

**KASVATUSTIHEYDEN JA KASVU-  
PAIKAN VILJAVUUDEN VAIKUTUS  
PUIDEN OKSIKKUUTEEN TAIMIKKO-  
JA RIUKUVAIHEEN MÄNNIKÖISSÄ**

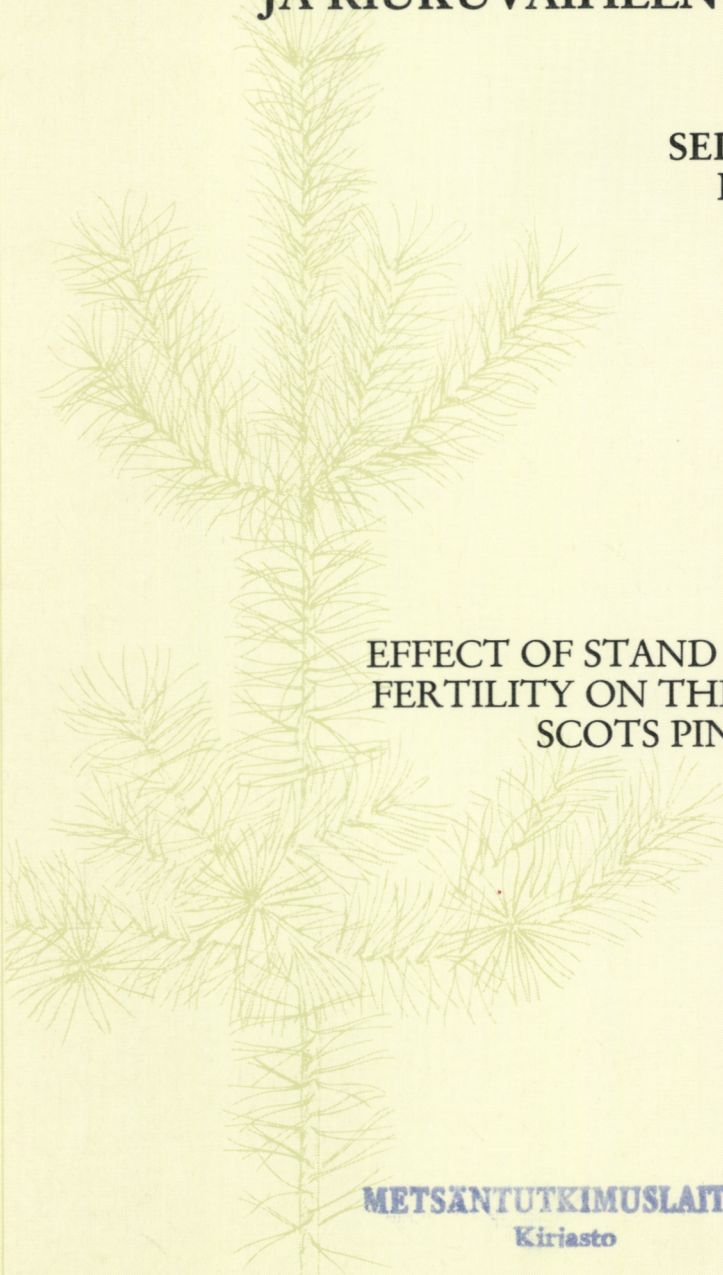
**SEPPO KELLOMÄKI &  
HANNU VÄISÄNEN**

SUMMARY

**EFFECT OF STAND DENSITY AND SITE  
FERTILITY ON THE BRANCHINESS OF  
SCOTS PINES AT POLE STAGE**

HELSINKI 1986

**METSÄNTUTKIMUSLAITOS**  
Kiriasto



# COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE



---

## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE (METSÄNTUTKIMUSLAITOS)

Unioninkatu 40 A  
SF-00170 Helsinki 17  
FINLAND

Director:  
Professor Aarne Nyyssönen

telex: 125181 hyfor sf  
attn: metla/

phone: 90-661 401

### Distribution and exchange of publications:

The Finnish Forest Research Institute  
Library  
Unioninkatu 40 A  
SF-00170 Helsinki 17  
FINLAND

### Publications of the Finnish Forest Research Institute:

- Communicationes Instituti Forestalis Fenniae (Commun. Inst. For. Fenn.)
- Folia Forestalia (Folia For.)
- Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja

*Cover (front & back):* Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is the most important tree species in Finland. Pine dominated forest covers about 60 per cent of forest land and its total volume is nearly 700 mil. cu.m. The front cover shows a young Scots pine and the back cover a 30-metre-high, 140-year-old tree.

SEPPO KELLOMÄKI & HANNU VÄISÄNEN

KASVATUSTIHEYDEN JA KASVUPAIKAN  
VILJAVUUDEN VAIKUTUS PUIDEN  
OKSIKKUUTEEN TAIMIKKO- JA RIUKUVAIHEEN  
MÄNNIKÖISSÄ.  
MALLEIHIN PERUSTUVA TARKASTELU

*Approved on 19.9.1986*

SUMMARY

EFFECT OF STAND DENSITY AND SITE FERTILITY ON  
THE BRANCHINESS OF SCOTS PINES AT POLE STAGE.  
A STUDY BASED ON MODELS

---

HELSINKI 1986

METSÄTUTKIMUSLAITOS  
Kirjasto

KELLOMÄKI, S. & VÄISÄNEN, H. 1986. Kasvatustiheyden ja kasvupaikan viljavuuden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Malleihin perustuva tarkastelu. Summary: Effect of stand density and site fertility on the branchiness of Scots pines at pole stage. A study based on models. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 139. 38 p.

Tutkimuksessa selvitetään puuston tiheyden ja kasvupaikan viljavuuden vaikutusta taimikko- ja riukuvaihetta edustavien mäntyjen oksikkuuteen. Työn empiirinen aineisto käsitti 13 puolukkatyyppin ja 9 mustikkatyyppin viljelymännikköä, joiden tiheys oli 1000...5000 ha<sup>-1</sup> ja ikä 15...21 vuotta. Empiiristä aineistoa käytettiin estimoitaessa parametreja malleihin, joiden perusteella oksikkuutta koskevia päätelmiä tehtiin.

Massan kertyminen puiden runkoihin ja latvuksiin oli suoraan verrannollinen puiden kasvutilaan, jonka mitana käytettiin latvusprojektiota. Tämä merkitsi sitä, että oksamassan ja runkomassan kertyminen puoliintuivat jokaista puuston tiheyden kaksinkertaistumista kohti. Tämän seurauksena puuston oksikkuus (oksamassan ja runkomassan suhde) väheni negatiivista eksponenttifunktiota noudattaen, kun puusto tiheni. Oksikkuus väheni enää vain niukasti, kun puuston tiheys ylitti arvon 2000...2500 ha<sup>-1</sup>.

Yksittäisten puiden oksikkuuteen vaikutti puuston tiheyden ohella myös niiden asema metsikössä siten, että vallitut puut olivat aina vähäoksisempia kuin vallitsevat puut. Niinpä puiden läpimittajakaumalla oli keskeinen vaikutus koko metsiköstä saatavan puuaineen laatuun. Likimain normaali läpimittajakauma näytti tuottavan vähäoksaista puuainetta siten, että rungot myös järeytyvät riittävästi.

Puuston tiheys ja puiden kokojakauma vaikuttivat molemmilla kasvupaikkatyypeillä samalla tavalla puiden oksikkuuteen. Mustikkatyyppin kasvupaikoilla oli puiden oksikkuus kuitenkin noin 10 % suurempi kuin puolukkatyyppin kasvupaikoilla. Tämä ero näytti olevan yhteydessä niihin männyn tuotoseroihin, jotka ovat muutoinkin havaittavissa näiden kasvupaikkojen välillä.

The branchiness of young Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) was studied in order to recognise the effect of stand density and site fertility on timber quality. The study is mainly based on models, which utilise parameters obtained from empirical material representing stands of varying densities, at the age of 15...21 a.

The accumulation of stem and branch biomass of trees was related to the growth space as indicated by the crown projection area of trees. Consequently, the total stem and branch biomass of trees was halved per every doubling of stand density. Thus, the branchiness of trees decreased following a negative exponential function. However, only a negligible decrease in branchiness was obtained when the stand density exceeded 2000...2500 stems per hectare.

Branchiness of suppressed trees was lower than that of dominating trees indicating that also the size distribution of trees affects branchiness. The relationship between stem diameter and branchiness indicates that a proper size distribution should be maintained in order to produce high-quality timber.

The influence of stand density and size distribution on branchiness was not affected by the site quality. On sites of *Myrtillus* type the branchiness of trees was approximately 10 % higher than on sites of *Vaccinium* type.

Keywords: *Pinus sylvestris*, timber quality, site quality  
ODC 232.43+174.7 *Pinus sylvestris*+114.52+851+181.6  
Authors' address: University of Joensuu, P.O. Box 111, SF-80101 Joensuu, Finland

ISBN 951-40-0758-1  
ISSN 0358-9609

Helsinki 1986. Valtion painatuskeskus

# SISÄLLYS

Tutkimuksessa käytetyt muuttujat ja parametrit — <i>Variables and parameters used in the study</i> .....	4
1. JOHDANTO .....	7
2. OKSIKKUUDEN KÄSITE .....	9
3. AINEISTO JA MENETELMÄT .....	9
31. Koealat ja niiden mittaus .....	9
32. Esilaskenta .....	9
4. PUIDEN KASVUTILA JA PUUSTON TIHEYS .....	11
5. PUIDEN KASVUTILA JA PUIDEN OKSIKKUUS .....	13
51. Puiden kasvutila ja puiden keskimassa .....	13
52. Puiden latvusprojektion suuruus ja puiden massa .....	13
53. Puiden latvusprojektiio sekä massan kertyminen runkoon ja latvukseen .....	14
54. Puiden oksa- ja runkomassan riippuvuus oksatiheydestä .....	15
55. Puiden oksa- ja runkomassan suhteet .....	18
56. Puiden oksatiheys ja oksikkuus .....	20
57. Puiden koko ja oksikkuus .....	20
6. PUUSTON TIHEYS JA PUUSTON OKSIKKUUS .....	22
61. Puuston oksa- ja runkomassan määrä .....	22
62. Puuston oksa- ja runkomassan suhteet .....	22
63. Puuston tiheys, läpimittajakauma ja oksikkuus .....	27
64. Puuston kokojakauma, tiheys ja oksikkuus .....	29
65. Puuston tiheyden vaikutus oksien määrään sahatavara-aihoissa .....	31
7. TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT .....	33
71. Tulosten luotettavuus ja yleistettävyyys .....	33
72. Oksikkuus ja puiden kasvutila .....	34
73. Oksikkuus ja puuston rakenne .....	34
74. Tulosten tulkinta suhteessa aiempiin tutkimuksiin .....	35
8. YHDISTELMÄ .....	36
KIRJALLISUUS — <i>REFERENCES</i> .....	37
SUMMARY .....	38

## Tutkimuksessa käytetyt muuttujat ja parametrit Variables and parameters used in the study

Merkintä Symbols	Merkitys—Explanation	Laatu Dimension	Merkintä Symbols	Merkitys — Explanation	Laatu Dimension
i	i:nes puu — <i>i</i> :th tree		BA	Pohjapinta-ala — Basal area	m <sup>2</sup>
j	j:nes metsikkö — <i>j</i> :th stand		$\overline{BA}$	Keskipojapinta-ala — Mean basal area	m <sup>2</sup>
Y	Massa — Biomass	kg	S	Keskihajonta — Mean deviation	
Y <sub>T</sub>	Kokonaismassa — Total biomass	kg	f	Frekvenssi — Frequency	
Y <sub>S</sub>	Runkomassa — Stem biomass	kg	s	Kasvutila — Growing space	m <sup>2</sup>
Y <sub>B</sub>	Oksamassa — Branch biomass	kg	$\rho$	Metsikön tiheys — Stand density	1 ha <sup>-1</sup>
Y <sub>ST</sub>	Kokonaisrunkomassa — Total stem biomass	kg	$\rho_B$	Oksatiheys — Branch density	1 dm <sup>-2</sup>
Y <sub>TB</sub>	Kokonaisoksamassa — Total branch biomass	kg	C	Parametri yhtälössä (5.5) — Parameter in Eq. (5.5)	kg/ha
$\overline{Y}_S$	Keskirunkomassa — Mean stem biomass	kg	C <sub>S</sub>	Parametri yhtälössä (5.10) — Parameter in Eq. (5.10)	kg/dm <sup>2</sup>
$\overline{Y}_B$	Keskioksamassa — Mean branch biomass	kg	C <sub>B</sub>	Parametri yhtälössä (5.11) — Parameter in Eq. (5.11)	kg/dm <sup>2</sup>
$\overline{Y}$	Keskimassa — Mean biomass	kg	C <sub>1</sub>	Parametri yhtälössä (6.4) — Parameter in Eq. (6.4)	m <sup>2</sup> dm <sup>2</sup>
B	Puun oksikkuus — Branchiness of a tree		C <sub>D</sub>	Parametri yhtälössä (6.11) — Parameter in Eq. (6.11)	
B <sub>T</sub>	Metsikön oksikkuus — Branchiness of a stand		C <sub>0</sub>	Parametri (C <sub>S</sub> C <sub>B</sub> <sup>-1</sup> ) yhtälössä (5.18) — Parameter (C <sub>S</sub> C <sub>B</sub> <sup>-1</sup> ) in Eq. (5.18)	
q	Puittainen runkomassa/ oksamassa (B <sup>-1</sup> ) — Stem biomass/branch biomass in tree		C <sub>P</sub>	Parametri yhtälössä (5.7) — Parameter in Eq. (5.7)	kg/m <sup>2</sup>
Q	Metsiköittäinen runkomassa/ oksamassa (B <sub>T</sub> <sup>-1</sup> ) Stem biomass/branch biomass in stand		C <sub>10</sub>	Parametri yhtälössä (6.11) — Parameter in Eq. (6.11)	kg/ha
Ar	Metsikön pinta-ala — Area of a stand	ha	C <sub>11</sub>	Parametri yhtälössä (6.12) — Parameter in Eq. (6.12)	kg/ha
L	Mikä tahansa dimensio — Any dimension		C <sub>12</sub>	Parametri yhtälössä (6.14) — Parameter in Eq. (6.14)	
L <sub>n</sub>	Dimension uusi arvo — New value of dimension		k	Parametri yhtälössä (5.5) — Parameter in Eq. (5.5)	
D	Rinnankorkeusläpimitta — Diameter at 1.3 m	cm	k <sub>S</sub>	Parametri yhtälössä (5.10) — Parameter in Eq. (5.10)	
D <sub>a</sub>	Rinnankorkeusläpimittajakauman alaraja — Lower limit of the distribution of the diameter at 1.3 m	cm	k <sub>B</sub>	Parametri yhtälössä (5.11) — Parameter in Eq. (5.11)	
D <sub>y</sub>	Rinnankorkeusläpimittajakauman yläraja — Upper limit of the distribution of the diameter at 1.3 m	cm	k <sub>1</sub>	Parametri yhtälössä (6.4) — Parameter in Eq. (6.4)	
H	Puun pituus — Tree height	cm	k <sub>D</sub>	Parametri yhtälössä (6.11) — Parameter in Eq. (6.11)	
r	Latvuksen pisin oksa — Longest branch in crown	m	k <sub>0</sub>	Parametri yhtälössä (5.18) — Parameter in Eq. (5.18)	
A <sub>c</sub>	Latvuksen projektiio — Crown projection	m <sup>2</sup>	k <sub>10</sub>	Parametri yhtälössä (6.11) — Parameter in Eq. (6.11)	
N	Oksien lukumäärä — Branch number	1 puu <sup>-1</sup> 1 tree <sup>-1</sup>	k <sub>11</sub>	Parametri yhtälössä (6.11) — Parameter in Eq. (6.11)	

$k_{12}$	Parametri yhtälössä (6.12) — <i>Parameter in Eq. (6.12)</i>		$b'$	Parametri yhtälössä (5.15) — <i>Parameter in Eq. (5.15)</i>	0,1 m cm <sup>-1</sup>
$k_{13}$	Parametri yhtälössä (6.12) — <i>Parameter in Eq. (6.12)</i>		$b$	Parametri yhtälössä (5.17) — <i>Parameter in Eq. (5.17)</i>	0,1 m cm <sup>-1</sup>
$k_{14}$	Parametri yhtälössä (6.14) — <i>Parameter in Eq. (6.14)</i>		$e$	Parametri taulukossa 5 — <i>Parameter in Table 5</i>	kg
$k_{15}$	Parametri yhtälössä (6.14) — <i>Parameter in Eq. (6.14)</i>		$E$	Parametri taulukossa 5 — <i>Parameter in Table 5</i>	kgkg <sup>-1</sup>
$k_p$	Parametri yhtälössä (5.7) — <i>Parameter in Eq. (5.7)</i>		$m$	Parametri yhtälössä (6.19) — <i>Parameter in Eq. (6.19)</i>	kg
$A$	Parametri yhtälössä (6.1) — <i>Parameter in Eq. (6.1)</i>	kg	$p$	Parametri yhtälössä (6.19) — <i>Parameter in Eq. (6.19)</i>	
$B$	Parametri yhtälössä (6.1) — <i>Parameter in Eq. (6.1)</i>	kg ha <sup>-1</sup>	$\alpha$	Parametri yhtälössä (6.17) — <i>Parameter in Eq. (6.17)</i>	
$A'$	Parametri yhtälössä (6.7) — <i>Parameter in Eq. (6.7)</i>	m <sup>2</sup>	$\beta$	Parametri yhtälössä (6.17) — <i>Parameter in Eq. (6.17)</i>	
$B'$	Parametri yhtälössä (6.7) — <i>Parameter in Eq. (6.7)</i>	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	$g$	Parametri yhtälössä (6.17) — <i>Parameter in Eq. (6.17)</i>	
$a$	Parametri yhtälössä (5.15) — <i>Parameter in Eq. (5.15)</i>	0,1 m			





## 1. JOHDANTO

Männyn kasvatuksen keskeinen tavoite on tuottaa sahapuuta. Tukkién riittävän järeiden lisäksi edellytetään hyviltä sahatukeilta mm. vähäoksisuutta. Niinpä esimerkiksi vientisahatavaran lajittelussa oksien lukumäärä, koko ja terveys (laho, kuivat ja terveet oksat) ovat keskeisiä lajitteluperusteita, joita käytetään sahatavaran laadun arvioimiseen (Vientisahatavaran ... 1979). Liian oksikas sahatavara saattaa olla sopimaton mo­niin käyttötarkoituksiin (esim. listat, ovet ja ikkunat puusepänteollisuudessa), sillä oksikkuus vaikuttaa suoraan puuaineen lujuteen ja ulkonäköön.

Puiden oksikkuus on suorassa yhteydessä puiden kasvuun, sillä oksat syntyvät rungon päätesilmun ympärille syntyvistä sivusilmuis­ta. Oksikkuus on erottamaton osa kasvuta­pahtumaa myös siinä suhteessa, että oksat kasvavat samalla tavalla pituutta ja paksuutta kuin puun runko. Itse asiassa rungon ja oksien kasvu ovat meristemaattisesti toisiinsa sidoksissa, joten rungon kasvattamiseksi tehtävät toimenpiteet vaikuttavat väistämättä myös oksien kasvuun.

Männyn runkojen nopea järeytyminen edellyttää sopivan alhaista puuston tiheyttä (Vuokila 1980, s. 160—161). Erityisesti tuoreilla kasvupaikoilla (mustikkatyppi ja sitä paremmat kasvupaikat) alhainen kasvatusti­heys (1500...1800 ha<sup>-1</sup>) tuottaa nopeasti jä­reitä runkoja. Myös karuilla kasvupaikoilla alhainen kasvatustiheys järeyttää runkoja. Samalla myös puiden oksat järeytyvät. Näin on erityisesti hyvillä kasvupaikoilla, missä puiden suuri oksikkuus on selvässä yhtey­dessä alhaiseen kasvatustiheyteen (Varmola 1980, Kärkkäinen & Uusvaara 1982). Vaikka tukit ovat täten riittävän järeitä, saattavat ne kuitenkin olla niin oksaisia, että niistä saata­van sahatavaran laatu jää alhaiseksi (Uusvaara 1985).

Koska runkojen ja oksien kasvu ovat osa samaa kasvuprosessia, ei täysin oksattomia runkoja voida kasvattaa. Tämän vuoksi pui­den laatukasvatuksessa on pyrittävä rajoit­amaan oksien lukumäärää ja kasvua siten, että runkojen järeytyminen säilyy kuitenkin kohtuullisena. Sahatukkién laatu on täten

ymmärrettävä ongelmana, jossa oksien mää­rä pyritään minimoimaan tuotettua runko­puun yksikköä kohti. Tämä tarkoittaa esi­merkiksi oksien lukumäärän rajoittamista runkopuun pituusyksikköä kohti (Vientisa­hatavaran ... 1979). Laadun mittana voi­daan käyttää myös oksapuun ja runkopuun suhdetta, oksien poikkileikkauspinta-alan suhdetta rungon vaippapinta-alaan ym. suh­delukuja (Kellomäki & Tuimala 1981, Joki­nen & Kellomäki 1982).

Sahatukin oksikkuuteen vaikuttaa puun koko kasvuhistoria. Vaikka mäntylajien ok­sien ja rungon kasvusuhte näyttää puun ko­ko eliniän olevan vakio (Sato 1982), muut­tuu puun oksikkuus jatkuvasti. Tällöin ok­sikkuus, esimerkiksi oksa- ja runkopuun suhteella mitattuna, on pääsääntöisesti vä­henevä, sillä oksien elinikä ja siten kertyvän oksamassan määrä on pienempi kuin runko­puun, jota kertyy koko eliniän ajan. On kui­tenkin huomattava, että puun nuoruusvai­heessa, ennen oksien kuoleamisen ja karsiu­tumisen käynnistymistä, oksapuun kertymi­nen on vähintään yhtä suurta kuin runko­puun kertyminen. Tämän vuoksi tyvitukin (tyvi 0...5 m) sisäosien puuaines saattaa olla varsin oksikasta, vaikka ulko-osien puuai­neessa ei oksia enää olisikaan. Koska tyvi­tukki puolestaan muodostaa aina rungon jä­reimmän osan, on puun nuoruusvaiheen ok­sikkuudella suuri vaikutus koko rungon käyttöarvoon.

Puun nuoruusvaiheessa oksien lukumää­rää ja kasvua voidaan tietyllä kasvupaikalla rajoittaa vain perustamalla ja kasvattamalla puusto riittävän tiheäksi (Kellomäki & Tuimala 1981). Tällöin tiheys rajoittaa ok­sien syntymistä ja kasvua sekä nopeuttaa ok­sien kuolemista. Tiheyden vaikutus näyttää olevan erityisen suuri oksien kasvuun ja kuolemiseen, joten oksamassan kertymisnopeus hidastuu. Koska laatu esimerkiksi oksamas­san ja runkomassan suhteena mitaten kuvaa aina tiettyä poikkileikkausta (ko. ajankoh­taan kertyneiden massojen suhdetta), jää ok­sikkuus tiheässä puustossa täten vähäisem­mäksi kuin harvassa. On syytä tähdentää, et­tä puuston tiheys vaikuttaa ratkaisevasti sii­

hen, kuinka nopeasti puusto sulkeutuu ja oksien kuoleminen käynnistyy ja miten suuri on siten oksamassan kertymisnopeus (Kellomäki 1984). Kaikki nämä tekijät näyttävät olevan samalla yhteydessä kasvupaikan hyvyteen, joskin puuston tiheyden ja kasvupaikan hyvyden yhdysvaikutus puiden oksikkuuteen on vielä jokseenkin tutkimatta (katso kuitenkin Kellomäki 1984).

Vaikka riittävän suuri kasvatustiheys ja parhaimpien kasvupaikkojen välttäminen männyn viljelyssä luultavasti ratkaisisi keskeisimmät männyn laatuksatutuksen ongelmat, on puuston laatua pyrittävä parantamaan myös taimikon harvennuksessa ja kasvatushakkuissa. Tunnettuahan on, että oksikkaiden ja muuten huonolaatuisten puiden poistaminen kohottaa koko populaation laatuominaisuuksia kasvatustiheydestä ja kasvupaikan hyvydestä riippumatta. Taustan tälle muodostaa puiden koonmukainen eriytyminen metsän kehityksessä, mikä näyttää samalla merkitsevän laadunmukaista eriytymistä. Niinpä etukasvuiset puut saattavat usein muodostua silmiinpistäväksi oksikkaiksi (ns. susipuut). Onkin ilmeistä, että kunkin puun käytävissä oleva kasvutila puuston tiheydestä riippumatta vaikuttaa suuresti puun rungon ja oksien kasvuun. Tämän vuoksi on odotettavissa, että puun asema esimerkiksi puuluokkina mitaten indikoi puun oksikkuutta ja laatua. Täten puiden kokojakautuma voi vaikuttaa keskeisesti, millaiseksi koko metsikön puuston oksikkuus ja laatu muotoutuvat.

Tämän työn tarkoituksena on tutkia puuston tiheyden ja kasvupaikan hyvyden vaikutusta taimikko- ja riukuvaiheen mäntyjen oksikkuuteen. Ongelma jaetaan seuraaviin osa-ongelmiin.

(i) Puiden oksa- ja runkomassan sekä oksikkuuden riippuvuus puun kasvutilan suuruudesta ja kasvupaikasta.

(ii) Puiden oksikkuuden riippuvuus puiden kokojakaumasta ja kasvupaikasta.

(iii) Puiden oksa- ja runkomassan sekä oksikkuuden riippuvuus puuston tiheydestä, puiden kokojakaumasta ja kasvupaikasta.

Tutkimus on luonteeltaan teoreettinen, ja sen avulla pyritään hahmottamaan kasvatustiheyden ja kasvupaikan hyvyden vaikutusta rungon tyviosan oksikkuuteen. Tarkastelu rajoitetaan koskemaan riukuvaiheen männiköitä, joten tutkimusote korostaa puiden oksikkuutta tietyssä poikkileikkaustilanteessa.

Tämä tutkimus kuuluu osana Joensuun yliopiston, Metsäntutkimuslaitoksen ja Suomen Akatemian rahoittamaan tutkimukseen männyn laatuksatutuksesta. Aineiston mittaus on tehty Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolla prof. Olli Uusvaaran ohjauksessa. Aineiston laskennan on tehnyt LuK Hannu Väisänen prof. Seppo Kellomäen ohjauksessa Joensuun yliopistossa. Kellomäki on laatinut tutkimuksen käsikirjoituksen, jota ovat kommentoineet prof. Matti Kärkkäinen (Helsingin yliopisto) ja prof. Olli Uusvaara. Kiitämme varteen otetuista kommentteista ja ohjeista.

## 2. OKSIKKUUDEN KÄSITE

Seuraavassa tarkastelussa puiden oksikkuuden oletetaan kytkettyvän kiinteästi puiden kasvuun siten, että oksien massan ja rungon massan välillä on suhde

$$(2.1) \quad Y_{Bi} = B_i Y_{Si} \quad \text{tai} \quad B_i = \frac{Y_{Bi}}{Y_{Si}}$$

missä  $Y_{Bi}$  tarkoittaa i:nen puun oksamassaa (kg),  $Y_{Si}$  vastaavaa runkomassaa (kg) ja  $B_i$  oksikkuutta. Oksikkuus määritellään täten oksamassan ja runkomassan suhteeksi, joka

oletetaan puun kasvutilan ja metsikön tiheyden funktioksi

$$(2.2) \quad s_{ij} = s(\rho_j)$$

$$(2.3) \quad Y_{Sij} = Y_S(s_{ij}) = Y_S(s(\rho_j))$$

$$(2.4) \quad Y_{Bij} = Y_B(s_{ij}) = Y_B(s(\rho_j))$$

$$(2.5) \quad B_{ij} = B(s_{ij}) = \frac{Y_S(s_{ij})}{Y_B(s_{ij})} = \frac{Y_S(s(\rho_j))}{Y_B(s(\rho_j))}$$

missä alaindeksi j tarkoittaa metsikköä sekä  $\rho_j$  metsikön tiheyttä ( $1\text{ha}^{-1}$ ) ja s puun j kasvutilaa (pinta-ala puuta kohti,  $\text{m}^2$ ).

## 3. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 31. Koealat ja niiden mittaus

Tutkimusaineisto käsittää kolmetoista puolukkatyyppin ja yhdeksän mustikkatyyppin viljelymännikköä, jotka sijaitsevat eri puolilla Etelä- ja Keski-Suomea (taulukko 1). Kultakin kasvupaikkatyypiltä tutkimukseen valitut metsiköt muodostavat tiheysarjan, jossa puuston tiheys vaihtelee  $1000 \dots 4000 \text{ha}^{-1}$ . Puuston ikä oli eri tapauksissa 15...21 a. Tutkimusaineistoon kelpuutettiin vain sellaisia metsiköitä, joissa puustoa ei ollut käsitelty viljelyn jälkeen ja joilla puusto oli puhdasta männikköä.

Tutkimusta varten erotettiin kustakin metsiköstä  $100 \text{m}^2$ :n suuruinen ympyräkoela (säde 5,64 m) siten, että koealaa rajoitti kaikkialta vähintään 10 metrin levyinen vyöhyke samanlaista puustoa kuin koealallakin. Tämän jälkeen mitattiin jokaisen puun rinnankorkeusläpimitta ja valittiin koepuut siten, että kustakin läpimittaluokasta valittiin koepuuksi ensimmäinen ja joka viides ko. läpimittaluokkaan kuuluva puu. Läpimitta mitattiin tasaavasti yhden senttimetrin luokissa.

Koepuut kaadettiin ja niistä mitattiin puun pituus, latvuksen pituus, rungon läpimitat katkaisukohtasta, rinnankorkeudelta ja latvusrajalta, elävien ja kuolleiden oksakiehkuroiden etäisyys puun latvasta, elävien ja kuolleiden oksien lukumäärä kussakin kiehkurassa, elävien ja kuolleiden oksien läpimitta (viisi senttimetriä oksan tyvilääneman ulkopuolelta), elävien oksien pituus sekä elävien ja kuolleiden oksien oksakulmat. Pituusmittaukset tehtiin senttimetrin tarkkuudella ja läpimitan mittaukset millimetrin tarkkuudella sekä oksakulman mittaukset asteen tarkkuudella siten, että oksakulma tarkoittaa rungon ja oksan välistä kulmaa. Tutkimusaineistoa on näiden mittausten perusteella kuvattu taulukossa 1.

### 32. Esilaskenta

Pääosa laskennasta selostetaan tutkimustulosten esittelyn yhteydessä. Tässä yhteydessä mainittakoon kuitenkin puiden runkojen ja oksien massojen laskenta, joka tehtiin Hakkilan ym. (1977) esittämien yhtälöiden mukaan

	$R^2$	s, %
(3.1) $Y_S = 0,098D^{1,8851} H^{0,7178}$	0,975	6,4
(3.2) $Y_B = 0,210D^{2,9553} H^{-1,1884}$	0,926	16,3
(3.3) $Y_T = 0,218D^{2,1917} H^{0,1852}$	0,972	6,0

missä  $Y_S$  tarkoittaa rungon,  $Y_B$  oksien ja  $Y_T$  puun kokonaismassaa (kg) sekä D rinnankorkeusläpimittaa (cm) ja H pituutta (m). Oksien massaan sisältyy myös neulat, joiden osuudeksi Hakkila ym. (1977) arvioivat tutkitun kokoisissa männiköissä noin 5 % oksien kokonaismassasta.

Hakkilan ym. (1977) yhtälöt antavat ilmeisen hyvän tuloksen myös tässä aineistossa, sillä heidän esittämien yhtälöiden sekä koepuiden runkojen ja oksien dimensioiden avulla laskettujen tilavuusarvojen välinen yhteensopivuus oli hyvä: runkotilavuudelle oli eri tavoin laskettujen arvojen korrelaatio 0,999 ( $p < 0,001$ ) ja oksatilavuudelle 0,913 ( $p < 0,001$ ). Molemmissa tapauksissa eri tavoin laskettujen arvojen välinen regressio oli lineaarinen ja selittämätön hajonta satunnaisesti jakautunutta. Tilavuuden suorassa laskennassa oletettiin runko ja oksat muodoltaan kartioiksi.

Taulukko 1. Koealojen yleiskuvaus.  
*Table 1. General description of the study areas.*

Koealan numero <i>Stand number</i>	Metsätyyppi <i>Site type</i>	Pohjapinta-ala <i>Basal area m<sup>2</sup>/ha</i>	Tiheys <i>Density 1/ha</i>	Keski-läpimitta <i>Mean diameter cm</i>	Keskipituus <i>Mean height m</i>	Puun keskimassa <i>Mean total biomass kg</i>	Puuston keski-ikä <sup>1)</sup> <i>Mean age<sup>1)</sup> a</i>
15	VT	22,1	4600	7,5	6,74	29	16
19	VT	18,4	3300	7,9	5,74	30	15
20	VT	13,0	1000	12,5	8,30	90	21
24	VT	19,7	3700	6,5	6,01	18	17
25	VT	32,3	5000	8,3	8,81	39	20
55	VT	18,9	2000	11,3	7,78	65	17
62	VT	16,2	2300	9,1	7,34	43	17
63	VT	11,1	1300	9,8	6,38	57	16
91	VT	11,1	1700	9,0	6,09	41	17
98	VT	17,9	2400	9,4	6,85	45	17
113	VT	14,0	2100	8,3	7,34	43	17
115	VT	12,5	3000	7,3	5,07	74	14
999	VT	17,1	2600	8,8	7,79	41	18
10	MT	9,6	1000	10,8	6,09	68	15
13	MT	16,1	2300	9,3	6,77	44	17
16	MT	30,5	3200	10,9	7,74	60	18
37	MT	22,2	2100	11,4	8,19	66	17
52	MT	23,6	2200	11,7	8,16	71	17
95	MT	26,9	2500	11,4	7,69	66	17
116	MT	10,6	1600	5,0	5,64	40	15
117	MT	23,1	2700	9,0	8,21	53	18

<sup>1)</sup> Laskettu oksakiehkuroiden perusteella.  
*Estimated with the help of the total number of whorls.*

## 4. PUIDEN KASVUTILA JA PUUSTON TIHEYS

Puiden kasvutilan määrittämiseksi tarkastellaan aluksi homogeenisia metsiköitä, joiden puut ovat metsiköittäin identtisiä ja kasvavat metsiköissä tasaisesti tilaan jakautuneina (puut kasvavat oletettujen, metsiköitä ruuduttavien neliöiden kulmapisteissä). Merkitään  $A_r$ :lla metsikön pinta-alaa ja  $n$ :llä tällä alalla kasvavien puiden lukumäärää. Tällöin on puuta kohti kasvutilaa ( $s_i$ )

$$(4.1) \quad s_i = \frac{A_{r_i}}{n_i}$$

Vastaava puuston tiheys saadaan puolestaan yhtälöstä (4.2)

$$(4.2) \quad \rho_j = \frac{n_j}{A_{r_j}} = s_i^{-1}$$

missä  $\rho_j$  ilmaistaan runkolukuna hehtaarilla ( $1 \text{ ha}^{-1}$ ).

Oletetaan, että metsikön kunkin puun kasvutilan ( $s_i$ ) suuruutta voidaan estimoida ko. puun latvusprojektion ( $A_{ci}$ ) suuruudella. Täten

$$(4.3) \quad s_i = A_{ci} = \Pi r_i^2$$

missä  $r$  tarkoittaa i:nen puun latvuksen sädettä latvuksen leveimmältä kohdalta. Latvuksen säde voidaan kirjoittaa metsikön tiheyden funktion muodossa

$$(4.4) \quad r_i = \frac{1}{2} \left( \frac{A_r}{n_i} \right)^{1/2} = \frac{1}{2} s_i^{-1/2} = 50 \rho_i^{-1/2}$$

missä latvuksen säde on ilmaistu metreinä (m) ja puuston tiheys puiden lukumääränä hehtaarilla ( $1 \text{ ha}^{-1}$ ). Näin laskettava teoreettinen latvuksen säde on kuitenkin pienempi kuin todelliset latvuksen säteet, kuten kuvassa 1 esitetyistä tuloksista havaitaan. Tämä tarkoittaa sitä, että todellisuudessa oksat kasvavat toistensa lomiin, jos kohta oksien maksimipituus vähenee ennusteen mukaisesti puuston tiheyden kasvaessa.

Puuston latvuksen säde homogeenisessa metsässä (puut kooltaan identtisiä ja tasaisesti jakautuneita) vähenee siis periaatteessa kääntäen verrannollisesti puuston tiheyden

neliöjuuren sekä kasvutila kääntäen verrannollisesti puuston tiheyteen

$$(4.5) \quad s_i = 10^4 \rho^{-1}.$$

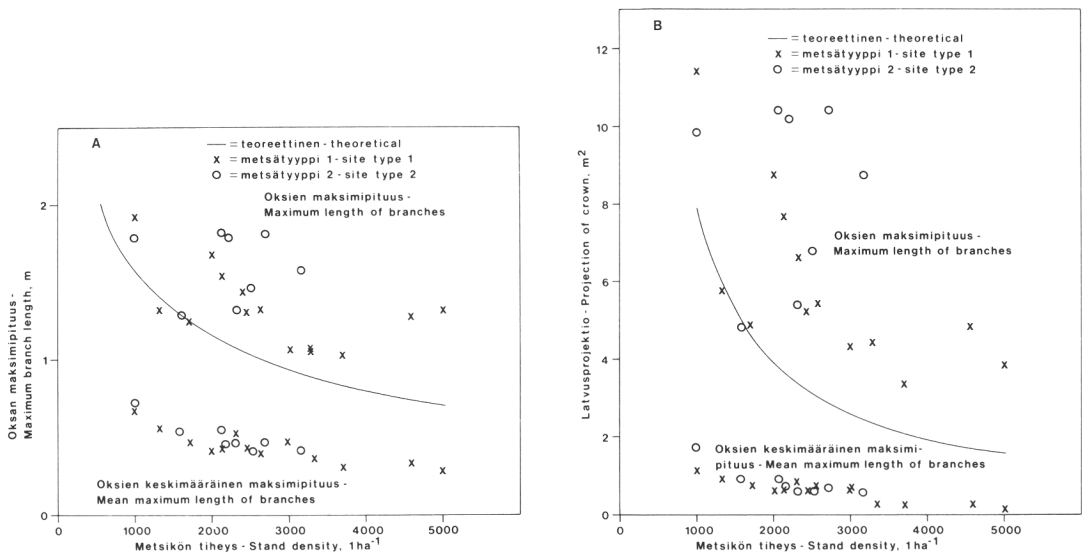
Täten puiden latvusprojektiio ja siten niiden potentiaalinen kasvutila puoliintuvat jokaista puuston tihteyden kaksinkertaistumista kohti, kuten oheisessa asetelmassa on havainnollistettu.

Tiheys ( $\rho$ ) $1 \text{ ha}^{-1}$	Latvuksen säde ( $r$ ) m	Projektiio ( $A_c$ ) $\text{m}^2$	Suhteellinen projektiio %
1000	1,58	7,85	100
1500	1,28	5,23	67
2000	1,12	3,94	50
2500	1,00	3,14	40
3000	0,91	2,60	33
3500	0,85	2,26	29
4000	0,79	1,96	25

Asetelmassa esitetyt teoreettiset arvot jäävät pienemmiksi kuin kuvassa 1 esitetyt todelliset arvot. Puolukkatyyppiä edustavassa aineistossa latvusprojektion suuruus kuitenkin pienenee ennusteen mukaisesti. Mustikkatyyppiin aineistossa latvusprojektion suuruuden riippuvuus puuston tiheydestä jää epämääräiseksi, kun latvusta on kuvattu oksien maksimipituudella ja tätä vastaavalla latvusprojektiolla.

Tilanne stabiloituu kuitenkin selvästi, kun latvusta kuvataan keskimääräisellä oksanpituudella ja tätä vastaavalla latvusprojektiolla (kuva 1). Tässä tapauksessa latvusprojektion suuruus vähenee ennusteen mukaisesti puuston tihteydessä, mutta nyt oksanpituus ja sitä vastaava latvusprojektiio jäävät ennakoitua pienemmiksi. Tämä on sikäli odotettavissa, että oksan keskipituus painottaa riittävästi kunkin oksakiehkuran suurta oksien pituusvaihtelua.

Yhtälön (4.4) mukaisesti  $r_i \rightarrow 50 \text{ m}$  kun  $\rho \rightarrow 1 \text{ ha}^{-1}$  sekä  $A_{ci} \rightarrow 7854 \text{ m}^2$ . Tällainen puu on tietenkin käytännössä mahdoton. Todelliset latvuksen maksimiarvot nuorissa (ikä  $\leq 20 \text{ a}$ ), harvoissa ( $\rho \leq 1000 \text{ ha}^{-1}$ ) männiköissä



Kuva 1. Latvuksen suuruuden ja metsikön tiheyden välinen suhde. (A) oksien maksimipituus (teoreettisen arvon yläpuoliset pisteet) ja keskimääräinen oksan maksimipituus (teoreettisen arvon alapuoliset pisteet) ja puiden latvuksissa puuston tiheyden funktiona. (B) puiden keskimääräinen latvusprojektiio puuston tiheyden funktiona A kohdassa esitettyjen pisteiden avulla laskettuna. Ristit tarkoittavat puolukkatyyppin ja ympyrät mustikkatyyppin metsiköitä. Viivat tarkoittavat yhtälöllä (4.4) laskettua teoreettista oksan maksimipituutta ja vastaavaa latvusprojektion suuruutta.

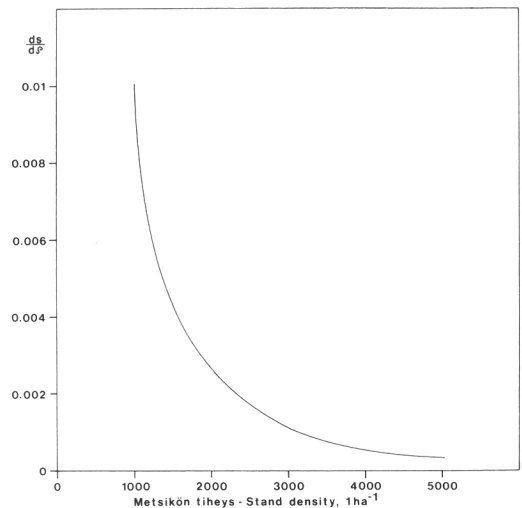
Fig. 1. Relationship between crown dimensions and stand density. (A) maximum length of branches (points above the theoretical values), mean maximal length of branches in tree crowns as a function of the stand density. (B) mean projection area of trees as a function of the stand density as calculated on the basis of the points presented in the section A. Crosses indicate stands of *Vaccinium* and circles stands of *Myrtillus* type. The curves indicate the expected values of the branch length and crown projection as predicted on the basis of Eq. (4.4).

näyttää olevan  $\leq 2\text{m}$  (Uusvaara 1974, Varmola 1980, Kellomäki & Tuimala 1981).

Latvusprojektion suuruus on em. latvuk- sen säteellä  $12,57\text{ m}^2$ , mikä vastaa puuston tiheyttä  $625\text{ ha}^{-1}$ . Tällä tiheysarvolla latvus- projektiio on 160 % verrattuna arvoon, joka vallitsisi tiheydellä  $1000\text{ ha}^{-1}$ . Täten nuor- ten mäntyjen potentiaalisesti käyttämä kas- vutila olisi vakio metsikön tiheydelle  $625\text{ ha}^{-1}$  saakka, jonka jälkeen se vähenee kään- täen verrannollisesti puuston tiheyteen. Eri- tyisen nopeasti kasvutila pienenee puuston tiheysarvoilla, jotka ovat pienempiä kuin  $2500\text{ ha}^{-1}$ . Tätä suuremmilla tiheysarvoilla kasvutilan pieneneminen jokaista tiheyden yksikkömuutosta kohti on vähäistä, kuten kasvutilan ja puuston tiheyden välisen deri- vaattafunktion (4.6) (yhtälön (4.5) derivaat- ta)

$$(4.6) \quad \frac{ds}{d\rho} = -10^4 \rho^{-2}$$

tarkastelu osoittaa (kuva 2).



Kuva 2. Puiden kasvutilan ja metsän tiheyden välisen funktion (4.5) derivaattafunktion (4.6) kulku.

Fig. 2. Derivate function (4.6) for the relationship between growing space and stand density (4.5).

## 5. PUIDEN KASVUTILA JA PUIDEN OKSIKKUUS

### 51. Puiden kasvutila ja puiden keskimassa

Merkitään  $L$ :llä puun minkä tahansa osan mittaa. Koska puun kasvutila ( $s$ ) on mitan neliön ja massa ( $Y$ ) mitan kuution funktio, voidaan kirjoittaa (Drew & Flewelling 1979)

$$(5.1) \quad s \propto L^2$$

$$(5.2) \quad Y \propto L^3$$

missä  $L$  tarkoittaa ko. mittaa sekä merkintä ( $\alpha$ ) verrannollisuutta. Yhtälöiden (5.1) ja (5.2) perusteella voidaan edelleen kirjoittaa

$$(5.3) \quad s \propto L^2 \alpha (L^3)^{\frac{2}{3}} \alpha (Y)^{\frac{2}{3}}$$

Yhtälöstä (5.3) saadaan edelleen

$$(5.4) \quad Y \propto s^{\frac{3}{2}} \alpha \rho^{-\frac{3}{2}}$$

Yhtälön (5.4) mukaan sulkeutuneessa, homogeenisessa kasvustossa puun massa on verrannollinen puun kasvutilan potenssiin  $3/2$  tai puuston tiheyden potenssiin  $-3/2$ . Viimeksi mainitussa muodossa yhtälöä (5.4) kutsutaan tavallisesti  $-3/2$  potenssimalliksi (Yoda ym. 1963). Paitsi sulkeutuneen homogeenisen kasvuston massan ja tiheyssuhteiden kuvaukseen sopii malli myös sulkeutuneisiin epähomogeenisiin kasvustoihin, jolloin kokonaismassan sijasta käytetään keskimassaa ( $\bar{Y}$ ) eli

$$(5.5) \quad \bar{Y}_j = C \rho_j^{-\frac{3}{2}} = C \rho_j^k$$

missä  $C$  ja  $k$  ( $\approx -\frac{3}{2}$ ) ovat parametreja. Homogeenisessa kasvustossa  $\bar{Y} = Y_j$ , jolloin yhtälö (5.5) voidaan kirjoittaa muodossa

$$(5.6) \quad Y_{ji} = C \rho_{ji}^k$$

### 52. Puiden latvusprojektion suuruus ja puiden massa

Kun metsikkö on homogeeninen, on jokaisen puun käytössä sen latvusprojektion rajaama alue ( $A_{cji}$ ). Tämä tarkoittaa sitä, että latvusprojektion rajaamalla alueella puuston tiheys on  $1/A_{cji}$ . Jos tämän puun massa on  $Y_{ji}$ , saadaan

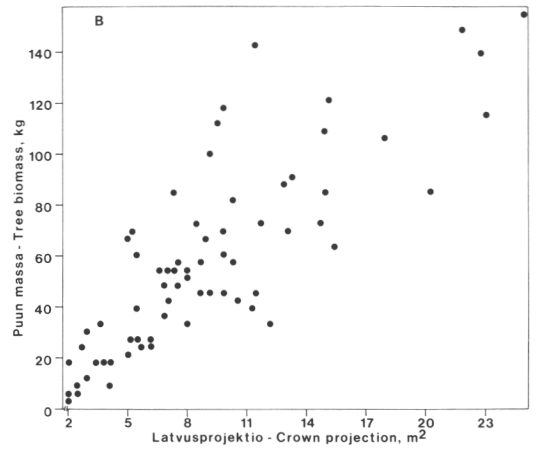
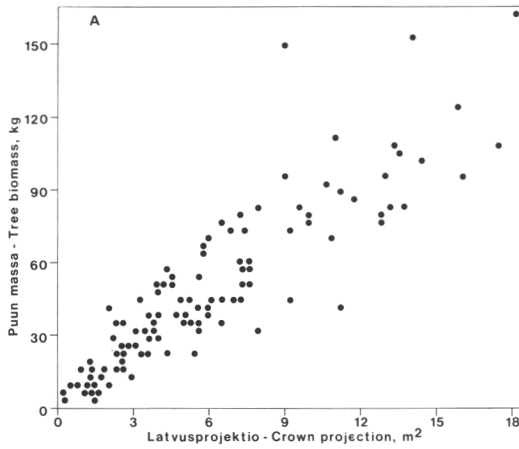
$$(5.7) \quad Y_{ji} = C_{pi} \left(\frac{1}{A_{cji}}\right)^{k_p} = C_{pi} (A_{cji})^{-k_p} = C_{pi} (A_{cji})^{\frac{3}{2}}$$

Myös tarkasteltavassa aineistossa puun massan ja latvusprojektion välinen suhde noudattaa yhtälön (5.7) mukaista mallia, kuten oheisesta asetelmasta ja kuvista 3 ja 4 ilmenee.

Metsätyyppi	Vakio $C_{pi}$ kg m <sup>2</sup> p	Eksponentti $k_p$	$R^2$
VT	1,504±0,084	1,208±0,0478	0,834
MT	1,839±0,152	1,014±0,072	0,746

Molempia metsätyyppejä edustavissa aineistoissa riippuvuus on tilastollisesti erittäin merkitsevä ( $p < 0,001$ ). Toisaalta eksponentti  $k_p$  on molemmissa tapauksissa arvoltaan kuitenkin tilastollisesti merkitsevästi pienempi ( $p < 0,001$ ) kuin ennakoitu arvo  $3/2$ . Molemmissa tapauksissa mallien selityasteet ovat tyydyttäviä ( $R^2 > 0,70$ ), joskin latvusprojektioltaan suurten puiden suhteen esiintyy odottamattoman suurta vaihtelua. Tämä johtunee laskentatavasta, jolloin latvusprojektiio määriteltiin latvuksen pisimmän oksan perusteella. Tällöin yksikin poikkeuksellinen pitkä oksa ratkaisee latvusprojektion suuruuden, vaikka pisimmät oksat keskimäärin olisivat tätä huomattavasti lyhyempiä.

Koska yhtälö (5.7) ei sisällä metsikön rakennetta kuvaavia tekijöitä, on yhtälö (5.7) pätevä myös silloin, kun puut ovat kooltaan eriytyneitä mutta metsiköittäin samanikäisiä. Täten missä tahansa metsikössä puun kokonaismassa on suoraan verrannollinen latvusprojektionsa potenssiin 1.0...1.5. Tällöin latvusprojektiio on puun käytettävissä



Kuva 3. Puun kokonaismassan ja latvusprojektion suhde (A) puolukkatyyppin ja (B) mustikkatyyppin metsiköissä.  
Fig. 3. Relationship between the total biomass of trees and their crown projection area on (A) *Vaccinium* and (B) *Myrtillus* sites.

olevan tilan mitta, kuten yhtälön (5.4) perusteella on pääteltävissä.

Kun homogeenisen puuston keskimääräinen latvusprojektiio  $A_{cj}$  ratkaistaan yhtälöiden (4.3) ja (4.4) avulla puuston tiheyden funktiona, saadaan puun keskimassalle yhtälö (5.8)

$$(5.8) \quad \bar{Y}_j = C(2500\frac{\pi}{\rho})^{\frac{3}{2}} = 696041 C \rho^{-\frac{3}{2}}.$$

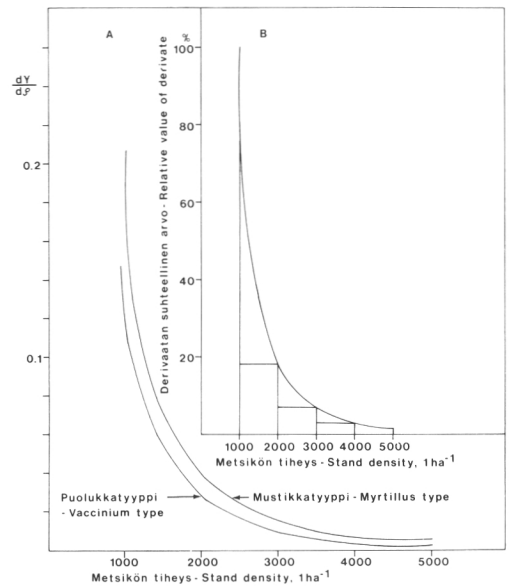
Kun yhtälö (5.8) derivoidaan puuston tiheyden ( $\rho$ ) suhteen, saadaan

$$(5.9) \quad \frac{dY}{d\rho} = 1044062 C \rho^{-\frac{5}{2}}$$

Yhtälön (5.9) perusteella havaitaan, että homogeenisen metsikön keskipuun massa vähenee voimakkaasti puuston tiheyden kasvaessa  $1000 \text{ ha}^{-1} \rightarrow 2500 \text{ ha}^{-1}$  (kuva 4). Tämän jälkeen puuston tiheyden lisäys vähentää enää hitaasti puun massaa.

### 53. Puiden latvusprojektiio sekä massan kertyminen runkoon ja latvukseen

Puuston tiheyden ja massan kertymisen välistä suhdetta on edellä kuvattu puun kokonaismassan suhteen erottelematta toisistaan runkomassaa ja oksamassaa. Koska runkomassa ja oksamassa ovat allometrisissa suhteissa keskenään, voidaan yhtälö (5.7)



Kuva 4. Puiden kokonaismassan ja puuston tiheyden välisen funktion (5.8) derivaattafunktion (5.9) kulku homogeenisissa metsiköissä. (A) funktio absoluuttisina ja (B) suhteellisina arvoina.

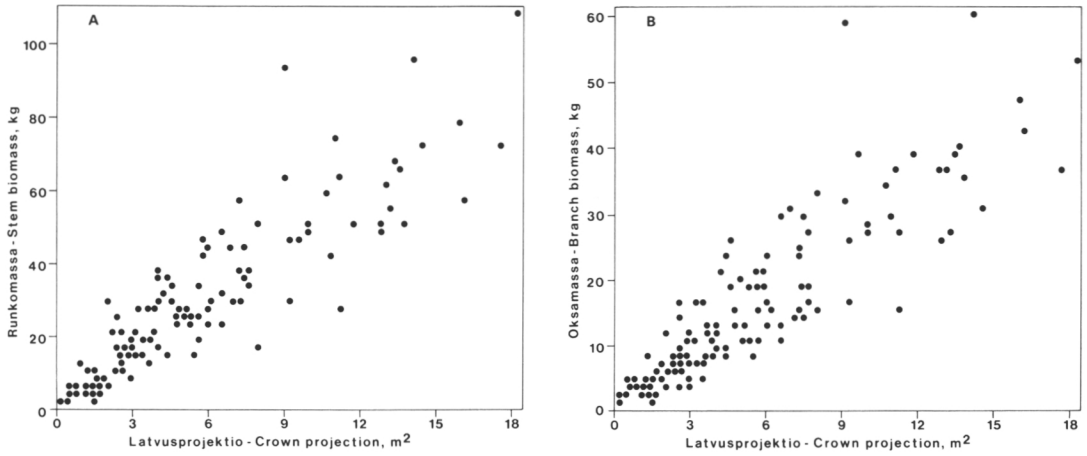
Fig. 4. Derivate function (5.9) for the relationship between tree biomass and the stand density in homogenous stands. (A) the function in absolute and (B) in relative terms.

*a priori* kirjoittaa erikseen runkomassalle ja oksamassalle (vrt. myös Hozumi 1977)

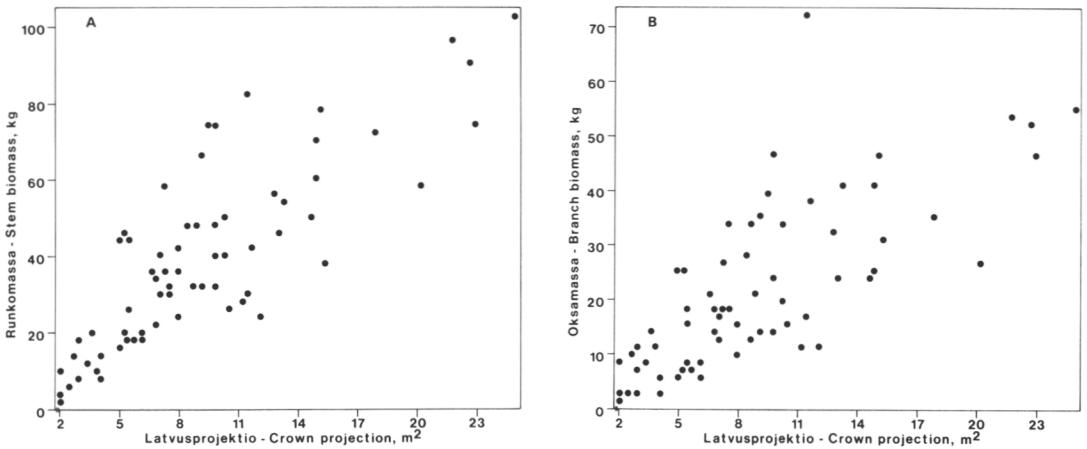
$$(5.10) \quad Y_{Sji} = C_S (A_{cji})^{-k_S} = C_S \left(\frac{1}{A_{cji}}\right)^{k_S}$$

$$(5.11) \quad Y_{Bji} = C_B (A_{cji})^{-k_B} = C_B \left(\frac{1}{A_{cji}}\right)^{k_B}$$





Kuva 5. Puun (A) runkomassan, (B) oksamassan ja latvusprojektion väliset suhteet puolukkatyyppin metsäkoissa.  
 Fig. 5. Relationship between (A) stem and (B) branch biomass and crown projection area on sites of *Vaccinium* type.



Kuva 6. Puun (A) runkomassan, (B) oksamassan ja latvusprojektion väliset suhteet mustikkatyyppin metsäkoissa.  
 Fig. 6. Relationship between (A) stem and (B) branch biomass and crown projection area on sites of *Myrtillus* type.

missä alaviite S tarkoittaa runkoa ja B oksia.

Kuvissa 5 ja 6 esitetään puiden runkomassan ja oksamassan riippuvuus latvusprojektioista (taulukko 2). Kaikissa tapauksissa riippuvuudet ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ( $p < 0,001$ ) sekä selitysasteet kohtuullisen hyviä ( $R^2 \geq 0,650$ ). Riippuvuudet kuitenkin hajautuvat latvusprojektion kasvussa, mikä ilmentää oksien pituuskasvun ennakoimatonta voimistumista metsikön tiheydestä riippumatta. Kasvutila mitattuna latvusprojektion suuruudella näyttää kuitenkin olevan selvässä yhteydessä puihin kertyvän oksamassan ja runkomassan suuruuteen.

#### 54. Puiden oksa- ja runkomassan riippuvuus oksatiheydestä

Yhtälöt (5.10) ja (5.11) kuvaavat puiden oksa- ja runkomassan riippuvuutta puiden kasvutilasta ja siten metsikön tiheydestä. Täten yhtälöt ilmaisevat, miten suurilla oksa- ja runkomassojen arvot voivat olla kussakin tilanteessa. Yhtälöiden perusteella ei voida kuitenkaan päätellä, miten ko. arvot muodostuvat oksien syntymisen, kasvamisen ja kuoleamisen seurauksena.

Oletetaan puun latvus oksista koostuvaksi populaatioksi, joka kasvaa puun<sup>1</sup> vuksen rajaamalla alalla. Tämän -

Taulukko 2. Parametrit runkomassan ( $Y_S$ ) ja oksamassan ( $Y_B$ ) riippuvuudelle latvusprojektion ( $A_c$ ) suuruudesta mal-  
leissa  
 $Y_S = C_S \left(\frac{1}{A_c}\right)^{k_S}$  ja  $Y_B = C_B \left(\frac{1}{A_c}\right)^{k_B}$ .

Table 2. Parameters for the regression between stem ( $Y_S$ ) and branch biomass ( $Y_B$ ) and crown projection area ( $A_c$ )

$$Y_S = C_S \left(\frac{1}{A_c}\right)^{k_S} \text{ and } Y_B = C_B \left(\frac{1}{A_c}\right)^{k_B}$$

Osite Component	Kasvu- paikka <sup>1)</sup> Site type <sup>1)</sup>	Parametrit—Parameters		$R^2$	Malli Model	Tilastollinen merkitsevyys Statistical significance	
		k	$\ln C$ kg m <sup>2</sup>			k	C
Runkopuu Stem wood	VT MT	1,188±0,049 1,008±0,069	1,101±0,087 1,392±0,146	0,819 0,759	0,001 0,001	0,001 0,001	0,001 0,001
Oksapuu Branch wood	VT MT	1,244±0,055 1,014±0,089	0,409±0,097 0,854±0,188	0,800 0,654	0,001 0,001	0,001 0,001	0,001 0,001

<sup>1)</sup> VT=puolukkatyyppi — *Vaccinium* type, MT=mustikkatyyppi — *Myrtillus* type

tiheys ( $\rho_{Bji}$ ) on

$$(5.12) \quad \rho_{Bji} = \frac{N_{ji}}{A_{cji}}$$

missä  $N_{ji}$  on puun elävien oksien lukumäärä. Koska puun oksien ja rungon massan kertyminen riippuvat latvusprojektiosta, voidaan oksa- ja runkomassa kirjoittaa myös oksatiheyden funktiona

$$(5.13) \quad Y_{Sji} = C_S (\rho_{Bji})^{k_S}$$

$$(5.14) \quad Y_{Bji} = C_B (\rho_{Bji})^{k_B}$$

Koska  $k_S$  ja  $k_B$  ovat arvoltaan  $< 0$ , niin havaitaan puun oksamassan tai runkomassan kasvavan latvuksen säteen tai puun läpimitan kasvaessa sekä päinvastoin. Yhtälö (5.14) määrää tällöin puun oksamassan ylärajan siten, että uusien oksien syntyminen lisää oksatiheyttä sekä täten voimistaa oksien kuolemista. Jos latvuksen säde (kasvutila) kuitenkin samalla kasvaa, kohoaa oksamassan potentiaalinen määrä uudelle tasolle. Oksatiheys muodostaa täten takaisinkytkennän, joka säätelee oksamassan suuruuden.

Puiden oksatiheyksien laskemiseksi projisioitiin oksakulmaa hyväksi käyttäen ko. latvuksen pisin oksa tasoon. Tätä arvoa hyväksi käyttäen laskettiin latvuksen projektio-pinta-ala sekä edelleen elävien oksien lukumäärä projektio-pintaa kohti. Tällä tavalla laskettuna oksatiheyttä käytettiin puun kasvutilan mittana, kun laskettiin latvuksen ja rungon massan riippuvuus kasvutilasta. Oksa- ja runkomassan riippuvuus tällä tavalla lasketusta oksatiheydestä on esitetty kuvissa 7 ja 8 sekä taulukossa 3.

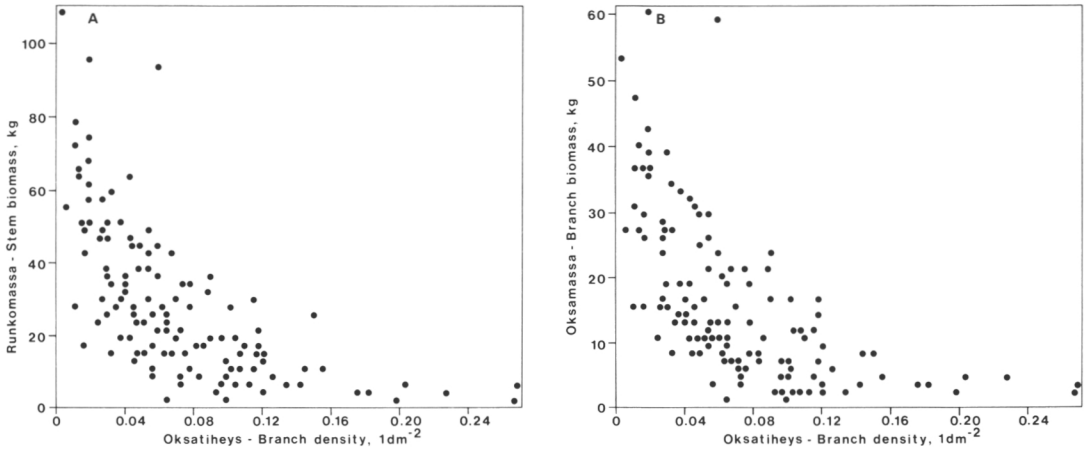
Tulosten tarkastelu osoittaa, että yhtä-

löiden (5.13) ja (5.14) mukaiset riippuvuudet sopivat myös empiirisen aineiston kuvaamiseen. Havaitaan, että puiden oksien ja rungon massa vähenevät negatiivista eksponenttifunktiota noudattaen puun kasvutilan vähetessä. Molemmissa tapauksissa selitysasheet ovat suhteellisen korkeita ( $R^2 > 0,6$ ) sekä parametrien hajonnat kohtuullisia (taulukko 3). Molemmissa tapauksissa mallit ovat myös tilastollisesti erittäin merkitseviä ( $p < 0,001$ ), joten yhtälöissä (5.13) ja (5.14) oletetut riippuvuudet hyväksytään tarkastelun pohjaksi.

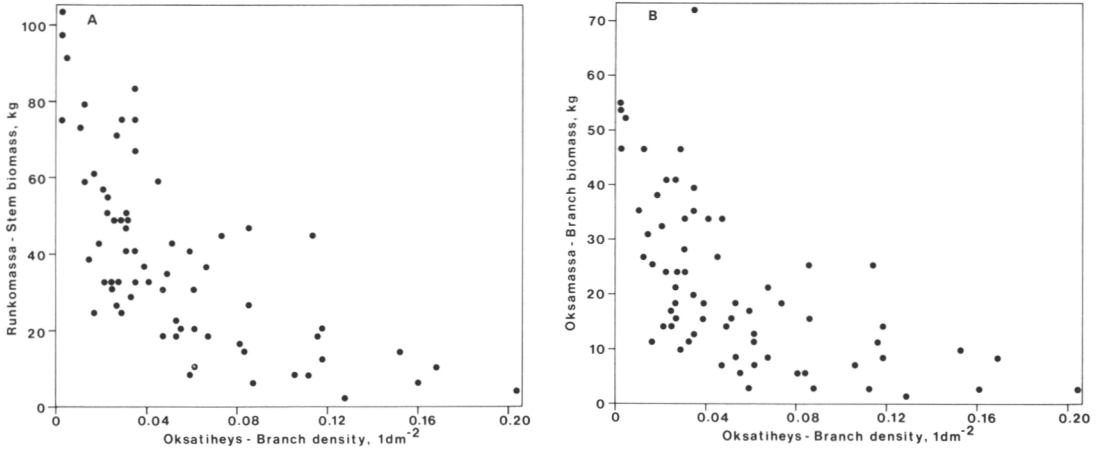
Yhtälöiden (5.13) ja (5.14) parametrien vertailu osoittaa, että parametri C saa mustikkatyyppillä suurempia arvoja kuin puolukkatyyppillä. Tämä tarkoittaa sitä, että kasvun taso mustikkatyyppillä on odotusten mukaisesti suurempi kuin puolukkatyyppillä, sillä  $Y \rightarrow C$  kun  $\rho_B \rightarrow 0$ . Parametri C ilmaisee täten kasvun potentiaalisen tason, josta on puhdistettu puuston tiheyden vaikutus massan kertymiseen. Parametri C:n dimensio on (kg dm<sup>2</sup>). Parametri k puolestaan ilmaisee ko. riippuvuuden jyrkkyyden, joka mustikkatyyppillä on suurempi kuin puolukkatyyppillä. Täten oksa- ja runkomassa muuttuvat nopeammin mustikkatyyppillä kuin puolukkatyyppillä, kun puun kasvutila muuttuu.

Puun latvusprojektion mittaaminen (pissimmän oksan mittaaminen) suoraan on käytännössä työlästä. Tämän vuoksi tutkittiin mahdollisuutta määrittää latvusprojektion suuruus epäsuorasti puun rinnankorkeusläpimitan (D) avulla. Tämä yhteys on analyttinen, sillä oksatiheys voidaan kirjoittaa rinnankorkeusläpimitan funktiona seuraavasti

$$(5.15) \quad \rho_{Bji} = \frac{N_{ji}}{A_{cji}} = \frac{4N_{ji}}{\pi(a_j + b_j^2 D_{ji})^2}$$



Kuva 7. Puun (A) runkomassan, (B) oksamassan ja oksatiheyden väliset suhteet puolukkatyyppin metsäkoissa.  
 Fig. 7. Relationship between (A) stem and (B) branch biomass and branch density on sites of *Vaccinium* type.



Kuva 8. Puun (A) runkomassan, (B) oksamassan ja oksatiheyden väliset suhteet mustikkatyyppin metsäkoissa.  
 Fig. 8. Relationship between (A) stem and (B) branch biomass and branch density on sites of *Myrtillus* type.

missä  $a_j$  ja  $b_j^2$  ovat rinnankorkeusläpimitan ja latvuksen säteen välisen regression (yhtälö 5.16)

$$(5.16) \quad r = a + b'D$$

parametreja. Tällöin latvusprojektiio lasketaan puun rinnankorkeusläpimitan ja latvuksen läpimitan välisen regression avulla, joka on esitetty kuvassa 9 metsätyyppinä erotellen. Mallin parametrit on esitetty taulukossa 4.

Molemmilla metsätyypeillä ko. riippuvuus on lineaarinen siten, että regressioyhtälön vakioarvo ei poikkea tilastollisesti merkittävästi nolasta (taulukko 4) päinvastoin, kuin

yhtälössä (5.16) oli oletettu. Niinpä kuvaa 9 laadittaessa on käytetty hyväksi orion kautta kulkevaa regressiomallia, jonka kulmakerroin on 1,500. Molemmilla metsätyypeillä kulmakerroin on lähes samansuuruisen, joten sama kulmakerroin antaa tyydyttävän tuloksen molemmissa tapauksissa. Orion kautta kulkeva malli oli tilastollisesti erittäin merkitsevää ( $p < 0,001$ ) ja antaa tyydyttävän selityssasteen ( $R^2 = 0,95$ ).

Koska latvuksen läpimitta voidaan estimoida tyydyttävästi orion kautta kulkevan regression avulla, voidaan yhtälö (5.15) kirjoittaa muotoon

$$(5.17) \quad \rho_{ji} = \frac{N_{ji}}{A_{cji}} = \frac{4N_{ji}}{\pi b_j^2 D_{ji}^2}$$

Taulukko 3. Parametrit runkomassan ( $Y_S$ ) ja oksamassan ( $Y_B$ ) riippuvuudelle oksatiheydestä ( $\rho_B$ ) mallissa  $Y=C\rho_B^k$ .  
 Table 3. Parameters for the regression between stem ( $Y_S$ ) and branch biomass ( $Y_B$ ) and branch density ( $\rho_B$ ) in model  $Y=C\rho_B^k$ .

Osite Component	Kasvu- paikka <sup>1)</sup> Site type <sup>1)</sup>	Parametrit—Parameters		$R^2$	Malli Model	Tilastollinen merkitsevyys Statistical significance	
		k	ln C kg dm <sup>-2</sup>			k	C
Latvusprojektiolla — On crown projection							
Runkopuu Stem wood	VT	-1,269±0,096	-0,124 ±0,243	0,581	0,001	0,001	0,611
	MT	-1,042±0,103	0,507 ±0,292	0,604	0,001	0,001	0,087
Poikkileikkauksella — On cross-section							
	VT	-1,384±0,057	-0,339 ±0,129	0,892	0,001	0,001	0,009
	MT	-1,219±0,049	0,055 ±0,138	0,901	0,001	0,001	0,692
Latvusprojektiolla — On crown projection							
Oksapuu Branch wood	VT	-1,278±0,107	-0,747 ±0,274	0,525	0,001	0,001	0,007
	MT	-1,041±0,123	-0,0166±0,349	0,515	0,001	0,001	0,962
Poikkileikkauksella — On cross-section							
	VT	-1,414±0,065	-1,012 ±0,162	0,790	0,001	0,001	0,001
	MT	-1,268±0,069	-0,603 ±0,196	0,831	0,001	0,001	0,003

<sup>1)</sup> VT=Puolukkatyyppi — *Vaccinium* type, MT=Mustikkatyyppi — *Myrtillus* type

Taulukko 4. Parametrit latvuksen säteen (r) ja rinnankorkeusläpimitan (D) väliselle mallille  $r = a+b'D$  ja  $r = bD$ .  
 Table 4. Parameters for the regression between crown radius (r) and stem diameter (D) in model  $r = a+b'D$  and  $r = bD$ .

Metsätyyppi Site type	Parametrit—Parameters		$R^2$	Malli Model	Tilastollinen merkitsevyys Statistical significance	
	a 0,1 m	b' tai/or b 0,1 m cm <sup>-1</sup>			a	b' tai/or b
Vapaa malli — Free model						
Puolukkatyyppi <i>Vaccinium</i> type	2,054±0,472	0,128±0,005	0,837	0,001	0,001	0,001
Mustikkatyyppi <i>Myrtillus</i> type	2,123±1,144	0,134±0,011	0,707	0,001	0,067	0,001
Origon kautta — Through origo						
Puolukkatyyppi <i>Vaccinium</i> type		1,482±0,017	0,982	0,001	0,001	0,001
Mustikkatyyppi <i>Myrtillus</i> type		1,531±0,030	0,974	0,001	0,001	0,001

missä  $b_j$  on yhtälön (5.16) origon kautta kulkevan version parametri. Oksatiheys lasketaan itse asiassa nyt rungon poikkileikkauksen pinta-alaa kohti. Myös tämä tapa osoittaa kiinteätä suhdetta oksatiheyden sekä oksamassan ja runkomassan välillä (kuva 10, taulukko 4). Myöhemmin esitettävissä laskelmissa on oksatiheyden mittana käytetty yhtälön (5.17) avulla estimoituja arvoja.

## 55. Puiden oksa- ja runkomassan suhteet

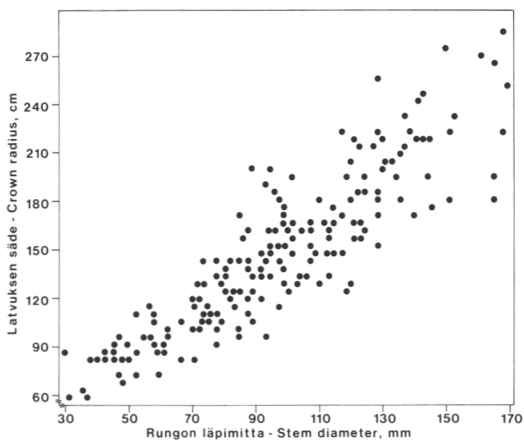
Puiden oksa- ja runkomassan suhteita kuvattiin runkomassan ja oksamassan välisellä

regressiolla, joka on esitetty kuvassa 11 ja taulukossa 5 kasvupaikoittain ryhmiteltyinä. Riippuvuus oli molemmissa tapauksissa lineaarinen siten, että runkomassan kertymä selittää tyydyttävästi oksamassan kertymä ( $R^2 > 0,8$ ).

Molemmilla metsätyypeillä riippuvuuden kulmakerroin (parametri E) oli lähes sama. Myös vakion (parametri e) arvot poikkesivat toisistaan vain vähän. Itse asiassa parametri e:n arvot eivät kummassakaan tapauksessa poikenneet nolasta, joten molemmille metsätyypeille voidaan käyttää yhteistä mallia, joka kulkee origon kautta ja jonka kulmakerroin on 0,609 (kuva 11). Täten jokaisesta runkomassayksikköä kohti oli puiden elinajan aikana kertynyt 0,6 oksamassayksikköä.

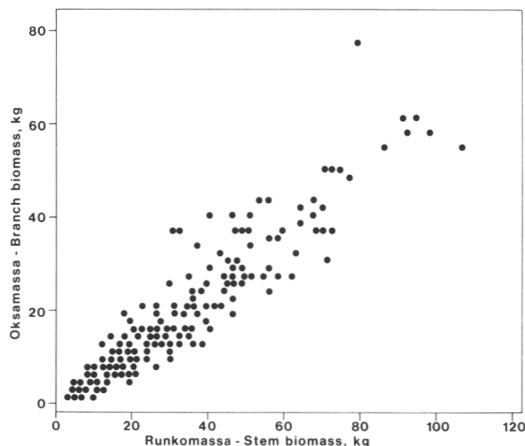
Taulukko 5. Parametrit runkomassan ( $Y_S$ ) ja oksamassan ( $Y_B$ ) väliselle regressiolle  $Y_B = e + E Y_S$ .  
 Table 5. Parameters for the regression between stem wood ( $Y_S$ ) and branch wood ( $Y_B$ ) in model  $Y_B = e + E Y_S$ .

Metsätyyppi Site type	Parametrit—Parameters		$R^2$	Tilastollinen merkitsevyys Statistical significance		
	e kg	E kg kg <sup>-1</sup>		Malli Model	e	E
Puolukkatyyppi <i>Vaccinium</i> type	-0,154±0,644	0,576±0,018	0,889	0,001	0,811	0,001
Mustikkatyyppi <i>Myrtillus</i> type	-1,059±1,463	0,644±0,033	0,847	0,001	0,472	0,001



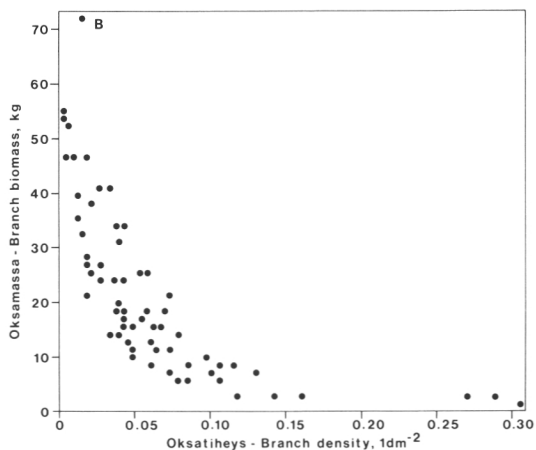
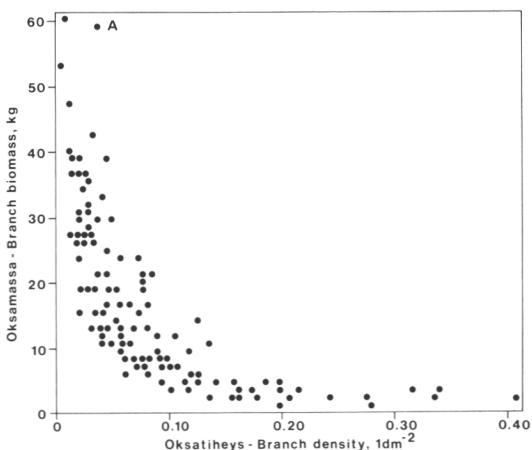
Kuva 9. Puiden rinnankorkeusläpimitan ja latvusprojektion välinen suhde. Aineistoon sisältyy sekä puolukka- että mustikkatyyppin metsiköt.

Fig. 9. Relationship between stem diameter and crown projection area. The material includes stand on sites of *Vaccinium* and *Myrtillus* types.



Kuva 11. Puiden runkomassan ja oksamassan välinen suhde koko aineistossa.

Fig. 11. Regression between stem and branch biomass in the total material.



Kuva 10. Esimerkki puun (A) runkomassan ja (B) oksamassan ja oksatiheyden välisestä suhteesta, kun oksatiheys on laskettu puun rinnankorkeusläpimitan avulla (yhtälö 5.17). Aineisto edustaa puolukkatyyppin metsiköitä.

Fig. 10. Example regarding relationship between (A) stem and (B) branch biomass and branch density as estimated with the help of stem diameter (Eq. 5.17). The material represents stands of *Vaccinium* type.

Riippuvuudessa on tosin vielä selittämätöntä vaihtelua ( $R^2 > 0,8$ ), joskin lineaarinen malli antoi tässä tapauksessa parhaimman tuloksen.

## 56. Puiden oksatiheys ja oksikkuus

Yhtälön (2.1) mukaisesti puiden oksikkuus ( $B_{ji}$ ) määriteltiin puiden oksamassan ( $Y_{Bji}$ ) runkomassan ( $Y_{Sji}$ ) suhteeksi

$$(5.18) \quad B_{ji} = \frac{Y_{ji}}{Y_{Sji}} = \frac{C_{Bj}^{-k_B - k_S}}{C_{Sj}} \quad \rho_{Bji} = C_{0j} \rho_{Bji}^{k_0}$$

Puun i oksikkuus riippuu täten puun potentiaalisen oksamassan ja runkomassan suhteesta siten, että suhde kerrotaan puun kasvutilaa kuvaavalla oksatiheydellä, joka korotetaan potenssiin  $k_B - k_S$ . Parametri  $C_{0j} = C_{Bj}/C_{Sj}$  ja  $k_0 = k_B - k_S$ .

Yhtälön (5.18) parametri voidaan joko laskea yhtälöiden (5.13) ja (5.14) parametrien avulla tai estimoida suoraan aineistosta. Parametrien arvoiksi saatiin edellisellä tavalla laskien seuraavat

Metsätyyppi	Parametri	
	$C_0$ kgm <sup>2</sup>	$k_0$
VT	0,508	-0,030
MT	0,517	-0,049

Yhtälön (5.18) gradientti on asetelman mukaan likimain nollan arvoinen, joten oksikkuus olisi täten parametri  $C_0$  suuruisen vakio. Jos parametri  $k_0$  arvo kuitenkin tulkitaan nolasta poikkeavaksi, vähenee oksikkuus lievästi oksatiheyden kasvaessa.

Mallin (5.18) antamaa tulosta voidaan verrata myös runkomassan ja oksamassan väliseen regressioon, jolloin jälkimmäisen mallin regressiokerroin on tulkinnaltaan likimain sama kuin parametri  $C_0$ , jonka arvojen rinnalle esitetään oheisena ko. regressiokertoimet (vrt. taulukko 5).

Metsätyyppi	Parametri	Regressiokerroin
	$C_0$ kgm <sup>2</sup>	$E$ kg kg <sup>-1</sup>
VT	0,508	0,576
MT	0,517	0,644

Havaitaan, että malli (5.18) antaa oksikkuudelle hieman pienempiä arvoja kuin runkomassan ja oksamassan välisen regression kerroin. Molemmat tavat osoittavat yhtä-

pitävästi, että mustikkatyypin kasvupaikoilla oksikkuus on suurempi kuin puolukkatyyppien kasvupaikoilla. Mallin (5.18) mukaan ero on 2...3 %, regression mukaan 10...12 %.

Oksikkuuden ja oksatiheyden välisen regression parametrien estimointi empiirisestä aineistosta oli ongelmallista, sillä ko. regressio oli metsikkökohtainen. Tällöin ko. riippuvuus oli kussakin metsikössä selkeä, mutta se asettui niissä eri tasoille. Tämän vuoksi oksikkuus ja oksatiheys standardoitiin koealoittain siten, että ko. muuttujan keskiarvoksi tuli 0 ja keskihajonnaksi 1. Kun merkitään muuttujan L keskiarvoa koealalla j  $\bar{L}_j$  ja keskihajontaa  $S_j$ , muuttujan L standardoidut arvot saadaan kaavasta

$$(5.19) \quad L_{nji} = \frac{L_{ji} - \bar{L}_j}{S_j}$$

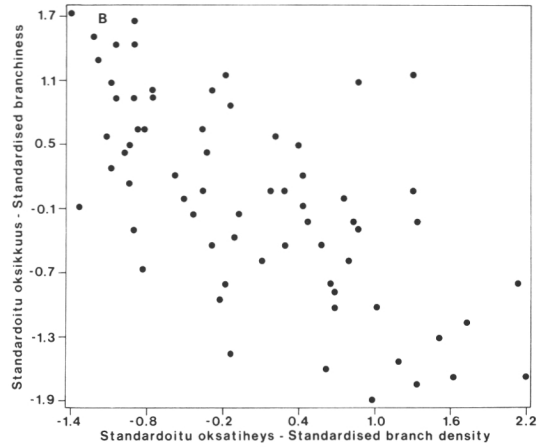
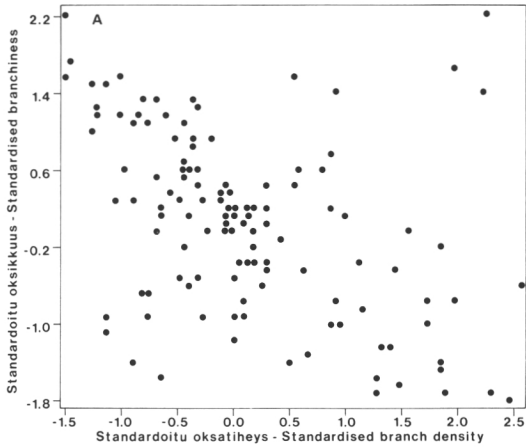
missä  $L_{ji}$  tarkoittaa muuttujan vanhaa arvoa koealan j puulla i sekä  $L_{nji}$  ko. muuttujan uutta arvoa.

Menettely antoi erityisesti mustikkatyypin aineistossa kohtuullisen tuloksen, joka osoitti oksikkuuden vähenevän odotusten mukaisesti ja yhtäpitävästi teoreettisen laskelman kanssa oksatiheyden kasvaessa (kuva 12). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tutkitussa aineistossa vallittujen puiden oksikkuus on pienempi kuin vallitsevien puiden.

## 57. Puiden koko ja oksikkuus

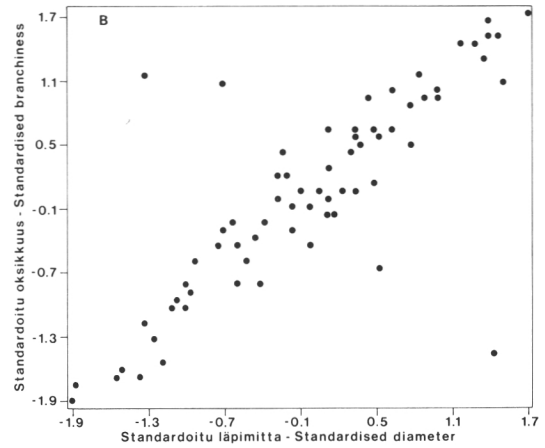
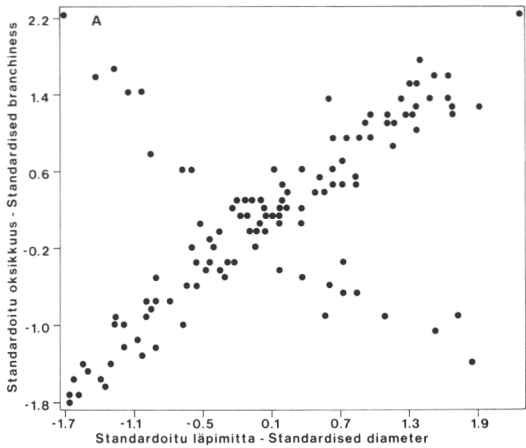
Oksikkuuden ja oksatiheyden suhteen perusteella on pääteltävissä, että tietyssä metsikössä vallitsevat puut ovat ilmeisesti oksikkaampia kuin vallitut puut. Näin osoitetaan tautuikin olevan, kun puiden oksikkuus suhteutetaan puiden rinnankorkeusläpimitaan. Riippuvuus oli kuitenkin metsikkökohtainen siten, että riippuvuus oli kussakin tapauksessa likimain lineaarinen, mutta se asettui kussakin metsikössä eri tasolle. Tämän vuoksi aineisto standardoitiin edellä esitetyllä tavalla, jonka tulokset on esitetty kuvassa 13.

Oksikkuuden ja puun läpimitan välinen lineaarisesti kasvava suhde on selkeä sekä puolukkatyyppillä että mustikkatyypillä lukuun ottamatta metsikköä 10 mustikkatyypillä sekä metsiköitä 63, 91 ja 115 puolukkatyyppillä. Näissä tapauksissa riippuvuus on



Kuva 12. Puiden oksikkuuden ja oksatiheyden välinen suhde standardoidussa aineistossa. (A) puolukkatyyppin metsiköt, (B) mustikkatyyppin metsiköt. Korrelaatiokerroin puolukkatyyppin aineistossa 0,67 ( $p < 0,001$ ) ja mustikkatyyppin aineistossa 0,45 ( $p < 0,01$ ).

Fig. 12. Relationship between branchiness of trees and branch density in standardised material. (A) stands of *Vaccinium* and (B) stands of *Myrtillus* type. Correlation coefficient for the former material was 0.67 ( $p < 0,001$ ) and for the latter material 0.45 ( $p < 0,01$ ).



Kuva 13. Puiden oksikkuuden ja rinnankorkeusläpimitan välinen suhde standardoidussa aineistossa. (A) puolukkatyyppin ja (B) mustikkatyyppin metsiköt. Korrelaatiokerroin puolukkatyyppin aineistossa 0,59 ( $p < 0,01$ ) ja mustikkatyyppin aineistossa 0,81 ( $p < 0,001$ ).

Fig. 13. Relationship between branchiness and stem diameter in standardised material. (A) stands of *Vaccinium* and (B) stands of *Myrtillus* type. Correlation coefficient for the former material was 0.59 ( $p < 0,01$ ) and for the latter material 0.81 ( $p < 0,001$ ).

päinvastainen: vallitsevien puiden oksikkuus on pienempi kuin vallittujen. Täsmällistä syytä tähän ei tunneta, mutta kyseisissä tapauksissa koepuiksi on voitu vastoin ohjeita valita esimerkiksi hirvien voittamia tai

muutoin kasvussaan häiriintyneitä puita. Jos ko. metsiköt poistetaan tarkastelusta, saa metsikön puiden oksamassan ja runkomassan suhde sitä suurempia arvoja mitä vallitsevammasta puusta on kysymys.

## 6. PUUSTON TIHEYS JA PUUSTON OKSIKKUUS

### 61. Puuston oksa- ja runkomassan määrä

Yksittäisten puiden perusteella ei vielä voida päätellä oksikkuuden ja puuston tiheyden välisiä suhteita, joskin yksittäisen puun kasvutila on aina riippuvainen puuston kokonaistiheydestä (vrt. kuva 1), kuten aiemmin on osoitettu. Tämän vuoksi laajennetaan seuraavassa edellä tehty tarkastelu metsikkötasolle puiden oksikkuuden ja metsikön tiheyden välisen suhteen määrittämiseksi.

Metsiköiden oksa- ja runkomassan suhteiden kuvaamiseksi laskettiin metsiköiden oksa- ja runkomassan riippuvuus puuston tiheydestä. Tätä riippuvuutta kuvattiin Shinozakin & Kiran (1961) mallilla, jossa massa ( $Y_j$ ) esitetään tiheydestä riippuvana tasautuvana funktiona

$$(6.1) \quad Y_j = \frac{\rho_j}{A\rho_j + B}$$

missä  $\rho_j$  on metsikön  $j$  puuston tiheys ( $1 \text{ ha}^{-1}$ ), sekä  $B$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), ja  $A$  ( $\text{kg}$ ) parametreja.  $Y_j$ :n dimensio on  $\text{kg ha}^{-1}$ . Mallin parametrien estimoimiseksi yhtälö (6.1) kirjoitettiin edelleen muotoon

$$(6.2) \quad \frac{1}{Y_j} = A + B \frac{1}{\rho_j}$$

Malli kuvaa tyydyttävästi oksamassan ja runkomassan riippuvuutta metsikön tiheydestä, sillä  $R^2 > 0,450$  sekä malli oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ( $p < 0,001$ ) ja parametrien hajonnat kohtuullisia (kuva 14) (taulukko 6).

Mallin (6.1) parametrien tarkastelu osoittaa, että odotusten mukaisesti massan kertymä oksiin ja runkoon on puuston tiheyden suhteen suurempaa mustikkatyyppin kasvupaikoilla kuin puolukkatyyppin kasvupaikoilla. Samalla on havaittavissa, että oksamassan kertymä tiheyden suhteen on pienempää kuin runkomassan kertymä. Täten näyttäisi siltä, että puuston tihtyminen vähentäisi oksikkuutta (oksien osuutta runkomassasta). Syynä tähän lienee oksien voimistunut kuoleminen tiheissä puustoissa, vaikka oksat ja runko sinänsä voivat kasvaa samassa suhteessa riippumatta puuston tiheydestä, kuten puukohtainen tarkastelu osoitti.

### 62. Puuston oksa- ja runkomassan suhteet

Kun luvussa 5 esitetyt tulokset yleistetään koskemaan koko metsikköä, oletetaan, että yksittäisten puiden perusteella lasketut pa-

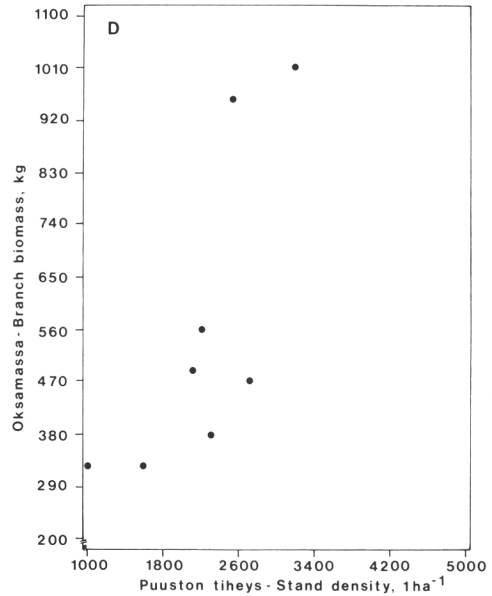
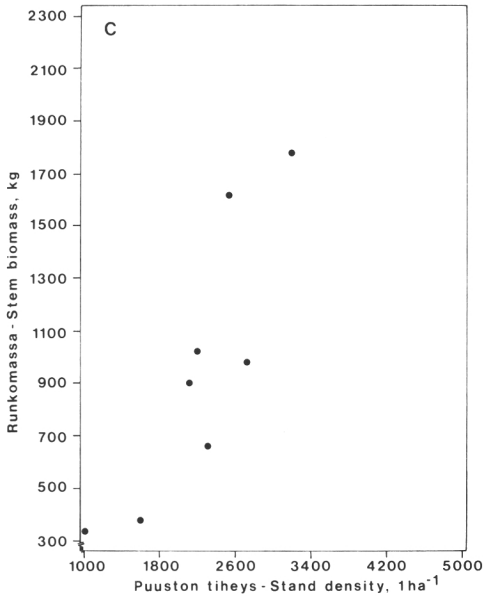
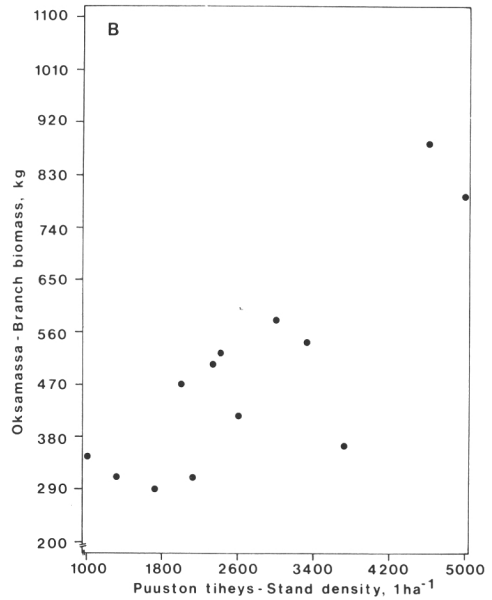
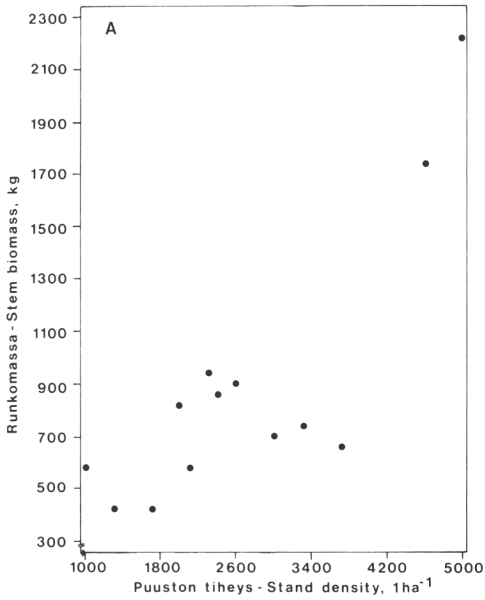
Taulukko 6. Parametrit runkopuun ( $Y_S$ ) ja oksapuun ( $Y_B$ ) kokonaismäärän riippuvuudelle metsikön tiheydestä ( $\rho$ ), jolloin malli oli muotoa  $\frac{1}{Y} = A + B \frac{1}{\rho}$ .

Table 6. Parameters for the model  $\frac{1}{Y} = A + B \frac{1}{\rho}$  describing the dependence of the total stem ( $Y_S$ ) and branch ( $Y_B$ ) wood on stand density.

Osite Component	Metsätyyppi <sup>1)</sup> Site type <sup>1)</sup>	Parametrit—Parameters		$R^2$	Tilastollinen merkitsevyys Statistical significance		
		A kg	B kg ha <sup>-1</sup>		Malli Model	A	B
Runkopuu Stem wood	VT	$5,572 \cdot 10^{-4} \pm 2,766 \cdot 10^{-4}$	$1,822 \pm 0,549$	0,499	0,007	0,070	0,007
	MT	$-4,193 \cdot 10^{-4} \pm 4,332 \cdot 10^{-4}$	$3,625 \pm 0,789$	0,778	0,003	0,370	0,003
Oksapuu Branch wood	VT	$1,249 \cdot 10^{-3} \pm 3,735 \cdot 10^{-4}$	$2,358 \pm 0,743$	0,478	0,009	0,07	0,009
	MT	$7,024 \cdot 10^{-4} \pm 5,812 \cdot 10^{-4}$	$2,773 \pm 1,059$	0,533	0,039	0,272	0,039

<sup>1)</sup> Puolukkatyyppi — *Vaccinium* type  
Mustikkatyyppi — *Myrtillus* type





Kuva 14. Puuston tiheyden sekä oksien ja rungon kokonaismassojen väliset suhteet (A,B) puolukkatyyppin ja (C,D) mustikkatyyppin aineistoissa.  
 Fig. 14. Relationship between stand density and total stem and branch biomass in stands (A,B) of *Vaccinium* and (C,D) *Myrtillus* type.

rametrit voidaan yleistää koskemaan myös kunkin metsikön keskipuuta. Metsikkötason tarkastelua varten laskettiin kuitenkin ensin yhtälön (5.12) mukainen riippuvuus, jossa puiden oksatiheys esitetään niiden poikki-leikkauspinta-alan funktiona

$$(6.3) \quad \rho_{Bji} = \frac{N_{ji}}{\Pi b_i^2 D_{ji}^2} = \frac{1}{b_j^2} \frac{N_{ji}}{BA_{ji}}$$

missä  $BA_{ji}$  tarkoittaa  $i$ :nen puun pohjapinta-alaa metsikössä  $j$ . Kirjoitetaan yhtälö (6.3)

termi  $N_{ji}/BA_{ji}$  edelleen puun pohjapinta-alan funktiona eli

$$(6.4) \quad \frac{N_{ji}}{BA_{ji}} = C_{1j} BA_{ji}^{k_{1j}}$$

jolloin oksatiheys ( $\rho_{Bj}$ ) voidaan kirjoittaa muotoon

$$(6.5) \quad \rho_{Bj} = \frac{1}{b_j^2} C_{1j} BA_{ji}^{k_{1j}}$$

Koska yhtälö (6.5) on voimassa mille tahansa edustamansa populaation puulle, on se voimassa myös ko. populaation keskipuulle. Merkitään  $\overline{\rho_{Bj}}$  keskipuun oksatiheyttä sekä  $\overline{BA_j}$  keskipuun pohjapinta-alaa. Täten

$$(6.6) \quad \overline{\rho_{Bj}} = \frac{1}{b_j^2} C_{1j} \overline{BA_j}^{k_{1j}}$$

Keskipuun pohjapinta-alan käänteisarvo voidaan edelleen esittää puuston tiheyden lineaarisena funktiona seuraavasti (Shinozaki & Kira 1961)

$$(6.7) \quad \frac{1}{\overline{BA_j}} = A' \rho_j + B'$$

jolloin (6.6) voidaan kirjoittaa muotoon

$$(6.8) \quad \overline{\rho_{Bj}} = \frac{1}{b_j^2} C_{1j} (A' \rho_j + B')^{-k_{1j}}$$

Yhtälöitä (5.12) ja (5.14) sekä yhtälöitä (6.5) . . . (6.8) hyväksi käyttäen voidaan metsikön oksamassa ja runkomassa kirjoittaa nyt muodossa

$$(6.9) \quad Y_{TB} = \rho \overline{Y_B} = \rho C_{Bj} \rho_B^{k_{Bj}} = C_{1j}^{k_{Bj}} C_{Bj} \rho (A' \rho + B')^{-k_{Bj} k_{1j}}$$

$$(6.10) \quad Y_{ST} = \rho \overline{Y_B} = \rho C_{Sj} \rho_B^{k_{Sj}} = C_{1j}^{k_{Sj}} C_{Sj} \rho (A' \rho + B')^{-k_{Sj} k_{1j}}$$

Yhtälöihin (6.9) ja (6.10) sisältyvistä parametreista on parametreja  $C_{1j}$ ,  $k_{1j}$ ,  $A'$  ja  $B'$  lukuun ottamatta muut estimoitu aiemmin yksittäisten puiden perusteella. Parametrit  $C_{1j}$  ja  $k_{1j}$  estimoitiiin kuvassa 15 esitetystä aineistosta, jossa oksatiheyden ja puiden pohjapinta-alan suhde on jo teknisistä syistä kiinteä. Parametrien arvot on esitetty taulukossa 7.

Yhtälön (6.7) parametrit estimoitiiin puolestaan kuvassa 16 esitetystä aineistosta. Puolukkatyyppin aineistossa riippuvuus osoittautuu tilastollisestikin merkitseväksi ( $p < 0,001$ ) toisin kuin mustikkatyyppin aineistossa, jossa pisteet hajautuvat säännöttömästi (taulukko 8). Tämän vuoksi oletetaan myöhemmissä laskelmissa yhtälö (6.10) muo-

Taulukko 7. Rungon poikkileikkausta kohti lasketun oksatiheyden ( $N/BA$ ) riippuvuus rungon poikkileikkauspinta-alasta ( $BA$ ) kuvattuna mallilla  $N/BA = CBA^k$ .

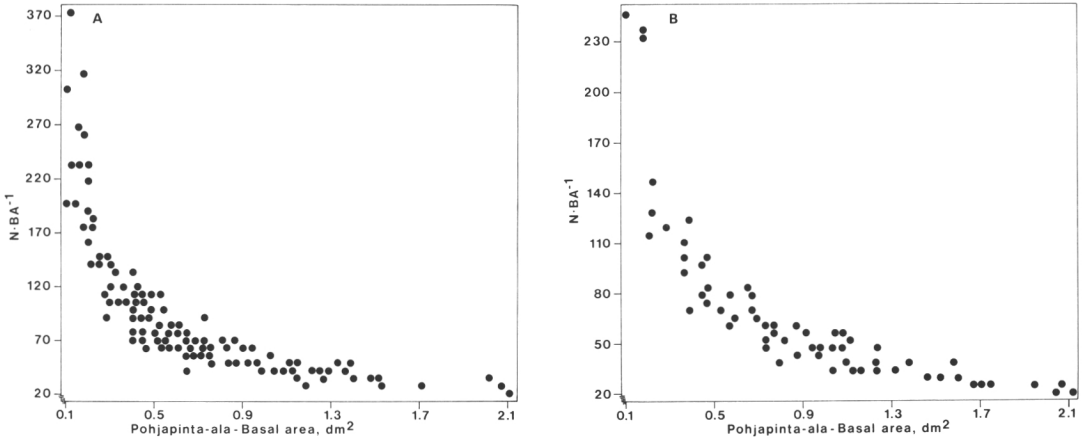
Table 7. Branch number per stem cross-sectional area ( $N/BA$ ) as a function of stem cross-sectional area ( $BA$ ) described with the model  $N/BA = CBA^k$ .

Metsätyyppi Site type	Parametrit—Parameters		$R^2$	Tilastollinen merkitsevyys Statistical significance		
	k	$\ln \frac{C}{lm^{-2}}$		Malli Model	k	C
Puolukkatyyppi <i>Vaccinium</i> type	-0,726±0,020	3,912±0,019	0,912	0,001	0,001	0,001
Mustikkatyyppi <i>Myrtillus</i> type	-0,807±0,027	3,870±0,019	0,929	0,001	0,001	0,001

Taulukko 8. Puiden keskipohjapinta-alan käänteisarvon ( $1/\overline{BA}$ ) riippuvuus puuston tiheydestä ( $\rho$ ) kuvattuna mallilla  $1/\overline{BA} = A' \rho + B'$ .

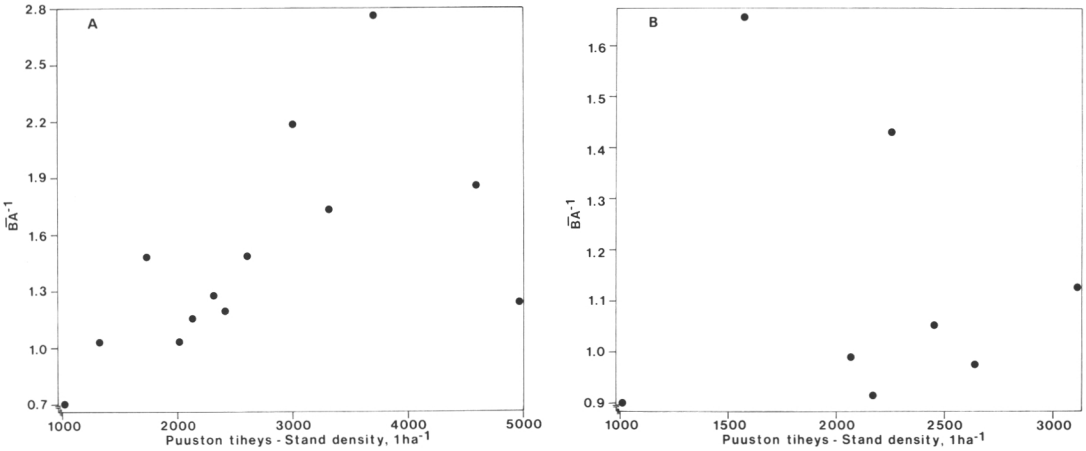
Table 8. Inverse value of the mean basal area of trees ( $1/\overline{BA}$ ) as a function of stand density ( $\rho$ ) applying the model  $1/\overline{BA} = A' \rho + B'$ .

Metsätyyppi Site type	Parametrit — Parameters		$R^2$	Tilastollinen merkitsevyys Statistical significance		
	$A'$ kg	$B'$ kg ha <sup>-1</sup>		Malli Model	$A'$	$B'$
Puolukkatyyppi <i>Vaccinium</i> type	2,561·10 <sup>-6</sup> ±1,168·10 <sup>-6</sup>	0,00852±0,00342	0,304	0,005	0,005	0,03
Mustikkatyyppi <i>Myrtillus</i> type	-3,015·10 <sup>-7</sup> ±1,617·10 <sup>-5</sup>	0,01193±0,00370	0,006	0,85	0,85	0,01



Kuva 15. Oksatiheyden ja puun pohjapinta-alan välinen suhde (A) puolukkatyyppin ja (B) mustikkatyyppin metsiköissä.

Fig. 15. Relationship between branch density and basal area of trees (A) in stands of *Vaccinium* and (B) of *Myrtillus* type.



Kuva 16. Puuston tiheyden ja puiden keskipohjapinta-alan välinen suhde (A) puolukkatyyppin ja (B) mustikkatyyppin metsiköissä.

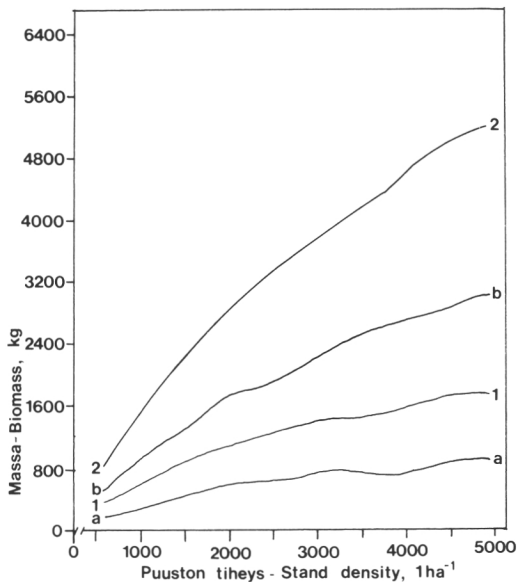
Fig. 16. Relationship between stand density and mean basal area of trees in stands of (A) *Vaccinium* and (B) *Myrtillus* type.

doltaan samanlaisiksi molemmilla metsätyypeillä, jolloin parametri A':lle annetaan kokonaisaineistosta saatava arvo  $2,469 \cdot 10^{-6}$  (kg). Parametri B':lle annetaan puolestaan taulukossa 8 esitetyt arvot: puolukkatyyppille arvo  $0,00852 \text{ (m}^2 \text{ ha}^{-1}\text{)}$  ja mustikkatyyppille arvo  $0,01193 \text{ (m}^2 \text{ ha}^{-1}\text{)}$ , sillä ko. parametri on tasoparametri ja täten ilmaisee epämääräisestäkin hajautuvassa aineistossa riippuvuuden perustason.

Kun yhtälöihin (6.9) ja (6.10) sijoitetaan tarvittavat parametrit, saadaan puuston ti-

heyden sekä puiden kokonaisrunkomassan ja kokonaisoksamassan välille kuvassa 17 esitettävät riippuvuudet. Nämä vastaavat ominaisuuksiltaan (muoto) odotuksia mutta taso jää empiirisiä mittauksia pienemmäksi. Yhtälöiden (6.9) ja (6.10) oletetaan kuvaavan kuitenkin riittävän tarkasti ko. suhteita siten, että malli sisältää sekä puuyksilöitä että metsikköä kuvaavaa tietoa.

Yhtälöiden (6.9) ja (6.10) mukaan puuyksilöiden ominaisuudet vaikuttavat metsikön massasuhteisiin parametrien  $C_{1j}$ ,  $C_{Bi}$ ,  $C_{Si}$ ,



Kuva 17. Puuston tiheyden sekä puuston kokonaisrunkomassan väliset suhteet laskettuna yhtälöillä (6.9) ja (6.10). Merkkien selitys: 1 = oksamassa mustikkatyypin kasvupaikalla, 2 = runkomassa mustikkatyypin kasvupaikalla, a: oksamassa puolukkatyyppin kasvupaikalla, b: runkomassa puolukkatyyppin kasvupaikalla.

Fig. 17. Relationship between stand density and the total stem and branch biomass as estimated with the help of Eqs. (6.9) and (6.10). Explanation: 1 = branch biomass on Myrtillus site, 2 = stem biomass on Myrtillus site, a: branch biomass on Vaccinium site, b: stem biomass on Vaccinium site.

$k_{1j}$ ,  $k_{Bj}$  ja  $k_{Sj}$  kautta sekä metsikön ominaisuudet puuston tiheyden ja parametrien  $A'$  ja  $B'$  kautta. Täten yhtälöiden (6.9) ja (6.10) avulla voidaan edelleen kirjoittaa yksittäisten puiden runkomassa ja oksamassa puun läpimitan ja metsikön tiheyden funktiona yhtälöiden (2.3) ja (2.4) mukaisesti kirjoittamalla parametrit  $C_{Bj}$  ja  $C_{Sj}$  yksilömassojen ja oksatiheyden avulla sekä metsiköiden vastaavat kokonaismassat yhtälön (6.1) avulla. Koska oksatiheys on puun rinnankorkeusläpimitan funktio (kuva 18, taulukko 9) saadaan  $j$ :nen metsikön  $i$ :n puun runkomassa ja oksamassa yhtälöistä (6.11) ja (6.12) seuraavasti

$$(6.11) \quad Y_{Sji} = \frac{C_{1j}^{-k_{Sj}} C_{Dj}^{k_{Sj}} D_{ji}^{k_{Sj}k_{Dj}} (A'\rho_j + B')^{k_{1j}k_{Sj}}}{A\rho + B} = \frac{C_{10} D_{ji}^{k_{10}} (A'\rho + B')^{k_{11}}}{A\rho + B}$$

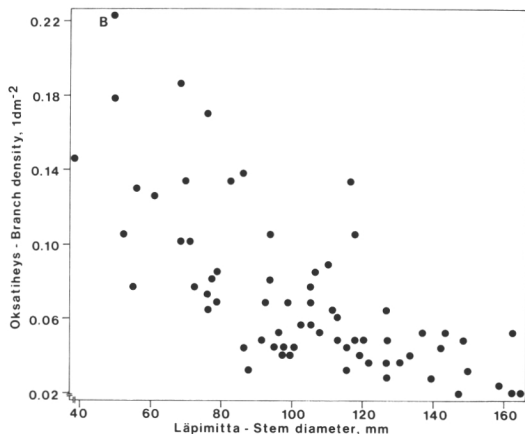
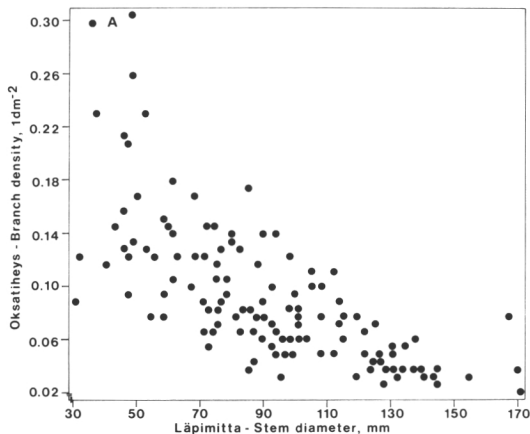
$$(6.12) \quad Y_{Bji} = \frac{C_{1j}^{-k_{Bj}} C_{Dj}^{k_{Bj}} D_{ji}^{k_{Bj}k_{Dj}} (A'\rho_j + B')^{k_{1j}k_{Bj}}}{A\rho + B} = \frac{C_{11} D_{ji}^{k_{12}} (A'\rho + B')^{k_{13}}}{A\rho + B}$$

missä parametrit  $C_{Dj}$  ja  $k_{Dj}$  tarkoittavat oksatiheyden riippuvuutta puun läpimitasta sekä parametrit

$$C_{10} = C_{1j}^{-k_{Sj}} C_{Dj}^{k_{Sj}}, \quad C_{11} = C_{1j}^{-k_{Bj}} C_{Dj}^{k_{Bj}}, \quad k_{10} = k_{Sj}k_{Dj}, \quad k_{11} = k_{1j}k_{Sj},$$

$$k_{12} = k_{Bj}k_{Dj} \quad \text{ja} \quad k_{13} = k_{1j}k_{Bj}.$$

Yhtälöiden (6.11) ja (6.12) mukaan puiden runko- ja oksamassa ovat suoraan verrannollisia ko. puun läpimitaan ja puuston pohja-

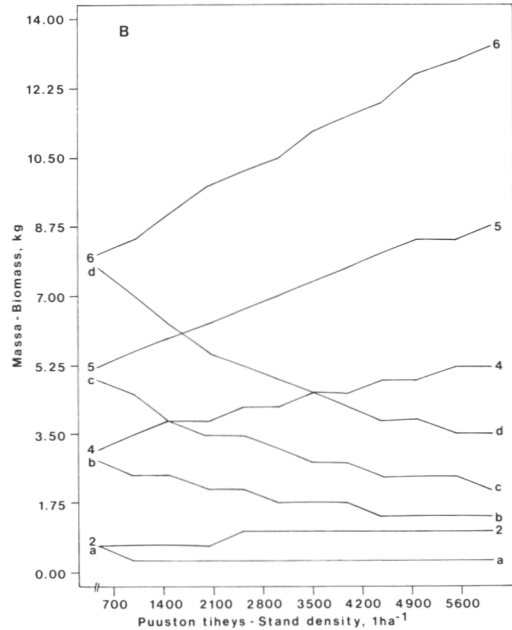
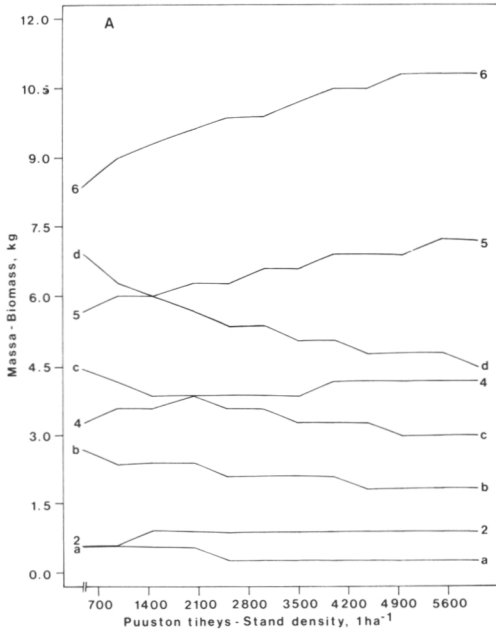


Kuva 18. Oksatiheys rinnankorkeusläpimitan funktiona (A) puolukkatyyppin ja (B) mustikkatyypin metsiköissä.

Fig. 18. Branch density as a function of stem diameter in stands of (A) Vaccinium and (B) Myrtillus type.

Taulukko 9. Oksatiheyden ( $\rho_B$ ) riippuvuus puun rinnankorkeusläpimitasta ( $D$ ) kuvattuna mallilla  $\rho_B = C_D D_S^{k_D}$ .  
 Table 9. Branch density ( $\rho_B$ ) as a function of stem diameter ( $D$ ) applying the model  $\rho_B = C_D D_S^{k_D}$ .

Metsätyyppi Site type	Parametrit — Parameters		R <sup>2</sup>	Tilastollinen merkitsevyys Statistical significance		
	$k_D$	$\ln C_D$		Malli Model	k	c
Puolukkatyyppi <i>Vaccinium</i> type	$-1,184 \cdot 10^{-3} \pm 1,049 \cdot 10^{-4}$	$0,201 \pm 9,909 \cdot 10^{-3}$	0,500	0,001	0,001	0,001
Mustikkatyyppi <i>Myrtillus</i> type	$-9,884 \cdot 10^{-4} \pm 1,188 \cdot 10^{-4}$	$0,174 \pm 0,129$	0,508	0,001	0,001	0,001



Kuva 19. Puiden runkomassan (numerot, jotka samalla ilmaisevat läpimittaluokan) ja oksamassan (aakkoset, jolloin aakkoset samalla ilmaisevat vastaavan läpimittaluokan: a = 2cm, b = 4cm, c = 5cm ja d = 6cm) riippuvuus puiden läpimitasta ja puuston tiheydestä (A) puolukkatyyppin ja (B) mustikkatyyppin metsiköissä.  
 Fig. 19. Stem (numbers) and branch (alphabets) biomass as a function of stem diameter and stand density (A) on *Vaccinium* site and (B) on *Myrtillus* site. Numbers indicates the respective stem diameter. The alphabets are corresponding to the stem diameter: a = 2cm, b = 4cm, c = 5cm and d = 6cm.

pinta-alan käänteisarvoon sekä kääntäen verrannollinen metsikön kokonaisrunkomassan tai kokonaisoksamassan käänteisarvoon.

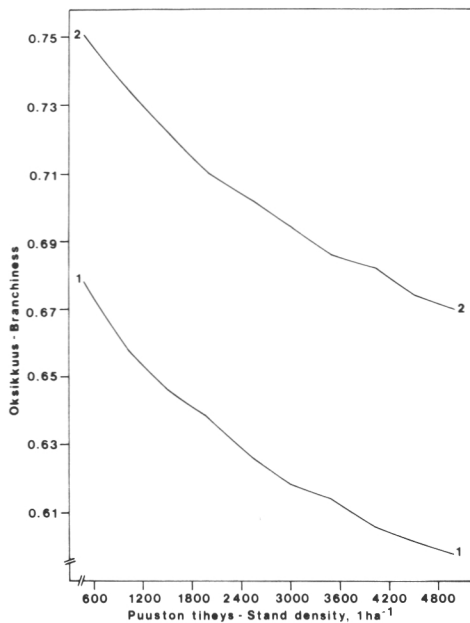
Yhtälöiden (6.11) ja (6.12) käyttäytymistä on havainnollistettu kuvassa 19, jossa esitetään puiden runko- ja oksamassat puuston tiheyden ja puiden läpimitan funktiona. Havaitaan, että tietyn paksuinen puu on harvassa metsässä massaltaan pienempi kuin tiheässä metsässä, sillä tiheässä metsässä ko. puu on aina vanhempi ja pidempi kuin harvassa metsässä. Näin on erityisesti oksamassan suhteen, mikä osoittaa metsikön tiheyden vähentävän odotusten mukaisesti oksamassan kertymistä puihin.

### 63. Puuston tiheys, läpimittajakauma ja oksikkuus

Puuston oksikkuus voidaan kirjoittaa yhtälöiden (6.9) ja (6.10) avulla muodossa

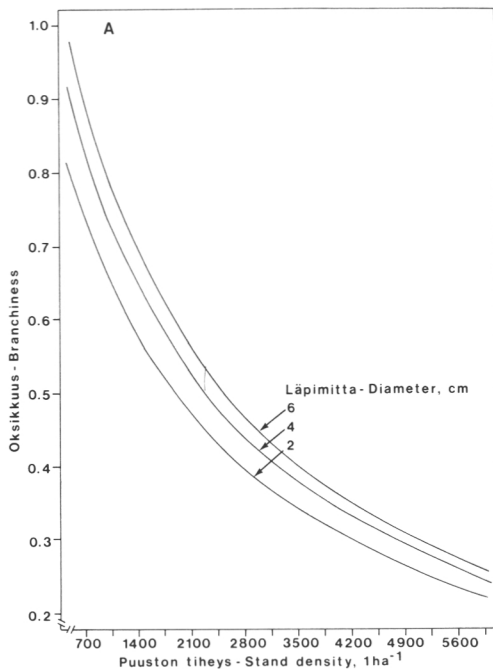
$$(6.13) \quad B_T = \frac{Y_{TB}}{Y_{ST}} = \frac{C_{Bj}}{C_{Sj}} (A' \rho + B')^{-k_{Bj} k_{1j} + k_{Sj} k_{1j}}$$

Tarvittavien parametrien sijoittaminen yhtälöön (6.13) tuottaa kuvan 20, joka kuvaa oksikkuutta (oksamassan ja runkomassan suhdetta) metsikön tasolla. Havaitaan, että puuston kokonaisoksisuus vähenee odotusten mukaisesti sekä puolukkatyyppin että mustikkatyyppin kasvupaikoilla, kun puuston



Kuva 20. Yhtälöllä (6.13) laskettujen oksikkuusarvojen ja puuston tiheyden välinen suhde. Merkkien selitys: 1 = puolukkatyyppi, 2 = mustikkatyyppi.

Fig. 20. Relationship between estimated (Eq. 6.13) and values of branchiness of trees and stand density. Explanation: 1 = *Vaccinium* type, 2 = *Myrtillus* type.



tiheys kasvaa. Erityisesti puolukkatyyppin kasvupaikalla puuston tiheyden vaikutus oksikkuuteen on voimakas. Puuston oksikkuus on mustikkatyyppin metsiköissä 10...12 % suurempi kuin puolukkatyyppin metsiköissä.

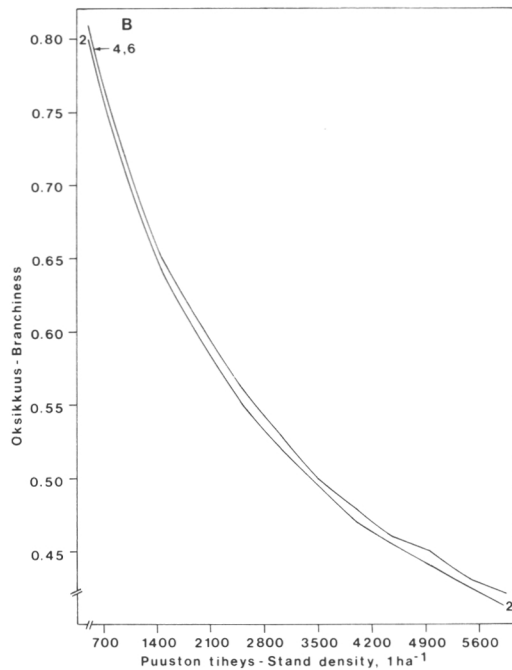
Yhtälön (6.13) avulla ei voida vielä päätellä yksittäisten puiden oksikkuutta lukuun ottamatta keskipuun oksikkuutta. Tämä voidaan kuitenkin laskea yhtälöiden (6.11) ja (6.12) suhteella seuraavasti

$$(6.14) \quad B_{ji} = \frac{Y_{Bji}}{Y_{Sji}} = \frac{C_{11}}{C_{10}} \cdot \frac{D_{ji}^{k_{12}}}{D_{ji}^{k_{10}}} (A'\rho+B')^{k_{13}-k_{11}} = C_{12} D_{ji}^{k_{14}} (A'\rho+B')^{k_{15}}$$

missä  $C_{12}=C_{11}/C_{10}$ ,  $k_{14}=k_{12}-k_{10}$  ja  $k_{15}=k_{13}-k_{11}$ .

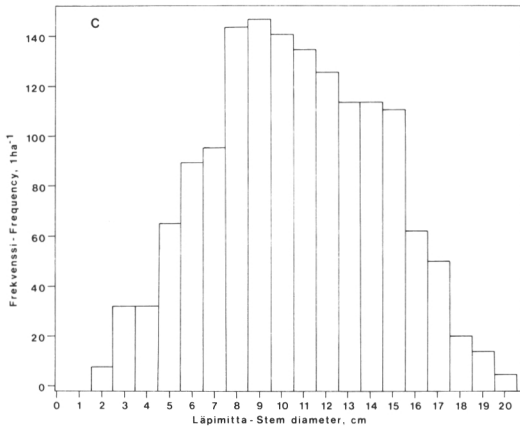
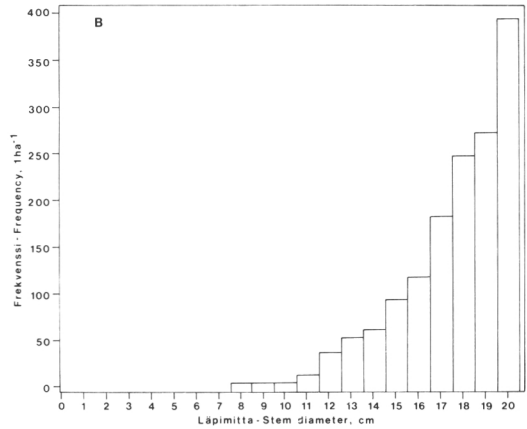
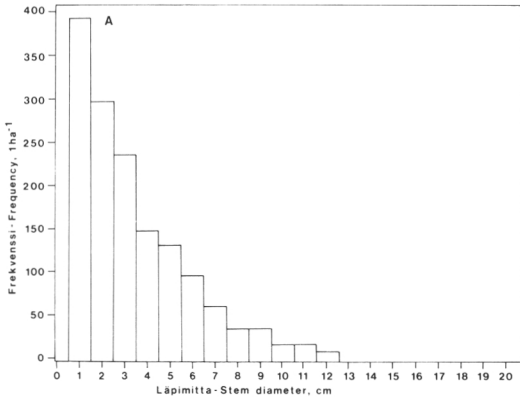
Yhtälö (6.14) ilmaisee yksittäisen puun oksikkuuden nyt yhtälön (2.5) mukaisena suhteena puuston tiheyden funktiona siten, että puun oksikkuus on suoraan verrannollinen puun läpimittaan ja puuston tiheyden käänteisarvoon.

Parametrien sijoittaminen yhtälöön (6.14) tuottaa kuvan 21 joka osoittaa odotusten mukaisesti tiettyä läpimittaa vastaavan oksikkuuden olevan sitä suurempi mitä har-



Kuva 21. Puiden oksikkuus läpimitan ja puuston tiheyden funktiona (A) mustikkatyyppin ja (B) puolukkatyyppin metsiköissä. Numerot tarkoittavat vastaavaa läpimittaluokkaa.

Fig. 21. Branchiness of trees as a function of stem diameter and stand density in stands of (A) *Myrtillus* and (B) *Vaccinium* type. The numbers indicate the tree diameter.



Kuva 22. Laskelmissa käytetyt läpimittajakaumat puuston tiheydelle 1500 ha<sup>-1</sup>. Jakauman parametrit ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) (A): (1,0, 6,0), (B): (6,0, 1,0), (C): (3,0, 3,0).

Fig 22. Model distributions of stem diameter applied in calculations for the stand density of 1500 ha<sup>-1</sup>. The values of the parameters ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) (A): (1,0, 6,0), (B): (6,0, 1,0), (C): (3,0, 3,0).

vemmasta puustosta on kysymys. Havaitaan myös, että tietyllä puuston tiheysarvolla pienempi puu on aina vähäoksisempi kuin suuri puu. Erityisesti mustikkatyyppin harvoissa puustoissa tämä ilmiö on selvä. Puolukkatyyppin metsiköissä ei puun koon vaikutus oksikkuuteen sen sijaan ole yhtä selvä. Puuston tiheydessä oksikkuus vähenee likipitäen samalla tavalla molemmilla kasvupaikoilla, jos kohta oksikkuus on mustikkatyyppin kasvupaikalla aina suurempi kuin puolukkatyyppin kasvupaikalla.

#### 64. Puuston kokojakauma, tiheys ja oksikkuus

Edellä esitetyt tulokset osoittavat, että puuston oksikkuus riippuu sekä puuston tiheydestä että puuston läpimittajakaumasta. Itse asiassa oksikkuus on vain puun tasolla yksikäsitteinen käsite, jonka yleistäminen sellaisenaan metsikkötasolle on jossain määrin keinotekoisia. Niinpä puuston oksikkuus on mieluummin nähtävä kysymyksenä,

jossa tutkitaan runkomassan ja oksamassan kertymäsuhteita sekä niiden riippuvuutta puuston tiheydestä ja puuston läpimittajakaumasta.

Kirjoitetaan puuston runkomassa ja oksamassa tarkastelua varten muodossa

$$(6.15) \quad Y_{Sj} = \rho \bar{Y}_{Sj} = \sum_{i=1}^n f_i Y_{Sij}$$

$$(6.16) \quad Y_{Bj} = \rho \bar{Y}_{Bj} = \sum_{i=1}^n f_i Y_{Bij}$$

missä  $f_i$  tarkoittaa  $i$ :nen läpimittaluokan frekvenssiä ja  $n$  puiden lukumäärää.

Seuraavassa on läpimittajakauman ja puuston tiheyden vaikutusta puiden runkopuun ja oksapuun kertymään sekä oksikkuuteen havainnollistettu laskemalla nämä tunnuksat puuston tiheyksille 1500, 2500 ja 3500 ha<sup>-1</sup> siten, että puiden läpimittajakaumat vaihtelevat kuvassa 22 esitetyllä tavalla. Näistä ensimmäinen jakauma on oikealle vino siten, että pienten puiden lukumäärä on suuri suhteessa suuriin puihin. Tämän vastapainona on vasemmalle vino jakauma, jossa suuria puita on puolestaan paljon suhteessa pieniin puihin. Kolmas jakauma edustaa edellisten kahden väliin sattuvaa, likimain normaalijakaumaa. Kaikkia näitä jakaumia voidaan kuvata  $\beta$ -jakaumalla

$$(6.17) \quad f(D) = g(D - D_a) e^{\alpha} (D_y - D)^{\beta}$$

missä  $\alpha$ ,  $\beta$  ja  $g$  ovat parametreja, sekä  $D_a$

Taulukko 10. Runkopuun, oksapuun ja oksikkuuden riippuvuus puuston läpimittajakaumasta ja puuston tiheydestä.

Table 10. Amount of stem and branch biomass and branchiness as a function of stem diameter distribution and stand density.

β-jakauman parametrit Parameters		Runkomassa (Y <sub>S</sub> ) Stem biomass	Oksamassa (Y <sub>B</sub> ) Branch biomass	Kokonaismassa (Y <sub>T</sub> ) Total biomass	Y <sub>B</sub> /Y <sub>S</sub>	Y <sub>B</sub> /Y <sub>T</sub> %	Selityksiä Explanations
α	β	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha			
Puuston tiheys, 1500 ha <sup>-1</sup> — Stand density							
1,0	6,0	4,2	1,1	5,3	0,26	21,5	Oikealle vino 1)
6,0	6,0	102,1	39,1	141,2	0,38	27,7	Vasemmalle vino 2)
3,0	3,0	37,4	12,8	50,3	0,34	25,5	Normaalijakauma 3)
Puuston tiheys, 2500 ha <sup>-1</sup> — Stand density							
1,0	6,0	7,1	1,9	9,0	0,26	21,5	Oikealle vino 1)
6,0	1,0	171,2	65,8	237,0	0,38	27,7	Vasemmalle vino 2)
3,0	3,0	63,1	21,6	84,7	0,34	25,5	Normaalijakauma 3)
Puuston tiheys, 3500 ha <sup>-1</sup> — Stand density							
1,0	6,0	10,2	2,8	13,0	0,26	21,6	Oikealle vino 1)
6,0	1,0	240,0	92,1	332,1	0,38	27,7	Vasemmalle vino 2)
3,0	3,0	86,8	29,7	116,5	0,34	25,5	Normaalijakauma 3)

1= skewed to the right, 2= skewed to the left, 3= normal distribution

läpimittajakauman alaraja ja D<sub>y</sub> läpimittajakauman yläraja. Kunkin jakauman parametrien arvot on esitetty taulukossa 10, jossa esitetään myös runko- ja oksapuun määrät sekä oksikkuus kullekin läpimittajakaumalle puuston eri tiheysarvoilla.

Taulukossa 10 esitetyistä tuloksista havaitaan, että oikealle vino jakauma tuottaa vähän runko- ja oksapuuta sekä antaa suhteellisesti oksattomampaa puuta kuin vasemmalle vino jakauma. Tällöin massan kertymä on suurta, mutta puut oksaisia. Normaalijakauma antaa puolestaan suhteellisen suuria massa-arvoja, mutta oksikkuus on vähäisempää kuin vasemmalle vinossa jakaumassa. Oikealle vino jakauma antoi kokonaisoksi-kuudeksi 0,26 ja vasemmalle vino jakauma 0,38. Täten vasemmalle vino jakauma antoi lähes 50 %:a suuremman oksikkuuden kuin oikealle vino jakauma. Jakauman vaikutus oksikkuuteen on kuitenkin varsin pieni verrattuna tuotoseroihin, jotka olivat esimerkiksi oikealle vinon ja vasemmalle vinon jakauman tapauksissa puuston tiheydellä 1500 ha<sup>-1</sup> suuruudeltaan 136 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. Tämä tarkoittaa sitä, että mahdollisimman vähäoksaisten puiden tuottaminen on mahdollista vain tinkimällä runkopuun kokonaistuotoksesta.

Kuvatut tulokset osoittavat, että läpimittajakauma vaikuttaa keskeisesti metsikön puuston oksikkuuteen. Täten on oletettavasti löydettävissä sellainen puuston jakau-

ma, joka antaa runsaasti vähäoksaista puuta. Tämä voidaan ilmaista siten, että läpimittajakauman tulisi maksimoida runkopuun massa oksamassayksikköä kohti eli

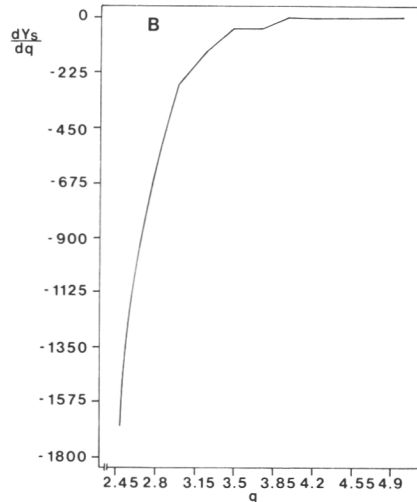
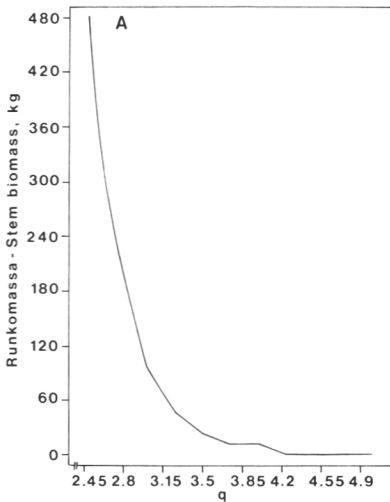
$$(6.18) \quad Q_j = \sum_i f_{ij} = \max, \text{ missä } q_{ij} = \frac{Y_{Sij}}{Y_{Bij}}$$

Pelkästään määritelmällisistä syistä johdetaan, että yhtälö (6.18) maksimoituu, kun kaikki puut kuuluvat sellaiseen läpimittaluokkaan, jossa q<sub>i</sub> on suurin eli jakauma muodostuu yhdestä pisteestä. Käytännössä tällainen jakauma on harvoin mahdollinen, vaan metsikön puut jakautuvat aina joihinkin jakaumaan (tai useita jakaumia) noudattaen. Tällöin on edellä kuvattua menettelyä noudattaen mahdollista etsiä jakauma, joka maksimoi runkopuun määrän kutakin oksapuun yksikköä kohti. Jos oksien ja rungon kasvu oletetaan vakioiseksi puun asemasta ja tiheydestä riippumatta, johtaa tämä menettely oksikkuuden ja tuotoksen välillä funktioon, jossa runkopuun määrä kasvaa nopeasti puiden oksikkuuden kasvaessa. Tätä suhdetta voidaan kuvata yhtälöllä (6.19)

$$(6.19) \quad Y_S = m \cdot q \cdot p$$

missä q tarkoittaa runkopuun määrää oksien määrää kohti (kg kg<sup>-1</sup>) ja Y<sub>S</sub> runkopuun määrää sekä m ja p parametrejä. Parametri m saa kuvasta 23 esitetystä aineistosta estimoiden arvon Exp 14.085 (kg kg<sup>-1</sup>) ja parametri p arvon -8,634.





Kuva 23. Oksatuotosta kohti tuotetun runkopuun sekä runkopuun kokonaismäärän (A) välinen suhde sekä tämän suhteen (B) derivaatan kulku.  
 Fig. 23. Total stem biomass as a function of stem biomass per branch biomass (A) and the derivate of the same relationship (B).

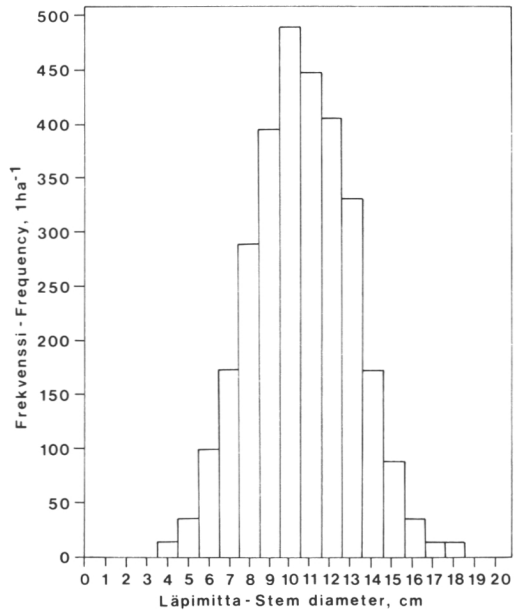
Kun yhtälö (6,19) derivoidaan  $q$ :n suhteen, saadaan yhtälö (6.20)

$$(6.20) \quad \frac{dY_s}{dq} = -8,634 e^{14,085 q} q^{-9,634}$$

Yhtälön (6.20) kulku osoittaa (kuva 23), että  $q$ :n arvoilla, jotka ovat pienempiä kuin 3,0...3,5, vähenee derivaatan arvo enää vain vähän kutakin oksikkuuden muutosta kohti. Täten oksikkuuden arvoa 3,0...3,5 vastavaa puuston jakaumaa voidaan pitää rajana, mitä oikeammalle vinoa jakaumaa ei kannattane soveltaa puiden laadun kohottamiseksi ilman kohtuuttomia tuotostappioita. Tällaisen rajajakauman parametrit  $\beta$ -jakaumalle ovat esimerkiksi  $\alpha=9$  ja  $\beta=9$  ( $q=3,04$ ) (kuva 24). Jakauma on täten likimain normaali, joskin suurien puiden osuus puiden kokonaismäärästä on hieman painottunut. Laatu- ja määrätavoitteista riippuen voi metsänkasvattaja tietenkin valita minkä tahansa jakauman, joka tuottaa arvoltaan arvoa 3,5 pienemmän tuotos/oksa-suhteen ( $q < 3,5$ ) (kuva 24).

### 65. Puuston tiheyden vaikutus oksien määrään sahatavara-aihoissa

Oksapuun määrän sekä oksapuun ja runkopuun määrien suhteen perusteella ei vielä voida täsmällisesti päätellä puuston tiheyden vaikutusta sahatavaran laatuun, jolla seuraa-



Kuva 24. Esimerkki puuston läpimittajakaumasta, joka tuottaa runsaasti vähäoksaista puuainetta.  
 Fig. 24. An example on distributions of stem diameter framing the patterns of the stand structure giving high productivity of quality timber.

vassa tarkoitetaan laatuluokittain (I...V) määriteltyä terveiden oksien sallittua kokoa ja määrää tietyn paksuisessa ja levyisessä sahatavarakappaleessa (Vientisahatavaran ... 1979). Koska analysoitavan aineiston puut eivät vielä täytä sahapuun mittoja, määritel-

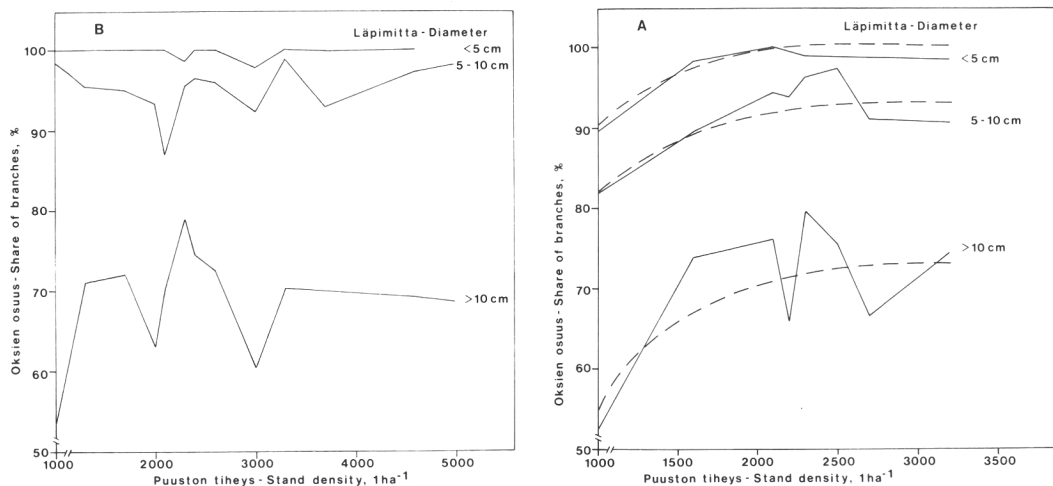
tiin oksikkuus tarkoittamaan oksien (kaikki oksat) sallittua kokoa ja määrää tietyn paksuisessa rungossa. Näin määritelty oksikkuus ei vastaa täsmällisesti sahatavaran laatuluokitusohjeita, vaan ilmaisee pikemminkin sallitun oksien potentiaalista kokonaismäärää tietyn kokoisissa sahatavara-aihoissa.

Sahatavara-aihoissa olevien oksien lukumäärää koskevan laskennan tulokset on esitetty metsätyypeittäin kuvassa 25 siten, että metsätyypeittaiset aineistot jaettiin kolmeen runkojen kokoluokkaan: läpimitta < 5 cm, läpimitta 5...10 cm ja läpimitta > 10 cm. Tulokset on esitetty todennäköisyytenä, joka ilmaisee läpimitaltaan 19 mm pienempien oksien osuuden (%) oksien kokonaismäärästä puiden rungon läpimitan ja puuston tiheyden funktiona. Oksan läpimitta 19 mm on tällöin raja-arvo, joka ilmaisee suurimman sallitun oksan läpimitan minkä tahansa kokoisessa, ensimmäisen laatuluokan sahatavarakappaleessa.

Kuvasta 25 ilmenee, että puolukkatyyppin aineistossa paksuimman oksan läpimitta on aina pienempi kuin 19 mm, kun puiden läpimitti on pienempi kuin 5 cm ja puuston tiheys on suurempi kuin 1800 ha<sup>-1</sup>. Muissa tapauksissa oksien läpimitta on aina suurempi kuin 19 mm. Kaikissa läpimittaluokis-

sa on kuitenkin havaittavissa selvästi, että läpimitaltaan pienten (läpimitta < 19 mm) oksien osuus kasvaa puuston tiheyden kasvaessa. On myös havaittavissa, että pienten oksien osuus ei kasva enää sanottavasti missään läpimittaluokassa, kun puuston tiheys ylittää arvon 1800...2500 runkoa hehtaarilla. Tällainen tarkastelu ei kuitenkaan anna kuvaa oksien keskipaksuudesta eikä siitä miten korkealle kuivaoksaraja on kohonnut. On kuitenkin odotettavissa, että oksien keskipaksuus pienenee edelleen 2500 rungon hehtaartihydestä tiheämpiin metsiköihin siirryttäessä.

Mustikkatyyppin aineistossa oksien paksuus ylitti kaikissa tapauksissa puiden läpimitasta ja puuston tiheydestä riippumatta 19 mm:n ylärajan. Tämä näyttäisi viittaavan siihen, että näissä sahatavara-aihoissa oksien mitat ylittävät aina sahatavaran ensimmäisen laatuluokan enimmäisrajan. Ero on tässä suhteessa varsin selvä verrattuna puolukkatyyppin aineistoon, jossa oksien mitat jäivät ylärajaa pienemmäksi pienimmässä läpimittaluokassa. Puolukkatyyppin kasvupaikalla myös puuston tiheydellä näyttäisi olevan selvä vaikutus oksikkuuteen, mitä mustikkatyyppillä ei ole havaittavissa.



Kuva 25. Läpimitaltaan 19 mm pienempien oksien prosenttiosuus sahatavara-aihoissa (A) puolukkatyyppin ja (B) mustikkatyyppin metsäkoissa puiden läpimitan ja puuston tiheyden funktiona.

Fig. 25. Occurrence of branches with diameter smaller than 19 mm in stand of (A) *Vaccinium* and (B) *Myrtillus* type as a function of stem diameter and stand density.

## 7. TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT

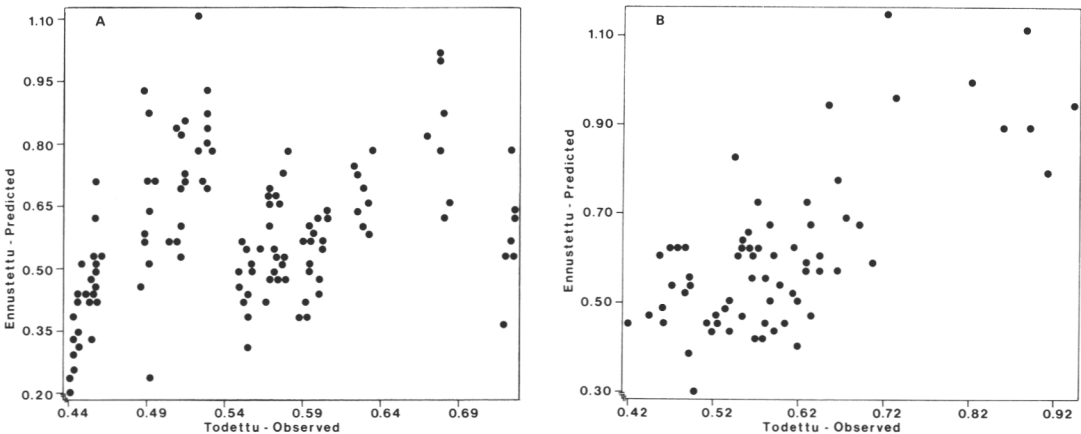
### 71. Tulosten luotettavuus ja yleistettävyys

Tämän tutkimuksen tavoitteeksi asetettiin määrittellä, miten puiden oksikkuus (oksamassan ja runkomassan suhde) riippuu puiden kasvutilasta ja puuston tiheydestä. Ongelmaa on lähestytty yksinkertaisten mallien avulla siten, että mallien tarvitsemat parametrit on estimoitu puolukkatyyppiä ja mustikkatyyppiä edustavista empiirisistä aineistoista. Täten on samalla pyritty saamaan kuva kasvupaikan viljavuuden vaikutuksesta puiden oksikkuuteen.

Mallien antamaa tulosta ja siten tulosten yleistettävyttä koskemaan laajemminkin nuoria puolukkatyyppin ja mustikkatyyppin viljelymänniköitä voidaan tutkia parhaiten vertaamalla mallien antamia arvoja vastaaviin empiirisiin arvoihin, kuten on tehty kuvassa 26. Siitä ilmenee, että mustikkatyyppin aineistossa ennustetun oksikkuuden sopivuus empiirisiin tuloksiin on jokseenkin hyvä. Tosin myös tässä tapauksessa esiintyy runsaasti ennakoimatonta vaihtelua, mutta sen osuus on kuitenkin huomattavasti vähäisempää kuin puolukkatyyppin aineistossa. Ennuste on molemmissa tapauksissa tehty

yhtälöllä (6.13), jossa yksittäisten puiden oksikkuutta ennakoidaan puuston tiheyden ja puun läpimitan avulla. Täten malli sisältää ongelman asettelun mukaisesti sekä puuyksilöä että metsikön rakennetta kuvaavaa tietoa.

Ennusteen ja todettujen oksikkuusarvojen väliseen heikkoon yhteensopivuuteen on useita syitä. Eräs tärkeimmistä lienee se, että kukin metsätyyppi edustaa laajaa hyvyysvaihtelua. Koska laskennassa käytetty taso-parametri C on herkkä kasvupaikan vaihtelulle, aiheuttaa jo pelkästään tämä seikka kontrolloimatonta vaihtelua. Samalla tavalla vaikuttaa myös latvusprojektion määrittäminen pelkästään latvuksen pisimmän oksan avulla. On myös syytä tähdentää puiden oksa- ja runkomassan määrittämismenetelmän merkitystä, sillä menettely antaa keskimäärin ottaen luotettavan tuloksen. Yksittäisissä tapauksissa menetelmä voi kuitenkin jo sinänsä aiheuttaa ennakoimatonta vaihtelua ja epätarkkuutta parametrien estimoinnissa. Myös metsiköiden väliset ikäerot (15...21 a) vaikuttavat tuloksiin, sillä analyysissä käytetyt mallit edellyttävät puustojen samanikäisyyttä. Tällä tekijällä on ilmeisesti myös sikäli suuri vaikutus, että tutkitut metsiköt



Kuva 26. Mallilla (6.13) ennakoitujen ja todettujen oksikkuuden välinen yhteensopivuus. Korrelaatiokerroin (A) puolukkatyyppin aineistossa 0,306 ( $p < 0,01$ ) ja (B) mustikkatyyppin aineistossa 0,709 ( $p < 0,001$ ).

Fig. 26. Predicted branchiness (model 6.13) as a function of observed values. Correlation coefficient for (A) *Vaccinium* type 0,306 ( $p < 0,01$ ) and (B) *Myrtillus* type 0,709 ( $p < 0,001$ ).

edustavat sulkeutuvia puustoja, joissa muutokset ovat nopeita ja siten herkkiä puuston iälle.

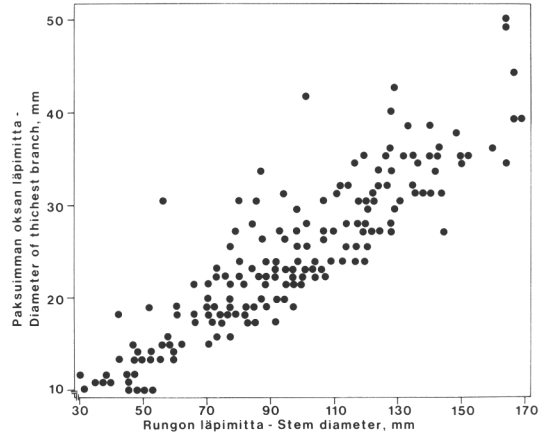
## 72. Oksikkuus ja puiden kasvutila

Tässä työssä puiden oksikkuutta on tarkasteltu suhteessa puiden käytettävissä olevaan kasvutilaan, joka puolestaan määräytyy metsän tiheyden funktiona. Kasvutilan mitana käytettiin puiden oksatiheyttä, joka ilmaisee puun oksien lukumäärän puun latvusprojektiota kohti. Oksamassan ja runkomassan suuruus riippuvat tästä tekijästä negatiivista eksponenttifunktiota noudattaen siten, että oksatiheyden väheneminen tai latvusprojektion kasvaminen lisäsivät nopeasti oksamassan ja runkomassan kertymistä.

Koska molemmat riippuvuudet ovat muodoltaan likipitään samanlaisia, on oksamassan ja runkomassan suhde likimain riippumaton metsikön tiheydestä ja puun asemasta. Malleihin perustuva tarkastelu kuitenkin osoittaa, että oksamassan ja runkomassan välinen lineaarinen regressio on vain likimääräinen, jolloin riippuvuuden vaihtelu kätkee puun kasvutilaan liittyvät muutokset oksamassan ja runkomassan kertymässä. Niinpä oksamassan ja runkomassan suhde pieneni negatiivista eksponenttifunktiota noudattaen puun oksatiheyden tai metsän tiheyden kasvaessa. Tämän seurauksena vallittujen puiden tai tiheässä kasvaneiden puiden oksikkuus oli aina vähäisempää kuin vallitsevien tai harvassa kasvaneiden puiden.

Puuston tiheyden vaikutus oksikkuuteen näyttää liittyvän ennen muuta oksien voimistuvaan kuolemiseen puuston tihentyessä. Tämä vaikutus on joka tapauksessa niin voimakas, että se kätkee mahdolliset kasvusuhteiden muutokset rungon ja latvuksen kesken. Esimerkiksi Satoo (1982) korostaa laajan kirjallisuustutkimuksensa perusteella, että rungon ja oksien kasvusuhteet ovat mäntylajeilla todennäköisesti vakioiset kasvupaikan hyvydestä ja puuston tiheydestä riippumatta. Täten puuston tiheyden lisääminen vähentää samalla tavalla sekä oksien että rungon kasvua, jolloin oksikkuus määriteltynä oksa- ja runkomassan kertymien suhteena on vakio ennen oksien kuoleamista.

Oksikkuuden vakioisuuteen ennen oksien kuoleamisen alkamista viittaa kuvan 27 tulokset, jotka esittävät rungon läpimitan ja



Kuva 27. Latvuksen paksuimman oksan läpimitan riippuvuus rungon läpimitasta koko aineistossa.  
Fig. 27. Diameter of the thickest branch in a crown as a function of stem diameter.

latvuksen paksuimman oksan välistä regressiota. Tämä on likimain suora, joskin lievästi oksan läpimitan voimistumista on havaittavissa suurimmilla rungon läpimitoilla. Kuvaa 27 voidaan tulkita myös siten, että runkoa nopeasti järeyttävät olosuhteet (suuri kasvutila, hyvä kasvupaikka tai molemmat yhdessä) järeyttävät myös nopeasti oksia. Täten näyttää varsin perustellulta olettaa, että pelkästään metsäntuotannon määrätavoitteita korostamalla ei voida saavuttaa kaikkia puuston laadulle asetettavia tavoitteita.

## 73. Oksikkuus ja puuston rakenne

Oksikkuuden kytkeytyminen oksien kuolemiseen korostaa metsikön tiheyden lisäksi puiden kokojakaamaa puuston oksikkuuteen vaikuttavana tekijänä. Tällöin samassa metsikössä vallitut puut näyttävät olevan aina vähäoksaisempia kuin vallitsevat puut siten, että oksikkuus oli puiden läpimitan lineaarinen funktio. Niinpä puuston tiheydestä riippumatta oikealle vino kokojakaama näyttää antavan vähäoksaisempaa puuta kuin vasemmalle vino jakaama.

Oikealle voimakkaasti vino läpimittaja-kauma ilmaisee puiden eri-ikäisyyttä, sillä samanikäisten puiden kesken ei koonmukainen eriytyminen voi edetä kovin pitkälle ilman puiden kuoleamista. Niinpä taulukossa 10 esitetty oikealle vino tapaus ilmentää

myös eri-ikäisrakenteen mahdollisia vaikutuksia puiden oksikkuuteen. Tällainen rakenne näyttäisi parantavan laatua mutta vain tinkimällä huomattavasti metsänkasvatuksen määrätavoitteista.

Paitsi vähäoksaista tulisi korkealaatuisten sahatukkien olla kuitenkin myös järeitä. Tämän vuoksi laatuksivatoksen kannalta näyttää tavoiteltavalta puusto, jota kuvaa likimain normaalisti jakautunut läpimittarakenne. Tällainen rakenne näyttää tuottavan suhteellisen vähäoksaista sahatukkeja, jotka samalla voivat kasvaa riittävän järeiksi. Tämä tulos on toistaiseksi alustava, mutta se vastaa hyvin Vuokilan (1980) esittämiä näkökohtia puiden latvusaseman yhteydestä puiden oksikkuuteen ja runkojen laatuun.

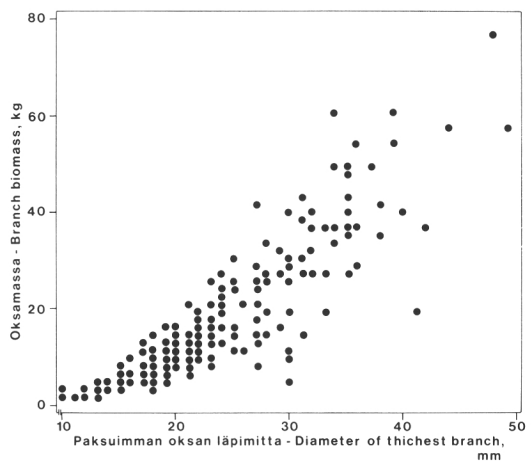
#### 74. Tulosten tulkinta suhteessa aiempiin tutkimuksiin

Tässä tutkimuksessa käytetty ote on vieras perinteiselle laatuututkimukselle, jossa pyritään määrittämään oksikkuutta ja sen merkitystä sahatukkien laadun kannalta. Niinpä oksamassan ja runkomassan suhteen käyttäminen laadun tunnuksena kuuluu pikemminkin kasvu- ja tutostutkimuksen piiriin kuin varsinaiseen puun laadun tutkimukseen. Nyt saadut tulokset voidaan kuitenkin helposti tulkita myös laatuututkimuksen näkökulmasta, sillä esimerkiksi puiden latvusten paksuimman oksan ja oksamassan välillä vallitsee kiinteä lineaarinen korrelaatio (kuva 28). Paksuin oksa puolestaan indikoi luotettavasti sekä sahatukkien että sahatavaran laatua (Kärkkäinen 1980, Uusvaara 1985).

Myös tämä tutkimus osoittaa eräiden aiempien tutkimusten (esim. Uusvaara 1974, Varmola 1980, Kellomäki & Tuimala 1981) tavoin, että puuston tihentäminen vähentää puiden oksikkuutta ja tietyn dimensioisten oksien määrää sahatavarassa. Toisaalta on havaittavissa, että oksien ja rungon kasvun kiinteästä yhteydestä seuraa, että sahatukkeihin muodostuu puiden nuoruusvaiheessa runsaasti paksujakin oksia puuston tiheydestä riippumatta. Harvassa kasvavissa metsiköissä paksuja oksia tavataan kuitenkin lähes kaikissa rungoissa, kun taas tiheissä metsiköissä paksuoksaisuus on ensimmäisen latvuserroksen heikoimmissa rungoissa tavattava ilmiö. Tämän vuoksi puuston kasvataminen nuoruusvaiheessa niin tiheänä, että

oksat kuolevat nopeasti tyvitukin alueelta voi parantaa ratkaisevasti runkojen laatua. Tämän tutkimuksen tulokset korostavatkin selvästi oksien nopean kuoleamisen ja karsiuutumisen merkitystä laatuksivatuksessa (Kellomäki 1984). Tässä tutkimuksessa ei näihin kysymyksiin ole kuitenkaan voitu paneutua.

Tässä tutkimuksessa puiden oksikkuuden on korostettu pienenevän enää vähän, kun puuston tiheys ylittää 2 000...2 500 runkoa hehtaarilla. Tulos on täten erilainen kuin esimerkiksi Lähteen (1984) sekä Huurin ja Lähteen (1985). He ovat korostaneet, että puuston tiheyden tulee olla 10 000 runkoa hehtaarilla ennen kuin oksikkuus vähenee hyväksyttävälle tasolle. Ero tämän työn sekä Huurin ja Lähteen työn välillä on kuitenkin vain näennäinen, sillä myös tämä työ osoittaa, että puiden oksat jäävät sitä ohuemmiksi mitä tiheimmästä puustosta on kysymys. Puuston tiheyden kuitenkin kasvaessa suuremmaksi kuin 2 000...2 500 runkoa hehtaarilla on tiheyden lisäämisestä (tiheyden muutoksesta) saatava hyöty (oksikkuuden väheneminen) kuitenkin enää vähäinen (oksikkuus vähenee jokaista puuston tiheysyksikköä kohti vain vähän). Toisin sanoen pääosa puuston tiheyden lisäyksestä saatavasta hyödystä saadaan jo, kun puuston tiheys kohoaa arvoon 2 500 runkoa hehtaarilla. Tulos vastaa Heikinheimon (1953) havaintoja. Ne osoittavat, että männyn kasvataminen nuoruusvaiheessaan tiheydessä 3 000...4 000 runkoa hehtaarilla tuottaa riittävän oksatonta puuainetta.



Kuva 28. Latvuksen paksuin oksa oksamassan funktiona. Korrelaatiokerroin on 0,876 ( $p < 0,001$ ).

Fig. 28. The thickest branch as a function of branch biomass. Correlation coefficient is 0,876 ( $p < 0,001$ ).

## 8. YHDISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa on pohdittu nuorten mäntyjen kasvutilan ja metsikön kasvatustiheyden vaikutusta puiden ja puuston oksikkuuteen mustikkatyypin ja puolukkatyypin kasvupaikoilla teoreettisten mallien ja empiirisen aineiston perusteella. Tutkimus antoi seuraavia tuloksia.

1. Puiden geometrisesta rakenteesta johtuu, että puiden latvuksen säde on kääntäen verrannollinen puuston tiheyden neliöön. Tämän seurauksena puiden kasvutila (latvusprojektiio) puoliintuu jokaista puuston tiheyden kaksinkertaistumista kohti.

2. Massan kertyminen puihin on verrannollinen puiden kasvutilan potenssiin  $3/2$ , joten puihin kertyvä massa on verrannollinen puuston tiheyden potenssiin  $-3/2$ . Tämän seurauksena puiden keskimassa vähenee puuston tiheyden kasvaessa.

3. Voidaan olettaa *a priori*, että puiden massan kertyminen on verrannollinen puiden oksien lukumäärään latvusprojektiota kohti (oksatiheys), jolloin oksatiheys on oksamassan suuruutta säätelevä takaisinkytkentämekanismi.

4. Puiden oksamassa ja runkomassa kasvoivat samassa suhteessa puuston tiheydestä riippumatta, jolloin puiden oksien kuoleminen ja karsiutuminen säätelivät puiden oksikkuutta (oksamassa/runkomassa). Oksien kuoleminen oli sitä suu-

rempaa mitä tiheämmästä puustosta oli kysymys, joten puiden oksikkuus väheni puuston tihentyessä.

5. Metsikön vallitsevat puut olivat puuston tiheydestä riippumatta aina oksikkaampia kuin valitut puut, joten puuston läpimittajakauma vaikuttaa suuresti metsiköstä saatavan puuaineen oksikkuuteen.

6. Oikealle vino (pieniin puihin painottunut) läpimittajakauma tuotti korkeampilaatuista puuainetta kuin vasemmalle vino (suuriin puihin painottunut) läpimittajakauma, mutta näin tapahtuu vain puuston kokonaistuotoksesta tinkimällä.

7. Puiden oksikkuus oli mustikkatyypin kasvupaikoilla noin 10 % suurempi kuin puolukkatyypin kasvupaikoilla kaikissa tiheysasteissa.

8. Sahatavara-aihioiden oksikkuus väheni puolukkatyypin kasvupaikoilla puuston tihentyessä. Mustikkatyypin kasvupaikoilla puuston tiheys ei vaikuttanut sahatavara-aihioiden oksikkuuteen.

Tehty tutkimus osoittaa, että oksikkuus on järkevä käsite vain yksittäisten puiden tasolla määriteltynä, sillä oksikkuus on suuresti riippuvainen paitsi puuston tiheydestä myös yksittäisten puiden metsikköasemasta ja täten puuston läpimittajakaumasta.

## KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Drew, T.J. & Flewelling, H.W. 1979. Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *Forest Sci.* 25: 518—532.
- Hakkila, P., Kalaja, H., Salakari, M. & Valonen, P. 1977. Whole-tree harvesting in the early thinning of pine. *Seloste: Kokopuuna korjuu männikön ensiharvennuksessa. Folia For.* 333. 58 s.
- Heikinheimo, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. Summary: On natural pruning of tree stems. *Commun. Inst. For. Fenn.* 41(5). 39 s.
- Hozumi, K. 1977. Ecological and mathematical consideration on self-thinning in even-aged pure stands. I. Mean plant weight-density trajectory during the course of self-thinning. *Botanical Magazine Tokyo* 90: 165—179.
- Huuri, O. & Lähde, E. 1985. Effect of planting density on the yield, quality and quantity of Scots pine plantations. Teoksessa: *Crop physiology of forest trees* (toim. P.M.A. Tigerstedt, P. Puttonen & V. Koski). Helsinki University Press. Helsinki. s. 295—304.
- Jokinen, P. & Kellomäki, S. 1982. Havainnoja metsikön kasvatustiheyden vaikutuksesta runkojen oksikkuuteen varttuneissa männyntaimikoissa. Abstract: Observations on the effect of spacing on branchiness of Scots pine stems at pole stage. *Folia For.* 508. 12 s.
- Kellomäki, S. 1984. Havainnoja puuston kasvatustiheyden vaikutuksesta mäntyjen oksikkuuteen. Summary: Observations on the influence of stand density on branchiness of young Scots pines. *Silva Fenn.* 18: 101—114.
- & Tuimala, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puun oksikkuuteen taimisto- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots pines. *Folia For.* 478. 27 s.
- Kärkkäinen, M. 1980. Mäntytukkirunkojen laatuoluokitus. Summary: Grading of pine sawlog stems. *Commun. Inst. For. Fenn.* 96(5). 152 s.
- & Uusvaara, O. 1982. Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Abstract: Factors affecting the quality of young pines. *Folia For.* 515. 28 s.
- Lähde, E. 1984. Metsikön perustamistiheys — laatua vai määrää. Julkaisussa: (Lyly, O. toim.) *Metsänuudistamisen perusteista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 129. s. 28—33.
- Satoo, T. 1982. Forest biomass. Nijhoff. Hague.
- Shinozaki, K. & Kira, T. 1961. The C-D-rule, its theory and practical use. *Journal of Biology, Osaka City University* 12: 69—82.
- Uusvaara, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. *Commun. Inst. For. Fenn.* 80(2). 105 s.
- 1985. The quality and value of sawn goods from plantation-grown Scots pine. *Seloste: Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Commun. Inst. For. Fenn.* 130. 53 s.
- Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. *Folia For.* 451. 21 s.
- Vientisahatavaran lajitteluohjeet. 1979. Suomen Saha-teollisuusmiesten Yhdistys. Frenckelin Kirjapaino Oy. Helsinki. 51 s.
- Vuokila, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY. Helsinki.
- Yoda, K., Kira, T., Ogawa, H. & Hozumi, K. 1963. Self-thinning in overcrowded pure stand under cultivated and natural conditions. *Journal of Biology, Osaka City University* 14: 107—129.

*Total of 19 references*

## SUMMARY

### Effect of stand density and site fertility on the branchiness of Scots pines at pole stage

#### A study based on models

The purpose of this study was to determine whether growing space of young pines (*Pinus sylvestris* L.) and growth density of a stand affected branchiness of trees and stands in *Myrtillus* and *Vaccinium* type habitats. The study material consists of 13 *Vaccinium* type and 8 *Myrtillus* type cultivated pine stands, age 14...21 years and density 1 000...4 600 stems per hectare. The material was analyzed by sites assuming that the branch and stem volume yield was proportional to available growth space.

Growth space was defined by the size of the crown projection, to which branch and stem volume yields were in linear proportion. Since the size of the crown projection is dependent on the density of the stand, density is a limiting factor of branch growth in direct proportion to the crown projection. Similarly, it may also be assumed that the denser the stand, the earlier starts death and pruning-off of branches. Both theoretical models and empirical material was used. Results were as follows:

1. Because of the geometrical structure of trees, the radius of the tree is inversely proportional to the square of the stand density. This in turn means that growing space (the crown projection) is halved each time tree density doubles.
2. Cubic content yield of trees is proportional to growth space by a power of  $3/2$ . Thus, volume yield is proportional to density by a power of  $-3/2$ . As a result, average tree volume decreases as stand density increases.

3. It may be assumed *a priori* that tree volume yield is proportional to the number of branches per crown projection (branch density), whereby branch density is a feedback mechanism controlling branch volume.

4. The branch and trunk volumes of trees increased proportionally by the same amount irrespective of stand density, and branch death and pruning-off regulated branchiness (branch/trunk density). The denser the stand, the greater the death of branches. Therefore, branchiness decreased as stand density increased.

5. Irrespective of stand density, dominant trees were always branchier than dominated trees. Therefore, the diameter distribution of the stand greatly affects branchiness.

6. Right skew diameter distribution (accent on small trees) produced wood of higher quality than left skew (accent on large trees) diameter distribution. However, this was achieved only by sacrificing a great deal of the total yield of the stand.

7. Branchiness was about 10 % greater in *Myrtillus* type habitats than in *Vaccinium* type habitats for all densities.

8. Branchiness of sawn goods blanks decreased in *Vaccinium* type habitats as stand density increased. In *Myrtillus* type habitats, stand density did not affect branchiness of sawn goods blanks.

The study showed that branchiness is a sound concept only when defined at the level of single trees, since branchiness is highly dependent not only on stand density but also on the position of individual trees in a stand, and hence the diameter distribution of the stand.

---

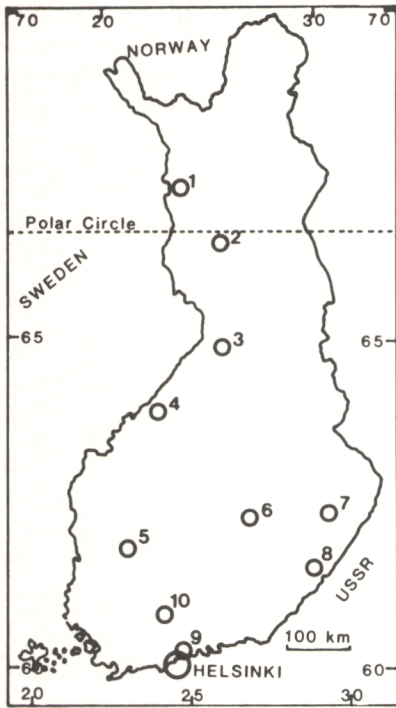
Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1986. Kasvatustiheyden ja kasvupaikan viljavuuden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Malleihin perustuva tarkastelu. Summary: Effect of stand density and site fertility on the branchiness of Scots pines at pole stage. A study based on models. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 139.

---









## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

### DEPARTMENTS (Helsinki)

- Administration Office
- Information Office
- Experimental Forest Office
- Dept. of Soil Science
- Dept. of Peatland Forestry
- Dept. of Silviculture
- Dept. of Forest Genetics
- Dept. of Forest Protection
- Dept. of Forest Technology
- Dept. of Forest Inventory and Yield
- Dept. of Forest Economics
- Dept. of Mathematics

### RESEARCH STATIONS

- 1 Kolari
- 2 Rovaniemi
- 3 Muhos
- 4 Kannus
- 5 Parkano
- 6 Suonenjoki
- 7 Joensuu
- 8 Punkaharju
- 9 Ruotsinkylä
- 10 Ojajoki

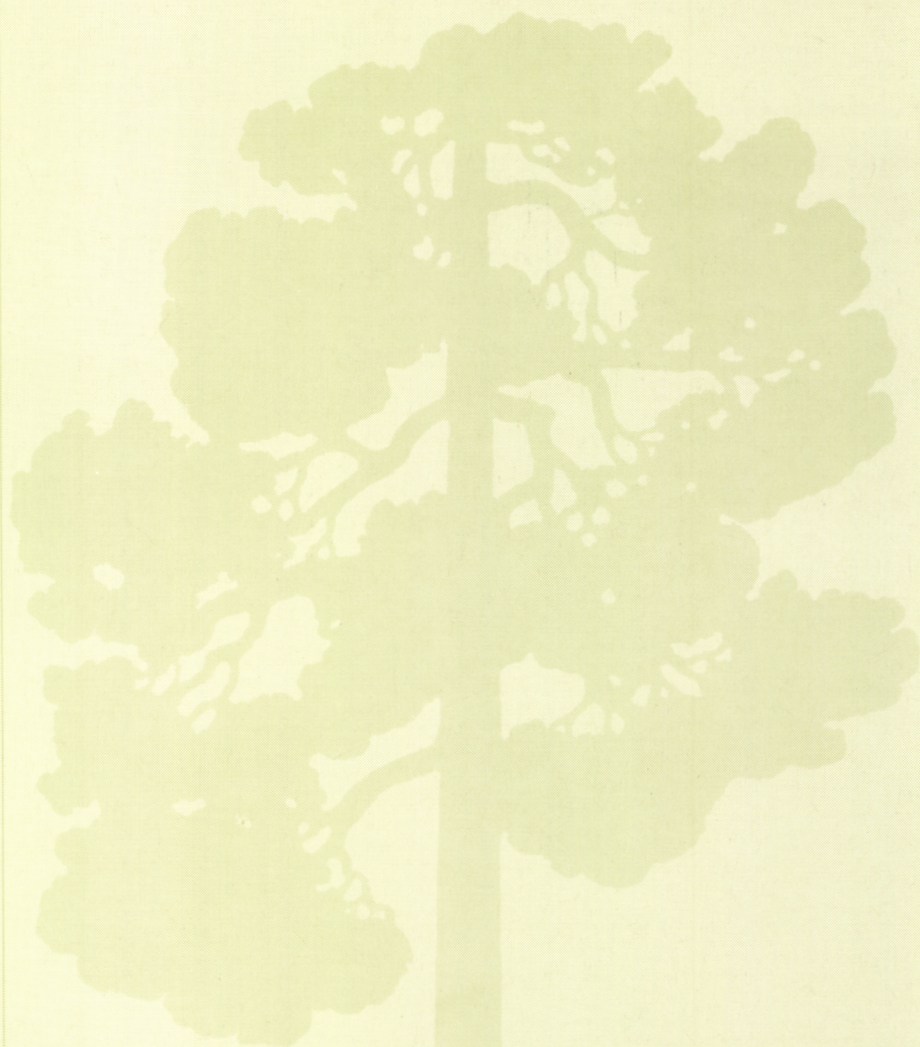
## FACTS ABOUT FINLAND

Total land area: 304 642 km<sup>2</sup> of which 60—70 per cent is forest land.

Mean temperature, °C:	Helsinki	Joensuu	Rovaniemi
January	-6,8	-10,2	-11,0
July	17,1	17,1	15,3
annual	4,4	2,9	0,8

Thermal winter (mean temp. < 0°C):	20.11.—4.4.	5.11.—10.4.	18.10.—21.4.

Most common tree species: *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula*, *Betula pubescens*



Communicationes Instituti Forestalis Fenniae

- 136 Jalkanen, R. *Lophodermella sulcigena* on Scots pine in Finland. Seloste: Männynharmaakariste Suomessa.
- 137 Tervo, M. Suomen raakapuumarkkinoiden rakenne ja vaihtelut. Summary: Structure and fluctuations of the Finnish roundwood markets.
- 138 Tomppo, E. Models and methods for analysing spatial patterns of trees. Seloste: Malleja ja menetelmiä puiden tilajärjestyksen analysoimiseksi.
- 139 Kellomäki, S. & Väisänen, H. Kasvatustiheyden ja kasvupaikan viljavuuden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Malleihin perustuva tarkastelu. Summary: Effect of stand density and site fertility on the branchiness of Scots pines at pole stage. A study based on models.

