

# SILVA FENNICA

1984 Vol. 18 N:o 2

Sisällys  
Contents

SEPPÖ KELLOMÄKI: Havaintoja puuston kasvatusihteyden vaikutuksesta mäntyjen oksikkuuteen	101
<i>Summary: Observations on the influence of stand density on branchiness of young Scots pines</i>	112
MATTI KÄRKKÄINEN: Effect of tree social status on basic density of Norway spruce	115
<i>Seloste: Kuusen aseman vaikutus puuaineen tiheyteen</i>	119
JUSSI KUUSIPALO: Diversity pattern of the forest understorey vegetation in relation to some site characteristics	121
<i>Seloste: Metsän pintakasvillisuuden lajirunsauden suhde eräisiin kasvupaikkatekijöihin</i>	130
HEIKKI SMOLANDER & JUHA LAPPI: The interactive effect of water stress and temperature on the CO <sub>2</sub> response of photosynthesis in <i>Salix</i>	133
<i>Seloste: Vedenvajauksen ja lämpötilan yhteisvaikutus vesipajun fotosynteesin CO<sub>2</sub>-vasteeseen</i>	139
RISTO JALKANEN, ESKO JALKANEN, JYRKI JALKANEN & MARJA JALKANEN: Maanpinnan rikkomisen 10-vuotisvaikutus korvasienisattoon	141
<i>Summary: Ten-year effects of breaking the soil surface on the yield of <i>Gyromitra esculenta</i></i>	149
HEIKKI KURIMO: Simultaneous groundwater table fluctuation in different parts of virgin pine mires	151
<i>Seloste: Pohjavesipinnan samanaikainen korkeusvaihtelu luonnontilaisten rämeiden eri osissa</i>	186
BO LÄNGSTRÖM: Windthrown Scots pines as brood material for <i>Tomicus piniperda</i> and <i>T. minor</i>	187
<i>Seloste: Tuulen kaatamat männyt pysty- ja vaakanävertäjän lisääntymismateriaalina</i>	198

# Silva Fennica

A QUARTERLY JOURNAL FOR FOREST SCIENCE

**PUBLISHER:** THE SOCIETY OF FORESTRY IN FINLAND

**OFFICE:** Unioninkatu 40 B, SF-00170 HELSINKI 17, Finland

**EDITOR:** SEPPO OJA

## EDITORIAL BOARD:

OLAVI LUUKKANEN (Chairman), JOUKO HÄMÄLÄINEN, TAUNO KALLIO, EEVA KORPILAHTI, MATTI KÄRKKÄINEN, SIMO POSO and EINO MÄLKÖNEN (Secretary).

*Silva Fennica* is published quarterly. It is sequel to the Series, vols. 1 (1926) – 120 (1966). Its annual subscription price is 120 Finnish marks. The Society of Forestry in Finland also publishes *Acta Forestalia Fennica*. This series appears at irregular intervals since the year 1913 (vol. 1).

Orders for back issues of the Society, and exchange inquiries can be addressed to the office. The subscriptions should be addressed to: Academic Bookstore, P.O. Box 128, SF-00101 Helsinki 10, Finland.

# Silva Fennica

NELJÄNNEKSVUOSITTAIN ILMESTYVÄ METSÄTIETEELLINEN AIKA-  
KAUSKIRJA

**JULKAISIJA:** SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

**TOIMISTO:** Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17

## VASTAAVA TOIMITTAJA:

SEPPO OJA

## TOIMITUSKUNTA:

OLAVI LUUKKANEN (Puheenjohtaja), JOUKO HÄMÄLÄINEN, TAUNO KALLIO, EEVA KORPILAHTI, MATTI KÄRKKÄINEN, SIMO POSO ja EINO MÄLKÖNEN (Sihtteri).

*Silva Fennica*, joka vuosina 1926–66 ilmestyi sarjajulkaisuna (niteet 1–120), on vuoden 1967 alusta lähtien neljännesvuosittain ilmestyyvä aikakauskirja. Suomen Metsätieteellinen Seura julkaisee myös *Acta Forestalia Fennica*-sarjaa vuodesta 1913 (nide 1) lähtien.

Tilauksia ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan seuran toimistolle. *Silva Fennica* tilaushinta on 100 mk kotimaassa, ulkomaille 150 mk.

*SILVA FENNICA* 1984, vol. 18 n:o 2: 101–114

## HAVAINTOJA PUUSTON KASVATUSTIHEYDEN VAIKUTUKSESTA MÄNTYJEN OKSIKKUUTEEN

SEPPO KELLOMÄKI

Summary

OBSERVATIONS ON THE INFLUENCE OF STAND DENSITY ON BRANCHINESS OF YOUNG SCOTS PINES

Saapunut toimitukselle 24. 2. 1984

Nuoria viljelymännikköitä (ikä 14...16 vuotta) edustava aineisto osoitti, että tiheissä puustoissa (runkoluku > 2500 ha<sup>-1</sup>) oli eläviä oksia oksakiehkuroissa vähemmän kuin harvoissa puustoissa (runkoluku < 2500 ha<sup>-1</sup>). Kuolleiden oksien lukumäärä muuttui puolestaan päinvastaisella tavalla. Puuston tiheyden lisääntyminen merkitsi myös elävien ja kuolleiden oksien läpimitan pienenemistä, joten puiden oksikkuus samalla väheni. Oksien lukumäärän ja paksuuden välillä vallitsi vuorosuhde, jota voitiin kuvata 3/2 potenssimallin avulla.

## JOHDANTO

Viljelymännikköiden tekniseen laatuun on viime aikoina kiinnitetty suurta huomiota. Varsinkin tuoreilla kasvupaikoilla taimikot näyttävät kehittyvän huolestuttavan oksikkaiksi. Oksikkuus näyttää olevan erityisen suurta harvoissa taimikoissa (Kärkkäinen ja Uusvaara 1982). Männyn oksien poikkeuksellisen suuri läpimitan kasvu tällaisissa olosuhteissa on odotettavissa, sillä männyn oksien läpimitan kasvun tiedetään voimistuvan hyvissä valaistusolosuhteissa (Kellomäki 1981). Tuoreilla kasvupaikoilla eivät myöskään muut kasvutekijät rajoita oksien kasvua.

Koska puuston tiheys säätelee metsikön valo-olosuhteita, voidaan puiden oksikkuuteen vaikuttaa metsikön tiheyttä säätelemällä. Tähän mahdollisuuteen viittaavat mm. Varmolan (1979), Kellomäen (1981a, b), Kellomäen ja Tuimalan (1982), Jokisen ja Kellomäen (1982) sekä Kärkkäisen ja Uusvaaran (1982) tutkimukset. Ne osoittavat yhtäpitävästi, että puiden oksikkuus (oksien läpimita, oksien pinta-ala jne.) vähenee puuston tiheyden kasvaessa. Täten puuston kasvatustiheyden tarkoituksenmukainen valinta näyttäisi tarjoavan tehokkaan keinon vaikuttaa puiden oksikkuuteen.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvata nuorten mäntyjen (*Pinus sylvestris* L.) oksikkuuden ja puuston tiheyden välistä suhdetta: oksien lukumäärää, oksien paksuutta ja oksien poikkileikkauspinta-alan suuruutta suhteessa rungon vaippapinta-alan suuruuteen. Empiiristen tulosten perusteella esitetään analyttinen ratkaisu, joka kuvaa puuston tiheyden ja puiden oksikkuuden välistä suhdetta. Työ täydentää kirjoittajan aiempia, samaan aihepiiriin kuuluvia tutkimuksia männyn oksikkuuden ja puuston tiheyden välisestä suhteesta (Kellomäki ja Tuimala 1981 ja Jokinen ja Kellomäki 1982).

Tutkimus kuuluu osana Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolla tehtävään tutkimukseen metsän rakenteen ja ympäristötekijöiden suhteesta puuaineen laatuun. Aineiston keruun ovat tehneet Pertti Laakso, Veikko Salo ja Jukka Lehtimäki (Metla). Aineiston analyysissä on avustanut Esko Valtonen (JoY) sekä käsikirjoituksen ja kuvien laadinnassa Timo Nevalainen (JoY), Anita Vatanen (JoY), Tiina Pitkänen (JoY) ja Kaisa Järvinen (JoY). Käsikirjoitusta ovat kommentoineet prof. Matti Kärkkäinen (HY), MML Heikki Smolander (Metla, Suomenjoki). Kiitän kaikkia työtä tukeneita ja siinä avustaneita saamastani avusta.

## AINEISTO

Tutkimusaineisto kerättiin kesällä 1981 Helsingin yliopiston metsäaseman ympäristöstä Juupajoen ja Ruoveden pitäjistä. Tätä tarkoitusta varten valittiin ympäristön valtion metsistä 14–16 vuoden ikäisiä istutusmänniköitä, joiden tiheys vaihteli 1300–4100 runkoa/ha. Kaikki metsiköt kasvoivat hyvällä kulotetulla puolukkatyypin kasvupaikalla, joka maaperältään oli hietamoreenia. Hyvin onnistuneen kulotuksen vuoksi taimikot olivat puhtaina kasvustoina, eikä perkausia ollut tarvinnut tehdä (taulukko 1).

Koelat sijoitettiin metsiköihin valinnai-

Taulukko 1. Tutkimusmetsiköiden yleiskuvaus.

Table 1. General description of the study areas.

Metsikkö Stand	Tiheys Density 1 ha <sup>-1</sup>	Keskipituus Mean height m	Keskiläpimitta Mean diameter cm	Koepuiden lukumäärä Number of sample trees
1	2100	5,4	7,8	8
2	3000	4,2	5,0	9
3	1800	4,6	8,5	8
4	1300	4,8	9,2	5
5	3600	5,9	7,4	11
6	4100	4,7	5,3	10
7	2500	5,0	7,4	8
8	3900	5,4	6,9	12
9	4300	6,1	7,4	10

sesti siten, että varsinaisen koelan (säde 5,64 m, pinta-ala 200 m<sup>2</sup>) ympärillä oli vähintään kymmenen metrin levyinen vyöhyke samantyyppistä puustoa kuin koelalla. Tämän jälkeen mitattiin koelan kaikkien puiden rinnankorkeusläpimitta (luokkaväli tasaavasti 1 cm), jota käytettiin hyväksi koepuiden otannassa. Tämä tehtiin siten, että kustakin läpimittaluokasta otettiin koepuiksi ensimmäinen eteen sattuva puu sekä tämän jälkeen kunkin läpimittaluokan joka kuudes puu. Pahasti vaurioituneita puita, esimerkiksi sellaisia, joiden latvan hirvi oli katkaissut, ei otettu huomioon otannassa. Tällaisia tapauksia oli kuitenkin varsin vähän.

Koepuiksi valituista puista mitattiin seuraavat tunnuksat: puun pituus, puun rinnankorkeusläpimitta, elävän latvuksen pituus, oksakiehkuroiden sijainti, elävän latvuksen pituus, oksakiehkuroiden sijainti, elävien ja kuolleiden oksien lukumäärä oksakiehkuras- sa, elävien ja kuolleiden oksien läpimitta (5 cm rungosta tyvilaaeneman ulkopuolelta), elävien ja kuolleiden oksien oksakulma, sekä eri-ikäisten versojen lukumäärä oksissa ja rungon pääteversoissa. Kiehkuroiden numerointi tehtiin latvasta käsin siten, että ylin oksakiehkura sai numeron yksi jne. Tässä yhteydessä on lähinnä käytetty hyväksi rungon pituutta sekä rungon ja oksien läpimittoja, oksakulman ja oksien lukumääriä koskevia tietoja.

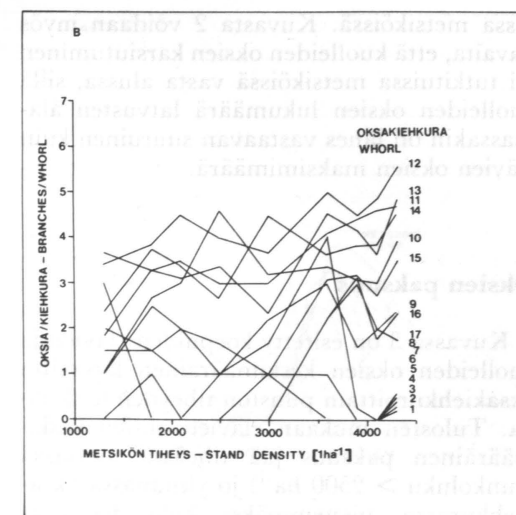
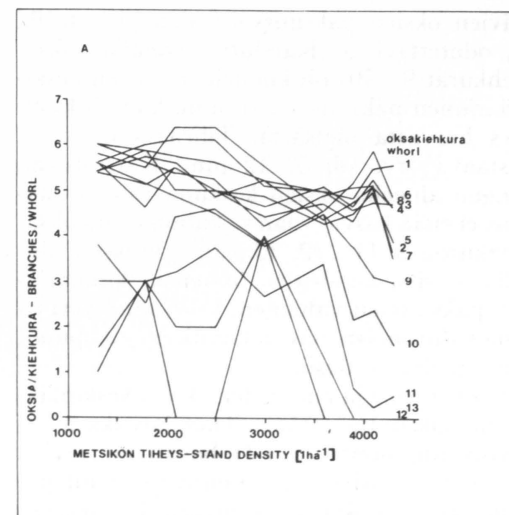
## MENETELMÄT JA TULOKSET

### Oksien lukumäärä

Koepuiden elävien ja kuolleiden oksien keskimääräinen lukumäärä on esitetty oksakiehkuroittain puuston tiheyden funktiona kuvassa 1. Tulos osoittaa, että elävien oksien lukumäärä ylimmässä oksakiehkurassa jää tiheässä metsässä vähäisemmäksi kuin harvassa kasvavassa metsässä. Ero on keskimäärin 1,0...1,5 oksaa. Ero tiheiden (runkoluku > 2500 ha<sup>-1</sup>) ja harvojen (runkoluku < 2500 ha<sup>-1</sup>) puustojen välillä korostuu edelleen, jos verrataan keskenään alempia oksakiehkuroita. Oksakiehkuroissa 9...10 on har-

vassa puustossa eläviä oksia 5...6 ja tiheässä puustossa 3...4. Syynä eroon ovat sekä oksien syntynopeuden että kuolemisnopeuden erot, jotka molemmat vähentävät oksien lukumäärää tiheissä puustoissa verrattuna harvoihin puustoihin.

Latvasta lukien 8. tai 9. oksakiehkura alkoi sisältää kuolleita oksia, kuten elävien oksien nopea väheneminen latvuksen alaosassa osoittaa. Kymmenennestä oksakiehkurasta lukien oksia kuolee runsaasti sekä harvoissa että tiheissä puustoissa. Onkin merkille pantavaa, että latvuksen alaosassa oksien kuoleminen näyttää riippuvan vain vähän puuston



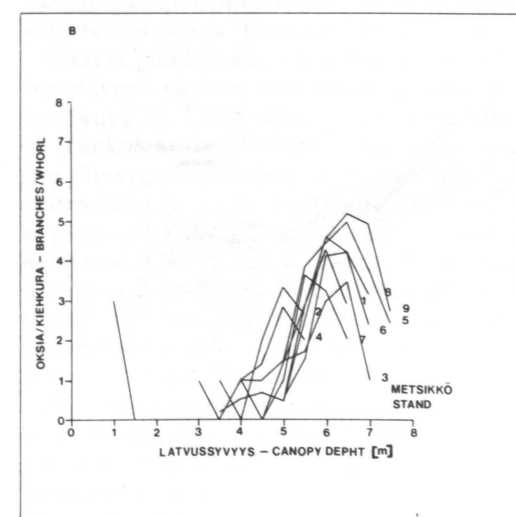
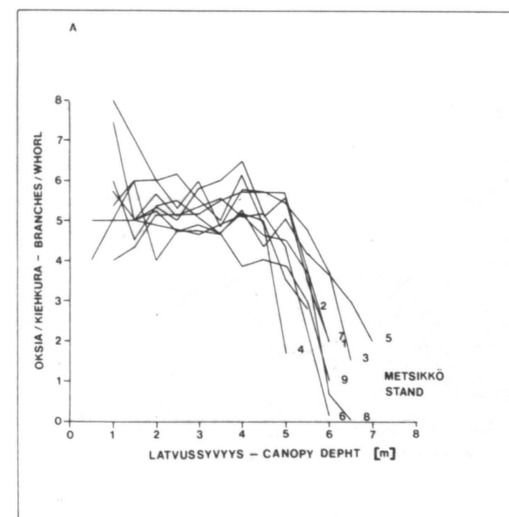
Kuva 1. Elävien (A) ja kuolleiden (B) oksien kiehkuroittainen lukumäärä puuston tiheyden funktiona.

Fig. 1. Number of living (A) and dead (B) branches per whorl as a function of stands density.

tiheydestä, jos kohta tiheissä puustoissa kuoleminen on nopeampaa kuin harvoissa puustoissa.

Oksien kuoleminen tulee havainnollisesti esiin myös silloin, kun tarkastellaan elävien ja kuolleiden oksien lukumäärää latvuksen syvyyden funktiona (kuva 2). Elävien oksien lukumäärä latvustotilan (keskimääräisen latvuspituuden rajoittama tilavuus) yksikköä

kohti vähenee suoraviivaisesti latvuksen syvyyden suhteen niin, että latvuksen puolessa välissä oksien lukumäärä on 1,0...1,5 pienempi kuin latvuksen yläosassa. Tämän jälkeen elävien oksien lukumäärä vähenee nopeasti latvusten alimmassa kolmanneksessa. Vastaavasti kuolleiden oksien lukumäärä kasvaa käänteisesti elävien oksien lukumäärälle. Tapahtuma on varsin samanlainen kai-



Kuva 2. Elävien (A) ja kuolleiden (B) oksien lukumäärä latvussyvyyden funktiona.

Fig. 2. Number of living (A) and dead (B) branches as a function of canopy depth.

kissa metsiköissä. Kuvasta 2 voidaan myös havaita, että kuolleiden oksien karsiutuminen oli tutkituissa metsiköissä vasta alussa, sillä kuolleiden oksien lukumäärä latvusten ala-osaan oli lähes vastaavan suuruinen kuin elävien oksien maksimimäärä.

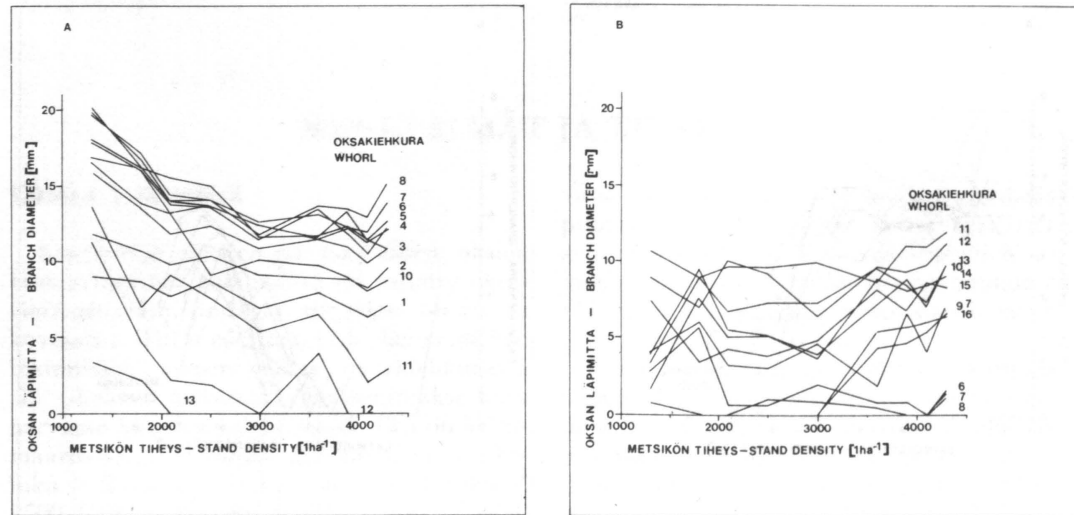
### Oksien paksuus

Kuvassa 3 on esitetty koepuiden elävien ja kuolleiden oksien keskimääräinen läpimitta oksakiehkuroittain puuston tiheyden funktiona. Tulosten mukaan elävien oksien keskimääräinen paksuus jää tiheässä metsässä (runkoluku  $> 2500 \text{ ha}^{-1}$ ) jo ylimmässä oksakiehkurassa pienemmäksi kuin harvassa (runkoluku  $< 2500 \text{ ha}^{-1}$ ) metsässä. Ero harvan ja tiheän metsän välillä on 7...9 mm. Tämä ero korostuu kuta vanhemmasta oksakiehkurasta on kysymys. Niinpä harvassa metsässä elävien oksien keskimääräinen paksuus oksakiehkuroissa 6...7 on 16...17 mm ja tiheissä 12...13 mm. Oksakiehkuroita 6...7 vanhemmissa kiehkuroissa oksien paksuus ei enää lisääny.

Kuolleiden oksien keskimääräinen paksuus on tiheissä metsiköissä sen sijaan suurempi kuin harvoissa metsiköissä, päin vastoin kuin

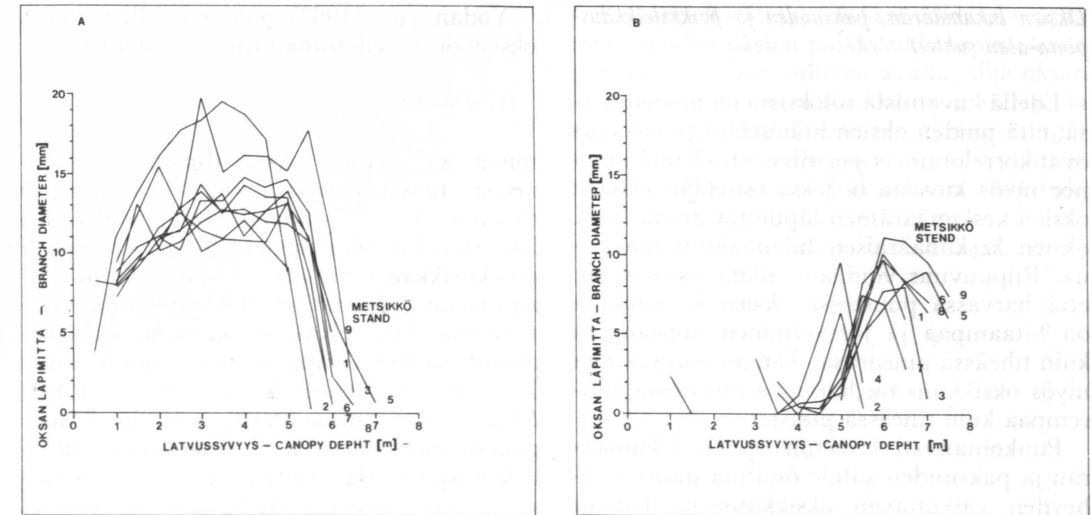
elävien oksien paksuussuhteiden perusteella on odotettavissa. Karsiutumisarjalla (oksakiehkurat 9...10) oli kuolleiden oksien keskimääräinen paksuus 4...10 mm, kun oli kysymys harvasta metsästä. Tiheässä metsässä vastaava arvo oli 5...12 mm. Karsiutuvan rungon alueella oksien keskimääräinen paksuus ei enää kasva, vaan se kulminoituu oksakiehkuroissa 11...12. Elävän latvuksen alueella olevien kuolleiden oksien keskimääräinen paksuus on vähäinen, 2...3 mm, verrattuna välittömästi elävän latvuksen ulkopuolisiin, kuolleisiin oksiin.

Kun elävien ja kuolleiden oksien keskimääräistä paksuutta tarkastellaan latvuksen syvyyden funktiona (kuva 4), havaitaan elävien oksien paksuuden kulminoituvan ylempänä kuin vastaava oksien lukumäärä. Elävien oksien keskimääräinen paksuus oli suurimmalla suhteellisella korkeudella 50...60 %, mitä alempana paksuus väheni nopeasti. Vastavasti kuolleiden oksien läpimitta kasvoi aina suhteelliselle korkeudelle 20...30 %. Tulos viittaa siihen, että oksien kuoleminen latvuksen yläosassa alkaa oksakiehkuran kaikkein pienimmistä oksista. Oksakiehkuroiden suurimmat oksat sen sijaan jatkavat kasvuaan vielä suhteellisen syvällä latvuksessa, minkä vuoksi rungon alaosaan saattaa olla varsin paksujakin kuolleita oksia (vrt. myös kuva 3).



Kuva 3. Elävien (A) ja kuolleiden (B) oksien läpimitta kiehkuroittain puuston tiheyden funktiona.

Fig. 3. Thickness of living (A) and dead (B) branches per whorls as a function of stand density.



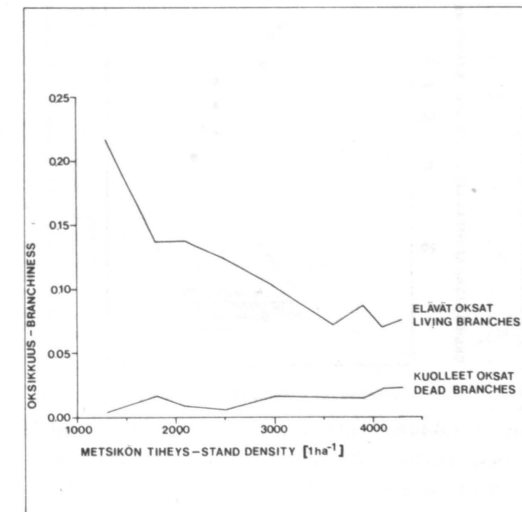
Kuva 4. Elävien (A) ja kuolleiden (B) oksien läpimitta latvuksen syvyyden funktiona.

Fig. 4. Thickness of living (A) and dead (B) branches as a function of canopy depth.

### Oksikkuus

Oksien poikkileikkauspinta-alan ja rungon vaipan suhde

Puiden oksikkuutta kuvattiin puolestaan oksien poikkileikkauspinta-alojen suhteella



Kuva 5. Puiden oksikkuus puuston tiheyden funktiona.

Fig. 5. Branchiness of tree as a function of stand density.

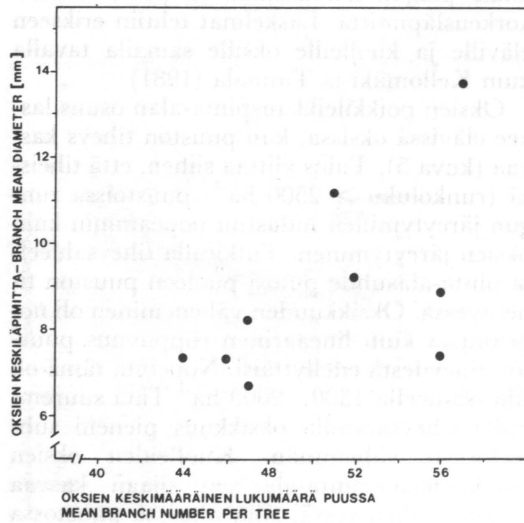
rungon vaippapinta-alaan. Suhteen arvoja laskettaessa oksaa kohti pystysuorasti mitatut oksien poikkileikkauspinta-ala-arvot projisioitiin rungon suuntaiseksi oksakulmaa hyväksi käyttäen. Tämän jälkeen laskettiin oksien poikkileikkauspinta-ala yhteensä ja suhteutettiin saatu luku rungon vaippapinta-alaan. Tätä laskettaessa runko oletettiin kartioksi, jonka pohjan halkaisijana oli puun rinnan korkeusläpimitta. Laskelmat tehtiin erikseen eläville ja kuolleille oksille samalla tavalla kuin Kellomäki ja Tuimala (1981).

Oksien poikkileikkauspinta-alan osuus laskee elävissä oksissa, kun puuston tiheys kasvaa (kuva 5). Tulos viittaa siihen, että tiheissä (runkoluku  $> 2500 \text{ ha}^{-1}$ ) puustoissa rungon järetyminen hidastuu nopeammin kuin oksien järetyminen. Tutkitulla tiheysalueella pinta-alasuhde putosi puoleen puuston tiheydessä. Oksikkuuden väheneminen oli nopeampaa kuin lineaarinen riippuvuus puuston tiheydestä edellyttäisi. Nopeinta tämä oli tiheysalueella 1300...2000  $\text{ha}^{-1}$ . Tätä suuremmilla tiheysarvoilla oksikkuus pieneni suhteellisesti vähemmän. Kuolleiden oksien poikkileikkauspinta-ala sen sijaan kasvaa puuston tihentyessä, sillä tiheässä puustossa kuolleiden oksien poikkileikkauspinta-alan osuus on noin kaksinkertainen harvan (runkoluku  $< 2500 \text{ ha}^{-1}$ ) puuston vastaavaan arvoon verrattuna.

**Oksien lukumäärän, paksuuden ja poikkileikkauspinta-alan suhteet**

Edellä kuvatuista tuloksista on pääteltävissä, että puiden oksien lukumäärä ja paksuus ovat korreloituneet positiivisesti. Tämä ilmenee myös kuvasta 6, jossa esitetään elävien oksien keskimääräinen läpimitta puuta kohti oksien keskimääräisen lukumäärän funktiona. Riippuvuus voidaan tulkita myös siten, että harvassa puustossa oksien kuoleminen on hitaampaa ja järetyminen nopeampaa kuin tiheässä puustossa. Tämän seurauksena myös oksikkuus on harvassa puustossa suurempaa kuin tiheässä puustossa.

Puukohtaisesti lasketun oksien lukumäärän ja paksuuden suhde osoittaa puuston tiheyden vaikuttavan oksikkuuteen. Tämän vaikutussuhteen voidaan olettaa olevan yhteydessä kunkin oksan kasvutilaan, jolloin puuston tiheys vaikuttaa vain välillisesti oksikkuuteen. Oksien kasvutilan ja läpimitan välistä suhdetta voidaan puolestaan kuvata Yodan ym. (1963) kehittämällä potenssilailalla, joka kuvaa populaatiotiheyden ja populaation yksittäisen jäsenen massan (tai ulkoisten mittojen) välistä suhdetta itseharvennuksen vallitessa. Mallin käyttöön liittyvä laskeenta on esitetty liitteessä.



Kuva 6. Puuta kohti lasketun oksien lukumäärä ja oksien paksuuden keskiarvojen suhde.

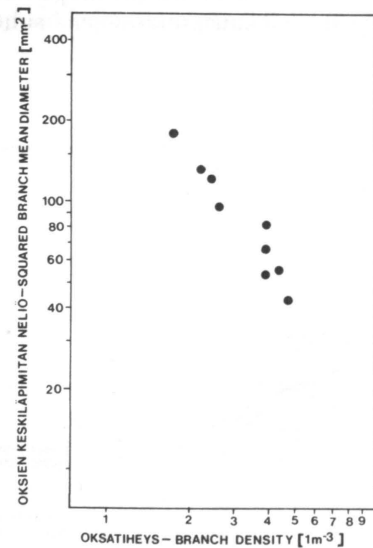
Fig. 6. Relationship between mean branch number and mean branch diameter per tree.

Yodan ym. (1963) potenssimalli voidaan oksistoon sovellettuna kirjoittaa seuraavasti

$$(1) \bar{w} = c\delta^k$$

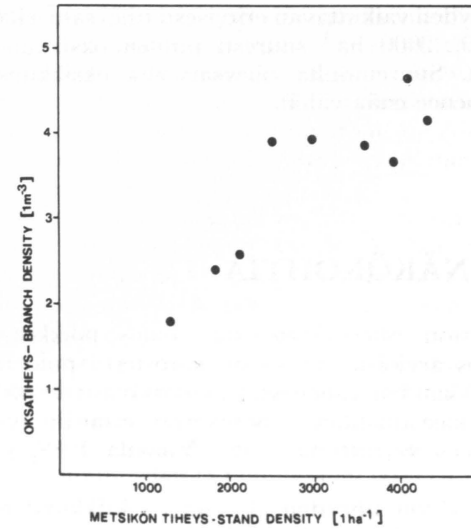
missä  $\bar{w}$  tarkoittaa oksan dimension keskiarvoa (tilavuus, massa ym.),  $c$  vakiota,  $\delta$  oksatiheyttä ja  $k$  vakiota. Mallin mukaisesti laskettiin kullekin metsikölle elävien oksien poikkileikkauspinta-alan keskiarvo ( $\text{mm}^2$ ) sekä vastaava oksien tiheys latvuston rajaamassa tilassa ( $1 \text{ m}^{-3}$ ). Kaksoislogaritmisessa koordinaatissa tämä riippuvuus on suora (kuva 7), jonka gradientti ( $k$ ) saa arvon  $-1,409$ . Malli soveltuu siis suhteellisen hyvin oksapopulaatioiden tiheyden ja keskioksan poikkileikkauspinta-alan välisen suhteen kuvaamiseen, vaikka oksien poikkileikkauspinta-ala ei täysin vastaa mallin edellyttämää oksien tilavuutta tai massaa (Yoda ym. 1963).

Oksapopulaation tiheyden ja oksien keskimääräisen poikkileikkauspinta-alan suhde ei sellaisenaan vielä kuvaa puuston tiheyden vaikutusta oksikkuuteen. Oksatiheys osoittautuu kuitenkin olevan lineaarisesti riippuvainen puuston tiheydestä (kuva 8). Oksien lukumäärä runkoa kohti on kuta kuinkin va-



Kuva 7. Oksien läpimitan neliön keskiarvon ( $\bar{w}$ ) suhde oksatiheyteen ( $\delta$ ) kuvattuna potenssimallilla  $\bar{w} = c\delta^k$ , jossa  $k = -1,409$  ja  $c = 413 (\text{mm}^2 \cdot \text{m}^3)$ .

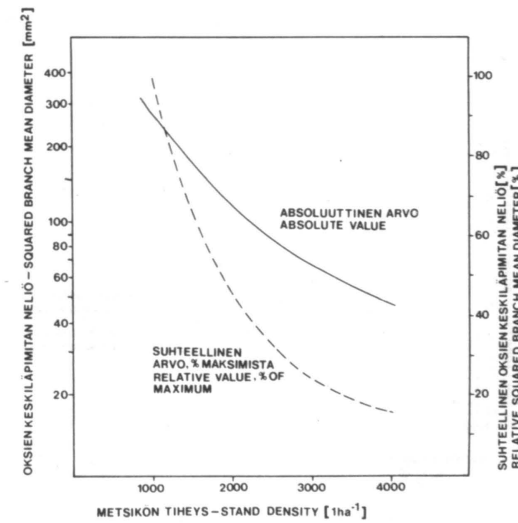
Fig. 7. Relationship between mean squared branch diameter ( $\bar{w}$ ) and branch density ( $\delta$ ) as described with the help of the power model  $\bar{w} = c\delta^k$  where  $k = -1,409$  and  $c = 413 (\text{mm}^2 \cdot \text{m}^3)$ .



Kuva 8. Oksatiheyden suhde puuston tiheyteen.

Fig. 8. Relationship between branch density and stand density.

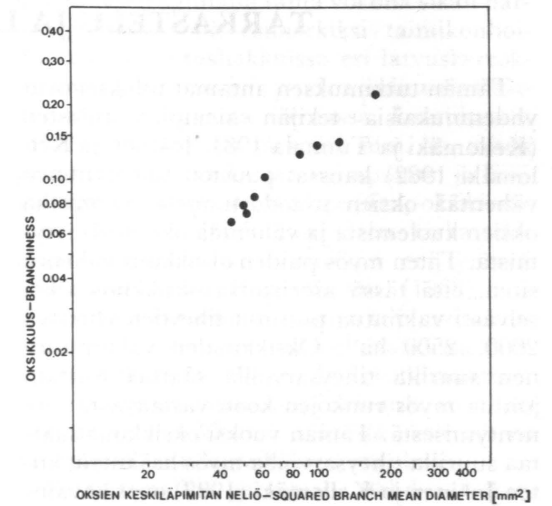
kio, joten oksien keskimääräinen poikkileikkauspinta-ala voidaan esittää myös puuston tiheyden funktiona (kuva 9). Tämä riippuvuus osoittaa puuston tiheyden kaksinkertaisamisen vähintään puolittavan oksien keskimääräisen poikkileikkauspinta-alan. Puuston tiheys näyttää täten vaikuttavan varsin selvästi puiden oksikkuuteen.



Kuva 9. Oksien läpimitan neliön keskiarvon suhde puuston tiheyteen.

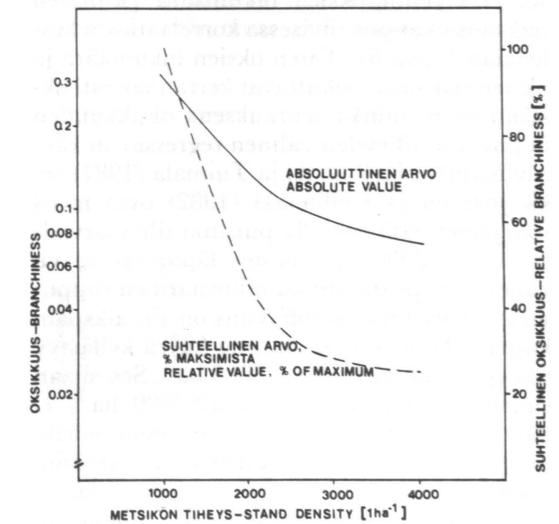
Fig. 9. Relationship between mean squared branch diameter and stand density.

Kuvassa 9 esitetyt tulokset voidaan esittää myös puiden oksien poikkileikkauspinta-alan ja rungon vaipan suhteen avulla, sillä oksan keskimääräisen poikkileikkauspinta-alan ja em. suhteen välillä vallitsee kiinteä riippuvuus (kuva 10). Kun kuvat 9 ja 10 yhdistetään saadaan kuva 11, jossa oksien poikkileik-



Kuva 10. Oksikkuuden suhde oksien läpimitan neliön keskiarvoon.

Fig. 10. Relationship between branchiness and means squared branch diameter.



Kuva 11. Absoluuttisen ja suhteellisen oksikkuuden ja puuston tiheyden välinen suhde.

Fig. 11. Relationship between branchiness and stand density in absolute and relative terms.

kauspinta-alan ja rungon vaipan suhde on esitetty metsikön tiheyden funktiona. Saatu laskennallinen tulos muistuttaa suuresti empiirisiä tuloksia (vrt. kuva 5) (Kellomäki ja Tuimala 1981, kuva 18). Se osoittaa puuston

tiheyden vaikuttavan erityisesti tiheysalueella 1000...2000 ha<sup>-1</sup> suuresti puiden oksikkuuteen. Suuremmilla tiheysarvoilla oksikkuus pienenee enää vähän.

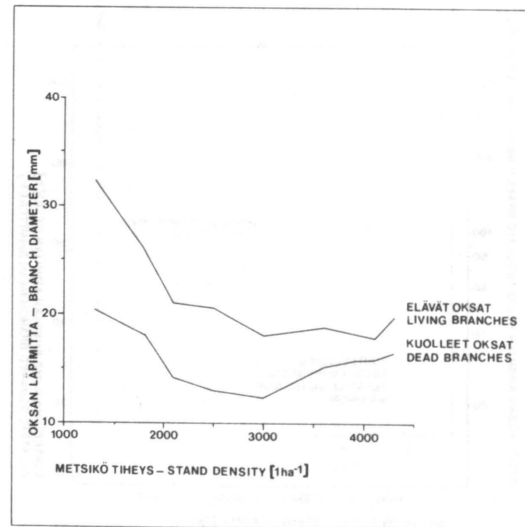
## TARKASTELU JA LISÄNÄKÖKOHTIA

Tämän tutkimuksen antamat tulokset ovat yhdenmukaisia tekijän aiempien tulosten (Kellomäki ja Tuimala 1981, Jokinen ja Kellomäki 1982) kanssa: puuston tihentyminen vähentää oksien muodostumista, voimistaa oksien kuolemista ja vähentää oksien järeystymistä. Täten myös puiden oksikkuus vähenee siten, että tässä aineistossa oksikkuus alkoi selvästi vakiintua puuston tiheyden ylitettyä 2000...2500 ha<sup>-1</sup>. Oksikkuuden vakiintuminen suurilla tiheysarvoilla saattaa osittain johtua myös runkojen koon vastaavasta pientymisestä. Tämän vuoksi oksikkuus saattaa suurilla tiheysarvoilla myös lisääntyä, kuten Jokinen ja Kellomäki (1982) ovat havainneet. Toistaiseksi havainnot tästä ilmiöstä ovat vielä vähäisiä ja korkeintaan suuntaa antavia.

Puiden oksikkuuden ja puuston tiheyden väliseen riippuvuuteen vaikuttaa erityisesti se, että puun oksien lukumäärä ja oksien paksuus ovat positiivisessa korrelaatiossa keskenään (kuva 6). Täten oksien lukumäärä ja oksien paksuus vaikuttavat kerrannaisesti oksikkuuteen, minkä seurauksena oksikkuuden ja puuston tiheyden välinen regressio on käyräviivainen. Kellomäki ja Tuimala (1981) sekä Jokinen ja Kellomäki (1982) ovat myös todenneet, että tietyillä puuston tiheysarvoilla (1500...2500 ha<sup>-1</sup>) oksien läpimitan kasvu vähenee nopeammin kuin lineaarinen riippuvuus edellyttäisi. Riippuvuus on siis alaspäin kupera (konvekssi) siten, että käyrä kyllästyy tiheyden ollessa luokkaa 3000 ha<sup>-1</sup>. Sen sijaan suurilla kasvatustiheyksillä (>3000 ha<sup>-1</sup>) ei näy saavutettavan sanottavaa etua edellä mainittuihin ”riittävän” tiheisiin puustoihin. Tämän vuoksi näyttää, että puiden oksikkuuden vähentämiseksi ei tarvittaisi mitenkään poikkeuksellisen suuria kasvatustiheyksiä. Tämän havainnon todentamiseksi tarvitaan kuitenkin laajempi aineisto kuin nyt esitetty, sillä aineisto käsittää vain osan mahdollisesta

puuston tiheysvaihtelusta. Tulos poikkeaa myös arvioista, joissa on korostettu puiden oksikkuuden vähenevän merkittävästi vasta, kun kasvatustiheys moninkertaistettaisiin nykyiseen verrattuna (esim. Vuokila 1982, s. 16).

Puuston tiheyden ja puiden oksikkuuden välinen suhde ei ole suinkaan täysin määräytyvä. Tähän viittaa mm. kuvassa 12 esitetyt paksuimman elävän ja kuolleen oksan läpimittojen riippuvuudet metsikön tiheydestä. Paksuimman elävän oksan läpimitta vähenee puuston tiheyden kasvaessa kulminoituvasti. Myös paksuimman kuolleen oksan läpimitta pienenee samalla tavoin kulminoituvasti puuston tihentyessä. Syynä tähän näyttää olevan se, että tiheissäkin puustoissa tietyt oksat saattavat säilyä hengissä odottamatto-



Kuva 12. Paksuimman elävän ja kuolleen oksan paksuus puuston tiheyden funktiona.

Fig. 12. Dependence of the thickness of the thickest living and dead branch on the stand density.

man pitkään ja kasvaa siten poikkeuksellisen paksuiksi. Nämä oksat ovat ilmeisesti latvusaakkoihin suuntautuneita ja siten riittävässä valaistuksessa kasvavia. Vastaavasti ohuimmat kuolleet oksat karsiutuvat ensimmäiseksi, joten jäljelle jäävien oksien keskiläpimitta kohoaa suureksi.

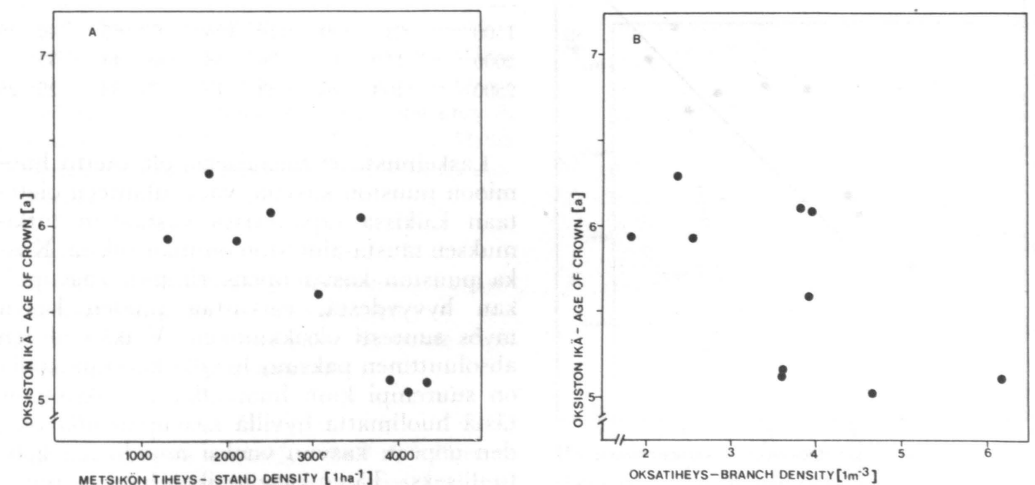
Oksien lukumäärän ja läpimitan välinen suhde näyttää noudattavan Yodan ym. (1963) esittämän potenssimallin mukaista riippuvuutta, sillä parametri k:n arvo (-1,409) on lähellä potenssimallin edellyttämää -1,5:ttä. Potenssimallin mukaan populaatioitiheyden kasvaessa populaation jäsenen keskimääräinen massa (tai ulkomitat) vähenee eksponentiaalisesti. Potenssimalli kuvaa populaatioitiheyden ja populaation jäsenen suhdetta itseharvennuksen vallitessa. Tutkitussa tapauksessa tämä edellytys toteutuu sikäli, että tiheässä puustossa oksiston keski-ikä on nopean itseharvennuksen vuoksi selvästi alhaisempi kuin harvassa puustossa (kuva 13), vaikka puustot ovat likimain samanikäisiä. Täten potenssimallin käyttöedellytykset oksiston kuvaukseen näyttävät olevan olemassa latvustoltaan sulkeutuneissa puustoissa (Kellomäki ja Nevalainen 1983).

Potenssimallin käyttäminen merkitsee latvuston käsittelemistä yksittäisten oksien muodostamana populaationa. Täten oksat kasvavat vaihtelevassa tiheydessä puuston tiheydestä ja kehitysvaiheesta riippuen. Näin menetellen oletetaan kukin oksa suhteellisen

itsenäiseksi yksiköksi, jolloin sen kasvu on yhteydessä muiden oksien muodostaman populaation tiheyteen. Yksittäisten oksien suhteellisen itsenäiseen asemaan viittaa mm. edellä kuvattu yksittäisten oksien odottamattoman pitkään jatkunut kasvu (kuva 12).

Potenssimallin käyttö edellyttää oksikkuuden keskiarvon käyttöä analyysissa. Metsikön kasvatuksen kannalta tämä voi olla sikäli harhaanjohtava, että esimerkiksi taimikonhoidossa ja kasvatushakuissa eri latvuserroket ovat poistettavien puiden valinnassa toisistaan poikkeavassa asemassa. Laatuksavatuksen kannalta on tärkeätä mm. se, miten puuston tiheys vaikuttaa valtapuiden ja lisävaltapuiden, tulevien tukkipuiden, oksikkuuteen. Puustoa joudutaan täten tarkastelemaan latvuserrosten mukaan eriytyneinä osapopulaatioina. Hozumin ym. (1968) mukaan potenssimallin mukainen riippuvuus toteutuu myös puuston osapopulaatioissa (vrt. myös Kikuzava 1982). Jatkotutkimuksissa pyritäänkin selvittämään, voidaanko sovellettua menettelyä käyttää nykyistä yksityiskohteisemmin laatuksavatuksen ongelmiin.

Potenssimallin perusteella tehdyt laskelmat koskevat tässä tapauksessa vain nyt käsiteltyjä, samanikäistä puustoa edustavaa aineistoa. Tulokset näyttävät tosin kuvaavan yleisemminkin puuston tiheyden ja oksikkuuden välistä suhdetta, sillä oksatiheys tietyssä metsikössä on puuston iästä riippumaton (liite). Syynä tähän on se, että puuston kasvu ja



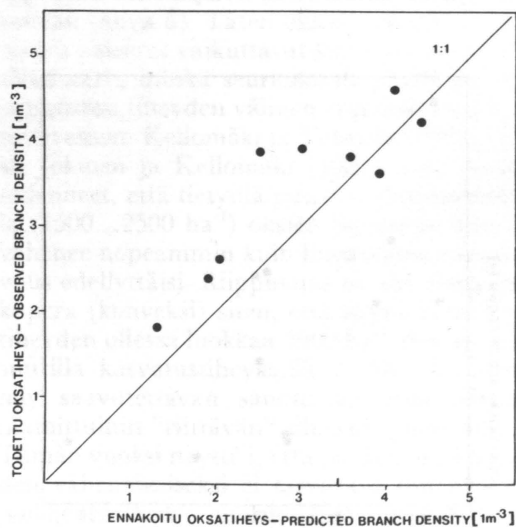
Kuva 13. Latvuksen oksien keski-ikä metsikön tiheyden (A) ja oksatiheyden (B) funktiona.

Fig. 13. Age of the tree crown as a function of stand density (A) and branch density (B).

oksien lukumäärän lisääntyminen merkitsee samalla latvustilavuuden kasvamista. Vastaavasti oksien kuoleminen merkitsee myös latvustilavuuden pienenemistä. Tämän vuoksi oksatiheys metsikössä on puuston tiheyden lineaarinen funktio. Jos kiehkuraan syntyvien oksien lukumääräksi oletetaan viisi, saadaan laskennalliseksi oksatiheydeksi kuvassa 14 esitetyt luvut, jotka vastaavat hyvin empiiristä tulosta. Poikkeamat johtuvat siitä, että harvoissa puustoissa syntyvien oksien lukumäärä kiehkurassa on 5...6 ja tiheissä metsiköissä syntyvien oksien lukumäärä jää oletettua pienemmäksi.

Oksatiheyden riippuvuus ainoastaan puuston tiheydestä, jos perinnöllisten tekijöiden merkitystä ei oteta huomioon, merkitsee periaatteessa myös sitä, että oksien keskimääräinen poikkileikkauspinta-ala on puuston iästä riippumaton ja kullekin puuston tiheysasteelle vakio. Tämä tarkoittaisi sitä, että kuvassa 11 esitetty puuston tiheyden ja oksikkuuden välinen riippuvuus kuvaisi yleisesti ko. riippuvuuden muodon. Absoluuttisessa mielessä oksikkuus tietenkin pienenee puuston varttuessa, sillä puuston vaippapinta-ala kasvaa ja pienentää oksikkuuden kuvaukseen käytettyä suhdetta (liite).

Tämän työn aineisto edustaa vain puolukkatyyppin kasvupaikkoja, joten eri kasvupaikkojen välisiä vertailuja oksikkuuden suhteen



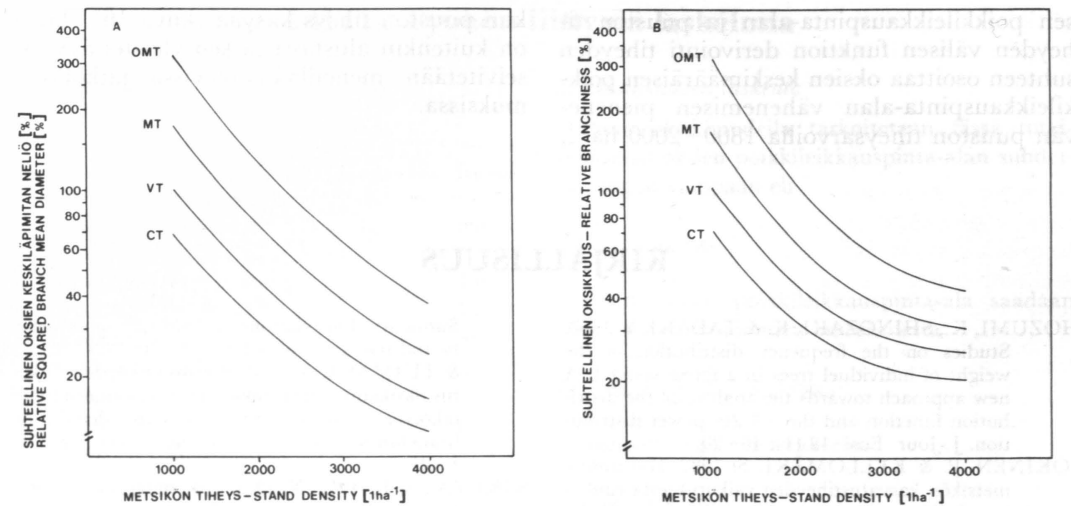
Kuva 14. Laskettujen ja todettujen oksatiheyksien suhde.  
Fig. 14. Relationship between predicted and observed branch density.

ei voida tehdä empiirisen aineiston perusteella. Periaatteessa potenssimallin käyttö tarjoaa mahdollisuuden myös tällaiseen tarkasteluun, sillä mallin vakio  $c$  on kasvupaikan hyvyyden funktio (Kellomäki ja Nevalainen 1983). Jos oletetaan oksien kasvavan samassa suhteessa kuin puiden runko, voidaan yhtälön (1) vakio  $c$  korvata Kellomäen ja Nevalaisen (1983) esittämällä vakio  $c$ :n arvoilla, jotka on laskettu potenssimallin mukaan eri metsätyypejä edustaville männiköille. Tämän perusteella on edelleen laadittu kuva 15, jossa esitetään laskennallisesti saatu tulos puuston tiheyden ja kasvupaikan hyvyyden yhteisvaikutuksesta oksan läpimitan neliöön ja puiden oksikkuuteen (liite).

Laskelmat osoittavat, että kasvupaikkojen välillä on varsin suuria eroja, jotka tosin taasoittuvat puuston tihentyessä. Niinpä oksikkuuden rajoittamiseksi tietyn suuruiseksi tarvitaan sitä tiheämpi puusto kuin parempi kasvupaikka on kysymyksessä. Esimerkiksi suhteellinen oksikkuusarvo 100 vastaa puuston tiheysarvoa  $1000 \text{ ha}^{-1}$  kanervatyypin,  $1500 \text{ ha}^{-1}$  puolukkatyyppin,  $1800 \text{ ha}^{-1}$  mustikatyyppin ja  $2500 \text{ ha}^{-1}$  käenkaali-mustikatyyppin kasvupaikalla. Vastaavasti kasvatustiheydet  $1500 \text{ ha}^{-1}$ ,  $2000 \text{ ha}^{-1}$  ja  $2500 \text{ ha}^{-1}$  antavat eri kasvupaikoilla seuraavat suhteelliset oksien läpimitan neliön ( $D^2$ ) ja oksikkuuden ( $O$ ) arvot.

Tiheys, $\text{ha}^{-1}$	OMT		MT		VT		CT	
	$D^2$	$O$	$D^2$	$O$	$D^2$	$O$	$D^2$	$O$
1500	210	190	110	105	67	65	46	45
2000	150	115	76	63	46	44	33	33
2500	108	76	53	45	33	33	25	25

Laskelmissa ei toistaiseksi ole otettu huomioon puuston kasvua, vaan tilanteen oletetaan kaikissa tapauksissa vastaavan tutkimuksen tausta-aineiston ominaisuuksia. Koska puuston kasvunopeus riippuu kasvupaikan hyvyydestä, vaikuttaa puiden kasvu myös suuresti oksikkuuteen. Vaikka oksien absoluuttinen paksuus hyvillä kasvupaikoilla on suurempi kuin huonoilla, voi oksikkuus tästä huolimatta hyvillä kasvupaikoilla puiden nopean kasvun vuoksi muodostua kohtuulliseksi. Täten kasvupaikan hyvyys, puuston tiheys ja aika ovat keskinäisessä vuorovaikutuksessa, kun puiden oksikkuus muotoutuu



Kuva 15. Oksien keskiläpimitan neliön (A) ja oksikkuuden (B) suhteelliset arvot metsätyypeittäin metsikön tiheyden funktiona. Oksikkuutta ja oksien läpimitan neliötä puolukkatyyppillä, puuston tiheydellä  $1000 \text{ ha}^{-1}$  merkitty 100:lla.  
Fig. 15. Mean squared branch diameter (A) and branchiness (B) in relative terms as a function of site type and stand density. OMT = Oxalis-Myrtillus-type, MT = Myrtillus type, VT = Vaccinium type, CT = Calluna type. Branchiness and squared branch diameter on Vaccinium site for stand density  $1000 \text{ ha}^{-1}$ , is indicated by 100.

puiden perimän ja ympäristön vuorovaikutukselle (liite).

Tämän tutkimuksen tulokset perustuvat suppeaan aineistoon ja ovat luonteeltaan vielä suuntaa antavia, joten niiden perusteella ei voida antaa suosituksia laadun kannalta tarkoituksenmukaisesta kasvatustiheydestä. Jatkotutkimuksien kannalta on mielenkiintoisin

havainto se, että oksien keskimääräinen poikkileikkauspinta-ala on oksatiheydestä riippuvainen. Koska tyvitukin absoluuttinen oksikkuus (oksien todellinen pinta-ala tyvitukissa) määräytyy pelkästään tämän riippuvuuden ja oksien lukumäärän perusteella, voidaan tutkimusongelma rajata selkeästi. Jo alustavasti voidaan todeta, että oksien keskimääräinen

Kuva 16. Suhteellisen oksikkuuden derivaattafunktion kulku. Oksikkuuden ja metsikön tiheyden välistä suhdetta on kuvattu mallilla  $Q = c\delta^k$ , jossa  $Q$  tarkoittaa suhteellista oksikkuutta ja  $\delta$  puuston tiheyttä, mallissa  $k = -7,153$  ja  $c = 4,47 e^{25}$  (%). Mallin derivaattafunktio tiheyden suhteen derivoituna puolestaan on

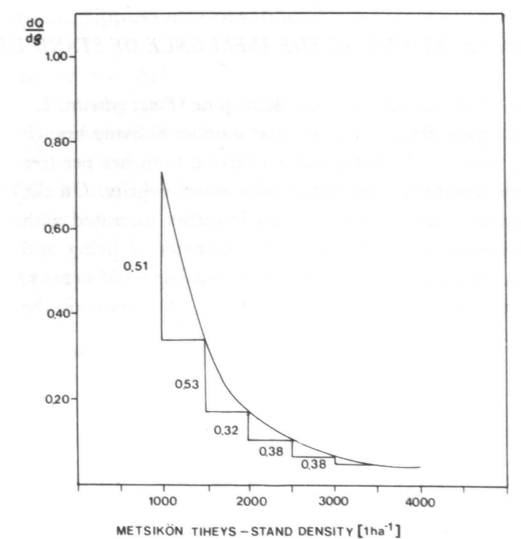
$$\frac{dQ}{d\delta} = -7,153 \frac{Q}{\delta}$$

Numerot kuvassa ilmaisevat oksikkuuden muutoksen suuruutta valittua tiheysmuutosta kohti.

Fig. 16. Derivate function for the relation ship between relative branchiness ( $Q$ ) and stand density ( $\delta$ )

$$\frac{dQ}{d\delta} = -7,153 \frac{Q}{\delta}$$

when derivating the function  $Q = 4,471 e^{25} \delta^{-7,153}$  for the relation ship between the relative branchiness and stand density. Number in the Figure indicate the change in the branchiness per selected change in the stand density.



sen poikkileikkauspinta-alan ja puuston tiheyden välisen funktion derivointi tiheyden suhteen osoittaa oksien keskimääräisen poikkileikkauspinta-alan vähenemisen pienenevän puuston tiheysarvoilla 1800–2000 ha<sup>-1</sup>,

kun puuston tiheys kasvaa (kuva 16). Tulos on kuitenkin alustava ja sen yleistettävyyttä selvitetään meneillään olevissa jatkotutkimuksissa.

## KIRJALLISUUS

- HOZUMI, K., SHINOZAKI, K. & TADAKI, Y. 1968. Studies on the frequency distribution of the weight of individual trees in a forest stand I. A new approach towards the analysis of the distribution function and the -3/2th power distribution. *J. Jour. Ecol.* 18 (1): 10–20.
- JOKINEN, P. & KELLOMÄKI, S. 1982. Havaintoja metsikön kasvustiheyden vaikutuksesta runkojen oksikkuuteen varttuneissa männyntaimikoissa. Abstract: Observations on the effect of spacing on branchiness of Scots pines stems at pole stage. *Folia For.* 508: 1–12.
- KELLOMÄKI, S. 1980. Growth dynamics of young Scots pine crowns. Seloste: Nuorten mäntyjen latvusten kasvun dynamiikka. *Commun. Inst. For. Fenn.* 98 (4): 1–80.
- 1981. Effect of the within-stand light conditions on stem, branch and needle growth in a twenty-year-old Scots pine stand. Seloste: Metsikön sisäisen valaistuksen vaikutus rungon, oksien ja neulasten kasvun osuuksiin eräässä kaksikymmentivuotiaassa männikössä. *Silva Fenn.* 15 (2): 130–139.
- & NEVALAINEN, T. 1983. Näkökohtia puuston tiheyden ja puiden koon välisestä suhteesta.

- Summary: On relationship between stand density and tree size. *Silva Fenn.* 17 (4): 389–402.
- & TUIMALA, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots pines. *Folia For.* 478: 1–27.
- KIKUZAVA, K. 1982. Yield-density diagram for natural deciduous broadleaved forest stands. *Forest Ecology and Management.* 4: 341–358.
- KÄRKKÄINEN, M. & UUSVAARA, O. 1983. Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Abstract: Factors affecting the quality of young pines. *Folia For.* 515: 1–28.
- VARMOLA, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoisen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. *Folia For.* 515: 1–28.
- VUOKILA, Y. 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. Summary: The improvement of technical quality of forests. *Folia For.* 523: 1–55.
- YODA, K., KIRA, T., OGAWA, H. & HOZUMI, K. 1963. Self-thinning in over-crowded pure stands under cultivated and natural conditions. *J. Biol. Osaka City Univ.* 14: 107–129.

Total of 11 references

## SUMMARY

### OBSERVATIONS ON THE INFLUENCE OF STAND DENSITY ON BRANCHINESS OF YOUNG SCOTS PINES

The study based on young Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of varying density showed that number of living branch per whorl and total number of living branches per tree were negatively correlated with stand density. On the contrary, the number of dead branches increased with increasing stand density. The diameter of living and dead branches decreased with increasing stand density. Consequently, the branchiness, i.e. the share of the

branch cross-sectional area from the surface area of the stem, decreased in dense stands compared with the undense stands. At the densest stands the branchiness, however, levelled off indicating a greater decrease of the radial growth at stems than at branches. The 3/2 power law described relatively well the relationship between stand density and mean squared branch diameter of living branches.

## LIITE. Työhön liittyviä laskelmia

### 1. Merkinnot

Symbolit	Selitys	Dimensio
$\bar{w}$	oksin poikkileikkauspinta-alan keskiarvo	mm <sup>2</sup>
$\delta_B$	oksapopulaation tiheys	l m <sup>-3</sup>
$\delta_T$	puiden tiheys	l m <sup>-2</sup>
A	pinta-ala	m <sup>2</sup>
V	latvuston tilavuus	m <sup>3</sup>
$N_B$	oksin kokonaislukumäärä	m
H	latvuksen syvyys	m
N	puiden kokonaismäärä	
$b_{ij}$	i:nen puun j:nen oksakiehkuran oksien lukumäärä	
$h_{Li}$	i:nen puun latvuksen pituus	m
$d_{ijk}$	i:nen puun j:nen oksakiehkuran k:nen oksan läpimitta	mm
$h_i$	i:nen puun pituus	m
c	oksin poikkileikkaus oksatiheyden yksikköä kohti	mm <sup>2</sup> m <sup>3</sup>
$a_{Bi}$	i:nen puun oksien poikkileikkauspinta-ala	mm <sup>2</sup>
$a_{Ti}$	i:nen puun vaippapinta-ala	mm <sup>2</sup>
$\alpha_{ijk}$	i:nen puun j:nen oksakiehkuran k:nen oksien oksikulma	aste
$D_i$	i:nen puun rinnankorkeusläpimitta	cm
$e_i$	i:nen puun muotoluku	
Q	puiden oksikkuuden keskiarvo	
$q_i$	i:nen puun oksikkuus	
P	metsikön oksien lukumäärä latvuksen pituusyksikköä kohti	l m <sup>-1</sup>
$A_V$	metsikön puiden vaippapinta-ala	m <sup>2</sup>
t	aika	a
F	kasvupaikan hyvyys	

### 2. Oksatiheyden laskenta

Oksatiheydellä tarkoitetaan elävien oksien lukumäärän suhdetta keskimääräisen latvuspituuden rajaamaan tilavuuteen eli

$$(1) \delta_B = N_B \cdot V^{-1}$$

$$\text{missä } N_B = \sum_{ij} b_{ij} \\ \text{ja } V = A \cdot H = A \cdot \sum_{i,h_{Li}} h_{Li}$$

Oksatiheys voidaan kirjoittaa muotoon

$$(2) \delta_B = \delta_T \cdot \frac{\sum_{ij} b_{ij}}{\sum_{i,h_{Li}} h_{Li}} = \delta_T \cdot P$$

### 3. Oksikkuuden laskenta

Puun oksikkuudella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa oksien poikkileikkauspinta-alan suhdetta rungon vaippaan eli

$$(3) q_i = a_{Bi} \cdot a_{Ti}^{-1}$$

Puun oksien poikkileikkauspinta-ala saadaan oksakulmat huomioiden lausekkeesta

$$(4) a_{Bi} = \frac{\pi}{4} \sum_{ijk} (d_{ijk}/\sin\alpha_{ijk})^2$$

ja rungon vaippa lausekkeesta

$$(5) a_{Ti} = \pi D_i h_i e_i$$

$$\text{missä muotoluku } e_i = \sqrt{(D_i/2)^2 + h_i^2/2h_i}$$

Näillä merkinnoilla puun oksikkuus saadaan lausekkeesta

$$(6) q_i = \frac{1}{4} \frac{\sum_{jk} (d_{ijk}/\sin\alpha_{ijk})^2}{D_i h_i e_i}$$

Oksikkuuden metsikkökohtaiseksi keskiarvoksi saadaan

$$(7) Q = \frac{\sum_i q_i}{N} = \frac{1}{4N} \sum_i \left( \frac{\sum_{jk} (d_{ijk}/\sin\alpha_{ijk})^2}{D_i h_i e_i} \right)$$

### 4. Puuston tiheyden ja oksikkuuden suhde

Merkitään oksien poikkileikkauspinta-alan keskiarvon riippuvuutta oksatiheydestä lausekkeella

$$(8) \bar{w} = c \cdot \delta_B^k$$

missä c ja k ovat vakioita

Oksikkuus Q voidaan lausua  $\bar{w}$ :n avulla seuraavasti

$$(9) Q = \frac{N_B \bar{w}}{A_V} = \frac{c}{(\delta_T \cdot P)^k} \cdot \frac{N_B}{A_V}$$

missä  $A_V$  = puuston vaippa

### 5. Oksikkuus ja puuston kehitys

Yhtälössä (7) puuston tiheys sekä puiden pituus, läpimitta ja runkomuoto muuttuvat metsikön ke-



hityksen myötä. Merkitään  $Q = Q(t)$ ,  $\delta_T = \delta_T(t)$ ,  $h_i = h_i(t)$ ,  $D_i = D_i(t)$ ,  $A_V = A_V(t)$  ja  $e_i = e_i(t)$ . Yhtälö (9) voidaan kirjoittaa muotoon

$$(10) \quad Q(k) = \frac{c}{(\delta_T(t) \cdot P)^k} \cdot \frac{N_B(t)}{A_V(t)}$$

Yhtälö (10) osoittaa, että oksikkuus vähenee nopeasti puuston kasvaessa, sillä puiden pituus ja läpimitta kasvavat ajan funktiona. Samoin ilmenee, että puuston harventaminen ( $\delta_T$  väheneminen) lisää oksikkuutta. Yhtälö (10) osoittaa, että elävien oksien perusteella laskettu oksikkuus voi vain vähentyä metsikön kehittyessä, ellei puuston harventamista oteta huomioon. Vastaavasti kuolleiden oksien perusteella laskettava oksikkuus kasvaa puuston kehittyessä elleivät kuolleet oksat karsiudu. Karsiutumisen vuoksi kuolleisiin oksiin perustuva oksikkuus luultavasti kulminoituu myöhemmin, sillä kuolleiden oksien lukumäärä runkoa kohti on metsikössä aina rajoitettu.

## 6. Oksikkuus ja kasvupaikan hyvyys

Yhtälössä (10) oleva vakio  $c$  on riippuvainen kasvupaikan hyvyydestä, kuten Kellomäki ja Nevalainen (1983) ovat osoittaneet. Myös puuston kasvu ja kehitys ovat kasvupaikan hyvyydestä riippuvia. Merkitään  $c = c(F)$ . Yhtälö (10) voidaan kirjoittaa muotoon

$$(11) \quad Q(k,F) = \frac{c(F)}{(\delta_T \cdot P(t,F))^k} \cdot \frac{N_B(t)}{A_V(t,F)}$$

Yhtälön (11) mukaan on oksikkuus suoraan verrannollinen kasvupaikan hyvyyteen sekä kääntäen verrannollinen puuston tiheyteen ja puuston kasvu- ja kehitysnopeuteen: mitä paremmasta kasvupaikasta on kysymys, sitä tiheämpi puusto tarvitaan tietyn suuruisen oksikkuuden saavuttamiseksi. Havaitaan myös, että puuston varttuessa puuston tiheyttä voidaan vähentää saman tason ylläpitämiseksi.