

# **FOLIA FORESTALIA** 500

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1982

---

---

TARJA BJÖRKLUND JA ARI FERM

PIENIKOKOISEN KOIVUN JA HARMAA-  
LEPÄN BIOMASSA JA TEKNISET  
OMINAISUUDET

BIOMASS AND TECHNICAL PROPERTIES  
OF SMALL-SIZED BIRCH AND GREY  
ALDER



METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 661 401  
Phone:

|   |   |                        |
|---|---|------------------------|
| Ylijohtaja:<br><i>Director:</i>                                 | Professori<br><i>Professor</i>                | Olavi Huikari          |
| Yleisinformaatio:<br><i>General information:</i>                | Tiedotuspäällikkö<br><i>Information Chief</i> | Tuomas Heiramo         |
| Julkaisujen jakelu:<br><i>Distribution of<br/>publications:</i> | Kirjastonhoitaja<br><i>Librarian</i>          | Liisa Ikävalko-Ahvonon |
| Julkaisujen toimitus:<br><i>Editorial office:</i>               | Toimittaja<br><i>Editor</i>                   | Seppo Oja              |

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

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

## FOLIA FORESTALIA 500

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1982

---

Tarja Björklund ja Ari Ferm

### PIENIKOKOISEN KOIVUN JA HARMAALEPÄN BIOMASSA JA TEKNISET OMINAISUUDET

Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder

Alunperin Folia For. 500:na julkaistavaksi aiottu käsikirjoitus, "Puu energiaraaka-aineena — Kokoussitelmät", jäi erilaisten vaikeuksien vuoksi julkaisematta. Metsäntutkimuslaitoksen kirjastossa ja Helsingin yliopiston Metsäkirjastossa säilytetään käsikirjoituskappaleita, joiden otsikkona on "PERA-symposio 3.—4.3.1981, kokoussitelmät" ja joihin on koottu aiheeseen liittyvät artikkelit ja lyhennelmät.

*The papers originally for Folia For. 500 "Wood as energy source. — Symposium papers" have for various reasons not been published. However, these manuscripts have been placed in the Libraries of the Finnish Forest Research Institute and the Forest Library of the University of Helsinki.*

BJÖRKLUND, T. & FERM, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomass ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. *Folia For.* 500:1—37.

Tutkimuksessa selvitettiin tiheiden, keskimäärin kymmenvuotiaiden koivumetsiköiden ja kahdeksanvuotiaiden harmaaleppämetsiköiden runko- ja oksamassan määrää sekä puuteknisiä ominaisuuksia. Koemetsiköt (9 kpl) sijaitsivat Keski-Pohjanmaalla. Koivumetsiköiden kasvualustana oli pääosin turvemaa ja leppämetsiköiden kasvualustana oli kivennäismaa.

Koivumetsiköiden (pääosin hieskoivu) runko- ja oksamassa oli keskimäärin 40 t/ha, josta runkopuuta oli 64 %, rungon kuorta 13 % ja oksia 22 %. Rinnankorkeuslämpimittaan perustuvat kuivamassayhtälöt toimivat suhteellisen hyvin metsikkökohtaisia kuivamassoja määritettäessä. Keskimääräinen vuotuinen tuotos ilman luonnonpoistumaa oli 4,0 t/ha/v, mikä on varsin korkea arvo ja antanee mielikuvaa vastaavanlaisten tiheiden koivumetsiköiden tuotospotentiaalista, vaikkakin kyseessä on ehdottomasti yksittäistapaukset. Kasvupaikan ravinteisuudella ja puustojen vesasyntyisyydellä on epäilemättä oma osuutensa korkeahkoihin tuotosarvoihin jo näin nuorella iällä.

Harmaalepiköissä oli runko- ja oksamassa keskimäärin 34 t/ha, josta runkopuuta oli 58 %, rungon kuorta 16 % ja oksia 19 %; lopun ollessa kuollutta ainesta. Keskimääräinen vuotuinen tuotos, 4,7 t/ha/v on yhdenmukainen monien muiden tutkimuksien kanssa, joissa on havaittu leppämetsiköiden suuri tuotoskyky.

Puuteknisten ominaisuuksien selvittämiseksi otettiin rungoista kiekko- ja oksanäytteitä. Laboratoriossa mitattiin kaikkiaan 1 143 kiekkoa yhteensä 159:stä puusta sekä lisäksi oksanäytteitä kaikista puista.

Keskimääräiseksi runkopuun puuaineen kuiva-tuoretiheydeksi saatiin koivulla 442 kg/m<sup>3</sup> ja harmaalepällä 353 kg/m<sup>3</sup>. Näin ollen koivun puuaine oli n. 30 % tiheämpää kuin lepän. Oksien puuaine oli koivulla n. 50 kg/m<sup>3</sup> ja harmaalepällä n. 30 kg/m<sup>3</sup> tiheämpää kuin runkopuu.

Puuaineen kosteussuhde oli harmaalepällä n. 20 prosenttiyksikköä suurempi kuin koivulla sekä runkopuussa että oksissa. Molemmilla puulajeilla se oli korkeampi runkopuussa kuin oksissa.

Kuoren osuus kuivasta massasta oli molemmilla puulajeilla suurempi oksissa (34...39 %) kuin runkopuussa (21...22 %). Erot puulajien välillä olivat pieniä.

Keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys runkopuussa oli koivulla 502 kg/m<sup>3</sup> ja harmaalepällä 390 kg/m<sup>3</sup>. Harmaalepällä oksien kuori oli n. 30 kg/m<sup>3</sup> tiheämpää kuin runkopuun kuori. Koivulla ero oli pieni.

Koivun kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli n. 100 kg/m<sup>3</sup> suurempi kuin harmaalepän sekä runkopuussa että oksissa. Molemmilla puulajeilla oksien kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli n. 40 kg/m<sup>3</sup> korkeampi kuin runkopuun.

The stem and branch biomass and technical properties of dense, ten-year-old birch and eight-year-old grey alder (*Alnus incana*) thickets were studied. The stands were located in Middle Ostrobothnia (ca. 64° N lat.). The growing site of the birch stands was mainly peatland and that of grey alder mineral soil.

The biomass of the birch stands (mainly *Betula pubescens*) was 40 t/ha on average. The proportion of stem wood was 64 %, stem bark 13 % and branches 22 %. The dry mass equations based on breast height diameters functioned quite well for determining the dry mass of the stands. The mean annual increment without natural loss was 4,0 t/ha/yr, which is high and illustrates the yield potential of dense birch thickets, although it is only individual cases that are in question here. The nutritional condition of the stands and the sprout origin of the trees undoubtedly contributed to these yield figures.

The biomass of the grey alder stands was 34 t/ha on average. The proportion of stem wood was 58 %, stem bark 16 % and branches 19 %; the rest was necromass. The mean annual increment was 4,7 t/ha, which concurs with many other observations of the high yield potential of alder stands.

Disk and knot samples were taken from stems to determine the technical properties. A total of 1 143 disks from 159 trees and additionally knot samples from all the trees were measured in the laboratory.

The stemwood basic density was 442 kg/m<sup>3</sup> for birch wood and 353 kg/m<sup>3</sup> for grey alder wood. Thus, birch wood was 30 % denser than alder. The branch wood of birch was about 50 kg/m<sup>3</sup> and that of grey alder about 30 kg/m<sup>3</sup> denser than the stemwood.

The moisture content of both the stemwood and branches of grey alder was about 20 % higher than that of birch wood. For both species it was higher in stemwood than in the branches.

The bark dry weight percentage was higher for the branches (34...39 %) than for the stemwood (21...22 %) in both species. The differences between the species were small.

The average basic density of stemwood bark was 502 kg/m<sup>3</sup> for birch and 390 kg/m<sup>3</sup> for grey alder. The bark of grey alder branches was about 30 kg/m<sup>3</sup> denser. The difference was small for birch.

The basic density of birch wood and bark was about 100 kg/m<sup>3</sup> greater than that of grey alder both in stemwood and in branches. In both species of wood the basic density of the branches was 40 kg/m<sup>3</sup> greater than that of the stemwood.

ODC 537+812+176.1 *Betula*+176.1 *Alnus incana*

ISBN 951-40-0598-8

ISSN 0015-5543

Helsinki 1982. Valtion painatuskeskus

## SISÄLLYS

|   |    |
|---|----|
| 1. JOHDANTO .....                                     | 5  |
| 2. AINEISTO JA MENETELMÄT .....                       | 6  |
| 21. Tutkimusmetsiköt .....                            | 6  |
| 22. Koepuumittaukset .....                            | 6  |
| 23. Laboratoriomittaukset .....                       | 7  |
| 24. Kuivamassan laskenta .....                        | 7  |
| 25. Puuteknisten tunnusten laskenta .....             | 8  |
| 3. KUIVAMASSAYHTÄLÖT .....                            | 9  |
| 4. RUNGON PUUAINEEN JA KUOREN SEKÄ OKSIEN MÄÄRÄ ..... | 9  |
| 5. KOKONAISTUOTOS .....                               | 12 |
| 51. Hieskoivu .....                                   | 12 |
| 52. Harmaaleppä .....                                 | 13 |
| 6. LEHTIPUUKASVATUKSEEN LIITTYVIÄ NÄKÖKOHTIA .....    | 14 |
| 7. RUNKOPUUN PUUTEKNISET OMINAISUUDET .....           | 16 |
| 71. Puuaineen kuiva-tuoretiheys .....                 | 16 |
| 72. Puuaineen kosteussuhde .....                      | 17 |
| 73. Kuoren osuus ja paksuus .....                     | 17 |
| 74. Kuoren kuiva-tuoretiheys .....                    | 22 |
| 75. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys .....               | 23 |
| 76. Kuorellinen tuoretiheys .....                     | 24 |
| 77. Suhteellinen epäpyöreys .....                     | 25 |
| 8. OKSIEN PUUTEKNISET OMINAISUUDET .....              | 28 |
| 81. Puuaineen kuiva-tuoretiheys .....                 | 28 |
| 82. Puuaineen kosteussuhde .....                      | 28 |
| 83. Kuoren osuus .....                                | 29 |
| 84. Kuoren kuiva-tuoretiheys .....                    | 30 |
| 85. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys .....               | 30 |
| 86. Kuorellinen tuoretiheys .....                     | 30 |
| 9. TULOSTEN TARKASTELUA .....                         | 31 |
| KIRJALLISUUTTA .....                                  | 34 |

## SYMBOLIT — SYMBOLS

|   |   |
|---|---|
| <p>d = Rinnankorkeusläpimitta, mm<br/><i>Breast height diameter, mm</i></p> <p>E = Puulajivalemuuttuja<br/><i>Tree species dummy variable</i><br/>E = 0 hieskoivu (<i>Betula pubescens</i>)<br/>E = 1 rauduskoivu (<i>Betula pendula</i>)</p> <p>h = Puun pituus, dm<br/><i>Tree height, dm</i></p> <p>N = Koepuiden lukumäärä<br/><i>Number of sample trees</i></p> <p>R<sup>2</sup> = Selityssaste, %<br/><i>Degree of determination, %</i></p> <p>s = Keskihajonta, jäännöshajonta<br/><i>Standard deviation</i></p> | <p>t = Kaatoleikkausikä, vuotta<br/><i>Age at stump level, years</i><br/>t-arvo (testissä)<br/><i>t-value (in testing)</i></p> <p>V = Variaatiokerroin, %<br/><i>Variation coefficient, %</i></p> <p>w = Rungon kasvunopeus, mm/a (vuosiluston keskileveys rinnantasalla)<br/><i>Growth rate of the stem, mm/a (average ring width at breast height)</i></p> <p>z = Suhteellinen korkeus, % (100 · kiekon etäisyys tyvestä/puun pituus)<br/><i>Relative height, % (distance of the disk from the bottom/ tree height)</i></p> |
|---|---|

## 1. JOHDANTO

Maailmassa on viime vuosina julkaistu runsaasti puubiomassaa käsitteleviä tutkimuksia: esim. Youngin (1976) mukaan biomassakirjallisuus nelinkertaistui vuosina 1971...77. Myös myöhemmät bibliografiat todistavat kiinnostuksen jatkumisesta (Stanek ja State 1978, Herman 1978, Hitchcock ja McDonnell 1979). Parde (1980) näkee tämän johtuvan lähinnä kolmesta tekijästä:

1960-luvulla havaittiin, että massateollisuuden olisi tarkoituksenmukaista tehdä raaka-ainehankintansa mieluummin kuivamassaa kuin tilavuutta mittayksikkönä käyttäen.

Samoihin aikoihin kiinnostuttiin kaikkialla maailmassa metsäekosysteemien biologisista tuotavuustutkimuksista ja vuonna 1963 sai ”Kansainvälinen biologinen ohjelma (IBP)” alkunsa.

Uudistuvan luonnonvaran, puun hyödyntämisen energiaksi ja erilaisiksi kemiallisiksi tuotteiksi tuli ajankohtaiseksi ns. öljykriisin vuoksi. Erilaiset energia-arvioinnit, vertailut ja ennustukset ovat puun osalta mielekkäitä kuiva-ainetta apuna käyttäen.

Parde (1980) lainaa kuuluisaa saksalaista tutkijaa Hartigia, joka jo vuonna 1888 oli sitä mieltä, että kuiva-aineen määrittäminen on puutieteellisissä mittauksissa tärkeätä, sillä kuivamassa vaikuttaa puun lämpöarvoon ja moniin muihin tekniisiin ominaisuuksiin. Näin saadaan valaisua myös niihin luonnonlakeihin, jotka hallitsevat orgaanisen aineksen tuotantoa.

Maassamme on viime aikoina yhä korostetummin puhuttu lehtipuiden kasvattamisesta lyhyehköillä kiertoajoilla joko massapuuksi tai energiapuuksi (Energiametsätöimikunnan mietintö I 1979 ja II 1980, Saramäki 1981). Vuokilan (1980) mukaan puoli-pitkän kiertoajan periaatetta voidaan perustelluimmin soveltaa turvemaille kasvavissa hieskoivikoissa. Ne eivät tule saavuttamaan vanerikoivun vähimmäiskokoa, josta syystä energiapuun tuottaminen lyhyehkön kiertoajan puitteissa voi olla harkinnan arvoinen tavoite. Metsätalouskomitean osamietintö II:ssä (1981) ehdotetaan, että eräissä tapauksissa saattaa olla taloudellisesti tarkoituksenmukaista suorittaa yksityismetsälain 2 pykälän

mukainen uudistushakkuu nuoressakin metsässä, jonka edelleen kasvattaminen ei ole esimerkiksi puuston energiakäyttömahdollisuuden vuoksi kannattavaa.

Suomessa lehtipuuvaltaisia metsiä on tällä hetkellä metsämaalla yli 1,5 milj. ha (Kuusela 1978). Pääosa on koivikoita, joita pelkätään ojitetuilla turvemaille on vähintään 700 000 ha (Keltikangas ja Seppälä 1977). Lisäksi lehtipuustoja on alueilla, joita ei valtakunnan metsien inventoinnissa lueta metsätalouden maahan kuuluvaksi: teiden ja vesireittien reunavyöhykkeillä, maatalouden jättömaalla yms. (Tiihonen ja Virtanen 1982).

Nuorten ja tiheiden lehtipuustojen — jollaisia puustojen tulee lyhyillä kiertoajoilla olla — alkukehityksestä, tuotoksesta ja koostumuksesta on maassamme tehty tutkimuksia vain niukalti. Ensimmäisiä tietoja lehtipienpuuston biomassan (runko- ja oksapuu) jakautumisesta ja määrästä antoivat Hakkila ym. (1975). Myöhemmin Simola (1977) julkaisi tuloksia hieskoivu-, harmaaleppä- ja haapapienpuiden maanpäällisistä osista. Mitätaamiaan tilapäiskoealoja ja Simolan massayhtälöitä apuna käyttäen Issakainen (1980, 1982) hahmotteli Pohjois-Pohjanmaan ravinteisille maille, lähinnä turvemaille syntyneiden lehtipuumetsiköiden kokonaistuotantoa. Lisäksi mainittakoon Nygrenin (1981) tekemä opinnäytetyö, jossa tarkasteltiin hyvin tiheiden, 7...12-vuotiaiden koivikoiden kuiva-ainetuotantoa ja sen jakautumista. Suurempia puita koskevia tuloksia ovat esittäneet mm. Mälkönen (1977) sekä pelkästä runkopuusta Hakkila (1979).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on antaa valaistusta seuraaviin kysymyksiin:

- 1) Mikä on nuorten ja erittäin tiheiden, lähinnä turvemaille syntyneiden koivikoiden ja lepi- köiden runko- ja oksapuun määrä puu- ja metsikkötasolla?
- 2) Koska kyseessä ovat vähän ainespuuta sisältävät puustot, kiinnostus kohdistuu puiden kuivamassan määrään sekä miten metsiköiden kuivamassa on määritettävissä ja millaisia puustotunnuksia tässä tarvitaan.
- 3) Mitkä ovat mainittujen puustojen puutekniset ominaisuudet?

Tässä tutkimuksessa biomassalla tarkoitetaan kaikkea puun kantoleikkauksen yläpuolella olevaa puu- ja kuoriainesta.

Tekijöiden kesken työ jakautui siten, että suونتutkimusosasto (Ferm) huolehti aineiston keräyksestä ja metsäteknologian tutkimusosasto (Björklund) sen laboratoriotutkimuksesta. Ferm kirjoitti alustavan käsikirjoituksen biomassan määrästä ja metsänhoidollisista näkökohdista sekä Björklund puuteknisistä ominaisuuksista. Lopullinen työ tarkistettiin yhdessä.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 21. Tutkimusmetsiköt

Tutkimusmetsiköiksi valittiin riittävän laajoja ja tiheitä, käsittelemättömiä metsiköitä Keski-Pohjanmaalta (kuva 1). Metsiköiden runkoluku vaihteli välillä 14 000...97 000 kpl/ha. Metsiköistä oli 6 turvemaan hieskoivikoita, 2 kivennäismaan lepiköitä ja 1 kivennäismaan lehtisekametsikkö. Metsikkötunnukset on esitetty taulukossa 1. Turvemaan metsiköt (1, 2, 3, 5, 6 ja 7) olivat pääosin RhSR muuttumia tai vastaavia turvekankaita, metsikkö 4 kivinen VMT sekä metsiköt 8 ja 9 syntyneet lähes paljaalle kivennäismaalle. Turpeen paksuus vaihteli ohutturpeisesta n. 30 cm:sta (metsiköt 1, 2 ja 3) hieman paksumpaan 70 cm:iin (metsiköt 5, 6 ja 7). Kaikki turvemaan metsiköt olivat suurelta osin vesasyntyisiä.

Metsiköihin sijoitettiin mittauksia varten 1...3 näytealaa, joiden koko oli 100...250 m<sup>2</sup>. Koska käytettävien koealakoolla puita luettiin koealaa kohti useita satoja, suurempien koealojen käyttö olisi ollut liian hidasta. Hyvin tiheissä metsiköissä voitaneen ottaa pienempiä koealoja kuin harvemmissä metsiköissä, sillä metsiköiden rakenteen homogeenisuus tasaa kasvupaikasta ja pienestä metsikköalasta johtuvaa heterogeenisuutta (Ford ja Newbould 1970). Esimerkiksi Baskerville (1965) mitoitti koealokokonsa metsikön runkoluvun mukaan ja kun runkoluku oli 12 000 kpl/ha, oli koealakoko 20 m<sup>2</sup>. Smithin (1975) mukaan useisiin tarkoituksiin sopiva koealakoko lienee 40 m<sup>2</sup>. Koealan pienenus saattaa vääristää esim. metsikön kasvuarvioita siten, että vähäpuustoisten metsiköiden kasvu tulee aliarvioiduksi ja runsaspuustoisten metsiköiden kasvu yliarvioiduksi (Nyyssönen ja Mielikäinen 1978). Youngin (1973) mukaan silmämääräisesti homogeenisissa metsiköissä oli suurta vaihtelua metsikön kokonaismassassa, jonka vuoksi tällaisten metsiköiden biomassa tulisi arvioida mieluummin lisäämällä koealojen määrää kuin koealokokoa.

### 22. Koepuumittaukset

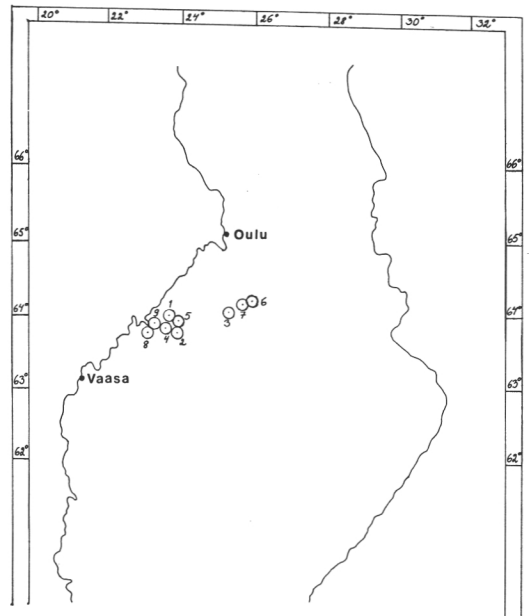
Metsiköiden runko- ja oksapuun massa arvioitiin käyttäen ositetun koepuuotannan menetelmää monien muiden biomassatutkimusten tavoin (esim. Kira ja Shidei 1967, Whittaker ja Woodwell 1968, 1971, Satou 1970, Ribe 1979). Metsikön eri massaositteiden (runko-puu, oksat jne) arvioimiseksi kaadettiin erikokoisia koepuita, jotka kattoivat koko metsikön runkolukusarjan.

Näytealoilta luettiin aluksi kaikki puut. Koepuita valittiin satunnaisesti 8...22 kpl metsikköä kohti siten, että

Kenttäaineiston keräykseen osallistivat Olavi Kohal, Jaakko Miettinen ja Tiina Säätelä. Laboratoriotyöt teki Leena Kunnari. Atk-kirjoituksesta vastasi Aune Rytkönen ja piirroksista Leena Muronranta. Biomassayhtälöiden laadinnassa avusti Jaakko Heinonen. Hän johti myös yhtälöt varianssin ja variaatiokertoimen laskemista varten. Oikoluvussa avustivat Pirkko Kinanen ja Raija Siekkinen. Metsäntutkimuslaitosta varten työn lukivat Eero Paavilainen ja Matti Kärkkäinen, joka myös opasti puutieteellisten regressiomallien valinnassa. Kiitämme saamastamme tuesta.

jokaista 1 cm:n läpimittaluokkaa edusti ainakin yksi puu. Cunia (1979) tosin ei ole tällaisen menetelmän satunnaisuudesta täysin vakuuttunut. Aikoinaan vastaavanlaisissa tutkimuksissa kaadettiin jopa satoja puita (Ovington 1957), mutta viime aikoina koepuumäärät ovat vähentyneet 30:een (Ribe 1979) tai jopa 10:een (Koeper ja Richardson 1980) riippuen puulajien lukumäärästä ja metsiköiden homogeenisuudesta.

Koepuut kaadettiin 5...10 cm:n kantoon. Läpimitta-, pituus- ja latvusmittausten jälkeen katkottiin oksat, jotka punnittiin tuoreena siirtopainovaa'alla 10 g:n tarkkuudella. Elävät ja kuolleet oksat punnittiin erikseen. Oksista otettiin satunnaisesti näytteet (pituus alle 1,5 m ja yli 1,5 m) kuivamassa- ja muita mittauksia varten. Myös haaroista tehtiin erilliset mittaukset. Tutkimusmetsiköissä oli etenkin hieskoivuilla haaroja verrattain runsaasti kuten yleensäkin (Heiskanen 1957). Puiden ja metsikön kokonaismassaa määritettäessä haarat laskettiin oksiksi.



Kuva 1. Tutkimusmetsiköiden sijainti.  
Fig. 1. Location of the stands.



Taulukko 1. Metsiköiden puustotunnukset. Ikä, läpimitta ja pituus olivat pohjapinta-alalla painotettuja keskiarvoja.

Table 1. Tree characteristics of the stands. Age, diameter and height were averages weighted by basal area.

Koivumetsiköt — Birch stands

| Met-sikkö<br>Stand | Runkoluku<br>No. of stems/ha | Pohjapinta-ala<br>Basal area<br>m <sup>2</sup> /ha | Ikä<br>Age<br>a | d <sub>1,3</sub><br>cm | Pituus<br>Height<br>m | Latvussuhde<br>Crown<br>ratio % | Puulaji-<br>suhteet,<br>Species, % |
|--------------------|------------------------------|--|-----------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1                  | 22 700                       | 21,0   | 11              | 5,8                    | 6,9                   | 75                              | Hko 90,<br>Pa 10                   |
| 2                  | 32 700                       | 8,6  | 12              | 4,8                    | 6,3                   | 68                              | Hko 60,<br>Pa 40                   |
| 3                  | 36 800                       | 18,8   | 11              | 4,0                    | 6,3                   | 60                              | Hko 100                            |
| 4                  | 25 600                       | 15,4   | 9               | 4,6                    | 6,4                   | 59                              | Hko 50,<br>Le 20,<br>Ha 30         |
| 5                  | 20 900                       | 18,8   | 10              | 5,3                    | 7,7                   | 60                              | Hko 100                            |
| 6                  | 41 100                       | 13,3   | 7               | 4,0                    | 6,0                   | 65                              | Hko 30,<br>Rko 60,<br>Pa 10        |
| 7                  | 14 100                       | 15,1   | 10              | 5,0                    | 7,3                   | 62                              | Hko 100                            |

Leppämetsiköt — Grey alder stands

|                        |        |      |   |     |     |    |                  |
|------------------------|--------|------|---|-----|-----|----|------------------|
| 8<br>(elävät — living) | 39 300 | 21,4 | 8 | 3,6 | 5,7 | 47 | Le 100           |
| 8<br>(kuolleet — dead) | 58 600 | 5,8  | 4 | 1,4 | 2,7 | —  | Le 100           |
| 9                      | 51 200 | 14,2 | 6 | 2,9 | 4,6 | 57 | Le 80,<br>Hko 20 |

Puulajit — Species

Hko = hieskoivu (*Betula pubescens* Ehrh.)

Pa = paju (*Salix* spp.)

Le = harmaa-leppä (*Alnus incana* L.)

Ha = haapa (*Populus tremula* L.)

Rko = rauduskoivu (*Betula pendula* Roth)

Rungot katkottiin yhden metrin pätkiin, jotka punnittiin kukin erikseen. Jokaisen pätkän tyvestä sekä rinnankorkeudelta otettiin n. 5 cm pituinen kiekko kosteus- ja muita puuteknisiä mittauksia varten. Oksa- ja runkonäytteet säilytettiin tiiviissä muovipusseissa haihtumisen estämiseksi. Kaikki metsiköt mitattiin lehdeettömänä aikana loka—marraskuussa vuonna 1980.

## 23. Laboratoriomittaukset

Rungosta määrävällein sahatut kiekot ja oksanäytteet kuljetettiin muovipusseihin suljettuna kylmävarastoon, jossa ne säilytettiin  $-2...+4$  °C lämpötilassa laboratorioskäsitelyyn saakka. Runkokiekoista mitattiin ennen kuorintaa kuorellinen tuoremassa, suurin ja sitä vasten kohtisuora läpimitta sekä tilavuus veteenupotusmenetelmällä. Kuorinnan jälkeen mitattiin puun ja kuoren massa, em. läpimitat sekä kuorettoman kiekon tilavuus. Lopuksi puu ja kuori kuivattiin lämpökaapissa ja kuivamassa punnittiin. Kuivattu kiekko vielä lopuksi hiottiin ja siitä todettiin vuosilustojen lukumäärä. Näistä mittaustiedoista voitiin laskea mm. puun, kuoren ja kuorellisen puun tuoretiheys ja kuiva-tuoretiheys, puun, kuoren ja kuorellisen puun kosteussuhde, kuoren osuus tilavuudesta sekä tuoreesta tai kuivasta massasta, keskimääräinen vuosiluston leveys, epäpyöreystunnus ja jne.

Maastossa oli oksanäytteet otettu pituudeltaan alle 1,5 ja yli 1,5 m oksista. Oksanäytteet jaoteltiin laboratoriossa kahteen osaan, läpimitaltaan yli 3 mm ja alle 3 mm. Edellisestä jakeesta määritettiin puun ja kuoren tunnuksot erikseen, jälkimmäisestä vain yhdessä, koska ohuen näytteen kuoriminen olisi ollut kohtuuttoman hankalaa saatua tietoon nähdän. Mitatut ominaisuudet olivat läpimittoja lukuunottamatta samat kuin kiekkojen ollessa kyseessä, ts. oksista saatiin selvitettyksi ainakin yli 3 mm jakeen puun, kuoren ja kuorellisen puun tuoretiheys ja kuiva-tuoretiheys, vastaavat kosteussuhteet sekä eri tavoin määritellyt kuoren osuudet. Tuloksia käsiteltäessä jakeita ei eroteltu, koska niiden antamat tulokset olivat samaa suuruusluokkaa.

Laboratoriossa kiekkoja mitattiin kaikkiaan 1 143 yhteensä 159:stä puusta. Oksanäytteitä alle 1,5 m pituisista oksista oli saman verran kuin runkoja (159). Näytteitä pidemmistä oksista oli 98:sta puusta.

## 24. Kuivamassan laskenta

Koepuiden runkopuun ja oksien tuoremassat määritettiin laskemalla yhteen maastossa punnittujen runkopätkien ja oksien tuoremassat. Runkopuun kuivamassa taas määritettiin näytekiekkojen kuivamassa ja tuoremassan suhdetta apuna käyttäen. Tällä muuntoluvulla painotettiin runkopätkien tuoremassa-arvoja 0,5 m:n

matkalta rungon tyveen ja latvaan päin. Samalla lailla laskettiin rungon kuoren kuivamassa. Oksien kuivamassa saatiin käyttämällä oksanäytteiden painottamatonta kuivatuoremassa-suhdetta.

Ennusteyhtälöiden laskemisessa käytettiin useiden viimeaikaisten biomassatutkimusten perustana ollutta regressiomallia, joka on muotoa:

$$(1) \text{ Massa} = \alpha X^{\beta} \epsilon$$

Malli ilmaisee jo vuosisadan tunnetun tosiasian, että kasvin kahden dimension kasvun välillä on riippuvuus

$$(2) dy/y = \alpha dx/x$$

Malli (1) on lineaarinen muodossa:

$$(3) \ln y = a + b \ln x + \epsilon;$$

missä  $a = \ln \alpha$ ,  $b = \beta$  ja  $\epsilon = \ln \eta$

Tällöin yksittäisten havaintojen hajonta on tietyssä suhteessa selittävän muuttujan suuruuteen ja siksi logaritmuunnos johtaa kaikkien selittävän muuttujan arvojen vakiohajontaan. Logaritmissen mallin käyttö aiheuttaa systemaattisen aliarvioinnin selitettävään muuttajaan (y), kun estimaatit ( $\ln y$ ) muutetaan numerusarvoiksi (ks. Baskerville 1972, Madgwick ja Satoo 1975). Tämän vääristymän korjaamiseksi on esitetty useita ratkaisuja (Meyer 1941, Finney 1941, Mountford ja Bunce 1973, Madgwick ja Satoo 1975).

Varsinaiset tuore- ja kuivamassayhtälöt metsiköiden puujoukkojen eri biomassaositteille laskettiin logaritmissen mallin (3) avulla, joissa selittävinä muuttujina olivat rinnankorkeusläpimita (d) sekä sen neliö kertaa puun pituus ( $d^2h$ ). Yhtälöt muutettiin laskennan helpottamiseksi aritmeettiseen muotoon. Samalla eksponenttimuunnoksen vaatima korjaus otettiin huomioon lisäämällä vakioon korjauskerroin  $\sigma^2/2$  epälineaariseksi muuntamista silmällä pitäen (Meyer 1941, ks. myös Nyssönen ja Mielikäinen 1978). Madgwick ja Satoo (1975) ovat tosin osoittaneet, että metsikön kokonaisbiomassaa arvioidessa logaritmissen mallin aiheuttama vääristymä on vähäinen verrattaessa metsikön sisäiseen, luonnolliseen vaihteluun. Samaa mallia on käytetty rungon puuaineen ja kuoren sekä oksien laskemiseksi, koska tällöin näiden massaositteiden yhteenlaskettavuus paranee (ks. Kozak 1970, Smith 1971). Oksien massan ennustaminen on epävarmintä. Myös kirjallisuudessa on kiinnitetty asiaan huomiota (esim. Riedacker 1971, Bouchon 1973 ja Ek 1979).

Logaritmissen mallien luotettavuuden arvioimiseksi ei selitysaste ( $R^2$ ) ole kovin hyvä, koska on vaikeata palauttaa malli alkuperäisaineistoon (Schreuder ja Swank 1971). Lisäksi laajahko läpimittavaihtelu tuottaa vaikeuksia (Whittaker ja Woodwell 1968).

Yhtälön (3) varianssin ja variaatiokerroimen laskemiseksi voidaan käyttää seuraavaa ratkaisua.

$$\text{Yhtälössä (3) odotusarvo } E(\epsilon) = 0 \text{ jolloin } E(\ln y) = a + b \ln X. \text{ Silloin } y:n \text{ odotusarvo} \\ E(y) = E(e^{\ln y}) = E(e^{a + b \ln X + \epsilon}) =$$

$$(4) e^{a + b \ln X} \cdot E(e^{\epsilon}).$$

Jos  $\epsilon$  noudattaa normaalijakaumaa  $N(0, \sigma^2)$ , on

$$(5) E(e^{\epsilon}) = e^{\sigma^2/2}$$

Jos vielä  $\epsilon$  on normaalijakautunut jokaisella  $x:n$  arvolla, saadaan lausekkeesta (4):

$$(6) E(y) = e^{a + b \ln X} \cdot e^{\sigma^2/2} = e^{a + b \ln X + \sigma^2/2}$$

Samoin oletuksilla  $y:n$  varianssi tietyllä  $x:n$  arvolla on

$$(7) \text{Var}(y) = \sigma_y^2 = E(y)^2 \cdot (e^{\sigma^2} - 1).$$

$$(8) \text{Variaatiokerroin } V = \frac{\sigma_y}{E(y)} = \sqrt{e^{\sigma^2} - 1}$$

Metsikön kuivamassan kokonaismäärän  $T = \sum_{i=1}^N y_i$  estimaatin  $\hat{T} = \sum_{i=1}^N E(y_i)$  virheen varianssi — jos  $y_i:t$  ovat riippumattomia toisistaan — on  $\sum_{i=1}^N \text{Var}(y_i)$ .

Yhtälön (7) mukaan

$$(9) \sum_{i=1}^N \text{Var}(y_i) = (e^{\sigma^2} - 1) \cdot \sum_{i=1}^N [E(y_i)]^2$$

$$(10) \text{Variaatiokerroin } V = \sqrt{e^{\sigma^2} - 1} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [E(y_i)]^2}{\sum_{i=1}^N E(y_i)^2}}$$

## 25. Puuteknisten tunnusten laskenta

Biomassayhtälöiden ratkaisulinja ei sopinut puuteellisesti kiintoisiin muuttujien ennusteyhtälöiden laadintaan, koska voitiin olettaa, että löytyisi lukuisia muitakin selittäjiä kuin rinnankorkeusläpimita tai pituus. Lisäksi tiedettiin aiemman kokemuksen perusteella, ettei tyydyttävää ennustettavuutta saataisi muuten kuin poikkeuksellisesti yhden aidon tekijän suhteen (kun aidolla tekijällä tarkoitetaan esim. läpimittaa), vaan parempia tuloksia saataisiin kuvaamalla aitoa muuttujaa sen muunnosten kautta (esim. läpimittaa voi kuvata samassa yhtälössä sen ensimmäinen ja toinen potenssi, pituuden ja läpimitan suhde, läpimita kerrottuna lanonitusta osoittavalla valemuuttujalla jne.). Kun logaritmissa mallia käyttäen on vaikea kokeilla erilaisia aitojen muuttujien kuvauksia (muunnoksia), päädyttiin puuteudessa tavanomaisen parametrien suhteen lineaarisen regressiomallin käyttöön. Tällöin on huomattava, ettei tavanomainen tilastollinen merkitsevyytarkastelu ole saman muuttujan muunnosten suhteen järkevää. Esimerkiksi jos läpimitan d vaikutusta kuvataan samassa yhtälössä termeillä  $d$ ,  $d^2$ ,  $d^3$ ,  $\ln d$ ,  $1/d$  jne., ei ole välttämättä järkevää testata kunkin muunnoksen tilastollista merkitsevyyttä, vaan voidaan tarkastella läpimitan kokonaismerkitystä ja päättää mukaan otettavien muunnosten määrä lähinnä sen mukaan, miten päästään systemaattisista ennustevirheistä. Luonnollisesti kannattaa pyrkiä riippuvuuksien mahdollisimman tauloudelliseen kuvaukseen eli kuvaukseen vähien muuttujien avulla, mutta kun kyseessä ovat saman aidon muuttujan muunnokset, perinteiset testausmenetelmät eivät ole välttämättä käyttökelpoisia.

Kiekoitain mitattuja tietoja koskevassa tutkimuksen osassa pyrittiin selvittämään pituuden suuntainen vaihtelu, ts. puuteellisten tunnusten muutos tyvestä latvaan päin. Suhteellisen pienen pituusvaihtelun vuoksi sekä esitysteknisistä syistä näytteen paikkaa kuvattiin suhteellisena etäisyytenä tyvestä (suhteellinen korkeus). Puiden välisen vaihtelun ennustamiseen käytettiin läpimittaa, pituutta, ikää ja kasvunopeutta, jota kuvattiin keskimääräisellä vuosiluston paksuudella rinnantasalla. Valikoivan regressioanalyysin muuttujapatteristossa käytettiin näitä muuttujia sellaisenaan sekä niiden toisia ja kolmansia potensseja. Lisäksi muuttujiksi määriteltiin ennalta arvioiden mahdolliset interaktiot. Esimerkiksi jos tiheyttä selitetään suhteellisen korkeuden

(z) ja rinnankorkeusläpimitan (d) avulla, malli  $y = a + b_1z + b_2d$  osoittaa, että läpimitan vaikutus on sama tarkastelukorkeudesta riippumatta. Kun voidaan kuitenkin hyvin olettaa aiemman tietämyksen perusteella, että puun latvassa läpimitan vaikutus on pienempi kuin tyvellä, kannattaa kokeilla myös termiä  $zd$ . Sen saama negatiivinen regressiokerroin osoittaisi, että läpimitan vaikutus pienenee latvaan päin.

Valikoivalla regressioanalyysillä saatuja tuloksia käytettiin lähtökohdana lopullisessa mallin kehittämisessä. Erityistä huomiota kiinnitettiin residuaalitarkasteluun, jonka vuoksi nähtiin paljon vaihua. Residuaalit tulostettiin kaikkien aitojen (muuntamattomien) muuttujien suhteen ja arvioitiin, oliko malli harhainen ja mahdollisesti parannettavissa. Uusia muunnoksia etsittiin Jensenin (1964, 1973, 1976, 1979, Jensen ja Homeyer 1970, 1971) match-a-curve-tekniikasta saatujen ideoiden mukaisesti, joskin ilmeisesti uudella tavalla. Menettelytapa oli seuraava.

Esimerkiksi jos muuttujan  $h$  suhteen tehdyssä residuaalitarkastelussa havaittiin, että sen vaihteluvälin keskivaiheilla oli selvä yli- tai aliarviointi systemaattisesti, selittäjäksi lisättiin  $h^2$ , jos kupu oli symmetrinen. Koska valikoivassa regressioanalyysissä  $h^2$  ei kuitenkaan

tullut selittäjäksi, tämä oli osoituksena siitä, että sen lisäys aiheuttaisi virheiden lisäystä muuttujan  $h$  vaihteluvälin alku- ja loppupäässä. Niinpä oli tarpeen lisätä pari lisämuunnosta, jotka vähentäisivät termin  $h^2$  vaikutusta vaihteluvälin äärialueilla. Jensenin tekniikan mukaisesti arvioitiin silmävaraisesti paraabelin kulku ja lisämuunnokset otettiin sen mukaan. Esim. jos residuaalikuvasta arvioitiin, että toisen asteen termillä korjautuva virhe poistuisi yhtälöllä  $y = 216,66 - 15,36h + 0,2581h^2$ , vaihteluvälin ääriarvolla  $h = 103$  dm aiheutuisi virhe, jonka suuruus olisi yhtälön mukaan 1372,76. Jos se poistetaan termillä  $h^n$ , saadaan yhtälöstä  $103^n = 1372,76$  eksponentin suuruudeksi 1,56. Näin ollen toisen asteen termi  $h^2$  lisäksi kannattaa ottaa samanaikaisesti termi  $h^{1,56}$  ja mahdollisesti toinenkin korjaustekijä, joka korjaa vaihteluvälin toiseen päähän syntyvän virheen.

Puittain mitattuja oksatietoja tarkasteltiin edellä kuvatulla menetelmällä, joskin selittävinä tekijöinä olivat luonnollisesti vain puukohtaiset muuttujat. Käytännöllisten sovellutusten vuoksi erityistä huomiota kiinnitettiin siihen, kuinka rinnantasalta mitattujen tietojen perusteella voidaan arvioida oksien ominaisuuksia.

### 3. KUIVAMASSAYHTÄLÖT

Taulukossa 2 on esitetty metsiköittäin hies- ja rauduskoivun sekä harmaalepän kuivamassayhtälöt rungon puuaineelle, rungon kuorelle ja oksille. Yhtälöissä on selittäjänä joko läpimita tai läpimitan neliön ja pituuden tulo. Koepuiden kuivamassat ja sitä kautta metsiköiden kuivamassa on kuitenkin laskettu yhtälöillä, joissa vain läpimita oli selittäjänä muuttujana. Puun pituushan on metsiköissä rinnankorkeusläpimitan funktio eikä tekijä  $d^2h$  tuonut malleihin mitään lisäselitystä (ks. myös Satoo 1970). Samanlaisen tuloksen on saanut mm. Payandeh (1981) eräällä koivulajilla. Monet biomassatutkimukset, erityisesti Crow (1978) sekä Green ja Grigal (1978), ovat osoittaneet puun massan vähäisen riippuvuuden puun pituudesta eri

alueilla. Massa on enimmäkseen läpimitan funktio.

Yhtälöiden variaatiokertoimet hieskoivun rungon puuaineelle olivat 10...51 % ja oksille 16...64 %. Rauduskoivulle ja harmaalepälle olivat variaatiokertoimet samansuuntaisia. Mitä pienempi oli koepuiden läpimitavaihtelu, sitä pienempiä olivat myös variaatiokertoimet.

Kun yksittäisten hieskoivumetsiköiden kuivamassat laskettiin muiden metsiköiden kuivamassayhtälöillä, oli suhteellinen ero kuorelliselle runkopuulle —33... + 18 % sekä oksapuulle —19... + 24 %. Koko aineistosta muodostetuilla yhtälöillä päästiin runkopuulla eroihin —6... + 11 % sekä oksapuulla —14... + 11 %.

### 4. RUNGON PUUAINEEN JA KUOREN SEKÄ OKSIEN MÄÄRÄ

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty tutkittujen metsiköiden kuiva-aineen määrä ja koostumus. Näiden kokonaismääräestimaattien luotettavuudesta antaa käsityksen taulukko 3, jossa esitetyt rungon puuaineen variaatiokertoimet pysyttelevät enimmäkseen alle 10 % tasolla.

Rungon kuoren variaatiokertoimet olivat samaa luokkaa, mutta oksamassan suurempia.

Massayhtälöiden toimivuutta metsikköarvioinnissa tarkasteltiin myös siten, että kahdella näytealalla kaadettiin koko puusto ja se punnittiin. Tulosta verrattiin koepuuai-

Taulukko 2. Hieskoivun, rauduskoivun ja harmaalepän kuivamassayhtälöt.  $Y = 0,01 \text{ kg}$ ,  $d = \text{rin-}$   
nankorkeusläpimitta (mm) ja  $h = \text{pituus (dm)}$ .

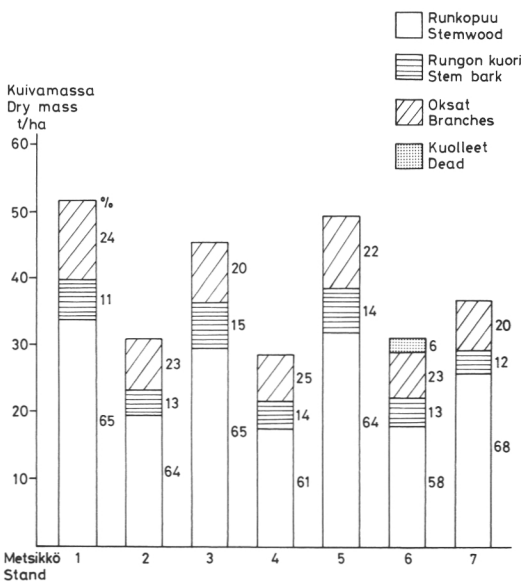
Table 2. Dry mass equations of white birch, silver birch and grey alder.  $Y = \text{mass in } 0,01 \text{ kg}$ ,  $d =$   
diameter at breast height (mm),  $h = \text{height (dm)}$

| Metsikkö<br>Stand  | N  | $\alpha$ | X:d<br>$\beta$ | $R^2$<br>% | V %  | $\alpha$ | X:d <sup>2</sup> h<br>$\beta$ | $R^2$<br>% | V %  |
|--|----|----------|----------------|------------|------|----------|-------------------------------|------------|------|
| <b>Hieskoivun runkopuu — Stemwood of white birch</b>         |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| 1  | 10 | 0,0573   | 2,196          | 99         | 16,8 | 0,0084   | 0,869                         | 99         | 12,3 |
| 2  | 10 | 0,1957   | 1,841          | 93         | 47,7 | 0,0447   | 0,723                         | 93         | 49,4 |
| 3  | 14 | 0,0678   | 2,168          | 99         | 15,0 | 0,0072   | 0,887                         | 99         | 14,7 |
| 4  | 7  | 0,0435   | 2,249          | 99         | 9,0  | 0,0079   | 0,869                         | 99         | 9,9  |
| 5  | 22 | 0,1792   | 1,907          | 99         | 28,3 | 0,0311   | 0,759                         | 99         | 25,2 |
| 6  | 9  | 0,2474   | 1,777          | 98         | 26,8 | 0,0544   | 0,701                         | 98         | 25,4 |
| 7  | 10 | 0,1890   | 1,903          | 94         | 11,0 | 0,0100   | 0,854                         | 95         | 9,5  |
| Kaikki   | 82 | 0,1437   | 1,953          | 97         | 27,3 | 0,0251   | 0,776                         | 98         | 26,0 |
| All  |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| <b>Hieskoivun rungon kuori — Stem bark of white birch</b>    |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| 1  | 10 | 0,0519   | 1,768          | 99         | 12,4 | 0,0112   | 0,698                         | 99         | 11,4 |
| 2  | 10 | 0,0557   | 1,745          | 92         | 51,6 | 0,0140   | 0,684                         | 91         | 53,9 |
| 3  | 14 | 0,0566   | 1,809          | 97         | 21,2 | 0,0083   | 0,744                         | 97         | 18,4 |
| 4  | 7  | 0,0291   | 1,938          | 99         | 7,0  | 0,0067   | 0,748                         | 99         | 6,7  |
| 5  | 22 | 0,2161   | 1,455          | 95         | 40,0 | 0,0568   | 0,579                         | 95         | 38,7 |
| 6  | 9  | 0,0840   | 1,662          | 98         | 23,1 | 0,0202   | 0,656                         | 98         | 21,2 |
| 7  | 10 | 0,0528   | 1,788          | 94         | 9,8  | 0,0039   | 0,789                         | 93         | 11,0 |
| Kaikki   | 82 | 0,1104   | 1,603          | 94         | 33,7 | 0,0262   | 0,637                         | 95         | 32,3 |
| All  |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| <b>Hieskoivun oksat — Branches of white birch</b>            |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| 1  | 10 | 0,0145   | 2,296          | 92         | 54,7 | 0,0022   | 0,900                         | 90         | 59,7 |
| 2  | 10 | 0,0515   | 1,932          | 91         | 64,4 | 0,0110   | 0,758                         | 90         | 66,3 |
| 3  | 14 | 0,0021   | 2,784          | 96         | 34,7 | 0,0001   | 1,126                         | 94         | 44,3 |
| 4  | 7  | 0,0154   | 2,267          | 99         | 16,0 | 0,0028   | 0,875                         | 97         | 17,8 |
| 5  | 22 | 0,0983   | 1,784          | 95         | 47,9 | 0,0192   | 0,710                         | 96         | 46,7 |
| 6  | 9  | 0,0687   | 1,882          | 94         | 49,3 | 0,0139   | 0,742                         | 94         | 49,2 |
| 7  | 10 | 0,0118   | 2,308          | 81         | 25,2 | 0,0003   | 1,042                         | 83         | 23,6 |
| Kaikki   | 82 | 0,0455   | 1,979          | 92         | 51,0 | 0,0081   | 0,783                         | 92         | 52,9 |
| All  |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| <b>Rauduskoivun runkopuu — Stemwood of silver birch</b>      |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| 6  | 7  | 0,3461   | 1,722          | 97         | 30,7 | 0,0626   | 0,682                         | 97         | 33,2 |
| <b>Rauduskoivun rungon kuori — Stem bark of silver birch</b> |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| 6  | 7  | 0,0680   | 1,715          | 97         | 35,1 | 0,0155   | 0,679                         | 96         | 37,6 |
| <b>Rauduskoivun oksat — Branches of silver birch</b>         |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| 6  | 7  | 0,1181   | 1,711          | 93         | 48,3 | 0,0279   | 0,675                         | 93         | 53,2 |
| <b>Harmaalepän runkopuu — Stemwood of grey alder</b>         |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| 4  | 8  | 0,0244   | 2,356          | 99         | 10,3 | 0,0065   | 0,880                         | 99         | 5,9  |
| 8  | 13 | 0,0429   | 2,192          | 99         | 14,8 | 0,0051   | 0,891                         | 99         | 11,8 |
| 9  | 12 | 0,0786   | 2,031          | 99         | 17,9 | 0,0123   | 0,826                         | 99         | 20,8 |
| Kaikki   | 33 | 0,0549   | 2,135          | 99         | 17,7 | 0,0095   | 0,844                         | 99         | 16,7 |
| All  |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| <b>Harmaalepän rungon kuori — Stem bark of grey alder</b>    |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| 4  | 8  | 0,0639   | 1,687          | 99         | 10,2 | 0,0250   | 0,629                         | 99         | 10,7 |
| 8  | 13 | 0,0425   | 1,806          | 98         | 17,5 | 0,0072   | 0,735                         | 98         | 14,6 |
| 9  | 12 | 0,1397   | 1,452          | 97         | 25,1 | 0,0373   | 0,590                         | 97         | 26,5 |
| Kaikki   | 33 | 0,0884   | 1,604          | 97         | 21,9 | 0,0237   | 0,634                         | 97         | 21,2 |
| All  |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| <b>Harmaalepän oksat — Branches of grey alder</b>            |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |
| 4  | 8  | 0,0069   | 2,367          | 94         | 50,6 | 0,0020   | 0,879                         | 93         | 55,1 |
| 8  | 13 | 0,0024   | 2,613          | 91         | 56,3 | 0,0003   | 1,035                         | 86         | 70,2 |
| 9  | 12 | 0,0250   | 2,021          | 91         | 66,1 | 0,0041   | 0,819                         | 90         | 70,1 |
| Kaikki   | 33 | 0,0121   | 2,209          | 91         | 59,7 | 0,0023   | 0,864                         | 89         | 66,7 |
| All  |    |          |                |            |      |          |                               |            |      |

Taulukko 3. Hieskoivun ja harmaalepän metsikkökohtainen runko- ja oksamassa kuivana ja estimaattien keskihajonnat (s) sekä variaatiokerroimet (V).

Table 3. Dry mass of white birch and grey alder in the stands, and the residual standard deviations (s) and variation coefficients (V).

| Metsikkö<br>Stand               | Runkopuu,<br>Stemwood, |         |        | Rungon kuori<br>Stem bark |         |        | Oksat<br>Branches    |         |        |
|---------------------------------|------------------------|---------|--------|---------------------------|---------|--------|----------------------|---------|--------|
|                                 | Massa,<br>Mass<br>kg   | s<br>kg | V<br>% | Massa,<br>Mass<br>kg      | s<br>kg | V<br>% | Massa,<br>Mass<br>kg | s<br>kg | V<br>% |
| <b>Hieskoivu — White birch</b>  |                        |         |        |                           |         |        |                      |         |        |
| 1                               | 31990                  | 1343    | 4,2    | 5180                      | 157     | 3,0    | 12172                | 1686    | 13,8   |
| 2                               | 11610                  | 1306    | 11,4   | 2116                      | 283     | 13,4   | 4297                 | 667     | 15,5   |
| 3                               | 29380                  | 1077    | 3,6    | 6754                      | 346     | 5,1    | 9015                 | 772     | 8,6    |
| 4                               | 9470                   | 232     | 2,4    | 1808                      | 34      | 1,9    | 3609                 | 157     | 4,3    |
| 5                               | 29710                  | 3250    | 10,9   | 6362                      | 944     | 14,8   | 10110                | 1850    | 18,3   |
| 6                               | 8060                   | 1033    | 12,8   | 1785                      | 196     | 11,0   | 3295                 | 781     | 23,7   |
| 7                               | 24480                  | 1213    | 4,9    | 4374                      | 192     | 4,4    | 7325                 | 843     | 11,5   |
| <b>Harmaaleppä — Grey alder</b> |                        |         |        |                           |         |        |                      |         |        |
| 8                               | 22940                  | 954     | 4,1    | 5919                      | 288     | 4,9    | 5641                 | 903     | 16,0   |
| 9                               | 12760                  | 646     | 5,1    | 3402                      | 240     | 7,1    | 3894                 | 731     | 18,8   |

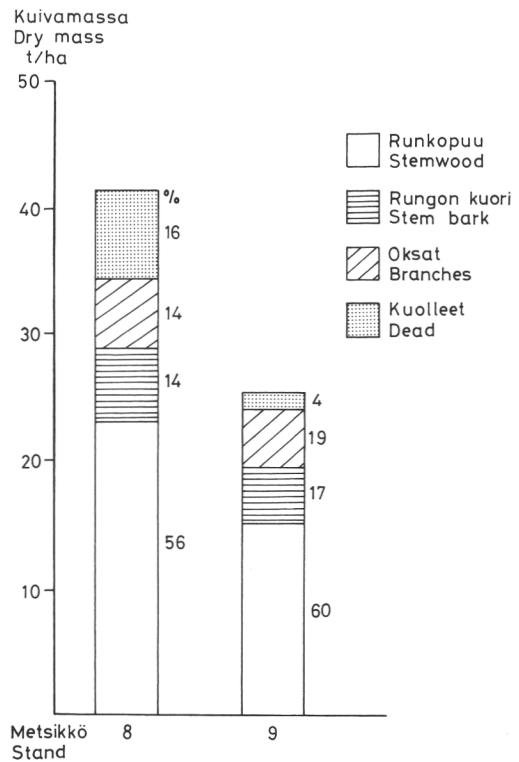


Kuva 2. Tiheiden hieskoivumetsiköiden biomassan koostumus lehdettömänä aikana.

Fig. 2. Biomass components of dense white birch stands without leaves.

neistolla saatuun tulokseen. Esimerkkimetsiköissä todettiin 10 % yliarvio. Yliarviota selittää paljolti se, että tyvipuuta saatiin korjuussa vähemmän talteen kuin sitä oli yhtälöiden mukaan.

Nuorissa koivikoissa ja lepiköissä voi jo varsin nuorella iällä olla runsaasti puumassaa. Pääosa tästä massasta on rungon puuainesta, jota koivutiheiköissä oli keskimäärin 64 % kokonaismassasta ja leppätiheiköis-



Kuva 3. Tiheiden harmaalepiköiden biomassan koostumus lehdettömänä aikana.

Fig. 3. Biomass components of dense grey alder stands without leaves.

sä 58 %. Rungon kuorta oli koivikoissa 13 % kokonaismassasta ja lepiköissä enemmän, lähes 16 %, mikä johtuu leppämetsiköiden erittäin nuoresta iästä. Kokopuun korjuuta

ajatellen merkittävä tieto on oksien suuri määrä. Näin oli etenkin koivikoissa, joissa oksia oli yli 22 % kokonaismassasta. Leppämetsiköt olivat niin tiheitä, että oksien määrä jäi alle 20 %:n. Samankaltaisia tuloksia on saatu myös aiemmin (Simola 1977).

Varsinkin puutavaran kuljetuksia varten on tärkeätä tietää tuoremassan määrä ja siitä saatava kuivamassa. Tutkimusmetsiköiden maanpäällinen tuore- ja kuivamassa oli seuraava (elävä aines):

| Metsikkö | Tuoremassa,<br>t/ha | Kuivamassa,<br>t/ha |
|----------|---------------------|---------------------|
| 1        | 102,4               | 53,5                |
| 2        | 56,5                | 30,1                |
| 3        | 84,8                | 45,5                |
| 4        | 58,4                | 28,7                |
| 5        | 95,0                | 49,7                |
| 6        | 58,2                | 29,6                |
| 7        | 62,8                | 37,1                |
| 8        | 89,5                | 34,7                |
| 9        | 53,3                | 24,5                |

Tämän aineiston mukaan turvemaan nuorissa koivikoissa runko- ja oksapuun tuore- ja kuivamassan suhde oli 0,54 ( $s = 0,029$ ) ja kivennäismaan lepiköissä vastaavasti 0,42 ( $s = 0,050$ ).

## 5. KOKONAISTUOTOS

### 51. Hieskoivu

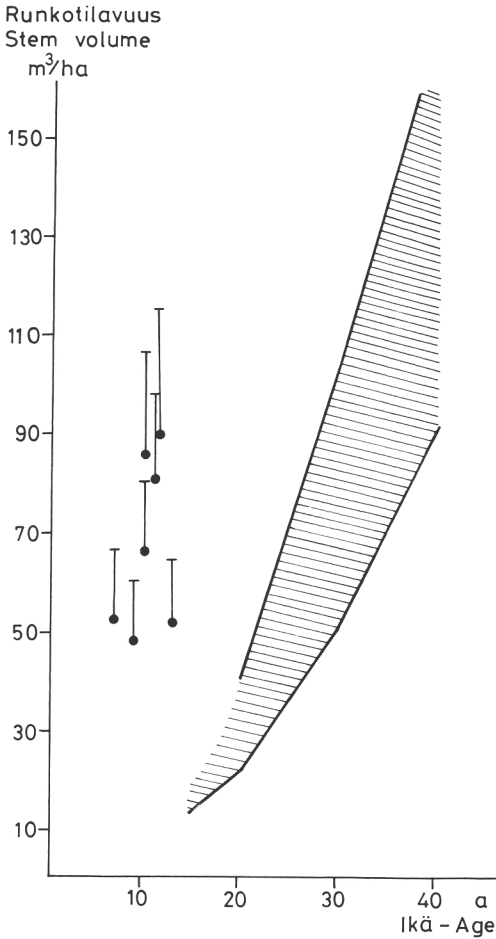
Pääasiassa turvemailla sijaitsevien, keskimäärin 10-vuotiaiden hieskoivikoiden, joiden puuston tiheys oli 14 000...37 000 runkoa hehtaarilla, runko- ja oksapuun kuiva-aine oli keskimäärin lähes 40 t hehtaaria kohti. Poistumaa ei ole lukuun laskettu mukaan. Tilavuudeksi muutettuna mainittu luku vastaa ainakin 90 m<sup>3</sup> hehtaaria kohti. Tämän suuruiset tuotosluvut ovat Suomen oloissa poikkeuksellisen korkeita, joskin saavat tukea Issakaisen (1980, 1982) laskelmista.

Kuvassa 4 on hahmoteltu kotimaisista hieskoivun kasvu- ja tuotostutkimuksista saatu hajontavyö metsikön runkoon kokonaistilavuuden kehitykselle nuorella iällä sekä tämän tutkimuksen koivumetsiköiden kokonaistilavuudet, jotka on johdettu kuivamassoista käyttämällä apuna keskimääräisiä rungon puuaineen (442 kg/m<sup>3</sup>), rungon kuoren (502 kg/m<sup>3</sup>) ja oksien (497 kg/m<sup>3</sup>) kuiva-tuoretiheyksiä. Vertailu on kuitenkin hankalaa erilaisten lähtökohtien vuoksi. Y. ja M. Ilvessalon (1975) luonnonnormaalien koivikoiden tilavuuden kehityssarjat oli laadittu kivennäismaiden yli 20-vuotiaille metsiköille. Saramäen (1977) aineistossa, joka koski turvemaiden koivikoita, oli vain kaksi koealaa, joissa metsikön ikä oli alle 30 vuotta. Näistäkin toisessa runkoluku oli vain 433 kpl/ha ja runkokuun kuutiomäärä 5 m<sup>3</sup>/ha. Hänen aineistonsa koostui käsitellyistä koivikoista.

Keltikankaan ja Seppälän (1977) tutkimuksessa koemetsiköiden lähtökohtatilanne oli aina ollut sama, ojitushetkellä joko täysin tai lähes puuton suo. Käsillä olevassa tutkimuksessa mitattujen koivumetsiköiden puuston tiheys oli yli 10 000 kpl/ha, kasvupaikat viljavat, kuivatusteho vähintäänkin tyydyttävä ja kaikissa metsiköissä suuri osa puustosta oli vesasyntyistä.

Koivumetsiköiden runko- ja oksapuun massasta oli suurin osa jakautunut keskimäisiin läpimittaluokkiin, kun vastaavasti runkoluvusta suurin osa oli pienimmissä läpimittaluokissa. Vaikka runkoluvusta oli alle 3 cm:n puiden osuus keskimäärin 72 %, runko- ja oksamassasta oli vastaavien puiden osuus vain 25 %. Tiheiden lehtipuumetsiköiden alkukehitykselle ovat samanlaisia jakaumia saaneet Pallard (1971) haapa- sekä Ford ja Newbould (1970) kastanjavesakoista.

Hieskoivun kasvua nuorella iällä tiheissä puustoissa ei ole juuri tutkittu. Hamnin mukaan (ref. Mikola 1942) voidaan hieskoivikoissa Saksassa päästä 20 vuoden kiertoajalla hyvällä kasvupaikalla 8—10 m<sup>3</sup>/ha vuotiseen keskikasvuun. Saramäki (1981) toteaa kuitenkin edelliset luvut varsin suuriksi verrattuna Y. ja M. Ilvessalon tulokseen hiesvoittoisten metsien keskimääräisestä vuotuisesta kasvusta, joka OMaT:lla on 20 vuoden kiertoajalla 3,7 m<sup>3</sup>/ha kuoretta tai verrattuna Koiviston (1957) tutkimuksesta saatavaan lukuun 3,9 m<sup>3</sup>/ha kuoretta 30 vuoden kiertoajalla. On todettava, että hieskoivulle

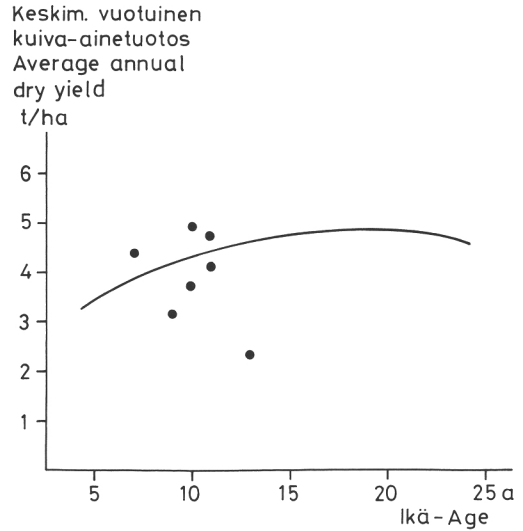


Kuva 4. Hieskoivumetsiköiden runkopuun kokonaistilavuuden kehitys eri tutkimusten mukaan. Tummennettu alue on saatu seuraavista tutkimuksista: Ilvessalo (1975), Saramäki (1977) ja Keltikangas ja Seppälä (1977). Tämän tutkimuksen metsiköiden runkopuun tilavuus on merkitty pisteillä ja janan pituus tarkoittaa oksien tilavuutta.

Fig. 4. Development of the stemwood volume of white birch stands according to various studies. The darkened area is based on the studies of Ilvessalo (1975), Saramäki (1977) and Keltikangas and Seppälä (1977). The stemwood volume of this study is indicated with dots and that of branches by lines rising from the dots.

on kasvutarjoja tehty vähän ja niiden laadinnassa on keskitytty ainespuukasvatukselle tyypillisiin kiertoaikoihin: yli 40 vuoden iän jälkeisiin jaksoihin.

Tämän tutkimuksen hieskoivumetsiköiden keskimääräiset vuotuiset runko- ja oksapuun kuiva-aineen tuotosluvut asettuivat Issakaisen (1982) mittaamistaan tiheiköistä johtaman tuotuskäyrän molemmin puolin



Kuva 5. Tiheiden, turvemaan hieskoiviköiden puubiomassan keskimääräinen vuotuinen tuotos Issakaisen (1982) mukaan. Pisteet ovat tämän tutkimuksen havaintoja.

Fig. 5. Average annual dry yield of dense white birch stands growing on peat, according to Issakainen (1982). The dots are the observations of the present study.

(kuva 5). Ravinteisten turvemaiden hieskoivumetsiköiden keskimääräinen vuotuinen kuiva-ainetuotos saattaa olla jopa 15-vuoden kiertoaajalla 4 tonniin hehtaaria kohti. Tämä on merkittävä määrä puumasaa lyhyellä ajalla tuotettuna. Runkopuuna kuoretta ja tilavuudeksi muutettuna vastaa mainittu luku noin 6 m<sup>3</sup> hehtaaria ja vuotta kohti.

## 52. Harmaaleppä

Leppämetsiköiden keskimääräiset runko- ja oksapuun vuotuiset tuotosarvot 4,2 ja 5,2 t/ha alle 10 vuoden iällä täydentävät sitä kuvaa, minkä Miettisen (1932) tutkimus antoi leppiköiden tuotoskyvystä. Miettisen mukaan harmaalepikkö saavuttaa hyvillä kasvupaikoilla n. 5 m<sup>3</sup>:n keskimääräisen vuotuisen tilavuuskasvun jo viiden vuoden ikään mennessä. Tämän tutkimuksen leppämetsiköiden keskimääräinen kuoreton runkopuun tilavuuskasvu oli noin 7 ja 8 m<sup>3</sup>/ha.

Leppämetsiköiden tuottavuuden on todettu olevan suurimpia lauhkealla vyöhykkeellä (Zavitkovski ja Stevens 1972) ja myös eteläisellä taiga-alueella (Utkin ym. 1980).

Tulokset Suomesta ja Baltian maista osoittavat, että harmaaleppämetsiköt ovat hyväkasvuisia ja niiden kasvu on parempi esiintymisalueensa keskeisissä osissa. Taulukossa 4 on esitetty tietoja harmaaleppämetsiköiden kehityksestä. Raukaksen (1930) tutkimus koskee vesametsiköitä ja keskimääräiseen vuotuisen tilavuuskasvuun sisältyy

myös oksat, joiden osuus 15...30 vuoden iällä on n. 10 %. Harmaaleppän vuotuinen keskikasvu näyttää eri tutkimusten mukaan kulminoituvan 15...20 vuoden iässä. Esimerkiksi Miettisen (1932) mukaan 15...20 vuoden kiertoajoilla korjattavissa oleva runkopuun määrä olisi 100...130 m<sup>3</sup>.

Taulukko 4. Tietoja harmaaleppämetsiköiden kehityksestä Latviasta (Ozols ja Hibners 1927), Eestistä (Raukas 1930), Suomesta (Miettinen 1932) ja Norjasta (Børset ja Langhammer 1966).

Table 4. Development of grey alder stands in Latvia (Ozols and Hibners 1927), Estonia (Raukas 1930), Finland (Miettinen 1932) and Norway (Børset and Langhammer 1966).

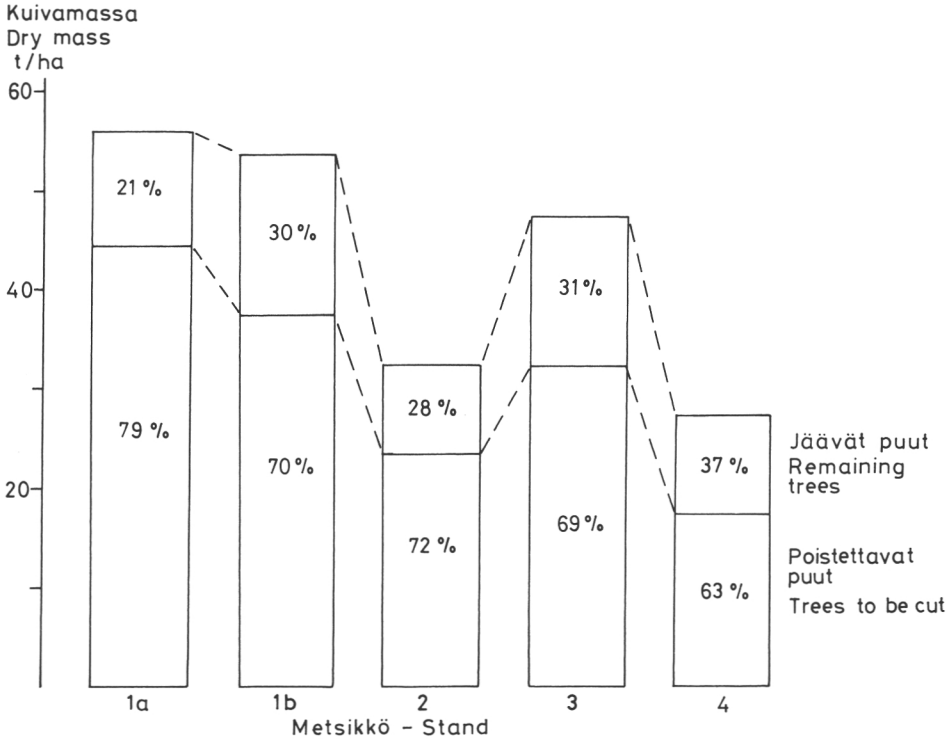
| Ikä<br>Age   | Ozols &<br>Hibners<br>1927 | Raukas<br>1930 | Miettinen<br>1932 | Børset &<br>Langhammer<br>1966 |
|--|----------------------------|----------------|-------------------|--------------------------------|
| Runkoluku — No. of stems<br>kpl / ha                     |                            |                |                   |                                |
| 10   | 12 000                     | 14 000         | 31 000            | —                              |
| 15   | 7 000                      | 12 000         | 14 000            | 6 100                          |
| 20   | 4 000                      | 8 000          | 9 500             | 4 500                          |
| 25   | 4 000                      | 4 000          | 6 500             | 3 300                          |
| 30   | 3 500                      | 2 000          | 5 000             | 2 500                          |
| 35   | 3 000                      | —              | 3 500             | 2 100                          |
| Metsikön keskipituus — Mean height, m                    |                            |                |                   |                                |
| 10   | 7                          | 6              | 4                 | —                              |
| 15   | 10                         | 9              | 7                 | 10                             |
| 20   | 12                         | 11             | 8                 | 12                             |
| 25   | 14                         | 13             | 10                | 14                             |
| 30   | 16                         | 15             | 11                | 15                             |
| 35   | 18                         | 17             | 12                | 17                             |
| Keskikasvu — Mean annual increment<br>m <sup>3</sup> /ha |                            |                |                   |                                |
| 10   | 11,0                       | 9,8            | 5,7               | —                              |
| 15   | 11,3                       | 10,3           | 6,5               | 9,7                            |
| 20   | 9,7                        | 10,2           | 7,1               | 11,2                           |
| 25   | 8,8                        | 9,7            | 7,4               | 11,9                           |
| 30   | 8,2                        | 9,0            | 7,6               | 12,1                           |
| 35   | 7,8                        | 7,9            | 7,7               | 12,0                           |

## 6. LEHTIPUUKASVATUKSEEN LIITTYVIÄ NÄKÖKOHTIA

Osa hieskoivumetsikoistä kuului kokeeseen, jossa eräänä koejäsenenä oli (perkaus) harvennus 2 000:een runkoon hehtaaria kohti. Jäävien puiden ja poistettavien puiden runko- ja oksapuun kuivamassan määrä on esitetty kuvassa 6. Tällaisten hyvin tiheiksi ("ylitiheiksi") kehittyneiden turve- maakoivikoiden puustosta poistetaan met-

sänhoitotöiden yhteydessä kuivamassana arvioiden 65—80 %. Kysymyksessä on ns. karanneen taimikon tai riukuasteen metsikön harvennus. Tilavuutena ilmaisten saataisiin harvennuksessa metsikkö 1:stä, jonka keskimääräinen läpimitta oli 5,8 cm, runkopuuta noin 70 m<sup>3</sup> ja oksia 20 m<sup>3</sup> hehtaaria kohti.





Kuva 6. Jäävän ja poistettavan puuston määrä perkausharvennuksessa eräissä tutkimuksen hieskoivikoissa. 1a ja 1b ovat metsikön 1 eri toistoja.

Fig. 6. Dry mass of residual trees and trees to be cut in the thinning in some of the white birch stands studied. 1a ja 1b are replications of stand 1.

Pienpuustoissa, joiden rinnankorkeusläpimitta on alle 10 cm — kuten tässä tutkimuksessa — huomattava osa runkopuusta jää alle teollisuuspuun vähimmäismittojen (Pienpuuston kasvat... 1978). Varsinkin lehtipuulla tämä vähentää pinta-alayksikön raaka-ainekertymää. Tutkimusmetsiköt ovat siis sellaisia, joissa perinteisessä puunkorjuussa ei raaka-ainetta kertyisi käytännössä juuri lainkaan. Saramäen (1977) mukaan harventamattomissa turvemaan hieskoivikoissa Kainuussa ja Pohjanmaalla on runkopuustosta käyttöpuuta (läpimitta yli 6 cm) 25 vuoden iällä 40...60 % ja 40 vuoden iällä 80...85 %.

Kun turvemaalle on esim. ojituksen johdosta syntynyt hieskoivikko eikä havupuulle uudistaminen ole edullista (ks. Saramäki 1977, Keltikangas ja Seppälä 1977), Saramäki (1981) suosittelee taimikon harventamista 2 000...2 500 taimeen hehtaaria kohti. Noin 40 vuoden iällä metsikkö harvennetaisiin 800...1 000:een runkoon hehtaaria

kohti, mikä olisi myös päätehakkuun runkoluku. Myös Oikarinen ja Pyykkönen (1981) ovat ehdottaneet, että hieskoivun kasvatuksessa voidaan turvemaiden parhailla boniteeteilla suositella vain yhtä voimakasta harvennusta kiertoajan kuluessa, mikä huomattavasti parantaa etenkin hiesainespuun kasvatuksen edullisuutta.

Polttopuukasvatuksessa ei puutavaran tietty vähimmäismitta tai laatu ole sanan perinteisessä metsätalousmerkityksessä olennaista, vaan olennaista on määrä ja puubio-massan käyttökelpoisuus polttopuuna. Siksi kasvatuskiertoaika voi olla lyhyempi kuin ainespuukasvatuksessa. Lähinnä on huolehdittava siitä, että kiertoaika määritetään maksimaalisen massatuotannon mukaan. Kasvatusketjujen tulee täyttää tietyistä kestävästä metsätalouden vaatimukset. Näkökulma ja kasvatusvaihtoehdot ovat aivan toisenlaisia, jos halutaan optimoida esimerkiksi polttopuun ja ainespuun kasvatusta samalla kasvupaikalla.

## 7. RUNKOPUUN PUUTEKNISET OMINAISUUDET

### 71. Puuaineen kuiva-tuoretiheys

Koivulla keskimääräinen puuaineen kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella  $442,1 \text{ kg/m}^3$  ( $s = 29,2 \text{ kg/m}^3$ ).

Kuvassa 7 on esitetty hieskoivun puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu puun pituuden suunnassa. Suhteellisella korkeudella ei ollut vaikutusta kuiva-tuoretiheyteen, sen sijaan eri rinnankorkeuslähpimitan puissa kuiva-tuoretiheys oli selvästi eri tasolla.

Tarkempi tarkastelu osoitti, että rinnankorkeuslähpimitan lisäksi koivun puuaineen kuiva-tuoretiheyteen vaikuttivat puun ikä, rungon kasvunopeus sekä koivulaji. Regressioyhtälö sai seuraavan muodon.

| Selittävä:                                   | Kerroin | t-arvo |
|--|---------|--------|
| Puuaineen kuiva-tuoretiheys, $\text{kg/m}^3$ |         |        |
| Selittäjät:                                  |         |        |
| Vakio  | 383,2   | 35,4   |
| t  | 10,48   | 5,7    |
| t <sup>2</sup>                               | -0,3502 | -4,7   |
| w <sup>2</sup>                               | -1,870  | -8,4   |
| Ed <sup>2</sup>                              | 0,0331  | 5,2    |
| Ew   | -21,59  | -5,0   |

Selitysaste ( $R^2$ ) = 16,5 %

Jäännöshajonta ( $s$ ) =  $26,8 \text{ kg/m}^3$

Yhtälön mukaan tiheys kasvoi hidastuvalla nopeudella puun iän kasvaessa. Vuosiluston leveyden lisääntyessä yhdellä millimetrillä kuiva-tuoretiheys aleni  $1,4 \text{ kg/m}^3$  muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina. Kasvunopeus vaikutti voimakkaammin rauduskoivulla kuin hieskoivulla, mutta rauduksen pienen koepuumäärän vuoksi tuloksen varmuus jää myöhemmin testattavaksi.

Harmaalepällä keskimääräinen puuaineen kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella  $353,4 \text{ kg/m}^3$  ( $s = 40,4 \text{ kg/m}^3$ ). Näin ollen koivun puuaine oli n.  $90 \text{ kg/m}^3$  eli 30 % tiheämpää kuin lepän.

Kuvassa 8 on esitetty harmaalepän puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu puun pituuden suunnassa. Lepän puuaineen kuiva-tuoretiheys kasvoi tyvestä latvaan sitä voimakkaammin, mitä suurempi oli rinnankor-

keuslähpimita. Rinnankorkeuslähpimitan kasvaessa kuiva-tuoretiheys kasvoi hidastuvalla nopeudella.

Tutkittaessa em. ja muita vaikuttavia tekijöitä saatiin seuraava yhtälö.

| Selittävä:                                   | Kerroin   | t-arvo |
|--|-----------|--------|
| Puuaineen kuiva-tuoretiheys, $\text{kg/m}^3$ |           |        |
| Selittäjät:                                  |           |        |
| Vakio  | 798,2     | 10,3   |
| d  | 40,55     | 5,8    |
| d <sup>2</sup>                               | 0,3993    | 4,3    |
| d <sup>2z</sup>                              | 0,0005037 | 2,9    |
| w  | -85,27    | -3,5   |
| h  | -63,34    | -6,1   |
| d <sup>1,55</sup>                            | -6,034    | -4,8   |
| w <sup>2</sup>                               | 18,33     | 3,0    |
| w <sup>4,66</sup>                            | -0,08405  | -2,7   |
| h <sup>2</sup>                               | -0,5897   | -5,6   |
| h <sup>1,56</sup>                            | 8,685     | 5,7    |

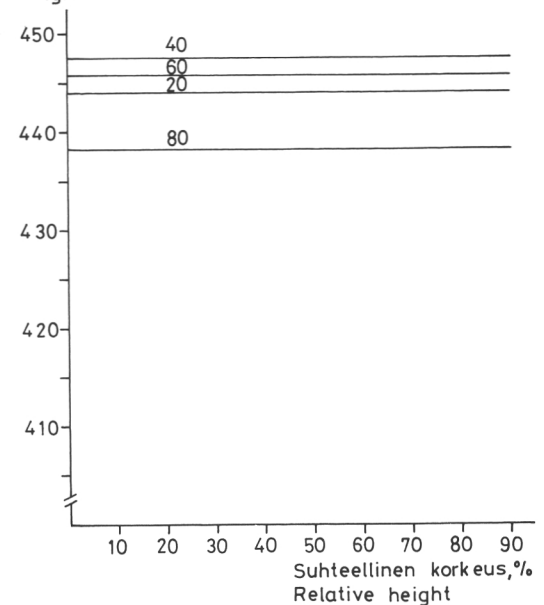
Selitysaste ( $R^2$ ) = 44,2 %

Jäännöshajonta ( $s$ ) =  $30,7 \text{ kg/m}^3$

Kuiva-tuoretiheys

Basic density

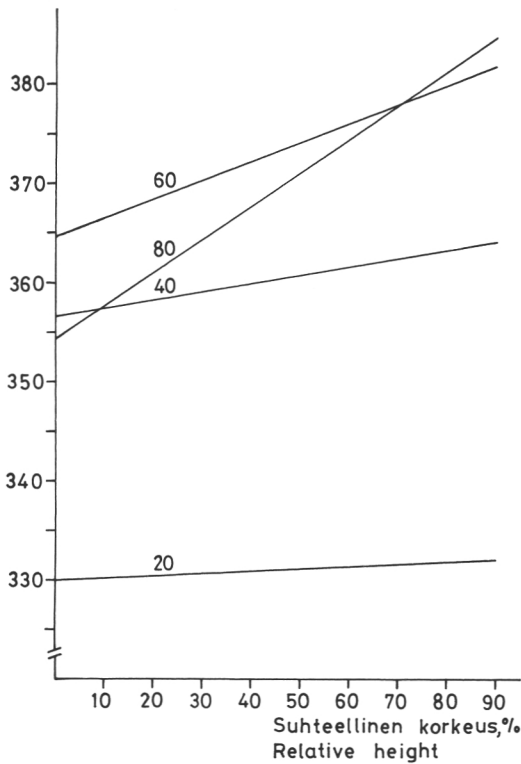
$\text{kg/m}^3$



Kuva 7. Hieskoivun puuaineen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeuslähpimitan puissa.

Fig. 7. Basic density of white birch wood according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Kuiva-tuoretiheys  
Basic density  
kg/m<sup>3</sup>



Kuva 8. Harmaalepän puuaineen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 8. Basic density of grey alder wood according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina puuaineen kuiva-tuoretiheys aleni puun pituuden kasvaessa. Kasvunopeuden parantuessa kuiva-tuoretiheys hieman aleni.

## 72. Puuaineen kosteussuhde

Koivulla keskimääräinen puuaineen kosteussuhde oli kiekkonäytteiden perusteella 86,2 % (s = 16,6 %).

Hieskoivun puuaineen kosteussuhde aleni pienissä puissa ja kohosi isoissa puissa tyvestä latvaan päin (kuva 9). Kosteussuhde oli suurimmillaan pienten puiden tyvellä.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

Selitettävä:

Puuaineen kosteussuhde, %

Selittäjät:

|                | Kerroin     | t-arvo |
|----------------|-------------|--------|
| Vakio          | 83,74       | 18,6   |
| d              | -1,705      | -8,1   |
| h              | -0,8083     | -8,9   |
| t              | 1,204       | 3,4    |
| w              | 48,85       | 9,4    |
| dh             | 0,01310     | 6,9    |
| w <sup>2</sup> | -6,268      | -7,8   |
| z <sup>3</sup> | -0,00001394 | -3,6   |
| dz             | 0,003008    | 5,0    |
| E              | -62,17      | -4,3   |
| Et             | 6,082       | 3,4    |

Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 19,0 %

Jäännöshajonta (s) = 15,0 %

Kosteussuhde lisääntyi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella rungon kasvunopeuden parantuessa. Puun pituuden kasvaessa kosteussuhde aleni, kun muut tekijät vakioitiin. Hieskoivun kosteussuhde oli suurempi kuin rauduskoivun.

Harmaalepän keskimääräinen puuaineen kosteussuhde oli kiekkonäytteiden perusteella 109,3 % (s = 21,2 %).

Kosteussuhde pysyi tyvestä noin 15 % korkeudelle vakiona ja kohosi sen jälkeen voimakkaasti latvaa kohti (kuva 10). Kosteussuhde oli suurimmillaan rinnankorkeusläpimitaltaan pienimmissä (20 mm) ja suurimmissa (80 mm) puissa.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

Selitettävä:

Puuaineen kosteussuhde, %

Selittäjät:

|                | Kerroin  | t-arvo |
|----------------|----------|--------|
| Vakio          | 126,0    | 27,3   |
| d              | -1,003   | -4,7   |
| d <sup>2</sup> | 0,009292 | 4,3    |
| tz             | 0,01054  | 3,1    |

Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 10,1 %

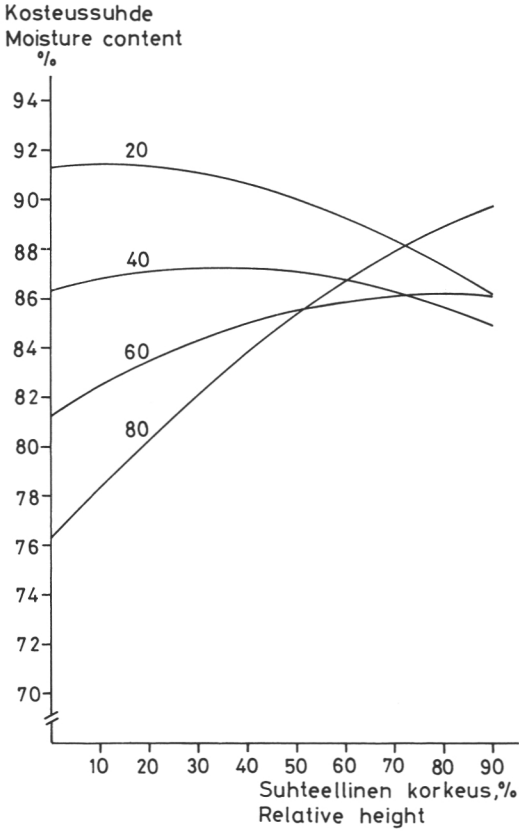
Jäännöshajonta (s) = 20,2 %

## 73. Kuoren osuus ja paksuus

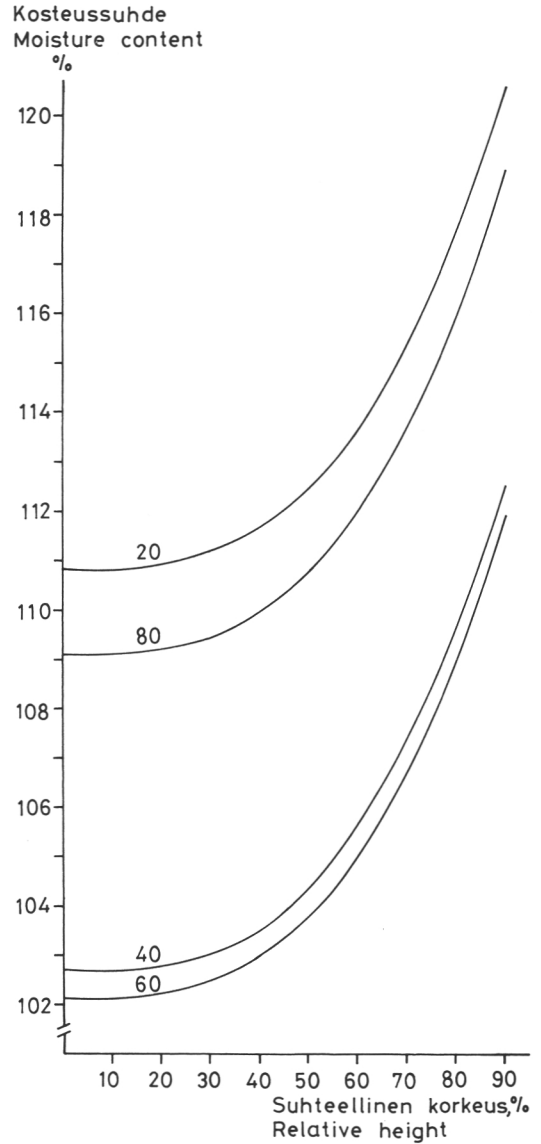
Koivulla keskimääräinen kuoren osuus tilavuudesta oli kiekkonäytteiden perusteella 19,4 % (s = 9,2 %).

Hieskoivulla kuoren osuus tilavuudesta aleni tyvestä noin 30 % korkeudelle ja kohosi sen jälkeen voimakkaasti latvaa kohti (kuva 11). Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa kuoren osuus tilavuudesta aleni jatkuvasti hidastuvalla nopeudella.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.



Kuva 9. Hieskoivun puuaineen kosteussuhteen riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.  
 Fig. 9. Moisture content of white birch wood according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40 60 and 80 mm.



Kuva 10. Harmaalepän puuaineen kosteussuhteen riippuvuus suhteellisesta korkeudesta.  
 Fig. 10. Moisture content of grey alder wood according to the relative height of the stem.

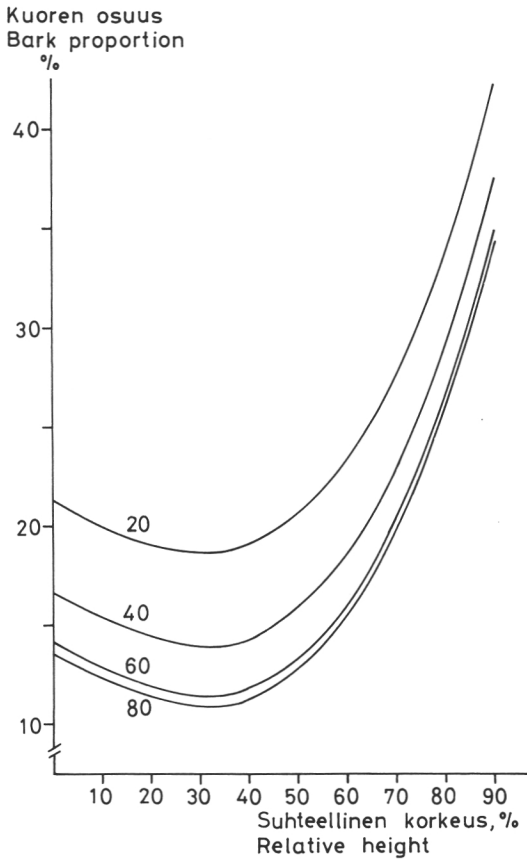
|                              | Kerroin    | t-arvo |
|------------------------------|------------|--------|
| Selitettävä:                 |            |        |
| Kuoren osuus tilavuudesta, % |            |        |
| Selittäjät:                  |            |        |
| Vakio                        | 27,04      | 44,7   |
| d                            | -0,3591    | -16,2  |
| d <sup>2</sup>               | 0,002451   | 11,5   |
| z                            | -0,07078   | -4,7   |
| z <sup>3</sup>               | 0,00004425 | 34,7   |
| tz                           | -0,004737  | -5,2   |

Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 82,2 %  
 Jäännöshajonta (s) = 3,90 %

Harmaalepällä keskimääräinen kuoren osuus tilavuudesta oli kiekkonäytteiden perusteella 19,9 % (s = 8,0 %).

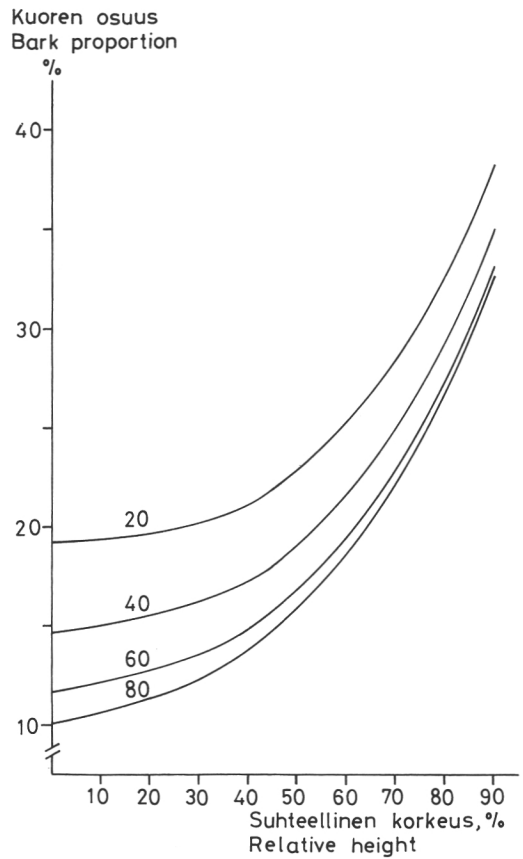
Kuoren osuus kohosi tyvestä latvaan päin (kuva 12). Tyven alueella ei ollut nousua, koska lepällä ei ole tyvikaarnaa kuten koi-vulla. Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa kuoren osuus tilavuudesta aleni jatkuvasti hidastuvalla nopeudella.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.



Kuva 11. Hieskoivun kuoren osuus tilavuudesta suhteellisen korkeuden mukaan 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 11. Bark volume percentage of white birch according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.



Kuva 12. Harmaalepän kuoren osuus tilavuudesta suhteellisen korkeuden mukaan 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 12. Bark volume percentage of grey alder according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

|                              | Kerroin    | t-arvo |
|------------------------------|------------|--------|
| Selittävä:                   |            |        |
| Kuoren osuus tilavuudesta, % |            |        |
| Selittäjät:                  |            |        |
| Vakio                        | 35,98      | 17,9   |
| $z^3$                        | 0,00002437 | 14,1   |
| d                            | -3,979     | -6,5   |
| $d^2$                        | -0,01323   | -5,2   |
| dz                           | 0,0006667  | 2,6    |
| $d^{1,25}$                   | 1,577      | 6,0    |

Selitysaste ( $R^2$ ) = 80,0 %  
Jäännöshajonta (s) = 3,61 %

Koivulla keskimääräinen kuoren osuus kuivasta massasta oli kiekkonäytteiden perusteella 21,4 % (s = 9,7 %).

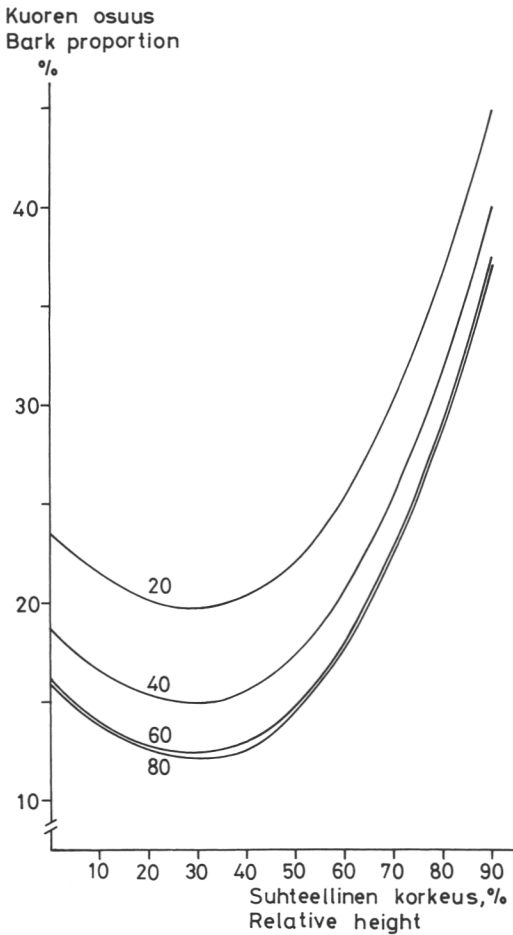
Rungon pituuden suunnassa kuoren osuuden vaihtelu noudatti samaa mallia kuin kuoren osuus tilavuudesta (kuva 13).

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

|                                   | Kerroin    | t-arvo |
|-----------------------------------|------------|--------|
| Selittävä:                        |            |        |
| Kuoren osuus kuivasta massasta, % |            |        |
| Selittäjät:                       |            |        |
| Vakio                             | 36,83      | 41,9   |
| d                                 | -0,4436    | -14,5  |
| h                                 | -0,2188    | -13,2  |
| dh                                | 0,004296   | 12,3   |
| $w^2$                             | 0,3421     | 6,9    |
| z                                 | -0,1323    | -12,1  |
| $z^3$                             | 0,00004671 | 35,8   |

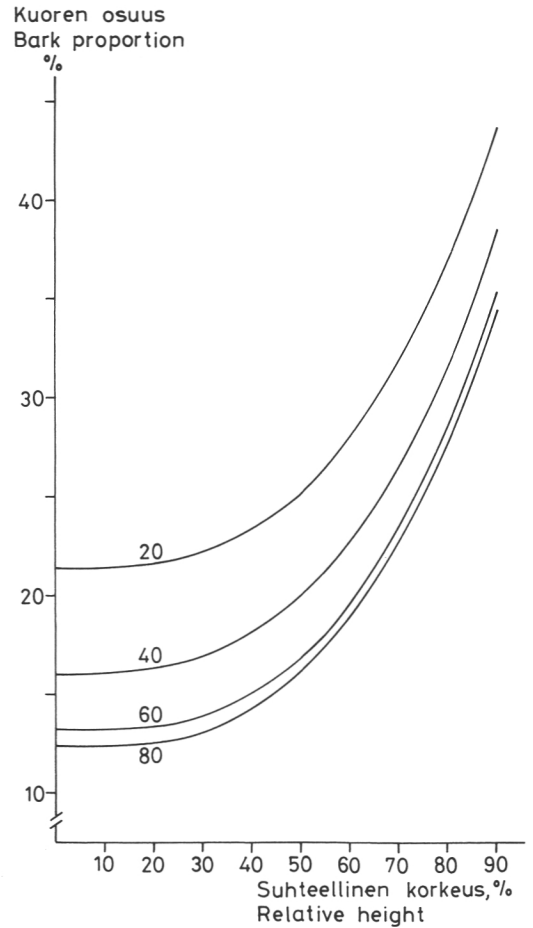
Selitysaste ( $R^2$ ) = 83,2 %  
Jäännöshajonta (s) = 4,0 %

Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina kuoren osuus kuivasta massasta aleni



Kuva 13. Hieskoivun kuoren osuus kuivasta massasta suhteellisen korkeuden mukaan 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 13. Bark dry weight percentage of white birch according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.



Kuva 14. Harmaalepän kuoren osuus kuivasta massasta suhteellisen korkeuden mukaan 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 14. Bark dry weight percentage of grey alder according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

puun pituuden kasvaessa. Rungon kasvunopeuden parantuessa se kohosi, ilmeisesti siksi, että kasvunopeuden kohotessa puuaineen tiheys aleni (s. 16), mutta kuoren tiheys nousi (s. 22).

Harmaalepällä keskimääräinen kuoren osuus kuivasta massasta oli kiekkonäytteiden perusteella 21,6 % (s = 8,8 %).

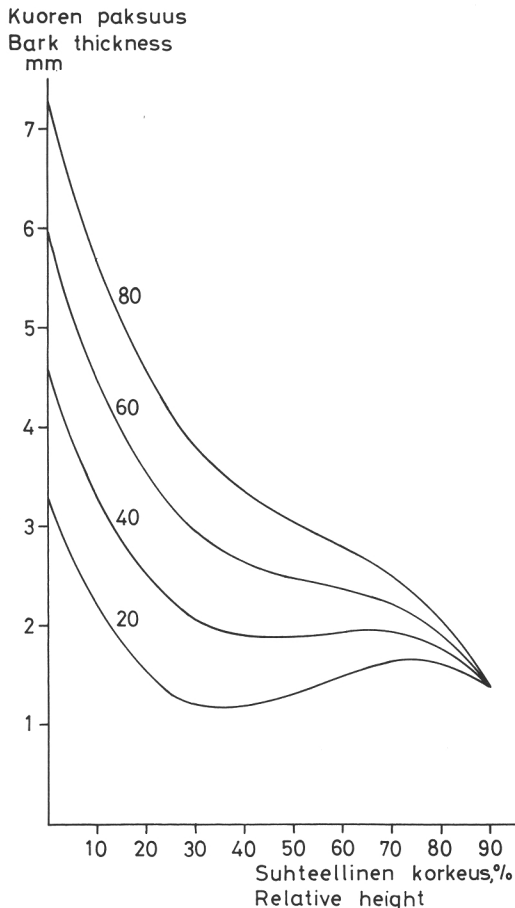
Sen vaihtelu rungon pituuden suunnassa oli samankaltainen kuin vastaavalla tunnuksetta tilavuudesta (kuva 14).

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

|                                   | Kerroin    | t-arvo |
|-----------------------------------|------------|--------|
| Selitettävä:                      |            |        |
| Kuoren osuus kuivasta massasta, % |            |        |
| Selittäjät:                       |            |        |
| Vakio                             | 43,15      | 18,9   |
| $z^3$                             | 0,00003027 | 29,4   |
| d                                 | -7,737     | -7,1   |
| $d^2$                             | -0,01316   | -5,5   |
| $d^{1,15}$                        | 4,356      | 6,8    |
| Selitysaste ( $R^2$ ) = 81,9 %    |            |        |
| Jäännöshajonta (s) = 3,8 %        |            |        |

Koivulla keskimääräinen kaksinkertainen kuoren paksuus oli kiekkonäytteiden perusteella 2,7 mm (s = 1,65 mm).

Hieskoivulla kaksinkertainen kuoren paksuus aleni voimakkaasti tyvestä latvaan (kuva 15). Pieniä puita lukuunottamatta minimi



Kuva 15. Hieskoivun kaksinkertaisen kuoren paksuuden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeuslämpimitan puissa.

Fig. 15. Double bark thickness of white birch according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

oli latvassa. Samalla suhteellisella korkeudella kuoren paksuus oli sitä suurempi, mitä suurempi oli rinnankorkeuslämpimita.

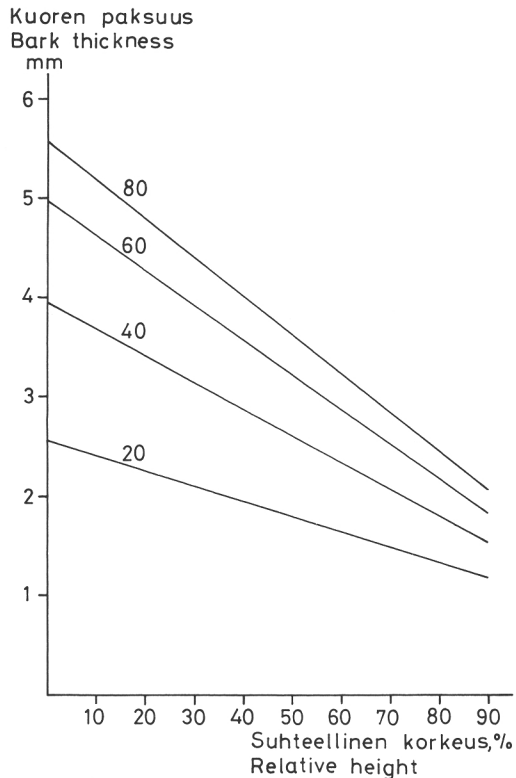
Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

| Selittävä:                         | Kerroin     | t-arvo |
|------------------------------------|-------------|--------|
| Kaksinkertainen kuoren paksuus, mm |             |        |
| Selittäjät:                        |             |        |
| Vakio                              | 1,756       | 9,9    |
| d                                  | 0,06655     | 19,2   |
| h                                  | -0,006833   | -2,0   |
| z                                  | -0,02392    | -7,1   |
| z <sup>3</sup>                     | 0,000002965 | 9,7    |
| dz                                 | -0,0006760  | -13,6  |

Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 68,0 %

Jäännöshajonta (s) = 0,94 mm

Harmaalepällä keskimääräinen kaksinkertainen kuoren paksuus oli kiekkonäytteiden



Kuva 16. Harmaalepän kaksinkertaisen kuoren paksuuden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeuslämpimitan puissa.

Fig. 16. Double bark thickness of grey alder according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

perusteella 2,9 mm (s = 1,33 mm).

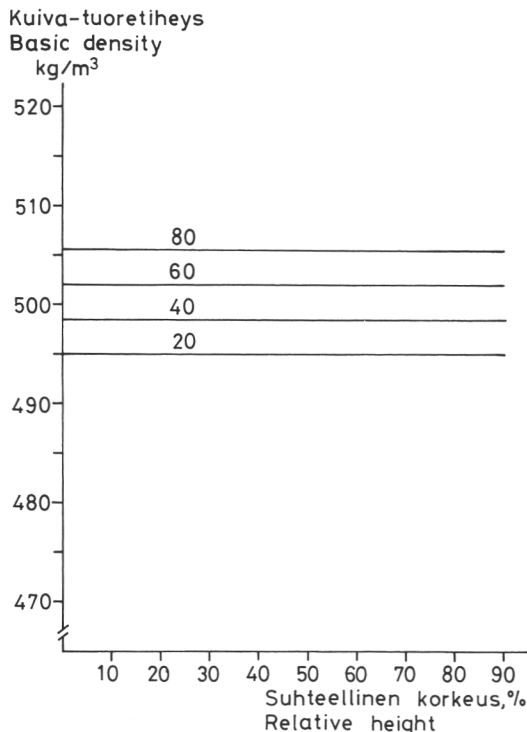
Lepän kuoren paksuus aleni lineaarisesti tyvestä latvaan (kuva 16). Aleneminen oli voimakkainta isoissa puissa. Rinnankorkeuslämpimitan kasvaessa kaksinkertainen kuoren paksuus kasvoi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

| Selittävä:                         | Kerroin     | t-arvo |
|------------------------------------|-------------|--------|
| Kaksinkertainen kuoren paksuus, mm |             |        |
| Selittäjät:                        |             |        |
| Vakio                              | 3,885       | 1,7    |
| d                                  | 0,09065     | 0,9    |
| d <sup>2</sup>                     | -0,0005715  | -1,9   |
| dz                                 | -0,0008641  | -9,7   |
| d <sup>2</sup> z                   | 0,000004689 | 3,7    |
| t                                  | 0,06761     | 3,0    |
| h                                  | 0,1452      | 0,9    |
| d <sup>0,65</sup>                  | 0,1673      | 0,4    |
| h <sup>2</sup>                     | -0,0003875  | -0,9   |
| d <sup>0,59</sup>                  | -1,121      | -1,1   |

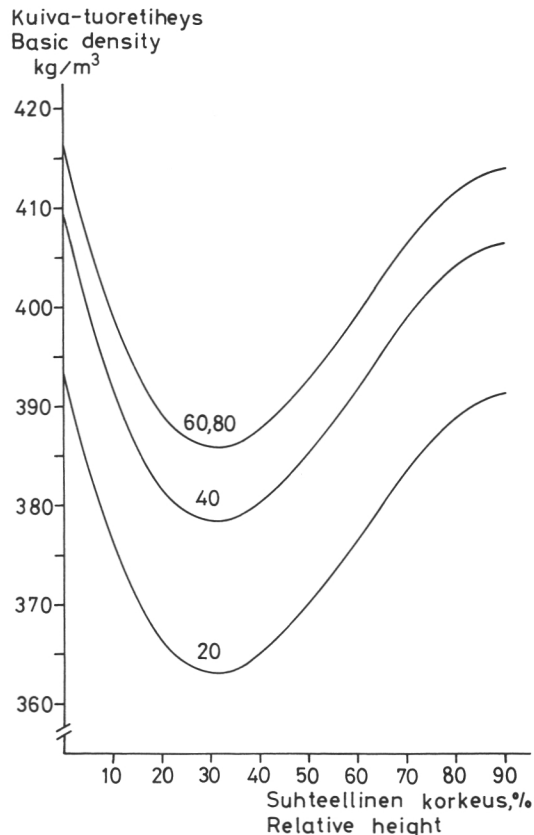
Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 82,8 %

Jäännöshajonta (s) = 0,56 mm



Kuva 17. Hieskoivun kuoren kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 17. Basic density of white birch bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.



Kuva 18. Harmaalepän kuoren kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 18. Basic density of grey alder bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Muiden tekijöiden pysyessä muttumattomina harmaalepän kaksinkertainen kuoren paksuus kasvoi, kun puun pituus kasvoi.

#### 74. Kuoren kuiva-tuoretiheys

Koivulla keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella  $501,9 \text{ kg/m}^3$  ( $s = 39,2 \text{ kg/m}^3$ ).

Kuvassa 17 on esitetty hieskoivun kuoren kuiva-tuoretiheyden vaihtelu puun pituuden suunnassa. Kuiva-tuoretiheys ei riippunut suhteellisesta korkeudesta, mutta samalla suhteellisella korkeudella se oli sitä suurempi, mitä isommasta puusta oli kyse.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

|   | Kerroin    | t-arvo |
|---|------------|--------|
| Selitettävä:                              |            |        |
| Kuoren kuiva-tuoretiheys, $\text{kg/m}^3$ |            |        |
| Selittäjät:                               |            |        |
| Vakio                                     | 499,9      | 115,8  |
| d   | -1,904     | -5,4   |
| dh  | 0,01297    | 4,3    |
| $t^2$                                     | 0,1091     | 4,0    |
| $w^2$                                     | 4,506      | 6,4    |
| $Ed^2z$                                   | -0,0001831 | -2,7   |
| $Et^2$                                    | 0,3948     | 4,1    |

Selitysaste ( $R^2$ ) = 9,6 %

Jäännöshajonta ( $s$ ) =  $37,4 \text{ kg/m}^3$

Rungon kasvunopeuden parantuessa kuoren kuiva-tuoretiheys kohosi, samoin puun iän lisääntyessä.

Harmaalepällä keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella  $389,5 \text{ kg/m}^3$  ( $s = 34 \text{ kg/m}^3$ ). Ero koivun ja lepän kuoren kuiva-tuoretiheyksissä oli siis yli  $100 \text{ kg/m}^3$ .



Harmaalepän kuoren kuiva-tuoretiheys aleni tyvestä noin 30 % korkeudelle, jonka jälkeen se kohosi latvaan (kuva 18). Rinnan-korkeusläpimitan kasvaessa kuiva-tuoretiheys kasvoi.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

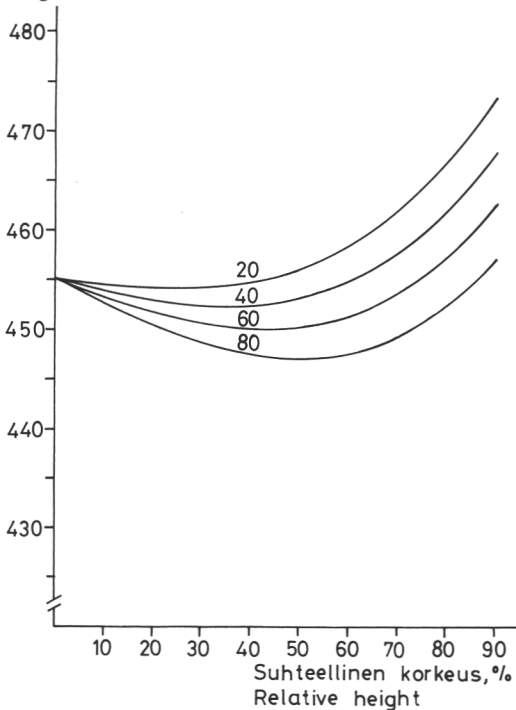
| Selitettävä:                                | Kerroin    | t-arvo |
|---|------------|--------|
| Kuoren kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup> |            |        |
| Selittäjät:                                 |            |        |
| Vakio                                       | 368,0      | 13,6   |
| z   | -2,125     | -4,8   |
| z <sup>2</sup>                              | 0,04562    | 3,8    |
| z <sup>3</sup>                              | -0,0002467 | -2,8   |
| d   | -5,561     | -1,9   |
| d <sup>2</sup>                              | -0,1166    | -2,7   |
| w <sup>2</sup>                              | -154,5     | -2,0   |
| d <sup>1,54</sup>                           | 1,405      | 2,4    |
| w   | 69,54      | 1,6    |
| w <sup>2,11</sup>                           | 119,6      | 2,0    |

Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 25,9 %

Jäännöshajonta (s) = 29,8 kg/m<sup>3</sup>

Rungon kasvunopeuden lisääntyessä kuoren kuiva-tuoretiheys kasvoi.

Kuiva-tuoretiheys  
Basic density  
kg/m<sup>3</sup>



Kuva 19. Hieskoivun kuorellisen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

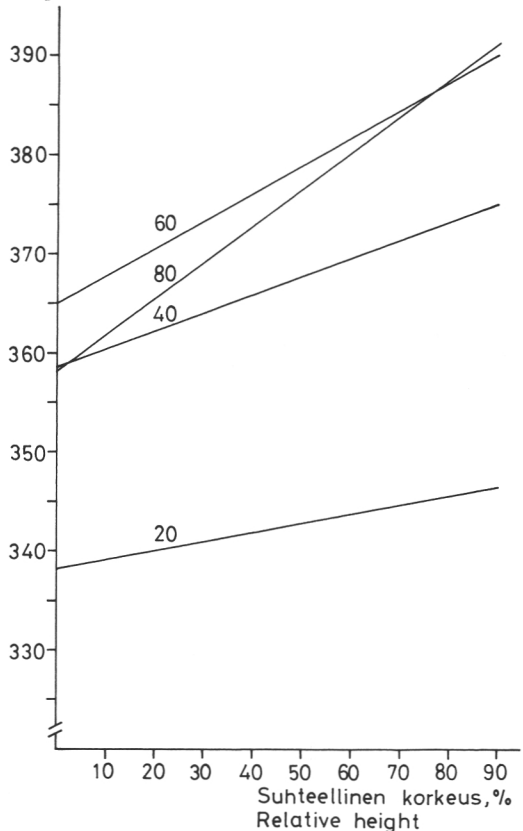
Fig. 19. Basic density of white birch wood and bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

## 75. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys

Koivun keskimääräinen kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 453,7 kg/m<sup>3</sup> (s = 25,9 kg/m<sup>3</sup>).

Hieskoivun kuorellinen kuiva-tuoretiheys aleni ensin tyvestä tietyllä korkeudelle ja kohosi sen jälkeen voimakkaasti latvaan päin (kuva 19). Minimikohta oli sitä lähempänä latvaa, mitä suurempi oli rinnankorkeusläpimitta: rinnankorkeusläpimitaltaan 20 mm:n puissa minimikohta oli 25 % korkeudella, 80 mm:n rinnankorkeusläpimitan puissa se oli 50 % korkeudella. Samalla suhteellisella korkeudella kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli tyveä lukuunottamatta sitä alhaisempi, mitä suurempi oli rinnankorkeusläpimitta. Tyvesä ero oli hyvin pieni.

Kuiva-tuoretiheys  
Basic density  
kg/m<sup>3</sup>



Kuva 20. Harmaalepän kuorellisen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 20. Basic density of grey alder wood and bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

|  | Kerroin    | t-arvo |
|--|------------|--------|
| Selitettävä:                                     |            |        |
| Kuorellinen kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup> |            |        |
| Selittäjät:                                      |            |        |
| Vakio  | 506,9      | 25,6   |
| h  | -4,783     | -2,3   |
| t  | 1,011      | 2,9    |
| w  | -50,38     | -3,6   |
| z <sup>3</sup>                                   | 0,00003144 | 5,1    |
| dz   | -0,002695  | -2,9   |
| h <sup>2</sup>                                   | -0,1240    | -3,2   |
| h <sup>1,68</sup>                                | 0,7454     | 3,0    |
| w <sup>2</sup>                                   | 11,54      | 3,0    |
| w <sup>4,38</sup>                                | -0,1230    | -2,8   |

Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 14,9 %

Jäännöshajonta (s) = 24,0 kg/m<sup>3</sup>

Kuorellinen kuiva-tuoretiheys kohosi iän lisääntyessä. Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina puun pituuden kasvaessa sen kuiva-tuoretiheyttä pienentävä vaikutus pieni. Rungon kasvunopeuden parantua kuorellinen kuiva-tuoretiheys aleni.

Harmaalepän keskimääräinen kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 360,7 kg/m<sup>3</sup> (s = 34,4 kg/m<sup>3</sup>). Koi-vuun verrattuna lepän kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli noin 100 kg/m<sup>3</sup> alhaisempi.

Harmaalepän kuorellinen kuiva-tuoretiheys kohosi lineaarisesti tyvestä latvaan päin (kuva 20). Kohoaminen oli voimakkainta isoissa puissa. Tiheys kasvoi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella rinnankorkeusläpimitan suuretessa.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

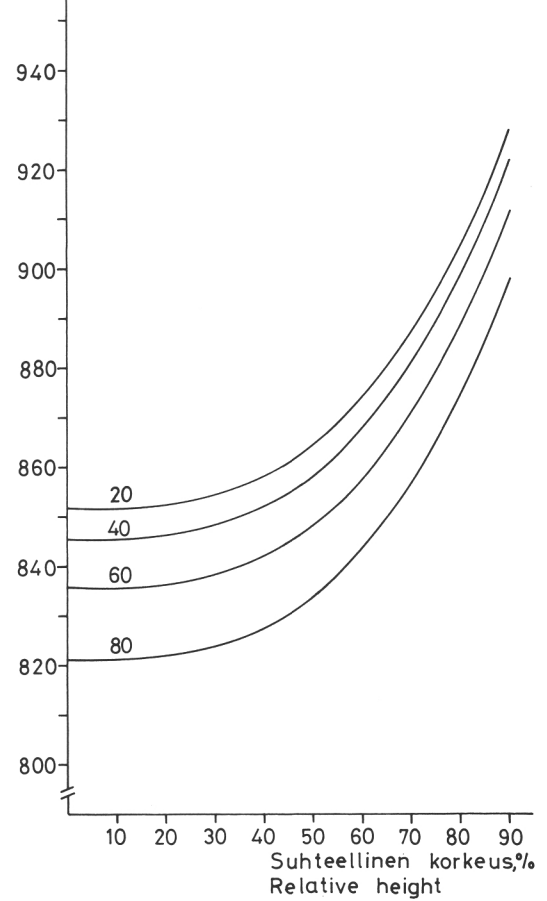
|  | Kerroin  | t-arvo |
|--|----------|--------|
| Selitettävä:                                     |          |        |
| Kuorellinen kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup> |          |        |
| Selittäjät:                                      |          |        |
| vakio  | 601,1    | 10,6   |
| d  | 17,80    | 3,7    |
| d <sup>2</sup>                                   | 0,2029   | 2,2    |
| dz   | 0,004480 | 4,1    |
| w  | -39,71   | -1,9   |
| h  | -33,07   | -4,6   |
| d <sup>1,64</sup>                                | -1,863   | -2,6   |
| w <sup>2</sup>                                   | 6,864    | 1,3    |
| w <sup>4,69</sup>                                | -0,02561 | -1,0   |
| h <sup>2</sup>                                   | -0,3403  | -4,1   |
| h <sup>1,59</sup>                                | 4,131    | 4,3    |

Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 41,3 %

Jäännöshajonta (s) = 26,9 kg/m<sup>3</sup>

Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina puun pituuden kasvaessa kuiva-tuoretiheys aleni. Rungon kasvunopeuden parantua kuiva-tuoretiheys aleni.

Tuoretiheys  
Green density  
kg/m<sup>3</sup>



Kuva 21. Hieskoivun kuorellisen tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

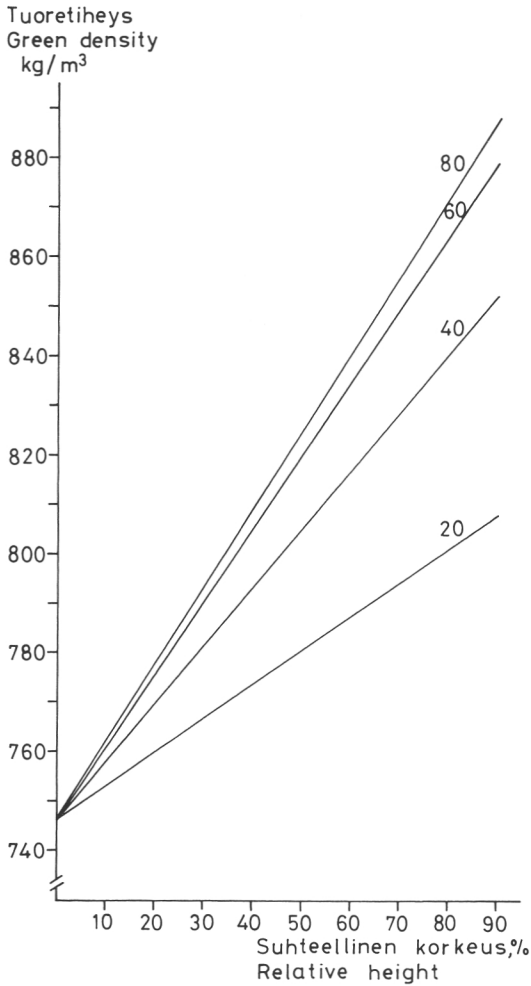
Fig. 21. Green density of white birch wood and bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

## 76. Kuorellinen tuoretiheys

Koivun keskimääräinen kuorellinen tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 855,4 kg/m<sup>3</sup> (s = 63,2 kg/m<sup>3</sup>).

Hieskoivulla kuorellinen tuoretiheys kohosi tyvestä latvaan päin ja oli sitä suurempi, mitä pienemmistä puista oli kyse (kuva 21).

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.



Kuva 22. Harmaalepän kuorellisen tuoretiheyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 22. Green density of grey alder wood and bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Kuorelliseen tuoretiheyteen vaikutti rinnankorkeusläpimitan ja suhteellisen korkeuden lisäksi puun ikä. Sen kasvaessa tuoretiheys kohosi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella. Puun ikä vaikutti enemmän rauduskoivulla. Hieskoivuun verrattuna rauduskoivun kuorellinen tuoretiheys oli alhaisempi.

Harmaalepän keskimääräinen kuorellinen tuoretiheys oli kiekkonäytteiden perusteella 793,0 kg/m<sup>3</sup> (s = 82,6 kg/m<sup>3</sup>).

Lepän kuorellinen tuoretiheys kohosi suoraviivaisesti tyvestä latvaan päin (kuva 22). Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa tuoretiheys kohosi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella kannonkorkeutta lukuunottamatta. Tyvessä tuoretiheys oli sama puun koosta riippumatta.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

| Selittävä:                                  | Kerroin | t-arvo |
|---|---------|--------|
| Kuorellinen tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup>  |         |        |
| Selittäjät:                                 |         |        |
| Vakio                                       | 784,4   | 69,7   |
| dz  | 0,02369 | 9,2    |
| w   | -14,11  | -3,3   |
| Selitysaste (R <sup>2</sup> ) = 24,4 %      |         |        |
| Jäännöshajonta (s) = 72,0 kg/m <sup>3</sup> |         |        |

Puun koon ja suhteellisen korkeuden lisäksi harmaalepän kuorelliseen tuoretiheyteen vaikutti rungon kasvunopeus. Sen parantuessa 1 mm:llä tuoretiheys aleni 14 kg/m<sup>3</sup>.

## 77. Suhteellinen epäpyöreys

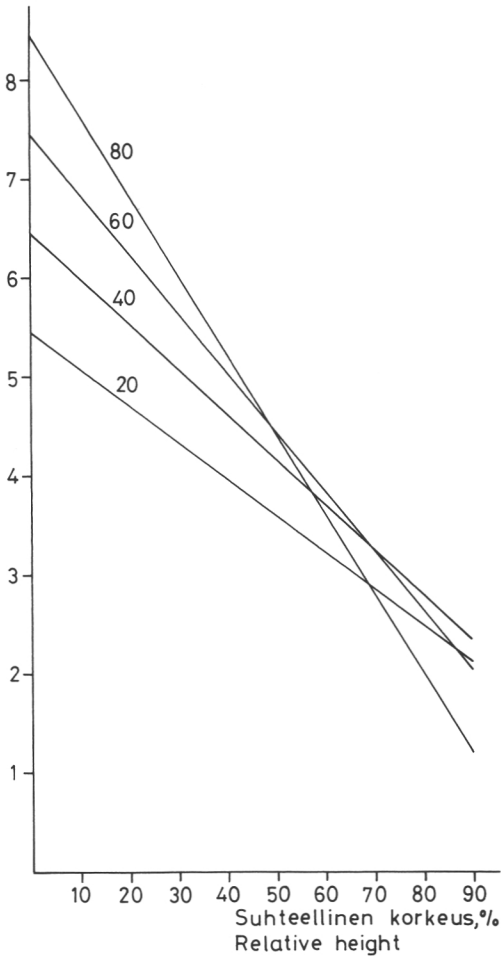
Koivun keskimääräinen suhteellinen epäpyöreys kuorellisena oli kiekkonäytteiden perusteella 4,6 % (s = 4,2 %).

Kuvassa 23 on esitetty hieskoivun suhteellisen kuorellisen epäpyöreiden vaihtelu puun pituden suunnassa. Epäpyöreys aleni tyvestä latvaan lineaarisesti sitä voimakkaammin, mitä suuremmasta puusta oli kyse. Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa suhteellinen kuorellinen epäpyöreys kohosi. Erot latvassa olivat pieniä.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

| Selittävä:                                  | Kerroin   | t-arvo |
|---|-----------|--------|
| Kuorellinen tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup>  |           |        |
| Selittäjät:                                 |           |        |
| Vakio                                       | 805,5     | 33,0   |
| d   | -0,6972   | -6,5   |
| t   | 9,930     | 2,4    |
| t <sup>2</sup>                              | -0,3389   | -2,1   |
| z <sup>3</sup>                              | 0,0001053 | 13,1   |
| E   | -180,4    | -3,3   |
| Et  | 19,20     | 2,9    |
| Selitysaste (R <sup>2</sup> ) = 22,6 %      |           |        |
| Jäännöshajonta (s) = 55,8 kg/m <sup>3</sup> |           |        |

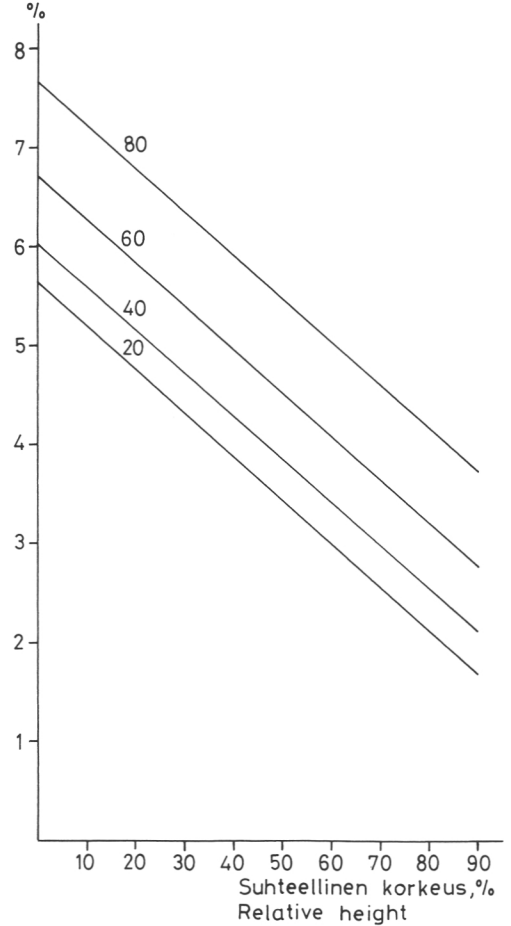
Suhteellinen epäpyöreys  
Relative out-of-roundness  
%



Kuva 23. Hieskoivun suhteellisen kuorellisen epäpyöreiden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 23. Relative out-of-roundness of white birch with bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Suhteellinen epäpyöreys  
Relative out-of-roundness  
%



Kuva 24. Harmaalepän suhteellisen kuorellisen epäpyöreiden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeusläpimitan puissa.

Fig. 24. Relative out-of-roundness of grey alder with bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

|  | Kerroin      | t-arvo |
|--|--------------|--------|
| Selittävä:<br>Suhteellinen kuorellinen epäpyöreys, % |              |        |
| Selittäjät:  |              |        |
| Vakio  | 4,465        | 8,6    |
| d  | 0,05001      | 5,2    |
| z  | -0,03427     | -4,8   |
| d <sup>2</sup> z                                     | -0,000007280 | -3,9   |
| Selitysaste (R <sup>2</sup> ) = 17,1 %               |              |        |
| Jäännöshajonta (s) = 3,87 %                          |              |        |

Harmaalepän keskimääräinen suhteellinen epäpyöreys kuorellisena oli kiekkonäytteiden perusteella 4,7 % (s = 4,9 %).

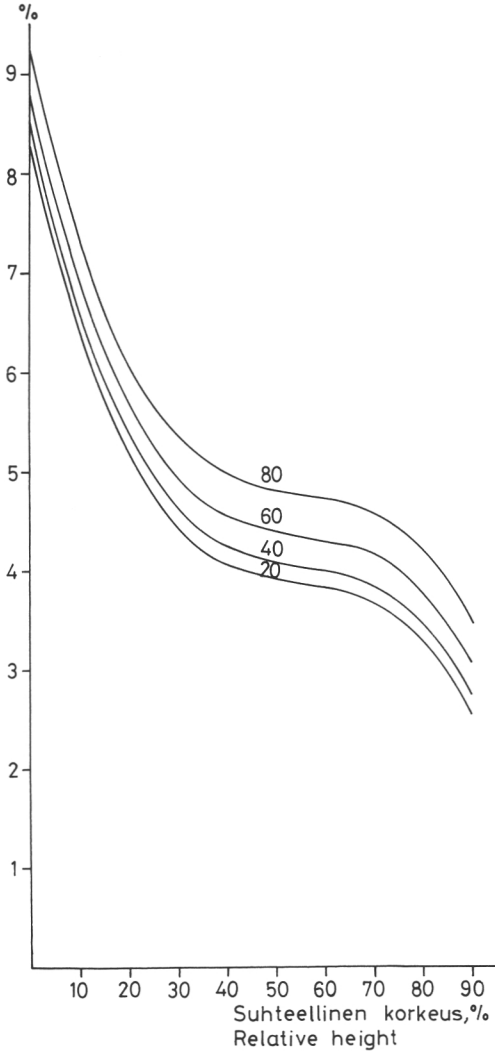
Epäpyöreys aleni lineaarisesti tyvestä latvaan päin (kuva 24). Rinnankorkeusläpimi-

tan kasvaessa suhteellinen kuorellinen epäpyöreys kohosi jatkuvasti kasvavalla nopeudella.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

|  | Kerroin     | t-arvo |
|--|-------------|--------|
| Selittävä:<br>Suhteellinen kuorellinen epäpyöreys, % |             |        |
| Selittäjät:  |             |        |
| Vakio  | 4,950       | 11,6   |
| d <sup>2</sup> z                                     | 0,000005980 | 2,1    |
| t <sup>2</sup>                                       | 0,01169     | 5,4    |
| tz   | -0,005862   | -4,9   |
| Selitysaste (R <sup>2</sup> ) = 12,9 %               |             |        |
| Jäännöshajonta (s) = 4,58 %                          |             |        |

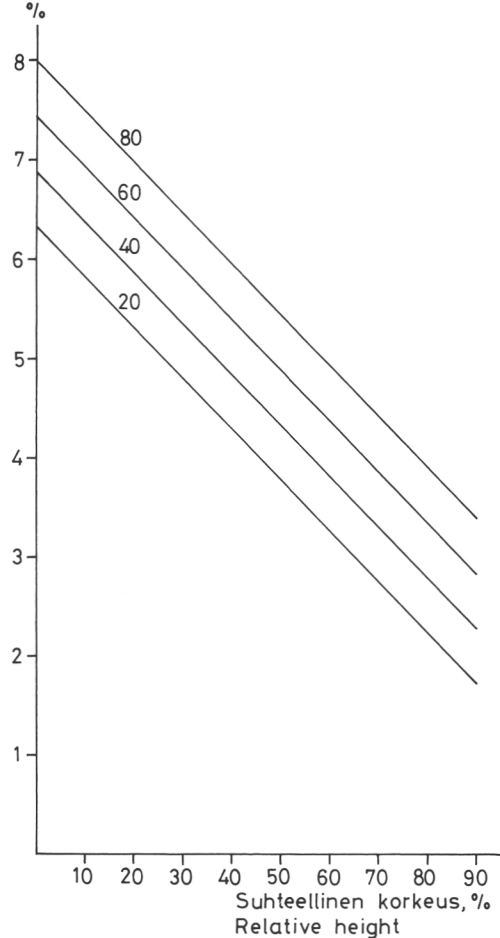
Suhteellinen epäpyöreys  
Relative out-of-roundness



Kuva 25. Hieskoivun suhteellisen kuorettoman epäpyöreyyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeuslähimittan puissa.

Fig. 25. Relative out-of-roundness of white birch under bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Suhteellinen epäpyöreys  
Relative out-of-roundness



Kuva 26. Harmaalepän suhteellisen kuorettoman epäpyöreyyden riippuvuus suhteellisesta korkeudesta 20, 40, 60 ja 80 mm rinnankorkeuslähimittan puissa.

Fig. 26. Relative out-of-roundness of grey alder under bark according to the relative height of the stems with a breast height diameter of 20, 40, 60 and 80 mm.

Harmaalepän suhteelliseen kuorelliseen epäpyöreyyteen vaikutti rinnankorkeuslähimittan ja suhteellisen korkeuden lisäksi puun ikä. Muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina puun iän kasvaessa suhteellinen kuorellinen epäpyöreys kohosi.

Koivun keskimääräinen suhteellinen epäpyöreys kuorettomana oli kiekkonäytteiden perusteella 5,1 % ( $s = 5,1$  %).

Hieskoivun suhteellinen kuoreton epäpyöreys aleni tyvestä latvaan päin (kuva 25). Rinnankorkeuslähimittan kasvaessa epäpyöreys kohosi jatkuvasti kasvavalla nopeudella.

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

|  | Kerroin    | t-arvo |
|--|------------|--------|
| Selittävä:                             |            |        |
| Suhteellinen kuoreton epäpyöreys, %    |            |        |
| Selittäjät:                            |            |        |
| Vakio                                  | 7,926      | 17,4   |
| d <sup>2</sup>                         | 0,0004584  | 3,9    |
| w <sup>2</sup>                         | -0,2086    | -3,4   |
| z                                      | -0,1116    | -5,5   |
| z <sup>2</sup>                         | 0,0006831  | 3,1    |
| Ed <sup>2</sup> z                      | 0,00005195 | 4,2    |
| Etz                                    | -0,007733  | -2,7   |
| Selitysaste (R <sup>2</sup> ) = 12,0 % |            |        |
| Jäännöshajonta (s) = 4,83 %            |            |        |

Rungon kasvunopeuden parantuessa suhteellinen kuoreton epäpyöreys aleni.

Harmaalepän keskimääräinen suhteellinen epäpyöreys kuorettomana oli kiekkonäytteiden perusteella 5,0 % (s = 5,4 %).

Puun pituuden suunnassa se aleni lineaarisesti tyvestä latvaan päin ja kasvoi tasaisesti rinnankorkeusläpimitan suuretessa (kuva 26).

Muiden tekijöiden vaikutus em. tekijöiden lisäksi ilmenee seuraavasta yhtälöstä.

|  | Kerroin  | t-arvo |
|--|----------|--------|
| Selittävä:                             |          |        |
| Suhteellinen kuoreton epäpyöreys, %    |          |        |
| Selittäjät:                            |          |        |
| Vakio                                  | 6,069    | 10,2   |
| z                                      | -0,05137 | -4,7   |
| t <sup>2</sup>                         | 0,007755 | 3,7    |
| Selitysaste (R <sup>2</sup> ) = 11,2 % |          |        |
| Jäännöshajonta (s) = 5,14 %            |          |        |

Puun iän kasvaessa harmaalepän suhteellinen kuoreton epäpyöreys kohosi.

## 8. OKSIEN PUUTEKNISET OMINAISUUDET

### 81. Puuaineen kuiva-tuoretiheys

Hieskoivun oksien keskimääräinen puuaineen kuiva-tuoretiheys oli 493,0 kg/m<sup>3</sup> (s = 31,8 kg/m<sup>3</sup>). Lyhyiden oksien (alle 1,5 m) ja pitkien oksien (yli 1,5 m) kuiva-tuoretiheyksissä ei ollut huomattavaa eroa.

Puun koon kasvaessa oksien puuaineen kuiva-tuoretiheys kohosi. Regressioyhtälö pitkille oksille sai seuraavan muodon.

$$(11) y = 466,8 + 0,00451 dh$$

jossa y = puuaineen kuiva-tuoretiheys, kg/m<sup>3</sup>  
 Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 8,4 %  
 Jäännöshajonta (s) = 27,8 kg/m<sup>3</sup>

Runkopuun puuaineen kuiva-tuoretiheyteen verrattuna oksien puuaine oli n. 50 kg/m<sup>3</sup> tiheämpää. Ennusteyhtälö puuaineen kuiva-tuoretiheyksien erolle runkopuussa ja oksissa oli seuraava.

$$(12) y = -61,70 + 0,5511 d - 0,9038 w^3$$

jossa y = puuaineen kuiva-tuoretiheys (runkopuussa — oksissa), kg/m<sup>3</sup>  
 Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 13,2 %  
 Jäännöshajonta (s) = 29,3 kg/m<sup>3</sup>

Rungon kasvunopeuden parantuminen suurensi eroa kuiva-tuoretiheyksien välillä. Tämä johtunee siitä, että runkopuun kuiva-tuoretiheys aleni kasvunopeuden lisääntyessä.

Harmaalepällä oksien keskimääräiseksi puuaineen kuiva-tuoretiheydeksi saatiin 379,6 kg/m<sup>3</sup> (s = 54,4 kg/m<sup>3</sup>). Pitkien oksien (yli 1,5 m) kuiva-tuoretiheys oli suurempi kuin lyhyiden oksien (alle 1,5 m). Puun koon kas-

vaessa oksien kuiva-tuoretiheys kohosi: rinnankorkeusläpimitaltaan alle 20 mm puilla se oli 344 kg/m<sup>3</sup> ja yli 80 mm puilla 394 kg/m<sup>3</sup>.

Tutkittaessa valikoivalla regressioanalyysillä muiden tekijöiden vaikutusta oksien puuaineen kuiva-tuoretiheyteen havaittiin, että rungon kasvunopeuden parantuessa oksien kuiva-tuoretiheys kasvoi. Esimerkiksi pitkille oksille saatiin seuraava regressioyhtälö.

$$(13) y = 360,1 + 12,02 w$$

jossa y = puuaineen kuiva-tuoretiheys, kg/m<sup>3</sup>  
 Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 21,5 %  
 Jäännöshajonta (s) = 26,0 kg/m<sup>3</sup>

Runkopuun puuaineen kuiva-tuoretiheyteen (353,4 kg/m<sup>3</sup>) verrattuna oksien puuaine oli yli 20 kg/m<sup>3</sup> tiheämpää. Ero kasvoi rungon kasvunopeuden parantuessa, koska oksien kuiva-tuoretiheyteen kasvunopeuden lisääntyminen vaikutti positiivisesti, mutta runkopuun puuaineen tiheyteen negatiivisesti.

### 82. Puuaineen kosteussuhde

Keskimääräinen puuaineen kosteussuhde oli hieskoivun oksissa 76,7 % (s = 16,3 %). Pitkien ja lyhyiden oksien välillä ei kosteussuhteessa ollut eroa.

Runkopuun keskimääräinen puuaineen kosteussuhde oli n. 10 % suurempi kuin ok-

sien. Ennusteyhtälö puuaineen kosteussuhteen erolle runkopuun ja oksien välillä oli seuraava.

$$(14) y = 39,5 - 0,4676 h$$

jossa y = puuaineen kosteussuhde (runkopuussa — oksissa), %  
 Selitysaste ( $R^2$ ) = 14,7 %  
 Jäännöshajonta (s) = 23,0 %

Yhtälöstä havaitaan, että eroon vaikutti puun pituus: sen kasvaessa ero pieneni, kunnes puun pituuden ollessa noin 85 dm ero oli nolla. Puun pituuden lisääntyessä tästä ero kasvoi jälleen. Tällöin ero oli kuitenkin negatiivinen, ts. oksien puuaineen kosteussuhde oli suurempi kuin runkopuun. Tämä johtui siitä, että runkopuussa puun pituuden kasvaminen alensi puuaineen kosteussuhdetta, kun taas oksissa se lisäsi.

Keskimääräinen oksien puuaineen kosteussuhde oli harmaalepällä 98,3 % (s = 22,5 %). Runkopuun puuaineen kosteussuhteeseen verrattuna se oli n. 10 % alhaisempi.

Oksien puuaineen kosteussuhteeseen vaikutti sekä pitkissä että lyhyissä oksissa puun koko. Puun koon suuretessa oksien puuaineen kosteussuhde kohosi. Pitkille oksille saatiin seuraava regressioyhtälö.

$$(15) y = 57,68 - 2,124 d + 2,130 h + 0,01327 d^2 - 0,00006896 h^3$$

jossa y = puuaineen kosteussuhde, %  
 Selitysaste ( $R^2$ ) = 75,0 %  
 Jäännöshajonta (s) = 6,3 %

### 83. Kuoren osuus

Hieskoivun oksien keskimääräinen kuoren osuus on esitetty seuraavassa jaotelmassa.

|                              | alle 1,5 m        | Oksat<br>yli 1,5 m | kaikki            |
|------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Kuoren osuus tilavuudesta, % | 36,4<br>(s = 5,1) | 27,7<br>(s = 3,0)  | 33,3<br>(s = 5,7) |
| kuivasta massasta, %         | 37,3<br>(s = 4,6) | 28,0<br>(s = 3,3)  | 33,9<br>(s = 5,4) |

Jaotelmasta havaitaan, että molemmissa tapauksissa kuoren osuus oli korkeampi lyhyissä kuin pitkissä oksissa. Kuoren osuus sekä tilavuudesta että kuivasta massasta oli suurempi oksissa kuin runkopuussa.

Rinnankorkeuslähimitalaan kasvaessa kuo-

ren osuus oksissa aleni. Rinnankorkeuslähimitalaan alle 20 mm puiden oksissa kuoren osuus tilavuudesta oli 38 %, mutta yli 80 mm puiden oksissa vain 28 %. Tähän vaikutti ilmeisesti pitkien oksien määrän lisääntymisen puun koon kasvaessa. Regressioyhtälö sekä lyhyille että pitkille oksille oli seuraava.

$$(16) y = 39,3 - 0,1307 d$$

jossa y = kuoren osuus tilavuudesta, %  
 Selitysaste ( $R^2$ ) = 30,6 %  
 Jäännöshajonta (s) = 4,7 %

Harmaalepän oksien keskimääräinen kuoren osuus ilmenee seuraavasta jaotelmasta.

|                              | alle 1,5 m        | Oksat<br>yli 1,5 m | kaikki            |
|------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Kuoren osuus tilavuudesta, % | 40,4<br>(s = 6,6) | 29,8<br>(s = 3,2)  | 36,6<br>(s = 7,2) |
| kuivasta massasta, %         | 43,8<br>(s = 6,0) | 31,1<br>(s = 3,8)  | 39,3<br>(s = 7,6) |

Kuoren osuus oli molemmissa tapauksissa suurempi oksissa kuin runkopuussa. Esimerkiksi kuoren osuus tilavuudesta oli runkopuussa vain 19,9 %. Lyhyissä oksissa (alle 1,5 m) kuoren osuus oli aina suurempi kuin pitkissä oksissa (yli 1,5 m).

Puun koko vaikutti oksien kuoren osuuteen molemmissa tapauksissa samalla tavalla kuin runkopuulla: puun koon kasvaessa kuoren osuus aleni. Esimerkiksi kuoren osuus tilavuudesta alle 20 mm rinnankorkeuslähimitalaan puiden oksissa oli 45 %, mutta yli 80 mm puiden oksissa vain 27 %. Tämä johtunee pitkien oksien määrän lisääntymisestä puun koon kasvaessa. Ainoastaan kuoren osuus kuivasta massasta lyhyissä oksissa pysyi likimain vakiona. Esimerkkinä esitetään kuoren osuudelle tilavuudesta saadut regressioyhtälöt.

lyhyet oksat

$$(17) y = 58,92 - 0,2893 h$$

Selitysaste ( $R^2$ ) = 31,1 %  
 Jäännöshajonta (s) = 5,2 %

pitkät oksat

$$(18) y = 35,21 - 0,001311 dh$$

Selitysaste ( $R^2$ ) = 54,1 %  
 Jäännöshajonta (s) = 2,2 %  
 joissa y = kuoren osuus tilavuudesta, %

## 84. Kuoren kuiva-tuoretiheys

Hieskoivun oksien keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys oli 506,8 kg/m<sup>3</sup> (s = 39,8 kg/m<sup>3</sup>). Lyhyissä oksissa se oli suurempi (517 kg/m<sup>3</sup>) kuin pitkissä oksissa (492 kg/m<sup>3</sup>).

Puun koon kasvaessa oksien kuoren kuiva-tuoretiheys aleni: rinnankorkeusläpimitaltaan alle 20 mm puiden oksissa se oli 533 kg/m<sup>3</sup> ja yli 80 mm puiden oksissa 489 kg/m<sup>3</sup>. Syynä oli ilmeisesti pitkien oksien määrän lisääntyminen.

Oksien kuoren kuiva-tuoretiheys oli hiukan suurempi kuin runkopuun. Ero pieni rungon kasvunopeuden parantuessa. Tämä johtui siitä, että runkopuun kuoren kuiva-tuoretiheys kasvoi kasvunopeuden lisääntymisessä.

Keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys oli harmaalepän oksissa 425,2 kg/m<sup>3</sup> (s = 56,2 kg/m<sup>3</sup>), mikä oli n. 35 kg/m<sup>3</sup> enemmän kuin keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys runkopuussa. Lyhyissä oksissa se oli korkeampi kuin pitkissä oksissa.

Rungon kasvunopeuden parantuessa kuoren kuiva-tuoretiheys kohosi. Kasvunopeuden vaikutus oli sama runkopuussa. Pitkien oksien regressioyhtälö oli seuraava.

$$(19) y = 382,0 + 13,47 w$$

jossa y = kuoren kuiva-tuoretiheys, kg/m<sup>3</sup>  
Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 25,7 %  
Jäännöshajonta (s) = 25,9 kg/m<sup>3</sup>

## 85. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys

Keskimääräinen kuorellinen kuiva-tuoretiheys hieskoivun oksissa oli 496,9 kg/m<sup>3</sup> (s = 26,5 kg/m<sup>3</sup>). Runkopuuhun verrattuna se oli yli 40 kg/m<sup>3</sup> suurempi. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli lyhyissä oksissa keskimäärin 503 kg/m<sup>3</sup> ja pitkissä oksissa 489 kg/m<sup>3</sup>.

Puun pituuden kasvaessa oksien kuorellinen kuiva-tuoretiheys kohosi. Regressioyhtälö pitkille oksille oli seuraava.

$$(20) y = 435,1 + 0,7006 h$$

jossa y = kuorellinen kuiva-tuoretiheys, kg/m<sup>3</sup>  
Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 13,1 %  
Jäännöshajonta (s) = 25,4 kg/m<sup>3</sup>

Harmaalepän oksien keskimääräinen kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli 396,2 kg/m<sup>3</sup> (s = 50,2 kg/m<sup>3</sup>). Lyhyiden ja pitkien oksien vä-

lillä ei ollut huomattavaa eroa. Kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli suurimmillaan rinnankorkeusläpimitaltaan 40...60 mm puiden oksissa. Rungon kasvunopeuden parantuessa kuorellinen kuiva-tuoretiheys kohosi. Pitkien oksien regressioyhtälö oli seuraava.

$$(21) y = 366,0 + 12,49 w$$

jossa y = kuorellinen kuiva-tuoretiheys, kg/m<sup>3</sup>  
Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 29,1 %  
Jäännöshajonta (s) = 21,5 kg/m<sup>3</sup>

Runkopuuhun verrattuna oksien kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli n. 35 kg/m<sup>3</sup> korkeampi. Ero kasvoi rungon kasvunopeuden parantuessa. Ennusteyhtälö runkopuun ja oksien kuorellisen kuiva-tuoretiheyden erolle sai seuraavan muodon.

$$(22) y = -17,69 - 11,42 w$$

jossa y = kuorellinen kuiva-tuoretiheys (runkopuussa — oksissa), kg/m<sup>3</sup>  
Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 14,8 %  
Jäännöshajonta (s) = 30,0 kg/m<sup>3</sup>

## 86. Kuorellinen tuoretiheys

Hieskoivun oksien keskimääräinen kuorellinen tuoretiheys oli 901,5 kg/m<sup>3</sup> (s = 82,4 kg/m<sup>3</sup>). Se oli suurempi lyhyissä oksissa (909 kg/m<sup>3</sup>) kuin pitkissä oksissa (897 kg/m<sup>3</sup>).

Oksien kuorelliseen tuoretiheyteen vaikutti puun pituus: sen kasvaessa tuoretiheys kohosi jatkuvasti hidastuvalla nopeudella. Regressioyhtälö lyhyiden oksien osalta oli seuraava.

$$(23) y = 501,7 + 10,81 h - 0,06783 h^2$$

jossa y = kuorellinen tuoretiheys, kg/m<sup>3</sup>  
Selitysaste (R<sup>2</sup>) = 26,0 %  
Jäännöshajonta (s) = 60,0 kg/m<sup>3</sup>

Oksien keskimääräinen kuorellinen tuoretiheys oli n. 50 kg/m<sup>3</sup> suurempi kuin runkopuun. Eroon vaikutti puun pituus: sen ollessa alle 40 dm runkopuun kuorellinen tuoretiheys oli suurempi. Ero pieni puun pituuden kasvaessa. Kun puun pituus oli yli 40 dm oli oksien tuoretiheys suurempi. Ero kasvoi pituuden kasvaessa. Tähän kuorellisen tuoretiheyden vaihteluun vaikutti ilmeisesti puuaineen kosteusuhde.

Keskimääräinen kuorellinen tuoretiheys oli harmaalepän oksissa 801,2 kg/m<sup>3</sup> (s = 118,6 kg/m<sup>3</sup>). Pitkien ja lyhyiden oksien välillä ei ollut eroa. Rinnankorkeusläpimitan



kasvaessa kuorellinen tuoreiheys oksissa kohosi seuraavasti.

| $d_{1,3}$ , mm | kuorellinen tuoreiheys, kg/m <sup>3</sup> |
|----------------|---|
| 0...20         | 717                                       |
| 21...40        | 767                                       |
| 41...60        | 850                                       |
| 61...80        | 856                                       |
| 81...          | 862                                       |
| kaikki         | 801                                       |

Regressioyhtälö sai seuraavan muodon.

$$(24) y = 708,6 + 2,161 d$$

jossa  $y$  = kuorellinen tuoreiheys, kg/m<sup>3</sup>  
 Selitysaste ( $R^2$ ) = 18,7 %  
 Jäännöshajonta ( $s$ ) = 108,4 kg/m<sup>3</sup>

Runkopuun ja oksien kuorellisissa tuoreiheyksissä ei ollut huomattavaa eroa (793 kg/m<sup>3</sup> ja 801 kg/m<sup>3</sup>), huolimatta siitä, että oksien kuiva-tuoreiheys oli selvästi suurempi kuin runkopuun. Tämä johtunee siitä, että runkopuussa puuaineen kosteussuhde oli suurempi.

## 9. TULOSTEN TARKASTELUA

Tulosten luotettavuuteen vaikuttavat monet seikat, joita on kirjallisuudessa käsitelty biomassatutkimusten yhteydessä hyvin vähän. Koepuiksi tulleiden puiden edustavuudesta on vaikea esittää mitään täsmällistä: ei tunneta sitä populaatiota, johon yleistämisestä on kyse. Metsikön sisäiset virherajat voidaan kyllä laskea koepuiden perusteella, mutta kun metsikköjä tulee tämänkaltaisiin biomassatutkimuksiin yleensä niukalti, metsiköiden välinen varianssi tulee aliarvioiduksi. Tuloksia on pidettävä edustavuusongelman vuoksi esimerkinluonteisina: esitetyt luvut ovat parempia kuin ei-mitkään-luvut ja antavat siis mielikuvan suuruusluokista ja vaikuttavista tekijöistä.

Toinen kysymys on tekninen menettely puukohtaisten tulosten saamisessa. Metsässä tehtävä puun ositteiden punnitus lienee yleensä tarkkaa, mutta ei kuitenkaan lukematarkkuuden veroista. Toistettavuudesta ei ole tehty systemaattisia mittauksia, mutta eräät metsäteknologian tutkimusosastolla tehdyt hajahavainnot viittaavat siihen, että huolellisessa työskentelyssä saman puokappaleen toistuneiden punnitusten standardipoikkeama on niin pieni, ettei huoleen ole aihetta. Ehdoton edellytys kuitenkin on, että siirtopainovaaka on maastossa tukevalla alustalla, jonka kaltevuus ei muutu vaakaa kuormitettaessa. Työn kuluessa on tarkkailtava vaa'an pysymistä vaakatasossa. Ellei työskentelyssä jatkuvasti kiinnitetä huomiota punnitusten luotettavuuteen, satunnaisten ja systemaattistenkin virheiden riski kasvaa nopeasti.

Jos puun tuoreudessa saadaankin selvitettyksi varsin tarkasti, itse tunnus ei sellaisenaan ole kovin informatiivinen. Kun kosteus vaihtelee puussa saman vuorokauden kuluessa jopa useita prosentteja, eri läpimittaluokkien vertailuun syntyy satunnaisvaihtelua riippuen siitä, minä vuorokauden aikana mittaus tehtiin. Vuorokautisen vaihtelun lisäksi on säästä riippuvia päivien ja viikkojen pituisia muutosjaksoja, jotka heikentävät olennaisesti tuoreemassan informaatioarvoa.

Kuivamassaan pääsemiseksi joudutaan ottamaan kosteusnäytteitä. Esim. runkopuusta on perinteisesti otettu kiekkoja määrävälein tyvileikkauksesta alkaen. Menettelystä johtuen ei voida laskea, kuinka tarkasti kosteusnäytteiden avulla saadaan selvitettyksi rungon keskikosteus (Cunia 1979). Käytännölliset syyt kuitenkin yleensä estävät määräsuuruisen kiekko-otannon täysin satunnaisesti tai jollakin muulla menetelmällä, joka mahdollistaa kosteustuloksen luotettavuuden arvioinnin. Tämänkaltaiset otantavirheet on yleensä jätetty huomiotta uskoen, ettei niillä ole kokonaisuuden kannalta merkitystä.

Kun kosteusnäytteet suljetaan muovipussihin laboratorioskäsitellyä varten, pussimateriaalin höyrynpitävyydestä, varastointiajan olosuhteista ja kestosta sekä kosteusmäärittäksen suorittamistavasta riippuen menetään kosteutta enemmän tai vähemmän. Ei liene tekijöitä, jotka vastaavasti lisäävät elävistä kasvinosista otettujen näytteiden kosteutta. Näin ollen näytteestä mitattu kosteus saadaan todellisuutta alhaisemmaksi.

Kun metsässä mitattu tuoremassa muunnetaan kosteuden perusteella kuivamassaksi, saadaan liian suuri tulos.

Yliarvioinnin suuruudesta ei ole tuloksia. Vaarana on, että yliarvio on useita prosentteja johtuen siitä, että kaikissa työvaiheissa kosteus pyrkii vähenemään eikä missään lisääntymään.

Hieskoivulla on tulosten mukaan mahdollista tyytyä pelkästään rinnantasalta otettuun kosteusnäytteeseen, koska se likimain kuvastaa koko rungon kosteutta. Sama tulos on saatu myös aiemmin (Hakkila 1979, Auclair ja Metayer 1980), vaikka edellisen tutkimuksen mukaan suurin tarkkuus saadaankin 25 % korkeudelta otetun näytteen avulla. Harmaalepällä ei päästä yhtä yksinkertaiseen otantaan muuten kuin todella karkeat tulokset hyväksyen.

Käytetyistä regressiomalleista saattaa aiheutua joitakin epätarkkuuksia. Kuivamassayhtälöissä käytetty logaritminen malli on biomassatutkimuksissa yleisesti käytetty, mutta tuskin paras mahdollinen. Mm. painotettua regressioanalyysiä on suositeltu perustellumpana menetelmänä (esim. Schreuder ja Swank 1973, Cunia 1979), ellei sitten haluta tyytyä yksinkertaisempiin tai monimutkaisempiin additiivisiin regressiomalleihin, joista niistäkin löytyy kirjallisuudesta lukuisia esimerkkejä (Attiwill 1966, Riedacker 1971, Schreuder ja Swank 1971, Bowersox ja Murphey 1975, Ek 1979, Crow ja Laidly 1980, Auclair ja Metayer 1980).

Pahin yksinkertaisen logaritmisien mallien heikkous lienee se, ettei residuaalitarkastelun paljastamien systemaattisten virheiden korjaus ennusteyhtälön alku- ja loppupäässä ole niin helppoa kuin parametrien suhteen lineaarisissa malleissa. Niinpä huolellista residuaalianalyysiä ei yleensä tehdä yksinkertaista logaritmisia malleja käytettäessä, eikä sitä tehty myöskään tässä tutkimuksessa. Regressioestimaatit ovatkin ilman muuta luotettavimmat vaihteluvälin keskivaiheilla.

Liiallista merkitystä ei tule antaa suurta varmuutta osoittaville tilastokriteereille. Kun havainnot ovat vain muutamasta metsiköstä, tämä merkitsee sitä, että puiden välinen vaihtelu tulee aliarvioiduksi. Regressioestimaatit ovat kuitenkin likimain harhattomat, vaikka havaintoja pidettäisiin satunnaisnäytteenä jostakin populaatiosta, vaikka ne itse asiassa ovatkin vain metsiköittäisiä arvoja (Cunia 1964). Harhattomuudesta riippumatta luo-

tettavuustunnukset ovat pahasti varmuutta liioittelevia. — Toistaiseksi tilastotieteessä ei ole vielä keinoja koaloista aiheutuvan virheen eliminoimiseksi (Cunia 1979).

Regressioyhtälöiden käyttäminen muiden kuin tutkimusmetsiköiden massa-arviointiin saattaa aiheuttaa suuria virheitä (esim. Satoo 1962, 1966). Harha lienee suurempi lehtimassaa kuin muita biomassasuhteita määritettäessä ja valopuilla suurempi kuin varjopuilla (Tadaki 1966). Kuitenkin yhden metsikön koepuiden ( $n = 30$ ) perusteella muodostettu ja kuivapainotaulukoitakin on tehty (Ribe 1973). Young on todennut monissa eri yhteyksissä (esim. 1976, 1978), että eri metsiköiden koepuuaineistot on yhdistettävä kuivapainotaulukoita laadittaessa. Myös Baskerville (1965) ehdottaa tätä, sillä esimerkiksi metsikön tiheydellä (1 700...12 000 runkoa/ha) ei ollut vaikutusta puun rinnankorkeusläpimitan ja latvuksen painon logaritmien välisiin suhteisiin jalokuusimetsiköissä. Toisaalta Satoo (1962, 1965, 1966) ja Tadaki (1966) havaitsivat suuria eroja eri metsiköiden (mukana mm. koivu) regressioyhtälöiden kertoimissa. Bunce (1968) sekä Koerber ja Richardson (1980) suosittelivat eri alueilla ja kasvupaikoilla käytettäväksi paikallisia regressioyhtälöjä, mikäli tutkittavat metsiköt eroavat selvästi toisistaan ravinteisuusyms. ominaisuuksiltaan. Payandehin (1981) käsityksen mukaan olemassa olevien yhtälöiden havaintoaineistoa tulisi kartuttaa enemmän kuin yrittää kehittää valtava määrä alueellisia biomassayhtälöitä, jotka sisältävät selittävinä muuttujina pituuden ja muita muuttujia. Tämä perustuu aiemmin mainittuun tietoon pituusdimension antamasta vähäisestä lisäselityksestä puiden massayhtälöissä.

Logaritmiyhtälöiden vakiokertoimien suuruuden — ainakin lehtimassaa määritettäessä — ei ole todettu riippuvan metsikön pituudesta, keskiläpimitasta, runkoluvusta, puulajista eikä iästä, vaan metsikön sisäisestä kilpailusta (ks. Satoo 1962, Tadaki 1966). Tämän tutkimuksen leppätiheikössä (metsikö 8), jossa kuolleisuus oli hyvin suurta, oli kilpailu kiihkeää ja siten esimerkiksi oksayhtälössä oli vakiotehtävä yli 2,6. Samoin tiheässä koivumetsikössä 3 kerroin oli 2,8, kun koivumetsiköissä se oli keskimäärin 2,0.

Käsillä olevan tutkimuksen tulokset hieskoivun hehtaarikohtaisista tuotoksista olivat poikkeuksellisen korkeita, vaikka otetaankin

huomioon, että mittauksen kohteena oli runkomassan ohella oksamassa. Syynä on epäilemättä kasvupaikan ravinteisuuden ohella puuston vesasyntyisyys. Aiemmat havainnot tukevat käsitystä, että vesat ovat kehityksensä alkuvaiheessa poikkeuksellisen nopeak kasvuisia (Mikola 1942, Lukkala 1946, Yli-Vakkuri 1958). Tuloksia ei ole kuitenkaan syytä yleistää liiaksi: kyseessä ovat yksityistapaukset.

Nyt saadut tulokset olivat korkeita myös keskieuropalaisittain. Belgialaisen 23-vuotiaan hiesvesametsän keskimääräinen vuotuinen käyttökelpoisen biomassan tuotos oli 3,4 t/ha (Duvigneaud ja Kestemont 1977). Vastaava tulos ranskalaisesta koivikosta oli 4,1 t/ha (Auclair ja Metayer 1980). Vertailuna mainittakoon lisäksi, että PERA-tutkimusten vesametsäkasvatuskokeissa ei hieskoivuvesojen ensimmäisen vuoden kuivaainetuotos ole juuri ylittänyt 1 t/ha (Ferm 1982). Varttuneiden 47-vuotiaiden *Betula maximowicziana*-metsiköiden vuotuinen runko- ja oksapuun tuotos oli 4,2 t/ha (Sato 1970). Eteläsuomalaisen 40-vuotiaan raudushiesmetsikön runko- ja oksapuun tuotos oli samaa luokkaa: 4,0 t/ha/v (Mälkönen 1977). Ovingtonin ja Madgwickin (1959) mukaan englantilaisten luonnonnormaalien koivumetsiköiden (raudus-hiessekametsiköt) runko- ja oksapuun kuivaainetuotos saavutti kulminaationsa noin 20 vuoden iällä ollen 6,5 t/ha/v (71 % runkopuu ja 29 % oksat). Suurimman mahdollisen tuotoksen saavuttaminen lyhyehköllä kiertoajalla saattaa tapahtua suosimalla suurta puuston tiheyttä (ks. Pearce 1981). Smithin ja DeBellin (1974) mukaan suuri metsikön tiheys voi nostaa tuotosta jopa kymmenkertaiseksi keskimääräisestä samalla kasvupaikalla, samanikäisissä leppämetsiköissä. Metsikön tiheyden on todettu olevan ainakin yhtä tärkeän kuin kasvupaikan laadun määrittäessä täystiheyden leppämetsiköiden tuotosta (Smith ja DeBell emt.). Samanikäisissä metsiköissä tiheyden lisääntyminen myös kasvattaa runkopuun tuotoksen suhteellista osuutta (esim. Tadaki ym. 1961, Sato 1966, Smith 1973, Nygren 1981). Perala (1973) havaitsi positiivisen ja tilastollisesti merkitsevän riippuvuuden haapavesametsikön alkutiheyden ja metsikön myöhemmän kokonaismassan välillä: tuotos lisääntyi vesametsikön alkutiheyden lisääntyessä aina 80 000 vesaan hehtaaria kohti.

Monissa tutkimuksissa on todettu samanikäisissä metsiköissä runkoluvun kasvaessa myös lehtimassan absoluuttisen määrän kasvavan (esim. Zavitkovski ym. 1974, Pohjonen 1974, Nygren 1981).

Edelleen Zavitkovski ym. (1974) mainitsivat 31 tutkimusta, joissa lehtipuumetsiköiden runkopuun tuotos riippui selvästi metsikön lehtimassan määrästä. Eräällä koivulajilla 1,67 t lehtimassaa tuotti tonnin runkopuuta vuodessa (Sato 1970). On kuitenkin selviä viitteitä, että lehtimassan määrän kasvaminen tietyn rajan yli vaikuttaa runko- ja oksapuun tuotosta vähentävästi (Zavitkovski ym. 1974, Nygren 1981).

Puuteknisten muuttujien suhteen käytettyä metodiikasta mainittakoon, että Jensenin raporttien perusteella ideoitu menetelmä toimi hyvin. Esimerkkinä mainittakoon, että eräässä tapauksessa saatiin valikoivalla regressioanalyysillä selittäviksi tekijöiksi  $d$ ,  $d^2$ ,  $d^2z$ ,  $w$  ja  $h$ , joista  $d$  on rinnankorkeusläpimita,  $z$  suhteellinen korkeus,  $w$  kasvunopeus ja  $h$  pituus. Läpimitasta toisen asteen termi oli siis jo mukana. Selitysaste oli 35,9 % ja jäännöshajonta 32,6. Jensenin menetelmällä saatiin tilastollisesti merkitseväksi lisämuunnokseksi vielä tekijä, jossa läpimitan potenssi oli 1,55. Edelleen saatiin tilastollisesti merkitseviksi tekijöiksi  $w^2$  ja  $w^{4,66}$  sekä  $h^2$  ja  $h^{1,56}$ . Selitysaste oli lisäysten jälkeen 44,2 % ja jäännöshajonta 30,7. Tärkeintä kuitenkin oli, että residuaalijakaumat olivat olennaisesti kauniimmat lisäysten jälkeen: systemaattisia virheitä ei voitu havaita.

Mitä taas itse puuteknologisiin tuloksiin tulee, huomiota kiinnittää koivun ja lepän suuri ero kuiva-tuoretiheydessä, 90...100 kg/m<sup>3</sup> eli noin 30 %. Koivun tilavuuskasvu saa siis olla olennaisesti heikompi kuin lepän, ennen kuin se käy heikommaksi esimerkiksi energiapuuna. Erityisen suuri ero oli tarkasteltaessa oksat sisältävää kokopuuta, koska kuoren tiheys oli puuainetta korkeampi ja kuorta on erityisen runsaasti juuri oksissa. Toisaalta korkeat kuorellisen puun tiheydet ovat arveluttavia siksi, että kuoren mukana poistuu ravinteita selvästi puuainetta enemmän. Niinpä korkean tiheyden omaavaa oksahaketta ei voi pitää samanarvoisena yhtä tiheän runkopuuhakkeen kanssa, koska mm. tuhkapitoisuus ja poistuvien ravinteiden määrä on aivan erilainen.

Jos kyseessä on pelkän puuaineen käyttö, oksien 30...40 % kuoripitoisuus on ilmeinen

haitta. Käytännössä näin korkeat kuoripitoisuudet vaativat erikoislaitteistoja mm. sellun riittävän puhtauden saamiseksi. Näin ollen oksahaketta ei massan valmistuksessa voida lainkaan rinnastaa edes pienikokoisista rungoista tehtyyn runkopuuhaakeeseen, jonka kuoripitoisuus jää yleensä 20 %:n tasoon. Jos vielä runkoihin sovelletaan esim. 6 cm minimiläpimittaa, kuoripitoisuus saadaan likimain yhtä alhaiseksi kuin perinteisessä kuitupuussa. Vastaavasti alenee tuhkapitoisuus ja metsämaan ravinnetappiot. Mikäli näillä tekijöillä on olennainen merkitys esim. kasvupaikan ravinneköyhyyden takia, kuoren osuutta kannattaa minimoida ja keskittyä perinteiseen runkopuuaineeseen johonkin kohtuulliseen minimiläpimittaan saakka.

Merkille pantavaa on, että pienikokoisen koivun puuaineen kuiva-tuoretiheys on alhaisempi kuin varttuneen koivun. Tämän ai-

neiston kuiva-tuoretiheyden keskiarvo oli 40...45 kg/m<sup>3</sup> pienempi kuin Hakkilan (1979) suuremmista koivuista saamat tulokset. Lepällä ero on pienempi, luokaltaan 10 kg/m<sup>3</sup>, kuten voi päätellä vertaamalla tuloksia Hakkilan (1970) tutkimukseen. Näin ollen koivun ja lepän jo nuorella iällä suuri tiheys ero edelleen kasvaa iän myötä.

Edellä olevasta voidaan päätellä, ettei ole riittävää tarkastella pelkästään biomassan tuotosta pinta-alayksikköä kohti, koska biomassan koostumus vaihtelee mm. puun koon ja oksaisuuden mukaan. Nyt tarkastellun kaltaisessa pienpuustossa puutekniset vaikeudet ovat suuria esimerkiksi massan saantoa silmällä pitäen. Erityisesti korkea kuoripitoisuus lisää vaikeuksia. Voidaankin väittää, että jos edes likimain sama biomassaa voidaan tuottaa enemmän runkopuuta tuottavalla vaihtoehdolla, se on pantava lyhyen kiertoajan vaihtoehdon tilalle.

## KIRJALLISUUTTA

- ATTIWILL, P. M. 1966. A method for estimating crown weight in Eucalyptus, and some implications of relationships between crown weight and stem diameter. *Ecology* 47(5):795-804.
- AUCLAIR, D. & METAYER, S. 1980. Methodologie de l'évaluation de la biomasse aeriennne sur pied et de la production en biomasse de taillis. Summary. *Acta Ecologica Ecol. Applic.* 1(4):357-377.
- BASKERVILLE, G. L. 1965. Dry matter production in immature balsam for stands. *For. Sci. Monogr.* 9:1-42.
- 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Can. J. For. Res.* 4:149.
- BOUCHON, J. 1973. Biomass studies in a biological reserve. I. Estimation branch volume. In IUFRO biomass studies. Papers presented during meetings of S. 401 in Nancy, France, June 25-29, 1973 and in Vancouver B. C. Canada. August 20-24, 1973 (Young H. E. ed.). College of Life Sciences and Agriculture, Univ. of Maine at Orono. s. 251-257.
- BOWERSOX, T. W. & MURPHEY, W. K. 1975. Tree weight estimates for small-sized trees. *Tappi* 58(1):130-131.
- BUNCE, R. G. H. 1968. Biomass and production of trees in a mixed deciduous woodlands. I. Girth and height as parameters for the estimation of tree dry weight. *J. Ecol.* 56:759-775.
- BØRSET, O. & LANGHAMMER, A. 1966. Vekst og produksjon i bestand av gråor (*Alnus incana*). Summary: Growth and yield in stands of grey alder (*Alnus incana*). *Meld. Norgens Lantbrukshøgsk.* 45(24):1-34.
- CROW, T. R. 1978. Common regressions to estimate tree biomass in tropical stands. *For. Sci.* 24(1):110-114.
- & LAIDLAY, P. R. 1980. Alternative models for estimating woody plant biomass. *Can. J. For. Res.* 10:367-370.
- CUNIA, T. 1964. Weighted least squares method and construction of volume tables. *For. Sci.* 10(2):180-191.
- 1979. On sampling trees for biomass tables construction: some statistical comments. *Forest Resource Inventory Workshop Proceedings — Vol. 2 — Frayer, W. E. (ed.) Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA. s. 643-664.*
- DUVIGNEAUD, P. & KESTEMONT, P. 1977. Productivite biologique en Belgique. *Duculot, Paris-Gembloux.* 617 s.
- EK, A. R. 1979. A model for estimating branch weight in biomass studies. *For. Sci.* 25(2):303-306.
- Energiametsätoimikunnan mietintö I. Komiteamietintö 1979:49,111 s.
- Energiametsätoimikunnan mietintö II. Komiteamietintö 1980:50,323 s.
- FERM, A. 1982. Koivu vesametsäpuuna. Summary: Birch coppice. Teoksessa: Puu energiaraaka-aineeina. Kokousesitelmät. Wood as a raw material for energy production. Symposium papers. Käsikirjoitus, Metsäntutkimuslaitos, The Finnish Forest Research Institute.
- FINNEY, D. J. 1941. On the distribution of a variate whose logarithm is normally distributed. *J. R. Stat. Soc. Ser. B7:155-161.*

- FORD, E. D. & NEWBOULD, P. J. 1970. Stand structure and dry weight production through the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) coppice cycle. *J. Ecol.* 58:275—296.
- GREEN, D. C. & GRIGAL, D. F. 1978. Generalized biomass estimation equations for jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.). *Coll. For., Univ. Minn., Minn. For. Res. Notes*, No. 268:1—4.
- HAKKILA, P. 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (*Alnus incana*). *Seloste: Harmaalepän puuaineen tiheys, kuoriprosentti ja kuiva-ainesisältö. Commun. Inst. For. Fenn.* 71.5:1—33.
- 1979. Wood density and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. *Seloste: Mänty-, kuusi ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. Commun. Inst. For. Fenn.* 96.3:1—59.
- , KALAJA, H & MÄKELÄ, M. 1975. Kokopuunkäyttö pienpuuongelman ratkaisuna. Summary: Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized trees. *Folia For.* 240:1—78.
- HEISKANEN, V. 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. Summary: Quality of the common birch and the white birch on different sites. *Commun. Inst. For. Fenn.* 48.6:1—99.
- HERMAN, R. K. 1978. Growth and production of tree roots. In: *Belowground ecosystem: a synthesis of plant-associated processes* (Marshall, J. K. ed.). Fort Collins Colorado, Colorado State University, s. 7—28.
- HITCHCOCK, H. C. III & McDONNELL, J. O. 1979. Biomass measurement: a synthesis of literature. Norris, Tennessee, Division of Land and Forest Resources, Tennessee Valley Authority. 59 s.
- ILVESSALO, Y. & ILVESSALO M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuottokyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. *Acta For. Fenn.* 144:1—101.
- ISSAKAINEN, J. 1980. Luontaisten vesakoiden biomassan tuotoskyvystä. *Metsäntutkimuslaitos, Muiden tutkimusaseman tiedonantoja* 18:37—47.
- 1982. Vesakkobiomassan tuotoksesta Pohjois-Suomessa. Summary: Biomass production in young deciduous tree thickets in North Finland. *Teoksessa: Puu energiaraaka-aineena. Kokousesitelmät. Wood as a raw material for energy production. Symposium papers. Käsikirjoitus, Metsäntutkimuslaitos.*
- JENSEN, C. E. 1964. Algebraic description of forms in space. *USDA. For. Serv. Central States For. Exp. Sta.* 57 s.
- 1973. Matchacurve-3: Multiplecomponent and multidimensional mathematical models for natural resource studies. *USDA For. Serv. Res. Pap. INT-146:1—42.*
- 1976. Matchacurve-4: Segmented mathematical descriptors for asymmetric curve forms. *USDA For. Serv. Res. Pap. INT-182:1—16.*
- 1979,  $e^{-k}$ , a function for the modeler. *USDA For. Serv. Res. Pap. INT-240:1—9.*
- & HOMEYER, J. W. 1970. Matchacurve-1 for algebraic transforms to describe sigmoid- or bell-shaped curves. *USDA For. Serv. Interm. For. Range Exp. Sta.* 22 s.
- & HOMEYER, J. W. 1971. Matchacurve-2 for algebraic transforms to describe curves of the class  $x^n$ . *USDA For. Serv. Res. Pap. INT-106:1—39.*
- KELTIKANGAS, V. & SEPPÄLÄ, K. 1977. Ojitusalueiden hieskoivikoiden kasvatusta taloudellisena vaihtoehtona. Summary: The economics of growing birch stands on drained peatlands. *Silva Fenn.* 11(1):49—68.
- KIRA, T. & SHIDEI, T. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific. *Jap. J. Ecol.* 17:70—87.
- KOERPER, G. J. & RICHARDSON, C. J. 1980. Biomass and net annual primary production regressions for *Populus grandidentata* in three sites in northern lower Michigan. *Can. J. For. Res.* 10:93—101.
- KOIVISTO, P. 1957. Etelä-Suomen hoidettujen raudus- ja hieskoivikoiden kehityksestä. Helsingin yliopiston metsänarvioinnintieteen laitos. *Moniste.* 158 s.
- KOZAK, A. 1970. Methods for ensuring additivity of biomass components by regression analysis. *For. Chron.* 46:402—404.
- KUUSELA, K. 1978. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1971—1976. Summary: Forest resources and ownership in Finland 1971—1976. *Commun. Inst. For. Fenn.* 93.6:1—107.
- LUKKALA, O. J. 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. Referat: Die natürliche Verjüngung der Bruchwälder. *Commun. Inst. For. Fenn.* 34.3:1—150.
- MADGWICK, H. A. I. & SATOO, V. 1975. On estimating the aboveground weights of tree stands. *Ecology* 56:1446—1450.
- Metsätaloustieteiden osamietintö II. Komiteamietintö 1981:67, 323 s.
- MEYER, H. A. 1941. A correction for a systematic error occurring in the application of the logarithmic volume equation. *The Pennsylvania State Forest School, Res. paper No.* 7:1—3.
- MIETTINEN, L. 1932. Tutkimuksia harmaalepiköiden kasvusta. Referat: Untersuchungen über den Zuwachs der Weisserlenbestände. Helsinki. 100 s.
- MIKOLA, P. 1942. Koivun vesomisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. Referat: Über die Ausschlagsbildung bei der Birke und ihre forstliche Bedeutung. *Acta For. Fenn.* 50.3:1—102.
- MOUNTFORD, M. D. & BUNCE, R. G. H. 1973. Regression sampling with allometrically related variables, with particular reference to production studies. *Forestry* 46:203—212.
- MÄLKÖNEN, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. *Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku eräässä koivikossa. Commun. Inst. For. Fenn.* 91.5:1—35.
- NYGREN, M. 1981. Valon vaikutus koivutaimikon latvuston rakenteeseen ja kasvuun. M.A. thesis: Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 59 s.
- NYSSÖNEN, A. & MIELIKÄINEN, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. *Acta For. Fenn.* 163:1—40.
- OIKARINEN, M. & PYYKKÖNEN, J. 1981. Harvennuksen ja lannoituksen vaikutus turvekankaan hieskoivikon kehitykseen Pohjanmaalla. Summary: The effect of thinning and fertilization on the growth of pubescent birch (*Betula pubescens*) on drained Myrtillus spruce swamp in Ostrobothnia. *Folia For.* 486:1—15.
- OVINGTON, J. D. 1957. Dry matter production of *Pinus sylvestris* L. *Ann. Bot.* 21:287—314.
- & MADGWICK, H. A. J. 1959. The growth and composition of natural stands of birch. 1. Dry-matter

- production. *Plant and Soil* X, No. 3:271—283.
- OZOLS, J. & HIBNERS, E. 1927. Baltalksna audzu izplatiba Latvija, augsanas gaita un nozime mezaimnieciba. Referat: Ueber Verbreitung, Wachstumsverhältnisse und wirtschaftliche Bedeutung der Weisserle. *Mezsaimniecibas rakstu krajums*. V Sejums. Riga. s. 43—52, 156—159.
- PALLARD, D. F. W. 1971. Mortality and annual changes in distribution of above-ground biomass in an aspen sucker stand. *Can. J. For. Res.* 1:262—266.
- PARDE, J. 1980. Forest biomass. Review article. *For. Abstr.* 41(8):343—362.
- PAYANDEH, B. 1981. Choosing regression models for biomass prediction equations. *For. Chron.* 57(5): 229—232.
- PEARCE, M. L. 1981. Coppiced trees as energy crops. In: *Energy from Biomass* (Palz et al. eds.). 1st E. C. Conference. Applied Science Publishers Ltd. s. 110—117.
- PERALA, D. A. 1973. Stand equations for estimating aerial biomass, net productivity and stem survival of young aspen suckers on good sites. *Can. J. For. Res.* 3:288—292.
- Pienpuuston kasvatus, talteenotto ja käyttö, 1978. Loppuraportti, Sitra, sarja B, No. 46:1—159.
- POHJONEN, V. 1974. Istutustiheyden vaikutus eräiden lyhytkiertoviljelyn puulajien ensimmäisen vuoden satoon ja pituuskasvuun. Summary: Effect of spacing on the first year yield and height increment of some species undergoing short rotation culture. *Silva Fenn.* 8(2):115—127.
- RAUKAS, A. 1930. Pärnumaa talumetsad. Referat: Die Gesindewälder des Pernauschen Kreises. *Tartu Ülikooli Metsasaakonna toimetused* 19:1—147.
- RIBE, J. 1973. Puckerbrush weight tables. *Life Sciences and Agriculture Exp. Misc. Report* 152:1—92.
- 1979. A study of multi-stage sampling and dimensional analysis of puckerbrush stands. The complete Tree Institute. University of Maine at Orono. Bulletin No. 1:1—108.
- RIEDACKER, A. 1971. Measurements of different components of trees for physiological investigations. In: *Forest biomass studies*. Working Group on Forest Biomass Studies. Section 25, Yield and Growth. College of Life Sciences and Agriculture. University of Maine at Orono, s. 223—240.
- SARAMÄKI, J. 1977. Ojitettujen hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in northern central Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 91.2:1—59.
- 1981. Hieskoivun kasvu ja kasvatus Pohjanmaalla ja Kainuussa. Muhoksen tutkimusasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 3:1—37.
- SATOO, T. 1962. Notes on Kittredge's method of estimation of amount of leaves of forest stand. *J. Jap. For. Soc.* 44(10):267—272.
- 1965. Further notes on the method of estimation of the amount of leaves of forest stands. *J. Jap. For. Soc.* 47(5):185—189.
- 1966. Production and distribution of dry matter in forest ecosystems. *Misc. Inform. Tokyo Univ. Forests* 16:1—15.
- 1970. A synthesis of studies by the harvest method: primary production relations in the temperate deciduous forest of Japan. In: *Ecological studies*. Vol 1. Analysis of temperate forest ecosystems (Reichle, D. E. ed.). s. 55—72.
- SCHREUDER, H. T. & SWANK, W. T. 1971. A comparison of several statistical models in forest biomass and surface area estimation. *Life Science and Agriculture Exp. Sta. Univ. of Maine, Orono. Misc. Publ.* 132:125—136.
- & SWANK, W. T. 1973. Statistical considerations in sampling biomass and surface area over time for a *Pinus strobus* L. forest. *IUFRO Biomass studies*, Nancy and Vancouver, s. 133—141.
- SIMOLA, P. 1977. Pienikokoisen lehtipuuston biomassa. Summary: The biomass of small-sized hardwood trees. *Folia For.* 302:1—16.
- SMITH, J. H. G. 1971. Bases for sampling and simulation in studies of tree and stand weights. *IUFRO. Working Group on Forest Biomass Studies. Forest biomass studies*; 1971; University of Florida, Gainesville, Florida. Orono Maine: University of Maine. *Life Sciences and Agricultural Experiment Station*. s. 139—149.
- 1973. Biomass of some young red alder stands. (In) Young, H. E. (ed.) *IUFRO biomass studies*. Univ. of Maine, Orono.:399—410.
- 1975. Use of small plots can overestimate upper limits to basal area and biomass. *Can. J. For. Res.* 5:503—505.
- & DEBELL, D. S. 1974. Some effects of stand density on biomass of red alder. *Can. J. For. Res.* 4(3): 335—340.
- STANEK, W. & STATE, D. 1978. Equations predicting primary productivity (biomass) of trees, shrubs, and lesser vegetation based on current literature. Victoria, B.C.: Canadian Forestry Service Pacific Forest Research Centre. Report BC-X-183:1—58.
- TADAKI, Y. 1966. Some discussions of the leaf biomass of forest stands and trees. *Bull. Govt. Forest Expt. Sta.* 184:135—161.
- , SHIDEI, T., SAKASEGOWA, T. & OGINO, K. 1961. Estimation of standing crop and some analyses on productivity of young birch stand (*Betula plataphylla*). *Studies on productive structure of forest* (II). *J. Jap. For. Soc.* 43(1):19—26.
- TIIHONEN, P. & VIRTANEN, J. 1982. Koetuloksia ilmakuvienv käytöstä energiapuun arvioinnissa Kanuksessa v. 1979—80. *Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja* 66:1—24.
- UTKIN, A. J., GULBE, YA. J. & ERLOMOVA, L. S. 1980. Primary biological productivity of *Alnus incana* (L.) Moensch. stands in Yaroslavl' district. *Lesovedenie* No. 3:69—80.
- VUOKILA, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY. Porvoo. 256 s.
- WHITTAKER, R. H. & WOODWELL, G. M. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, NY. *J. Ecol.* 56: 1—25.
- 1971. Measurement of net primary production of forests. In: "Productivity of Forest Ecosystems" (P. Duvingeaud, ed.). *Proc. Brussels Symp.* 1969, UNESCO. s. 159—175.
- YLI-VAKKURI, P. 1958. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulutuksesta. Referat: Untersuchungen über das Absengen als waldbauliche Massnahme auf entwässerten Torfböden. *Acta For. Fenn.* 67.4: 1—33.
- YOUNG, H. E. 1973. Biomass variation in apparently homogenous puckerbrush stands. *IUFRO. Section 4.01. Mensuration, Growth and Yield. Working Party on the Mensuration of the Forest Biomass.*

- IUFRO biomass studies: papers presented during meetings of S 4.01; 1973 June 25—29; Nancy, France; August 20—24; Vancouver, B. C., Canada. Orono, Maine: University of Maine. College of Life Sciences and Agriculture..s. 195—205.
- 1976. A summary and analysis of weight table studies. IUFRO. Section 4.01 Mensuration, Growth and Yield. Working Party on the Mensuration of the Forest Biomass. Oslo biomass studies: papers presented during the meeting of S 4.01; XVith International Congress of IUFRO; 1976 June 22; Oslo, Norway, Orono, Maine: University of Maine. College of Life Sciences and Agriculture. s. 251—282.
  - 1978. Forest biomass inventory. Symposium of complete tree utilization of southern pine. New Orleans. 9 s.
- ZAVITKOVSKI, J. & STEVENS, R. D. 1972. Primary productivity of red alder ecosystems. *Ecology* 53(2): 235—242.
- , ISEBRANDS, J. G. & CROW, T. R. 1974. Application of growth analysis in forest biomass studies. In: "Proceedings of the North American Biology workshop, Third" (Reid, C.P.P. & Techner, C. H. eds.). Colorado State University, Fort Collins. 196—226.









ODC 537 + 812 + 176.1 *Betula* + 176.1 *Alnus incana*  
ISBN 951-40-0598-8  
ISSN 0015-5543

BJÖRKLUND, T. & FERM, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassa ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. *Folia For.* 500:1—37.

The total yield and its distribution according to the stemwood and stem bark and branches were studied in nine young birch and grey alder stands. Dry mass equations based on breast height diameter were formulated.

Disk and knot samples were taken from the stems to determine the technical properties of stemwood and branch wood. The characteristics studied were basic density and moisture content of the wood, bark volume percentage and basic density, and the basic density of the wood and bark. For stemwood the thickness of the bark and relative out-of-roundness were also examined. The variation in stemwood characteristics from butt to top were studied.

Authors' addresses: Björklund: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17. Ferm: The Finnish Forest Research Institute, Kannuksen energiämetsäkoesema, Valtakatu 18, SF-69100 Kannus.

ODC 537 + 812 + 176.1 *Betula* + 176.1 *Alnus incana*  
ISBN 951-40-0598-8  
ISSN 0015-5543

BJÖRKLUND, T. & FERM, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassa ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. *Folia For.* 500:1—37.

The total yield and its distribution according to the stemwood and stem bark and branches were studied in nine young birch and grey alder stands. Dry mass equations based on breast height diameter were formulated.

Disk and knot samples were taken from the stems to determine the technical properties of stemwood and branch wood. The characteristics studied were basic density and moisture content of the wood, bark volume percentage and basic density, and the basic density of the wood and bark. For stemwood the thickness of the bark and relative out-of-roundness were also examined. The variation in stemwood characteristics from butt to top were studied.

Authors' addresses: Björklund: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17. Ferm: The Finnish Forest Research Institute, Kannuksen energiämetsäkoesema, Valtakatu 18, SF-69100 Kannus.

Tilaa kortin kääntäpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

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

Nimi  
Name \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



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



# METSÄNTUTKIMUSLAITOS

## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

### Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto  
*Department of Soil Science*

Suontutkimusosasto  
*Department of Peatland Forestry*

Metsänhoidon tutkimusosasto  
*Department of Silviculture*

Metsänjalostuksen tutkimusosasto  
*Department of Forest Genetics*

Metsänsuojelun tutkimusosasto  
*Department of Forest Protection*

Metsäteknologian tutkimusosasto  
*Department of Forest Technology*

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
*Department of Forest Inventory and Yield*

Metsäekonomian tutkimusosasto  
*Department of Forest Economics*

Matemaattinen osasto  
*Department of Mathematics*

### Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

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

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

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

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

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

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

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

Joensuun tutkimusasema  
*Joensuu Research Station*  
Os. — *Address:* PL 68  
80101 Joensuu 10, Finland  
Puh. — *Phone:* (973) 26 211

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

Kannuksen energiametsäkoegasema  
*Kannus Energy Forestry Experiment Station*  
Os. — *Address:* Valtakatu 18  
69100 Kannus, Finland  
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

- No 515 Kärkkäinen, Matti & Uusvaara, Olli: Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä.  
Factors affecting the quality of young pines.
- No 516 Päivänen, Juhani: Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan metsäojitusalueen vesitalouteen.  
The effect of cutting and fertilization on the hydrology of an old forest drainage area.
- No 517 Sepponen, Pentti, Laine, Lalli, Linnilä, Kimmo, Lähde, Erkki & Roiko-Jokela, Pentti: Metsätyypit ja niiden kasvillisuus Pohjois-Suomessa. Valtakunnan metsien III inventoinnin (1951—1953) aineistoon perustuva tutkimus.  
The forest site types of North Finland and their floristic composition. A study based on the III National Forest Inventory (1951—1953).
- No 518 Kubin, Eero & Poikolainen, Jarmo: Hakkaamattoman metsän sekä eri tavoin muokatun avohakkuualan rouda- ja lumisuhteista.  
Snow and frost conditions in an uncut forest and open clear-cut areas prepared in various ways.
- No 519 Schildt, Jyri: Unimog kuorma-autoon perustuva polttohakkeen hankintajärjestelmä.  
Producing fuel chips with Unimog truck.
- No 520 Kärkkäinen, Matti: Tuloksia pystykarsittujen mäntyjen sahauksesta.  
Results on sawing pruned pines.
- No 521 Kärkkäinen, Matti & Kallinen, Jorma: Kemin seudun mäntytukkien koesahaustuloksia.  
On the sawing of pine logs from northern Finland, Kemi region.
- No 522 Björklund, Tarja: Kontortamännyn puutekniset ominaisuudet.  
Technical properties of lodgepole pine wood.
- No 523 Vuokila, Yrjö: Metsien teknisen laadun kehittäminen.  
The improvement of technical quality of forests.
- No 524 Varmola, Martti: Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen.  
Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning.
- No 525 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1981.  
Abstracts of the publications of the Finnish Forest Research Institute, 1981.
- No 526 Silfverberg, Klaus: Näringsanalys i två spårämnesgödslande granplanteringar.  
Nutrient analysis of Norway spruce after application of micro-nutrients.
- No 527 Nikkanen, Teijo: Pohjois-Suomen mäntyjen nuorissa siemenviljelyksissä syntyneen siemenen käyttömahdollisuuksista Oulun läänin alueella.  
Survival and height growth of North Finland × South Finland hybrid progenies of Scots pine in intermediate areas.
- No 528 Sirén, Matti: Puuston vaurioituminen harvennuspuun korjuussa kuormainprocessorilla.  
Stand damage in thinning operation with grapple loader processor.
- No 529 Valtonen, Kari: Sahatavaran ja puulevyjen käyttö uudisrakentamiseen 1970-luvulla.  
Use of sawnwood and wood-based panels in new building construction in the 1970's.
- No 530 Hannelius, Simo: Metsäkiinteistöjen kauppahinta-aineisto ja sen soveltuvuus kauppa-arvomenetelmän vertailuperusteeksi.  
Forest real estate purchase price statistics as a basis for comparison method in real estate appraisal.
- No 531 Kinnunen, Kaarlo: Männyn kylvö karuhkoilla kangasmailla Länsi-Suomessa.  
Scots pine sowing on barren mineral soils in western Finland.
- No 532 Lylly, Olavi & Saks, Timo: Pituuskasvun vaihtelu ja puuluokkien eriytyminen nuorena istutusmännikössä.  
Variation in height growth and differentiation of tree classes in a young Scots pine plantation.
- No 533 Lähde, Erkki, Nieminen, Jarmo, Etholén, Kullervo & Suolahti, Pekka: Varttuneet kontortametsiköt Suomen eteläpuoliskossa.  
Older lodgepole pine stands in southern Finland.
- No 534 Mälkönen, Eino & Saarsalmi, Anna: Hieskoivikon biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa.  
Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands.
- No 535 Kinnunen, Kaarlo & Nerg, Jukka: Männyn kylvö- ja luonnontaimikoiden tila Länsi-Suomen yksityismetsissä.  
State of sown and naturally regenerated young Scots pine stands in the private forest of western Finland.
- No 536 Raitio, Hannu: Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä.  
Growth disturbance of *Betula pendula* in the Torajärvi experimental field.
- No 537 Leikola, Matti, Raulo, Jyrki & Pukkala, Timo: Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen.  
Prediction of the variations of the seed crop of Scots pine and Norway spruce.
- No 538 Takalo, Sauli & Väyrynen, Seppo: Terri-telamaasturi puutavaran maastokuljetuksessa.  
Terri light crawler in timber transport.
- No 539 Appelroth, Sven-Eric: Rekommendationer för materialinsamling och resultatpresentation vid tidsstudier av skogsvårdsarbeten.  
Recommendations for collecting data and presenting results of time studies on silvicultural operations.
- No 540 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1980—82.  
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1980—82.
- No 541 Saks, Timo & Lähde, Erkki: Siemenen määrä männyn, kuusen ja lehtikuusen suojakylvössä.  
Number of seeds in shelter sowing of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch.

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

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