions and tables for small-sized pines. Folia For. 652: 1—24.

Functions for the estimation of cubic volume incl. and excl. bark of small-sized pines (height < 6 m) are given based on a material of 1283 sample trees. The volume functions and tables are based on height,  $d_{.5hr}$ , height and  $d_{.2hr}$ , or height,  $d_{.1hr}$  and  $d_{.4hr}$ .

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, Eteläranta 55, SF-96300 Rovaniemi.

ODC 524 + 525.1 + 526.5  
ISBN 951-40-0735-2  
ISSN 0015-5543

VARMOLA, M. & VUOKILA, E. 1986. Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöt ja -taulukot. Summary: Tree volume functions and tables for small-sized pines. Folia For. 652: 1—24.

Functions for the estimation of cubic volume incl. and excl. bark of small-sized pines (height < 6 m) are given based on a material of 1283 sample trees. The volume functions and tables are based on height,  $d_{.5hr}$ , height and  $d_{.2hr}$ , or height,  $d_{.1hr}$  and  $d_{.4hr}$ .

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, Eteläranta 55, SF-96300 Rovaniemi.

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 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

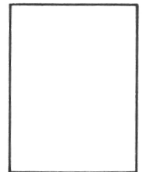
Osoite  
Address \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

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





# 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:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, 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:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* Eteläranta 55  
96300 Rovaniemi, Finland  
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

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

Kannuksen tutkimusasema  
*Kannus Research Station*  
Os. — *Address:* PL 44  
69101 Kannus, Finland  
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

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

- No 631 Pohtila, Eljas & Valkonen, Sauli: Varttuneiden viljelytaimikoiden tila Lapin piirimetsälautakunnan alueen yksityismetsissä.  
Development and condition of artificially regenerated pine and spruce sapling stands in the privately owned forests of Finnish Lapland.
- No 632 Norokorpi, Yrjö & Kärkkäinen, Sirpa: Maaston korkeuden vaikutus puusto- ja kasvupaikkatunnuksiin sekä tykkytuhoihin Kuusamossa.  
The effect of altitude on stand and site characteristics and crown snow-load damages in Kuusamo in northern Finland.
- No 633 Silfverberg, Klaus & Huikari, Olavi: Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemaidilla.  
Wood-ash fertilization on drained peatlands.
- No 634 Yli-Kojola, Hannu: Metsän ikärakenteen kehitys.  
The development of age-class composition.
- No 635 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1984.  
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1984.
- No 636 Vuokila, Yrjö: Puuston määrän vaikutus istutuskuusikon kehitykseen, kasvuun ja tuotokseen.  
The effect of growing stock level on the development, growth and yield of spruce plantations in Finland.
- No 637 Räsänen, Pentti K., Pohtila, Eljas, Laitinen, Esko, Peltonen, Antti & Rautiainen, Olavi: Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978—1979 inventointitulokset.  
Forest regeneration in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from the inventories in 1978—1979.
- No 638 Ihalainen, Ritva: Opintojen keskeyttäminen metsäalan ammatillisessa koulutuksessa.  
The abandonment of studies in vocational training in forestry.
- No 639 Uotila, Antti: Siemenen siirron vaikutuksesta männyn versosyöpäalttiuteen Etelä- ja Keski-Suomessa.  
On the effect of seed transfer on the susceptibility of Scots pine to *Ascochyta abietina* in southern and central Finland.
- No 640 Repo, Seppo: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1983—1985.  
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1983—1985.
- No 641 Ferm, Ari: Jätevedellä kasteltujen lehtipuiden alkukehitys ja biomassatuotos kaatopaikalla.  
Early growth and biomass production of some hardwoods grown on sanitary landfill and irrigated with leachate waste-water.

1986

- No 642 Rikala, Risto & Petäistö, Raija-Liisa: Lannoituksen vaikutus koulittujen rauduskoivun taimien ravinnepitoisuuteen, kasvuun ja versolaikkaisuuteen.  
Effect of fertilization on the nutrient concentration, growth and incidence of stem spotting in bare-rooted birch transplants.
- No 643 Juntunen, Marja-Liisa: Metsäalan toimihenkilöiden ajankäyttö ja työtehtävät. NSR:n yhteispohjoismaisen projektin "Metsätalouden työorganisaatio" osatutkimus.  
The time expenditure and work tasks of forest functionaries. A part study of joint Nordic NSR project "The organization of work in forestry".
- No 644 Saksa, Timo: Männyn taimikoiden kehitys muokatuilla viljelyaloilla Lieksan ja Rautavaaran hoitoalueissa.  
The development of Scots pine plantations on prepared reforestation areas in northern Karelia in Finland.
- No 645 Sirén, Matti: Puuston vaurioituminen karsimattomien puiden ja puunosien korjuussa.  
Stand damage in logging of undelimited trees and tree parts.
- No 646 Kaunisto, Seppo & Tukeva, Jorma: Kasvatustiheyden vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen turvemaidilla.  
Effect of tree spacing on the development of pine plantations on peat.
- No 647 Ikäheimo, Erkki & Norokorpi, Yrjö: Perkauksen vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen, laatuun ja tuhoihin Pohjois-Suomessa.  
The effect of cleaning on the incidence of damage and the development and quality of Scots pine plantations in northern Finland.
- No 648 Kortesharju, Jouko: Hillan sato ja kukinta lannoitus- ja olkikatekokeissa Rovaniemen maalaiskunnassa.  
The yield and flowering of the cloudberry (*Rubus chamaemorus*) in fertilizer and straw mulch experiments at Rovaniemi, northern Finland.
- No 649 Valtanen, Jukka, Kuusela, Juha, Marjakangas, Arto & Huurinainen, Seppo: Eri ajankohtina istutettujen männyn ja lehtikuusen kennotaimien alkukehitys.  
Initial development of Scots pine and Siberian larch paperpot seedlings planted at various times.
- No 650 Ovaskainen, Ville: Funktionaalinen tulonjako metsäteollisuudessa 1955—1983.  
Factor shares in the Finnish forest industries, 1955—1983.
- No 651 Teivainen, Terttu, Jukola-Sulonen, Eeva-Liisa & Mäenpää, Elina: Pintakasvillisuuden kemiallisen torjunnan vaikutus peltomyyräpopulaation kehitykseen.  
The effect of ground-vegetation suppression using herbicide on the field vole, *Microtus agrestis* (L.), population.
- No 652 Varmola, Martti & Vuokila, Erkki: Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöt ja -taulukot.  
Tree volume functions and tables for small-sized pines.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita 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.*