

FOLIA FORESTALIA 442

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1980

RISTO PÄIVINEN

PUIDEN LÄPIMITTAJAKAUMAN
ESTIMOINTI JA SIIHEN PERUSTUVA
PUUSTOTUNNUSTEN LASKENTA

ON THE ESTIMATION OF THE
STEM-DIAMETER DISTRIBUTION
AND STAND CHARACTERISTICS

- 1979
- No 378 Mäkelä, Markku: Tilasto- ja aikatutkimustuotosten vertailua ainespuun korjuussa. Output in harvesting of industrial wood based on statistical data or time studies.
- No 379 Velling, Pirkko: Erilaisten rauduskoivuprovenienssien alkukehityksestä taimitarhalla ja kenttäkokeissa. Initial development of different *Betula pendula* Roth provenances in the seedling nursery and in field trials.
- No 380 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Suomen metsävarat lääneittäin 1971—1976. Forest resources in Finland 1971—1976 by counties.
- No 381 Hyppönen, Mikko & Norokorpi, Yrjö: Lahoisuuden vaikutus puutavaran saantoon ja arvoon Peräpohjan vanhoissa kuusikoissa. The effect of decay on timber yield and value of the old Norway spruce stands in northern Finland.
- No 382 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä turvemaalla. Effect of spreading method on forest fertilization results on peatlands.
- No 383 Sirén, Matti, Vuorinen, Heikki & Sauvala, Kari: Pientraktorien heilunta. Low-frequency vibration in small tractors.
- No 384 Löytyniemi, Kari & Rousi, Matti: Lehtipuutaimistojen hyönteistuhosta. On insect damage in young deciduous stands.
- No 385 Hytönen-Kemiläinen, Riitta: Suomen sahatavaramarkkinat Länsi-Euroopassa vuosina 1950—1975 ja alueen sahatavaran kulutuksen ennustaminen. Finland's West-European sawnwood markets 1950—1975, with an econometric model for forecasting the area's sawnwood consumption.
- No 386 Parviainen, Jari: Istuttamalla perustetun männikön, kuusikon, siperialaisen lehtikuusikon ja rauduskoivikon alkukehitys. Early development of Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations.
- No 387 Teivainen, Terttu: Metsäpuiden taimien myyrätuhot metsänuodistusaloilla ja metsite-tyillä pelloilla Suomessa vuosina 1973—76. Vole damage to forest tree seedlings in reforested areas and fields in Finland in the years 1973—76.
- No 388 Teivainen, Terttu, Jukola, Eeva-Liisa, Kaikusalo, Asko & Korhonen, Kyllikki: Vesimyyrän, *Arvicola terrestris* (L.), aiheuttamat metsäpuiden taimien juuristotuhot vv. 1973—76 Suomessa. Root damage of forest tree seedlings caused by water vole, *Arvicola terrestris* (L.), in the years 1973—76 in Finland.
- No 389 Kolari, Kimmo K.: Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmio Suomessa. Kirjallisuuskatsaus. Micro-nutrient deficiency on forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review.
- No 390 Kaunisto, Seppo & Metsänen, Rauni: Turpeen muokkauksen ja lannoitteiden sijoittamisen vaikutus männyn taimien juuriston kehitykseen tupasvillanevalla. Effects of soil preparation and fertilizer placement on the root development of Scots pine on deep peat.
- No 391 Valtonen, Kari: Loppukäyttötiedot saha- ja puulevyteollisuuden markkinoinnissa. End-use information for marketing in sawmill and wood-based panel industries.
- No 392 Isomäki, Anri: Kuusialikasvoksen vaikutus männikön kasvuun, tuotokseen ja tuottoon. The effect of spruce undergrowth on the increment, yield and returns of a pine stand.
- No 393 Kurkela, Timo: *Lophodermium seditiosum* Minter *et al.* -sien esiintyminen männyn karisteen yhteydessä. Association of *Lophodermium seditiosum* Minter *et al.* with a needle cast epidemic on Scots pine.
- No 394 Rikala, Risto: Lannoitteiden levitystavan vaikutus koulittujen männyn ja kuusen taimien kehittymiseen taimitarhalla. The effect of fertilizer spreading methods on the development of pine and spruce transplants in the nursery.
- No 395 Löytyniemi, Kari, Austarå, Øystein, Bejer, Broder & Ehnström, Bengt: Insect pests in forests of the Nordic Countries 1972—1976. Tuhohyönteisten esiintyminen Pohjoismaiden metsissä 1972—1976.
- No 396 Silfverberg, Klaus: Männyn kasvuhäiriön ajoittuminen ja alkukehitys turvemaan booripuutosalueella. Phenology and initial development of a growth disorder in Scots pine on boron deficient peatland.
- No 397 Talkamo, Tero: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1976 (1964—1973). Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1976 (1964—1973) by districts.
- No 398 Lehto, Jaakko: Metsäalan koulutus metsäalan organisaatioiden arvioimana. Forest education evaluated by forestry organizations.
- No 399 Jokinen, Katriina & Tamminen, Pekka: Tyvilahoisten kuusikoiden jälkeen istutetuissa männyn taimistoissa esiintyvät sienituhot Keski-Satakunnassa. Fungal damage in young Scots pine stands replacing butt rot-infected Norway spruce stands in SW Finland.

FOLIA FORESTALIA 442

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1980

Risto Päivinen

PUIDEN LÄPIMITTAJAKAUMAN ESTIMOINTI JA SIIHEN
PERUSTUVA PUUSTOTUNNUSTEN LASKENTA

On the estimation of the stem-diameter distribution and stand
characteristics

ODC 521.1:524.63--015.5
ISBN 951-40-0461-2
ISSN 0015-5543

PÄIVINEN, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Summary: On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics. *Folia For.* 442:1—28.

Tutkimuksessa on vertailtu valtakunnan metsien 3. inventoinnin aineistosta valittujen koealojen ja Metsäntutkimuslaitoksen metsikkökoealojen puuston läpimittajakaumien tunnuksia ja todettu runkolukusarjojen poikkeavan toisistaan. Näiden aineistojen pohjalta on laadittu läpimittajakauman estimointimenetelmä ja siihen perustuva puustotunnusten laskentamenetelmä.

Metsikön puiden pohjapinta-alan jakaantuminen rinnankorkeusläpimittaluokkiin on estimoitu betafunktion avulla. Läpimittaluokan runkojen pohjapinta-alan ja pituusmalleilla lasketun pituuden avulla on saatu läpimittaluokittaiset puutunnukset, joista yhteenlaskemalla on päästy metsikön puustotunnuksiin.

Pohjapinta-alan läpimittajakauman estimoimiseen on käytetty puuston kokonais-pohjapinta-alaa, keskiläpimittaa sekä läpimitan vaihteluvälin ala- ja ylärajaa sekä pohjapinta-alan läpimittajakauman varianssia. Näistä kaksi ensimmäistä on oletettu mitatuiksi samoin kuin keskiläpimittaa vastaava keskipituus. Läpimitan vaihteluvälin rajoille sekä pohjapinta-alan hajonnalle on laadittu regressiomallit, joissa selittävinä muuttujina ovat yleiset metsikkötunnukset. Regressioestimaateilla voidaan korvata läpimittajakauman tunnuslukujen mittauksia.

Puuston runktilavuuden ja puutavaralajien osuuden arvio tarkkeni, kun malleilla laskettuja läpimittajakauman tunnuslukuja korvattiin mitatuilla arvoilla. Tukkipuun osuuden laskentaa voitaisiin tarkentaa myös mittaamalla tukkirunkojen pohjapinta-ala.

A method for calculation the stand characteristics based on the estimated stem-diameter distribution is presented. Two sample plot materials, one collected during the 3rd National Forest Inventory of Finland and another from permanent sample plots of Finnish Forest Research Institute are analyzed.

The distribution of the basal area into diameter classes is fitted by the beta-function. To estimate the basal area weighted stem-diameter distribution the total basal area, mean diameter, the range of the diameters as well as the variance of the distribution are needed. Regression models are derived to estimate the upper and lower limit and the variance of the distribution.

From the stem-diameter distribution, the stand characteristics are derived by the tree-wise functions. Height, volume and timber assortment equations are employed in this study.

The estimates of the stem volume and timber assortment percentages can be adjusted by the measurements of the range and variance of the stem-diameter distribution instead of using the regression estimates. The basal area of the sawlog stems could be an efficient variable in the estimation of timber assortments.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	4
2. RUNKOLUKUSARJAN TASOITTAMINEN	4
21. Graafinen tasoitus	4
22. Normaalijakaumaan perustuvia tasoitusmenetelmiä	4
23. Betafunktion perustuva tasoitusmenetelmä	5
3. METSIKÖN PUUSTON RUNKOTILAVUUDEN LASKENTA	7
31. Yleistä	7
32. Metsikön puuston runkotilavuuden estimoinnissa käytettyjä menetelmiä	7
33. Esimerkki pohjapinta-alan läpimittajakauman tunnusten vaikutuksesta metsikön runkotilavuuteen ja puutavaralajien osuuteen	7
4. AINEISTOT	9
41. Aineiston vaatimukset	9
42. Valtakunnan metsien 3. inventoinnin koealat	9
43. Metsikkökoalat	10
44. Aineistojen vertailua	10
441. Metsikkötunnukset	10
442. Rinnankorkeusläpimittojen vaihtelualue	10
443. Pohjapinta-alan läpimittajakauman keskihajonta	10
444. Betafunktion eksponentit	11
5. POHJAPINTA-ALAN LÄPIMITTAJAKAUMAN TUNNUSLUKUIEN ESTIMOINTI	13
6. POHJAPINTA-ALAN LÄPIMITTAJAKAUMAN ESTIMOINTI JA PUUSTOTUNNUSTEN LASKENTA	14
61. Yleistä	14
62. Pohjapinta-alan läpimittajakauman estimointi	14
63. Metsikön runkotilavuuden ja puutavaralajiosuuksien laskenta	16
7. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO	17
71. Valtakunnan metsien 3. inventoinnin koealat	17
72. Metsikkökoalat	20
73. Läpimittaluokan koon vaikutus tulosten tarkkuuteen	20
8. MENETELMÄN SOVELTAMINEN METSIKKÖINVENTOINTIIN	22
81. Metsikkökuvioiden läpimittajakaumien estimointi	22
82. Virhelähteitä	22
KIRJALLISUUS — REFERENCES	23
SUMMARY	24
MERKINNÄT — SYMBOLS	25
LIITTEET — APPENDICES	26

1. JOHDANTO

Metsikkö voidaan kuvata siihen kuuluvien puiden tunnusten jakaumina. Tärkein rungon mitattava tunnus puulajin ohella on rinnankorkeusläpimitta ja keskeisin metsikön jakaumista on runkolukusarja, joka kuvaa runkoluvun jakaantumista rinnankorkeusläpimittaluokkiin (ks. *Kilki* 1979).

Runkolukusarjan perusteella saadaan selvempi käsitys metsikön rakenteesta kuin pelkkien summatunnusten kuten runkoluvun, pohjapinta-alan ja kuutiomäärän tai keskitunnusten kuten keskiläpimitan tai keskipituuden perusteella. Runkolukusarja — mitattu tai estimoitu — tarvitaan myös silloin kun metsiköiden tai laskentayksiköiden kehitystä ennustetaan puittain.

Runkolukusarjan määrittämiseksi joudutaan metsiköstä mittaamaan puiden rinnankorkeusläpimitat. Luotettavaan arvioon

runkolukusarjasta katsotaan useimmiten riittävän 30—100 puun mitta.

Tässä tutkimuksessa on asetettu tavoitteeksi runkolukusarjan estimointi ja edelleen metsikön puuston tunnusten laskeminen runkolukusarjan avulla.

Tutkimuksen aiheen olen saanut MMT Pekka *Kilkiltä*. Professori *Yrjö Vuokila* ja MMK *Hans Gustavsen* ovat ystävällisesti luovuttaneet aineistot käyttööni. Työn kuluessa olen saanut neuvoja ja virikkeitä työtovereiltani *MH Markku Siitoseelta* ja *MH Risto Ojansuulta*. Edellisten lisäksi käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit *Kullervo Kuusela* ja *Aarne Nyysönen*, *MML Jouko Laasasena*ho, apul.prof. *Simo Poso* sekä *FM Juha Puranen*.

Ashley Selby, B.Sc., on tarkastanut tutkimuksen englanninkielisen osan. *Anja Leskinen*, *Kaarina Ridanpää* ja *Lea Suhonen* ovat huolehtineet konekirjoituksesta ja kuvien piirtämisestä. Kiitän kaikkia edellämainittuja ja muita, jotka ovat tukeneet tutkimuksen syntyä.

2. RUNKOLUKUSARJAN TASOITTAMINEN

21. Graafinen tasoitus

Metsikön runkolukusarjan tasoittamisella pyritään hävittämään läpimittaluokkien välinen satunnainen vaihtelu ja hahmottamaan runkolukusarjalle yleisesti pätevä muoto. Graafinen tasoitus on monipuolinen, mutta työtä vaativa menetelmä. Graafisesti tasoitettuja keskimääräisiä sarjoja ja tyypillisiä esimerkkejä runkoluvun tai -tilavuuden jakaantumisesta läpimittaluokkiin ovat tutkimuksissaan käyttäneet mm. *Ilvessalo* (1937) ja *Nyysönen* (1954a).

22. Normaalijakaumaan perustuvia tasoitusmenetelmiä

Cajanus ehdotti runkoluvun jakaantumissarjoista laskettujen tunnusten avulla ratkaistavaksi kysymyksen metsiköiden ryh-

mittämisestä eri kehityssarjoihin (*Cajander* 1917). Soveltaessaan *Charlierin* menetelmiä *Cajanus* (1914) tasoitti lähtökohtanaan normaalijakauma runkolukusarjan runkojen lukumäärän, aritmeettisen keskiläpimitan, keskihajonnan sekä vinouden ja huipukkuuden avulla. Vinous kuvaa tarkasteltavan jakauman huipun sijoittumista vaihtelualueelle ja huipukkuuden tunnusluku ilmaisee jakauman korkeuden suhteen normaalijakauman korkeuteen. Mikäli vinous ja huipukkuus ovat nollia, on kysymyksessä normaalijakauma.

Tutkimuksessaan metsätyyppien taksatorisesta merkityksestä *Ilvessalo* (1920a) ryhmitteli koaloja kehityssarjoihin *Cajanus*ksen ehdottamalla tavalla. *Lönnroth* (1925) esitti luonnonnormaalien männiköiden rakennetta ja kehitystä koskevassa väitöskirjassaan kullekin latvuserrokselle oman runkolukusarjan. Näi-

den summana lasketulla koko metsikön runkolukusarjalla oli mahdollista kuvata metsikön rakennetta silloinkin, kun läpimittojen jakauma oli kaksihuippuinen. Runkolukusarjojen hajontaa, huipukkuutta ja vinoutta on käsitelty myös Lappi-Sepälän (1930), Meyerin (1930), Näslundin (1936) ja Erikssonin (1976) tutkimuksissa. Pettersson (1955) on käyttänyt runkolukusarjojen tasoittamiseen katkaistua normaalijakaumaa.

Yksittäisissä tapauksissa normaalijakau-
masta paljon poikkeavat — esimerkiksi epä-
tasaisesti hakattujen metsiköiden ja taimis-
tojen — runkolukusarjat saadaan tasoitettua
tydyttävästi etsimällä kullekin erikseen joi-
kin sopiva funktio. Suurien aineistojen kä-
sittely tällä tavoin ei kuitenkaan ole tar-
koituksenmukaista.

23. Betafunktion perustuva tasoitus- menetelmä

Betajakauma on monipuolinen ja lasken-
nallisesti yksinkertainen erilaisten empiiris-
ten jakaumien tasoitusmenetelmä. Betaja-
kauman tiheysfunktio on muotoa

$$f(x) = c(x-a)^\alpha (b-x)^\gamma$$

jossa $f(x)$ on funktion frekvenssi kohdassa x

a on muuttujan x alaraja

b on muuttujan x ylärajana

α, γ ovat funktion parametreja

c on vakio, jolla funktion summafrekvenssiksi
saadaan haluttu luku.

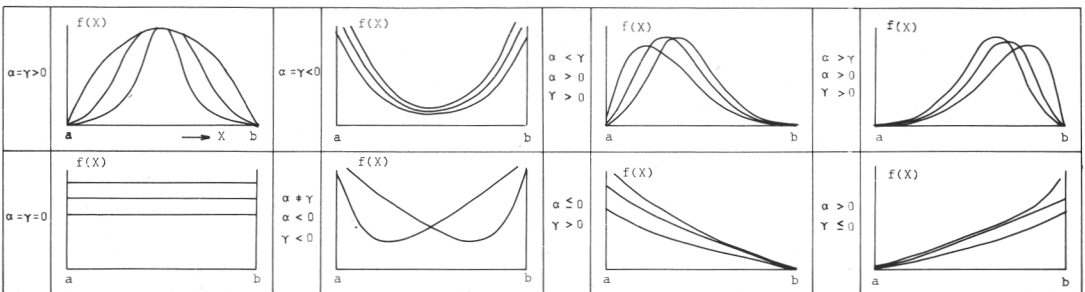
Betajakauman teoriaa ja soveltamista on
tarkasteltu Zöhrerin (1969, 1970) jul-
kaisuissa sekä Loetschin, Zöhre-

rin ja Hallerin (1973) oppikirjassa.
Metsikön rakennetta betajakaumalla ovat
kuvanneet mm. Väliaho ja Vuokila
(1973), Kilkki ja Siitonen
(1975), Nilsson (1976) sekä Rusta-
gi (1978).

Betajakauman joustavuudesta saa käsi-
tyksen kuvasta 1, jossa on piirretty eri α ja
 γ arvoja vastaavia funktioiden kuvaajia.

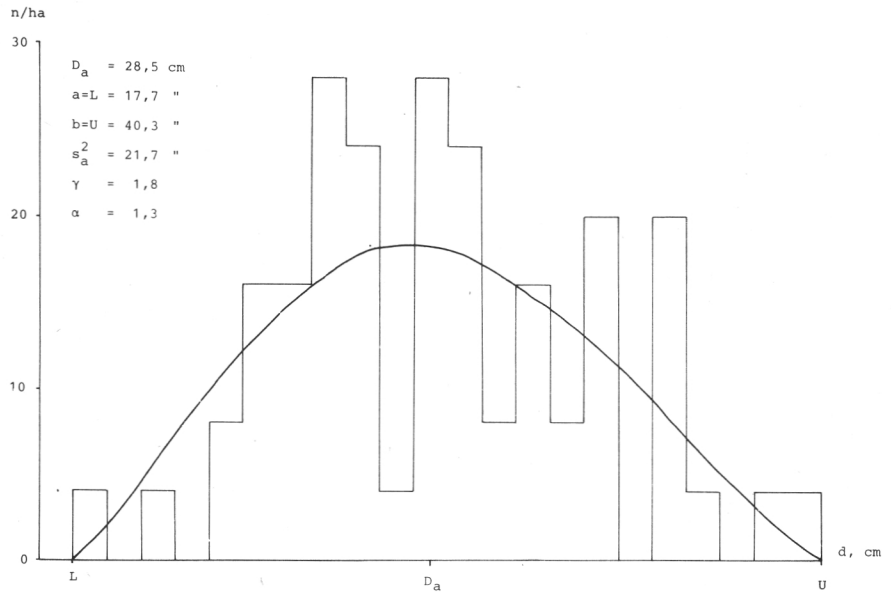
Betajakauman tiheysfunktio on tässä tut-
kimuksessa laskettu empiirisen jakauman
keskiarvon ja varianssin avulla (esim.
Loetsch, Zöhrer ja Haller,
mt., s. 52). Keskiarvona on käytetty pohja-
pinta-alan mediaania, josta myös varianssi
on laskettu. Jakauman määrittämiseksi tar-
vitaan lisäksi tiedot summa- ja läpimittalu-
okittaisista frekvensseistä sekä funktion ylä-
ja alarajasta. Muita tapoja parametrien las-
kemiseksi ovat momenttimenetelmä (ks.
Elfvig 1975) ja *maximum likelihood*
-menetelmä (Vartia 1973), jotka kuiten-
kin ovat monimutkaisempia kuin tässä käy-
tetty keskiläpimittaan ja varianssiin perustu-
va menetelmä.

Pohjapinta-ala on helposti relaskoopilla
mitattava läpimittajakauman summatunnus.
Käytettäessä pohjapinta-alan läpimittaja-
kaumaa runkoluvun läpimittajakauman si-
jasta painotetaan samalla puuston järeintä
osaa. Tällöin kerroin c valitaan niin, että
betafunktion integraaliksi saadaan mitattu
pohjapinta-ala. Kuvissa 2 ja 3 on läpimitta-
luokkien frekvenssinä käytetty sekä puiden
lukumäärää että niiden yhteenlaskettua poh-
japinta-alaa. Esimerkkimetsikölle on lasket-
tu myös molemmista sarjoista johdettujen
betajakaumien tunnuksat ja niitä vastaavat
kuvaajat.

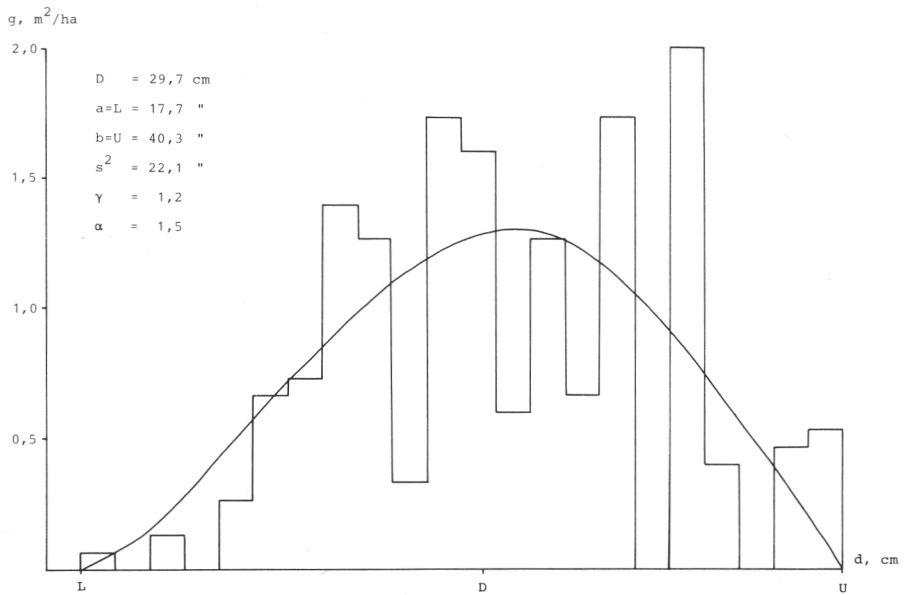


Kuva 1. Betafunktion muoto parametrien α ja γ eri arvoilla. (Zöhrer 1970)

Fig. 1. Types of distributions described by the betafunction. (Zöhrer 1970)



Kuva 2. Betafunktiolla tasoitettu runkoluvun läpimittajakauma.
 Fig. 2. A stem-diameter distribution fitted by the betafunction.



Kuva 3. Betafunktiolla tasoitettu pohjapinta-alan läpimittajakauma.
 Fig. 3. A basal area weighted stem-diameter distribution fitted by the betafunction.

3. METSIKÖN PUUSTON RUNKOTILAVUUDEN LASKENTA

31. Yleistä

Metsikön puuston runkotilavuus saadaan kaavalla

$$V = G \cdot H \cdot F$$

pohjapinta-alan, pituuden ja muotoluvun tulona. Tässä G on metsikön puiden rinnan- korkeudelta mitattujen pohjapinta-alojen summa ja H metsikön keskipituus. Kun G ja H oletetaan tunnetuiksi, on muotoluvun F arvioiminen metsikön puuston runkotilavuuden ennustamisen keskeinen tehtävä. Kun pohjapinta-ala ja keskipituus pysyvät vakioina, puujoukon muotoluku F vaihtelee seuraavien tekijöiden vaikutuksesta:

- rinnankorkeusläpimittojen jakauma
- ylempien läpimittojen jakauma
- pituuksien jakauma.

Tässä tutkimuksessa on selvitetty lähinnä ensin mainitun seikan merkitystä. Puiden muotoluvut ovat käytettyjen tilavuusyhtälöiden mukaisia vakioita kunkin puulajin läpimitta- ja pituusluokassa. Pituusjakauman tasoittamisen ja sen arvioimisen vaikutusta on myös jonkin verran kokeiltu.

32. Metsikön puuston runkotilavuuden estimoinnissa käytettyjä menetelmiä

Nyysönen (1954b) on ns. relaskoopitaulukoiden laadinnan yhteydessä osoittanut metsikön muotoluvun ja keskipituuden välisen suhteen (vrt. liite 2). Kun metsiköille lasketaan muotoluku keskipituiden funktiona, voidaan runkotilavuus ilmaista pohjapinta-alan ja keskipituuden funktiona. Runkolukusarjan suuren hajonnan aiheuttama runkotilavuuden yliarvio vältetään relaskoopitaulukoihin tehtävillä vähennyksillä epätasaisissa metsiköissä.

Kilkin ja Siitosen (1975) havaitsivat simuloidussa metsikköaineistossa suoraviivaisen korrelaation keskipuun muotoluvun ja metsikön muotoluvun välillä. Laadituissa malleissa metsikön muotolukua selitettiin keskipuun muotoluvulla, jonka määrittämiseksi tarvittiin metsikön keski-

läpimitta ja keskipituus. Mallit olivat harhattomia mukana olleiden tunnusten suhteen, mutta harhaisia runkoluku- ja pituus-sarjojen hajontaa ja vinoutta kuvaavien muuttujien suhteen.

33. Esimerkki pohjapinta-alan läpimittajakauman tunnusten vaikutuksesta metsikön runkotilavuuteen ja puutavaralajien osuuteen

Keskiläpimitan, varianssin sekä ylä- ja alarajojen suhdetta metsikön tunnuksiin on havainnollistettu taulukossa 1. Kohdissa I—VII varianssi vaihtelee niin että sitä vastaava pohjapinta-alan läpimittajakauman keskihajonta on 12, 17, 22, 27 ja 32 % vaihteluvälistä.

Sekä relaskoopitaulukoista (Nyysönen 1954b) että Kilkin ja Siitosen (1975) esittämistä taulukoista saadaan 20 m² pohjapinta-alan ja 18 m keskipituuden kohdalta männikön runkotilavuudeksi 172 m³/ha. Jälkimmäisessä tutkimuksessa keskiläpimittoja 19, 22 ja 25 cm vastaavat tilavuudet ovat 177, 174 ja 171 m³/ha. Erilaisesta läpimitan (ja pohjapinta-alan) mittauskorkeudesta sekä tilavuuden laskentamenetelmästä johtuen relaskoopitaulukoiden tilavuudet eivät ole täysin vertailukelpoisia Kilkin ja Siitosen eivätkä taulukossa 1 esitettyjen tilavuuksien kanssa.

Läpimittajakauman ohella puiden pituusjakaumalla on suuri merkitys runkotilavuuden ja puutavaralajien osuuksien laskennassa. Taulukossa 1 käytetyt pituudet on laskettu kaavalla

$$h_i = d_i^2 / (1,0859 + 0,1832 d_i)^2 + 1,3$$

Funktion antamia pituuksia on korjattu kertoimella niin, että kaikissa tapauksissa keskiläpimittaa vastaa 18 m pituus.

Taulukon 1 kohdista I, II ja III nähdään, millä tavoin metsikön runkotilavuus pienee, kun keskiläpimitta kasvaa ja keskipituus ja pohjapinta-ala pysyvät ennallaan.

Taulukko 1. Männikön runkotilavuus ja puutavaralajien osuudet pohjapinta-alan läpimittajakauman tunnusten funktiona.

Table 1. Total volume and percentages of the timber assortments as functions of the parameters of the stem-diameter distribution weighted by the basal area.

G = 20 m²/ha H = 18 m

	D, cm	Σn _i	L(=a), cm	U(=b), cm	s ²	α	γ	V	Tukkipuuta Sawlog	Kuitupuuta Pulpwood	Hakkuu- tähdettä Waste wood
								m ³ / ha	%	%	
I	19	740	12	32	5,8	4,18	8,62	175	52	46	2
	19	750	12	32	11,6	1,41	3,47	174	49	49	2
	19	771	12	32	19,4	,47	1,40	175	51	47	2
	19	814	12	32	29,2	-,10	,38	175	51	47	2
	19	838	12	32	41,0	-,48	-,19	174	51	47	2
II	22	546	12	32	5,8	7,18	7,18	173	72	27	1
	22	568	12	32	11,6	2,83	2,83	173	69	30	1
	22	600	12	32	19,4	1,08	1,08	172	66	33	1
	22	644	12	32	29,2	,21	,21	171	63	35	2
	22	696	12	32	41,0	-,28	-,28	170	61	37	2
III	25	420	12	32	5,8	8,62	4,18	172	81	18	1
	25	445	12	32	11,6	3,47	1,41	172	79	20	1
	25	480	12	32	19,4	1,40	,47	170	74	25	1
	25	530	12	32	29,2	,38	-,10	168	70	29	1
	25	585	12	32	41,0	-,19	-,48	167	67	32	1
IV	22	563	7	27	5,8	8,02	2,01	173	72	27	1
	22	615	7	27	11,6	3,32	,70	171	66	33	1
	22	691	7	27	19,4	1,34	,01	169	62	36	2
	22	834	7	27	29,2	,32	-,43	167	60	37	3
	22	1035	7	27	41,0	-,38	-,79	163	59	37	4
V	22	574	7	37	13,0	7,18	7,18	173	68	31	1
	22	636	7	37	26,0	2,83	2,83	171	64	35	1
	22	741	7	37	43,6	1,08	1,08	169	62	36	2
	22	906	7	37	65,6	,21	,21	167	61	36	3
	22	1119	7	37	92,2	-,28	-,28	164	60	36	4
VI	22	531	17	27	1,4	7,18	7,18	174	74	25	1
	22	536	17	27	2,9	2,83	2,83	174	74	25	1
	22	543	17	27	4,8	1,08	1,08	173	73	26	1
	22	551	17	27	7,3	,21	,21	173	71	28	1
	22	561	17	27	10,2	-,28	-,28	173	69	30	1
VII	22	530	17	37	5,8	2,01	8,02	173	73	26	1
	22	529	17	37	11,6	,70	3,32	174	74	25	1
	22	536	17	37	19,4	,01	1,34	175	75	24	1
	22	540	17	37	29,2	-,43	,32	175	75	24	1
	22	538	17	37	41,0	-,79	-,38	175	75	24	1

Tukkipuun osuuden muutos on päinvastainen: se kasvaa keskiläpimitan noustessa.

Varianssin suurentuessa metsikön kuutiomäärä pienenee. Pituuskäyrän muoto vaikuttaa muutoksen suuruuteen. Runkoluku kasvaa, kun metsikön pohjapinta-ala jakautuu laajemmalle alueelle läpimitan vaihteluvälillä. Runkoluvun suureneminen ja runkotilavuuden pieneminen on vähäisintä siellä, missä jakauman alaraja on lähellä keskiläpimittaa (VI ja VII). Edellinen johtuu läpimitan ja pohjapinta-alan välisestä epäli-

nearisesta yhteydestä ja jälkimmäinen pääasiassa pituuskäyrän muodosta ja käytetyistä tilavuusfunktioista.

Taulukossa 1 tukkipuun tilavuus vaihtelee keskiläpimitaltaan 22 cm männikoissä 96 m³/ha ja 131 m³/ha välillä: vastaavat tukkipuuprosentit ovat 59 ja 75. Kun metsikön puiden läpimittojen vaihteluväli on laaja tai pohjapinta-alan läpimittajakauma vino, tukkipuun tilavuus vaihtelee varianssin myötä enemmän kuin suppeissa ja symmetrisissä jakaumissa.

Mitä lähempänä metsikön keskiläpimitta on tukkipuun minimiläpimittaa, sitä voimakkaampi on läpimittajakauman muodon vaikutus tukkipuun osuuteen. Jos keskiläpimitta on pienempi kuin tukkipuun minimiläpimitta, tukkipuun osuus puuston runko-

tilavuudesta kasvaa varianssin suurentuessa, edellyttäen että metsikössä on tukkipuun mitat täyttäviä runkoja. Päinvastaisessa tapauksessa tukkipuun osuus vähenee varianssin kasvaessa, mikäli vaihteluvälin alaraja on alle tukkipuun minimiläpimitan.

4. AINEISTOT

41. Aineiston vaatimukset

Yleistämiskelpoiset tulokset edellyttävät aineistolta edustavuutta sekä metsiköiden sisällä että eri metsiköissä. Koealojen tulisi olla kooltaan riittävän suuria ja sijaita kaikenlaisissa metsiköissä koko metsikkötunnusten vaihtelualueella. Valtakunnan metsien inventoinneissa mitatut koealat täyttävät yleensä vain jälkimmäisen vaatimuksen. Useimmat metsikkökoealasarjat sisältävät riittävän määrän runkoja koealaa kohti, mutta ovat tasaisempia puustoltaan kuin metsiköt keskimäärin (Oikarinen 1978).

42. Valtakunnan metsien 3. inventoinnin koealat

Tämän tutkimuksen pääaineistona on valtakunnan metsien 3. inventoinnissa vuosina 1951—1953 kerättyjä koealoista (vrt. Gustavsen 1977) valittu 684 koealan näyte. Koealat on mitattu yhdestä metsiköstä 10 aarin suuruisina ympyräkoealoina kuitenkin niin, että läpimitaltaan alle 10 cm puut on mitattu koealan keskeltä 1 aarin alalta. Koealat ovat sijainneet 15 eteläisimmän piirimetsälautakunnan ja Ahvenanmaan maakunnan alueilla yksijaksoisissa kangasmaiden metsiköissä. Näistä on edelleen valittu hyviksi luokitellut harvennus-, väljennys- ja uudistusmetsät (Ilvessalo 1951). Harsimalla harvennettujen ja hoitoa vaille jääneiden metsiköiden poisjättämisellä on koetettu välttää pahinta yhteensopimattomuutta aineiston ja nyky metsiköiden välillä.

Harvennusemetsiköt, joissa keskiläpimitta oli alle 9 cm, samoin kuin muutama arvion perusteella kaksijaksoiseksi luokiteltu metsikkö jätettiin pois aineistosta.

Koealoista oli käytettävissä seuraavat tiedot: metsätyyppi, metsikön ikä, valtapituus, kehitysluokka sekä puulajeittaiset runkotilavuudet. Koealojen runkoluku on mitattu 4 ja 2 cm luokkavälein (3—5 cm, 7, 9, 11,...) ja kuhunkin luokkaan kuuluvien puiden keskipituus 1 metrin tarkkuudella. Ensimmäinen läpimittaluokka jaettiin tasan 3 ja 5 cm luokiksi.

Läpimittaluokien keskipiste edustaa tässä kaikkien luokkaan kuuluvien puiden läpimittoja. Luokittelusta johtuvat virheet (Loetsch, Zöhrer ja Haller, mt., s. 85—90) olivat pieniä eikä niitä otettu huomioon. Rinnankorkeusläpimitat, jotka oli mitattu 1,3 m korkeudelta ylimmästä juurenniskasta lukien, korjattiin nykyistä määritelmää (The standardization... 1959, Valtakunnan metsien... 1977) vastaavaksi L a a -

s a s e n ' a h o n julkaisemattomalla runkokäyrällä. Korjauksessa läpimitan mittauskorkeutta siirrettiin kannonkorkeuden verran alaspäin, jolloin läpimitat suurenivat puulajista ja puun pituudesta riippuen 0,6—3 %. Läpimittaluokkien mitattuihin keskipituuksiin lisättiin kannon korkeus (L a a s a s e n ' a h o , mt.), joka vaihteli 7 ja 30 cm välillä.

Koealojen runkolukusarjoista jätettiin pois sellaisten läpimittaluokkien puut, joissa keskipituus oli vähemmän kuin 30 % valtapituudesta (vrt. Försöksplan för samnordiskt projekt ... 1976). Kasvatus- ja uudistusmetsiköissä ei vallitsevan jakson runkolukusarjaan hyväksytyt koealalta mahdollisesti mitattuja alle 6 cm vahvuisia puita.

Koealojen kasvupaikkatyyppi oli määritetty maastossa ja sen perusteella määritettiin metsikön veroluokka. Metsikön ikä saatiin etupäässä valtapuista tehtyjen kairausten perusteella.

Puulajisuhteet laskettiin inventoinnin tulostenlaskennassa lomakkeille merkityistä puulajeittaisista runkotilavuuksista.

Koealojen puuston pohjapinta-ala laskettiin läpimittaluokkien keskipiteistä ja frekvensseistä ympyrän alan kaavalla. Koealojen keskiläpimitaksi laskettiin pohjapinta-alamediaanipuun läpimitta (ks. Nyysönen 1954a, s. 64—66).

Keskipituus saatiin läpimittaluokittaisten keskipituuksien perusteella lasketulta N ä s l u n d i n (1936) pituusikäyryltä keskiläpimitan kohdalta. Männiköiden pituusikäyryä laskettaessa käytettiin 2. potenssia ja muissa metsiköissä 3. potenssia (ks. Peterson, 1955, s. 152).

Metsiköille laskettiin hehtaarikohtainen puuston runkotilavuus puulajeittain läpimittaluokkien ja niistä mitattujen keskipituuksien funktiona L a a s a s e n ' a h o n (1976) tilavuusyhtälöllä. Jokaisessa läpimittaluokassa puulajisuhteet oletettiin runkotilavuudesta laskettujen puulajisuhteiden mukaisiksi. L a a s a s e n ' a h o n julkaisemattomilla puutavaralajiyhtälöillä laskettiin tukkipuun sekä kuitupuun ja hakkuutähteen osuudet runkojen kokonaistilavuudesta. Puulajisuhteet otettiin huomioon edellämainitulla tavalla. Käytetyissä puutavaralajiyhtälöissä tukkipuun rinnankorkeusläpimitta on vähintään 17 cm ja tukkiosan tilavuus vähintään 100 l. Lisäksi tukkipuun kuituosan on oltava männyllä vähintään 14 ja kuusella vähintään 30 litraa. Lehtipuiden tukkipuusuus määritettiin Tapion Taskukirjasta (1971, s. 244—245) mukailuilla taulukoilla. Metsikön puiden näin laskettujen runkotilavuuksien summaa pidettiin metsiköiden oikeina runkotilavuuksina.

Tilavuusyhtälöillä kaikkien mitattujen puiden perusteella lasketut runkotilavuudet olivat keskimäärin 3 % suurempia kuin Ilvessalon (1947) taulukoilla inventoinnin tulosten laskennan yhteydessä saadut koealojen runkotilavuudet. Tämän suuruisen menetelmistä johtuvan eron on myös Laasasenaho (1976, s. 63—67) esittänyt.

43. Metsikkökoalat

Tutkimuksessa käytettiin vertailuaineistona Metsäntutkimuslaitoksen Etelä-Suomesta kerättyä männiköitä ja kuusikoita sisältävää kestokoealasarjaa. Nämä koalat olivat maantieteellisesti suppeammalta alueelta, mutta kooltaan useimmiten suurempia kuin inventointikoealat. Kestokoealat on mitattu ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen. Tässä tutkimuksessa on pääasiassa käytetty jälkimmäisiä runkolukusarjoja. Hakkuu on tapahtunut useimmiten 5 vuoden välein ja yhden koealan eri mittauskerrat on käsitelty kukin omana koealanaan. Tästä johtuen koealojen läpimittajakausien tunnuksot eivät ole täysin vapaita keskinäisestä korrelaatiosta. Metsikkökoaloja saatiin näin 472 kappaletta.

Vertailuaineiston koealojen läpimitat on, toisin kuin inventointiaineistossa, mitattu 1 cm luokkiin. Koealoille laskettiin tunnuksot vastaavalla tavalla kuin varsinaiselle aineistolle ja runkojen mukaantulolle aineistoon asetettiin samat vaatimukset kuin edellä on kuvattu.

44. Aineistojen vertailua

44.1. Metsikkötunnukset

Valtakunnan metsien inventoinnin aineistossa oli männiköitä 215, kuusikoita 192, koivikoita 18, havusekametsiköitä 153 ja edelleen lehti-havusekametsiköitä 106 kappaletta. Vertailuaineistossa oli vain männiköitä ja kuusikoita, edellisiä 298 ja jälkimmäisiä 174.

Taulukossa 2 on muutamien metsikkötunnusten keskiarvot ja ääriarajat. Käytetyt symbolit on selitetty sivulla 25.

44.2. Rinnankorkeusläpimittojen vaihtelualue

Inventointiaineistossa keskimääräinen alaraja ko-hoaa suoraviivaisesti 2 cm:stä 11 cm:iin, kun keskiläpimitta kasvaa 9 cm:stä 30 cm:iin. Vertailuaineistossa alarajat ovat yleensä korkeammalla: yli 30 cm keskiläpimittaisten metsiköiden alimmat läpimitat ovat kohonneet keskimäärin 22 cm:ksi.

Männiköiden suurimmat läpimitat olivat Ilvessalon (1920b) esittämissä keskimääräisissä runkolukusarjoissa samalla iällä ja vastaavalla kasvupaikalla suurempia kuin valtakunnan metsien inventoinnin koealametsiköissä. Kuusikkokoealoilla aineiston runkolukusarjojen yläraja oli nuorissa metsiköissä suurempi kuin luonnontilaisissa kuusikoissa, mutta vanhemmissa keskimääräinen tilanne oli päinvastainen. Tähän ovat luultavimmin syynä uudistushakkuut, joissa uuden sukupolven tuottajaksi on jätetty muita kuin metsikön parhaita puita ja poistettu ne vähitellen. On myös otettava huomioon, ettei aina 10 aarin suuruiselle inventointikoealalle ole sattunut metsikön suurimpia puita.

Vertailuaineistossa runkolukusarjojen ylärajat olivat samanikäisissä männiköissä hiukan alempia tai yhtä suuria ja kuusikoissa yhtä suuria tai jonkin verran korkeampia kuin vastaavilla kasvupaikoilla kasva-neissa luonnnonnormaaleissa metsiköissä. Ylä- ja alarajan erotuksena laskettu rinnankorkeusläpimittojen vaihteluväli on samoilla keskiläpimitoilla inventointi-aineistossa suurempi kuin vertailuaineiston koealoilla.

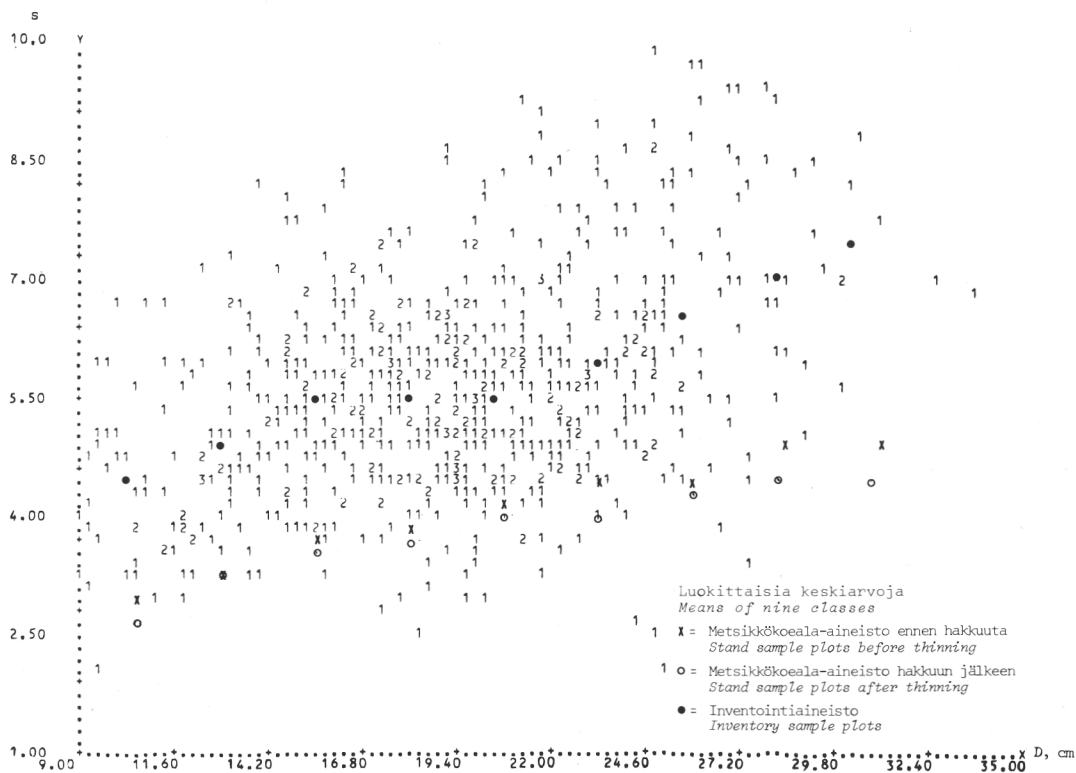
44.3. Pohjapinta-alan läpimittajakauman keskijajonta

Kuvassa 4 on esitetty inventointiaineiston pohjapinta-alajakaumien hajonta keskiläpimitan funktiona. Kuvaan on myös piirretty vertailuaineiston vastaan tunnuksen luokittaisia keskiarvopisteitä.

Vertailuaineiston hajonta on systemaattisesti pienempi kuin varsinaisessa aineistossa. Näin on myös silloin, kun ylä- ja alarajan erotuksena lasketut vaihteluvälit ovat eri aineistojen koealoilla yhtä suuret. Kun vielä ylärajat ovat likimain samalla etäisyydellä keskiläpimitasta molemmissa aineistoissa, voidaan päätellä,

Taulukko 2. Koealojen metsikkötunnusten keskiarvoja ja vaihteluvälejä.
Table 2. Means and ranges of some stand characteristics of the sample plots.

	Valtakunnan metsien 3. inventoinnin koealat N = 684 3rd National Forest Inventory sample plots		Metsikkökoalat N = 472 Stand sample plots	
	keskiarvo mean	vaihteluväli range	keskiarvo mean	vaihteluväli range
veroluokka tax class		0—IV		0—III
D, cm	19,3	9,0— 33,7	19,4	9,1 — 36,4
G, m ²	18,5	6,0— 39,6	24,1	5,5 — 59,8
H, m	15,7	4,8— 24,7	17,5	7,3 — 29,6
Koko, ha Size, ha	0,1	—	0,21	0,04— 1,0
L, cm	6,8	2,0— 20,2	9,3	0,5 — 28,9
m	70	28 —167	250	17 —1023
s, cm	5,6	2,0— 9,9	3,7	1,8 — 7,0
T, a	68,6	25 —137	60,3	22 — 135
U, cm	30,5	14,1— 47,6	29,1	14,6 — 49,6



Kuva 4. Pohjapinta-alan läpimittajakauma hajonta keskiläpimitan funktiona. Inventointikoalat ja metsikköalojen keskiarvoja.

Fig. 4. The standard deviation of the basal area weighted stem-diameter distribution. Inventory sample plots and means of the stand sample plots.

että vertailuaineiston koalojen pohjapinta-alan läpimittajakaumat ovat huipukkaampia kuin inventointikoalojen jakaumat.

Metsikkökoala-aineisto on mitattu sekä hakkuuta ennen että sen jälkeen. Vertailun vuoksi laskettiin pohjapinta-alan hajonta myös niistä 392 mittauksesta, jotka on tehty ennen hakkuuta. Molempien mitausten antamat hajontojen luokittaiset keskiarvot on piirretty kuvaan 4.

Inventointiaineistossa rehevien maiden koalojen hajonta oli vähäisessä määrin, mutta johdonmukaisesti karumpien maiden hajontaa suurempi. Vertailuaineistossa tulokset olivat tässä suhteessa ristiriitaisia.

444. Betafunktion eksponentit

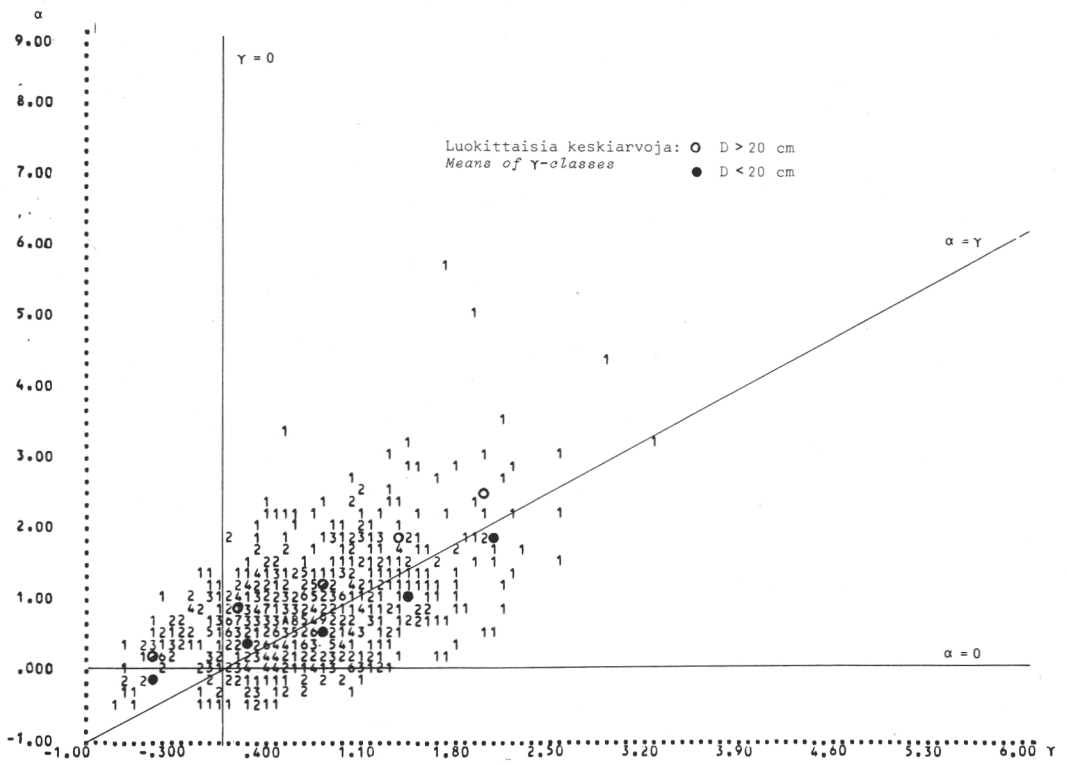
Pohjapinta-alan läpimittajakaumien muotoa eri aineistoissa on vertailtu tasoitettujen jakaumien parametrien α ja γ avulla. Eksponenttien arvot on laskettu edellä määriteltyjen rajojen sekä pohjapinta-alamediaanipuun läpimitan ja pohjapinta-alan läpimittajakauman varianssin avulla. Näin muodostettu jakauma ei kuitenkaan aina sovi parhaalla mahdollisella tavalla yhteen empiirisen jakauman kanssa. Lähtötietoja iteroimalla (esim. Z ö h r e r 1970) etsittyjen optimaalisten jakaumien parametrien arvot voivat poiketa tässä esitetyistä.

Kuvissa 5 ja 6 on esitetty α ja γ arvot toistensa funktiona eri aineistoissa. Kuviin on piirretty suorat $\alpha = 0$, $\gamma = 0$ ja $\alpha = \gamma$, joiden jakamat alueet osoittavat jakaumien päätyypit (ks. kuva 1).

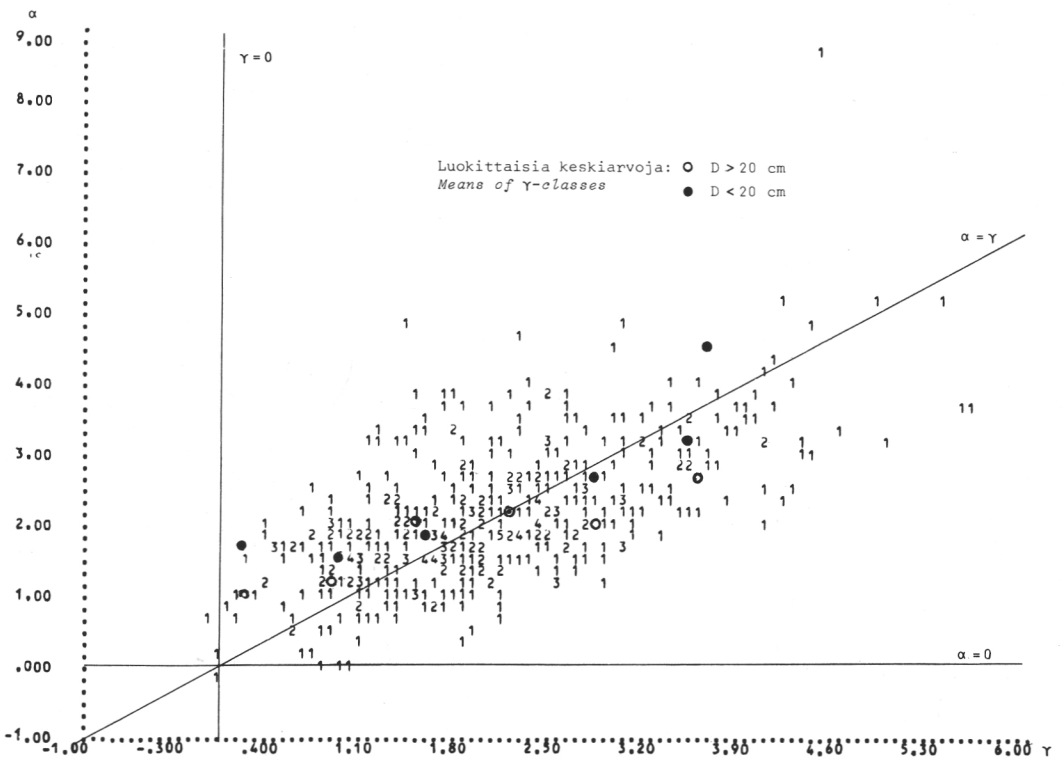
Kun α ja γ ovat yhtä suuria, on betajakauma symmetrinen. Vasemmalle vinoja jakaumia on vähän yli puolet molemmissa aineistoissa. Inventointikoalojen keskiläpimita korreloi selvästi eksponenttien suhteen kanssa (kuva 5). Keskiläpimitaltaan pienissä metsiköissä jakauma on vino vasemmalle ja kallistuu keskiläpimitan kasvaessa oikealle. Metsikkökoaloilla (kuva 6) keskiläpimitasta ei voi päätellä jakauman muotoa.

Inventointiaineiston pohjapinta-alan läpimittajakaumien eksponentit ovat itsepisarvoltaan yleensä pienempiä kuin metsikkökoaloilla. Jakaumat ovat vähemmän huipukkaita kuin vertailuaineistossa ja muistuttavat tässä suhteessa luonnonnormaaleja metsiköitä (ks. L ö n n r o t h 1920).

Edellä esitetyn perusteella valtakunnan metsien 3. inventoinnin koala-aineisto poikkeaa monessa suhteessa säännöllisesti hakkuilla käsitellystä metsikkökoala-aineistosta. Vaikka inventointiaineiston edustavuudesta ja soveltuvuudesta nykymetsiköiden arvioinnin perustaksi ei voi olla täysin varma, on se laajan vaihtelualueensa vuoksi otettu lähtökohdaksi pohjapinta-alan läpimittajakaumien tunnuksia ennustettaessa.



Kuva 5. Parametrien α ja γ keskinäinen riippuvuus inventointiaineistossa.
Fig. 5. The correlation between α and γ . Inventory sample plots.



Kuva 6. Parametrien α ja γ keskinäinen riippuvuus metsikkökoala-aineistossa.
Fig. 6. The correlation between α and γ . Stand sample plots.

5. POHJAPINTA-ALAN LÄPIMITTAJAKAUMAN TUNNUSLUKUIEN ESTIMOINTI

Valtakunnan metsien inventoinnin koelaitoilta mitattujen pohjapinta-alan läpimittajakaumien ylä- ja alarajoille sekä keskihajonnalle laadittiin regressioyhtälöt, joissa selittävinä muuttujina olivat metsikön ikä, pohjapinta-ala, keskiläpimitta, keskipituus ja veroluokka sekä puulajisuhteet, kaksi viimeksi mainittua valemuuttujina. Mallit rakennettiin rekursiivisesti niin että edellisten

yhtälöiden selitettävät muuttujat olivat jälkimmäisissä selittäjinä:

$$\hat{U} = f_1(D, T, G, \text{veroluokka, pääpuulaji})$$

$$\hat{L} = f_2(U, D, T, H)$$

$$\hat{s} = f_3(U, L, D, G, \text{pääpuulaji}).$$

Yhtälöiden järjestys valittiin pitäen silmällä selittävien tunnusmittausmahdollisuutta maastossa.

Taulukko 3. Regressioyhtälöt pohjapinta-alan läpimittajakauman ylä- ja alarajalle sekä keskihajonnalle.
Table 3. Regression equations for upper and lower limits and standard deviation of the basal area weighted stem-diameter distribution.

Yhtälön numero Number of the equation	Selitettävä muuttuja Dependent variable	Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	R ²	s _f	\bar{y}
1	ln (U—D)	Vakio—Constant ln (D + 20) ln G ln T	3,6964 —0,7043 0,2554 0,1099	0,153	0,294	2,370
		Valemuuttujat: Dummy variables:				
		Veroluokka IA Tax class IA	0,0607			
		Havu-lehtisekametsikkö Coniferous-deciduous mixed stand	0,1763			
		Havusekametsikkö Pine-spruce mixed stand	0,1345			
		Kuusikko—Spruce stand	0,1156			
		Lehtipuumetsikkö Deciduous stand	0,1757			
2	ln L	Vakio ln (D + 20) ln H ln T ln (U—D)	—4,6474 1,2095 0,5154 0,2247 —0,1075	0,501	0,303	1,830
3	$\frac{s}{(U-L)}$	Vakio ln D ln G ln H ln (U—L)	0,2662 0,01909 —0,02025 —0,02759 0,01382	0,091	0,0276	0,238
		Valemuuttujat:				
		Havu-lehtisekametsikkö	0,0116			
		Havusekametsikkö	0,0055			
		Kuusikko	0,0086			

Rekursiivisen mallin yhtälöt laadittiin pienimmän neliösumman menetelmällä. Tilastollisesti merkittävät selittäjät etsittiin t-testin, jäännösvaihtelun hajonnan ja yhteiskorrelaatiokertoimen avulla. Muuttujien sopivimmat muunnokset löytyivät tarkastelemalla jäännösvaihtelun kuvia kaikkien tunnettujen muuttujien suhteen. Regressioanalyysin tulokset ovat taulukossa 3.

Myös simultaanista mallirakennetta kehitettiin: kutakin tuntematonta selitettiin toisillaan ja metsikkötunnuksilla ja saatu lineaarinen yhtälöryhmä ratkaistiin. Tulokset eivät olleet rekursiivista mallia parempia, mikä saattaa johtua lineaarisuusolettamuksesta. Myös mallien heikko selittävyys vaikeuttaa eri mallirakenteiden vertailua.

Yhtälöiden (1) ja (2) vakioon on tehty logaritmuunnoksesta aiheutuva tasokorjaus.

Laskettaessa varianssia hajontayhtälön tuloksesta betafunktion määrittämistä varten on otettava huomioon, että keskihajonnan odotusarvon neliö ei ole sama kuin keskihajonnan neliön odotusarvo (vrt. *S u k h a t m e* ja *S u k h a t m e* 1970, s. 15–17). Korjattu varianssi on laskettu kaavalla

$$s^2 = \hat{s}^2 + \left(\frac{s_f \hat{s}}{\bar{y}} \right)^2.$$

Rekursiivisen malliketjun edellisten mallien virheitä (ks. *K i l k k i* 1979) ei ole otettu huomioon.

6. POHJAPINTA-ALAN LÄPIMITTAJAKAUMAN ESTIMOINTI JA PUUSTOTUNNUSTEN LASKENTA

61. Yleistä

Menetelmässä pyritään puuston keski- ja summatunnusten lisäksi ottamaan huomioon läpimittajakauman vaikutus puustotunnuksiin. Puustotunnuksista käsitellään tässä ainoastaan puuston runkotilavuutta ja sen jakautumista puutavaralajeihin.

Metsikön puiden muotoluku oletetaan kussakin pituus- ja läpimittaluokassa käytettyjen tilavuus- ja puutavaralajiyhtälöiden edellyttämäksi vakioksi. Läpimittaluokan sisällä pituuden jakaumaa kuvaa ainoastaan mitattu tai pituuskäyrällä tasoitettu luokan keskipituus.

62. Pohjapinta-alan läpimittajakauman estimointi

Metsikön pohjapinta-alan läpimittajakauman laskenta on esitetty kaaviona kuvan 7 kohdissa 1–7:

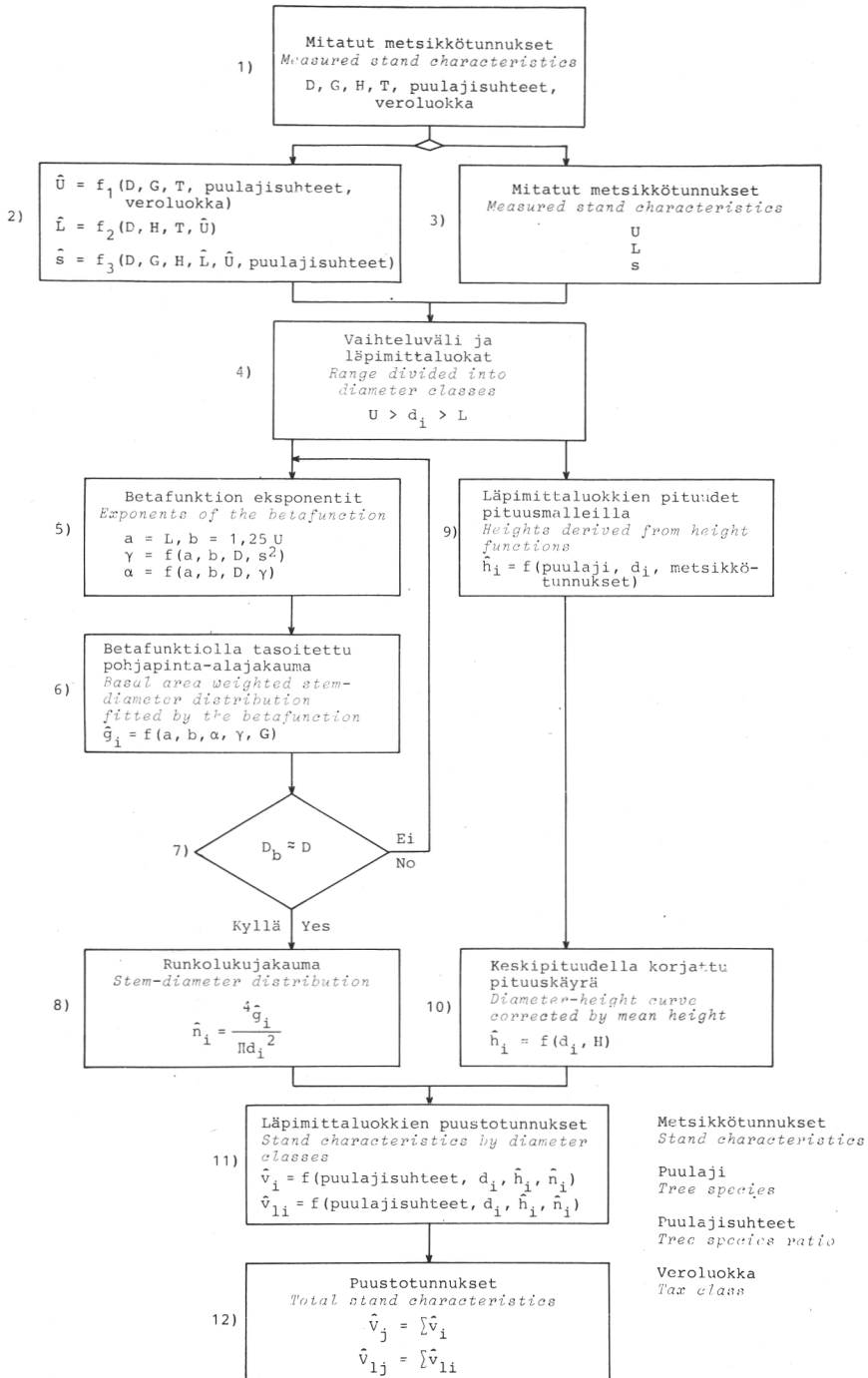
- 1) Mitatut metsikkötunnukset syötetään tietokoneeseen.
- 2) Lasketaan yhtälöillä (1), (2) ja (3) jakauman yläraja, alaraja ja keskihajonta.
- 3) Mallien tulokset voidaan korvata metsiköstä mitatuilla tunnuksilla (esim. ylä- ja alaraja).
- 4) Jaetaan alarajan (L) ja ylärajan (U) erotuksena laskettu vaihteluväli tasavälein läpimittaluokkiin,

joiden lukumäärä valitaan etukäteen. Läpimittaluokkaa edustaa sen keskipiste.

- 5) Edellä saaduista luvuista lasketaan betafunktion eksponentit α ja γ .

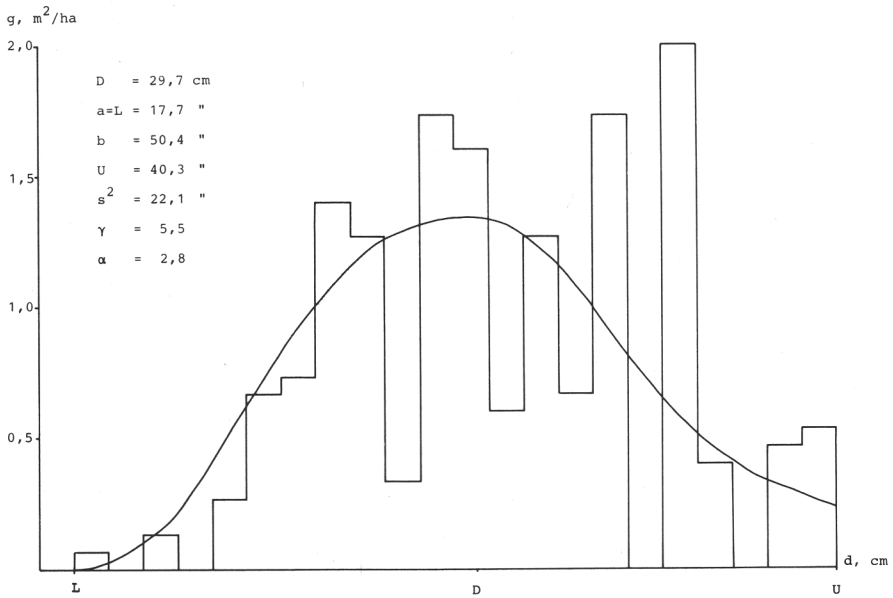
Tässä yhteydessä on kokeiltu eri ala- ja ylärajojen vaikutusta laskettujen tilavuuksien jäännöshajontaan. Puustotunnusten laskemisessa koaloille on käytetty kuvan 8 kaltaista katkaistua betafunktiota, jossa yläraja on kerrottu luvulla 1,25 ja alarajaa ei ole muutettu. Suuren puujoukon pohjapinta-alajakauma ei ole katkaistun funktion muotoinen, mutta kooltaan rajoitetuilla koaloilla puustotunnusten jäännösvaihtelu saatiin minimoitua käyttämällä katkaistuja betafunktioita. Kun kyseessä on pohjapinta-alajakauma, keskittyy tarve funktion katkaisemisesta jakauman yläpään.

- 6) Läpimittaluokille lasketaan betafunktiolla pohjapinta-alat. Kertoimella korjataan betafunktiosta saatuja läpimittaluokkien pohjapinta-aloja niin, että niiden summa vastaa metsiköstä mitattua pohjapinta-alaa.
- 7) Betafunktiolla lasketun pohjapinta-alajakauman hyväksymisen ehtona on, että sen mediaaniläpimitta (D_b) on riittävällä tarkkuudella yhtä suuri kuin metsiköstä mitattu keskiläpimitta (D). Jos näin ei ole, haetaan sopivampi betafunktio kokeilemalla eksponenttien α ja γ laskennassa alkuperäisestä keskiläpimitasta hiukan poikkeavia läpimittoja, kunnes ehto on täytetty. Tämä menettely on tarpeellinen sen vuoksi, että betafunktio on laskettu mediaanin eikä keskiarvon avulla ja myös siksi, että käytetään edellä kuvattua funktion katkaisua.



Kuva 7. Pohjapinta-alan läpimittajakauman estimointi ja puustotunnusten laskenta.

Fig. 7. The estimation of the basal area weighted stem-diameter distribution and calculation of the stand characteristics.



Kuva 8. Katkaistulla betafunktiolla tasoitettu pohjapinta-alan läpimittajakauma. $b = 1,25 \times U$.
 Fig. 8. A basal area weighted stem-diameter distribution fitted by the truncated betafunction.

63. Metsikön runkotilavuuden ja puutavaralajisuuksien laskenta

Metsikön runkotilavuuden ja puutavaralajien laskentaa on havainnollistettu kuvan 7 kohdissa 8—12:

- 8) Läpimittaluokkien d_i pohjapinta-alat muutetaan runkoluvuksi ympyrän alan kaavalla.
- 9) Pituusmallilla lasketaan läpimittaluokan keskiläpimittaa vastaava pituus kaikille puulajeille. Läpimittaluokan pituus saadaan laskemalla puulajisuhteilla painotettu keskiarvo.

Käytetyt julkaisemattomat pituusmallit on laskettu valtakunnan metsien 6. inventoinnin koepuista valitusta n. 6000 puun aineistosta. Selittävinä muuttujina pituusmalleissa ovat puulajin ja rinnankorkeusläpimitan ohella eräät metsikkötunnukset kuten veroluokka, lämpösomma ja metsikön ikä. Pituusmalleilla saadun arvion keskivirhe oli laadinta-aineistossa männyllä 17 %, kuusella 14 % ja koivulla 16 %. Jos selitettäviä muuttujia ei ollut käytettävissä, ne johdettiin muista tunnuksista tai käytettiin keskimääräisiä arvoja.

- 10) Kaikille puulajeille lasketaan yhteinen pituuskaikä. Pituushavaintoina on käytetty joko mitattuja pituuksia tai pituusmallien tuloksia. Näslundin (1936) pituuskaikään yhtälössä käytetään männikoissä eksponenttia 2 ja muissa metsikoissä eksponenttia 3. Pituuskaikäältä lasketun keskiläpimittaa vastaavan pituuden ja mitatun keskipituuden suhteella korjataan kaikkien läpimittaluokkien pituuksia.
- 11) Runkojen tilavuudet ja tukkipuun, kuitupuun sekä hakkuutähteen osuus lasketaan Laasasenahon (1976) tilavuusyhtälöillä ja Laasasenahon julkaisemattomilla puutavaralajifunktiolla läpimittaluokittain puulajisuhteilla painotettuna keskiarvona. Puulajisuhteiden oletetaan pysyvän samoina kaikissa läpimittaluokissa.

Tässä yhteydessä voidaan soveltaa myös muita puutunnusmalleja. Esimerkiksi yksittäisen puun kasvumalleja käyttämällä päästään metsikön kokonaiskasvuun ja saadaan myös jaettua kasvu eri puutavaralajien osalle.

- 12) Läpimittaluokittaiset tunnuksat kerrotaan vastaavilla runkoluvuilla ja lasketaan yhteen.

7. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

71. Valtakunnan metsien 3. inventoinnin koealat

Kaikille tutkimuksessa mukana olleille koealoille laskettiin edellisessä luvussa kuvattulla menetelmällä hehtaarikohtainen runkotilavuus sekä puutavaralajien osuudet. Osa läpimittajakauman tunnuksista oletettiin mitatuiksi ja osa estimoitiin regressioyhtälöillä. Seuraavassa asetelmassa puutavaralajeista on tarkasteltu ainoastaan tukkipuun osuuden arvioinnin tarkkuutta.

Menetelmässä 1 on pohjapinta-alan läpimittajakauma tasoitettu niin, että betafunktion määrittämisessä on käytetty koealalta mitatun läpimittajakauman varianssia sekä ylä- ja alarajoja. Pituuskäyrä on tasoitettu alkuperäisten havaintojen perusteella. Betafunktion eksponentteja laskettaessa ylärajaan on lisätty 25 %.

In method 1, the basal area weighted stem-diameter distribution is fitted to the measured range and the variance calculated from the measured frequencies of the diameter classes. The height curve is based on the observations from the sample plots. The upper limit of the stem-diameter distribution is multiplied by 1,25 when the exponents of the betafunction are calculated.

Menetelmä 2. Muutoin kuten edellä, paitsi pituuskäyrä perustuu pituusmallilla laskettuihin läpimittaluokkien pituuksiin.

Method 2. As above, except that the height curve is based on heights derived by the height equation.

Menetelmä 3. Kuten edellä, paitsi pohjapinta-alan läpimittajakauman varianssi on laskettu yhtälöllä (3).

Method 3. As above, except that the equation for standard deviation (function 3) is employed.

Menetelmä 4. Kuten edellä, paitsi alaraja on laskettu yhtälöllä (2).

Method 4. As above, except that the lower limit equation (2) is employed.

Menetelmä 5. Kuten edellä, paitsi yläraja on laskettu yhtälöllä (1).

Method 5. As above, except that the upper limit equation (1) is employed.

Menetelmä 6. Koealan runkotilavuus on laskettu Kilkin ja Siitosen (1975) esittämällä yhtälöillä 17a, 17b ja 17c. Tukkipuun osuus on saatu samassa julkaisussa esitetyillä yhtälöillä 20a, 20b ja 20c.

Method 6. The volume of the sample plots is calculated from equations 17a, 17b and 17c and the log percentage from equations 20a, 20b and 20c in the paper published by Kilkki and Siitonen (1975).

Tukkipuuprosentin jäännöshajonnan tunnuslukuihin ei sisälly runkotilavuuden laskennassa syntyneitä virheitä.

Taulukosta 4 nähdään, kuinka sekä runkotilavuuden että tukkipuun osuuden virhe kasvaa sitä mukaa kun läpimittajakaumaan ja puiden pituuteen liittyviä mittaustuloksia korvataan malleista saaduilla keskimääräisillä arvoilla. Pelkästään läpimittajakauman tasoittamisesta ja pituuskäyrän käyttöön otosta aiheutuva puuston runkotilavuuden virhe on kahdessa tapauksessa kolmesta alle 2,1 % ja tukkipuun osuuden virhe vastavasti alle 3,1 prosenttiyksikköä (menetelmä 1).

Tieto metsikön suurimman puun läpimittasta (menetelmä 4) saattaa tukkipuun osuu-

Taulukko 4. Eri menetelmillä saatujen koealan puuston runkotilavuuksien ja tukkipuun osuuksien jäännöshajonnan tunnuslukuja. Alaindeksi j ilmaisee koealan numeron.

Table 4. Residuals of the total volume and sawlog percentage, by different methods in the inventory sample plots. Index indicates the number of the sample plot.

Menetelmä Method N = 684	$\frac{\Sigma \hat{v} - v_j}{\hat{v}} \cdot 100$	$\sqrt{\frac{\Sigma \left(100 \cdot \frac{\hat{v} - v_j}{\hat{v}}\right)^2}{N-1}}$	$\frac{\Sigma \left(\frac{\hat{v}_1}{\hat{v}} - \frac{v_{1j}}{v_j}\right)}{N} \cdot 100$	$\sqrt{\frac{\Sigma \left(100 \cdot \left(\frac{\hat{v}_1}{\hat{v}} - \frac{v_{1j}}{v_j}\right)\right)^2}{N-1}}$
1	-0,1	2,1	-0,1	3,1
2	0,0	2,3	-0,1	3,3
3	0,1	2,5	0,1	3,8
4	0,1	2,8	0,1	3,8
5	0,2	2,8	0,2	4,5
6	2,9	4,0	-1,0	8,2

den laskennan varmemmalle pohjalle verrattuna keskimääräisistä ylärajoista saataviin lukuihin (menetelmä 5). Etenkin silloin, kun metsikön paksuin puu on lähellä tukkipuun minimiläpimittaa, saavutetaan merkittävää hyötyä, jos tiedetään, kummalle puolelle rajaa suurimmat puut sijoittuvat. Puuston runkotilavuuden arvion tarkkuuteen ei pelkän ylärajan mittaamisella näytä olevan merkitystä, sen sijaan alarajan mittaus (menetelmä 3) tuo selvää hyötyä. Ilmiö johtunee pituuskäyrän muodosta: läpimittajakauman alareunoilla käyrä nousee jyrkästi ja tasoittuu suurempiin läpimittoihin tullessa.

Tukkipuun osuutta laskettaessa alarajan tuntemisesta ei kohdissa 3 ja 4 esitettyjen lukujen perusteella saavuteta etua. Inventointiaineistossa alarajaltaan 15 cm suurempia läpimittajakaumia on hyvin vähän, mikä takia alarajan mittaamisesta koitua ilmeinen hyöty tukkipuun osuuden laskennassa ei käy selville esitetyistä luvuista.

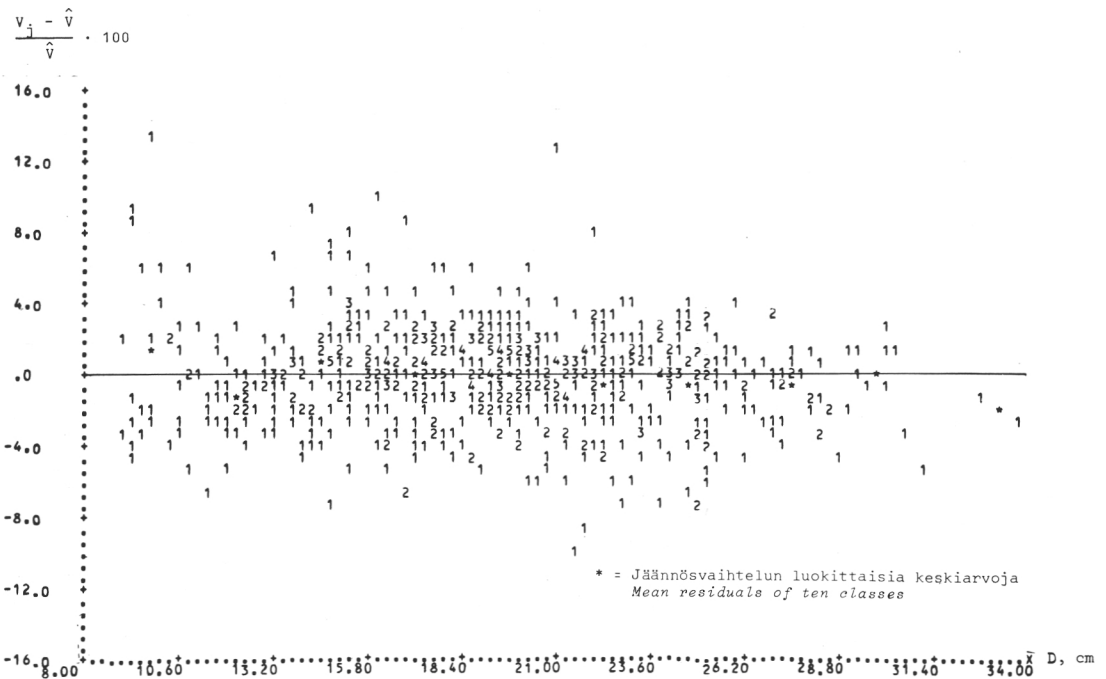
Simuloidusta metsikköaineistosta laadituilla keskipuun tilavuuteen perustuvilla muotokorkeusmalleilla (menetelmä 6) saatiin systemaattisesti n. 3 % liian suuria runkotilavuuksia. Jos harha korjataan (C o c h r a n 1963, s. 15), jää suhteel-

lisen jäännöshajonnan suuruudeksi 2,8 % eli sama kuin kohdassa 5.

Myös tukkipuun osuuden jäännösvaihtelun tunnusluku nousee systemaattisten erojen johdosta menetelmässä 6 suureksi. Laskehtamenetelmä antaa pienillä keskiläpimitoilla 5—6 prosenttiyksikön aliarvion ja suuremmilla taas yhtä suuren yliarvion tukkipuun osuuteen. Nämä harhat johtunevat simuloidun aineiston inventointiaineistosta suppeammista läpimittajakaumista.

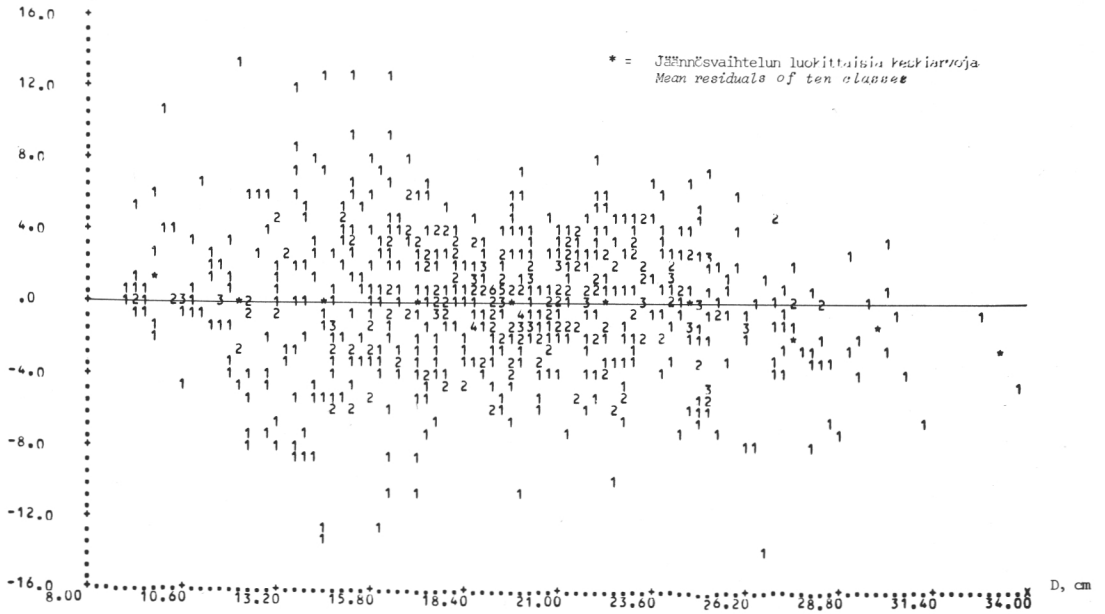
Koalojen puuston runkotilavuuksien ja tukkipuun osuuden jäännösvaihteluista tulostettiin kuvat kaikkien tunnettujen muutujien suhteen, mukaanlukien muuttujia yhdistelemällä saadut tunnuksset. Kuvassa 9 ovat runkotilavuuden ja kuvassa 10 tukkipuun osuuden jäännösvaihtelut läpimitan funktiona, kun läpimittajakauman yläraja tunnetaan (taulukko 4; menetelmä 4).

Pelkän pohjapinta-alan läpimittajakauman tasoittamisessa syntyvät virheet (menetelmä 1) eivät korreloineet metsikkötunusten kanssa. Muutamien jakaumien laajuutta ja vinoutta kuvaavien tunnusten suhteen havaittiin pieniä systemaattisia virheitä. Huipukkaiden ja laajojen jakaumien tasoittaminen ei onnistunut harhattomasti. Edel-



Kuva 9. Kokonaisrunkotilavuuden jäännösvaihtelu inventointikoaloilla keskiläpimitan funktiona. Menetelmä 4.
Fig. 9. Residuals of the total stem volume as a function of the mean diameter. Inventory sample plots. Method 4.

$$\left(\frac{v_{1j}}{v_j} - \frac{\hat{v}_1}{\hat{v}} \right) \cdot 100$$



Kuva 10. Tukkipuun osuuden jäännösvaihtelu inventointikoaloilla keskiläpimitan funktiona. Menetelmä 4.
Fig. 10. Residuals of the sawlog percentage as a function of the mean diameter. Inventory sample plots. Method 4.

lisessä tapauksessa päädyttiin tilavuuden aliarvioon ja jälkimmäisessä tapauksessa yliarvioon. Tukkipuun osuuden estimoinnissa syntyneet virheet olivat suurimmillaan, kun α ja $\gamma < 0$ tai $\alpha < 0$. Näissä metsiköissä ylärajan ja keskiläpimitan erotus oli useimmiten vain muutamien paksujen puiden vuoksi suuri, jolloin läpimittajakauman tasoittamiseen ei juuri ollut edellytyksiä.

Ylärajan, alarajan sekä hajontamallin jäännösvaihtelua — silloin kun näitä malleja on käytetty (menetelmät 3—5) — verrattiin metsikön runkotilavuuden ja tukkipuun osuuden jäännösvaihteluun. Selvimmin havaittava oli keskihajonnan yhtälön virheen vaikutus tukkipuun osuuteen. Mallista saadun varianssin ollessa liian suuri tukkipuun osuus yliarvioitiin, jos keskiläpimita oli pienempi kuin tukkipuun minimiläpimita. Liian vähäiseen tukkipuun osuuteen päädyttiin varianssin yliarvion johdosta metsikön keskiläpimitan ollessa tukkipuun rajaa suurempi. Varianssin aliarvio aiheutti suurilla ja pienillä keskiläpimitoilla päinvastaiset virheet.

Koaloilta mitattujen yli 18 cm runkojen

pohjapinta-alan ja betafunktiolla tasoitettun pohjapinta-alan läpimittajakauman yli 18 cm läpimittaisten runkojen pohjapinta-alan suhde korreloi runkotilavuuden jäännösvaihtelun ja etenkin tukkipuun osuuden jäännösvaihtelun kanssa. Kuvassa 11 on esitetty sama jäännösvaihtelu kuin kuvassa 10, mutta nyt läpimitaltaan yli 18 cm runkojen pohjapinta-alan estimointivirheen funktiona. Mittaamalla metsikön tukkipuuston pohjapinta-ala saataisiin tukkipuun osuuden laskentaa tarkennettua. Mitatun ja estimoidun läpimitaltaan yli 18 cm puiden pohjapinta-alan erotukseen perustuvalla regressiosuoralla korjattu tukkipuuston arvion virhe pienenee 3,8 %:sta 2,7 %:iin. Tällaisella muuttujalla voitaneen ainakin osittain korvata myös läpimittajakauman ala- ja ylärajojen mittaamisesta koituvaa hyötyä. Tukkipuiden pohjapinta-alan sovittaminen laskentamenetelmään (kuva 7) merkitsisi monimutkaisempaa iterointia kuin on tehty keskiläpimitan saattamiseksi kohdalleen.

Jos tyydytään epäjatkuviin jakaumiin, voidaan myös laskea kerroin c erikseen kullekin läpimittajakauman osalle.

72. Metsikkökoelat

Taulukossa 5 on esitetty eri menetelmillä (ks. taulukko 4) metsikkökoeloille laskettujen tulosten jäännösvaihtelun tunnuslukuja.

Menetelmä 7. Ylä- ja alaraja sekä varianssi on laskettu metsikkökoela-aineistosta laadituilla yhtälöillä (liite 1).

Method 7. The upper and lower limits, and the variance of the basal area weighted stem-diameter distribution are calculated by the functions 4, 5 and 6 derived from the stand sample plots (appendix 1).

Inventointiaineistosta laadittujen yhtälöiden huono sopivuus metsikkökoeloille nähdään tulosten huononemisenä ja harhan suurenemisenä sitä mukaa kuin mitattuja tunnuksia korvataan yhtälöiden antamilla keskimääräisillä arvoilla. Tämä näkyy sekä runkotilavuuden että etenkin tukkipuun osuuden arvioissa.

Tukkipuun osuuden harha on erisuuntaisen pienillä ja suurilla keskiläpimitoilla. Jäännöshajonta on peilikuva taulukon 4 kohdassa 6 syntyneistä virheistä tukkipuun osuuden estimoinnissa. Suurimmat aliarviot ovat keskiläpimitaltaan 22 cm koeloilla ja eniten on yliarvioitu noin 15 cm keskiläpimittaisten koeloiden tukkipuuprosenttia. Syntyneet virheet johtuvat pääosin käytettyä keskijajonnan yhtälöstä, joka yliarvioi metsikkökoeloiden läpimittajakaumien varianssia. Vaikutusta on myös betajakauman perusmuodolla, joka on määrätty inventointiaineiston perusteella ylärajaan tehtävällä lisäyksellä.

Kilkin ja Siitosen (1975) muo-

tokorkeus- ja puutavaralajimalleilla saadut tulokset (menetelmä 6) ovat parempia kuin esillä olevalla menetelmällä on saatu keskitunnuksia käyttämällä (menetelmä 5). Mallien laadintaan käytetty simuloitu aineisto on tämän perusteella lähempänä vertailuaineistoa kuin inventointikoelat. Jäännösvaihtelun harhojen suunnasta päätellen näyttäisi siltä, että simulointiaineiston runkolukusarjat ovat suppeampia kuin metsikkökoeloilla keskimäärin.

Kohdassa 7 esiintyvät systemaattiset virheet johtunevat betafunktion parametrien johtamisesta menetelmällä, joka on laadittu antamaan harhattomia tuloksia inventointiaineistossa. Katkaisukohtien perusteella määrätty jakauman optimaalinen muoto vaihteli hieman eri aineistoissa, minkä vuoksi tässä käytettyä menetelmää ei voida pitää yleispätevänä.

73. Läpimittaluokan koon vaikutus tulosten tarkkuuteen

Edellä esitetyissä taulukoissa käytetyissä laskentamenetelmissä läpimittajakauma jaettiin tasavälein 50 luokkaan, mikä merkitsee 0,4 cm luokkaväliä silloin kun vaihteluväli on 20 cm.

Erilaisia luokkavälejä kokeiltiin menetelmään 1, jossa kaikki tunnuksot oletettiin mitatuiksi. Vaihteluväli jaettiin 50, 20, 10, 5 ja 3 luokkaan. Silloin kun käytetään 50 luokkaa, tietokoneaikaa tarvitaan laskentaan noin kolminkertainen määrä verrattu-

Taulukko 5. Eri menetelmillä saatujen puuston runkotilavuuksien ja tukkipuun osuuksien jäännöshajonnan tunnuslukuja. Metsäntutkimuslaitoksen metsikkökoela-aineisto. Symbolit kuten taulukossa 4.
Table 5. Residuals of the total volume and sawlog percentage, by different methods in the stand sample plots. Symbols as table 4.

Menetelmä Method N = 472	$\frac{\sum \frac{\hat{v} - v_j}{\hat{v}}}{N} \cdot 100$	$\sqrt{\frac{\sum \left(100 \cdot \frac{\hat{v} - v_j}{\hat{v}}\right)^2}{N-1}}$	$\frac{\sum \left(\frac{\hat{v}_1}{\hat{v}} - \frac{v_{1j}}{v_j}\right)}{N} \cdot 100$	$\sqrt{\frac{\sum \left(100 \cdot \left(\frac{\hat{v}_1}{\hat{v}} - \frac{v_{1j}}{v_j}\right)\right)^2}{N-1}}$
1	-0,5	3,5	-0,1	2,0
2	-0,4	3,5	0,5	2,3
3	-0,8	3,7	1,9	4,4
4	-1,2	3,9	1,0	5,2
5	-1,2	4,0	2,9	7,7
6	1,1	3,9	2,1	4,5
7	-0,4	3,6	-0,6	3,1

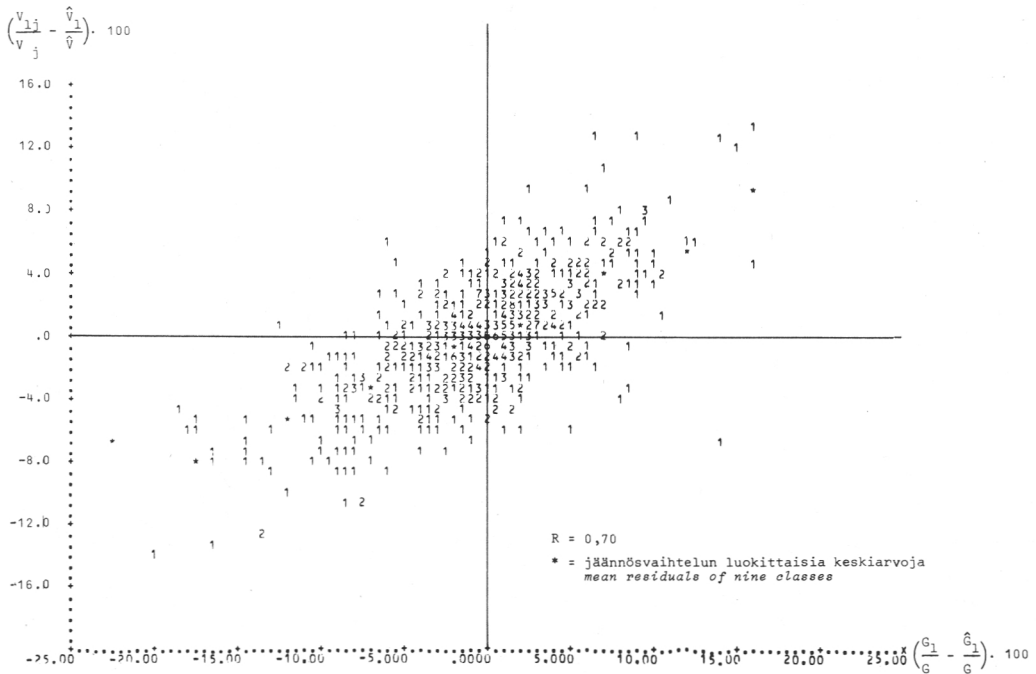
na siihen, että vaihteluväli on jaettu kolmeen osaan.

Puuston runkotilavuuden arvio huononi vasta silloin, kun luokkia oli enää 3. Tämän mukaan rinnankorkeusläpimittojen jakamisella vain muutamaan luokkaan saadaan otettua huomioon läpimittajakauman varianssin ja vinouden vaikutus runkojen kokonaistilavuuteen.

Tukkipuun osuuden laskennan tarkkuus heikkeni tasaisesti siirryttäessä 50 luokasta

20 ja edelleen 10 luokkaan. 5 ja 3 luokkaa käytettäessä jäännöshajonta oli jo ratkaisevasti suurempi.

Sekä runkotilavuuden että tukkipuun osuuden laskentaan vaikuttaa se, millä tavalla vaihteluväli jaetaan läpimittaluokkiin. Tässä tutkimuksessa on käytetty tasavälejä, mutta luokkien määrää voitaisiin ehkä vähentää määrittämällä läpimittaluokat niiden runkotilavuuden tai tukkipuun määrän perusteella.



Kuva 11. Tukkipuuprosentin ja läpimitaltaan yli 18 cm runkojen pohjapinta-alan jäännösvaihtelujen korrelaatio. Menetelmä 4.

Fig. 11. Correlation between the residuals of the sawlog percentage and the basal area of the stems over 18 cm diameter. Inventory sample plots. Method 4.

8. MENETELMÄN SOVELTAMINEN METSIKKÖINVENTOINTIIN

81. Metsikkökuvioiden läpimittajakaumien estimointi

Kuvioittaisessa arvioinnissa pohjapinta-ala, keskipituus, keskiläpimita sekä muut metsikkötiedot kerätään yleensä useilta kuvion sisäisiltä relaskooppikoealoilta ja saman tunnuksen arvot kootaan kuviolomakkeelle yhdeksi keskiarvotiedoksi. Mitattavissa tiedoissa voivat olla mukana myös läpimittojen vaihtelualueen ylä- ja alaraja, jotka voidaan estimoida — samoin kuin muutkin tiedot — relaskooppikoealoilta mitattujen tietojen keskiarvoina. Tässä tutkimuksessa esitettyä laskentamenetelmää voidaan soveltaa kuvioittaiseen arviointiin keräämällä halutut tiedot läpimittajakaumasta edellä mainitulla tavalla keskiarvoina.

Edellä on oletettu, että koealat vastaavat myös suuria puujoukkoja. Kuitenkin runkoluvun suurentuessa läpimittojen vaihteluväli suurenee eikä jakauman muoto ole enää sama kuin rajoitetuilla koealoilla, joilla muuten on samat keski- ja summatunnukset.

Puujoukon lukumäärän kasvusta johtuvaa läpimittajakauman tunnusten muutosta on mahdollista simuloida laskemalla suuri joukko pohjapinta-alajakaumia. Näissä käytetään paitsi ylä- ja alarajan sekä hajonnan yhtälöistä saatavia odotusarvoja, myös niitä pienempiä ja suurempia arvoja siinä suhteessa, mitä yhtälöiden jäännösvaihtelut kuvaavat havaintojen jakaantumisesta odotusarvojen ympärille. Lopullinen jakauma saadaan osajakaumien summana, joka suhteutetaan mitattuun pohjapinta-alaan. Mitä useampia osajakaumia käytetään, sitä vähäisemmäksi jää myös yksittäisen jakauman katkaisemisen vaikutus.

Läpimittajakauma voidaan estimoida myös korvaamalla edellä mainittu simulointi todellisilla mittauksilla kuvion eri osista. Kullekin relaskooppikoealalle lasketaan oma pohjapinta-alan läpimittajakauma siltä mitattujen tietojen perusteella, jolloin koko kuvion jakauma saadaan koealoittaiten jakaumien summana. Jos taas tyydytään merkitsemään muistiin vain relaskooppikoe-

alojen keskiläpimitat, on mahdollista näiden hajonnan avulla tarkentaa arviota pohjapinta-alan läpimittajakauman varianssista keskiarvon keskiarveen kaavan perusteella.

Edellä mainitut seikat viittaavat selvityksiin, jotka vielä ovat tarpeellisia arviotaessa esitetyn menetelmän kenttäkelpoisuutta.

82. Virhelähteitä

Edellä esitetyt laskentamenetelmien jäännöshajonnat sisältävät vain menetelmän itsensä tuottaman virheen. Epätarkkuus lähtötietojen mittaamisessa tai arvioimisessa heikentää todellisessa metsikössä tehtävän arvioinnin luotettavuutta. Systemaattiset, esimerkiksi mittaajasta aiheutuvat virheellisydet johtavat harhaan myös lopputuloksissa.

Jos esimerkiksi mitataan vain yksi relaskooppikoeala ja pohjapinta-alamediaani-puun pituutta käytetään sellaisenaan keskipituutena, syntyy jäännösvaihteluun enemmän hajontaa kuin pituuskäyrällä tasoitettua keskipituutta sovellettaessa. Käytännössä keskipuun pituuden lisäksi olisi otettava huomioon myös keskiläpimittaa lähellä olevien puiden pituus.

Laskennan perustana olevien puutunnusmallien, kuten tässä tilavuus- ja puutavaralajiyhtälöiden, virheet siirtyvät puuston tunnuksiin. Tukkipuun osuus metsiköissä vaihtelee paljon enemmän kuin tässä käytetyt puutavaralajiyhtälöt pystyvät ilmentämään; erilaiset vikaisuudet vähentävät sahapuun osuutta siitä, mitä sen dimensiot täyttävien runkojen lukumäärän ja koon perusteella voidaan arvioida. Osittaisia tarkennuksia puutavaralajien laskentaan voidaan saada laskemalla keskimääräisiä vähennyksiä tukkipuun määrään esimerkiksi valtakunnan metsien 7. inventoinnin koepuuaineistosta.

Tässä työssä puulajeittaisten puutavaralajien laskenta perustuu ainoastaan koko-

naisrunkotilavuudesta mitattuihin puulajisuhteisiin, eikä puulajien mahdollista jakottumista runkolukusarjan eri puolille ole otettu huomioon. Tarkempiin tuloksiin päästään arvioimalla lähtötiedot ja laskeamalla tulokset puulajeittain.

Yleisten puustotunnusten estimointimenetelmien laatiminen edellyttää metsien nykyisen tilan ja niiden runkolukusarjojen tun-

temista. Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston puuntuotoksen tutkimussuunnalla on meneillään valtakunnan metsien 6. ja 7. inventoinnin otantaan perustuvien metsikkökoealojen mitaus. Mainittu aineisto tuonee lisävalaistusta myös tässä työssä ilmenneisiin edustavuusongelmiin.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- CAJANDER, A. K. 1917. Suomen Metsätieteellisen Seuran toiminta v. 1909—1917. Acta For. Fenn. 7:1—292.
- CAJANUS, W. 1914. Über die Entwicklung gleichaltriger Waldbestände. Eine Statistische Studie. I. Acta For. Fenn. 3:1—142.
- COCHRAN, W. 1963. Sampling Techniques. John Wiley & Sons Inc. 1—413.
- ELFVING, B. 1975. Volym och struktur i ogallrade tallbestånd. Volume and structure in thinned stands of Scots pine. Institutionen för skogsproduktion. Rapport och Uppsatser 35. 1—128.
- ERIKSSON, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Yield of Norway spruce in Sweden. Institutionen för skogsproduktion. Rapport och Uppsatser 41. 1—291.
- GUSTAVSEN, H. G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. Abstract: Finnish volume increment functions. Folia For. 331: 1—37.
- Försöksplan för samnordiskt projekt rörande gödslinggallring. Reviderad i mars 1976. 1—8. Stockholm.
- ILVESSALO, Y. 1920a. Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä. Referat: Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen. Acta For. Fenn. 15:1—157, 1—51, 1—32, 1—26.
- 1920b. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuolisikon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. Acta For. Fenn. 15:1—94, 1—9.
- 1937. Perä-Pohjolan luonnonnormaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Summary: Growth of natural normal stands in central North-Suomi (Finland). Commun. Inst. For. Fenn. 24(2):1—168.
- 1947. Pystypuiden kuutiomistaulukot. Summary: Volume tables for standing trees. Commun. Inst. For. Fenn. 34(4):1—149.
- 1951. III valtakunnan metsien arviointi. Suunnitelma ja maastotyön ohjeet. Summary: Third national forest survey of Finland. Plan and instructions for field work. Commun. Inst. For. Fenn. 39(3): 1—67.
- KILKKI, P. 1979. Outline for data processing system in forest mensuration. Seloste: Ehdotus metsänmittaustulosten laskentamenetelmäksi. Silva Fenn. Vol. 13. No 4:368—384.
- & SIITONEN, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laskenta. Summary: Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. Acta For. Fenn. Vol. 145:1—29.
- LAASASENAHO, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutiomisyhtälöt. Moniste. Helsingin Yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 1—89.
- LAPPI-SEPPÄLÄ, M. 1929. Untersuchungen über die Entwicklung gleichaltriger Mischbestände aus Kiefer und Birke. Seloste: Tutkimuksia tasaikäisen mäntykoivu-sekametsikön kehityksestä. Commun. Inst. For. Fenn. 15(2):1—241.
- LOETSCH, F., ZÖHRER, F. & HALLER, K. 1973. Forest Inventory. Vol. II:1—469. BLV Verlagsgesellschaft München, Bern, Wien.
- LÖNNROTH, E. 1925. Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände basiert auf Material aus der südhälfte Finnlands. Acta For. Fenn. 30: 1—269.
- MEYER, W. 1930. Diameter distribution series in evenaged forest stands. Yale University: School of Forestry Bulletin No 28: 1—105.
- NILSSON, G. 1976. Stamfördelningar. Diameter distributions. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse 2. 1—27.
- NYSSÖNEN, A. 1954a. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta For. Fenn. 60(4):1—194.
- 1954b. Metsikön kuutiomäärän arvioiminen relaskoopin avulla. Summary: Estimation of stand volume by means of the relascope. Commun. Inst. For. Fenn. 44(6):1—31.
- NÄSLUND, M. 1936. Skogsförsöksanstaltens gallringförsök i tallskog. Primärbearbetning. Die Durchforstungsversuche der forstlichen Versuchsanstalt Schwedens in Kiefernwald. Primärbearbeitung. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt. Häfte 29:1—169.
- OIKARINEN, M. 1978. Viljelymetsiköiden puuston vaihtelu ja kasvukoealojen edustavuus. Summary: Variations in growing stock in cultivated stands and the representation of growth sample plots. Folia For. 350:1—15.
- PETTERSON, H. 1955. Barrskogens volymproduktion. Die Massenproduktion des Nadelwaldes. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut. Band 45(1):1—391, 1—189.
- RUSTAGI, K. 1978. Quantifying relationship between cumulative tree and basal area frequencies in evenaged stands. Joint Meeting of IUFRO Groups

- Bukarest. 18—26. June 1978. 74—88.
- The standardization of symbols in forest mensuration. 1959. IUFRO. Univ. Maine, Agr. Exp. Sta., Techn. Bull. No 15:1—32.
- SUKHATME, P. & SUKHATME, B. 1970. Sampling Theory of Surveys with Applications. Iowa State University Press, Ames, Iowa. 1—452.
- Tapion Taskukirja. 1971. 16. painos. Kirjayhtymä. 1—519. Helsinki.
- Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätöiden ohjeet. 1977. Yleinen osa. Metsätutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosasto. Moniste. 1—59. Helsinki.
- VARTIA, Y. 1973. Betajakauman parametrien estimointi maximum likelihood-menetelmällä. Estimation of the parameters of the beta distribution by maximum likelihood method. Elinkeinoelämän tutkimuslaitoksen julkaisuja. 1—120.
- VÄLIAHO, H. & VUOKILA, Y. 1973. A system for simulation of the development of stem-diameter distributions. Seloste: Runkolokusarjan kehityksen simulointimenetelmä. Commun. Inst. For. Fenn. 78(9):1—29.
- ZÖHRER, F. 1969. Ausgleich von Häufigkeitsverteilungen mit Hilfe des Beta-Funktion. Forstarchiv. 37—42.
- 1970. Das Computerprogramm BETKLA zum Ausgleich von Stammzahl-Durchmesser-Verteilungen oder beliebigen anderen Häufigkeitsverteilungen. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. Reinbek bei Hamburg. Nr. 76:1—35.

SUMMARY

The aim of this paper is to study the estimation of the stem-diameter distribution of the stand. Furthermore, such stand characteristics as growing stock volume and sawlog percentage are derived through the estimated stem-diameter distribution.

Two different study materials from Southern Finland were used. The principal material was from 684 sample plots of 0,1 hectare measured during the 3rd National Forest Inventory in 1951—1953. Another sample plot material was collected from permanent stand sample plots and comprised 472 sample plot measurements. These two materials are compared in table 2 and figures 4, 5 and 6.

Stem volume and percentages for timber assortments of the growing stock on the sample plots, were derived from the measured stem-diameter distributions by equations based on the breast height diameter and height of a tree. These values were compared with results from the estimated stem-diameter distributions.

Stem-diameter distributions were fitted by the beta-function. In this study, stem-diameter distributions were weighted by the basal area (see fig. 2 and 3). For the derivation of the betafunction, upper and lower limit, mean and variance as well as the total basal area were employed.

In the first phase of the estimation of the stand characteristics, the stem-diameter distribution weighted by the basal area was estimated. For this calculation, diameter of the median basal area tree, variance from median diameter, the total basal area and the two limits of the stem-diameter distribution were used. Regression equations for the upper and lower limit and standard deviation of the distribution are derived (table 3). The equations can be used if these characteristics are not known.

The requirements for an acceptable betafunction was that its total sum frequency equaled the measured basal area and its median equaled the measured mean diameter.

In the second phase, the height of the trees in a given diameter class was estimated by height functions which were based on tree species, DBH and common stand measurements. A diameter-height curve was fitted to these calculated heights. This height curve was corrected by the ratio between measured mean height and the value of the height curve at the point of the mean diameter.

The third phase consisted of the derivation of the volume and timber assortments of the diameter classes by the treewise equations mentioned above. The values of the diameter classes were multiplied by the number of the stems — derived from the basal area of a diameter class — in a diameter class. Any treewise equations, ie. single tree growth equations, can be linked to this phase.

The residuals of the total stem volume and sawlog percentage of the sample plots were minimized by using an adjusted upper limit — instead of the measured or the estimated one — in the derivation of the betafunction. Consequently, the right hand side tail of the betafunction was truncated.

The residuals (tables 4 and 5) increased when the measured values were substituted by the estimated ones. The adjustment of the upper limit employed in this study was not particularly efficient in the stand sample plots. This indicates that the method used for estimating the stem-diameter distribution may not be valid in all cases and in all kinds of sample plots.

The residuals of the sawlog percentage were correlated by the residuals of the standard deviation equation (3). If the mean diameter was above the minimum DBH of the sawlog stem, an underestimation of the standard deviation led to the overestimation of the sawlog percentage. In this case, an overestimation of the standard deviation led to the underestimation of the sawlog percentage. If the mean diameter was smaller than the minimum sawlog stem DBH, the residuals were to the other direction.

The correlation between the residuals of the sawlog percentage and basal area above 18 cm diameter is presented in fig. 11. It indicates that by measuring the basal area of the sawlog trees, the errors in the estimation of sawlog percentage could be diminished. However, this calculation method requires another iterative procedure (fig. 7:7) for the estimation of the stem-diameter distribution.

It must be kept in mind that errors in the estimation of the stand measurements increase the total errors. The treewise equations — stem volume, timber assortments, etc. — must also be valid when the method is applied. For instance, the timber assortment function used in this study does not consider the decay or technical quality of the stem wood.

The distribution between tree species in the sample

plot was assumed to be the same in all diameter classes. This is only a rough estimate of the real situation in the forest stands. The accuracy of the estimation is increased if the stand measurements are made and calculated by tree species.

If the calculation method presented in this paper is used in the stand inventory, it is possible to estimate one or more mean diameters, mean heights, basal areas and upper and lower limits of the stem-diameter distribution inside one stand. In the latter case, the final stem-diameter distribution will be calculated as the sum of the sub-distributions. However, the appli-

cation of the method still needs further research before it can be recommended.

The most reliable results of the estimation of the stem-diameter distribution can be derived from a sample plot material of the forest stand population in question. The Finnish Forest Research Institute is collecting this kind of stand sample plot material based on the sample of the Seventh National Forest Inventory. It can be assumed that some of the questions about the character of the stem-diameter distributions can be answered when this material is available.

MERKINNÄT — SYMBOLS

α	betafunktion eksponentti <i>exponent of the betafunction</i>	m	puiden lukumäärä koealalla <i>number of the trees in the sample plot</i>
a	betafunktion alaraja <i>lower limit of the betafunction</i>	N	koealojen lukumäärä <i>number of the sample plots</i>
b	betafunktion yläaraja <i>upper limit of the betafunction</i>	n_i	puiden lukumäärä läpimittaluokassa i , kpl/ha <i>number of trees in diameter class i, /ha</i>
D_a	aritmeettinen keskiläpimitta, cm <i>arithmetic mean diameter, cm</i>	R^2	selitysaste (R = yhteiskorrelaatiokerroin) <i>degree of determination (R = multiple correlation coefficient)</i>
D	keskiläpimitta (pohjapinta-alan mediaani), cm <i>diameter of the median basal area tree, cm</i>	s_a	runkoluvun läpimittajakauman keskihajonta <i>standard deviation of the stem-diameter distribution</i> $s_a = \sqrt{\frac{\sum n_i (d_i - D_a)^2}{m-1}}$
D_b	betajakauman mediaaniläpimitta, cm <i>median diameter of the betadistribution, cm</i>	s	pohjapinta-alan läpimittajakauman keskihajonta (laskettu mediaaniläpimitasta) (jakauman varianssi = s^2) <i>standard deviation (from the diameter of the median basal area tree) of the basal area weighted stem-diameter distribution (variance of the distribution = s^2)</i> $s = \sqrt{\frac{\sum g_i (d_i - D)^2}{G}}$
d_i	läpimittaluokan i keskipiste, cm <i>middle of the diameter class i, cm</i>	s_f	estimaatin keskivirhe <i>standard error of the estimate</i> $s_f = \sqrt{\frac{\sum (\hat{y} - y)^2}{N - k}}$
F	koealan puuston muotoluku, $\frac{V}{G \cdot H}$ <i>form factor of the sample plot,</i>	T	metsikön ikä, vuotta <i>age of the stand, years</i>
γ	betafunktion eksponentti <i>exponent of the betafunction</i>	U	koealan läpimitaltaan suurimman puun läpimittaluokan yläaraja, cm <i>upper limit of the largest diameter class in the sample plot, cm</i>
G	pohjapinta-ala, m^2/ha <i>basal area, m^2/ha</i>	V_i	läpimittaluokan i tilavuus, m^3 <i>stem volume in the diameter class i, m^3</i>
G_j	läpimitaltaan yli 18 cm runkojen pohjapinta-ala, m^2/ha <i>basal area of stems above 18 cm diameter, m^2/ha</i>	V_j	koealan j puuston kokonaistilavuus, m^3/ha <i>stem volume of the sample plot j, m^3/ha</i>
g_i	läpimittaluokan i pohjapinta-ala, m^2/ha <i>basal area of the diameter class i, m^2/ha</i>	V_{ij}	tukkipuun tilavuus koealalla j , m^3/ha <i>sawlog volume in the sample plot j, m^3/ha</i>
H	keskipituus (keskiläpimittaa D vastaavan puun pituus), m <i>mean height (corresponding to the mean diameter D), m</i>		
h_i	läpimittaluokan i keskipituus, m <i>mean height of the diameter class i, m</i>		
k	mallin parametrien lukumäärä <i>number of the parameters in the model</i>		
L	koealan läpimitaltaan pienimmän puun läpimittaluokan alaraja, cm <i>lower limit of the smallest diameter class in the sample plot</i>		

V_p, V_s, V_d puulajeittaiset tilavuudet, m³/ha: mänty, kuusi ja lehtipuu
volumes of the tree species, m³/ha: Scots pine, Norway spruce and deciduous trees
 männikkö
pine stand $V_p > 0,7 \cdot V$
 kuusikko
spruce stand $V_s > 0,7 \cdot V$
 lehtipuumetsikkö
deciduous stand $V_d > 0,7 \cdot V$
 havusekametsä
pine-spruce mixed stand
 $(V_p + V_s) > 0,7 \cdot V, V_p < 0,7 \cdot V, V_s < 0,7 \cdot V$

lehti-havusekametsä
mixed coniferous-deciduous stand
 $(V_p + V_s) < 0,7 \cdot V, V_d < 0,7 \cdot V$

\bar{y} selitettävän muuttujan keskiarvo
mean of the dependent variable in the regression equation

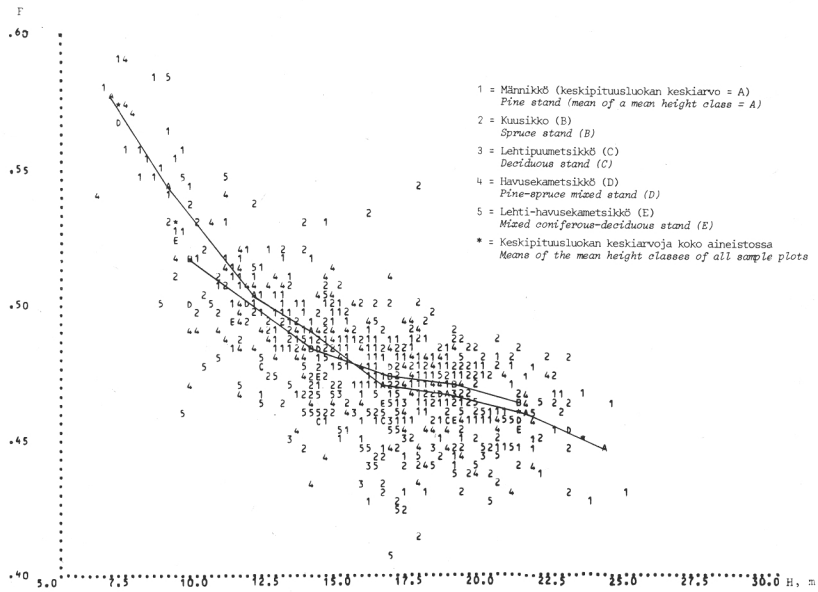
$\hat{L}, \hat{U}, \hat{s}, \hat{V}$ estimoituja arvoja

$\hat{n}_i, \hat{g}_i, \hat{h}_i, \hat{G}_i$ estimated values

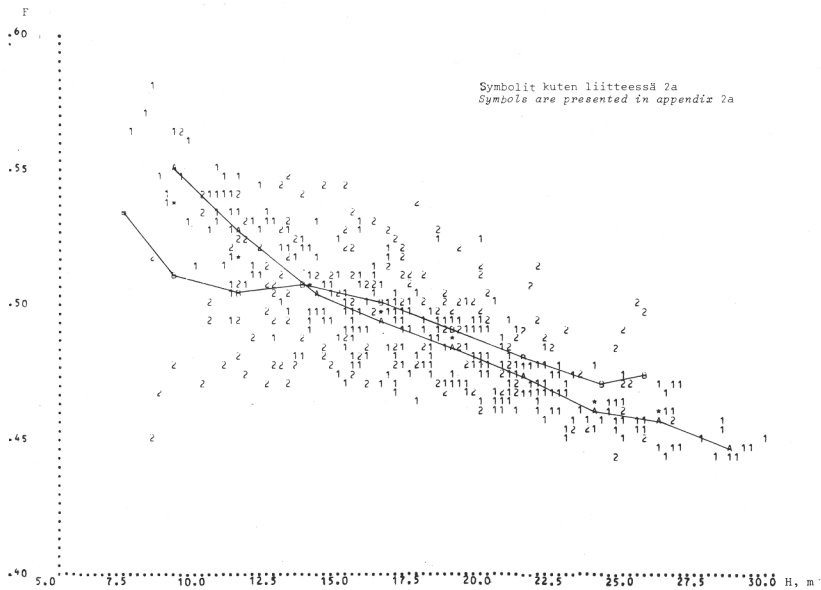
LIITTEET — APPENDICES

Liite 1. Pohjapinta-alan läpimittajakauman tunnusten yhtälöt Metsäntutkimuslaitoksen koela-aineistossa.
Appendix 1. Regression equations for the upper and lower limits and standard deviation of the basal area weighted stem-diameter distribution. Stand sample plots.

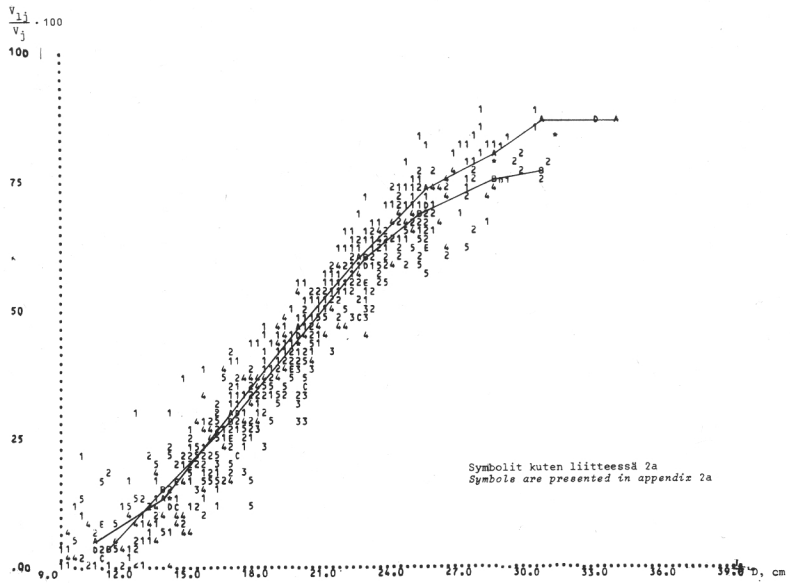
Yhtälön numero Number of the equation	Selitettävä muuttuja Dependent variable	Selittävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	R ²	s _f	\bar{y}
4	ln (U—D)	Vakio-Constant	1,7183	0,236	0,230	2,230
		ln D	—0,1714			
		ln G	0,2074			
		T	0,006719			
Valemuuttujat: Dummy variables:						
	Kuusikko Spruce stand		—0,04425			
5	ln L	Vakio	—1,6067	0,822	0,261	2,054
		ln D	1,1762			
		ln G	—0,3836			
		ln H	0,7262			
		ln (U—D)	—0,2775			
Valemuuttujat: Kuusikko			0,08652			
6	$\frac{s}{(U-L)}$	Vakio	0,04358	0,391	0,0184	0,189
		ln D	0,04678			
		(U—L)	—0,002226			
		ln G	0,02003			
		Valemuuttujat: Kuusikko Veroluokka IA Tax class IA				



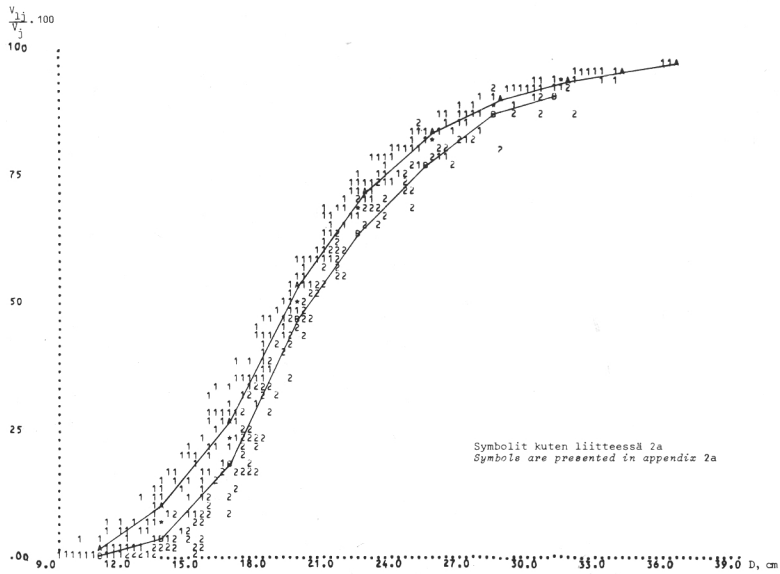
Liite 2a. Muotoluvut keskipituuden ja koealan puulajisuhteiden funktiona. Inventointikoealat.
 Appendix 2a. Form factors as a function of the mean height and ratio of the tree species. Inventory sample plots.



Liite 2b. Muotoluvut keskipituuden ja koealan puulajisuhteiden funktiona. Metsikkökoealat.
 Appendix 2b. Form factors as a function of the mean height and ratio of the tree species. Stand sample plots.



Liite 3a. Tukkipuun osuus keskiläpimitan ja puulajisuhteiden funktiona. Inventointikoealat.
Appendix 3a. Sawlog percentage as a function of the mean diameter and ratio of tree species. Inventory sample plots.



Liite 3b. Tukkipuun osuus keskiläpimitan ja puulajisuhteiden funktiona. Metsikkökoealat.
Appendix 3b. Sawlog percentage as a function of the mean diameter and ratio of tree species. Stand sample plots.

ODC 521.1:524.63--015.5
ISBN 951-40-0461-2
ISSN 0015-5543

PÄIVINEN, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Summary: On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics. *Folia For.* 442:1—28.

A method employing the betafunction to predict the stem-diameter distribution of a sample plot is presented. It is assumed that mean diameter, basal area and some common stand measurements are known. Upper and lower limit as well as the variance of the stem-diameter distribution, can be estimated by regression equations presented in the study. The total stem volume and the volumes of the timber assortments are derived from the calculated stem-diameter distribution by the means of single tree functions.

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

ODC 521.1:524.63--015.5
ISBN 951-40-0461-2
ISSN 0015-5543

PÄIVINEN, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Summary: On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics. *Folia For.* 442:1—28.

A method employing the betafunction to predict the stem-diameter distribution of a sample plot is presented. It is assumed that mean diameter, basal area and some common stand measurements are known. Upper and lower limit as well as the variance of the stem-diameter distribution, can be estimated by regression equations presented in the study. The total stem volume and the volumes of the timber assortments are derived from the calculated stem-diameter distribution by the means of single tree functions.

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

ODC 521.1:524.63--015.5
ISBN 951-40-0461-2
ISSN 0015-5543

PÄIVINEN, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Summary: On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics. *Folia For.* 442:1—28.

A method employing the betafunction to predict the stem-diameter distribution of a sample plot is presented. It is assumed that mean diameter, basal area and some common stand measurements are known. Upper and lower limit as well as the variance of the stem-diameter distribution, can be estimated by regression equations presented in the study. The total stem volume and the volumes of the timber assortments are derived from the calculated stem-diameter distribution by the means of single tree functions.

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

ODC 521.1:524.63--015.5
ISBN 951-40-0461-2
ISSN 0015-5543

PÄIVINEN, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Summary: On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics. *Folia For.* 442:1—28.

A method employing the betafunction to predict the stem-diameter distribution of a sample plot is presented. It is assumed that mean diameter, basal area and some common stand measurements are known. Upper and lower limit as well as the variance of the stem-diameter distribution, can be estimated by regression equations presented in the study. The total stem volume and the volumes of the timber assortments are derived from the calculated stem-diameter distribution by the means of single tree functions.

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

- No 400 Metsänlannoitustutkimuksen tuloksia ja tehtäviä. Metsäntutkimuslaitoksen metsänlannoitustutkimuksen seminaari 15. 2. 1979.
Results and tasks in forest fertilization research. Proceedings of the Finnish Forest Research Institute symposium on forest fertilization research 15. 2. 1979.
- No 401 Mielikäinen, Kari: Alaharvennusten vaikutus männikön tuotokseen ja arvoon.
The influence of low thinnings on the wood production and value of a pine stand.
- No 402 Sepponen, Pentti, Lähde, Erkki & Roiko-Jokela, Pentti: Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa.
On the relationship of the forest vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland.
- No 403 Kanninen, Kaija, Uusvaara, Olli & Valonen, Paavo: Kokopuuraaka-aineen mittaus ja ominaisuudet.
Measuring and properties of whole tree raw-material.
- No 404 Kaunisto, Seppo: Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan metsityksestä.
Preliminary results on afforestation of sod peat drying fields and peat cut-over areas.
- No 405 Sepponen, Pentti & Haapala, Heikki: Ojituksen vaikutuksesta turpeen kemiallisiin ominaisuuksiin.
On the effect of drainage on the chemical properties of peat.
- No 406 Elovirta, Pertti: Metsätyövoiman alallapysyvyys 1969—1977.
Permanence of forest labour in Finland 1969—1977.
- No 407 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu valtakunnan metsien 6. inventoinnin aineiston perusteella.
Variation in tree growth in Finland based on the 6th National Forest Inventory.
- No 408 Lilja, Arja: Koivun siemenen sienet ja niiden patogeenisuus.
Fungi on birch seeds and their pathogenicity.
- No 409 Kallio, Tauno & Häkkinen, Risto: Juurikäävän (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) ja *Phlebia gigantean* (Fr.) Donk vaikutus pellolle istutettujen kuusen, männyn, tervalepän ja rauduskoivun taimien pituuskasvuun ja elossapysymiseen.
Effect of *Heterobasidion annosum* and *Phlebia gigantea* infection on the height growth and survival rate of *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Alnus glutinosa* and *Betula pendula* seedlings planted on old fields.
- No 410 Kärkkäinen, Matti: Kuitupuun kiintomittaus kourakasoissa.
Measurement of solid volume of pulpwood grapple heaps.
- No 411 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1977—79.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1977—79.
- No 412 Raitio, Hannu: Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopelolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta.
Growth disturbances of Scots pine caused by boron deficiency on an afforested abandoned peatland field. Description and interpretation of symptoms.
- No 413 Kellomäki, Seppo & Salmi, Juhani: Koivuvaneriutukien kuoren määrä.
Bark quantity of birch logs.
- No 414 Paavilainen, Eero: Jatkolannoitus runsastyyppisillä rämeillä. Ennakkotuloksia.
Refertilization on nitrogen-rich pine swamps. Preliminary results.
- No 415 Teivainen, Terttu: Eräiden viljeltyjen pajujen kelpaavuus peltomyyrälle (*Microtus agrestis* L.) ruokintakokeiden mukaan.
Palatability of some cultivated willows to field voles (*Microtus agrestis* L.) in feeding trials.
- No 416 Velling, Pirkko: Puuaineen tiheys kahdessa rauduskoivun jälkeläiskokeessa.
Wood density in two *Betula pendula* Roth progeny trials.
- No 417 Mattila, Eero: Kangasmaiden luppometsien ominaisuuksia Suomen poronhoitoalueella 1976—1978.
Characteristics of the mineral soil forests with arboreal lichens (*Alectoria*, *Bryoria* and *Usnea* spp.) in the Finnish reindeer management area, 1976—1978.
- 1980 No 418 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: Harvestering fuel chips with the Pallari swath harvester.
Polttopuun karjuu Pallarin leikkuuhakkurilla.
- No 419 Kinnunen, Kaarlo & Lemmetyinen, Markku: Paakkukoon vaikutus männyn taimien alkukehitykseen.
Initial development of containerized pine seedlings as affected by the size of earth ball.
- No 420 Keipi, Kari & Laakkonen, Olavi: Päätehakkuikaisten metsiköiden urealannoituksen kannattavuusvertailuja.
Profitability comparisons of urea fertilization in old stands.
- No 421 Lipas, Erkki & Levula, Teuvo: Urealannoitus eri vuodenaikoina.
Urea fertilization at different times of the year.
- No 422 Weissenberg, Kim, von & Kurkela, Timo (Eds.): Proceedings of the meeting of the IUFRO Working Party S2.05—05, Resistance in pines to *Melampsora pinitorqua*, June 1979, Suonenjoki, Finland.
IUFRO:n työryhmän S2.05—05, Versoruosteenkestävyys männnyssä, kesäkuussa 1979 Suonenjoella pidetyn kokouksen esitelmät.
- No 423 Kylmänen, Pekka: Ennakkotuloksia nuorissa männyn siemenviljelyksissä syntyvän Pohjois-Suomi x Etelä-Suomi -kaukoristeytysiememen käyttömahdollisuuksista.

- Preliminary results concerning usability of North Finland x South Finland hybrid seed born in young Scots pine seed orchards.
- No 424 Sievänen, Risto: A preliminary simulation model for annual photosynthetic production and growth in a short rotation plantation.
Alustava lyhytkiertoviljelmän vuotuisen fotosynteesin tuotoksen ja kasvun simulointimalli.
- No 425 Kohmo, Ilkka: Metsiköiden kasvuprosentti Suomessa vuosina 1971—1976.
Increment percentage of forest stands in Finland 1971—1976.
- No 426 Rautiainen, Olavi & Räsänen, Pentti K.: Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968—1976.
Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968—1976.
- No 427 Tiihonen, Paavo: ATK-karttamenetelmän kokeilu työkohteiden etsinnässä Pohjois-Savossa 1976—1978.
Experimenting with the ADP-map method for locating working sites in northern Savo, East Finland, 1976—1978.
- No 428 Rynnänen, Leena: Männyn siemenen varastointi ja vanheneminen.
Storage of Scots pine seed and seed ageing.
- No 429 Raivonen, Marjut & Leikola, Matti: Hakkuutähteiden poistamisen vaikutus istutettujen kuusen taimien alkukehitykseen.
The influence of the removal of logging waste on the initial development of planted Norway spruce seedlings.
- No 430 Metsätalastollinen vuosikirja 1979.
Yearbook of Forest Statistics 1979.
- No 431 Kyttälä, Timo: Puuston vaurioituminen harvennushakkuissa. — Kirjallisuustarkastelu.
Stand damage during thinnings. — Literature review.
- No 432 Silfverberg, Klaus: Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet.
Micronutritional growth disorder in Norway spruce.
- No 433 Hakkila, Pentti & Wójcik, Tomasz: Thinning young pine stands with the Makeri tractor in Poland.
Makeri pientraktori nuoren männikön harvennuksessa Puolassa.
Próba zastosowania ciągnika Makeri do pozyskiwania drewna w trzebieżach drzewostanów sosnowych w Polsce.
- No 434 Seppälä, Heikki, Kuuluvainen, Jari & Seppälä, Risto: Suomen metsäsektori tienhaarassa.
Tutkimus Suomen metsäsektorin kehityksestä ja tulevaisuuden vaihtoehtoista.
The Finnish forest sector at a cross road.
- No 435 Julkaisut 1979. Metsäntutkimuslaitos.
Abstracts of publications, 1979. The Finnish Forest Research Institute.
- No 436 Mattila, Eero & Kujala, Matti: Utsjoen, Inarin ja Enontekiön metsävarat 1978.
Forest resources of Utsjoki, Inari and Enontekiö, North Finland, in 1978.
- No 437 Kurvinen, Pekka & Harstela, Pertti: Haketustyön ergonomia ja työn järjestely.
Ergonomics and work organizing of chipping work.
- No 438 Nisula, Pentti: Neulasten pitolajuuden mittari.
Needle retention gauge.
- No 439 Nisula, Pentti: Tutkimuksia kantoherbisidin levittämisestä raivaussahalla.
Studies on stump herbicide spraying using a brush saw.
- No 440 Nisula Pentti: Näkökohtia polttohakkeen kuivaamisesta.
Aspects of the drying of fuel chips.
- No 441 Kujala, Matti: Runkopuun kuorellisen tilavuuskasvun laskentamenetelmä.
A calculation method for measuring the volume growth over bark of stemwood.
- No 442 Päivinen, Risto: Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta.
On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics.
- No 443 Veijalainen, Heikki: Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. Neulasanalyysiin perustuva tarkastelu.
Usability of some micronutrient fertilizers in peatland forests. Report basing on needle analysis.
- No 444 Tervonen, Markku & Issakainen, Jorma: Sarkaleveyden ja lannoituksen vaikutus männyn sädekasvun elpymiseen ohutturpeisella piensararämeellä.
Effect of ditch spacing and fertilization on the revival of radial growth of Scots pine on shallow-peated small sedge bog.
- No 445 Huuri, Olavi: Juurten hienfosfaattikäsitteilyn vaikutus männyn ja kuusen istutus-taimien alkukehitykseen kivinäismailla.
Effect of milled rock phosphate root coating on the initial development of Scots pine and Norway spruce transplants on mineral soils.
- No 446 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Ahvenanmaan maakunnan ja maan yhdeksän eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueen metsävarat 1977—1979.
Forest resources in the Province of Ahvenanmaa and the nine southernmost Forestry Board Districts in Finland 1977—1979.

Myynti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, p. 17 341.
Merkintä ODC tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää.