

ODC
524.14
523.1

FOLIA FORESTALIA 353

METSÄNTUTKIMUSLAITOS·INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE·HELSINKI 1978

RISTO PÄIVINEN

KAPENEMIS- JA KUORIMALLIT MÄNNYLLE,
KUUSELLE JA KOIVULLE

TAPER AND BARK THICKNESS MODELS
FOR PINE, SPRUCE AND BIRCH

- 1976
- No 282 Yrjö Vuokila: Pystypuun kairaus vikojen aiheuttajana.
The boring of standing trees as a source of defects.
- No 283 Leevi Pajunen: Metsurin työvälinekustannukset 1975—1976.
Forest worker's equipment costs 1975—1976.
- No 284 Paavo Juutinen, Timo Kurkela ja Sakari Lilja: Ruohokaskas, *Cicadella viridis* (L.), lehtipuun vioittajana sekä vioitusten sienisaastunta.
Cicadella viridis (L.) as a wounder of hardwood saplings and infection of wounds by pathogenic fungi.
- No 285 Timo Nyrhinen: Kaksivaiheisen metsän inventoinnin koe Lounais-Suomessa.
A test of two-step forest inventory in South-West Finland.
- No 286 Matti Kärkkäinen: Pohjoissuomalaisen koivukuitupuun tilavuusmittauksia.
Volume measurement of birch pulpwood in Northern Finland.
- No 287 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Koivutukkien latvamuotoluvut ja yksikkökuutiot.
Top form factors and unit volumes of birch logs.
- No 288 Matti Leikola: Taimitarhamaan lämpöolot muovihuoneessa ja avomaalla.
Soil temperature conditions in plastic greenhouse and in open nursery.
- No 289 Lehikoinen, Tapio: Pohjois- ja Etelä-Suomen väliset kantohintaerot.
Stumpage price differences between Northern and Southern Finland.
- No 290 Heiskanen, Veijo: Tarkistetut havusahatukkien kuorelliset yksikkökuutioluvut.
The checked unit volumes for pine and spruce sawlogs.
- No 291 Uusitalo, Matti: Puun kasvatuksen kulut vuosina 1972—74.
Costs of timber production in Finland in 1972—74.
- No 292 Hakkila, Pentti: Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena.
Stumpwood as industrial raw material.
- No 293 Lehtonen, Irja: Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
Wood as a fuel. A study based on literature.
- No 294 Harstela, Pertti & Tervo, Leo: Männyn taimikon ja riukuasteen metsikön korjuun tuotos ja ergonomia.
Work output and ergonomical aspects in harvesting of sapling and pole-stage stands (Scots pine).
- No 295 Metsätalastollinen vuosikirja 1975.
Yearbook of Forest Statistics 1975.
- 1977
- No 296 Heiskanen, Veijo: Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen puutavaran laatuero.
Quality differences of timber between Southern and Northern Finland.
- No 297 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä.
Effect of spreading method on forest fertilization results.
- No 298 Vuokila, Yrjö: Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä.
Selective thinning from above as a factor of growth and yield.
- No 299 Vuokila, Yrjö: Hyvän kasvupaikan haavikoiden kasvukyvystä.
On the growth capacity of aspen stands on good sites.
- No 300 Paavilainen, Eero: Helppoliukoisten lannoitteiden vaikutuksen riippuvuus levitysjärjestelmästä.
Effect of application time on growth response to easily dissolving fertilizers on peatlands.
- No 301 Tiihonen, Paavo: Männyn ja kuusen tukkipuutaulukot. Tukkien minimiläpimittaluokka männyllä 13 cm ja kuusella 13 ja 15 cm.
Massentafeln für Kiefern- und Fichtenblochholz. Mindestdurchmesserklassen der Blöcher für Kiefer 13 cm und für Fichte 13 und 15 cm.
- No 302 Simola, Paavo: Pienikokoisen lehtipuuston biomassassa.
The biomass of small-sized hardwood trees.
- No 303 Vuokila, Yrjö: Talvikkityypin puuntuotannollinen asema metsätuotantujärjestelmässä.
Position of the Pyrola type in the forest site type system of Cajander.
- No 304 Puro, Tiina: Operaatio metsänlannoitus II. Tuloksia uusintalannoituksesta.
Results of the second fertilization with nitrogen.
- No 305 Virtanen, Jaakko & Ylinen, Mikko: Ojitusalueiden lentolannoitus.
Aerial spreading of fertilizers on peatlands.
- No 306 Astorga S., Luis E.: Effectuating possibilities of waste wood utilization in Finland.
Step-1.
Jätepuun käytön tehostamismahdollisuudet Suomessa. Osa 1.
- No 307 Kilkki, Pekka, Kuusela, Kullervo & Siitonen, Markku: Puuntuotanto-ohjelmat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueille.
Timber production programs for the forestry board districts of Southern Finland.
- No 308 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1974—76.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1974—76.
- No 309 Mäkelä, Markku: Hakkuutähteen ominaisuuksien muuttuminen.
Changes in the quality of logging residues.
- No 310 Harstela, Pertti, Järvinen, Juhani, Tervo, Leo & Aholainen, Raimo: Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä (Levälleen teko ja LEKA-menetelmä).
The study of some short wood methods of cutting in thinnings (Cutting without bunching and SCAPE method).

FOLIA FORESTALIA 353

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1978

Risto Päivinen

KAPENEMIS- JA KUORIMALLIT MÄNNYLLE, KUUSELLE
JA KOIVULLE

Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch

ODC 524.14:523.1
ISBN 951-40-0340-3
ISSN 0015-5543

PÄIVINEN, R. 1978. Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle. Summary: Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch. *Folia For.* 353: 1—32.

Tutkimuksessa esitetään mallit männyn, kuusen ja koivun kapenemiselle ($d-d_6$) ja kuoren kaksinkertaiselle paksuudelle rinnankorkeudella. Aineisto on valittu valtakunnan metsien 6. inventoinnin koepuista.

Regressiomalleissa on selittävinä muuttujina metsikön veroluokka, lämpösomma ja ikä sekä puun läpimitta ja pituus. Kapenemismallien keskivirheet ovat männylä, kuusella ja koivulla 23 %, 26 % ja 30 %. Vastaavat kuorimallien tunnuksat ovat 25 %, 26 % ja 30 %.

Malleja soveltamalla voidaan välttyä ainakin osittain koeputien 6 metrin läpimitan ja kuoren paksuuden mittaamiselta metsän inventoinnissa.

Models are presented for predicting the taper ($d-d_6$) and double bark thickness at breast height for pine, spruce and birch. The material is collected from the sample trees of 6th National Forest Survey of Finland.

The independent variables of the regression models are stand characteristics: tax class, sum of effective temperature, age, and tree measurements: dbh and height. The standard errors of the taper models are 23 %, 26 %, and 30 %, respectively for pine, spruce and birch. The standard errors of the bark thickness models are 25 %, 26 %, and 30 %.

When applying the models it is not necessary to measure diameter at 6 meters' height and bark thickness for all sample trees in the forest inventory.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on osa metsäntutkimuslaitoksen ja Suomen Akatemian rahoittamasta metsätietojärjestelmän kehittämistutkimuksesta. Nyt esitettäviä malleja käytetään inventointitulosten laskentaan valtakunnan metsien inventointeihin perustuvia puuntuotantolaskelmia varten.

Kiitän tutkimusryhmän johtajaa, MMT Pekka Kilkkiä avusta työn kaikissa vaiheissa. Hän on myös tarkastanut vt. prof. Simo Poson kanssa samasta aiheesta teh-

dyn opinnäytetyön. Professorit Kullervo Kuusela, Aarne Nyysönen ja Yrjö Vuokila ovat lukeneet käsikirjoituksen. MH Markku Siitonen on opastanut tietojenkäsittelyyn liittyvissä pulmissa. Ashley Selby, B.Sc., on tarkastanut tutkimuksen englannin kielen. Anja Leskinen ja Ulla Suhonen ovat huolehtineet konekirjoituksesta sekä kuvien ja taulukoiden lopullisesta muotoilusta. Heille kaikille kiitokseni.

Helsinki, toukokuussa 1978

Risto Päivinen

SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	5
2. REKURSIIVINEN PUUTUNNUSMALLI.....	5
21. Mallien luokittelu.....	5
22. Rekursiivisen puutunnusmallin rakenne.....	5
3. AINEISTO.....	6
4. MALLIEN LAATIMINEN.....	8
41. Malleissa käytetyt merkinnät.....	8
42. Tietojen käsittely.....	8
43. Kapenemismallit.....	8
44. Kuorimallit.....	9
5. MALLIEN LUOTETTAVUUS.....	11
51. Jäännösvaihtelu.....	11
52. Mallien keskivirhe.....	11
53. Kuoren paksuuden vaihtelu.....	12
54. Testiaineistolla saatuja tuloksia.....	13
6. TULOSTEN TARKASTELUA.....	13
61. Kapenemismallit.....	13
62. Kuorimallit.....	15
7. MALLIEN KÄYTTÖ.....	17
71. Yleistä.....	17
72. Kuorellisen kuutiokasvun laskenta.....	17
8. TIIVISTELMÄ.....	18
KIRJALLISUUS — REFERENCES.....	19
SUMMARY.....	20
LIITTEET — APPENDICES.....	21

1. JOHDANTO

Puun rungon kuutioiminen rinnankorkeusläpimitan ja pituuden avulla ei aina anna riittävän tarkkoja tuloksia. Rungon kuutiointia tarkentamaan on Suomessa käytetty rinnankorkeusläpimitan ja 6 metrin korkeudelta mitatun läpimitan avulla määritettyä kapenemista (mm. Ilvessalo 1947). Kapenemisen ottaminen mukaan läpimitan ja pituuden lisäksi rungon kuutiomäärää selvitettäessä pienentää keskivirheen määntä ja kuusella noin 7,5 %:sta 3,5 %:iin (vrt. Laasasenaho 1976).

Rungon kuutiomäärällä tarkoitetaan tavallisesti kuorellista kuutiomäärää. Kuori ilmaistaan joko kaksinkertaisena kuoren paksuutena rinnankorkeudella tai kuoriprosenttina rungon tilavuudesta. Ilvessalo (mt.) on esittänyt kuoren paksuuden funktiona joitakin keskimääräisiä kuoren osuuksia kokonaiskuutiomäärästä.

Automaattisten tietojenkäsittelymenetelmien kehittyessä metsän inventoinnin maastotyö käy suhteellisesti laskentaa kalliimmaksi. Maastotyötä voidaan vähentää käytämällä kaikki mitattu tieto tarkkaan hyväksi ja tukeutumalla aikaisemmin mitattuihin aineistoihin.

Tässä tutkimuksessa esitellään mallit 6 metrin korkeudelta mitatun läpimitan ja rinnankorkeudelta mitatun kaksinkertaisen kuoren paksuuden laskemiseksi. Selittävinä muuttujina ovat puulaji, rinnankorkeusläpimita, pituus sekä eräät kasvuympäristöä kuvaavat tunnuksat. Mallit on tarkoitettu käytettäväksi sekä itsenäisinä malleina että toisiinsa liittyvänä malliperheenä metsän kuutiomäärän selvittämisessä. Esitettyjä malleja soveltamalla vältetään kokonaan tai ainakin osittain koepuiden kapenemisen ja kuoren paksuuden mittauksilta alueilla, jotka ovat edustettuina aineistossa.

2. REKURSIIVINEN PUUTUNNUSMALLI

2.1. Mallien luokittelu

Taloustieteissä erotetaan staattiset ja dynaamiset mallit. Staattisia malleja ovat ne, joiden muuttujat liittyvät kaikki samaan ajankohtaan, muut mallit ovat dynaamisia. Dynaamiset mallit jaetaan edelleen rekursiivisiin ja simultaanisiin malleihin (Niitamo 1969).

Rekursiivinen eli ketjutettu malli koostuu useista osamalleista, joissa edellisillä osamalleilla lasketut tulokset ovat jälkimmäisten osamallien selittävinä muuttujina.

Taloustieteissä rekursiivista mallia käytetään tulevaisuuden ennustamiseen niin, että ensin ennustetaan lähitulevaisuuden muuttujan arvoja ja näillä edelleen myöhempien aikojen arvoja. Tässä sovellutuksessa osamallien esittämisjärjestys ei riipu ajasta, vaan puun tunnusten mittaamisen keskinäisestä vaikeusjärjestyksestä. Mallia muodostettaessa on otettu huomioon myös puutunnusten tehokkuus toisia ennustettaessa.

Rekursiivisessa mallissa tuntemattomat otetaan mukaan yksi kerrallaan. Simultaanisessa mallissa useampi tuntematon ratkaistaan samalla kertaa. Jos tuntemattomia tekijöitä on yhtä paljon kuin niiden välisiä matemaattisia yhtälöitä, voidaan saatu simultaaninen yhtä-

löryhmä ratkaista. Jos yhtälöt ovat lineaarisia, ratkaisu on yksinkertainen ja voidaan tehdä esimerkiksi matriisin kääntämiseen perustuvalla menetelmällä.

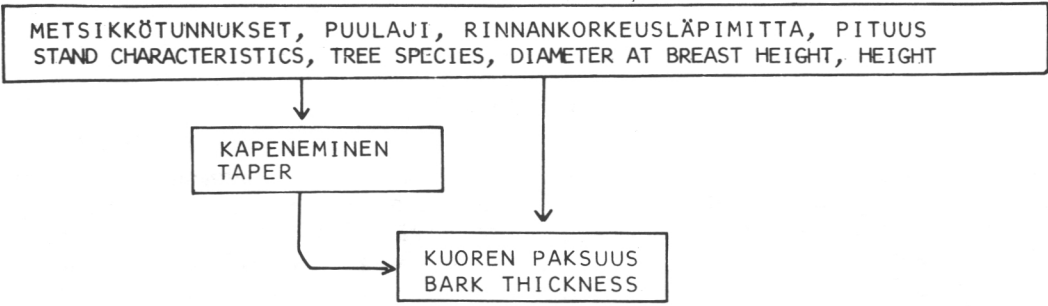
2.2. Rekursiivisen puutunnusmallin rakenne

Rekursiivisessa mallissa on kahdenlaisia muuttujia: eksogeenisia (ulkoisia) ja endogeenisia (sisäisiä). Jos eksogeenisten muuttujien kehitys ja joukko endogeenisten muuttujien alkuarvoja tunnetaan, mallista voidaan laskea endogeenisten muuttujien kehitys (Wold 1954).

Tässä esitettyssä rekursiivisessa mallissa eksogeenisia muuttujia ovat puun kasvuympäristöstä mitatut tunnuksat, kuten lämpösomma ja veroluokka sekä puiden luvussa mitatut tunnuksat puulaji ja rinnankorkeusläpimita. Pituus oletetaan myös mitatuksi eksogeeniseksi muuttujaksi. Mikäli sopivat pituusmallit olisivat käytävissä, pituutta voitaisiin pitää endogeenisena muuttujana ja luopua sen mittaamisesta maastossa. Nyt endogeenisia muuttujia ovat läpimita 6 metrin korkeudelta sekä kuoren kaksinkertainen paksuus rinnankorkeudelta.

Kuvassa 1 on esitetty rekursiivisen puutunnusmallin rakenne.

Kuva 1. Rekursiivisen puutunnusmallin rakenne.
 Fig. 1. The structure of a recursive model for tree measurements.



3. AINEISTO

Taulukko 1. Kuori- ja kapenemismallien aineiston mäntyjen jakaantuminen läpimitta- ja pituusluokkiin.
 Table 1. Distribution into diameter and height classes of the pines of the study material.

		M ä n t y - P i n e														
		10					20					30+				
h,m	d,cm															
10	3	3	3	3	3	2										
	3	3	3	3	3	1	3									
	2	3	3	3	3	3	3	1								
	3	3	3	3	3	3	3	3	1							
	3	3	3	3	3	3	3	3	2							
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		1				
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1				
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
	20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1		
1		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2		
3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
2		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	
1		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
2		1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
1		1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
1		1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
1		1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
30	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	2	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
40	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	1	3	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	1	1	1	2	1	2	1	3	3	3	3	3	3	
	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	
	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	
50+	2															
	1					1										
	1															
	1															
	1															
	1															
	1															
	1															
	1															
	1															

Tämän tutkimuksen aineistona ovat valtakunnan metsien 6. arvioinnissa mitatut koepuukoalat 18 eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueelta Ahvenanmaa mukaanluettuna. Näiltä koelaitoilta on mitattu yhteensä noin 53 000 koepuuta.

Ensimmäiseksi aineistosta poistettiin muut lehtipuut kuin koivut sekä poikkeaviksi merkityt kuutioimiskoepuut. Tämän jälkeen jäi 21 438 mäntyä, 20 627 kuusta ja 7 110 koivua. Koska kaikkien näiden puiden käyttäminen aineistona on työlästä, poimittiin kutakin puulajia sopivan suuruinen otos jatkokäsittelyyn.

Puut jaettiin 1 cm:n läpimitta- ja 1 m:n pituusluokkiin, joista kustakin valittiin satunnaisalkuisella systemaattisella otannalla enintään 3 mäntyä, 4 kuusta tai 5

koivua. Mikäli luokassa oli näitä lukumääriä vähemmän puita, ne kaikki otettiin mukaan. Tällä tavoin pyrittiin turvaamaan aineiston tasaisuus sekä riittävä laitevartianttien määrä. Lopullinen aineisto käsitti 1 871 mäntyä, 1 974 kuusta ja 1 916 koivua. Männen pituus- ja läpimittajakauma on otettu esimerkiksi ja esitetty taulukossa 1. Kapenemismallien laadintaan käytettiin näistä yli 7 m pitkiä puita. Mäntyjä oli 1 655, kuusia 1 780 ja koivuja 1 783 kappaletta.

Aineiston jakaantuminen lämpösomma- ja veroluokkiin on esitetty taulukossa 2. Näihin luokkiin puita on tullut siinä suhteessa kuinka paljon koepuita niistä on mitattu. Lämpösommavyöhykkeet on esitetty liitteessä 6.

Taulukko 2. Kapenemis- ja kuorimallien aineisto.

Table 2. The distribution of the zones of effective temperature and tax classes in the study material.

Vero- luokka Tax class	Lämpösommavyöhyke Zone of effective temperature						Yhteensä Total
	4	5	6	7	8	9	
<i>M ä n t y - P i n e</i>							
IA	0	7	25	114	74	14	234
IB	27	47	108	143	172	37	534
II	21	86	161	121	97	53	539
III	6	19	82	63	47	18	235
IV	3	38	27	26	18	18	130
Kitumaa <i>Poorly prod. land</i>	16	23	32	17	30	81	199
Yhteensä Total	73	220	435	484	438	221	1 871
<i>K u u s i - S p r u c e</i>							
IA	2	10	98	335	231	42	718
IB	23	51	181	263	248	35	801
II	21	60	78	77	58	18	312
III	12	29	23	21	18	5	108
IV	4	6	3	1	3	0	17
Kitumaa	3	6	1	3	1	4	18
Yhteensä	65	162	384	700	559	104	1 974
<i>K o i v u - B i r c h</i>							
IA	0	10	96	276	236	29	647
IB	55	49	172	193	176	21	666
II	23	57	92	111	47	5	335
III	9	43	47	51	38	4	192
IV	3	5	25	10	10	1	54
Kitumaa	3	5	9	0	1	4	22
Yhteensä	93	169	441	641	508	64	1 916

Mitattaessa läpimittaa kuuden metrin korkeudelta maasta käsin virheet ovat yleensä pieniä ja satunnaisia. Käytetty kaulain on todettu luotettavaksi mittausvälineeksi (Hyppönen 1977).

Kuorimittarilla tehtävässä kuoren paksuuden mittauksessa on runsaasti virhelähteitä. On ilmeistä, että

kuoren paksuus saadaan kuorimittarilla liian suureksi (Östlin 1962, Laasasenaho ja Sevola 1972). Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyön aikana kaikkien mittaajien työtä on kontrolloitu useaan otteeseen ja mahdolliset virheet oikaistu välittömästi.

4. MALLIEN LAATIMINEN

41. Malleissa käytetyt merkinnät

d = rinnankorkeusläpimitta

d_6 = 6 metrin korkeudelta mitattu läpimitta

$kap = d - d_6$

h = puun pituus

B = kuoren kaksinkertainen paksuus rinnankorkeudella

T = metsikön ikäluokka (10 v.)

$T = (\text{metsikön ikä} + 5 \text{ v.})/10 \text{ v.}$

(Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyön ohjeet. 1971).

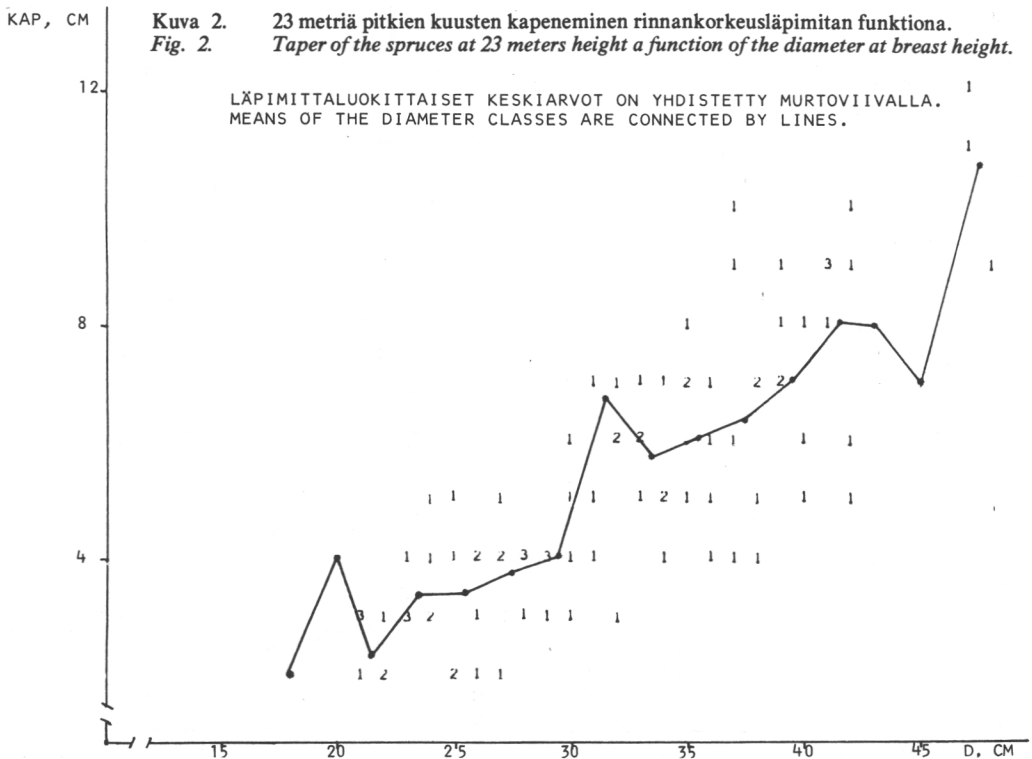
42. Tietojen käsittely

Kuori- ja kapenemismalleja varten tarvittavat laskelmat tehtiin Univac 1108-tie-

tokoneella. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksella on tälle tietokoneelle laadittu korrelaatiotaulu- ja pienimmän neliosumman menetelmään perustuva regressioanalyysiohjelma. Näissä ohjelmissa on kiinnitetty erityistä huomiota aineiston ja mallien jäännösvaihtelun visuaaliseen tarkasteluun.

43. Kapenemismallit

Kapenemismalleja varten tulostettiin kullekin puulajille kuvat kapenemisen ja muiden muuttujien välisestä korrelaatiosta. Kapenemiseen vaikuttavat eniten rinnankor-



keusläpimita ja pituus muiden tunnusten ollessa selvästi vähämerkityksisempiä.

Regressiomalli, jossa kapenemista selitettiin koko aineistossa lähes kaikilla mahdollisilla muuttujilla, ei kaikilta puoliltaan ollut tyydyttävä. Vakioimalla pituus ja muodostamalla uudet regressioyhtälöt päästiin huomattavasti harhattomampiin tuloksiin.

Puut jaettiin 1 metrin pituusluokkiin. Samaa luokkaan yhdistettiin 27 ja 28 metrin puut sekä yli 28 metrin puut. Kuvassa 2 on esitetty 23 metriä pitkien kuusten kapeneminen rinnankorkeusläpimitan funktiona. Kussakin pituusluokassa laskettiin puulajeittain yhtälö, joka männyllä ja koivulla oli muotoa

$$\ln \text{kap} = \ln a + b \ln d.$$

Kuusen korrelaatiotauluista nähtiin, ettei kapenemiskäyrä luonnostaan kulje origon kautta kuten männyllä ja koivulla. Tämän vuoksi Y-akselin muuttujaan, kapenemiseen, lisättiin ykkönen, jolloin kulkiessaan nollapisteen kautta käyrä noudatteli myös havaintoparven muotoa. Kuusen kapenemismallin selitettävä muuttuja on siis $\ln(\text{kap} + 1)$.

Näin saatiin puulajeittain 21 regressioyhtälöä. Koska näiden yhtälöiden käyttö on hankalaa väliarvojen laskennassa, pyrittiin yhtälöiden vakiot (a) ja (b) ennustamaan pituuden avulla. Vakioiden tasoittamisella on myös se etu, että tietyssä pituusluokassa olutta satunnaisvirhettä voidaan korjata vieraisten luokkien tuloksilla.

Vakiot ennustettiin rekursiivisesti. Koska läpimitan logaritmin kerroin (b) korreloi pituuden kanssa vakiota (a) voimakkaammin, päästiin tarkimpaan lopputulokseen laske-
malla (b) ensin. Näin rekursiivinen malli sai muodon

$$b = f(h), \\ a = f(h, b).$$

Mallin varianssin homogenisoimiseksi muuttujiin tehtiin muutamia logaritmi- ja potenssimuunnoksia.

Kun verrattiin laskettuja kapenemisia mitattuihin, havaittiin systemaattista harhaa muutamien metsikkötunnusten suhteen. Tämän korjaamiseksi laskettiin yhtälöt, joissa havainnon ja perusmallin suhdetta selitettiin ko. muuttujilla. Selittäjinä olivat läpimitan ja pituuden lisäksi metsikön ikäluokka, veroluokka ja lämpösummavyöhyke, joista kaksi viimeksimainittua valemuuttujina.

Koska ikä- ja veroluokka on kitumailla

merkitty nolaksi, laskettiin kitumaille omat korjausyhtälöt. Männyllä kitumaan puita oli riittävästi, jotta niiden perusteella voitiin muodostaa oma yhtälö. Kuusella muodostettiin yhtälö, jossa kitumaan valemuuttuja vastasi metsämaan veroluokkien valemuuttujia. Tämä lisättiin valmiiksi yhtälön vakioon. Koivun korjausyhtälössä ei ikä- eikä veroluokka ollut merkittävä selittäjä, joten sama malli pätee sekä metsä- että kitumaan koeuille.

Liitteessä 1 on annettu kapenemismallien parametrien arvot.

44. Kuorimallit

Esitutkimusten mukaan kuoren paksuudella oli suurin yhteisvaihtelu rinnankorkeusläpimitan kanssa. Seuraavina olivat pituus ja kapeneminen, joiden tärkeysjärjestys vaihteli puulajeittain. Muut puun ja metsikön tunnuksot olivat merkitykseltään vähäisempiä.

Regressioanalyysillä koko aineistoille lasketut kuoriyhtälöt antoivat kapenemislukittain tarkasteltuna hiukan harhaisia tuloksia. Näissä yhtälöissä käytettiin selittäjinä läpimittaa, pituutta ja kapenemistä sekä metsikkötunnuksia. Tästä syystä laadittiin kuorimallit samaan tapaan kuin kapenemismallit.

Kuoren riippuvuus läpimitasta oli samankaltainen kaikissa kapenemislukissa, joten yli 7 metriä pitkille puille laadittiin puulajeittain kapenemislukittaiset regressiomallit

$$\ln B = \ln a + b \ln d + c \ln h.$$

Kapenemislukat rajattiin 1 cm suuruisiksi ja kapenemiseltaan yli 14 cm rungot luettiin 19 cm luokkaan. Kuvassa 3 on mäntyjen alkuperäinen kuoren ja läpimitan välinen korrelaatio 6 cm:n kapenemislukassa.

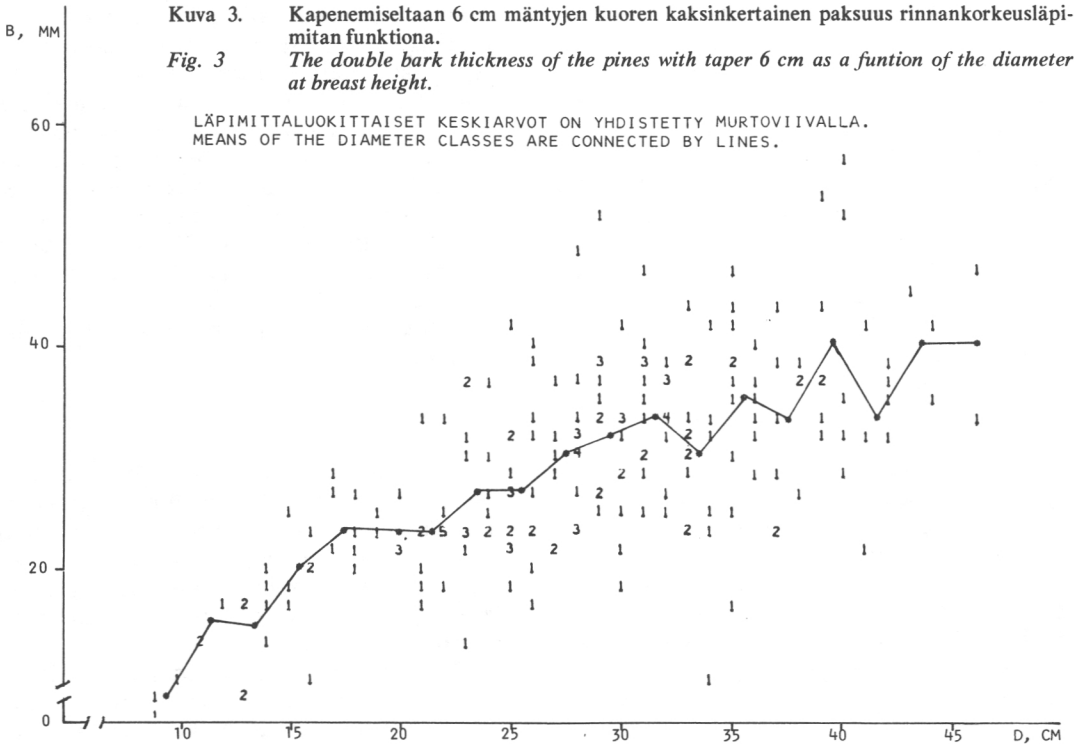
Männyn kuoren varianssin homogenisoimiseksi lisättiin siihen vakio $4 \times (\text{kap})$ (vrt. kuusen kapenemismalli). Männyllä pituuden ja kuoren välinen yhteiskorrelaatio oli niin heikko, että pituus jätettiin kuorimallista pois.

Muodostetuista 15 yhtälöstä pyrittiin hakemaan arvot a:lle, b:lle ja c:lle kapenemisen funktiona. Tämä tapahtui kahdella eri tavalla:

1. Rekursiivisesti rakennetulla mallistolla. Kapenemisen funktiona etsittiin estimaatit

Kuva 3. Kapenemiseltaan 6 cm mäntyjen kuoren kaksinkertainen paksuus rinnankorkeusläpimitan funktiona.

Fig. 3 The double bark thickness of the pines with taper 6 cm as a function of the diameter at breast height.



yhtälöiden vakioille niin, että edellisessä yhtälössä lasketun tunnuksen mitatut arvot ovat jälkimmäisessä selittävinä muuttujina. Riippuvuuksien esittäminen oli tehokkainta seuraavassa järjestyksessä:

$$\begin{aligned} b &= f(\text{kap}) \\ c &= f(\text{kap}, b) \\ a &= f(\text{kap}, b, c) \end{aligned}$$

Ensimmäisessä yhtälössä selitettävää muuttujaa painotettiin kapenemisloukan havaintojen määrän ja varianssin osamäärällä.

2. Simultaanisella yhtälöryhmällä. Kun yhtälöitä oli yhtä monta kuin tuntemattomien, ratkaisemalla yhtälöryhmä saatiin arvot tuntemattomille muuttujille.

$$\begin{aligned} a &= f(\text{kap}, b, c) \\ b &= f(\text{kap}, a, c) \\ c &= f(\text{kap}, a, b) \end{aligned}$$

Kapenemisen avulla yhtälöille laskettiin vakiot ja yhtälöryhmän ratkaisusta saatiin tuntemattomille kertoimet.

Koivulla ja männällä simultaaninen malli antoi parhaimman lopputuloksen. Kuusella päädyttiin molemmilla tavoilla yhtä hyvään ratkaisuun.

Mallien jäännösvaihtelu oli harhatonta mukana olleiden muuttujien suhteen. Met-sikkötunnusten suhteen esiintyvä lievä harha poistettiin korjausyhtälöllä, jossa havainnon ja mallin tuloksen osamäärää selitettiin metsikön ikä- ja veroluokalla sekä lämpösommavyöhykkeellä.

Kitumaille laskettiin omat korjausyhtälöt pääpiirteittäin samalla tavalla kuin kapenemismalleissa.

Alle 8 metrin puille laskettiin puulajeittain regressioyhtälö, jossa kuorta selittivät piteuden ja läpimitan lisäksi valemuuttujina lämpösommavyöhyke ja veroluokka. Kitumalla kasvavat puut otettiin huomioon lisämällä tähän yhtälöön veroluokkaa vastaava kitumaan valemuuttuja.

Liitteessä 2 on annettu kuorimallin parametrien arvot.

5. MALLIEN LUOTETTAVUUS

51. Jäännösvaihtelu

Mallien laadintavaiheessa tulostettiin jäännösvaihtelun kuvat kaikkien aiheellisiksi katsottujen valtakunnan metsien inventoinnissa koodattujen metsikkö- ja puutunnusten suhteen. Tämän jälkeen aineistoa jaettiin osiin, joista mallien harhattomuus vielä tarkistettiin. Näin voitiin varmistautua siitä, että selitysvirheelle asetettavat vaatimukset olivat tulleet täytetyiksi.

Liitteessä 3 on kapenemis- ja liitteessä 4 kuorimallien jäännösvaihtelut lasketun arvon funktiona.

52. Mallien keskivirhe

Regressioestimaatin keskivirhe lasketaan mallien antamien arvojen ja havaintojen poikkeamista.

$$S_{\hat{y}} = \sqrt{\frac{\sum (\hat{y} - y)^2}{n-1}} \quad S_{\hat{y}} \% = 100 \cdot \sqrt{\frac{\sum (\hat{y} - y)^2}{\hat{y}^2 (n-1)}}$$

joissa $S_{\hat{y}}$ = arvion absoluuttinen keskivirhe
 $S_{\hat{y}} \%$ = arvion suhteellinen keskivirhe
 \hat{y} = mallin tulos
 y = havainto
 n = havaintojen lukumäärä.

Kaavan antama hajonta tai hajontasadannes tulkitaan siten, että mallia sovellettaessa on olemassa 68 % todennäköisyys, että todellinen arvo poikkeaa lasketusta korkeintaan keskivirheen verran ja 95 % todennäköisyydellä virhe on pienempi kuin kaksinkertainen keskivirhe.

Kapenemis- ja kuorimallien laskenta-aineistosta lasketut absoluuttiset ja suhteelliset keskivirheet on esitetty taulukoissa 3 ja 4. Epätäydellisten mittaustietojen takia muutama puu on jätetty pois laskuista.

Taulukko 3. Kapenemismallien suhteellinen absoluuttinen keskivirhe läpimittaluokittain.

Table 3. The absolute and relative standard error of the taper models in breast height diameter classes.

d, cm	Mänty - Pine			Kuusi - Spruce			Koivu - Birch		
	n	$S_{\hat{y}}$, cm	$S_{\hat{y}}$, %	n	$S_{\hat{y}}$, cm	$S_{\hat{y}}$, %	n	$S_{\hat{y}}$, cm	$S_{\hat{y}}$, %
-10	83	0,7	21,7	74	0,8	22,6	175	0,8	24,8
11-20	367	1,3	23,0	461	1,1	26,4	625	1,4	30,0
21-30	541	1,6	21,8	580	1,5	25,6	637	1,7	31,7
31-40	470	2,0	23,5	492	1,7	26,5	257	2,1	29,2
41+	193	2,4	21,8	173	2,3	24,4	39	3,1	28,3
Yhteensä Total	1 654	1,7	22,6	1 780	1,6	25,8	1 733	1,6	30,0

Taulukko 4. Kuorimallinen suhteellinen ja absoluuttinen keskivirhe läpimittaluokittain.

Table 4. The absolute and relative standard error of the bark thickness models in breast height diameter classes.

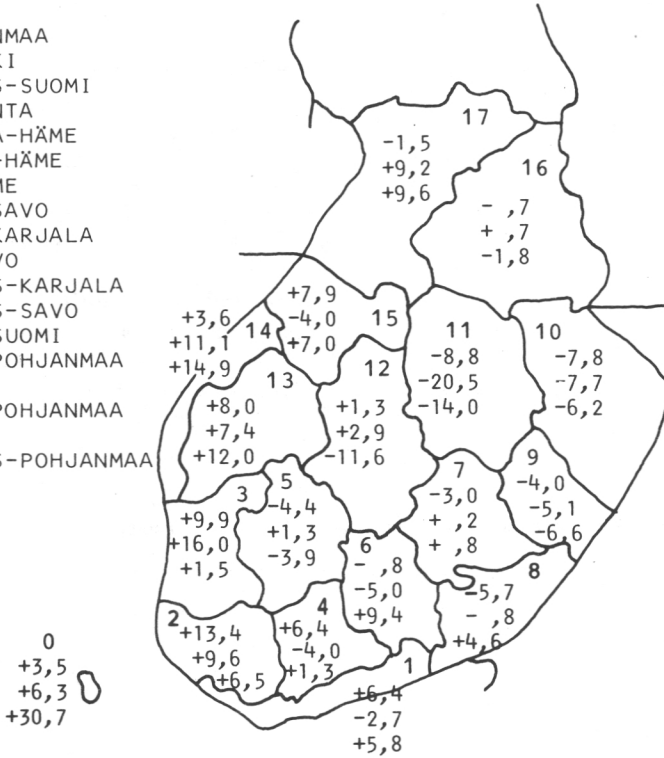
d, cm	Mänty - Pine			Kuusi - Spruce			Koivu - Birch		
	n	$S_{\hat{y}}$, mm	$S_{\hat{y}}$, %	n	$S_{\hat{y}}$, mm	$S_{\hat{y}}$, %	n	$S_{\hat{y}}$, mm	$S_{\hat{y}}$, %
-10	196	3,7	34,4	208	2,5	34,8	322	2,2	36,9
11-20	444	5,0	26,3	518	3,7	28,4	654	3,3	27,5
21-30	558	6,5	21,3	582	4,4	24,4	637	5,6	28,7
31-40	476	9,0	23,7	492	4,9	22,3	257	8,8	32,3
41+	193	9,9	21,3	173	6,0	23,2	39	11,6	30,7
Yhteensä Total	1 867	7,1	24,8	1 973	4,4	26,2	1 909	5,3	30,4

Kuva 4. Kuoren paksuuden poikkeama mallin antamasta tuloksesta piirimetsälautakuntien alueittain. (%)

Fig. 4. The average residuals of the bark thickness model in percentages as a function of the Forestry Board Districts. (%)

MÄNTY - PINE
 KUUSI - SPRUCE
 KOIVU - BIRCH

- 0. AHVENANMAA
- 1. HELSINKI
- 2. LOUNAISSUOMI
- 3. SATAKUNTA
- 4. UUSIMAA-HÄME
- 5. PIRKKA-HÄME
- 6. ITÄ-HÄME
- 7. ETELÄ-SAVO
- 8. ETELÄ-KARJALA
- 9. ITÄ-SAVO
- 10. POHJOIS-KARJALA
- 11. POHJOIS-SAVO
- 12. KESKI-SUOMI
- 13. ETELÄ-POHJANMAA
- 14. VAASA
- 15. KESKI-POHJANMAA
- 16. KAINUU
- 17. POHJOIS-POHJANMAA



53. Kuoren paksuuden vaihtelu

Kuorimallin jäännösvaihtelu korreloi piirimetsälautakunnan alueen kanssa. Männyn kuoren paksuuden ero aineiston keskiarvoon oli merkitsevä 10 % riskitasolla 12 lautakunnan alueella ja 5 lautakunnan alueella vielä 1 % riskitasolla.

Kuvassa 4 on esitetty lautakuntien alueittain keskimääräiset poikkeamat mallin antamasta tuloksesta. Toisin sanoen, kun läpimitta, pituus, kapeneminen ja mukana olleet metsikkötunnukset on eliminoitu, poikkeavat kuoren paksuudet esitetyn prosenttiluvun verran keskiarvoista.

Heiskanen ja Rikonen (1976) ovat esittäneet mänty- ja kuusitukien Itä- ja Länsi-Suomen välisiä kuoripro-

senttien eroja, jotka ovat samansuuntaisia tässä esitettyjen kanssa.

Kuoren selittämättömään vaihteluun voi olla kaksi syytä.

1) Sään vaikutus kuoren mitattavuuteen vaihtelee vuosittain.

2) Kuoren paksuus vaihtelee samankokoisilla puilla alueittain.

Mittauskesien sään vertailu ei tue ensimmäistä selitystä. Kuoren paksuuden alueellisiin eroihin syy saattaa löytyä ilmaston merellisyydestä tai puiden rotuominaisuuksista. Tässä tapauksessa mallia voidaan parantaa alueellisilla korjauskertoimilla, jotka laskeaan kuorimitausten perusteella.

Kookkaiden rauduskoivujen kuori on hie-man hieskoivujen kuorta paksumpaa. Tässä esitetyt koivun kuorimallit on tehty olettaen, että koivut luetaan samaksi puulajiksi. Mi-

Taulukko 5. Satakunnan koepuumäntyjien kuutioimistulokset mitatuilla ja lasketuilla yläläpimitoilla.
 Table 5. The volumes of tested material in 10 cm classes using measured and calculated diameters at 6 meters height.

d, cm	Mitattu d_6 - Measured d_6		Laskettu d_6 - Calculated d_6	
	m^3	Sahapuuta m^3 Saw log m^3	m^3	Sahapuuta m^3 Saw log m^3
-10	1,6	-	1,5	-
11-20	54,8	17,6	54,3	16,8
21-30	176,9	145,9	178,5	147,4
31-40	60,8	57,5	60,8	57,5
41+	1,1	1,1	1,1	1,1
Yhteensä Total	295,2	222,6	296,2	222,8

käli puiden luvussa raudus- ja hieskoivu erotetaan, voidaan kuorimallin tulos kertoa korjaustekijöillä, jotka on esitetty liitteessä 5.

54. Testiaineistolla saatuja tuloksia

Kapenemisen laskennassa ilmenevien harjojen vaikutusta kuutiomäärään selvitettiin koeaineistolla, joksi valittiin Satakunnan piirimetsälautakunnan alueelta koepuuna mitatut 960 yli 7 m pituisia mäntyä. Kuutiomäärä on laskettu sekä 10 cm läpimittaluokittain että yhteensä mitatun rinnankorkeusläpimitan ja pituuden sekä 1) mitatun

kapenemisen ja 2) lasketun kapenemisen odotusarvon funktiona Laasasenahon (mt.) kuutioimisytälöillä. Tukkipuun määrä on laskettu Laasasenahon julkaisemattomilla puutavaralajimalleilla.

Lasketuilla yläläpimitoilla saatu kuutiomäärä on tässä tapauksessa 0,3 % mitatuilla saatua suurempi. Tukkipuun osuus poikkeaa tarkemmilla perusteilla lasketusta 0,1 %. Pienten ja keskikokoisten tukkipuiden kapeneminen on laskettu hiukan liian pieneksi, mikä aiheuttaa lievän yliarvion sekä kokonaiskuutiomäärään että tukkipuun määrään. 10—20 cm puilla kapeneminen on vastaavasti ollut laskettua pienempi.

6. TULOSTEN TARKASTELUA

61. Kapenemismallit

Tutkitussa aineistossa runkomuodoltaan huonoja puita on ollut mäntyjien joukossa enemmän kuin kuusten ja koivujen. Tämä johtuu männyn lyhyiden ja paksujen laitavarianttien suuresta määrästä.

Kuusi kapenee selvästi muita puulajeja vähemmän. Kun esimerkiksi 20 metriä pitkän ja 29 cm läpimittaisen männyn kapeneminen on 60 mm, vastaavassa metsikössä kasvavan kuusen kapeneminen on 54 mm ja koivun 59 mm.

Kapeneminen riippuu kaikilla puulajeilla voimakkaasti rinnankorkeusläpimitasta ja

puun pituudesta. Tämä käy ilmi kuvasta 5, jossa on esitetty muutamia kapenemiskäyriä vakioimalla metsikön ikäluokka, veroluokka ja lämpösommavyöhyke.

Veroluokkien ääriarvoilla männyn kapenemisen erot ovat 2—5 % niin, että ero järeillä puilla on pienempi. Hyvien kasvupaikkojen mänty kapenee tämän verran enemmän kuin karujen maiden puu.

Ikäluokan vaikutus männiköissä on samaa suuruusluokkaa. Tietynpaksuisen ja pituisen rungon kapeneminen on harvennusemetsikössä 3 % suurempi kuin uudistuskypsässä metsikössä.

Kuusella pituuden vaikutus on suurempi

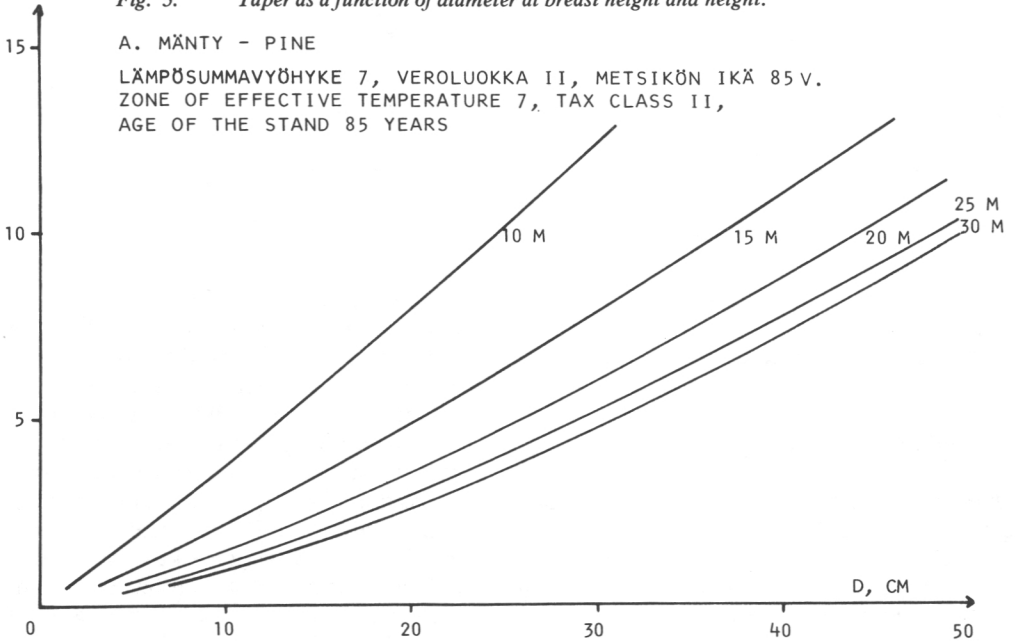
kuin männällä. Pitkät puut ovat mäntyjä pä-
rempimuotoisia, lyhyet taas päinvastoin.
Nuoressa metsikössä puu kapenee 5—9 %
enemmän kuin iäkkäässä. Veroluokan muu-
tos aiheuttaa samansuuntaisen kapenemisen
muutoksen kuin männällä.

Koivulla kapeneminen vaihtelee pituden
mukaan suunnilleen yhtä paljon kuin kuu-
sella. Veroluokka ja metsikön ikäluokka ei-
vät olleet merkittäviä muuttujia koivun ka-
penemismallissa. Raudus- ja hieskoivujen
kapenemisessa ei myöskään havaittu eroja.

KAP, CM

Kuva 5. Kapeneminen pituusluokittain.

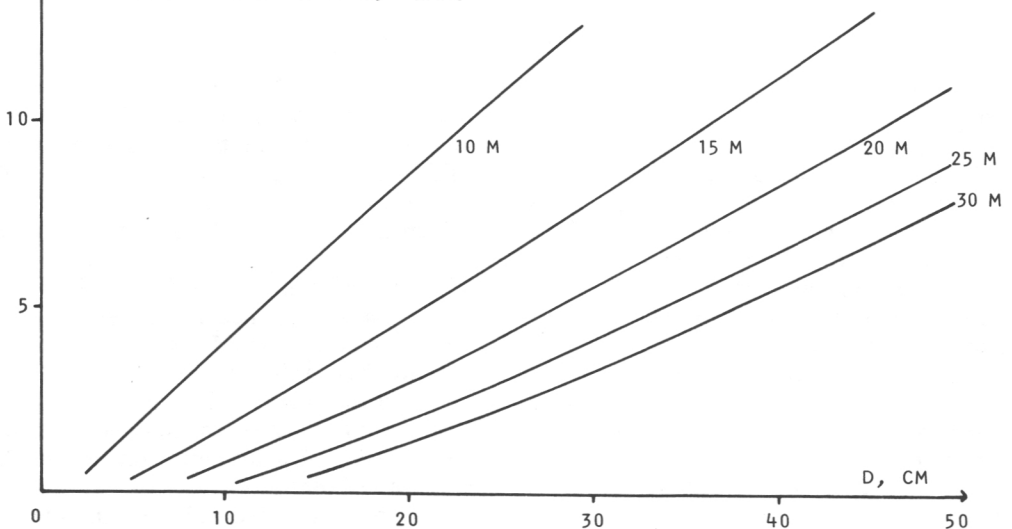
Fig. 5. Taper as a function of diameter at breast height and height.

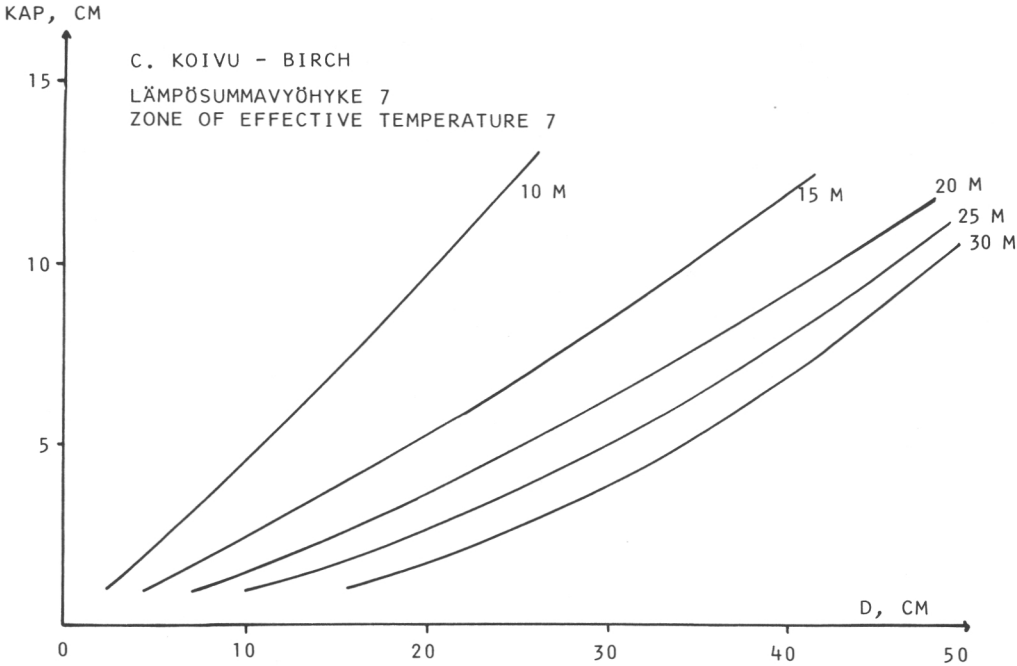


KAP, CM

B. KUUSI - SPRUCE

LÄMPÖSUMMAVYÖHYKE 7, VEROLUOKKA IB, METSIKÖN IKÄ 85 V.
ZONE OF EFFECTIVE TEMPERATURE 7, TAX CLASS IB,
AGE OF THE STAND 85 YEARS





Männyn kapeneminen vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan puulajeista eniten. Kainuusta etelään tultaessa vastaavalla kasvupaikalla samankokoisen männyn kapeneminen suurenee jopa 10 %, koivulla puolet tästä ja kuusella tuskin lainkaan. Muunlaista alueellista vaihtelua ei kapenemisessa havaittu.

62. Kuorimallit

Männyn kuori on koivun ja kuusen kuorta paksumpaa. Sen riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta on myös näitä puulajeja epälinearisempaa.

20 metriä pitkän ja 29 cm paksun männyn läpimitasta on kuorta laskettujen mallien mukaan 29 mm. Saman kokoisella kuusella kuoren kaksinkertainen paksuus on 18 mm ja koivulla 21 mm. Kuvassa 6 on esitetty muutamia kuoren paksuutta kuvaavia funktioita läpimitan ja kapenemisen suhteen. Kuusen kuorikäyrät on piirretty pituuden funktiona.

Kapeneminen selittää kuorta kuusella vähemmän kuin muilla puulajeilla. Huonotuotoisilla rungoilla kuori on tavallisesti paksumpaa kuin vähemmän kapenevilla.

Männyllä 1 cm:n kapenemisen lisäys tuottaa lasketuilla yhtälöillä noin 5 % paksumman kuoren, koivulla lisäys on noin 3 % ja kuusella vain noin 1 %.

Pituuden merkitys ei ole suuri selittäessä kuoren paksuutta rinnankorkeudelta. Ainoastaan kuusella on pituuden mukaanottaminen parantanut yhtälöiden luotettavuutta merkittävästi.

Karuilla kasvupaikoilla kasvavien puiden kuori on kaikilla puulajeilla paksumpaa kuin parempien maiden puiden. Kuusella kuori kasvaa rannikkoaluetta lukuun ottamatta tasaisesti pohjoista kohti, mutta männyllä ei Keski- ja Etelä-Suomen lämpösummavyöhykkeillä ole tässä suhteessa suuria eroja. Silmiinpistävää on aivan rannikon tuntumassa kulkevan lämpösummavyöhykkeen 9 mäntyjen kuoren samankaltaisuus pohjoisten puiden kanssa.

Ilvessalon (1947) esittämät kuoren keskimääräiset paksuudet ovat kuusella ja koivulla jokseenkin samoja kuin tässä, mutta männyllä hän esittää paksumpia kuoria suurille puille kuin tässä tutkimuksessa. Ilvessalon mukaan pituudella on suurempi vaikutus männyn kuoren paksuuteen kuin mitä tämän tutkimuksen tulokset osoittavat.

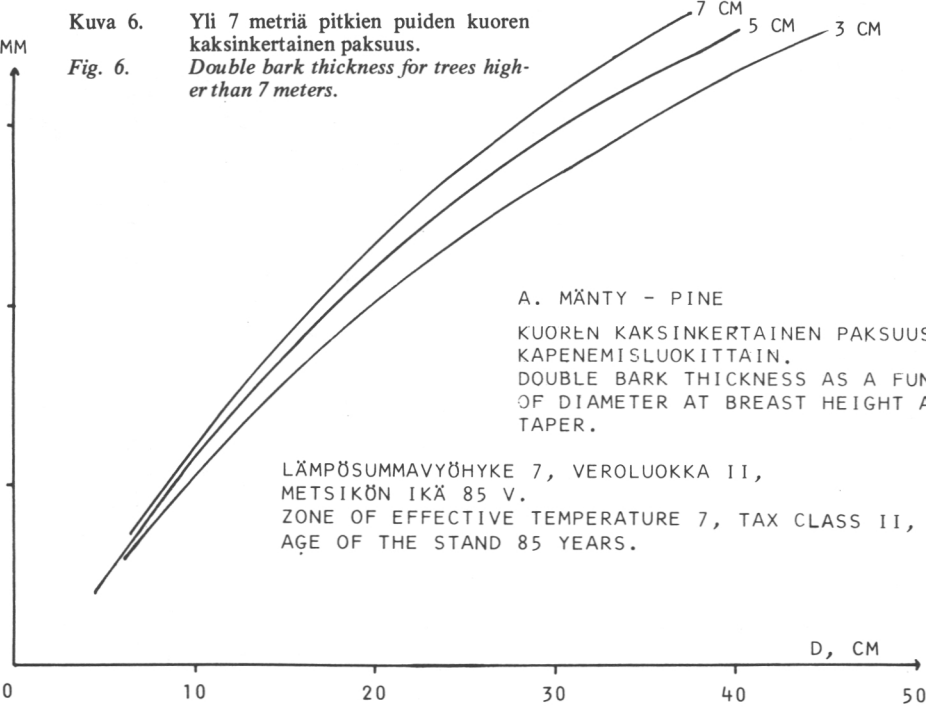
B, MM

Kuva 6. Yli 7 metriä pitkien puiden kuoren kaksinkertainen paksuus.
Fig. 6. Double bark thickness for trees higher than 7 meters.

30

20

10



D, CM

0

10

20

30

40

50

B, MM

B. KUUSI - SPRUCE

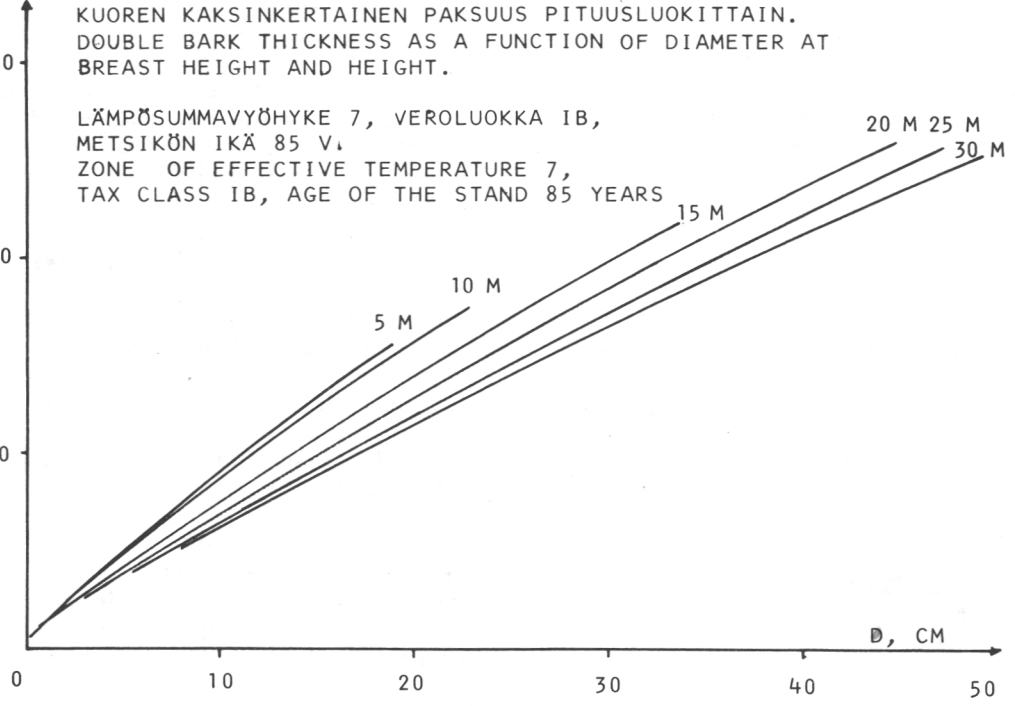
KUOREN KAKSINKERTAINEN PAKSUUS PITUUSLUOKITTAIN.
DOUBLE BARK THICKNESS AS A FUNCTION OF DIAMETER AT BREAST HEIGHT AND HEIGHT.

LÄMPÖSUMMAVYÖHYKE 7, VEROLUOKKA IB,
METSIKÖN IKÄ 85 V.
ZONE OF EFFECTIVE TEMPERATURE 7,
TAX CLASS IB, AGE OF THE STAND 85 YEARS

30

20

10



D, CM

0

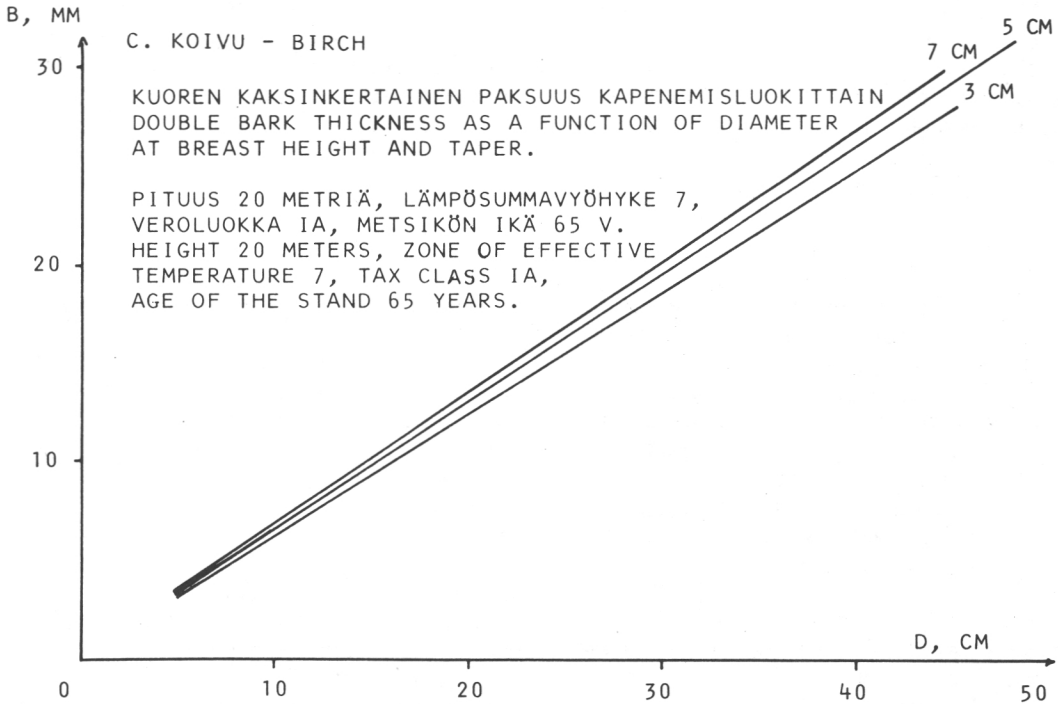
10

20

30

40

50



7. MALLIEN KÄYTTÖ

71. Yleistä

Puutunnusmallien soveltaminen käytännön metsämittaustehtäviin voidaan tehdä joko malleihin luottaen tai laskemalla kussakin kohteessa mallin tulosten ja koepuutustausten perusteella korjauskertoimia. Mallien korjailuun voi ilmetä tarvetta silloin, kun puutunnusta selittävät mallissa mukana olevien tunnusten ohii sellaiset tekijät kuin topografia, paikallinen erikoisilmasto tai alueellinen rodunvaihtelu.

Korjaustekijöillä voi olla mallissa samanlainen asema kuin valemuuttujilla; niissä ainoastaan nostetaan tai lasketaan tulosten tasoa vertailuotoksesta mitattujen arvojen mukaisesti. Korjaustekijät on myös mahdollista laskea regressiomalleina, jolloin korjaustekijä muuttuu esim. rinnankorkeusläpimitan mukaan. Korjausten tekeminen edellyttää varmuutta tarkistusmittausten oikeellisuudesta ja edustavuudesta sekä niiden ja mallin tulosten erojen merkittävyyden testamista.

Epälineaaristen mallien tuloksia muunneltaessa odotusarvo vaikuttaa eri painolla

ollessaan todellista arvoa suurempi kuin silloin, kun se antaa todellista pienemmän tuloksen. Esimerkiksi muodostettaessa lasketujen läpimittojen avulla kuutiomääriä, on varmistauduttava, ettei harhaa pääse syntyään.

72. Kuorellisen kuutiokasvun laskenta

Kasvun laskennassa on käytössä menetelmä, jossa kuoreton kuutiomäärä arvioidaan mittaushetkellä ja mittaajakson alussa. Kuorettomien läpimittojen ja niitä vastaavien pituuksien funktiona saatujen kuutiomäärien erotus on haettu kuutiokasvu.

Kuori- ja kapenemismalleja soveltamalla voidaan kasvun laskentaa tarkentaa kahdella tavalla: (1) Saadaan laskettua kasvunlaskentajakson alun kuorellinen kuutiomäärä, joka lasketaan (2) läpimitan, pituuden ja kapenemisen funktiona.

Laskennan aluksi kuutioidaan runko laskentajakson lopussa kuorellisen läpimitan, pituuden ja mitatun tai lasketun kapenemisen avulla. Mitatun sädekasvun avulla päästään laskentajakson alun kuorellisen läpimi-

tan likiarvoon. Mallilla lasketaan vastaava yläläpimitta. Kuoren kasvu saadaan selville laskemalla uuden yläläpimitan avulla kuoren paksuus. Muutaman iterointikierroksen jälkeen päästään riittävän lähelle laskenta-

jakson alun oikeaa kuoren paksuutta ja yläläpimittaa. Näiden ja mitatun pituuskasvun avulla lasketaan kuutiomäärä kasvunlaskentajakson alussa.

8. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa laadittiin kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle. Aineisto valittiin valtakunnan metsien 6. inventoinnissa mitatuista koepuista. Koepuut jaettiin metrin pituus- ja senttimetrin läpimittaluokkiin, joista kustakin poimittiin enintään 3 mäntyä, 4 kuusta ja 5 koivua. Tällaisella menettelyllä turvattiin riittävä laitavarianttien määrä. Valittu aineisto sisältää 1 871 mäntyä, 1 974 kuusta ja 1 916 koivua.

Kussakin pituusluokassa muodostettiin jokaiselle puulajille regressioyhtälö, jossa kapenemisen logaritmia selitettiin läpimitan logaritmillä. Näiden yhtälöiden vakioita enustettiin rekursiivisesti pituudella ja toisiltaan.

Tämän mallin tarkentamiseksi muodostettiin vielä korjausyhtälö, jossa mitatun ja lasketun arvon suhdetta selitettiin puu- ja metsikkötunnuksilla.

Kuorimalleja laadittaessa aineisto jaettiin 15 kapenemislukkaan. Luokittain laskettiin regressioyhtälöt, joissa kuoren logaritmia selitettiin läpimitan ja pituuden logaritmillä. Näiden yhtälöiden vakioille laskettiin estimaatit kapenemisen ja toistensa funktiona simultaanisen mallin avulla. Korjausyh-

tälö laskettiin samalla tavalla kuin kapenemismalleille.

Sekä kuoren että kapenemisen ennustaminen osoittautui koivulla vaikeammaksi kuin havupuilla. Koivulla 2/3 mitatuista kuoren paksuuksista ja kapenemisistä poikkeaa lasketuista vähemmän kuin 30 %, kun kuusella vastaava luku on 26 % ja männyllä kapenemismallissa 23 % ja kuorimallissa 27 %. Kuoren paksuuksissa havaittiin alueellisia eroja niin, että Järvi-Suomessa mitatut kuoret olivat laskettuja ohuempia ja rannikolla sekä Kainuussa paksumpia. Sovelluksissa on mahdollista ja usein aiheellista korjata mallien tasoa, mikäli kohde poikkeaa tämän työn aineistona olleesta puujoukosta.

Laskemalla kapeneminen tässä esitetyllä mallilla kuutioimisyhtälöissä käytettäväksi voidaan helpottaa metsän inventoinnin maastotyötä. Testiaineiston kuutiomäärä oli noin 0,3 % suurempi, kun käytettiin laskettuja kapenemisiä mitattujen sijasta.

Kuorimallia soveltamalla voidaan paitsi luopua ainakin osasta kuoren mittauksia inventoinneissa selvittää kuoren ja sitä kautta kuorellisen kuutiomäärän kasvu, jos 5 vuoden sädekasvu on tiedossa.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- HEISKANEN, V. & RIKKONEN, P. 1976. Havusahatukki kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it. *Folia For.* 250:1—67.
- HYPPÖNEN, M. 1977. Koepuiden mittauksen tehokkuus. Metsänarvioimistieteen pro-gradu -työ. 1—67. Helsinki.
- ILVESSALO, Y. 1947. Pystypuiden kuutioimistaulukot. Summary: Volume tables for standing trees. *Commun. Inst. For. Fenn.* 34 (4):1—149.
- LAASASENAHO, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutioimisytälöt. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 1—89. Helsinki.
- LAASASENAHO, J. & SEVOLA, Y. 1972. Havutukien latvamuotolukujen vaihtelu. Summary: The variation in top form quotients of the coniferous logs. *Folia For.* 164:1—20.
- NIITAMO, O. 1969. Taloudellinen malli. Tilastollisen päätoimiston tutkimuksia No 2, toinen painos. s. 1—67.
- Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätöiden ohjeet. 1971. Yleinen osa. Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosasto. *Moniste.* 1—45. Helsinki.
- WOLD, H. 1954. Causality and econometrics. *Econometrica*, Vol. 22: s. 162—173.
- ÖSTLIN, E. 1963. Barkuppgifter för tall, gran, björk m. fl. Del 1. Barkuppgifter för län, regioner. Summary: Bark data for Pine, Spruce, Birch, etc. Part 1. Bark data for Provinces and Regions. Institutionen för skogstaxering. Skogshögskolan. Stockholm. s. 1—146.

SUMMARY

Models were prepared for the stem taper ($d-d_6$) and double bark thickness (B) at breast height, where d =diameter at breast height. Other symbols are h =height of the tree, T =age class of the stand (10 years), $T=(\text{age of the stand} + 5 \text{ years})/10$ years.

The data of 53 000 sample trees, for all regions of Finland excluding Lapland, were collected during the 6th National Forest Inventory. A sample of 1871 pines, 1974 spruces and 1916 birches was taken from this data. The aim of the sampling was to achieve as great diameter-height variation as possible.

First, regression equations for each one-meter's height class were derived as functions of breast height diameters. Secondly the parameters of these equations were derived by recursive models. The tree height was the independent variable. Thirdly, one more equation to determine ratio of measured and calculated taper was calculated as a function of some tree and stand characters.

For the bark thickness models the material was divided into 15 taper classes. Bark thickness was cal-

culated as a function of diameter and height in every taper class. The constants were predicted and the adjustment equation was made in a similar way to the taper models.

The prediction error of the taper as well as the bark thickness models was greater for birch than for pine and spruce. The standard deviations of both models were 26 % for spruce and 30 % for birch. For pine, the standard deviation of taper model was 23 % and that of the bark thickness model 27 %.

There exists an unexplained variation in bark thickness between Eastern and Western parts of Finland. Coastal trees seems to have thicker bark than the inland trees.

When applying this models it is not necessary to measure upper diameter and bark thickness for all sample trees in the forest inventory. The volume of the test material 960 pines was 0,3 % greater when the calculated taper was used instead of the measured taper. This models can also be used to calculate the stem volume increment more exactly than before.

LIITTEET — APPENDICES

Liite 1. Kapenemismallien parametrien arvot.
Appendix 1. The parameters of the taper models.

M ä n t y — P i n e

kap = [a d^b] k

Selitettävä muuttuja <i>Dependent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	t-arvo <i>t-value</i>	R ² , %
b	,831346	—	12,3	63,6
	,0203514	h	5,8	
ln[(ln a) + 6]	13,415262	—	20,3	99,8
	— ,645449	ln h	6,1	
	8,859121	ln b	16,1	
	— 2,021639	[ln (10 b)] ²	18,4	
	,0786727	(ln h) ²	4,1	
Metsämaa — Forest land				
ln k	,0408082	—	,2	6,9
	,0339949	ln d	2,2	
	— ,0436688	ln T	2,7	
	valemuuttujat: <i>dummy variables:</i>			
	0	veroluokka IA	—	
	,000335411	tax class —" IB	,02	
	— ,0410572	—" II	2,0	
	— ,0103499	—" III	,4	
	— ,0316714	—" IV	1,0	
	— ,197134	lämpösummavyöhyke 4	4,9	
		<i>zone of effective temperature</i>		
	— ,140571	—" 5	4,8	
	— ,0799048	—" 6	3,2	
	— ,0286301	—" 7	1,2	
	— ,00997558	—" 8	,4	
	0	—" 9	—	
Kitumaa — Poorly productive land				
ln k	,524297	—	1,1	14,0
	— ,145397	ln d	1,2	
	valemuuttujat:			
	— ,347252	lämpösummavyöhyke 4	3,3	
	— ,255395	—" 5	1,9	
	— ,239499	—" 6	2,3	
	— ,0615934	—" 7	,5	
	— ,00294973	—" 8	,03	
	0	—" 9	—	

Selitettävä muuttuja Dependent variable	Kerroin Coefficient	Selittävä muuttuja Independent variable	t-arvo t-value	R ² , %
b	,667931 ,0272159	— h	8,5 6,7	70,0
ln [(ln a) + 6]	2,214808 — ,236691 — 1,716283 — ,595503 — 1,086761	— ln h (ln b) ² ln b (ln b) ²	85,3 22,4 5,8 24,5 7,5	99,9
Metsämaa ln k	,185125 — ,0724091	— ln T	3,3 3,9	2,2
valemuuttujat:	0	veroluokka IA	—	
— ,0148964		—”— IB	1,0	
— ,0378154		—”— II	1,8	
,0296886		—”— III	,9	
— ,153075		—”— IV	1,5	
— ,0846041		lämpösummavyöhyke 4	1,7	
— ,0453193		—”— 5	1,1	
— ,0570058		—”— 6	1,8	
— ,0613101		—”— 7	2,0	
— ,0465552		—”— 8	1,5	
0		—”— 9	—	
Kitumaa ln k	,0619630 ,0448062 — ,0733592	— ln d ln h	1,2 1,9 2,3	1,6
valemuuttujat:	— ,155644	lämpösummavyöhyke 4	3,2	
— ,109767		—”— 5	2,4	
— ,0739000		—”— 6	2,3	
— ,0657530		—”— 7	2,2	
— ,0423472		—”— 8	1,4	
0		—”— 9	—	

Koivu—Birch

kap = [a d^b] k

b	1,296487 — ,0548763 ,002400	— h h ²		
ln [(ln a) + 10]	2,582215 — ,155745 — ,314485 — ,187386 — ,657400	— ln h ln b (ln b) ² (ln b) ³	170,7 26,0 14,1 2,4 9,4	99,9
k	1,234594 ,00594092 — ,00932064	— d h	26,0 5,3 4,5	3,9
valemuuttujat:	— ,230534	lämpösummavyöhyke 4	4,5	
— ,270465		—”— 5	5,7	
— ,226468		—”— 6	5,4	
— ,219782		—”— 7	5,4	
— ,190921		—”— 8	4,6	
0		—”— 9	—	

Männyn kapenemisen laskuesimerkki

An example for calculating the taper of a pine

$$d = 25 \text{ cm}, h = 20 \text{ m}, T = 10, \text{ lämpösummavyöhyke } 8, \text{ veroluokka II}$$

$$b = ,831346 + ,0203514 \times 20 = 1,238374$$

$$\ln [(\ln a) + 6] = 13,415262 - ,645449 \times \ln 20 + ,0786727 \times \ln^2 20 \\ + 8,859121 \times \ln 1,238374 - 2,021639 \times \ln^2 12,38374 = 1,28091$$

$$a = \exp [(\exp 1,28091) - 6] = ,0907102$$

$$\ln k = ,0408082 - ,0410572 - ,00997558 + ,0339949 \times \ln 25 \\ - ,0436688 \times \ln 10 = - ,00135035$$

$$k = \exp (- ,00135035) = ,998651$$

$$\text{kap} = (,0907102 \times 25^{1,238374}) \times ,998651 = 4,878 \text{ cm}$$

Liite 2. Kuorimallien parametrien arvot.
Appendix 2. The parameters of the bark thickness models.

M ä n t y — P i n e

$$B = [ad^b - 4(kap)]k$$

Selitetty muuttuja <i>Dependent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	t-arvo <i>t-value</i>	R ² , %		
x	3,112533	—	129,6			
	,0276901	kap	1,7			
	,00165071	kap ²	1,6			
	— ,0000795448	kap ³	3,1			
	,353841	ln kap	9,3			
y	,956700	—	248,4			
	,00949711	kap	1,9			
	,000448633	kap ²	1,4			
	— ,0000232209	kap ³	2,9			
	,104743	ln kap	8,5			
ln a	139,429	x				
	—452,586	y				
b	— 42,6461	x				
	139,429	y				
Metsämaa — Forest land						
ln k	,0273753	—	,03	4,8		
	,0490873	ln T	3,2			
	— ,0257113	ln kap	1,9			
	valemuuttujat: <i>dummy variables:</i>					
	0	veroluokka <i>tax class</i>	IA	—		
	,0203906	—	IB	1,0		
	,0241678	—	II	1,2		
	,0455927	—	III	1,9		
	,0861478	—	IV	2,8		
	— ,0737456	lämpösummavyöhyke 4 <i>zone of effective temperature</i>		1,9		
	— ,146811	—	5	5,1		
	— ,148973	—	6	6,0		
	— ,142340	—	7	5,8		
	— ,0801726	—	8	3,3		
	0	—	9	—		
	Kitumaa — Poorly productive land					
	ln k	,144183	—	3,0	12,9	
valemuuttujat:						
— ,0339628		lämpösummavyöhyke 4		0,4		
— ,181277		—	5	1,8		
— ,269824		—	6	3,7		
— ,118619		—	7	1,2		
— ,0671301		—	8	0,9		
0		—	9	—		
Alle 8 m pitkät männyt — Pines under 8 meters height.						
ln B		,0429211	—	,08	83,4	
	1,081337	ln d	27,3			
	valemuuttujat:					
	,127990	kitumaa metsämaa	2,6	—		

Selittävä muuttuja Dependent variable	Kerroin Coefficient	Selittävä muuttuja Independent variable	t-arvo t-value	R ² , %			
b	1,04007	—					
	,010302	kap					
	—,0032590	kap ²					
c	,60490	—					
	—1,14530	b					
	,042250	b ²					
ln a	3,2220	—	50,4	99,9			
	—,02409	kap	2,3				
	,001736	kap ²	3,4				
	—3,5802	b	72,6				
	—2,8460	c	40,4				
	,25304	c ²	6,2				
Metsämaa ln k	—,372589	—	5,7	16,0			
	—,131088	ln d	3,7				
	,224900	ln h	5,2				
	,0446230	ln T	2,4				
	,0318576	ln kap	1,5				
	valemuuttujat:						
	0	veroluokka IA	—				
	,0597151	—”— IB	4,4				
	,0924080	—”— II	4,8				
	,100839	—”— III	3,2				
	—,0190631	—”— IV	,2				
	,252103	lämpösummavyöhyke 4	5,4				
	,168251	—”— 5	4,6				
	—,0766713	—”— 6	2,6				
	—,0979056	—”— 7	3,6				
	—,0664317	—”— 8	2,4				
	0	—”— 9	—				
Kitumaa ln k	,0928599	—	5,3	16,4			
	—,0945423	ln d	4,4				
	,205445	ln h	7,1				
	valemuuttujat:						
	,282561	lämpösummavyöhyke 4	6,4				
	,194070	—”— 5	5,6				
	—,0708122	—”— 6	2,4				
	—,0976191	—”— 7	3,6				
	—,0694407	—”— 8	2,5				
	0	—”— 9	—				
	Alle 8 m pitkät kuuset — Spruces under 8 meters height						
	ln B	,448432	—		1,9	67,0	
		,844488	ln d		15,2		
		valemuuttujat:					
		0	veroluokka IA		—		
		,0767409	—”— IB		1,0		
		,102588	—”— II		1,3		
,169006		—”— III	1,8				
,174482		—”— IV	1,3				
,182446		kitumaa	1,3				
,124173		lämpösummavyöhyke 4	,7				
,139039		—”— 5	1,0				
—,151729		—”— 6	1,0				
—,257007		—”— 7	1,8				
—,365501		—”— 8	2,5				
0		—”— 9	—				

Selitettävä muuttuja Dependent variable	Kerroin Coefficient	Selitettävä muuttuja Independent variable	t-arvo t-value	R ² , %	
x	12,471580	—	105,8		
	,0120639	kap	2,4		
	— ,000454978	kap ²	1,6		
y	3,912346	—	345,4		
	,00387155	kap	2,5		
	— ,000143917	kap ²	1,6		
z	4,836272	—	236,4		
	,00489544	kap	2,5		
	— ,000183292	kap ²	1,7		
ln (a + 1,5)	206,182	x			
	—904,795	y			
	200,645	z			
b	— ,5	—			
	—88,6906	x			
	1000,01	y			
	—579,902	z			
c	— 2,5	—			
	— 30,0774	x			
	—886,600	y			
	640,074	z			
Metsämaa ln k	,0244495	—	,3	11,1	
	,0132721	h	5,1		
	— ,109665	ln d	3,8		
	,0146687	T	5,3		
	,000415332	kap ²	1,8		
	valemuuttujat:				
	0	veroluokka IA	—		
	,0736702	—”— IB	4,2		
	,142668	—”— II	6,2		
	,204214	—”— III	6,9		
	,228008	—”— IV	3,9		
	— ,0652769	lämpösummavyöhyke 4	1,1		
	— ,108581	—”— 5	2,1		
	— ,211764	—”— 6	4,8		
	— ,208213	—”— 7	4,9		
— ,128228	—”— 8	3,0			
0	—”— 9	—			
Kitumaa ln k	,264006	—	,2	9,6	
	— ,105458	ln d	3,7		
	,0155071	h	5,9		
	,000374233	kap ²	1,6		
	valemuuttujat:				
	,0146648	lämpösummavyöhyke 4	,3		
	— ,0401967	—”— 5	,8		
	— ,195770	—”— 6	4,5		
	— ,204860	—”— 7	4,8		
	— ,129817	—”— 8	3,0		
0	—”— 9	—			

Alle 8 m pitkät koivut — *Birches under 8 meters height.*

Selitettävä muuttuja <i>Dependent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	t-arvo <i>t-value</i>	R ² , %
ln B	,204182	—	,7	70,1
	1,007971	ln d	16,6	
	valemuuttujat:			
	— ,183070	lämpösummavyöhyke 4	1,0	
	— ,120557	—”— 5	,8	
	— ,286230	—”— 6	1,9	
	— ,415123	—”— 7	2,6	
	— ,394117	—”— 8	2,3	
	0	—”— 9	—	

Männyn kuoren paksuuden laskuesimerkki

An example for calculating the double bark thickness of a pine

d = 25 cm, T = 10, kap = 4,878 cm

lämpösummavyöhyke 8, veroluokka II.

$$x = 3,11253 + ,0276901 \times 4,878 + ,00165071 \times 4,878^2$$

$$- ,0000795448 \times 4,878^3 + ,353841 \times \ln 4,878 = 3,83839$$

$$y = ,956700 + ,00949711 \times 4,878 + ,000448633 \times 4,878^2$$

$$- ,0000232209 \times 4,878^3 + ,104743 \times \ln 4,878 = 1,176997$$

$$\ln a = 139,429 \times 3,83839 - 452,586 \times 1,176997 = 2,490642$$

$$a = 12,06749$$

$$b = - 42,6461 \times 3,83839 + 139,429 \times 1,176997 = ,415151$$

$$\ln k = ,0273753 + ,0241678 - ,0801726 + ,0490873 \times \ln 10$$

$$- ,0257113 \times \ln 4,878 = ,0436525$$

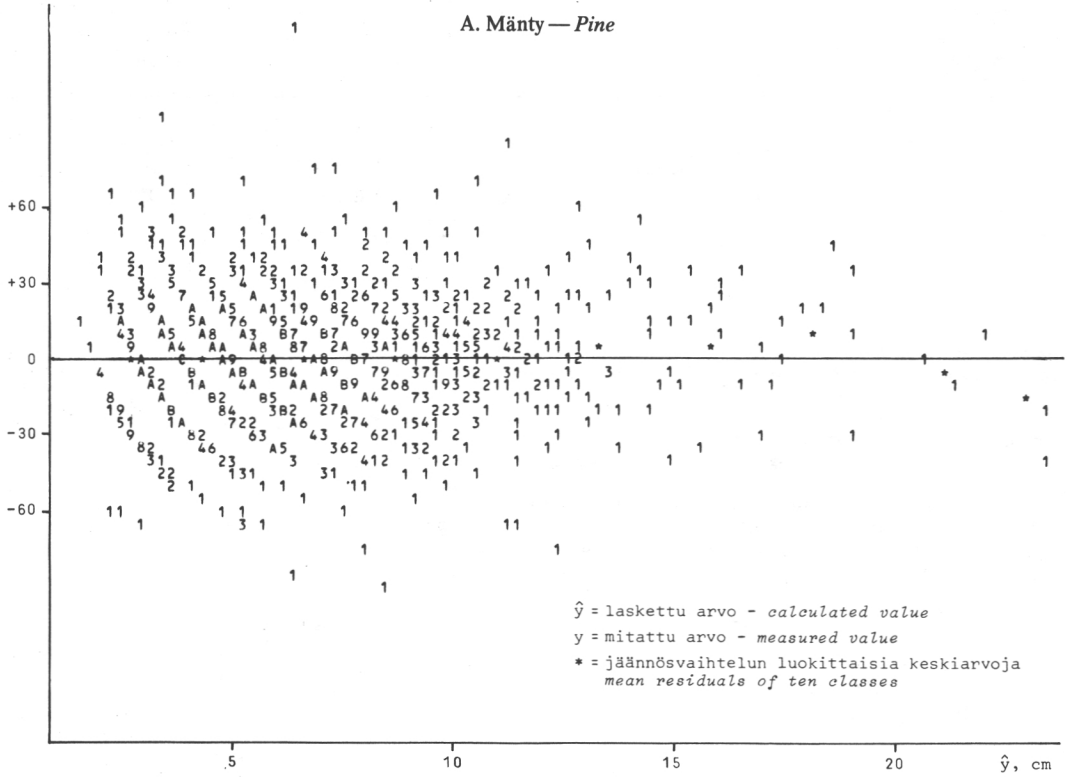
$$k = 1,044619$$

$$B = (12,06749 \times 25^{,415151} - 4 \times 4,878) \times 1,044619 = 27,583 \text{ mm}$$

Huom. — N.B. kap > 0.

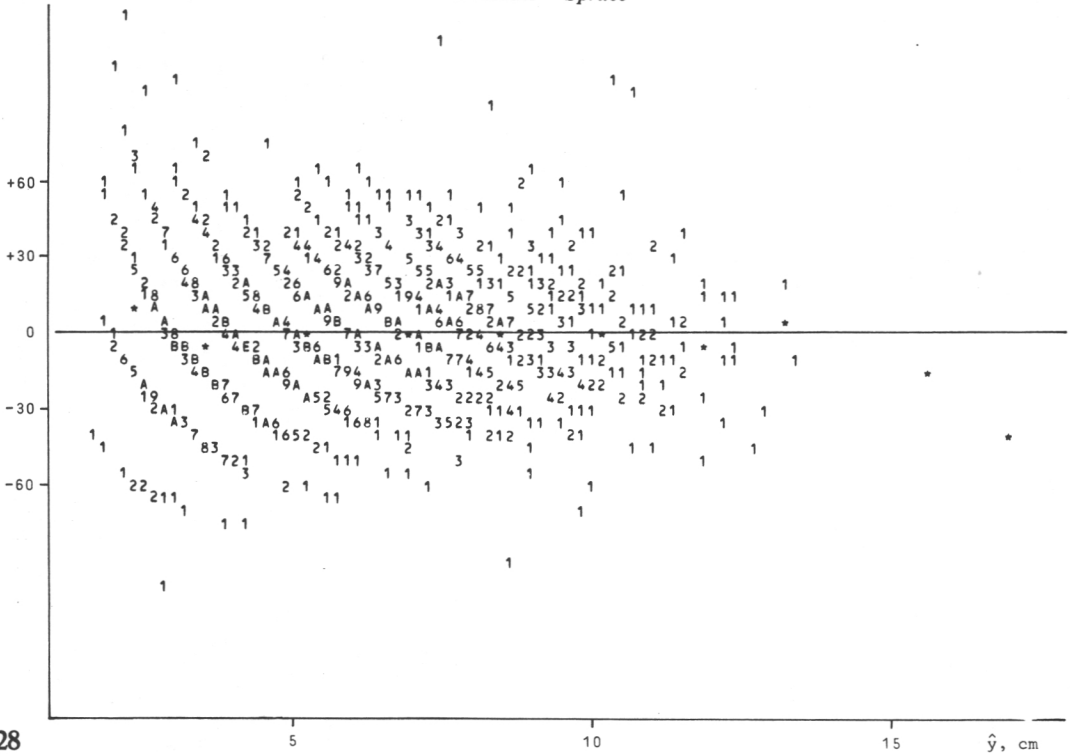
$$\frac{y - \hat{y}}{\hat{y}}, \%$$

Liite 3. Kapenemismallien jäännösvaihtelut.
Appendix 3. Residuals of the taper models.



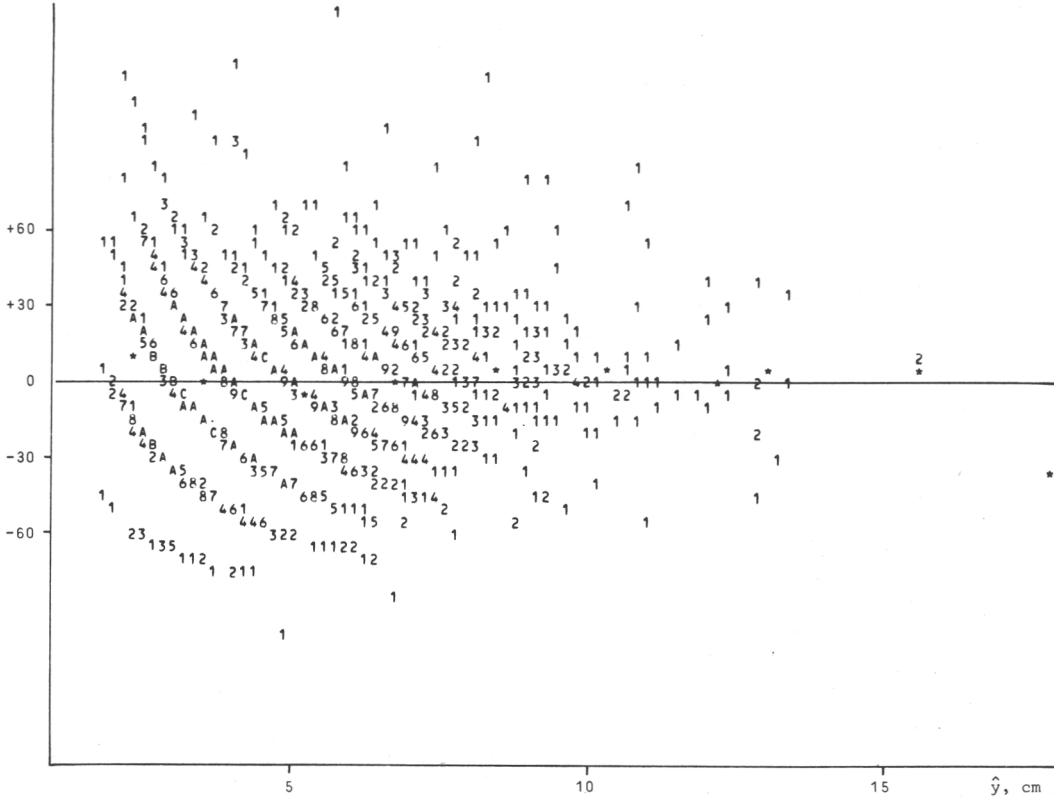
$$\frac{y - \hat{y}}{\hat{y}}, \%$$

B. Kuusi — Spruce



$\frac{y - \hat{y}}{\hat{y}}, \%$

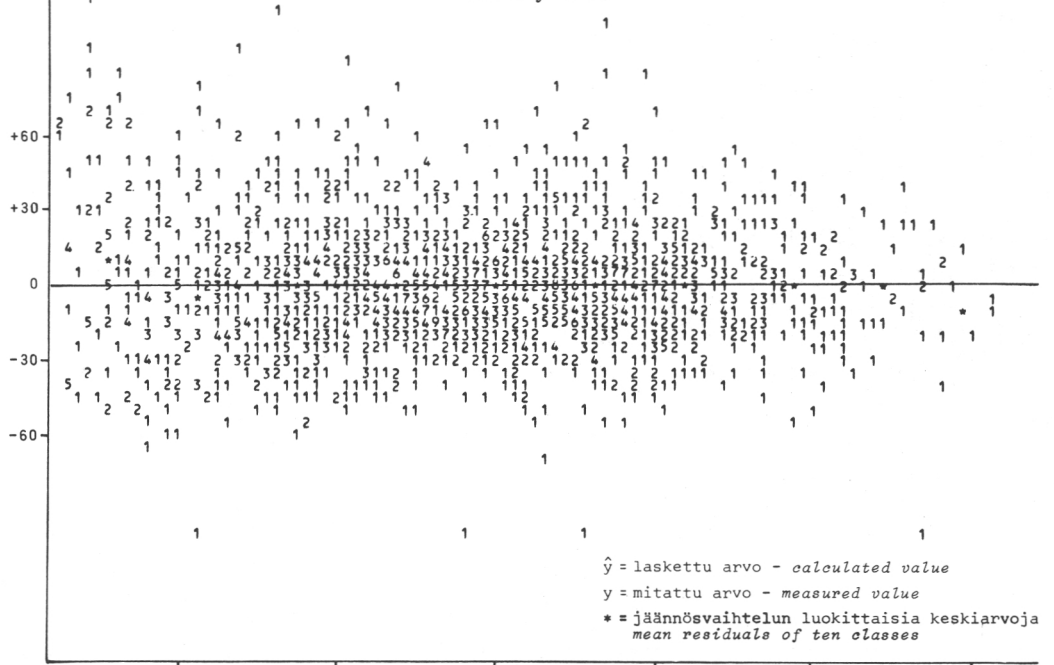
C. Koivu — Birch



Liite 4. Kuorimallien jäännösvaihtelut.
Appendix 4. Residuals of the bark thickness models.

$\frac{y - \hat{y}}{\hat{y}}, \%$

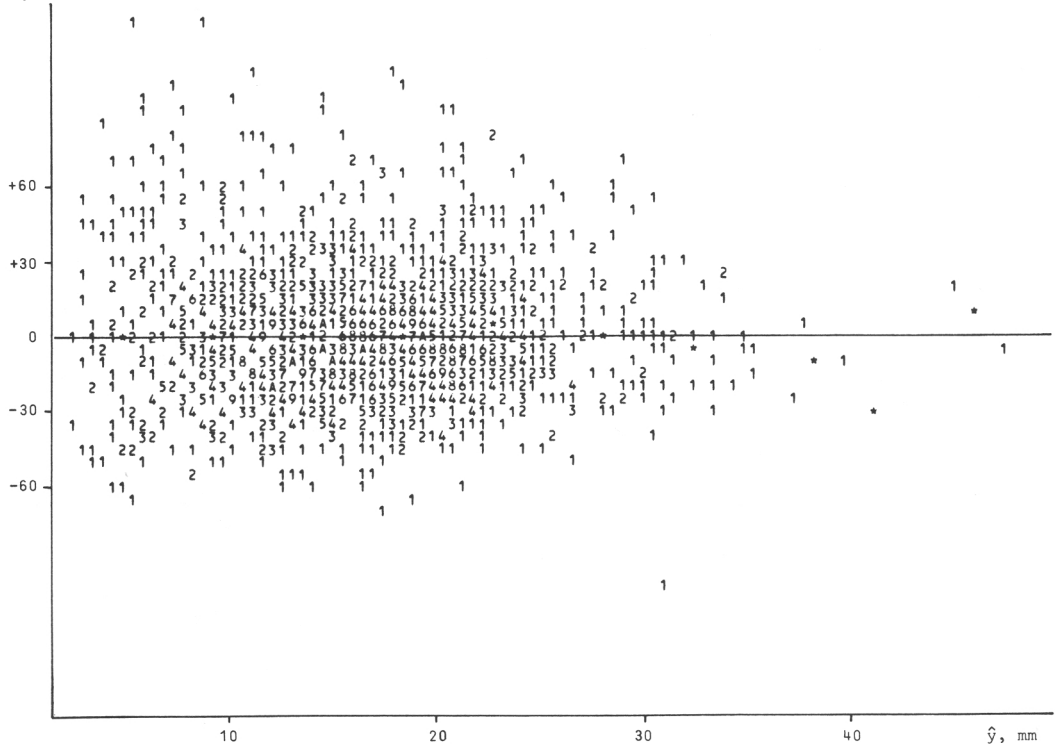
A. Mänty — Pine



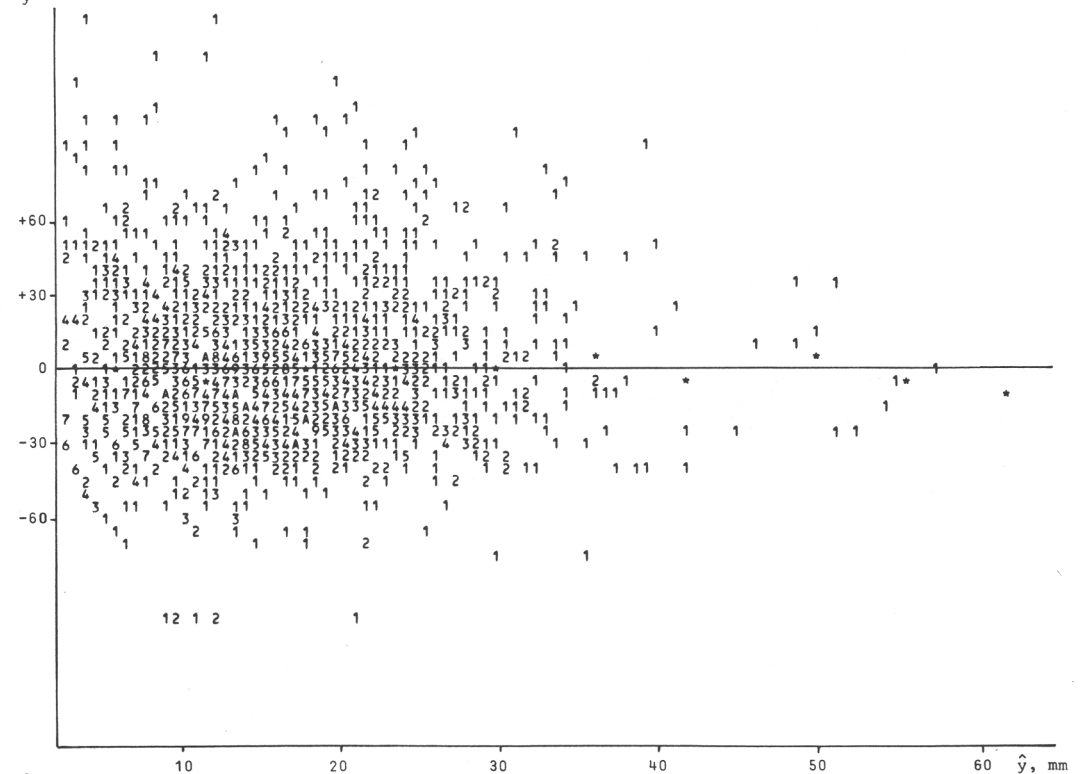
\hat{y} = laskettu arvo - calculated value
 y = mitattu arvo - measured value
 * = jäännösvaihtelun luokitettavia keskiarvoja
 mean residuals of ten classes

$\frac{y - \hat{y}}{\hat{y}}, \%$

B. Kuusi — Spruce

 $\frac{y - \hat{y}}{\hat{y}}, \%$

C. Koivu — Birch

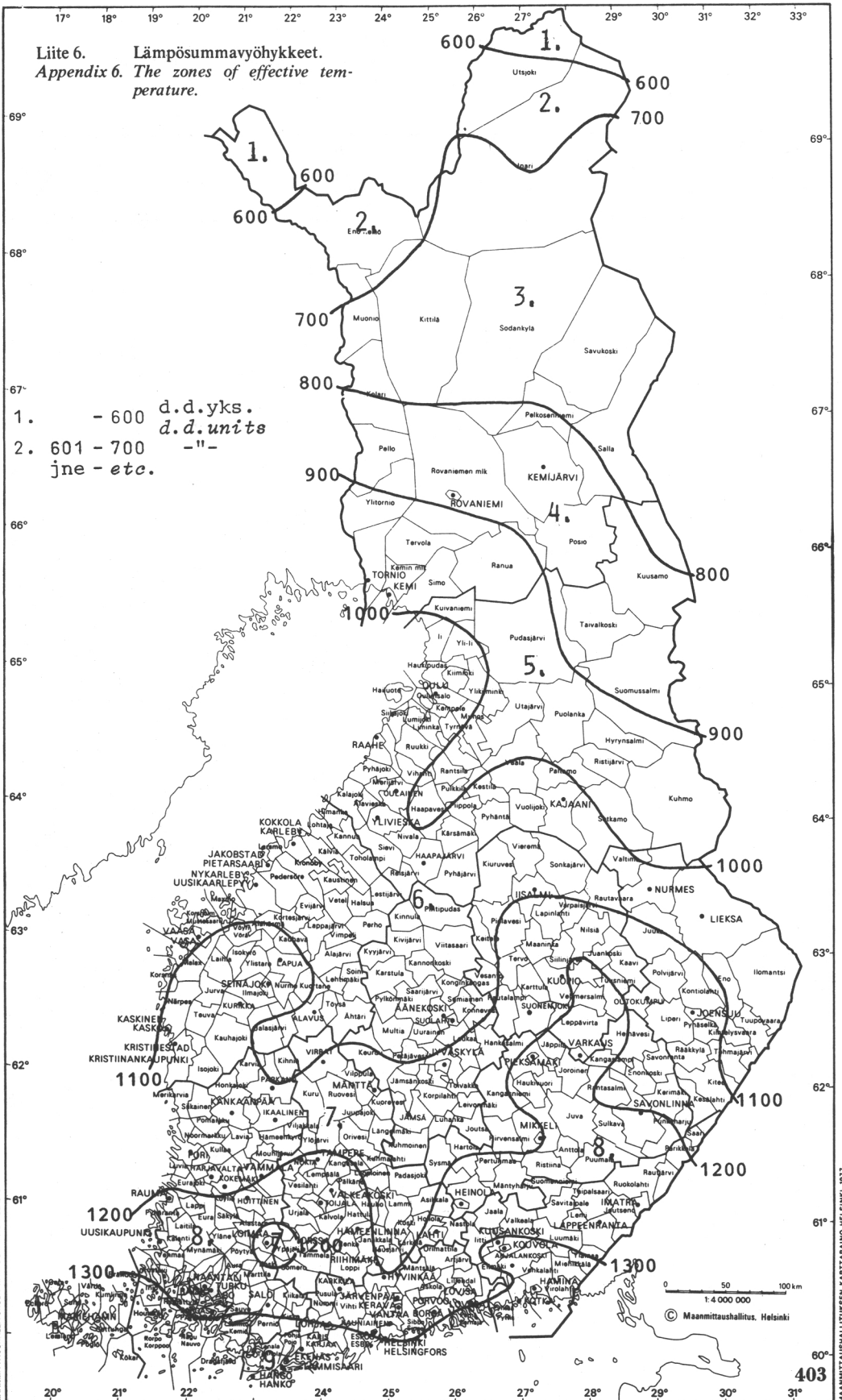


Liite 5. Koivun kuorimallin korjauskertoimet raudus- ja hieskoivulle.
 Appendix 5. Correction coefficients of the bark thickness models of the birch for *Betula verrucosa* and *Betula pubescens*.

$$B_s = B(k)$$

Selitetty muuttuja <i>Dependent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	t-arvo <i>t-value</i>	R ² , %
<i>Betula verrucosa:</i>				
k	,947129	—	31,2	,7
	,00271059	d	2,4	
<i>Betula pubescens:</i>				
k	1,067721	—	39,0	1,2
	— ,00656839	h	3,6	

Liite 6. Lämpösomavöhykkeet.
Appendix 6. The zones of effective temperature.



- 1. - 600 d.d.yks.
d.d.units
- 2. 601 - 700 -"-
jne - etc.

0 50 100 km
1:4 000 000
© Maanmittaushallitus, Helsinki

ODC 524.14:523.1
ISBN 951-40-0340-3
ISSN 0015-5543

PÄIVINEN, R. 1978. Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle. Summary: Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch. *Folia For.* 353: 1—32.

Models for predicting the taper ($d-d_0$) and double bark thickness at breast height of pine, spruce and birch are presented. The material is from the 6th National Forest Inventory of Finland.

The models are based on common tree and stand measurements. When applying the models it is not necessary to measure upper diameter and bark thickness for all sample trees.

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

ODC 524.14:523.1
ISBN 951-40-0340-3
ISSN 0015-5543

PÄIVINEN, R. 1978. Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle. Summary: Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch. *Folia For.* 353: 1—32.

Models for predicting the taper ($d-d_0$) and double bark thickness at breast height of pine, spruce and birch are presented. The material is from the 6th National Forest Inventory of Finland.

The models are based on common tree and stand measurements. When applying the models it is not necessary to measure upper diameter and bark thickness for all sample trees.

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

ODC 524.14:523.1
ISBN 951-40-0340-3
ISSN 0015-5543

PÄIVINEN, R. 1978. Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle. Summary: Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch. *Folia For.* 353: 1—32.

Models for predicting the taper ($d-d_0$) and double bark thickness at breast height of pine, spruce and birch are presented. The material is from the 6th National Forest Inventory of Finland.

The models are based on common tree and stand measurements. When applying the models it is not necessary to measure upper diameter and bark thickness for all sample trees.

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

ODC 524.14:523.1
ISBN 951-40-0340-3
ISSN 0015-5543

PÄIVINEN, R. 1978. Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle. Summary: Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch. *Folia For.* 353: 1—32.

Models for predicting the taper ($d-d_0$) and double bark thickness at breast height of pine, spruce and birch are presented. The material is from the 6th National Forest Inventory of Finland.

The models are based on common tree and stand measurements. When applying the models it is not necessary to measure upper diameter and bark thickness for all sample trees.

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

- No 311 Takalo, Sauli & Sauvala, Kari: Havaintoja metsurin suojainten kestävydestä ja sen mittaamisesta.
Observations on the durability and testing of protective clothing for chain saw workers.
- No 312 Leikola, Matti, Metsämuuronen, Markku, Räsänen, Pentti K. & Taimisto, Erkki: Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967—1975.
The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967—1975.
- No 313 Kolari, Kimmo, Paavilainen, Eero & Raitio, Hannu: Männyn juuristosuhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella.
Pine root condition and growth disturbances.
- No 314 Anttila, Tuula & Lähde, Erkki: Lannoituksen vaikutus paperikenoissa kasvatettujen männyn taimien kehitykseen taimitarhassa.
Effect of fertilization on the development of containerized pine seedlings in a nursery.
- No 315 Kanninen, Kaija: Palkkausmuodot ja niiden vaikutus metsätoivissa.
Forms of remuneration and their influence on forest work.
- No 316 Mäkelä, Markku: Leimikoittainen metsätähdemäärä.
The amounts of logging residues and stump and root wood at certain work sites.
- No 317 Kaunisto, Seppo: Ojituksen tehokkuuden ja lannoituksen vaikutus männyn viljelytaimistojen kehitykseen karuilla avosoilla.
Effect of drainage intensity and fertilization on the development of pine plantations on oligotrophic treeless Sphagnum bogs.
- No 318 Kinnunen, Kaarlo: Istutuksen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Länsi-Suomen yksityismetsissä.
The survival and initial development of plants in private forests in western Finland.
- No 319 Ferm, Ari & Pohtila, Eljas: Pintakasvillisuuden kehittyminen ja muokkausjäljen tasoittuminen auratuilla metsänuudistusaloilla Lapissa.
Succession of ground vegetation and levelling of ploughed tracks on reforestation areas in Finnish Lapland.
- No 320 Kuusela, Kullervo: Suomen metsien kasvu ja puutavaralajirakenne sekä niiden alueellisuus vuosina 1970—1976.
Increment and timber assortment structure and their regionality of the forests of Finland in 1970—1976.
- No 321 Heikinheimo, Lauri, Jaatinen, Esko, Kellomäki, Seppo, Lovén, Lasse & Saastamoinen, Olli: Metsien virkistyskäyttö Suomessa. Esitutkimusraportti.
Forest recreation in Finland. Pilot study.
- No 322 Talkamo, Tero: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1973 (1970).
Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1973 (1970) by districts.
- No 323 Erkkilä, Pentti, Silander, Soini, Tiihonen, Paavo & Örn, Jouko: Pystymittaus ja runkojen luku hakkuupalkan laskentaperusteina työvaikeuspalstalla.
Massenermittlung am stehenden Holz und Stamzahl als Unterlage für die Berechnung des Arbeitslohns auf grösseren Schlaglosen mit gleichmässigen Arbeitsbedingungen.
- No 324 Vuokila, Yrjö: Puolukkatyyppi kuusen kasvupaikkana.
Vaccinium type as a spruce site.
- No 325 Raulo, Jyrki & Lähde, Erkki: Rauduskoivun istutustuloksia Lapissa.
Reforestation results with *Betula pendula* Roth in Finnish Lapland.
- No 326 Paavilainen, Eero: Männyn istutus suopeltojen metsityksessä.
Planting of Scots pine in afforestation of abandoned swampy fields.
- No 327 Paavilainen, Eero: Jatkolannoitus vähäravinteisilla rämeillä. Ennakkotuloksia.
Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results.
- No 328 Laitinen, Jorma & Takalo, Sauli: Moottorisahavinttuurin käytöstä pienten puiden ja tukkien esijuonnossa.
Preliminary skidding of small trees and sawlogs by power saw winch.
- No 329 Kinnunen, Kaarlo & Linnimäki, Jorma: Metsänuudistamisen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Pohjois-Karjalassa.
Success of forest regeneration and initial development of sapling stands in northern Karelia.
- No 330 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1975—77.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1975—77.
- No 331 Gustavsen, Hans G.: Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt.
Finnish volume increment functions.
- No 332 Helander, Matti & Simula, Anna-Leena: Metsäalan toimihenkilöiden kysyntä ja tarjonta vuoteen 1985.
Demand and supply of professional forestry staff by 1985.
- No 333 Hakkila, Pentti, Kalaja, Hannu, Salakari, Martti & Valonen, Paavo: Whole-tree harvesting in the early thinning of pine.
Kokopuun korjuu männikön ensiharvennuksessa.
- No 334 Järveläinen, Veli-Pekka: Mieli-piteet yksityismetsätaloudessa. Metsänomistajien ja metsäammatimiesten käsityksiä metsätaloudesta ja sen edistämisestä.
Opinions in Finnish private forestry. On the opinions of the private forest owners and the forestry experts concerning forestry and its promotion.

- 1978 No 335 Juutinen, Paavo: Kuitupuupinot pystynävertäjän (*Tomicus piniperda* L.) lisääntymispaikkoina Pohjois-Suomessa.
Pulpwood stacks as breeding sites for pine shoot beetle (*Tomicus piniperda* L.) in northern Finland.
- No 336 Kärkkäinen, Matti: Menetelmiä likipituisten kuitupuupölkkyjen keskipituuden mittaamiseksi
Methods for measuring the average length of pulpwood bolts estimated during logging by eye.
- No 337 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Koillis-Suomen metsävarat vuonna 1976 ja Lapin metsävarat vuosina 1970 ja 1974—76.
Forest resources in the Forestry Board Districts of Koillis-Suomi in 1976 and Lappi in 1970 and 1974—76.
- No 338 Lähde, Erkki: Väliavarastoinnin vaikutus männyn paakkutaimien viljelyn onnistumiseen.
Effect of intermediate storage of containerized Scots pine planting stock on reforestation success.
- No 339 Teivainen, Terttu: Eräiden poppelikloonien myyrätuhoalttius ruokintakokeiden mukaan.
Resistance of some poplar clones to vole damage through feeding experiments.
- No 340 Laitinen, Jorma & Takalo, Sauli: Kantokäsittelylaittein varustettujen raivaussahojen vertailua.
Comparison of clearing saws equipped with stump spraying devices.
- No 341 Uusvaara, Olli: Teollisuushakkeen ja purun painomittaus.
Weight scaling of industrial chips and sawdust.
- No 342 Hakkila, Pentti: Pienpuun korjuu polttoaineeksi.
Harvesting small-sized wood for fuel.
- No 343 Paavilainen, Eero: PK-lannoitus Lapin ojitetuilla rämeillä. Ennakkotuloksia.
PK-fertilization on drained pine swamps in Lapland. Preliminary results.
- No 344 Lehtonen, Irja, Pekkala, Osmo & Uusvaara, Olli: Tervalepän (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) ja raidan (*Salix caprea* L.) puu- ja massateknisiä ominaisuuksia.
Technical properties of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and great sallow (*Salix caprea* L.) wood and pulp.
- No 345 Metsätilastollinen vuosikirja 1976.
Yearbook of Forest Statistics 1976.
- No 346 Parviainen, Jari: Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus.
Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase.
- No 347 Vuorinen, Heikki: Metsätraktorin kuljettajan kuormittumisen mittausmahdollisuudet.
Possibilities of measuring the strain on forest tractor drivers.
- No 348 Löytyniemi, Kari: Metsälannoituksen vaikutuksesta ytimenävertäjiin (*Tomicus* spp., Col., Scolytidae).
Effect of forest fertilization on pine shoot beetles (*Tomicus* spp., Col., Scolytidae).
- No 349 Metsämuuronen, Markku, Kaila, Simo & Räsänen, Pentti K.: Männyn paakkutaimien alkukehitys vuoden 1973 istutuksissa.
First-year planting results with containerized Scots pine seedlings in 1973.
- No 350 Oikarinen, Matti: Viljelymetsköiden puuston vaihtelu ja kasvukoealojen edustavuus.
Variations in growing stock in cultivated stands and the representation of growth sample plots.
- No 351 Heikkilä, Risto: Mäntykuitupuupinojen suojaaminen pystynävertäjän iskeytymistä vastaan Pohjois-Suomessa.
Protection of pine pulpwood stacks against the common pine-shoot beetle in northern Finland.
- No 352 Saramäki, Jussi: Kainuun vajaapuustoisten kuusikoiden lannoitus ja sen kannattavuus.
Profitability of fertilization in the understocked spruce stands of Kainuu, Finland.
- No 353 Päivinen, Risto: Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle.
Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch.