

# **FOLIA FORESTALIA** 685

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1987

---

---

OLAVI HUURI, ERKKI LÄHDE &  
LEENA HUURI

TIHEYDEN VAIKUTUS NUOREN  
ISTUTUSMÄNNIKÖN LAATUUN JA  
TUOTOKSEEN

EFFECT OF STAND DENSITY ON  
THE QUALITY AND YIELD OF  
YOUNG SCOTS PINE PLANTATIONS

---



METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

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

Puhelin: (90) 661 401  
*Phone:*

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyysönen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

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

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

# FOLIA FORESTALIA 685

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1987

Olavi Huuri, Erkki Lähde & Leena Huuri

## TIHEYDEN VAIKUTUS NUOREN ISTUTUSMÄNNIKÖN LAATUUN JA TUOTOKSEEN

Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations

*Approved on 10.4.1987*

### SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	3
2. TIHEYSKYSYMYKSEN HISTORIALLINEN TARKASTELU .....	4
21. Keski-Eurooppa .....	4
22. Pohjois-Amerikka .....	9
23. Suomi ja Ruotsi .....	11
24. Muut maat .....	15
3. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT .....	16
31. Koealat .....	16
32. Mittaukset ja näytteet .....	16
33. Aineiston käsittely .....	17
4. TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU .....	18
41. Tiheyden vaikutus runkoon .....	18
42. Tiheyden vaikutus oksistoon .....	26
43. Tiheyden vaikutus rungon tekniseen laatuun .....	31
44. Tiheyden vaikutus tuotokseen .....	33
45. Tiheyden vaikutus lumituhoihin .....	35
5. YHTEENVETO .....	37
KIRJALLISUUS — REFERENCES .....	39
SUMMARY .....	44
LIITTEET — APPENDICES .....	45

HUURI, O., LÄHDE, E. & HUURI, L. 1987. Tiheyden vaikutus nuoren istutusmännikön laatuun ja tuotokseen. Summary: Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations. *Folia Forestalia* 685. 48 p.

Tutkimus käsittää 35 hyvän puolukkatyyppin kangasmaalle Etelä-Suomeen (Hartola) perustettua mäntykoelaa. Niistä 20 kuuluu varsinaiseen aineistoon ja 15 täydentäviin koealoihin. Viimeksi mainituissa on vertailun vuoksi mukana muutama hajakylvöllä tai luontaisesti syntyneeseen männikköön perustettu. Muutoin koealat ovat jalostamattomalla taimimateriaalilla istutetaan perustettuja männiköitä.

Perustamistiheys vaihteli noin 2 000:sta 65 000 kpl:een/ha. Luontaisen harvenemisen ja näytetaimien oton vuoksi tiheys vaihteli mittausvaiheessa 1 700:sta noin 42 000 kpl:een/ha. Seuraavassa esitettävät runkoluutut tarkoittavat kasvatustiheyttä 20 vuoden iällä.

Koealoilta mitattiin yhteensä 4 014 pystykoepuuta, joista 689 kaadettiin tarkempia mittauksia varten. Koeapuista mitattiin useita tunnuksia männyn teknisen laadun ja tuotoksen selvittämiseksi. Varsinaista mittauskesää seurasi Etelä-Suomessa lumituhotalvi. Sen aiheuttamat vauriot mitattiin.

Kaikki männyn laatua kuvanneet tunnuksat osoittivat johdonmukaisesti, että laatu paranee tiheyden suuretessa. Jyrkimmillään muutos on siirryttäessä käytännön metsätaloudessa yleisestä noin 2 000 kpl/ha tiheydestä 5 000—6 000 kpl/ha tiheyteen. Muutos jatkuu samansuuntaisena, mutta 10 000 kpl/ha tiheyden jälkeä tilanne vakiintuu.

Tiheys vaikutti voimakkaasti myös runkopuun kokonaistilavuuteen. Harvoissa, 2 000 kpl/ha kasvatuseränoissa tuotos nousi 20 vuoden iällä noin 45 m<sup>3</sup>:iin/ha. Tiheyden nostaminen 5 000 runkoon hehtaaria kohti kohotti tuotoksen lähes kaksinkertaiseksi. Tällöinkin sen valtaosa eli noin 80 % koostui rinnankorkeudelta 6 cm täyttävistä rungoista. Hyvin harvoissa kasvatuseränoissa merkittävä osa kasvusta sijoittui rungon asemesta oksistoon. Erilaiset lumituhot olivat pienimmät 3 000—5 000 kpl/ha tiheydessä.

Noin 4 000 kpl/ha tiheydestä alkaen on mahdollista tuottaa hyvälaatuisia runkoja mikäli käytetään nykyistä rohkeampaa laatuharvennusta ja parhaiden runkojen pystykarsintaa.

The study was carried out on 35 sample plots in Scots pine stands growing on mineral soil of good *Vaccinium vitis-idaea* site type in southern Finland (Hartola). 20 of the plots formed the basic material, and 15 were used as supplementary material. These 15 sample plots included a number of pine stands, established either by sowing or natural regeneration, for comparison. In all the other cases the plots have been established using unbred pine transplants.

The stocking density of the stands at the time of establishment varied from about 2 000 to about 65 000 seedlings/ha. Owing to mortality and the removal of sample seedlings the density on the plots varied at the time of measurement, 20 years later, from around 1 700 stems/ha to as much as 42 000/ha. The number of trees, given in the following, refers to stand densities at age 20.

A total of 4 014 standing sample trees were measured on the plots, 689 of which were felled for more precise measurements. A number of different characteristics depicting the timber quality and yield were measured on the sample trees.

Snow damage occurred after the summer during which the main inventory was carried out. This damage was also surveyed.

All the characteristics depicting pine quality showed unambiguously that increasing the stocking density greatly improves the quality of the stand. The increase is at its greatest when moving from the density of 2 000 stems/ha commonly used in practical forestry, to a density of 5 000 — 6 000 stems/ha. This improvement also continues at higher densities, but levels off at densities greater than 10 000 stems/ha.

The density also had a strong effect on the total volume of stemwood. The yield in low-stocked stands with a growing density of 2 000 stems/ha reached about 45 m<sup>3</sup>/ha at an age of 20 years. The yield was almost doubled when the density was 5 000 stems/ha. In this case, the majority of the stand (about 80 %) consisted of trees with a breast height diameter of 6 cm or more. In stands with a very low growing density, on the other hand, a significant proportion of the growth was allocated to the branches at the expense of stem growth. The frequency of different types of snow damage was lowest in stands with a density of 3 000 — 5 000 stems/ha.

Using a density of about 4000 trees/ha or more, it is possible to produce good quality wood if more stringent thinning for quality is employed, and pruning is carried out on the best stems.

Keywords: Timber quality, volume production, branchiness, snow damage, *Pinus sylvestris* OCD 232.43+236.4+53+568+174.7 *Pinus sylvestris*

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Silviculture, PL 18, SF-01301 Vantaa, Finland.

ISBN 951-40-0777-8  
ISSN 0015-5543

Helsinki 1987. Valtion painatuskeskus

# 1. JOHDANTO

Hyvästä mäntysahatavarastaan tunnetussa Suomessa samoin kuin muissakin Pohjoismaissa on jouduttu toteamaan viljelemällä perustettujen havupuustojen teknisesti huono laatu. Erityisesti istutusmänniköt täyttävät oksaisuutensa (Huuri 1956), paksulustoisuutensa ja lenkoutensa vuoksi huonosti korkealaatuisimman sahatavaran vaatimukset (esim. Heiskanen 1965, Uusvaara 1974, Persson 1976 ja Veijalainen ym. 1984).

Männikön perustamis- ja kasvatustiheydestä onkin käyty vilkasta keskustelua. Istutusmänniköiden heikkouksia koskeva tutkimustyö on myös voimistunut (esim. Uusvaara 1974, Huuri 1976, Kärkkäinen 1978, Uusvaara 1979, Vuokila 1979a ja 1979b, Uusvaara 1980, Varmola 1980, Kärkkäinen 1981, Uusvaara 1981a, Kärkkäinen ja Uusvaara 1982, Varmola 1982, Vuokila 1982, Huuri ym. 1984, Arnkil 1985, Huuri ja Lähde 1985 sekä Kaunisto ja Tukeva 1986). Erityisesti Kellomäki tutkijatovereineen on perehtynyt männyn latvuksen, oksien ja rungon kasvua sääteleviin tekijöihin (esim. Kellomäki 1980, 1981a, 1981b ja 1984, Kellomäki ja Hari 1980, Kellomäki ym. 1980, Kellomäki ja Tuimala 1981, Kellomäki ja Nevalainen 1983, Kellomäki ja Oker-Blom 1983, Kellomäki ja Väisänen 1986, Jokinen ja Kellomäki 1982 sekä Oker-Blom ja Kellomäki 1982).

On kuitenkin ollut vaikeata löytää riittävän tiheitä ja vanhoja istutusmänniköitä, joista olisi voitu selvittää pelkän tiheyden vaikutusta männikön laatuun. Istutetut aineistot ovat ylittäneet korkeintaan vain 4 500 rungon hehtaari tiheyteen. Tilapäiskoealojen käyttökelpoisuutta on heikentänyt metsiköiden ikä- ja maaperävaihtelun lisäksi se, että aineistoihin on jouduttu hyväksymään istutettujen männiköiden täydennykseksi myös kylvömänniköitä.

Metsänhoidon tutkimusosastossa perustettiin Hartolaan 1960-luvulla kuitenkin istutuskokeiden sarja, joka tarjoaa nykytilanteessa harvinaisen mahdollisuuden vertailla laajasti vaihtelevin tiheysin istutettujen männiköiden laatu- ja tuotoskehitystä. Alunperin kokeilla tutkittiin eri istutustapoja ja -ajankohtia sekä taimilajeja (Huuri 1972 ja 1973). Koesarjan istutus tiheys kattoi jotakuinkin tasaisesti tiheysalueen 2 000—65 000 tainta hehtaarilla. Tässä työssä käytetyn varsinaisen

aineiston koemetsiköitä ei ole karsittu eikä harvennettu, joskin niiden runkoluku on 20 vuoden kuluessa jonkin verran alentunut luontaisen poistuman ja muita tutkimuksia varten otettujen juuristonäytteiden vuoksi. Käsillä olevaa tutkimusta aloitettaessa tiheys vaihteli noin 1 700:sta 42 000:een runkoon hehtaaria kohti.

Alkuperäiset käsittelyt ovat vaikuttaneet koemetsiköiden rakenteeseen siksi vähän, että ne ovat kehittyneet lähes tasaisina puustoina. Metsiköt sijaitsevat verrattain yhtenäisellä kasvupaikalla, joka on pääasiassa hyvää puolukkatyyppiä. Muutamilla koealoilla on kuitenkin myös kanervatyypin merkkejä ja erällä lieviä soistumisen piirteitä. Olosuhteitaan poikkeavat koealat on jätetty varsinaisen aineiston täydennysaineistoksi, johon otettiin mukaan myös muutamia kylvään tai luontaisesti samalle alueelle syntyneitä metsiköitä.

Tutkimuksen ennakkotuloksia on esitetty lukuisissa esitelmissä (mm. Suomen Sahanomistajayhdistyksen seminaari 17.5.1983) ja retkeilyillä sekä joissakin julkaisuissa (esim. Huuri ym. 1984). Ennakkotulokset ovat myös olleet mm. Suomen Sahanomistajayhdistyksen laatupuun kasvatusta selvitelleen työryhmän käytössä. Siltä osalta on valmistunut myös julkaisu (Suomen Sahanomistajayhdistys 1984) sekä artikkeleita (esim. Arnkil 1985).

Olavi Huuri avustajineen on perustanut koealat. Hän on myös vastannut nyt käsitellyn aineiston keräyksestä ja laatinut luonnoksen tutkimuksen käsikirjoitukseksi. Tutkimus on käynnistetty Erkki Lähteen aloitteesta. Tekijät ovat yhteistyössä suunnitelleet aineiston keräyksen ja käsittelyn. Lähde on viimeistellyt käsikirjoituksen.

Tekijät ovat saaneet arvokasta apua useilta asiantuntijoilta, joista mainittakoon ATK-asioissa Kimmo Linnilä, Ilpo Vennola, Veli Pekka Salmi ja Jukka Markkanen. Työhön ovat kenttävaiheessa tekijöiden ohella osallistuneet myös Kimmo Absetz, Marjut Meronen, Lena Oksanen ja Eira-Maija Savonen. Irja Löfström on avustanut alkuvaiheessa kirjallisuuden keräämisessä. Tietojen tallennuksen on hoitanut Liisa Kaukonen ja puhtaaksikirjoituksen Liisa Salmi. Olli Virta on piirtänyt julkaisun kuvat sekä osallistunut tekijöiden ohella myös tutkimuksen tulosten tulkintaan. Puhtaaksipiirtämisessä on avustanut Ilkka Taponen.

Julkaisun ovat lukueneet professori Olli Uusvaara sekä tohtori Jari Parviainen. Esitämme parhaat kiitoksemme saamastamme avusta.

## 2. TIHEYSKYSYMYKSEN HISTORIALLINEN TARKASTELU

### 21. Keski-Eurooppa

Keski-Euroopassa, erityisesti Saksassa on metsänviljelyä harjoitettu jo kahden ja puolen vuosisadan ajan. Koska niissä oloissa männyn laatu kehittyi luontaisestikin varsin huonoksi, kasvatustiheys on siellä noussut tärkeäksi kysymykseksi jo varhain.

Saksan metsänhoidon uranuurtajista esimerkiksi Cotta (1849) totesi, että liian harvalla istutuksella ei voida saada kaunista tarvikke- ja rakennuspuuta. Maan kunto heikkenee liian harvan kasvatuksen vuoksi eikä maan tuottokyky tule täysin käytetyksi hyväksi. Harvennuspuun saanti vaikeutuu. Siten menetetään myös valintamahdollisuus puiden välillä. Liian tiheään istutuksessa taas aiheutuu tarpeettoman suuria kustannuksia ja menetetään puun tuotoksessa. Istutusvälin valinnassa on hänen mukaansa otettava huomioon mm. seuraavat seikat:

- Metsän täytyy säilyä puustoisena, jotta se pysyisi elinvoimaisena.
- Metsän täytyy sulkeutua nopeasti, jotta puut kasvaisivat tyvestä saakka ohutoksisiksi ja tulisivat pitkärunkoisiksi.
- On pyrittävä tuottamaan mahdollisimman suuri puumäärä aiheuttamatta puiden laadulle ja käyttökelpoisuudelle haittaa.
- Metsästä on saatava myös harvennustuloa.

Cotta suositteli tuoreille maille harvempaa istutusta kuin helposti autoituville, kuiville maille. Hänen mukaansa ”karulla maaperällä ja kylmässä ilmastossa puut eivät menesty, elleivät ne kasva tiheässä”. Kuitenkin muutamamat puulajit, kuten mänty, koivu ja lehtikuusi, kasvavat laihallakin maalla harvassa asennossa paremmin kuin tiheässä.

Harvaan istutukseen on tyydyttävä, kun ”vähällä rahalla” halutaan istuttaa laajoja puuttomia alueita. Tiheää istutusta on kuitenkin aina käytettävä, kun halutaan tuottaa arvokasta ainespuuta. Polttopuun kasvatus ei vaadi tiheää kasvatusasentoa.

Cotta päätyi suosittelemaan männylle nelioistutuksessa 6 400 taimen hehtaariitiheyttä. Hän kallistui sikäläisittäin melko harvan istutusvälin kannattajaksi. Hän korosti myös taloudellisuuden merkitystä ja varoitti ”varmuuden vuoksi” tehdystä liian tiheästä istutuksesta.

Cotta mukaan suuri istutustiheys on siis joskus välttämätön, joskus hyvä ja joskus jopa haitallinen. Ratkaisu riippuu olosuhteista ja taloudellisista päämääristä. Harvoissa rivistutuksissa voi rivivälistä saatava heinäsatona jopa täysin korvata sen, mikä puuntuotannossa menetetään.

Viljelytiheydestä väiteltiin toistuvasti. Saksan eri valtioiden yhdistyttyä perustettiin niiden metsäntutkimuslaitoksille yhdyselin vuonna 1872. Tämä metsäntutkimuslaitosten liitto laati jo kaksi vuotta myöhemmin koko maan peittävän yhteisen metsäntutkimusohjelman, joka metsänviljelyä koskevien muiden tutkimusaiheiden ohella käsitti myös yhteisten ohjeiden mukaisten, etupäässä männyn ja kuusen, tiheyskokeiden perustamisen eri valtioihin: Preussiin, Saksiin, Baijeriin, Badeniin ja Braunschweigiin.

Näissä viljelykokeissa käytettiin sekä nelioistutusta että kolmioistutusta ja myös rivittäisiä taimiasentoja. Hehtaariitiheydet olivat 4 500, 6 500 ja 10 000 kpl/ha, rivikokeissa 5 000, 6 700, 9 000, 14 000 ja 28 000 kpl hehtaarilla. Rivi- ja taimivälit vaihtelivat myös. Kylvökokeissa, joita tehtiin vain rivikylvöinä, käytettiin 2 600, 3 400, 5 200, 7 800 ja 14 000 kylvökohtaa hehtaarilla. Lisäksi on erikoistapauksissa myöhemmin perustettu täydentäviä kokeita erityisesti mäntylajeilla. Näissä on ylitetty jopa 100 000 rungon hehtaariitiheys.

Biermans (1845) kehotti käyttämään rivistutuksia ja niissä 2—3 metrin rivivälejä sekä riveissä 0,6—1,2 m:n taimivälejä. Kahden metrin rivivälillä taimiluvut olivat hehtaaria kohden noin 8 300 ja 4 700. Suurimmalla rivivälillä ne olivat 5 600 ja 2 800 tainta hehtaarilla.

Schember esitti jo v. 1861 erään kuusen istutusvälikokeen perusteella, että harvalla istutuksella saavutetaan nopeampi rungon paksuus- ja pituuskasvu kuin tiheällä istutuksella. Bühler (1886) vertasi kahta kuusen istutustiheyttä alueella, joka oli avohakattu maannouseman vuoksi 35 vuoden iässä. Kokeessa käytettiin kahta rivi-istutustiheyttä 3,0 × 0,6 m ja 1,5 × 0,5 m (5 600 ja 13 300 kpl/ha). Tiheällä istutuksella saavutettiin 35 vuoden ikään mennessä 53 % suurempi runkoluku ja 35 % suurempi koko-

naistuos kuin harvalla. Latvuksen pituus ja leveys sekä oksamassa olivat kummassakin tiheydessä jokseenkin yhtä suuret. Myös Frankhauser (1901) pohti harvan istutuksen hyviä ja huonoja puolia. Hän myönsi sen tekniset ja taloudelliset edut, mutta huomautti kokemuksen tuoneen esiin harvan istutuksen heikon teknisen laadun.

Gayer (1898) piti rivi-istutusta taloudellisenä ja helppona toteuttaa. Hän ei antanut suurta arvoa kaavamaiselle istutussysteemille, jossa kullakin taimella oli täsmälleen samanmuotoinen kasvutila ympärillään, koska tilanne joka tapauksessa muuttui 10—20 vuodessa. Reuss (1907) piti harvoja istutuksia suorastaan välttämättöminä. Hänen mukaansa ne alentavat viljelmien perustamiskustannuksia ja kohottavat käyttökelpoisen puun kokonaistuotosta sekä tekevät metsät vahvoiksi niin myrskyn kuin lumenkin tuhoja vastaan.

Schwappach (1915) selvitti edellämainitun Saksan metsäntutkimuslaitosten liiton eri puolille maata 1874 perustettujen kokeiden tuloksia. Hän päätyi johtopäätökseen, että käytetyistä istutusväleistä suurimmatkaan eivät vaikuttaneet haitallisesti puiden pituuskehitykseen. Kuitenkin aivan liian harvat istutukset (alle 6 000 kpl/ha) heikensivät puiden karsitumista. Hänen käsityksensä mukaan ei kuitenkaan ole välttämätöntä käyttää 20 000 taimeen nousevaa hehtaariäitiä hyvälaatuisen tukkipuun kasvattamiseksi. Rebel (1922) kiinnitti huomiota paitsi tiheyteen myös muihin oksaisuuteen vaikuttaviin kasvuoiloihin, jotka Saksan alueella vaihtelevat paljon. Hänen mukaansa mm. kylmillä savi- mailla runsassateisuus lisää oksaisuutta, mutta niukkasateisuus heikentää oksien kehittymistä.

Dengler (1930) teki uuden yhteenvedon kaikista metsäntutkimuslaitosten liiton kokeista. Hänen mukaansa ne ennen muuta antoivat tuloksen, joka oli tosin jo etukäteen odotettavissa: Eri puulajeille ja erilaisille kasvupaikoille ei voi löytää yhtenäistä istutusväliohjetta. Hyvin pieni taimiväli jättää metsiköt kehityksessä jälkeen, kun taas erittäin suuri väli, esimerkiksi 2 m, aiheuttaa oksistumista tai mutkarunkoisuutta mm. männylä. Paras ratkaisu löytyy ääritiheyksien väliltä. Dengler korosti, että liian tiheällä istutuksella aiheutetaan helposti perustamiskustannusten lisääntymistä ja tarpeettomia menoja jouduttaessa myöhemmin tekemään kaupallisesti tuottamaton harvennus.

Myös rungon soikeudesta rivi-istutuksissa on Saksassa tehty tutkimuksia. Busse ja Jaehn (1925) päätyivät tulokseen, että rivi-istutus aiheuttaa runkoihin merkittävän soikeuden. Abetz ja Merkel (1968) totesivat soikeuden kuitenkin rajoittuvan vain noin 2 %:iin ja olevan siten merkityksettömän haitan rivi-istutuksen muiden suurten etujen rinnalla.

Lunz (1951) suositteli poikkeuksena siloisten saksalaisten metsämiesten joukossa myös männyn luontaista uudistamista. Hän sovelsi sitä 11 vuoden aikana 3 100 hehtaaria käsittävässä Neustadtin hoitoalueessa hyvin tuloksin. Hän pyrki niin lehtipuiden kuin kuusen ja männyn luontaiseen uudistamiseen välttääkseen suuria kustannuksia ja avohakuun aiheuttamaa maanpinnan haitallista paljastamista. Männyn luontainen uudistaminen perustui usean yhtäaikaisen latvuseroksen elossapitämiseen, vapauttamiseen ja huolelliseen hoitoon. Maanpinnan käsittelyllä helpotettiin siemenen itämistä. Hänen mielestään 11 vuoden kokemus osoitti, että oli mahdollista uudistaa mäntyä luontaisesti ja saada aikaan ihanteellisia, arvokkaita, sulkeutuneita metsiköitä.

Sveitsiläinen Burger (1951a) esitti, että metsiä perustettaessa ei tiedetä etukäteen menekisuhteita, joten on pyrittävä mahdollisimman suureen määrään mahdollisimman hyvälaatuista puuta. Hänen mukaansa monella puulajilla oli Sveitsissä saatu lähellä päätehakkuikeää tuloksia, joiden mukaan kokonaistuotos oli ollut ihmeteltävän vähän riippuvainen tiheydestä. Vain läpimitassa oli eroa harvojen metsiköiden eduksi, mutta runkoluku tasoitti lopputuloksessa tämänkin eron. Burgerin mielestä runkojen hyvä laatu on myös saavutettavissa siten, että havupuut saavat kasvaa varjostettuina koko ikänsä. Edelleen hän oli sitä mieltä, että viimeisimpien kokeiden ja tutkimusten mukaan elinvoimaisista havupuista voidaan keinollisesti karsia kuolleita ja heikentyneitä eläviä oksia ja siten tuottaa arvokasta puusepänpuuta. Burger (1951b) teki Adligsbergissä myös männyn ja kuusen karsinta- ja neulaskokeita vuosina 1937—38.

Kramer (1960) tutki Preussiin vuosina 1875—1880 Freiburgissa laaditun yhteisen suunnitelman mukaisesti perustettuja männyn istutusväliläikeitä. Niissä taimiluvut olivat vaihdelleet 4 000:sta noin 30 000:een hehtaaria kohden. Näiden mittaushetkellä jo yli 70-vuotiaiden kokeiden tulosten yhdistelmänä Kramer esittää seuraavaa.

Harvemmat istutukset, noin 4 000 kpl/ha, ovat olleet niin pituuden kuin läpimitankin kehityksen osalta ylivoimaisia tiheämpiin verrattuina. Runkoluvun pienuuden vuoksi ne eivät kuitenkaan kokonaistuotoksessa ylitä tiheitä istutusasetoja. Parhain massatuotos on saatu taimivälillä 1,0 tai 1,25 m eli tiheydellä 6 250—10 000 kpl/ha.

Noin 4 500 taimen hehtaari tiheydestä alaspäin olevat tiheydet olivat heikoimpia oksaisuuden ja huonon runkomuodon takia. Yksittäistapauksissa myös kasvupaikka oli vaikuttanut voimakkaasti laatukehitykseen. Viljavilla kasvupaikoilla laatu oli heikko suurellakin tiheydellä. Keskinertaisella kasvupaikalla jo 5 000 rungon tiheys oli saattanut tuottaa puusepännänmyksi kelpaavia runkoja.

Erittäin tiheet koealat (yli 30 000 kpl/ha) olivat kokonaistuotoksessa jääneet keskitiheyistä (7 000—10 000 kpl/ha) jälkeen. Harvat istutukset, joiden taimiluku oli ollut alle 7 000 kpl/ha, olivat jo viidenkymmenen vuoden iässä saavuttaneet saman tuotoksen kuin keskitiheytkin. Harvennustulot olivat kuitenkin jääneet vähäisemmiksi. Hyvään kokonaistuotokseen ja suureen arvopuusuuteen oli riittänyt 10 000—20 000 rungon perustamistiheys.

Kokeet osoittivat, että suuren taimivälin käyttö ei ollut kannattanut pienten säästöjen ja suurten häviöiden takia. Erityisen suurta haittaa laadulle ja tuotokselle oli ollut aivan liian suuren, lähelle 1,5 metriä nousevan rivivälin käytöstä.

Kokeiden perusteella Kramer esitti, että yhtenäistä, kaavamaisista ohjetta taimivälistä ei voida antaa. Varmuuden vuoksi on käytettävä mieluummin hieman liian suurta kuin liian pientä taimimäärää, koska nuoret männiköt ovat hyvin arkoja erilaisille tuhoille. Hyvin ravinnerikkaalla maalla ei kannata yrittää laatumännyn kasvattamista. Se ei onnistu, vaikka käytettäisiin 30 000 kpl/ha tiheyttä. Silloin on tyydyttävä vain heikkolaa-tuisen puutavaran mahdollisimman suureen massatuotokseen. Hänen mukaansa on syytä siten käyttää harvaa rivi-istutusta taimiväleillä  $1,3 \times 0,4$  m:stä  $1,3 \times 1,0$  metriin tai neliö-istutusta yhden metrin taimivälein. Ne vastaavat harvimmillaan taimilukuja 7 700—10 000 kpl/ha. Sama tiheys sopii myös karuille kasvupaikoille, joilla on vaikeata saavuttaa arvopuun mittoja ja joilla suuri tiheys voisi aiheuttaa tuotostappioita.

Keskinertaisilla kasvupaikoilla, jotka par-

haiten sopivat arvopuun kasvattamiseen, männiköt olisi kasvatettava tiheinä. Tällöin suositeltavat rivivälit olisivat 1,0 tai 1,2 m ja taimivälit riveissä 0,3:sta korkeintaan 0,6 metriin. Ne vastaavat tiheimmästä harvimpaan 33 000—14 000 kpl/ha tiheyttä. Vähän karummilla kasvupaikoilla voidaan hieman alentaa taimilukua. Ennen kaikkea on varoitettava suurentamasta riviväliä yli 1,3 metrin, sillä tiheä taimiväli rivissä ei voi korvata sitä laatua heikentävää vaikutusta, jonka liian suuri riviväli aiheuttaa. Arvomännyn tuottamiseen voidaan vaikuttaa hyvin paljon myös karsimisella ja sopivan alkuperän käytöllä.

Rivi- ja neliöistutusten vertailussa on otettava huomioon myös kestävyys lumituhoja vastaan. Tämä vaara on erityisen suuri istutuskusikoissa Saksan lumirikkailla, korkeilla seuduilla. Kramer päätyikin tulokseen, että neliöistutus on aina parempi niin kokonaistuotoksen, laadun kuin lumituhokestävyidenkin osalta. Erityisesti hän varoitti siirtymästä kustannussäästöjen vuoksi käyttämään liian harvaa istutusta. Se voi johtaa männyn suuren tuhoalttiuden takia laadultaan huonoihin ja vajaatuottoisiin viljelmiin.

Klebingat (1962) laati tarkkoja selvityksiä kolmen Saksin alueella kasvaneen 95-vuotiaan viljelymännikön perusteella. Yksi niistä oli perustettu hajakylvöllä ja se oli kehittynyt 19 vuoden ikään käsittelemättömänä (tiheys noin 20 000 kpl/ha). Kaksi muuta oli perustettu istuttamalla runkoluvuin 5 000 ja 8 000 kpl/ha. Koealat oli myöhemmin harvennettu. Mittaushetkellä runkoluku oli noin 350 kpl/ha. Pituuskehitys oli ollut nopein harvassa istutuksessa. Samoin läpimitan kehitys niin rungossa kuin oksissakin. Oksakymyt olivat paksuimmat harvassa istutusasennossa. Vuosilustojen leveyden ja kasvutilan väljyyden välillä oli selvä riippuvuus 25 vuoden ikään saakka, mutta sen jälkeen erot tasoituivat. Tasaisin vuosiluston kasvu oli hajakylvössä. Parhain kesäpuuosuus oli tiheimmin istutetuilla puilla ja huonoin harvan istutuksen puilla. Sydänpuun keskimääräinen luston paksuus jäi vain hajakylvön rungoilla alle 2,7 mm:n, mikä oli hyvälaatuisen sahapuun raja.

Klebingat esitti johtopäätöksenä ajatuksen, että ilman kuivien oksien karsimista ei tiheimmälläkään kasvatusasennolla voida varmistaa hyvää tulosta. Se voidaan saavuttaa harvallakin istutusvälillä, jos sopivassa kasvatusvaiheessa tehdään peruspuuston kuivien

oksien karsiminen.

Knigge ja Schultz (1966) laativat katsauksen taimivälin merkityksestä arvokasvulle. Heidän mukaansa väljä kasvutila aiheuttaa ennenkaikkea viljavilla kasvupaikoilla metsikön nuoruusvaiheessa erittäin voimakkaan kasvun, joka johtaa leveään vuosilustoon, suureen kevätpuosuuteen ja useimmilla havupuilla kevyen ja heikkorakenteisen puuaineksen syntymiseen.

Tiheyden vaikutus on erityisen merkittävä ulkoiseen ja sisäiseen oksikkuuteen. Tiheässä puustossa oksat kuolevat jo ohuina, mikä vaikuttaa tulevan järeän puun sisäiseen oksikkuuteen suotuisasti. He kehoittivat kuitenkin ottamaan huomioon tiheyden vaikutukset koko kiertoajalta. Paitsi perustamiskustannukset, myös hoitokustannukset ja tuleva laatu määräävät kokonaisuuden. He päätyivät esittämään vain kohtuullisen tiheyden käyttämistä ja karsimista.

Abetz (1970) selosti männyllä tehdyn kuedentoista tiheyskokeen tuloksia. Kokeet olivat Karlsruhen ja Mannheimin välisellä alueella Reininlaaksossa. Tiheimpien istuttamalla perustettujen kokeiden runkoluku nousi alussa noin 30 000 taimeen/ha. Joukossa oli myös 100 000 ja 83 000 kpl/ha tiheydet, mutta nämä koealat oli perustettu hajakylvöllä. Mittaushetken tiheys vaihteli luontaisen poistuman takia välillä 3 400—16 000 kpl/ha. Keskipituus vaihteli tiheimmästä harvimpaan välillä 6—13 m. Tutkimuksen tarkoituksena oli löytää ne tiheysrajat, joiden välissä männiköt on kasvatettava, ettei suurin paksuus valtapuiden oksissa ylittäisi 20 mm. Abetz päätyi tulokseen, että perustamistiheys 10 000—15 000 kpl/ha on täysin riittävä kehittämään hyvälaatuista, arvokasta puuta, vaikka vain kuolleita oksia karsittaisiin.

Dittmar (1975) selosti erästä Eberswaldissa 30 vuotta kehittyneestä männyllä tiheyskoetta. Siinä oli kokeiltu 13 eri tiheyttä. Ne oli jaettu kolmeen ryhmään, joissa runkoluvut vaihtelivat 4 100 ja 40 000 kpl/ha välillä. Vaikka Dittmar piti koetta epätydyttävänä sen vuoksi, että siinä ei esiintynyt 2 m:n rivi-väliä, hän teki siitä kuitenkin mm. seuraavat johtopäätökset.

Viljavalla maalla vaaditaan sorvauskelpoisen männyllä tuottamiseen vähintään 14 000 rungon hehtaari tiheys. Tätä alempi tiheys tuottaa vain kohtalaisen hyvää rakennuspuuta. Kun tiheys laskee alle 10 000 rungon hehtaari, saadaan vain erittäin huonolaatuista rakennuspuuta. Hyvää puusepänmättyä voi-

daan kasvattaa vain tiheydellä, joka ylittää alkuvaiheessa 20 000 runkoa hehtaari.

Erteld (1975) pohti männyn vuosiluston tasaisuuden ja paksuuden merkitystä hyvän sahapuun arviointiperusteena. Hän korosti vuosiluston ennustearvoa puun sisäistä oksaisuutta arvioitaessa ja määritteli sen merkityksen puuaineen kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien osoittajana vähäiseksi.

Hän tarkasteli myös mahdollisuuksia siirtymään aikaisempaa harvempiin istutusväleihin. Hän viittasi siihen, että jo vuosikymmenien ajan käytetystä erittäin tiheästä männyn istutuksesta huolimatta myös harvempia eli 8 000—10 000 rungon tiheyksiä on käytetty paikoitellen jo 1800-luvun puolivälissä. Ainoana keinona liian kalliista, tiheistä istutuksista pääsemiseksi Erteld esitti oksien karsimista. Hänen käsityksensä mukaan kuolleiden oksien ja alimpien elävienkin kiehkuroiden karsiminen on täysin vaaratonta.

Flöhr (1975) muistutti siitä suuresta merkityksestä, mikä kasvatustiheydellä erityisesti helposti oksistuvalla männylle Saksan oloissa on. Laadun lisäksi kasvatustiheys vaikuttaa voimakkaasti myös tuotoksen määrään. Hänen mukaansa männynviljelyn alkuvuosina 1700-luvun lopulla männiköitä perustettiin käytännössä etupäässä käpykylvöillä. Tällöin syntyneet puustot olivat paikoitellen hyvin tiheitä, mutta samalla epätasaisia kuten luonnonmännikötkin, eikä niiden laatu ollut kauttaaltaan kovinkaan hyvä. Kun 1800-luvun alussa männyn istuttaminen tuli käytäntöön, taimet olivat maasta juuripaakkuineen siirrettyjä ja istutustiheydet pakostakin vaatimattomia, noin 5 000—8 000 tainta hehtaaria kohti.

Vuosisadan puolivälissä yleistyivät rivittäinen maanmuokkaus ja kyntö ja paljasjuurisot, pienikokoiset taimet tulivat käyttöön. Taimiluvut vaihtelivat tällöin hyvin laajasti paikkakunnittain, aina 5 000—25 000 taimeen hehtaaria kohti. Kun mäntypuutavaran laatuvaatimukset vähitellen kohosivat ennenkaikkea rakennus- ja puusepänkäytön lisääntyessä, taimiluvut nousivat ja lopulta rivi-istutusväli 1,3 × 0,33 m (noin 23 000 kpl/ha) tuli yleisimmäksi.

Nykyisin on vertailtavissa jo täysi-ikäisinä metsinä näitä eri tavoin perustettuja käytännön mäntylviljelmiä. Niiden laadussa ja tuotoksessa on todettavissa selviä eroja. Harvahkot paakuttaimi-istutukset ovat laadultaan heikkoja verrattuna käpykylvöjen tiheisiin kohtiin ja etenkin myöhemmin perustettuihin

tiheisiin istutusmänniköihin, joista vanhimmat ovat saavuttaneet jo päätehakkuun iän.

Niistä mm. Choriniin, viljavalle kasvupaikalle perustettu koe (Flöhr 1975) osoitti parhaaksi perustamistiheydeksi 15 000 kpl/ha. Keskinertaisella kasvupaikalla on jo 12 000—15 000 taimella voitu saavuttaa sekä optimaalinen kuutiotuotos että arvopuun laatu. Männyllä Flöhrin mukaan tiheys sekä massa- ja laatuotuoto kulkevat aina rinnakkain. Karuilla mailla riittää optimituotokseen jo 10 000 rungon hehtaartiheys. Alle 8 000 taimen tiheyttä Flöhr ei hyväksynyt lainkaan, koska se hävittää mahdollisuuden laatuvalintaan harvennuksien yhteydessä.

Flöhr asetti rivi-istutuksen samalla taimimäärällä suoritettun neliöistutuksen edelle. Siten oksaisuus jää heikommaksi, koska puut saavat vain kahdelta suunnalta runsaasti valoa. Sekä istutustyö että harvennukset ja korjuutyöt tulevat rivijärjestelyssä edullisimmiksi. Riviväliksi Flöhr ehdotti 1,5—2,0 metriä.

Kramer (1977) pyrki yksinkertaistamaan hyvin kirjavaa käytäntöä, joka vallitsi männiköiden perustamisessa Saksan liittotasavallassa. Hänen havaintojensa mukaan käytettiin tiheyksiä, jotka saattoivat vaihdella jopa 2 500:sta aina 25 000:een taimen hehtaaria kohti. Yhteistyössä käytännön metsänviljelijöiden kanssa tutkijat mittasivat liittotasavallassa yli sadan, alkutiheydeltään tunnetun nuoren männikön aineiston. Metsiköt olivat pääosaltaan 30-vuotiaita tai sitä nuorempia. Pituus vaihteli metsiköittäin 2,5 metristä 14 metriin. Alkutiheys tutkimusaineistossa vaihteli välillä 4 400 ja 55 000 tainta hehtaarilla. Metsiköt oli valittu siten, että niiden puusto oli tasaista. Koealojen koko oli keskimäärin 2 aaria. Eri koealat saattoivat kasvaa eri paikkakunnilla ja erilaisilla kasvupaikoilla. Valitettavasti ei löydetty koealasarjoja, joissa käsittelety olisivat kasvaneet keskenään täysin samanlaisissa oloissa.

Mittauksessa eriteltiin mm. käsite ”virheetön valtapuu”, jonka 4 m:n pituisessa tyvi-osassa sai olla korkeintaan kolme yli 20 mm:n paksuista oksaa. Laatutunnuksina mitattiin oksakiehkuroiden oksaluvun lisäksi mm. 20 mm:n paksuuden ylittävien oksien lukumäärä 6 metrin korkeuteen saakka. Myös runkojen oksakyhmyt ja lenkous mitattiin.

Tulosten mukaan metsiköiden keskipituuden ollessa noin 8 metriä ja vastaavan iän 20—25 vuotta kuolleisuus oli alle 10 000 taimen perustamistiheydellä noin 50 %, tihey-

dellä 15 000—20 000 kpl/ha noin 70 % ja yli 30 000 taimen tiheydellä jo noin 90 %. Siinä vaiheessa, jossa keskipituus oli kasvanut 12 metriin ja ikä 30—35 vuoteen, vastaavat kuolleisuussadannekset olivat jo 64, 82 ja 95. Koska koealat olivat kehittyneet mittaukseen saakka harventamattomina tai vain lievästi harvennettuna, kuolleisuus oli suurimmalta osalta luontaista poistumaa. Kramer esittikin kysymyksen, onko mielekästä istuttaa niin suuria taimimääriä, että taimista valtaosa kuolee luontaisesti jo ennen ensimmäistä harvennusta.

Tutkittaessa elinkelpoisten runkojen määrää havaittiin kuitenkin, että suurin perustamistiheys jätti metsikköön runsaimman elinkelpoisten runkojen määrän ja siten suurimman valinnanvaran ensimmäisissä harvennuksissa. Pituuden ja iän lisääntyessä elinkelpoisten runkojen lukumäärät eri tiheyksissä lähenivät toisiaan. Myöhemmässä vaiheessa viljavimmat kasvupaikat erosivat karuimmista siinä, että alkuperäinen perustamistiheys säilyi niillä kauemmin kuin jälkimmäisillä.

Virheettömien valtapuiden eli ns. ”tulevaisuuden puiden” lukumäärässä ilmeni suurta hajontaa, mutta alkutiheyden vaikutus oli niilläkin nähtävissä. Erittäin mielenkiintoinen oli havainto, että kasvupaikan paraneminen ei vaikuttanut negatiivisesti virheettömien runkojen yleisyyteen. Se havainto taas, että pituuden lisääntyessä virheettömien valtapuiden lukumäärä aleni, selitettiin johduttavaksi nopeakasvuimpien runkojen muita suuremmasta taipumuksesta kehittää haaroja ja poikaoksia.

Tutkimuksessa selvitettiin myös rivi-istutuksen vaikutus oksittumiseen ja runkojen soikeuteen. Kuten saattoi odottaakin oksien pituus ja läpimitta riviväleihin päin oli suurempi kuin rivin sisällä. Tiheys rivissä kylläkin hillitsi tätä oksittumista. Soikeutta esiintyi rivi-istutuksissa enemmän kuin neliöistutuksissa. Siihen tuntui eniten vaikuttavan rivin suunta aurinkoon ja tuuleen nähden. Rivitiheys vaikutti laatuun enemmän kuin rivivälin suuruus, joten sitä lisäämällä voitiin käytännössä vähentää rivivälin haitallisia vaikutuksia.

Tämän tutkimuksen perusteella Kramer (1977) ehdotti siirryttäväksi silloista käytäntöä hieman vähäisempään alkutiheyteen, virheettömien valtapuiden auttamiseen taimikonhoidolla jo nuoruusvaiheesta alkaen ja 400—600 kantapuun karsimiseen.

Kramer ja Jünemann (1984) selvittelivät harvennusajankohtaa harvana ja tiheänä perustetussa istutusmetsikössä. Alle 10 000 rungon tiheys edellytti ensimmäistä harvennusta vasta 8—12 metrin pituisena, jolloin läpimita oli jo 10—15 cm. Tiheimmät metsiköt tarvitsivat ensiharvennusta jo 5—8 metrin pituudessa. Tällöin runkolukua oli pienennettävä voimakkaasti. Harvennuksella pyrittiin torjumaan latvusten supistuminen, pohjapinta-alan kasvun pysähtyminen sekä lumituhojen aukkoja tekevät vaikutukset.

Viime aikoina taloudelliset tekijät ovat Saksassakin pakottaneet etsimään istutuksessa rationalisointimahdollisuuksia. On myös perustettu uusia kokeita, joissa mm. rotukysymykset on otettu huomioon aikaisempaa tarkemmin (esim. Mathieu 1967).

Kuitenkin istutusväliohjeet ovat säilyneet samanlaisina vuosikymmenestä toiseen. Käytännössä kehoitetaan edelleenkin noudattamaan Suomeen verrattuna hyvin korkeita viljelytiheyksiä (Schmidt-Vogt 1966). Kymmentuhannen taimen hehtaari tiheyden katsotaan jo vaarantavan tulevan mäntysadon laatua ja 6 000 taimen tiheyttä pidetään yleisesti vain vähäarvoista mäntypuuta tuottavana.

## 22. Pohjois-Amerikka

Viljelytiheys on myös Pohjois-Amerikassa ollut monipuolisen kokeilun ja tutkimuksen kohde 1900-luvun alusta. Siihen saakka oli noudatettu Euroopasta viime vuosisadan puolelta omaksuttua käytäntöä tiheine kylvöineen ja istutuksineen. Yli 6 000 taimen hehtaari tiheys oli yleinen niin kauan kuin viljelyalat olivat pieniä ja vanhoja luonnonmetsiä oli riittävästi käytettävissä. Kittredge (1929) mainitsi eräästä lähelle Ottawaa perustetusta havupuuviljelmästä, jossa oli käytetty 18 000 kpl/ha:n tiheyttä. Stevensonin ja Bartoon (1939) mukaan mm. Macoun oli vuonna 1903 puolustanut kyseistä tiheyttä, koska puusto silloin suojaa maata ja on samalla kestävä kovaa tuulta vastaan. Samoin perustein asetettiin silloisissa metsänviljelyohjeissa tiheiden istutusten kannalle korostaa hyvän runkomuodon ja ohutuksaisuuden etua. Saman lähteen mukaan sikäläiselle strobsumännille (*Pinus strobus*) suositeltiin ohjeeksi 7 000 rungon viljelytiheyttä hehtaaria kohti.

Nämä periaatteet säilyivät voimassa aina

1920-luvun loppupuolelle asti. Harva-asentoisia viljelymetsiä pidettiin luonnonvastaisina mm. siksi, että luonto perustaa tiheitä taimikkoja ja antaa vahvimpien puuyksilöiden voittoa heikompana. Jos ihminen pyrkii vähentämään tätä kilpailua, hän kulkee luonnon ohjailemisessa epäterveeseen suuntaan.

Kasvatavat istutuskustannukset ja puuyksilöiden nopean järeytymisen tavoittelu johtivat kuitenkin suurista tiheyksistä luopumiseen. Haluttiin seurata Euroopassa syntyneitä uusimpia virtauksia (esim. Hiley 1930). Perusteena käytettiin mm. erästä englantilaista sitkankuusen (*Picea sitchensis*) istutuskoetta vuodelta 1935, jossa oli käytetty neljää tiheyttä; 12 500, 5 600, 3 150 ja 1 770 kpl/ha. Tuloksia tästä kokeesta esitti myöhemmin eli noin 30 vuotta istutuksen jälkeen mm. Brazier (1970). Harvin istutus oli tällöin tuottanut eniten myyntikelpoista kuitupuuta, joskaan kokonaistuotoksessa se ei ollut edullisin.

Lisäperusteluna harvalle istutukselle esitettiin kiertoajan lyhentäminen (esim. Toumey ja Korstian 1931). Hawley (1937) esitti käytännön ohjeeksi, että istustustiheyden tulisi olla sikäläisillä havupuilla eri kasvupaikoilla ja seuduilla suunnilleen  $6 \times 6$  ja  $8 \times 8$  jalan välillä eli 3 000—1 700 kpl/ha. Mikäli kuitenkin oli pelättävissä suuria taimihäviöitä tai pienellä harvennuspuulla oli menekkiä, voitiin perustella suurempiakin tiheyksiä.

Stevenson ja Bartoo (1939) selostivat erästä Amerikan punamännyn (*Pinus resinosa*) 3-vuotisilla taimilla perustettua koetta, jossa oli käytetty istustustiheyksiä 1 100, 2 300, 3 100 ja 4 500 kpl/ha. Kun koe 16-vuotiaana inventoitiin, näytti siltä, että harvimmat istutusvälit olisivat antaneet parhaan tuloksen. Jopa harvin istutus tuotti hyvän tuloksen nopean pituus- ja läpimittakehityksen vuoksi. Edellytyksenä oli kuitenkin elävien oksien karsiminen varhaisessa vaiheessa. Harvojen istutusten uusi haitta niin lehti- kuin havupuillakin oli puuaineen tiheyden ja lujuuden heikkeneminen nopean kasvun vuoksi. Tämä havaittiin myös jättiläispunapuulla (*Sequoia sempervirens*). Harvana kasvatus aiheutti myös sen, että puutavara vääntyili myöhemmin käytössä (Paul 1930 sekä 1932a ja b). Paul korostikin laadun suurta merkitystä ja kehotti asettamaan sen puustojen hoidossa jopa paksuuskasvunkin edelle. Hän päätyi myös suosittelemaan pystykarsintaa toisen polven metsiköiden kasvatuksessa (Paul

1933) ja julkisti asiaa käsittelevän oppikirjan (Paul 1938). Siinä esitettiin mm. tuloksia 40 vuotta aikaisemmin tehdystä karsimisesta. Paul kokeili v. 1939 silmukarsintaakin Amerikan punamännnyllä (*Pinus resinosa*) (Paul 1946).

Hawley ja Clapp (1935) havaitsivat Paulin ilmoittamia haittoja myös strobuserännyn (*Pinus strobus*) harvoissa metsiköissä. Pystykarsinta osoittautui välttämättömäksi pyrittäessä hyvälaatuisen sahapuun tuottamiseen. He huomauttivat, että myös luonnonmetsistä saadaan oksatonta puutavaraa vain runkojen pintaosista.

Byrnes ja Bramble (1955) selostivat erästä Pennsylvaniassa punamännnyllä (*Pinus resinosa*) tehtyä koetta, jossa oli käytetty istutusvälejä  $5 \times 5$ ,  $6 \times 6$ ,  $6 \times 8$  ja  $10 \times 10$  jalkaa eli tiheyksiä 4 500, 3 100, 2 400 ja 1 100 kpl/ha. Koe oli inventoitu 16, 25 ja 30 vuoden kuluttua istutuksesta. Keskiläpimitta oli ylivoimaisesti suurin harvimmassa asennossa. Keskipituus oli 16 ikävuoteen saakka kaikissa tiheyksissä sama, mutta sen jälkeen harvimmat asennot olivat kasvaneet nopeimmin. Kuitenkin valtapuilla pituus oli kaikissa tiheyksissä edelleen yhtä suuri. Kun verrattiin puita, jotka täyttivät vähintään 7 tuumaa rinnankorkeudelta, harvimmat asennot antoivat yli kaksinkertaisen kaupallisen tuotoksen tiheimpiin verrattuna.

Eversole (1955) kuvasi erästä Washingtonin osavaltiossa kasvavaa douglaskuusikoetta (*Pseudotsuga menziesii*), jossa oli käytetty viittä tiheyttä: 7 100, 5 000, 3 100, 1 800 ja 1 300 kpl/ha. Pääkäsytymyksenä kokeessa oli tutkia, voisiko tiheys 1 800 kpl/ha olla sopivin sekä teknisesti että taloudellisesti luoteisrannikon oloissa. Koe mitattiin v. 1951 eli 27 vuoden ikäisenä. Todettiin mm., että puuston pohjapinta-ala ja kuutiotuotos alenivat tiheyden pienentyessä. Myyntiin kelvollista puuta saatiin kuitenkin harvimmista asennoista eniten. Tiheissä istutuksissa suuri kuutiotuotos jakautui suureen lukumäärään pieniä runkoja, joista useat lisäksi oli tuomittu häviämään luontaisena poistumana. Ensimmäisen viiden vuoden kasvun jälkeen tiheimmät asennot olivat jonkin verran harvoja pitempiä, mutta 27 vuoden iässä suhde oli päinvastainen. Tällöin keskipituus oli harvimmilla koealoilla 48, mutta tiheimmillä vain 38 jalkaa.

Harvimmat istutukset tuottivat parhaimman tuotoksen sekä läpimitan, pituuden että käyttökelpoisen tuotoksen osalta. Lisäksi

havaittiin, että kokeen suurinkaan tiheys ei sellaisenaan riittänyt tuottamaan oksatonta puuta. Päädyttiin tulokseen, että kannattaa käyttää jopa harvinta kokeiltua istutusväliä ja yhdistää siihen varhainen pystykarsinta.

Grah (1961) selvitteli oksaisuuden kehittymistä ja sen kaupallista merkitystä Kalifornian oloissa luontaisesti uudistuneissa *Pseudotsuga menziesii* metsiköissä. Niistä valittiin eri tiheyksiä 20 vuoden iässä. Hän vertasi tuloksia edellä mainitun Eversolin tuloksiin. Vertailulla voitiin osoittaa, että metsikön syntyavalla ei ollut merkitystä oksaisuuden muodostumisessa. Ainoastaan kasvutila ratkaisi asian, sillä erittäin selvä riippuvuus vallitsi kasvutilan ja oksaisuuden välillä. Havaittiin myös, että jos kasvutila oli aivan liian suuri eli runkojen etäisyys toisistaan oli yli 18 jalkaa (5,3 m eli 360 kpl/ha), tukeista ei enää tullut sahauskelpoisia.

Harms ja Collins (1965) selostivat erästä nuorehkoa *Pinus elliotii* koetta Georgiassa. Koe kasvoi maalla, jonka pituusboniteetti 25 vuoden iällä oli 19 m. Kokeessa oli mukana neljä neliömäistä ja neljä rivi-istutusta. Rivivälit olivat 8, 10, 12 ja 15 jalkaa ja taimivälit riveissä 5, 6 ja 7 1/2 jalkaa, joten tiheydet olivat noin 2 300, 1 500 ja 1 000 kpl/ha. Neliömäisessä järjestelyssä taimivälit olivat 6, 8, 10 ja 15 jalkaa eli vastaavat tiheydet olivat 3 100, 1 800, 1 100 ja 500 tainta hehtaarilla. Kasvutilalla oli voimakas vaikutus läpimitkakasvuun, mutta vain vähän vaikutusta pituuskehitykseen. Poikkeuksen muodostivat kuitenkin erittäin harvat istutukset, joissa pituuskasvu oli selvästi heikompi kuin muilla istutusväleillä. Tutkijat selittivät sen johtuneen maaperäoloista. Tuotos oli suurin tiheimmissä viljelmissä, mutta kaupallinen saanto suurin harvahkoilla koealoilla.

Godman ja Cooley (1970) selostivat Minnesotan olosuhteissa v. 1941 karuhkalle mentyymaalle perustettua *Pinus banksianan* istutusvälikoetta. Se oli inventoitu kolme kertaa: 9, 14 ja 22 vuoden ikäisenä. Tutkijat vertasivat kokeen eri vaiheissa tehtyjä johtopäätöksiä. Istustus tiheydet tässä kokeessa olivat: 1 400, 2 300, 4 500, 12 000 ja 50 000 kpl/ha. Inventointi, joka oli tehty 9 vuoden kuluttua istutuksesta, viittasi siihen, että 4 500 taimen tiheys oli puuston kehityksen kannalta lupaavin. Ehdoton minimitiheys näytti olevan silloin noin 2 300 kpl/ha, vaikka siinäkin tiheydessä ei näyttänyt olevan harventamisen tarvetta eikä mahdollisuuksiakaan ennenkuin puut olivat saavuttaneet kaupalliset mitat.

Tiheys 1 400 kpl/ha näytti aivan liian harvalta.

Viimeinen, 22 vuoden iässä tehty inventointi osoitti arviot lähelle oikeaa osuneiksi. Arviot olivat tosin olleet hieman liian optimistisia tiheimpien asentojen tuotoksen osalta ja liian pessimistisiä harvempien asentojen teknisen kehityksen osalta. Viimeisessä inventoinnissa näytti nimittäin jopa 1 400 rungon tiheys täysin hyväksyttävältä, mikäli kyseessä oli pelkästään paperipuun tuottaminen. Kaikkein tiheimmillä koaloilla (50 000 kpl/ha) 2/3 alkuperäisistä puista oli jo kuollut pääasiassa lumen murtamina. Tiheydessä 12 000 kpl/ha ei lumituhoja sen sijaan ilmennyt. Nämä metsiköt näyttivätkin tasaisilta ja olivat tuotokseltaan hyviä, vaikka vielä 22 vuoden iässä ei ollut valtapuidenkaan joukossa kaupallisia mittoja saavuttaneita runkoja.

### 23. Suomi ja Ruotsi

Suomen varhaisimpiin metsänviljelyohjeisiin on ollut suuri vaikutus Saksasta saaduilla opeilla, joita meille tuli sekä suorien opintomatkojen tuloksina että Ruotsin meitä vanhemman käytännön välittämänä. Metsähallituksen ylitirehtööri C.W. Gylden käsitteli jo 1800-luvun puolivälissä julkaisemassaan metsänhoidon oppikirjassa (Gylden 1853) mahdollisuutta uudistaa mäntyä kylvön ohella myös istuttamalla. Pienille, 2—3-vuotisille taimille hän suositteli 2—3 jalan etäisyyksiä ja suuremmille, jo miehen mitan saavuttaneille lehtipuun taimille jopa 10 jalan etäisyyttä. Vastaavat taimiluvut hehtaaria kohti olivat 28 300—12 600 ja 1 140.

Vuosisadan lopulla ilmestyneessä oppikirjassa ”Lyhykäinen metsänhoidon oppi” Wahlroos (1892) jo esitti metsänviljelyn edullisena uudistamisvaihtoehtona lohkokakkuun ja siemenpuiden jättämisen rinnalle. ”Sillä tavalla tulisi myöskin taimisto tarpeeksi taaja ja peittäisi maan pikemmin, niin ettei se paljaana ollessaan suurestikaan joutuisi huonontumaan”. Metsänistutuksessa ”tarkasti punnittakoon, kuinka taajaan taimet ovat pantavat. Sillä jos niitä istutetaan tarpeettoman taajaan, menee työtä hukkaan ja taimia kuluu paljon. Harvasta istutuksesta taas on se haitta, että vesat kasvavat oksaisiksi ja vääriksi sekä, että maa huononee varjotomuuden takia”. Työssä Wahlroos kehottaa noudattamaan joustavuutta tilanteen mu-

kaan. ”Joutuisasti kasvavat taimet ovat istutettavat harvempaan ja vitkallisemmin kasvavat taajempaan. Nuoret taimet pannaan taajempaan ja vanhemmat vesat harvempaan. Huonolla maalla tiheentyy metsä vitkallisemmin, jonka tähden taimia siinä tulee olla taajemmassa; hyvällä maalla on asian laita päinvastainen. Keskimäärin pannaan 2 ja 5 vuoden välillä olevat taimet noin 1 metrin päähän toisistansa ja rivien väliä jätetään tässä tapauksessa 1 1/2 taikka 2 metriä” (4 450—2 500 kpl/ha). ”Kun nuoria puita syötinmaitiin istutetaan, jätetään niitten väliä 4 tahi 7 metriä, joten semmoisia menee ainoastaan 2:desta 6:een aarin alaan” (225—625 kpl/ha).

Istutusväliä koskevat ohjeet olivat siihen aikaan hyvin joustavat ja ratkaistavissa paikallisen harkinnan ja tilanteen mukaisesti. Istutukset olivatkin vain poikkeuksia ja yleensä myös pienialaisia.

Antaessaan ”ohjeita metsän kylvössä ja istutuksessa” Paavonen (1915) esitti ratkaisun kylvön ja istutuksen välillä pohjautuvan pääasiassa maan ja maapeitteen laatuun, kosteuden ja sademäärän runsauteen kevätaikana sekä puulajiin. Hän jatkoi: ”Kokemuksena on tultu siihen lopputulokseen, että mäntyä ja kuusta kylvettäessä sopii asettaa kylvörüudut toisistaan n. 1,5 metrin etäisyydelle. — — Taimien etäisyys toisistaan istutusta käytettäessä sopii asettaa yhtä suureksi kuin ruutukylvössä kylvörüudujen etäisyys on toisistaan. Männylle ja kuuselle siis noin 1,5 metrin istutusväli kunkin taimen välillä. Kivisellä, epätasaisella metsämaalla tietysti kunkin taimen istutuspaikaksi valitaan lopullisesti se kohta, missä niillä on mahdollisuutta parhaiten kasvaa. — — Jos tätä etäisyyttä käytetään, menee taimia 4 444 kpl hehtaarin alalle. Kuitenkin kouluttamattomia taimia istutetaan siten, että samaan kuoppaan asetetaan kaksi tai kolmekin tainta.”

Hannikainen esitti Metsänhoito-opissaan (1919): ”Kylvöpaikat ovat perattavat niin lähelle toisiaan, että kyllin tiheä nuori metsä pääsee nousemaan, sillä tiheä taimisto tarjoaa aina hyötyisemmän kasvun kuin harva ja aukkoinen. Pitempiä välimatkoja kylvöpaikkojen välillä kuin 1—1,50 metriä ei ylipäänsä ole käytettävä. — — Tavallisimmille metsäpuille, männylle, kuuselle ja koivulle ovat mainitut välimatkat kylvöpaikkojen välillä sopivimmat”. Joustomahdollisuuksia kuitenkin oli: ”Taimimääriä laskettaessa täytyy olla selvillä kuinka tiheään istutetaan.

Tässä suhteessa on huomioonotettava, että varjoa sietävät lajit istutetaan tiheämpään kuin runsasta valoa vaativat, suuret, monasti koulutetut taimet sekä kallisarvoiset puulajit harvempaan kuin pienet ja halpa-arvoiset”. Tämän jälkeen Hannikainen esitti vaihtoehtoisia taimivälejä tiheysalueella 2 500—10 000 kpl/ha. ”Taimistoa harvennetaessa on säästävaisesti meneteltävä ettei nuorta metsänalkua harvenneta enemmän kuin välttämätön tarve vaatii. Tämä toimi on sentähden etupäässä supistettava ainoastaan semmoisiin paikkoihin, jossa kylvön jälkeen taimet nousevat niin tiheissä kimpuiissa, etteivät ne siinä hyötyisästi pääse kasvamaan. Tavallisesti voivat havupuun taimet ensimmäiset vuotensa hyvin menestyä 30 senttimetrinkin päässä toisistaan (n. 110 000 kpl/ha). Ylipäänsä sen kautta että taimisto ensimmäiset ikävuotensa on tiheässä kasvanut, on alku hyvälle metsänkasvatukselle saatu”.

Oppikirjassaan ”Metsän kylvö ja istutus” Borg (1926) valitti aluksi silloista muotisuuntaa, joka selvästi oli ”luonnonsiemennyksen puolella” siitä huolimatta, että ”metsänviljelyksen edut luonnonsiemennykseen verrattuna ovat nopeus, hakattu ala saadaan viipymättä uutta metsää kasvamaan ja pienemmät kustannukset, jos luonnonsiemennyksen tiheydelle ja tasaisuudelle asetetaan yhtä suuret vaatimukset kuin metsänviljelyssä”. Borg korosti samalla siemenen alkuperän tärkeyttä. Kylvö- ja istutustiheydeksi hän suositteli männylle 5 000 kpl/ha.

Yksityismetsälain tultua voimaan v. 1927, puunkäytön lisääntyessä sekä neuvonnan ja metsien hoidon voimistuessa tarvittiin käytännön työssä yhtenäisiä ohjeita. Keskusmetsäseura Tapio ryhtyi julkaisemaan Tapion taskukirjaa (esim. 1931). Siinä Arvid Borgin istutussuositus sekä kuuselle että männylle oli tehty edelleen 5 000 taimen perusteella, mutta vaihtoehtoja varten oli mukaan liitetty taulukko myös eri taimiväleistä tiheysalueelle 1 111—10 000 kpl/ha.

Käytännön paineessa tiheysuositus kuitenkin aleni. Jo v. 1935 Heikinheimo julkaisi selostuksen, jossa todettiin, että kuusen taimia hehtaarille käytetään tavallisesti 2 500 kpl. Kuitenkin Heikinheimo vielä suunnitellessaan 1930-luvun alussa kuusenviljelykokeita käytti tiheänlaisia istutuksia, joissa taimiluvut hehtaaria kohden olivat 1 250, 2 000, 2 500, 3 750 ja 5 000. Taimien keskinäiset etäisyydet vaihtelivat vastaavasti  $2,7 \times 2,8$ :sta  $1,3 \times 1,5$  m:iin.

Vielä vuonna 1945 Kalela esitti oppikirjassaan ”Metsät ja metsien hoito”, että yleisimmin käytetty taimien istutusetäisyys on oksaisiksi kehittyville männylle ja koivulle  $1,3 \times 1,3$  metriä. Se merkitsee 5 900 taimen hehtaariitiheyttä. Kuuselle hän suositteli taimivälejä  $1,5 \times 1,5$  m ( $4\,450$  kpl/ha),  $1,8 \times 1,8$  m ( $3\,100$  kpl/ha) ja  $2,0 \times 2,0$  m ( $2\,500$  kpl/ha). Harvinta tiheyttä hän ehdotti käytettäväksi erityisesti suojusmetsän alla sen vuoksi, että suojusmetsän varjostus ja kilpailu estävät kuusen oksia kehittymästä liian voimakkaasti. Kalela huomautti lisäksi, että vain harvoin istutus voidaan tai on syytäkään suorittaa aivan säännöllisin välein.

Metsänviljelyn laajentamisen tarve voimistui kuitenkin edelleen. Tämä johti siihen, että eräät metsäntutkijat ja käytännön metsäammattimiehet pyysivät professori Olli Heikinheimolta arvovaltaista kannanottoa, jolla voitaisiin saada ”metsänistutukset huokeammiksi ja yleisemmiksi”. Näin syntyikin Metsälehteen artikkeli (Heikinheimo 1951), joka ratkaisevasti vaikutti käytännön viljelyohjeisiin.

Artikkelissa Heikinheimo perusteli istutusvälin suurentamista seuraavasti: ”Meillä välttämättömiksi osoittautuneita metsänviljelytöitä ei ole saatu suoritetuksi siinä laajuudessa, jota niiden tärkeys ja kiireellisyys edellyttäisi. Tämä koskee erityisesti metsänistutusta, jonka osuus keinollisissa metsityksissämme nyt monessa suhteessa muuttuneissa oloissa jatkuvasti lisääntyy. Syyinä hitauteen on lähinnä kalleus sekä taimien ja työvoiman puute. Ne havainnot, joiden tekoon lukuisat istutusmetsämme nyt antavat mahdollisuuden, viittaavat käsittääkseni siihen, että kosteiden varsin huomattavaan lieventämiseen on yksi yhteinen mahdollisuus: siirtyminen nykyistä harvempiin istutusväleihin. — — kun tiedän Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen kokeilualueiden ammattimiesten olevan käsitykseni takana, olen katsonut ajankohdan sopivaksi saattaa tämän metsänkunnostustöittemme tärkeän kohdan laajempien piirien pohdittavaksi”.

Tiheän istutuksen etuina Heikinheimo mainitsi hyvin oksistaan karsiutuneen puuston, korkean puun tuoton sekä varmuuden istutuksen onnistumisesta. Tiheiden istutusten etuja hän kuitenkin piti enemmän kuviteltuina kuin todellisina, joten istutusvälin pidentämiseen oli näin ollen täysi syy. Harvojen istutusten etuina hän mainitsi mm. kustannusten, taimien ja työvoiman säästön,

mahdollisuuden välttää ensimmäisten harvennusten kustannukset ja työn, tuhoja vastaan voimakkaan, nuoren metsän aikaansaamisen, verho- ja harvennuspuiden poiston helpottumisen, vieraidenkin puulajien saamisen istutusalueelle sekä itse istutustyön muuttamisen helpommaksi ja laadultaan paremmaksi, kun hidas edistyminen ei tee työtä ”yksitoikkoiseksi ja tymeäksi”. Myös edellytykset sopivien istutuspaikkojen löytämiseksi helpottuvat. Erään tärkeän varauksen Heikinheimo kuitenkin teki tässä yhteydessä. ”Männyn ja koivun kasvatusta on jatkuvasti keskitettävä laatuun tuottoon. Siksi niille on edelleenkin käytettävä yleensä tiheämpää istutusta kuin kuuselle”. Lopputuloksena Heikinheimo päätteli: ”Yleisimmin soveltuvat istutusvälit ovat käsittääkseni männylle ja koivulle  $2,0 \times 2,0$  m, joskus  $1,75 \times 1,75$ , kuuselle  $2,5 \times 2,5$  m, joskus  $2,25 \times 2,25$  m, lehtikuuselle  $3,0 \times 3,0$  m”. Heikinheimon mukaan olisi näin menetellen saatavissa noin 50 %:n säästö istutuskustannuksissa, istutusalan lisääntyminen puolella ja istutetulta lisäaalalta yhteensä 1 milj. m<sup>3</sup>:n kasvun lisäksi 10 vuodessa toimenpiteen onnistuessa.

Heikinheimo saattoi kysymyksen istutusvälin suurentamisesta ”laajempien piirien pöhdittäväksi”. Näin tapahtui ja muutamia numeroita myöhemmin Metsälehdessä julkaistiin kolmekin mielipidettä, jotka kaikki olivat viljelyvälin pidentämistä vastaan erityisesti männyn osalta (Laurila 1951, Rancken 1951 ja Tanttu 1951). Kirjoittajat tosin ymmärsivät Heikinheimon tarkoituksen ja osittain yhtyivätkin hänen mielipiteeseensä kuusen ja lehtikuusen osalta. Tanttu huomautti valvonnan tehottomuudesta yksityismetsien laajaperäisissä oloissa. Hän viittasi työntekijöiden tottumattomuuteen ja taimien heikkoon laatuun sekä metsien laiduntamiseen, joka silloin oli yksityismetsissä verraten yleistä. Hän piti istutusvälin suurentamista mahdollisena vasta sitten, kun nämä heikkoudet on saatu pois päiväjärjestyksestä.

Tantun loppupäätelmä oli: ”Metsänparannuskylvöjen ja istutusten tuloksena ei saa olla puoliharvat metsät”. Rancken taas piti Heikinheimon kantaa suurin piirtein ymmärrettävänä ja oikeana, jotta kustannuksia keventäen saataisiin uutta metsää syntymään mahdollisimman laajalti. Hän arvioi kuitenkin Suomen eteläisimmän rannikon olosuhteiltaan siksi suotuisaksi, että noin 4 500 taimen hehtaari tiheys ei olisi liian suuri ”täkäläisen hyvän maan tuottokykyä vastaamaan”.

Hänen mukaansa jopa 6 000 taimen tiheyttä on männylle vakavasti ehdotettu ja jonkin verran käytettykin pyrittäessä laatuun kasvatukseen. Ranckenin käsityksen mukaan lehtomaisilla mailla ei kannattanut pidentää myöskään kuusen istutusväliä, koska 4 500 taimen tiheyteen istutetut kuusikot olivat etelärannikolla tuottaneet  $300\text{—}350$  m<sup>3</sup>/ha niinkin nuorina kuin 30 vuoden iässä. Laurila osaltaan kertoi Lounais-Suomesta siirrytyn yhä enemmän istuttamaan mäntyä. Tällöin oli yleisesti käytetty  $1,25 \times 1,0$  m (8 000 kpl/ha) tai  $1,0 \times 0,8$  m välejä (12 000 kpl/ha), mutta esimerkiksi  $2,0 \times 2,0$  m välejä (2 500 kpl/ha) vain harvoin. Vaikka epäily kuulsikin Laurilan rivien välistä, hän kuitenkin kuusen osalta yhtyi Heikinheimon ehdotuksiin.

Istutusvälit vakiintuivat kuitenkin Heikinheimon esittämälle tasolle. Myöhemmissä ohjeissa ja käytännössä ne jopa edelleen suurenlivat (Tapio, metsähallitus, Metsäteollisuuden keskusliitto). Tilanne hyväksyttiin myös oppikirjoissa, joskin Yli-Vakkuri (1956) viittasi samaan kuin Heikinheimokin: ”Männyn istutuksessa voitaisiin käyttää hieman kuusenviljelyssä käytettyä pienempää istutusväliä, jopa 1,8 metriä (noin 3 100 kpl/ha) olosuhteista riippuen”. Kun ammattimiesten keskuudessa edelleenkin ilmeni huolestuneisuutta istutusmänniköiden teknisen laadun kehityksestä, Yli-Vakkuri (1968) puolusti hyväksytyjä istutusvälejä ja vetosi myös taloudellisuuden vaatimuksiin.

Kuitenkin jo tänä aikana, jolloin käytännön metsänhoidon tärkein päämäärä yleisesti oli vain kuutiotuotoksen suuruus, esitti Heiskanen (1965) täydellisen ohjelman myös laatumännyn tuottamiselle ja muotoili tämän päämäärän saavuttamisen ehdot ja ohjeet.

Tästä huolimatta vuonna 1965 julkaistussa Tapijon taskukirjassa (Kauttu 1965), jonka ohjeet perustuivat pääasiassa metsähallituksen omaksumiin asenteisiin, mainittiin ”aiemmin käytetyn” 4 500 laikkua hehtaarilla, mutta nyt siirrytyn harvempaan taimiväliin eli 2 500 kpl:een/ha tiheyteen. Metsähallituksen ”ohjekirje eräistä hakkuu- ja metsänhoitotoimenpiteistä Etelä-Suomen piirikunnassa” vuodelta 1971 oli samoilla linjoilla. Siinä esitettiin käytettäväksi  $2\,500\text{—}1\,600$  kpl/ha tiheyksiä männyn viljelyssä kasvupaikasta riippuen siten, että karuille kasvupaikoille suositeltiin harvaa viljelyväliä.

Suomen vanhimmat, varsinaiset viljelytiheyskokeet perustettiin v. 1933 (Heikinheimo

1941). Niissä tutkittiin pelkästään kuusta. Männyn tiheyskokeita ryhdyttiin perustamaan vasta 1950-luvun alussa. Niiden määrä jäi silloin vähäiseksi eikä niissä käytetty niin pieniä taimivälejä, että tiheydellä sellaisenaan olisi ollut tuntuvaa vaikutusta runkojen tekniseen laatuun. Suomessa eri tiheyksillä perustettuja istutus- ja kylvömänniköitä on Uusvaara (1974 sekä 1981a ja b) analysoinut. Tulokset osoittivat, että käytetyt männyn viljelytiheydet eivät olleet riittäviä turvaamaan korkealaatuisen sahapuun tuotosta.

Vasta vuoden 1985 ohjekirjeessä metsien käsittelystä Etelä-Suomen piirikunnassa metsähallitus nosti tavoitteen männyn kylvössä ainakin 5 000 taimen tiheyteen. Saman ohjeen mukaan tuoreilla kankailla männyn istutustiheys on 3 000, kontortamännyn 2 000 ja koivun sekä lehtikuusen 1 600 kpl/ha. Kuivilla kankailla männyn istutustiheys on 2 500 kpl/ha. Erityisesti männyn osalta kehitys on siten kääntynyt kohti varhaisempien aikojen käytäntöä. Sama suuntaus on nähtävissä myös Tapion taskukirjan uusimmassa painoksessa (Nieminen 1986). Sen mukaan mäntyä ja kuusta voidaan istuttaa jo 3 000 kpl hehtaarille.

Ruotsissa metsänviljely oli vielä 1800-luvun loppuvuosikymmeninä tilastojen mukaan hyvin harvinainen metsien uudistamisen muoto (Persson 1976). Sitä harjoitettiin vain noin 0,2 %:lla talousmetsien pinta-alasta. Täysviljelyssä oli hallitsevassa asemassa kylvö ja täydennysviljelyssä istutus. Viljelyä esiintyi vain kartanoiden ja yhtiöiden metsissä. Siemen oli yleensä paikkakunnalta kerättyä. Vasta 1940-luvulla avohakkuu ja sen mukana viljely alkoivat yleistyä.

Domänstyrelsenin aloitteesta Ruotsin metsäntutkimuslaitos otti myös viljelyvälikokeet ohjelmaansa 1906. Seuraavina vuosina Ruotsiin perustettiin kahdeksan taimivälikoetta kuuselle ja männylle. Viljelyn heikko onnistuminen ja myöhemmin sattuneet tuhot johtivat kuitenkin siihen, että näistä viiden seuraaminen oli jo v. 1920 lopetettava vanhimman kokeista ollessa vasta 15-vuotias.

Mäntykokeista ainoaksi jäi siten Skaraborgin lääniin perustettu Granvikin istutusvälikoe, joka on pitkiksi ajoiksi jäänyt Etelä-Ruotsin tärkeimmäksi tietolähteeksi näissä kysymyksissä. Tämän kokeen tarjoamaa aineistoa on jouduttu käyttämään lukuisissa sikäläisissä tutkimuksissa (mm. Eklund 1956, Nylinder 1959, Carbonnier 1964). Myös Suomessa on sen tuloksia selostettu (esim.

Huuri 1965a ja b sekä Kärkkäinen 1976).

Granvikissa käytettiin kylvössä 1,0 ja 1,5 metrin ruutuväliä ja istutuksessa 0,75, 1,25, 1,5 ja 3,0 metrin taimivälejä. Nämä merkitsivät 17 900, 6 400, 4 400 ja 1 100 rungon hehtaartiheyksiä. Koelajojen pinta-ala vaihteli 15 aarista hieman yli 20 aariin. Toistoja ei koeksessa valitettavasti ollut. Istutus 1,5 metrin taimivälein (noin 4 400 kpl/ha) osoittautui edullisimmaksi sekä massatuotoksen että taloudellisen tuloksen osalta. Kolmen metrin istutusvälillä sahapuun osuus jäi niin vähäiseksi, että se pudotti tuotoksen arvon jopa tiheiden kylvöjen alapuolelle, vaikka istutettujen runkojen järeys kehittyikin nopeammin kuin tiheään kylvetyillä puilla.

Carbonnier (1964) päätyi Granvikin koetulosten perusteella taloudellisten laskelmien jälkeen suosittelemaan männiköiden perustamistiheydeksi maaperästä riippuen 4 500—6 400 kpl/ha.

Myöhemmin perustettuja tiheyskokeita ei Ruotsissa ole niiden nuoruuden takia vielä lopullisesti analysoitu. Niistä on kuitenkin tehty mittauksia, joita on verrattu Granvikin kokeen varhaisempiin mittauksiin uudempien tulosten yleistämismahdollisuuksien selvittämiseksi (mm. Elfving 1975 ja Persson 1977).

Männynviljelyn kokonaisvaikutuksia hahmotellessaan Persson (1976) päätyi seuraaviin johtopäätöksiin:

- Siirtyminen tiheistä luonnonmänniköistä harvoihin viljelymänniköihin ei voi olla jättämättä vakavia haitallisia vaikutuksia tulevien mäntysukupolvien tekniseen laatuun ja sahauskelpoisuuteen.
- Ei edes 10 000 rungon istutustiheys riitä takaamaan hyvälaatuisen sahapuun saantoa ilman lisätoimenpiteitä.
- Granvikin kokemusten perusteella ei 2 500 rungon hehtaartiheys takaa edes tukirakenteisiin riittävän lujan rakennuspuun saantia. Tällä istutusvälillä tuotettu mänty sopii vain pintarakenteisiin ja paperiteollisuuden raaka-aineeksi.

Tilanteen parantamiseksi Persson kehotti turvautumaan karsimiskelpoisten mäntyrunkojen pystykarsintaan, lehtipuusekoituksen hyväksikäyttöön tiheyden lisääjänä sekä ennen kaikkea hajakylvön ja luontaisen uudistamisen käyttöön niille sopivilla maaperillä sekä liian varhaisten harvennusten välttämiseen.

## 24. Muut maat

Neuvostoliitossa on 1930-luvulta alkaen perustettu lukuisia männyn viljelytiheyden vaikutuksia selvittelyä kokeita.

Ne kasvavat lähinnä Keski-Eurooppaa muistuttavissa oloissa Moskovan läheisyydessä ja Ukrainassa (esim. Vakuljuk ym. 1980, Rjabokon ja Litach 1981 sekä Merslenko ja Curtsev 1982). Tiheys on vaihdellut välillä 2 500—20 000 runkoa hehtaarilla. Tutkimuksissa on päähuomio kiinnitetty biomassan tuotantoon ja itse puuaineen laatuun eikä niissä ole pyritty selvittämään tiheyden vaikutusta rungon sahauskelpoisuuteen.

Shilkin (1955) lainasi julkaisussaan aluksi Morosovia ja muita aikaisempia tutkijoita, joiden mukaan männyntaimia on istutuksessa käytettävä 40—50-kertainen määrä sille runkoluvulle, jonka toivotaan kasvavan metsikössä sen ollessa 100-vuotias. Se merkitsi 10 000—30 000 taimen istutustiheyttä.

Shilkinin kokeessa käytettiin rinnan rivistutusta ja neliöistutusta alkaen 5 000 taimesta ja jatkuen noin kymmenentuhannen taimen välein aina 80 000 taimen hehtaarilla. Istutus tehtiin vuonna 1949 moreenimaalle Minskin lähellä sijaitsevassa Dsershinskin hoitoalueessa. Koe mitattiin ensimmäisen kerran 6-vuotiaana. Paksuuskasvu oli suurin harvimmassa eli 5 000—10 000 taimen tiheydessä. Tiheimmät asennot antoivat vain noin 70 % harvempien istutusten paksuudesta. Pituuskehitys oli myös voimakkain harvoissa istutuksissa. Runkopuun kokonaistuotos kuitenkin nousi jatkuvasti tiheyden lisääntyessä.

Ekologiset mittaukset osoittivat, että ilma oli lämpimän, mutta maanpinta kylmän tiheissä istutuksissa ja kosteus suurin tiheissä. Myös lumen sulamisveden varastointi ja veden haihtumissuora olivat tiheissä istutuksissa parhaat. Taloudellisesti edullisimmaksi osoittautui 30 000 taimen tiheys käytettäessä rivi-istutusta. Näin ollen Shilkin päätyi vahvistamaan Morosovin käsitykset tiheiden istutusten käytöstä täysin oikeiksi. Noin 20 000—30 000 taimen tiheydessä oli optimi ja tulos huononi siitä molempiin suuntiin

etäännyttäessä.

Australiassa ja Uudessa Seelannissa sekä myös Etelä-Afrikassa tehtiin kymmenvuotiskautena 1939—1948 laajaa kokeilutyötä suositusten löytämiseksi eteläisten mäntylajien viljelylle (Craib 1947). Tulokset osoittivat, että nopeakasvuilla lajeilla: *Pinus pinaster*, *P. insignis*, *P. patula*, *P. taeda* ja *P. caribea* tiheydet 2 300:sta vain 800 runkoon hehtaarilla antoivat hyväksyttävän taloudellisen tuloksen. Paras mahdollinen tuotto saatiin kuitenkin runkoluvulla noin 1 400 kpl/ha. Harvennukset oli aloitettava varhain taloudellisten tappioiden välttämiseksi.

Tiheyttä 3 000 kpl/ha käytettiin vain, jos kyseessä oli hoikkien runkojen kasvattaminen erikoistarkoituksiin. Sellaisissa tapauksissa, joissa jyrkijävaara oli erityisen suuri, suositeltiin maan kyntämisen ja polttamisen ohella istutettavaksi suuria taimimääriä. Karuilla mailla ja hidaskasvuilla mäntylajeilla (*Pinus longifolia*, *P. palustris* ja *P. canariensis*) suositeltiin jopa alle 800 rungon istutustiheyttä. Harvaan istutusasentoon liittyi välttämättömänä toimenpiteenä kuitenkin oksien karsiminen, joka aloitettiin varhaisella iällä eli 6 metrin pituudessa, jolloin karsittiin 2,5 metriin. Yhdeksän metrin pituudessa karsittiin 4,5 metriin ja 12 metrin pituudessa 6,6 metriin.

Uudessa Seelannissa tehtyjä *Pinus radiata* kokeita selostivat mm. Cromer ja Pawsey (1957). Istutustiheys vaihteli välillä 1 000—3 150 tainta hehtaarilla. Viidentoista vuoden kuluttua näytti siltä, että harvimmat istutukset antoivat parhaan taloudellisen tuloksen. Myöhemmin Harris ym. (1976) pitivät suorastaan kansallisena onnettomuutena, että tiheitä *Pinus radiata* metsiköitä jouduttiin kasvattamaan oksittumisen pelossa jopa 45 vuotta harventamattomina. He ehdottivat tämän puulajin viljelyssä käytettäväksi harvaa istutusta ja varhain aloitettua monivaiheista karsintaa. Karsimista kuitenkin vaikeuttavat radiatamännyn jyrkkä oksakulma, taipumus tehdä useita oksakiehkuroita vuodessa sekä rungon silmuista syntyvät myöhäisoksat.

### 3. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

#### 31. Koealat

Tutkimusaineisto käsittää 20 varsinaista koealaa (liite 1). Koemetsiköistä, joihin ne on sijoitettu, kolme on istutettu käytännön metsänviljelytyönä. Muut koemetsiköt on alunperin perustettu männynistutuskokeiksi. Täydentävä aineisto käsittää 15 koealaa (liite 2). Niistäkin 11 kpl sijaitsee varsinaisten metsänviljelykokeiden alueilla. Koealat 33 ja 34 on perustettu luontaisesti ja koealat 31 ja 32 hajakylvöllä syntyneisiin männiköihin. Kaikki koemetsiköt sijaitsevat suppealla alueella Hartolan pitäjässä. Laajan tiheysvaihtelun ja pitkän kehityskautensa vuoksi aineisto, joka on vanhin tämän tyyppinen kokeellinen materiaali Suomessa, tarjoaa harvinaisen mahdollisuuden ainakin suuntaa-antavasti selvittää myös tiheyden vaikutusta istutusmännikön tekniseen laatuun ja tuotokseen.

Koealojen ikä on laskettu taimien itämishetkestä kunkin koealan eri-ikäisten taimien keskiarvona. Istutettaessa taimet ovat olleet 1—3 -vuotiaita paljasjuuri- tai paakkutaimia ja ne on kasvatettu avomaalla tai osittain muovihuoneessa. Istutuksessa ovat vaihdelleet taimien asento ja syvyys, juuriston käsittely sekä istutuksen ajankohta.

Pääosa tutkimuksen koemetsiköistä kasvaa verrattain yhtenäisellä maaperällä soraharjun laella ja sivuilla tai sen läheisyydessä tasaisella hiekkamaalla. Maasto on kuivahkoa kangasta ja maalaji raesuuruudeltaan vaihtelevaa, lajitunutta soraa, hiekkaa tai hietaa. Tehdyissä mittauksissa sen vedenpidätyskyky on todettu heikoksi. Aikaisemmin samoja koealoja tutkimuksiin käytettäessä ne on sijoitettu kasvipeteikuvausten ja maaperäanalyysin perusteella hyvään puolukkatyyppiin. Koealojen mitatut pituustulokset vastaavat kuitenkin nykyisin käytettävissä olevien vertailutaulukoiden mukaan hyvää MT:tä ja jopa OMT:tä,  $H_{100}=27-30$  (Vuokila ja Väliho 1980).

Täydentäviä koealoja ei hyväksytty varsinaiseen aineistoon, mutta niistä mitattuja tietoja käytetään hyväksi tulosten tulkinnessa ja johtopäätösten teossa. Metsikön poikkeavan perustamistavan lisäksi hylkäämisen syynä oli harvennus taimikkovaiheessa tai valaistusolojen kannalta liian kapea suojavaippa. Yhdessä täydentävistä koemetsiköistä oli sattunut poikkeuksellisen voimakas hirvituho. Kolme koemetsikköä poikkesi ikänsä puolesta liian paljon varsinaisesta aineistosta. Yhdessä koemetsikössä kasvupaikka oli muuta aineistoa selvästi viljavampi.

Koemetsiköiden muoto, koko sekä runkoluku vaihtelivat paljon. Varsinaiseen aineistoon sisältyy kaksi koealaa, joissa istutustaimien riviväli oli 2 m, mutta taimiväli 40 cm sekä yksi koeala, jolla ilmeni tuntuvia hirvituhoja. Näistä syistä ko. koealojen tuloksissa esiintyy poikkeavuutta yleisestä linjasta. Kuvaajat on tällä tiheysalueella merkitty katkoviivoin.

Tutkimusta varten mitattiin kaikkiaan 6 622 pystykoepuuta. Rungot, jotka kasvoivat koemetsiköiden reuna- tai välivyöhykkeellä, jätetään tässä yhteydessä käsittelemättä. Varsinainen aineisto sisältää 2 495 pystykoepuuta, joista 403 arvottiin kaatokoepuiksi. Vas- taavat luvut täydentävillä koealoilla olivat 1 519 ja 286.

Yhteensä aineisto sisältää siten 4 014 pystykoepuuta ja 689 kaatokoepuuta. Varsinaisen aineiston koemetsiköiden ikä vaihteli itämisestä laskettuna 17—24 vuoden välillä. Täydentävien koemetsiköiden ikä oli 15—27 vuotta. Koemetsiköiden koko vaihteli puolesta yli kahteenkymmeneen aariin (liitteet 1 ja 2). Taimimateriaali oli jalostamatonta, käytännön viljelytyössä siihen aikaan yleistä, valittuna siemenkeräysmetsiköiden siemenistä kasvatettua. Kaikki koemetsiköt olivat kehittyneet ilman oksien pystykarshintaa.

Varsinaisen aineiston käyttöarvoa heikentää jonkin verran erilaisten istutuskäsittelyjen ohella metsiköiden eri-ikäisyys ja joidenkin metsiköiden pienialaisuus. Useimmissa tapauksissa koemetsiköitä kuitenkin ympäröi luontaisesti tai istuttamalla perustettu ja niitä tiheydeltään muistuttava, suurin piirtein samanikäinen mäntypuusto. On myös syytä todeta, että luontaisissa ja käytännön eri tavoin perustamissa nuorissa männiköissä esiintyy yleisesti vaihtelua niin taimien pituudessa, tiheydessä kuin taimilajeissa ja istutustavoissakin sekä mm. täydennystä käytettäessä myös taimien iässä.

Koealat sijoitettiin metsiköiden sisään siten, että niitä ympäröi mahdollisimman laaja samaa tiheyttä edustava yhtenäinen puusto. Jos koemetsikön sisällä oli esimerkiksi näytetaimien oton vuoksi aukko, se rajattiin koealan ulkopuolelle. Aukon ympärille jätettiin lisäksi vähintään yhden puurivin laajuinen suojavaippa. Varsinaisen aineiston koealoilla tämä menettely onnistui varsin hyvin. Pienialaisimmillakin koealoilla suuren istutus- tiheyden takia runkoluku nousi niin suureksi, että se noin 100 rungon kaatonäyte, josta kaatokoepuut arvottiin, voitiin ottaa koemetsikön sisältä. Sivuvälön vaikutus kaatokoepuiden laatuun jäi siten mahdollisimman vähäiseksi.

#### 32. Mittaukset ja näytteet

Aineiston mittaus jakaantui neljään pääosaan:

- Koemetsiköiden ja niiden koealojen puiden pystymittaus ja -arviointi (pystykoepuut).
- Kaadettavien koepuiden arvonta ja yksityiskohtainen mittaus maastossa (kaatokoepuut).
- Kaatokoepuiden kannoista otettujen kiekkonäytteiden lustomittaukset.
- Puuston mittauksen jälkeisenä talvena sattuneiden lumituhojen arviointi seuraavana kesänä.

#### *Pystykoepuiden mittaus ja arviointi*

Kaikista koemetsiköiden ja niiden koealojen puista tehtiin ennen koepuiden kaatamista määrittäykset, jotka noudattivat suurin piirtein jo aikaisemmin käytettyä mittaustapaa (Kärkkäinen ja Uusvaara 1982). Tätä tutkimusta varten puista mitattiin:

- Lämpimittä rinnankorkeudelta tasaavaa 1 cm:n luokitusta käyttäen.
- Latvuksen leveimmän kohdan oksien keskiosan oksakulma 10 asteen tarkkuudella rungon yläosaan nähden (valtakulma).
- Elävän latvuksen alaraja 10 cm:n tarkkuudella.
- Tyven lenkous 2 metriin pituisella tangolla 1 cm:n tarkkuudella.

Lisäksi arvioitiin pystykoepuista silmävaraisesti:

- Oksaisuusluokka: I = erittäin ohutoksainen, II = ohutoksainen, III = keskioksainen, IV = paksuoksainen ja V = erittäin paksuoksainen. Keskioksaisten arvioitiin vastaavan luonnonmänniköiden keskimääräisiä puita.
- Rungon laatuluokka: I = erittäin hyvä, II = hyvä, III = kohtalainen, IV = heikko ja V = erittäin heikko. Kohtalaisen rungon arvioitiin vastaavan luontaisesti syntyneen keskimääräisen puun tasoa.

Oksaisuusluokituksessa otettiin huomioon oksien paksuus suhteessa rungon kokoon, lukumäärä kiehkurassa, oksien pituus ja oksakulma. Yleislaadun arvioinnissa otettiin oksaisuuden lisäksi huomioon rungon ja latvuksen muoto ja leveys sekä runkoviati.

### Kaatokoepuiden arvonta ja mittaus

Koealojen alkuperäinen tarkoitus ja tuleva käyttötarve asettivat kaatokoepuiden otolle eräitä rajoituksia. Kaikenkaikkiaan pyrittiin kuitenkin tekemään otanta mahdollisimman satunnaisesti.

Tärkeimpänä näkökohtana kaatokoepuiden arvonnassa pidettiin sitä, että ne pienialaisimmissakin koemetsiköissä antaisivat mahdollisimman oikean kuvan tiheyden vaikutuksesta erikokoisten runkojen tekniseen laatuun. Siksi koepuut pyrittiin arpomaan koemetsikön sivuvalolta suojatusta sisäosasta. Tällä seikalla ei ollut merkitystä koemetsiköissä, joiden tiheys oli 1 700—5 000 kpl/ha välillä. Ne olivat joko hyvin laaja-alaisia tai ne sijaitsivat samanlaisen puuston ympäröimänä.

Kaatokoepuiden arvonta aloitettiin koemetsikön keskeltä tai sen suojatuimmasta kulmasta. Lähtöpuu valittiin satunnaisesti. Puiden rinnankorkeus mitattiin yhden senttimetrin tasaavaa luokitusta käyttäen. Rungot leimattiin ja merkittiin luetteloon. Tavoitteena oli 100 rungon näyte, josta keskimäärin noin 20 puuta kaadettiin. Kaatokoepuiksi merkittiin ensimmäinen ja sen jälkeen joka viides runko. Nämä numeroitiin. Suurin lukumäärä läpimittaluokassa rajoitettiin neljään koepuuhun. Kaadon jälkeen numeroitiin vastaavasti myös kannot. Koepuut mitattiin myöhemmin esitettävällä tavalla. Koemetsiköistä ja koealoista mitattiin lisäksi tarkka pinta-ala ja runkoluku niiden keskimääräisen tiheyden määrittämiseksi.

Kaatokoepuista mitattiin seuraavat Kellomäen ja Tuimalan (1981) tutkimuksen mukaiset tunnus-

- Lämpimittä 1,3 m:n korkeudelta, mm.
- Puun pituus, dm.
- Oksakiehkuroiden etäisyys latvasta, cm. Mukaan otettiin myös kuolleet oksakiehkurat niin etäälle tyveen päin kuin niiden täsmällinen paikka oli määriteltävissä.
- Elävien ja kuolleiden oksien lukumäärä kiehkurassa. Pieniä vesioksia, joiden läpimitta oli alle 5 mm, ei huomioitu.

- Kiehkuran paksuimman elävän ja kuolleen oksan tyvipaksuus, mm.
- Kiehkuran ohuimman elävän ja kuolleen oksan tyvipaksuus, mm.
- Kiehkuran pisimmän elävän oksan vuosittainen pituus, cm.
- Kiehkuran lyhimmän elävän oksan vuosittainen pituus, cm.

Lisäksi otettiin 18 varsinaisen ja 11 täydentävän aineiston koealan kaatokoepuiden tyvestä kiekot luston paksuuden mittaamiseksi. Kiekoista tehtiin lustojen mitaus millimetrin tarkkuudella seuraavasti:

- Piirrettiin kiekon paksuudeltaan keskimääräisestä kohdasta ytimen kautta kulkeva halkaisija. Siltä mitattiin viiden luston leveys alkaen ytimen kummaltakin puolelta yhden senttimetrin etäisyydeltä ytimestä. Mikäli kiekko oli läpimitaltaan liian pieni viiden luston paksuuden mittaamiseksi tällä menetelmällä, mitattiin lustojen leveys alkaen ulkopinnasta, kuoren alta.

Lumituhot arvioitiin koemetsiköiden koko puustosta. Erikseen laskettiin oksa- ja runkomurtumien määrä.

### 33. Aineiston käsittely

Tulokset esitetään kuvissa puolilogaritmiasteikolla käsivaraisesti tasoitettuna koealojen keskiarvoina sekä lisäksi liitteissä 3 ja 4 numeerisesti minimi- ja maksimi-arvoineen. Tulokset laskettiin koealakohtaisina seuraaville puuryhmille:

1. Kaatokoelan kaikki puut.
2. Puuryhmä, jossa edellisestä on koealoittain jätetty pois 200 rinnankorkeudelta paksuinta puuta hehtaaria kohti, ns. susipuut ja mahdolliset luontaiset jätöpuut.
3. Edellisellä tavalla rajatusta ryhmästä 1 200 paksuinta valtapuuta hehtaaria kohti, kaavamaisen alaharvennuksen ensi vaiheessa kasvamaan jäävä puusto.
4. Samalla tavalla rajatusta puuryhmästä 600 paksuinta valtapuuta hehtaaria kohti, alaharvennuksenennellyssä päätehakkuuseen saakka kasvatettava puusto.

Koealakohtaiset keskiarvot esitetään pistein vain 2-ryhmän osalta (kuvaajat 2). Muiden ryhmien (1,3,4) tulokset esitetään selvyuden vuoksi vain kuvaajina.

Tiheysalueen 6 000—12 000 kpl/ha muutamilla koealoilla hirvituhot sekä koealojen erikoisrakenne aiheuttavat epävarmuutta. Kuvaajat esitetään tältä osin katkoviivalla.

Koska koemetsiköiden ikä vaihteli 17—24 vuoden välillä, tulokset muunnettiin 20 vuoden tasoon niiltä osin kuin se katsottiin mahdolliseksi eli pituuden ja läpimitan sekä elävien oksien paksuuden osalta. Poikkeamien vähäisyyden vuoksi muuntaminen tehtiin vain suoraviivaisesti ikävuosien suhteella kertomalla.

Tiheimmillä koealoilla keskiarvopisteet perustuvat kuvaajien 1 ja 2 osalta runsaaseen aineistoon, mutta kuvaajien 3 ja 4 eli valtapuuryhmien kohdalla on edustava runkoluku jäänyt vähäiseksi eli vain 2—5 runkoon koealaa ja pistettä kohden. Harvoilla koealoilla, aina noin

6 000 rungon tiheyteen saakka näidenkin ryhmien aineisto on riittävä.

Tulosten esittely pohjautuu koealojen nykytiheyksiin eikä niiden alkuperäiseen taimilukuun. Tämä siitä syystä, että kuolleisuutta ilmenee viljelymännikoissä yleensä taimien ollessa vielä pieniä. Latvuskatoksen sulkeutumiseen ja runkojen laatukehitykseen taas vaikuttaa metsikön myöhempi tiheys enemmän kuin taimien al-

kuperäinen lukumäärä. Tutkimuksen tuloksia käytettäessä edellä mainittu on otettava huomioon. Esitettyihin lukuihin on lisättävä taimien kuolleisuusarvio, joka paikallisista olosuhteista riippuen voi vaihdella. Luontainen ja näytetaimien ostopoistuma aiheutunut poistuma tämän tutkimuksen koealoilla oli noin 10—15 %. Tutkimuksen tiheimmissä koemetisiköissä kuolleisuus kuitenkin nousi 20 vuoden ikään mennessä noin 35 %:iin.

## 4. TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

### 41. Tiheyden vaikutus runkoon

#### *Pituuskehitys*

Koealojen kaikkien puiden keskipituus (kuva 1 A) vaihteli välillä 5—7 m (kuvaaja 1). Kun 200 paksuinta puuta hehtaaria kohden poistettiin aineistosta (kuvaaja 2), keskipituus aleni 5—20 cm alle 15 000 kpl/ha tiheydessä. Valtapuuryhmillä 600 ja 1 200 kpl/ha (kuvaajat 4 ja 3) keskipituudet vaihtelivat välillä 6—8 m. Ryhmien pituusero oli suurimmillaan noin 1 m tiheyksillä 3 000—10 000 kpl/ha, mutta supistui tästä noin puoleen kaikkein harvimmilla ja tiheimmillä koealoilla.

Kaikkien puiden ja valtapuiden keskipituus saavutti maksiminsa tiheysalueella 3 000—4 000 kpl/ha. Merkittävää on, että pituudet kaikkein harvimmassa asennoissa jäivät maksimia tuntuvasti vähäisemmiksi kaikissa puuryhmissä. Tulos osoittaa, että tiettyyn rajaan asti tiheys edisti mäntyjen pituuskehitystä.

Tulokset tiheysvälillä 8 000—10 000 kpl/ha ovat aineistossa epävarmimpia, sillä näillä koealoilla taimi- ja riviväli poikkesivat paljon toisistaan. Taimet eivät siten olleet tasavälisessä asennossa. Näin ollen niiden pituuskehitys vastanee pienen taimivälin vuoksi paljon tiheämpien koealojen tasoa.

#### *Rinnankorkeusläpimitta*

Kasvutila vaikutti voimakkaasti puiden järjeytymiseen (kuva 1 B). Keskiläpimitta pieneni jyrkästi tiheysvälillä 1 700—10 000 kpl/ha. Kaikilla puilla se aleni 9 cm:stä 5 cm:iin

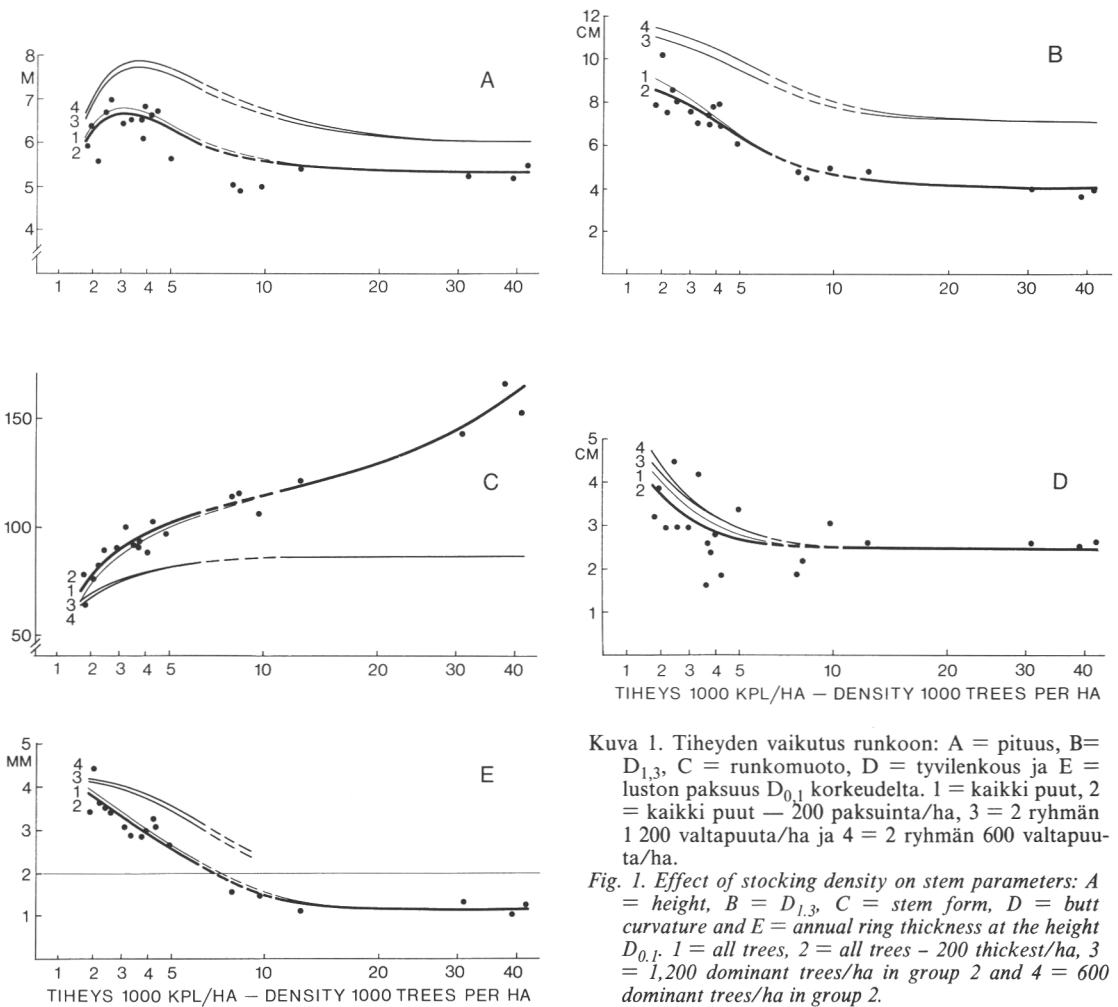
(kuvaajat 1 ja 2). Valtapuuryhmillä 600 ja 1 200 kpl/ha (kuvaajat 4 ja 3) keskiläpimitta laski noin 12 cm:stä 8 cm:iin. Tasoero pysyi samana tiheyden edelleen lisääntyessä. Tulos osoitti valtapuiden kykyä erottua tiheästäkin kasvustosta. Harvimmilla koealoilla valtapuiden keskiläpimitta oli saavuttanut 11—12 cm tason.

Runkojen jakautuminen läpimittaluokkiin oli harvimmilla koealoilla selvästi laajempaa kuin tiheillä (kuva 2). Ensiksi mainitussa ryhmässä vaihtelu ulottui 3 cm:n luokasta aina 16 cm:iin asti, kun jälkimmäisessä ryhmässä vaihtelu rajoittui 1—8 cm:n välille. Läpimittajakautuman painopiste oli harvimmilla koealoilla aina noin 3 000 kpl/ha tiheyteen saakka 9—11 cm luokissa. Se laski 3 000—5 000 kpl/ha tiheydellä 6—9 cm, 5 000—30 000 kpl/ha 3—5 cm ja yli 30 000 taimen tiheydessä 2—4 cm tasolle.

#### *Runkomuoto ja lenkous*

Runkomuodon muuttumista tiheyden funktiona kuvataan puun pituuden ja rinnankorkeusläpimitan suhteella = puiden solakkuus (kuva 1 C). Kaikkien puiden keskiarvo suureni melko tasaisesti harvimpien tiheyksien 65:stä tiheimpien koealojen 165:een. Muutos oli voimakkaimmillaan tiheysvälillä 1 700—3 500 kpl/ha. 200 paksuimman puun poisjättäminen aineistosta nopeutti lievästi puiden keskimääräistä hoikkenemistä harvimmilla tiheyksillä.

Valtapuuryhmissä solakkuus jäi kaikkien puiden keskiarvoon verrattuna selvästi alemmalle tasolle. Tiheyden kasvaminen 1 700:sta



Kuva 1. Tiheyden vaikutus runkoon: A = pituus, B =  $D_{1,3}$ , C = runkumuoto, D = tyvilenkous ja E = luston paksuus  $D_{0,1}$  korkeudelta. 1 = kaikki puut, 2 = kaikki puut - 200 paksuinta/ha, 3 = 2 ryhmän 1 200 valtapuuta/ha ja 4 = 2 ryhmän 600 valtapuuta/ha.

Fig. 1. Effect of stocking density on stem parameters: A = height, B =  $D_{1,3}$ , C = stem form, D = butt curvature and E = annual ring thickness at the height  $D_{0,1}$ . 1 = all trees, 2 = all trees - 200 thickest/ha, 3 = 1,200 dominant trees/ha in group 2 and 4 = 600 dominant trees/ha in group 2.

noin 3 500 kpl:een/ha hoikensi valtapuuryhmiä voimakkaimmin. Tiheyden nousu 5 000 kpl:sta/ha ylöspäin ei näyttänyt enää vaikuttaneen niiden solakkuuteen.

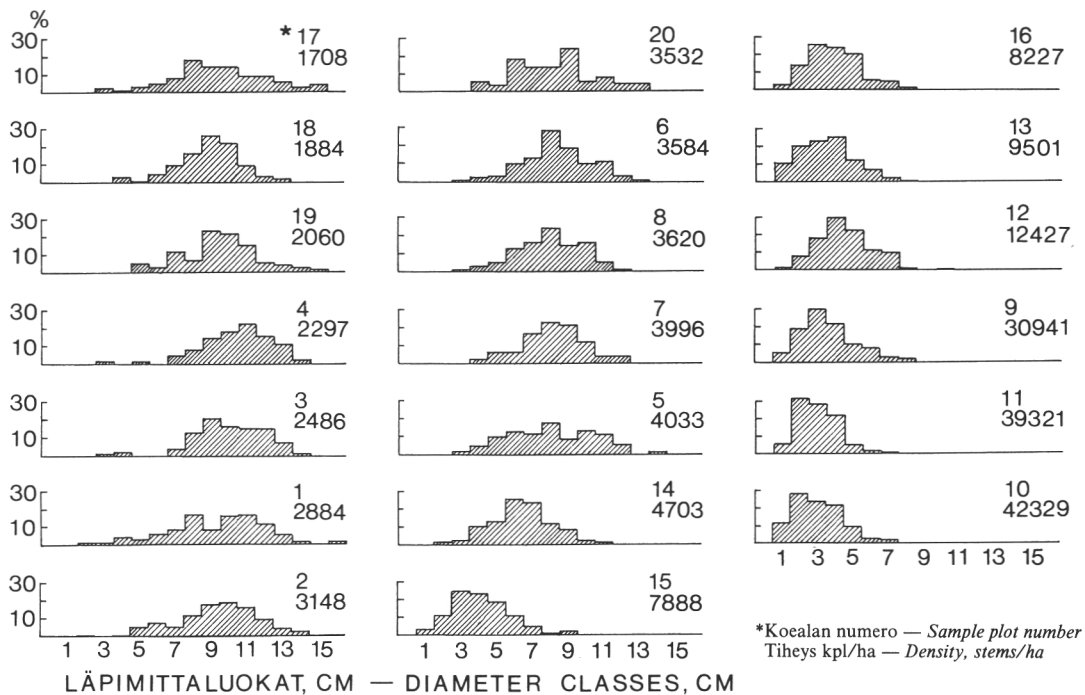
Tyvilenkous oli yleistä. Se oli 2,5 cm:n suuruusluokkaa jopa tiheimmissäkin istutuksissa (kuva 1 D). Taitekohta näytti asettuvan aineistossa kaikkien puiden keskiarvon osalta noin 5 000 kpl/ha tiheyteen. Valtapuuryhmissä taitekohta oli noin 8 000 kpl/ha tiheydessä. Lenkouden väheneminen oli voimakkaimmillaan tiheyden noustessa 1 700:sta noin 3 500 kpl:een/ha. Valtapuuryhmissä lenkous nousi harvimmilla tiheyksillä jopa lähes 5 cm:iin eli kaksinkertaiseksi yli 10 000 kpl/ha tiheyteen verrattuna.

Keskiarvojen tavallista suurempi hajonta johtunee siitä, että tyven lenkoutumiseen

vaikuttavat istutustapa, käytetty taimityyppi ja juurien asento istutuksen jälkeen. Nämä vaihtelevat laajasti aineiston eri koealoilla. Valtapuuryhmien suuremmat lenkousarvot osoittavat kuitenkin haittojen olevan suurimmat isokokoisilla taimilla, vaikka edellämainitut tekijät pysyisivät samoinakin.

#### Kantolustojen paksuus

Kahdeksaltatoista varsinaiselta koealalta mitattiin luston paksuus kannon korkeudelta otetuista kiekkoista (kuva 1 E). Se mitattiin kiekon halkaisijalta ytimestä 1 cm:n etäisyydeltä lähtien viiden luston keskiarvona. Apuviiva kuvassa merkitsee laadun kannalta ylei-



\*Koecalan numero — Sample plot number  
Tiheys kpl/ha — Density, stems/ha

Kuva 2. Runkojen rinnankorkeusläpimittajakautumat koecaloittain, %.  
Fig. 2. Breast-height distribution of the stems by sample plot, %.

sesti kriittiseksi arvioitua 2 mm rajaa. Kaikkien puiden keskimääräinen luston paksuus oli harvimmilla eli noin 2 000 kpl/ha tiheyksillä lähes 4 mm. Paksuus pieneni tasaisesti aina noin 10 000 kpl/ha tiheyteen asti, jonka jälkeen muutosta ei enää näytä tapahtuneen.

Vasta noin 6 000—7 000 kpl/ha tiheydellä lusto oheni alle 2 mm rajan kaikkien puiden keskiarvoaineistossa. Valtapuuryhmissä 2 mm keskimääräinen luston paksuus saavutettiin ilmeisesti vasta yli 10 000 kpl/ha tiheydessä. Aineisto ei kuitenkaan antanut mahdollisuutta tarkastella tulosta sitä suuremmissa tiheyksissä. Luston oheneminen valta-  
puuryhmissä oli selvästi hitaampaa kuin kaikkien puiden aineistossa.

**Tarkastelua**

Suomen eteläpuoliskosta on jo tämän vuosisadan alkupuolella tehty selvityksiä luontaisten männiköiden alkukehityksestä (Ilvessalo, Y. 1920, Lönnroth 1925 sekä Ilvessalo, Y. ja M. 1975). Myöhemmin on tehty mittauksia myös toistuvien harvennuksien käsitel-

lyistä männiköistä (Nyysönen 1954 ja 1957, Koivisto 1959). Lisäksi on käytettävissä valtakunnan metsien III inventoinnin yhteydessä mitattuja kehityssarjoja silloisen luokituksen mukaan harvennushakkuin tyydyttävästi tai hyvin käsitellyistä männiköistä (Koivisto 1959). Viljeltyjen männiköiden kasvatusmallit ovat myös valmistuneet (Vuokila ja Väliaho 1980).

Seuraavassa asetelmassa esitetään eritä 20 vuoden ikäisiin, pääasiassa VT-männiköihin liittyviä em. tutkimusten tuloksia verrattavaksi tämän tutkimuksen vastaaviin lukuihin.

	Tiheys, kpl/ha	Keskipituus, m	Valtapituus, m	Läpimitta, cm	Tilavuus, m <sup>3</sup> /ha
Ilvessalo, Y. 1920	9 300	3,7	4,3	3,6	44
Ilvessalo, Y. ja M. 1975	7 000	4,3	4,6	3,6	44
Lönnroth 1925	10 000	4,0	5,8	3,5	32
Koivisto 1959	4 000	5,1	6,3	5,0	40
Koivisto 1957			6,5	6,2	32
Vuokila ja Väliaho 1980					
VT (MT)	1 800		5,6		19
MT (OMT)	2 000		7,0		
OMT (Lh)	2 000		8,5		

Huomiota herättävät luonnontilaisten männiköiden alhaiset pituuskeskiarvot 3,7 ja 4,3 m (Ilvessalo 1920 ja Ilvessalo, Y. ja M. 1975) sekä 4,0 m (Lönnroth 1925). Luvut ovat tosin kaikkien puiden keskipituuksia, joita selvästi suurempia ovat valtapituudet (4,3—4,6 ja 5,8 m). Puuston alkutiheydet ovat ilmeisesti olleet jopa satojatuhansia, vaikka 20 vuoden iässä tiheys on ollut enää vain noin 10 000 kpl/ha. Kun kyse on luonnontilaisista metsiköistä, on myös ilmeistä, että taimikot ovat alkuvaiheessa olleet alikasvoksia ja osittain eri-ikäisiä (vrt. Räsänen ym. 1985). Tämän tutkimuksen aineistossa 10 000 kpl/ha tiheydessä istutustaimien keskipituudet olivat yli kaksinkertaisia em. tuloksiin verrattuna.

Toistuvasti harvennettujen, luontaisesti syntyneiden ja noin 4 000 kpl/ha tiheydessä olleiden männiköiden keskipituus, 5,1 m (Koivisto 1959), vastaa nyt mitattujen tiheimpien istutustaimikoiden tasoa. Valtakunnan metsien III inventoinnin mukaan harvennushakkuin tyydyttävästi tai hyvin käsiteltyjen VT-männiköiden valtapituus, 6,5 m (Koivisto 1959), vastaa likimain tämän tutkimuksen aineistossa noin 3 000 kpl/ha keskipituutta. Em. luontaiset männiköt ovat todennäköisesti olleet myös eri-ikäisiä alikasvoksia. Näin ollen on ymmärrettävää, että tässä tutkimuksessa keskipituus nousi suurisakin tiheyksissä Koiviston (1959) mittaaman mustikkatyyppin männikön tasolle.

Kiintoisaa on myös verrata nyt saatuja tuloksia Vuokilan ja Väliahon (1980) kylvö-männiköitä koskeviin taulukoihin. Tiheydessä 1 800 kpl/ha tämän tutkimuksen keskipituus, noin 6 m, pysyy vielä taulukoiden VT-tulosten rajoissa. Valtapuiden keskipituus tässä tiheydessä nousee kuitenkin selvästi taulukoiden MT (OMT)- alueelle ylittäessään 6 m:n rajan. Huomattavaa on myös, että vertailutaulukoiden valtapituus on hehtaarin sadan pisimmän puun keskipituus. Tämän tutkimuksen valtapuuryhmistä on jo etukäteen jätetty laskelmien ulkopuolelle hehtaarin 200 paksuinta puuta ja esitetyt valtapuuryhmit käsittävät jäljelle jääneistä 600 ja 1 200 kookkainta puuta.

Siitä huolimatta tutkimuksen pituusoptimissa, tiheydessä 3 500 kpl/ha, valtapuuryhmien keskipituus nousee lähelle 8 metriä ja ylittää 30 metrin boniteettiluokan alarajan. Luokka vastaa kylvö-männiköillä jo metsätyyppejä OMT ja Lh, jotka ovat luonnollisesti liian hyvät tutkimuksen kuivahkolle hiek-

kakankaalle.

Selityksenä voi olla alusta asti hoidettu koealasto, jonka varhaisvaiheessa miltei vuosittain toistetut mittaukset ovat lieventäneet heinästön haitallista vaikutusta taimien kasvuun. Myös Etelä-Suomessa todettu typpilaskeuma sekä ilmakehän CO<sub>2</sub>-pitoisuuden lisääntyminen ovat osaltaan voineet viime vuosina vaikuttaa tämän tutkimuksen koealoihin (esim. Arovaara ym. 1984).

Hyvin istutetut männyn taimet kehittyvät nuoruusvaiheissaan yleensäkin nopeammin kuin alkuvuotensa tiheissä ryhmissä kasvavat kylvö-männyn (esim. Kaunisto ja Tukeva 1986). Istutusmänniköt vaatisivat siten omat kasvatusmallinsa. Taulukoiden tarkistamis- ja kehittämistarpeeseen Vuokila ja Väliaho itsekin viittaavat. Riittävän vanhojen istutusmänniköiden puute on toistaiseksi estänyt tämän työn (Vuokila ja Väliaho 1980).

Yleinen käsitys on, että tiheys vaikuttaa puiden pituuteen hyvin vähän. Tällöin on kuitenkin ollut kysymys verrattain suppeasta tiheysalueesta sekä vain kaikkien puiden keskipituudesta. Tavallisimmin harvuuden on todettu hieman lisäävän pituutta, joskin vain tiettyyn rajaan asti (mm. Turner 1943, Brown 1952, Byrnes ja Bramble 1955, Bennet 1960, Vuokila 1980b sekä Kellomäki 1980). On myös esitetty käsitys, että hyvin suuret tiheydet vähentävät pituutta (esim. Schember 1861 ja Sjolte-Jørgensen 1967).

Ristiriitaiset käsitykset voivat johtua siitä, että hyvin suurissa tiheyksissä alistettujen ja siitä syystä lyhyiksi jäävien puiden osuus nousee vaikuttavaksi ja keskipituus tällöin alenee tiheyden lisääntyessä. On myös mahdollista, että suuret tiheydet vaikuttavat maan routautumiseen pohjoisissa maissa toisin kuin eteläisemmissä ja aiheuttavat siten eroja tuloksiin. Latvustiheyden ja roudan yhteyksiin ovat kiinnittäneet huomiota mm. Heikinheimo (1938) ja Yli-Vakkuri (1960).

Kaunisto ja Tukeva laskivat (1986) keskipituudet kolmelle puuryhmälle, kaikille puille sekä 1 000 ja 2 000:lle valtapuulle. Kaikki puut käsittävässä aineistossa keskipituus yleensä väheni taimitiheyden lisääntyessä, mutta valtapuuryhmissä ilmeni lievää positiivista riippuvuutta tiheyden ja pituuden välillä. Tämänkaltaisista tuloksista mainitsivat myös esimerkiksi Lönnroth (1925) ja Persson (1977).

Vuokila (1972) on koonnut laajan kirjallisuuskatsauksen harvennuskäsittelyn vaikutuksesta puuston kehitykseen ja terveysti-

laan. Pituuden osalta hän päätyi johtopäätökseen, että harva asento vaikuttaa kahta tietä pituuden mahdolliseen positiiviseen kehitykseen. ”(1) Se voimistaa latvusta. (2) Se lisää jäljelle jäävien puiden kokoa ja tätä tietä vaikuttaa välillisesti pituuskasvua lisäävästi”.

Tutkiessaan Yhdysvaltojen etelävaltioissa sikäläisiä mäntylajeja Turner (1943) esitti, että myös harvassa kasvaneet, runsaasti valoa saaneet männyt siirtävät kasvunsa rungon sijasta oksiin. Harms ja Collins (1965) tekivät samanlaisen havainnon mitatessaan erästä nuorehkoa *Pinus elliottii* mäntykoetta Georgian, Yhdysvalloissa. He havaitsivat, että erittäin harvoissa istutuksissa pituuskasvu jäi tuntuvasti pienemmäksi kuin kohtalaisen tiheissä asennoissa. He tosin selittivät tämän ilmiön maaperäeroilla.

Tässä tutkimuksessa harvimmilla tiheyksillä eli noin 2 000 kpl/ha tiheydessä puiden pituus jäi pienemmäksi kuin selvästi tiheimmissä eli noin 3 500 kpl/ha kasvatusasenoissa. Vapaassa tilassa kasvavalla männyllä kasvu näyttääkin keskittyvän tiheämpiä asentoja enemmän oksistoon kuin varsinaiseen runkopuuhun. Harvana perustettu tai liian aikaisin harvennettu metsikkö heikentää mäntyjen pituuskehitystä.

Jo Peurakoski ja Rautapää (1918) mainitsivat samansuuntaisesta käytännön metsämiesten tekemästä havainnosta pohtiessaan käsitettä ”järkiperäinen harventaminen”. Esimerkkinä liian voimakkaan harvennuksen seurauksista he esittivät mm.: ”Jos taas metsää harvennetaan liiaksi, kohdistuu puiden kasvuvoima tarpeettomasti oksiin. Puut tulevat paksuoksaiksiksi, ne eivät enää itse karista oksiaan, niiden runkomoito huononee ja saattaa pituuskasvukin tyrehtyä” (Asetus toimenpiteistä metsän hävittämisen ehkäisemiseksi 1917).

Kellomäki (1980) on tutkinut nuorten mäntyjen latvusten kasvun dynamiikkaa. Hän käytti aineistonaan yhden 20-vuotiaan männikön eri latvuserroksia ja havaitsi oksien osuuden lisääntyneen voimakkaasti siirryttäessä vallituista puuryhmistä valtapuuryhmiin päin. Kaikkein heikoimmassa asemassa olevilla puilla sijoittui koko yhteyttämistuloksesta neulasten kasvuun noin 65 %, oksiin 2 ja runkoon 32 %. Ylimmän latvuserroksen vallitsevilla puilla vastaavat sadannekset olivat sen sijaan 20, 25 ja 50. Oksat olivat saaneet siten noin 12-kertaisen osuuden yhteyttämistuloksesta verrattuna

alistettuihin puihin, jotka vastaavat käsillä olevassa tutkimuksessa suuressa tiheydessä kasvaneita runkoja. Kellomäki havaitsi lisäksi, että sellaisessa latvusluokassa, joka oli sijainniltaan vallitsevien ja täysin vallittujen välialueella, edellämainitut sadannekset olivat: neulaset 27, oksat 8 ja runko 65.

Tässä tutkimuksessa myöhemmin esitettävät oksatunnukset vahvistavat em. tulosta. Optimitiheys tämän tutkimuksen mukaan näyttää männyn pituuskasvun kannalta olevan noin 3 000—4 000 kpl/ha taimikkovaiheessa aina ensiharvennukseen asti. Sitä harvemmissä tiheyksissä alkaa puustossa tulla esiin ”hakamaamännyille” tyyppillistä pituuskasvun hidastumista ja kasvun suuntautumista oksistoon.

Ivessalon (1920) ja Lönnrothin (1925) tutkimuksissa kuorelliset keskiläpimitat, 3,6 ja 3,5 cm, ovat hyvin samankaltaiset tämän tutkimuksen suurimpien tiheyksien kaikkien puiden keskiarvotuloksen, noin 4 cm, kanssa. Tiheydessä noin 10 000 kpl/ha heidän tuloksensa jäävät tämän tutkimuksen vastaavan tiheyden keskiläpimittaa noin 1 cm:n verran pienemmiksi. Erotus selittyy luonnontilaisten männiköiden alkuvaiheen suurilla tiheyksillä ja taimien eri-ikäisyydellä sekä ylispuuston taimikon kehitystä hidastavalla vaikutuksella. Tässä tutkimuksessa on kuitenkin syytä ottaa huomioon myös mahdollisen sivuvalon lievä vaikutus pienialaisimmilla ja samalla tiheimmillä koaloilla.

Tämän tutkimuksen harvimmilla koaloilla keskiläpimitta oli kaksinkertainen ja valtapuuryhmillä jopa kolminkertainen edellämainittujen tiheiden, luonnontilaisten taimikoiden keskiläpimittaan verrattuna. Harvalla istutuksella saavutettiin siten yksittäisten puuyksilöiden tyviosan nopea järetyminen.

Koiviston (1959) esittämissä, toistuvien harvennushakkuun tyydyttävästi tai hyvin käsitellyissä männiköissä keskiläpimitat nousivatkin selvästi täystiheiden luonnonmänniköiden arvoja korkeammiksi eli 5—6 cm:iin. Tämän tutkimuksen rungot saavuttivat keskimäärin saman tason 5 000 kpl/ha tiheydessä.

Runsaan kasvutilan suotuisa vaikutus läpimittakehitykseen on yleisesti tunnettu. Tämänsuuntaisia havaintoja julkaisi Euroopassa luultavasti ensimmäisenä Biermans jo v. 1845. Samansuuntaisia tuloksia Biermansin jälkeen Euroopassa ovat esittäneet mm. Schember 1861, Reuss 1907 sekä Kramer 1960. Pohjois-Amerikasta on sikäläisillä ha-

vupuulajeilla saatu samanlaisia tutkimustuloksia (mm. Toumey ja Korstian 1931, Byrnes ja Bramble 1955 sekä Eversole 1955). Myös Australiasta ja Etelä-Afrikasta löytyy samoja havaintoja lukuisissa julkaisuissa (esim. Craib 1947 sekä Cromer ja Pawsey 1957).

Oksien kasvattamiseen harvoissa asennoisissa kuluva energia ei näytä siten heikentävän rungon tyviosan paksuuskehitystä. Laajan ja tuulelle alttiin latvuksen tukemiseen tyvekäs runko on ilmeisen välttämätön. Lukuisissa julkaisuissa onkin pohdittu, missä oloissa puiden runkomuoto saataisiin kehittymään edullisimmaksi eli pitkän ja suoran lieriön kaltaiseksi. Burger (1925) pani merkille, että harvoina kehittyneissä metsiköissä kasvoi vain huonomuotoisia, nopeasti kapenevia mäntyjä. Puhdas kylvömännikkö ei tiheänäkään tuottanut todellista laatupuuta. Hänen havaintonsa mukaan mänty kehittyi tammen ja muiden lehtipuiden seassa erinomaiseksi. Hän suosittelikin siksi männyn kasvattamista sekapuuna lehtipuuston varjossa.

Larson (1963) esitti keskitetyn yhdistelmän rungon kapenemisesta ja siihen vaikuttavista voimista. Hänen mukaansa rungon kapeneminen korreloi hyvin selvästi latvuksen kokoon ja pituuteen sekä oksattoman rungon pituuteen. Elävän latvuksen sisällä sijaitseva osa runkoa on jyrkimmin kapeneva. Syynä on oksien vaikutus kiehkuran alapuolella sijaitsevaan rungon osaan. Suurin rungon paksuskasvu keskittyy siitä syystä itse latvukseen ja välittömästi sen alapuolella olevaan osaan, koska kaikkien oksakiehkuroiden runkoa vahvistava vaikutus tällä kohdalla kumuloituu. Sen alapuolella runko tasaantuu ja muodostuu sylinterimäiseksi. Täsmälleen saman ajatuksen Pressler oli kylläkin jo v. 1865 esittänyt julkaistessaan ”runkomuodon muodostumisen lakinsa” (May 1890).

Larsonin mukaan kehitystä ohjaavat hormonaaliset tekijät, joihin myös runkoon kohdistuvat ulkoiset voimat voivat vaikuttaa. Karsiminen aiheuttaa siis runkomuodon paronemisen, harva kasvatus tai harventaminen huononemisen. Larsonin mukaan on kuitenkin otettava huomioon myös puun perimä, joka luo pohjan puun mukautumiskyvylle olosuhteiden muutoksiin.

Lappi-Seppälä (1929) on jo varhain tutkinut Suomen oloissa männyn runkomuotoa. Hän totesi tiheyden parantavan männyn runkomuotoa selvimmin puolukkatyyppin ja kanervatyyppin kasvupaikoilla, mutta ei enää

mustikkatyyppillä. Mitä viljavampi kasvupaikka on, sitä vähemmän tiheys pystyy vaikuttamaan runkomuotoa parantavasti. Lappi-Seppälä (1952) mainitsi runkomuodon olevan ensisijassa riippuvaisen vihreän latvuksen koosta, erityisesti sen suhteellisesta pituudesta. Puu on muodoltaan sitä solakampi ja vähemmän kapeneva, mitä pienempi puun latvussuhde on.

Harvennus vaikuttaa mäntyjen runkomuotoon. Esim. Parviainen (1978) totesi, että voimakas harvennus oli 14–20 vuotta toimenpiteen jälkeen vaikuttanut huonontavasti nuorten mäntyjen runkomuotoon. Myös Varmola (1980) päätyi viljelymänniköitä koskevassa tutkimuksessaan käsitykseen, että puun runkomuotoon vaikuttavat eniten puun latvussuhde, metsikön tiheys ja metsätyyppi. Tiheyden lisääntyessä latvussuhde pienenee ja muoto paranee. Istutusmäntyjen solakkuusaste on huomattavasti huonompi kuin männynillä keskimäärin. Uusvaara (1974) päätyi jo aikaisemmin samaan tulokseen.

Istutusmännynille on tyyppillistä mm. juuriston heikon korjautumiskyvyn takia kallistuminen muutamia vuosia istutuksen jälkeen. Tätä tapahtuu ennen kaikkea kouluilla taimilla ja tiivisrakenteisilla maalajeilla, joilla kylmyys, hapen puute tai maan mekaaninen este vaikeuttavat juurten levittymistä sivusuuntaan ja riittävän syvälle (mm. Huuri 1976). Taimien kallistumista tapahtuu myös hyvin ravinnerikkailta kasvupaikoilla, joissa verso-juurisuhteet vinoutuu. Juuriston tainta stabilisoiva rakenne ei ehdi kehittyä riittävästi latvuksen nopean rehevöitymisen myötä (mm. Chavasse 1978). Heikkojuuristen männyn istutustaimien kallistumiseen vaikuttavat maaperän lisäksi myös tuulet ja sateet sekä jossain määrin lumi ja routa. Taimien koulinta, istutustyön laatu ja taimikon perkaamisen sekä harvennuksen ajankohta ja voimakkuus ovat myös vaikuttavia tekijöitä.

Useimmissa tapauksissa kallistuneet männynyt kuitenkin myöhemmin vahvistavat juuristonsa ja stabilisoituvat jatkaen kasvuaan rungoltaan pystysuorana, mutta tyveltään lenkona (esim. Huuri 1976, Hagner 1978, Hulten ja Jansson 1978 sekä Stefansson 1978). Tyven lenkous, etenkin jyrkkänä ja pitkällä rungon osalla esiintyessään alentaa huomattavasti tyvitukin sahausarvoa (Siimes 1957, Ronkanen 1950, Asikainen ja Panhelainen 1970 sekä Uusvaara 1981a). Niin tapahtuu, vaikka runko tyven paksuuntuessa oikensisikin. Tyven sisään jää tällöin lylypuu-

ta, joka heikentää puutavaran laatua lohkeamis- ja kieroutumistaipumuksen vuoksi (Ollinmaa 1959, Kärkkäinen 1977).

Nämä syyt johtivat esimerkiksi Dückerin jo v. 1883 esittämään kysymykseen ”onko istutus ylipäättään suositeltava männyn viljelytapa”. Kun muutaman kymmenen vuoden välein nuorten istutusmäntyjen juuristoja on havahduttu tutkimaan, on esitetty uusia varoituksia (esim. Spitzenberg 1908, Wibeck 1923 ja Huuri 1976).

Voimakkaiden tuulien vaivaamilla alueilla, kuten esim. Skotlannissa ja Tanskassa, Uudessa Seelannissa, Etelä-Afrikassa, Australiassa ja Fidji-saarilla, tiheä istutus suojaa puuyksilöitä ohjaamalla tuulen voiman metson latvuskatoksen yläpuolelle (esim. Chavasse 1978 ja Bell 1978).

Mahdollisesti juuri tiheys ja siten taimien keskinäinen tuki on myös käsillä olevassa tutkimuksessa vaikuttanut lenkouden selvään pienemiseen tiheyden lisääntyessä. Näin on tapahtunut, vaikka tiheimpien koemetsiköiden perustamistapa oli paikoitellen taimien kallelleen tai suorastaan vaakasuoraan asentoon istuttamista. Kaikkein tiheimmät koealat taas istutettiin alkuvaiheissaan vielä roudassa olevaan maahan, jolloin juurien asento jäi normaalia huonommaksi. Taimilajien välillä ei ole tulokseen vaikuttavaa eroa harvimpien ja tiheimpien istutusten kesken, koska molemmissa on käytetty sekä koulittomia että koulittuja taimia. Istutustavassa on kuitenkin se ero, että harvimmat istutukset ovat käytännön työssä urakoituja. Tiheydestä 2 300 kpl/ha alkaen koemetsiköt ovat istutuskokoina alunperin huolellisesti perustettuja.

Mathieu (1967) tutki erästä 3 ha:n laajuista, Ala-Saksissa, Bremervörden hoitoalueessa kasvanutta 16-vuotiasta koetta lähinnä tuotoksen ja laadun selvittämiseksi erilaisia männyn alkuperiä käyttäen. Kokeessa oli istutettu 55 mäntyalkuperää kahteen eri tiheyteen: harva 10 000 ja tiheä 110 000 kpl/ha. Hän mittasi myös runkojen käyryyttä eritellen kolme lenkousryhmää: suorat rungot ja heikosti sekä vahvasti lengot rungot. Heikosti lenkoja runkoja oli harvan istutuksen koeruuduilla 47 % kaikista rungoista ja tiheän istutuksen koeruuduilla 41 %. Vahvasti lenkoja runkoja oli harvoilla koeruuduilla 14 ja tiheillä 10 % kaikista rungoista. Suoria runkoja löytyi harvoilla koeruuduilla 39 ja tiheillä selvästi enemmän eli 49 %. Tulokset olivat siten samansuuntaiset kuin tässä tutkimuk-

sessä.

Lenkoustarkastelussa on kuitenkin syytä ottaa huomioon myös erältä tämän tutkimuksen täydennyskoeloilta saadut tulokset. Koealat olivat syntyneet joko luontaisesti tai hajakylvöstä. Niilläkin esiintyi lenkoutta noin 2 cm:n verran. Tätä tasoa lienee pidettävä lähtötasona, kun arvioidaan mm. istutuksen ja siihen liittyvän taimitarhakoulinnan vaikutusta lenkouteen.

Jo sangen varhain eli 1880-luvulla on niin tutkimuksissa kuin käytännön puutavara-kaupassakin havaittu, että havupuun nuoruusvaiheen paksuuskasvulla ja tyvitukkien sisäisellä oksikkuudella on kiinteä yhteys. Eräs ensimmäisistä, jotka ovat selvästi todenneet yhteyden oksikkuuden ja luston paksuuden välillä, on Düesberg (1893). Selostaessaan Saksan metsänhoidon suurten linjojen vaihtelua hän valitti niissä ilmenevää ajoittaista kaavamaisuutta, jollainen oli avohakkuiden kausi 1800-luvun lopulla.

Kaikesta huolimatta Düesberg oli löytänyt Saksasta seudun, jossa oli vielä tallella luontaisesti uudistunutta männikköä laajoilla alueilla. Puista hän totesi, että ne olivat kauden, mitä nähtävänä saattoi olla. Hänen käsityksensä mukaan sivu- ja puolivarjo kehittävät männyn laadun parhaaksi. Kaudenimmat, solakat rungot kehittyvät pikkumetsiköissä, joissa harva ylispuusto pitää nuoreikkoja puolivarjossa ja kurissa. Hänen kokemuksensa mukaan avohakkuun seurausena männikkö kehittää hyvää puuta vain, jos metsikkö jatkuvasti pysyy pituudeltaan tasaisena. Valtapuut kuitenkin erottuvat pian ja noudattavat sen jälkeen männylle ominaista oksittumistaipumusta. Harsintametsässä sensijaan vanha puu säilyy kauemmin ja rajoittaa nuorten puiden paksuuskasvua. Samalla myös vuosilustojen leveys pysyy tasaisena. Düesbergin mukaan vain siten voidaan saada hyvä taloudellinen tulos männiköistä, koska tällaisesta puusta saadaan paras hinta sen harvinaisuuden vuoksi ja siitä syystä, että vain sellaista mäntyä voidaan käyttää rakennus- ja huonekalupuuna. Avohakkuun jälkeen kehittyvät valtapuumännnyt taas sisältävät paksuja oksantynkiä ja niiden vuosilustojen paksuus vaihtelee paljon samojenkin runkojen sisässä.

Keski-Euroopan oloissa kasvanutta 95-vuotiasta männikköä tutkiessaan myös Klebingat (1962) päätyi Olbergin ja Kühnin jo aiemmin (1930) ehdottamaan lustonpaksuuden maksimirajaan (2,7 mm), mikäli haluttiin

tuottaa sahatavaraksi kelpaavia männynrunkoja. Tähän voitiin päästä vain hajakylvöllä perustetussa metsikössä, jonka tiheys oli lähes 10 000 kpl/ha. Tällöinkin saatiin sahaus-tuloksena vain noin 34 % oksatonta lautaa. Taimitilan ollessa 1,13 m<sup>2</sup> jäi tulokseksi 13 % täysiarvoista I luokan lautaa. Harvemmatkin istutusvälit antoivat tosin noin 19 % täysiarvoista tavaraa, mikäli rungoista oli hyvin aikaisessa vaiheessa karsittu kuivat oksat. Myös Knigge ja Schultz (1966) toteavat Keski-Euroopan useilla havupuulajeilla kantoleikkauksen vuosilustojen leveyden ja runkojen sisäisen oksikkuuden välillä kiinteän yhteyden. Tämä pitää paikkansa selvimmän juuri männyllä.

Jalavan (1934) mittauksen mukaan myös puun tilavuuspaino seuraa kasvunopeutta iästä riippumatta. Hänen mukaansa eräiden amerikkalaisten mäntylajien tilavuuspaino kulminoi silloin, kun vuosilustojen luku on 14—15 tuumaa kohden. Suomalaisessa männynsä on eniten kesäpuuta, jos vuosilustoja on 7—9 senttimetrillä.

Jussila (1935) havaitsi oksat ja niiden ryhmittymistiheyden sahatavaran rakennevi-oista tärkeimmiksi, mutta myös vuosirenkaiden leveys vaikuttaa hyvin paljon menestykseen kansainvälisessä puutavarakaupassa. Ostajilla on käsitys, että vain tiheäsyistä puuta voidaan menestyksellä käyttää puusepäntar-koituksiin, mikä on sahatavaran vaativin ja arvokkain käyttötapa. Ostajat kiinnittävät huomiota myös puun väriin, joka hidaskas-vuisella männyllä on punertava, mutta hyö-tykasvuisella vaalea. Vastustuskyky pilaan-tumista vastaan on otettava myös huomioon. Se heikkenee kasvunopeuden lisääntyessä ja lustopakisuuden suuretessa. Jussila kehottikin ottamaan jo varhaisessa vaiheessa metsien hoidossa huomioon puun koneistus- ja lujuus-ominaisuudet. Hän suositteli myös laatu-maksutavan käyttöönottamista kotimaisessa pystypuun kaupassa.

Esitellessään mäntysahatukkien luokitte-luohjetta, joka oli laadittu v. 1949 suoritettujen koehausten tulosten perusteella, Siimes (1951) esitti mm.: ”Vuosiengasväli arvioi-daan tukin tyvipäästä ytimestä lähtien kolmen tuuman matkalla. ...Lajittelussa I lk:n tavaran luston maksimileveys on 3 mm. Muissa luokissa lustonpakisuusvaatimusta ei määritellä”. Samalla hän ehdotti, että suurin oksa (korkeintaan yksi) saa olla I luokan ta-varassa suurissa tukeissa korkeintaan 3/4 tuumaa ja pienissä korkeintaan 1/2 tuumaa

paksu.

Heiskanen (1954) ehdotti laajassa esityk-sessään vuosiluston paksuuden ja sahatuk-kien laadun välisestä riippuvuudesta siirryt-täväksi silmävaraiseen luston paksuuden ar-viointiin käytännön tukkilajittelussa. Hän myös ehdotti laatumaksutavan käyttöönot-toa, jotta nuoret männiköt saataisiin kasvate-tuiksi 8—10 cm:n tyviläpimitaan saakka mahdollisimman tiheinä siitä huolimatta, et-tä siten menetetään järeän puun kuutiotu-ossa.

Heiskanen ja Siimes (1959) pohtivat uusia mäntysahatukkien laatuvaatimuksia, jotka oli kehitetty v. 1958 tehtyjen sahauskokeiden perusteella. Pienen ja huonon sahatavaran myynti oli myös siihen aikaan vaikeaa. ”Kun suureen oksaan liittyvät yleensä paksut vuo-silustot, joita ostajat myös kaihtavat, on täl-laisia sahatukkeja koetettava välttää”. Ne tul-lisikin käyttää pelkästään selluloosan valmis-tukseen.

Uusvaara (1974) havaitsi luston paksuu-den kriittisen rajan viljelymäntyrunkojen sydäntavarakappaleissa olevan 3,5 mm, jonka jälkeen ei enää saatu u/s-sahatavaraa. Hän totesi rinnankorkeusläpimitan parhaaksi se-littäjäksi rungon sisäiselle oksikkuudelle. Hän vahvisti myös havainnon, että tukin tekninen laatu heikkenee jyrkästi luston pak-suuden kasvaessa ytimen ympäristössä.

Suomen Sahanomistajayhdistyksen (1984) laatiman yhdistelmän mukaan ei luston pak-suus rungon tyvellä 60 mm:n matkalla yti-mestä saisi ylittää kahta millimetriä, mikäli toivotaan, että 40 % sydäntavarasta olisi u/s-laatua.

Tämän tutkimuksen mukaan männikön tiheyden vielä 20 vuoden iällä tulisi olla vä-hintään 7 000 kpl/ha, jos tavoitteena on täyt-tää edellä esitelty Suomen Sahanomistajayh-distyksen arvioima hyvälaatuisen mäntytukin vaatimustaso.

Uusvaaran (1974) esittämän kriittisen ra-jan (luston pakisuus enintään 3,5 mm) saavut-taminen vaatisi tiheydeksi noin 4 000 kpl/ha. Nyt tutkittujen koemetsiköiden valtapuu-ryhmiin 1 200 ja 600 suurinta runkoa hehtaa-rilla, kun 200 paksuinta on ensin vähennetty, kuuluvat puut tulevat todennäköisesti muo-dostamaan metsiköiden tulevaisuuden puus-ton. Tiheyden tulisi siten vielä 20 vuoden iäs-sä olla noin 5 000 kpl/ha, jotta tämä Uus-vaaran kriittinen raja alittuisi.

Luston paksuuden haitallista vaikutusta jonkin verran lievittää Suomen Sahanomista-

jayhdistyksen (1984) mukaan seuraava: ”Lautojen osalta luston paksuuden ja laadun välinen riippuvuus ei ole yhtä selvä kuin sydäntavarassa... Etenkin sahatavaran koko vaikuttaa keskimääräisen luston leveyden ja sahatavaran väliseen riippuvuuteen niin, että suurissa kappaleissa samassa laatuluokassa voi olla hieman leveämmät lustot kuin pienissä.” Myös on huomattava, että tässä tutkimuksessa luston keskipaksuus on aineiston pienimpien kiekkojen vähäisen koon takia mitattu lähempää ydintä kuin Suomen Sahanomistajayhdistyksen ohjeissa (1984) on tarkoitettu. Saatu tulos antaa tilanteesta siten hieman todellisuutta huonomman kuvan.

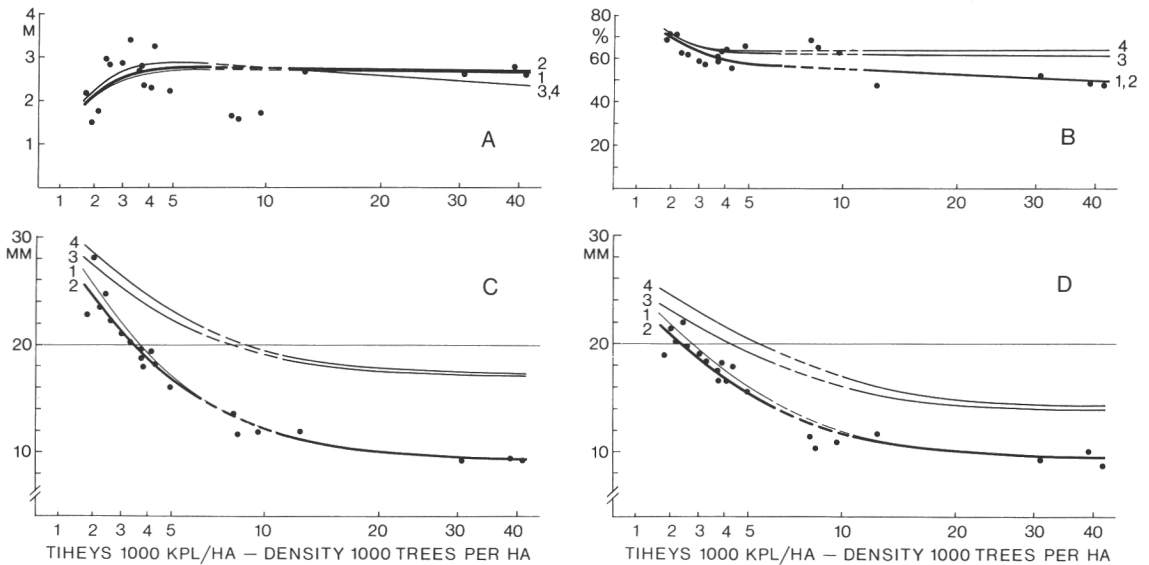
## 42. Tiheyden vaikutus oksistoon

### *Latvuksen alaraja ja latvussuhde*

Elävän latvuksen alarajaksi maasta arvioitiin alimman vielä vihreitä neulasia omaavan oksan tyvi. Harvimmilla koealoilla sekä kaikkien puiden että valtapuuryhmien keskimääräinen elävän latvuksen alaraja oli kahden metrin korkeudella (kuva 3A). Ti-

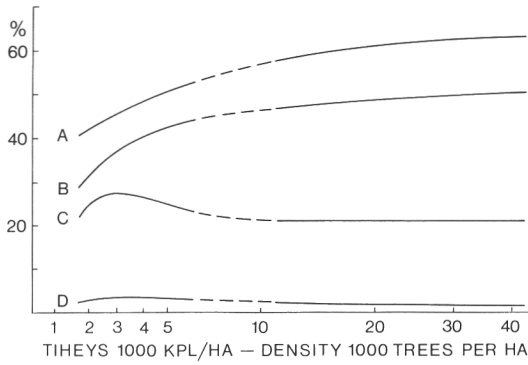
heyden noustessa noin 3 500 kpl:een/ha raja kohosi kolmen metrin korkeudelle, mutta laski taas kahden metrin tasolle 8 000—10 000 kpl/ha tiheydessä sivulla 16 mainituista syistä. Avoin riviväli sekä hirvivahingot ovat mahdollistaneet puille voimakkaamman valaistuksen kuin koealan keskimääräisen tiheyden perusteella voisi olettaa. Suurimmissa tiheyksissä näyttää valtapuuryhmien (kuvaajat 3 ja 4) elävän latvuksen alaraja laskeneen kaikkien puiden keskimääräistä arvoa alemmas. Tulos viittaa siihen, että valtapuut ovat säilyttäneet alaoksansa elävinä pitempään kuin alempien latvuserrosten puut.

Latvussuhde eli elävän latvuksen pituuden suhde koko puun pituuteen (kuva 3 B) havainnollistaa tiheyden biologisia vaikutuksia männyn latvukseen selvemmin kuin elävän latvuksen absoluuttinen alaraja. Latvussuhde pieni harvimmista tiheyksistä noin 3 500 kpl/ha tiheyteen asti sekä kaikkien puiden että valtapuuryhmien aineistossa. Aleneminen oli 10—15 %-yksikköä. Valtapuuryhmissä (3 ja 4) ei tapahtunut mainittavaa muutosta yli 5 000 kpl/ha tiheyksissä, mutta kaikkien puiden aineistossa jatkui latvussuhteen hidas pieneneminen. Ero näiden aineistojen välillä oli suurimmilla tiheyksillä 10 %-yksikköä.



Kuva 3. Tiheyden vaikutus oksistoon: A = elävän latvuksen alaraja, B = latvussuhde, C = paksuimman elävän oksan läpimitta ja D = paksuimman kuolleeseen oksan läpimitta. Puuryhmät kuten kuvassa 1.

Fig. 3. Effect of stocking density on branch parameters: A = lower limit of the living crown, B = crown ratio, C = diameter of the thickest living branch and D = diameter of the thickest dead branch. The same tree groups as Fig. 1.



Kuva 4. Tiheyden vaikutus oksistotunnusten suhteelliseen korkeuteen: A = paksuin elävä oksa, B = elävän latvuksen alaraja, C = paksuin kuollut oksa ja D = alin kuollut oksa. (puuryhmä 2.)

Fig. 4. Effect of stocking density on the relative height of the branch parameters: A = thickest living branch, B = lower limit of the living crown, C = thickest dead branch and D = lowest dead branch. (Tree group 2.)

#### Paksuin elävä ja kuollut oksa

Sekä paksuimman elävän, että kuolleen oksan läpimittaan tiheys vaikutti pienentävästi (kuvat 3 C ja 3 D). Kaikkien puiden aineistossa vaikutus oli voimakkaampi kuin valtapuuryhmissä. Voimakkaimmillaan se oli elävien oksien osalta harvimmissa asennoissa noin 5 000 kpl/ha tiheyteen asti. Vaikutus loppui käytännöllisesti katsoen 10 000 kpl/ha tiheyden jälkeen.

Kahdenkymmenen millimetrin oksan paksuutta pidetään yleensä puun laadun kannalta kriittisenä rajana. Paksuimman elävän oksan osalta 20 mm:n raja ylittyi kaikkien puiden ryhmissä noin 4 000 kpl/ha ja valtapuuryhmissä noin 8 000 kpl/ha harvemmissä tiheyksissä. Paksuimman kuolleen oksan vastaavat rajat olivat 2 500 kpl/ha ja 5 000 kpl/ha. Tiheyden ollessa nykyisen käytännön mukainen eli noin 2 000 kpl/ha paksuin elävä oksa oli kaikkien puiden aineistossa keskimäärin noin 25 mm ja valtapuuryhmissä lähes 30 mm. Paksuin kuollut oksa oli vastaavissa aineistoissa noin 20 ja 25 mm.

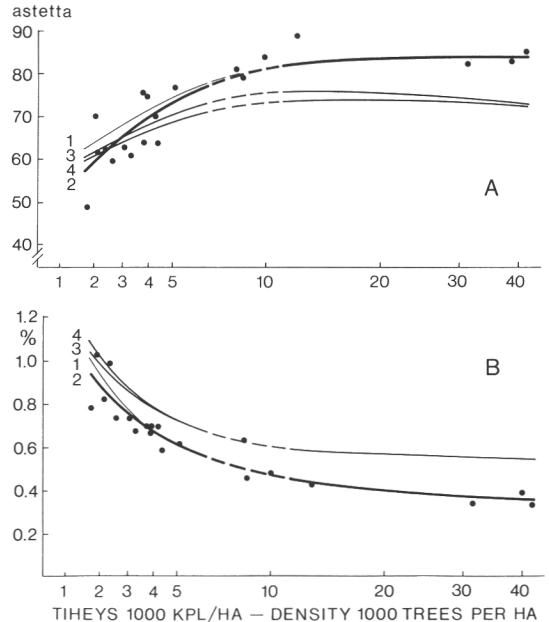
Tiheyden biologisia vaikutuksia myös muuttamiin muihin oksatunnuksiin kuvaavat parhaiten puun pituuteen suhteutetut arvot (kuva 4), jotka laskettiin puuryhmälle 2 (= kaikki puut – 200 paksuinta/ha). Esimerkiksi tiheyden vaikutus paksuimman elävän oksan korkeuteen (A) tuli tässä tapauksessa selvästi esille. Tiheys nosti paksuimman elä-

vän oksan suhteellista korkeutta tasaisesti aina noin 10 000 kpl/ha tiheyteen asti. Sen jälkeen nousu hidastui. Suurimmillaan ero oli noin 20 %-yksikköä. Elävän latvuksen suhteellinen alaraja (B) nousi edellä mainittua jyrkemmin tiheyden suuretessa. Nämä tunnuksat näyttivät olevan kiinteässä riippuvuudessa keskenään.

Paksuimman kuolleen oksan (C) ja rungon kokonaan karsiutuneen osan (D) suhteellinen korkeus näyttävät muuttuneen samantapaisesti tiheyden suuretessa. Suurimmillaan nämä arvot olivat noin 3 000 kpl/ha tiheydessä. Täysin karsiutunut osuus puun pituudesta oli kuitenkin vain joitakin prosentteja.

#### Oksien valtakulma ja pinta-alatunnusten suhde runkoon

Valtakulma mitattiin latvuksen leveimmältä kohdalta oksan keskiosan ja sen yläpuolisen rungon välisenä kulmana. Kaikkien puiden keskimääräinen valtakulma (kuva 5A) oli yleensä selvästi suurempi kuin valtapuuryhmien 3 ja 4.



Kuva 5. Tiheyden vaikutus (A) oksien valtakulmaan ja (B) elävän latvuksen oksa-alaan.

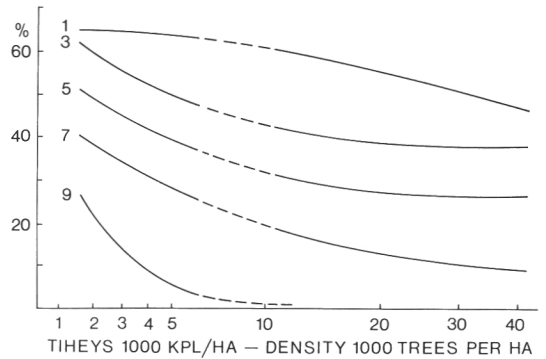
Fig. 5. Effect of stocking density on the dominant angle of the branches (A) and the cross-sectional area of the branches in the living crown (B).

Kaikkien puiden ryhmässä keskimääräinen valtakulma oli 60–85° harvimmista tiheyksistä aina 10 000 kpl/ha tiheyteen asti. Sen jälkeen muutoksia ei juurikaan tapahtunut. Valtapuuryhmissä suurimmilla tiheyksillä valtakulma näytti jopa pienenevän. Se ei noussut 75°:n ylitse ja suurimmillaan ero kaikkien puiden keskiarvoon oli noin 10 %-yksikköä.

Sen vaikutuksen selvittämiseksi mikä tiheydellä olisi elävän latvuksen oksaisuuteen, laskettiin myös ns. oksa-ala eli elävien oksien pinnanmyötäisten tyvileikkausten summan suhde rungon vaippaan elävän latvuksen alueella (kuva 5 B). Kaikkien puiden ryhmissä 1 ja 2 oksa-ala nousi noin 1 %:iin harvimmassa kasvatusasunnoissa ja laski jyrkästi 5 000 kpl/ha tiheyteen siirryttäessä. Suhteen aleneminen tasaantui jälleen noin 10 000 kpl/ha tiheydessä, jonka jälkeen muutosta ei juurikaan tapahtunut. Valtapuuryhmillä suhde pysyi edellistä hieman korkeammalla tasolla kaikissa tiheyksissä. Merkittävää on, että ero kaikkien puiden ryhmien ja valtapuuryhmien välillä oli pienin harvimmassa asunnoissa, joissa miltei jokainen puu oli samassa ”valtapuun” asemassa. Ero suureni tiheyden kasvaessa ja osoitti jälleen valtapuiden kyvyn erottaa omaksi ryhmäkseen tiheiköissään.

Oksaisuuserojen kuvaamiseksi laskettiin kaikkien puiden keskiarvoaineistosta lisäksi eri oksakiehkuroiden elävien oksien läpimittojen summan ja kiehkuran alapuolelta mitatun rungon ympärysmitan suhde. Tulokset esitetään latvasta lukien parittomien oksakiehkuroiden osalta (kuva 6). Mitä pienempi suhde on, sitä enemmän karsitun kiehkuran kohdalle jää kuoriosuutta, jossa ei ole tuoreita karsimishaavoja.

Latvasta alaspäin siirryttäessä em. osuus pieneni kaikissa tiheyksissä. Myös tiheyden suuretessa osuus kiehkuroittain pieneni voimakkaasti esim. viidenneksi ylimmässä oksakiehkurassa 50:stä 25 %:iin. Pieneneminen oli hyvin jyrkkää yhdeksännessä oksakiehkurassa siirryttäessä 1 700 kpl/ha tiheydestä noin 3 500 kpl/ha tiheyteen. Tiheydessä 10 000 kpl/ha kuvaa lähestyi nolaa, koska tämän ylittävissä tiheyksissä ei kyseisessä kiehkurassa enää esiintynyt eläviä oksia.



Kuva 6. Tiheyden vaikutus eri oksakiehkuroiden oksien läpimitan summan osuuteen kiehkuran alapuolelta mitatusta rungon ympärysmitasta. Kiehkurat 1, 3, 5, 7, 9 latvasta laskettuina.

Fig. 6. Effect of stocking density on the proportion of the sum of the branch diameters in different branch whorls on the circumference of the stem below the branch whorl. Whorls 1, 3, 5, 7 and 9 counted from the top down.

### Tarkastelua

Oksien luontainen kuoleminen ei tapahtunut 20 vuoden ikään mennessä tiheässäkään männikössä toivottavaan eli noin 5 metrin korkeuteen (esim. Ronkanen 1950, Suomen Sahanomistajayhdistys 1984). Tässä tutkimuksessa elävän latvuksen alaraja vakiintui jo 4 000 kpl/ha tiheydessä alle kolmen metrin tasolle. Samantapaiseen tulokseen päätyivät myös Kaunisto ja Tukeva (1986) noin 20-vuotiaita turvemaan tasarakenteisia istutusmänniköitä tutkiessaan. Niissä elävän latvuksen alaraja nousi korkeimmillaan vajaan 2 metrin lähelle 3 metriä tiheyden noustua 1 500:sta 7 500 kpl:een/ha.

Tiheys ei sellaisenaan takaa oksattoman tyvitukin syntymistä myöskään siitä syystä, että kuolleet oksat näyttivät männyllä kaikissa tiheyksissä jäävän runkoon kiinni pitkäksi ajaksi kuivina tynkinä. Saman ovat todenneet esim. Nylinder 1959, Uusvaara 1974, Vuokila 1980a sekä Kellomäki ja Tuimala 1981. Myös Heikinheimo (1953) totesi: ”Oksista täysin puhdistuneen rungon suhteellinen pituus pysyi erittäin vähäisenä. Nuorimmissa luonnonmänniköissä se oli 30 vuoden ikään vain 2–3 % ja sen jälkeenkin 50 vuoden ikään mennessä se nousi vain hiukan yli 12 %:n”. Niinpä hän päätteli, että puiden luontainen karsiutuminen ei missään oloissa takaa oksaisuutensa puolesta mahdollisimman edullisen rungon saantia. Siihen päästään

”keinokarsimisella”. Samaan lopputulokseen ovat päätyneet myös lukuisat muut kotimaiset ja ulkomaiset tutkijat (esim. Laitakari 1935, Jalava 1937, Nyssönen 1954, Nylinder 1959, Heiskanen 1965, Vuokila 1968, 1976 ja 1982, Kärkkäinen 1978, Varmola 1980 sekä Kaunisto ja Tukeva 1986).

Jos karsiminen tehdään kahdessa vaiheessa, se voidaan rajoittaa kuolleiden tai lähes kuolleiden oksien poistamiseen. Toimenpide ei vaikuta silloin paljontaan puun elintoihintoihin. On arvioitu, että latvuksen alimmat, elävät oksat voivat kuluttaa energiaa jopa enemmän kuin ne pystyvät yhteyttämään (Möller 1958, Nylinder 1959). On myös esitetty havaintoja, että kuolleet oksat johtavat tuhosienä runkoon vaarallisemmin kuin hyvin pihkottunut ja tasainen karsimishaava (mm. Mayer-Wegelin 1952).

Keski-Euroopassa on karsimisesta kokemuksia jo kahden vuosisadan ajalta. Männyn ja Douglaskuusen on havaittu kestävän karsimista parhaiten (Mayer-Wegelin 1952). Huolimattomasti ja väärään aikaan tehtynä on karsimisesta todettu aiheutuneen vahinkoja ennen kaikkea lehtipuille ja arimmille havupuulajeille. Niistä on jo pitkään varoitettu (esim. Amuat 1861, Courval 1865, May 1891 ja Junack 1921). Suomessa ja Ruotsissa on viime aikoina todettu myös männyn karsimisen aiheuttaneen sien- ja hyönteistuhvoja (mm. Ericson ja Beyer-Ericson 1984, Karlman 1985, Kurkela 1985, Laine 1985 sekä Räisänen ym. 1986). Karsiminen ei ole mielekästä myöskään männiköissä, jotka harvan perustamisasennon vuoksi ovat paksuoksaisia. Kylestyminen vie niin pitkän ajan, että oksattoman puun kehittyminen viivästyy tai se jää kokonaan saavuttamatta (esim. Takalo 1980 ja Kellomäki 1981b).

Latvussuhde vaihteli käsillä olevassa tutkimuksessa harvimpien kasvatusasentojen 70:stä tiheimpien 50 %:iin. Valtapuilla tiheys pienensi latvussuhdetta vähemmän kuin kaikilla puilla. Valtapuut kykenevät siten säilyttämään saavuttamansa etumatkan muihin puihin nähden jatkossakin. Myös Kaunisto ja Tukeva (1986) havaitsivat 2 000 valtapuun latvussuhteen kaikkien puiden suhdetta korkeammaksi suurissakin tiheyksissä. Valtapuilla latvussuhde heidän aineistossaan vaihteli 60—80 % välillä. Kaikilla puilla se oli 50—70 %.

Kellomäen ja Tuimalan (1981) tutkimuksessa latvussuhde aleni 11—14 vuoden iässä tiheysvälillä 300—6 000 kpl/ha 95:stä 75

%:iin. Korkea alkusadannes oli seurausta siitä, että harvin tiheys oli tavattoman alhainen. Heikinheimon (1953) mukaan latvussuhde riippuu metsikön tiheyden lisäksi myös sen iästä. Se laskee 15 vuoden 75:stä noin 45 %:iin 50 vuoden ikään mennessä. Uusvaara (1974) teki myös saman havainnon. Kärkkäisen ja Uusvaaran (1982) mukaan kohtalaisen harvoissa viljelymänniköissä latvussuhde oli keskimäärin 78 %.

Tässä työssä tiheyden lisääntyessä 1 700:sta noin 5 000 kpl:een/ha paksuimman elävän ja kuolleen oksan läpimitta pieneni nopeasti. Sen jälkeen pieneneminen hidastui. Valtapuuryhmillä pieneneminen oli hitaampaa kuin kaikkien puiden aineistossa. Tulokset ovat yhdenmukaiset esim. Kauniston ja Tukevan (1986) saamien kanssa. Myös heidän aineistossaan sekä elävien että kuolleiden oksien läpimitta pieneni kasvatustiheyden lisääntyessä. Valtataimien osalta he toteivat kuitenkin tuloksissa ristiriitaisuuksia.

Kellomäen ja Tuimalan (1981) aineistossa oksien läpimitan kuvaaja oli käyräviivainen mutta siten, että ”tiheyden ylittäessä 2 000—3 000 runkoa/ha oksan paksuus ei enää vähentynyt mitenkään selväpiirteisesti”. Etenkin alimmissa oksakiehkuroissa (6—10 latvasta lukien) näytti tapahtuneen suorastaan läpimitan kasvua. Tutkijoiden mukaan alaoksien poikkeuksellisen suuri paksuus tiheissä metsissä voi viitata oksien mukautumiseen varjoisiin olosuhteisiin. Aikaisemmin oli tutkimuksin todettu (Kellomäki 1980 ja Kellomäki ym. 1980), että neulasten ja oksien kasvu oli etusijalla runkoon nähden, kun metsikön tiheys kasvoi ja valaistus heikkeni. Kellomäki ja Tuimala tekivät tutkimuksensa perusteella sen johtopäätöksen, ”ettei mitään ylisuuria viljelytiheyksiä tarvita viljelymänniköiden laadun parantamiseksi”. He kuitenkin rajoittivat tuloksen koskemaan vain mustikkatyyppin kankaita ja jättivät avoimeksi mahdollisuuden, että tulos saattoi johtua käytettävänä olleen aineiston heterogeenisuudesta ja suppeudesta.

Käsillä olevassa tutkimuksessa kaikkien puiden paksuimman elävän oksan läpimitta oli harvoissa asennoissa hyvin paljon suurempi paksuimman kuolleen oksan läpimittaa. Ero kuitenkin hävisi tiheyden ylittäessä 10 000 kpl/ha rajan. Kuvaajien yhtymiskohta osoittaa siis tiheyden, jossa latvuskatoksen sulkeutuminen jo pysäyttää elävien oksien kasvun sille läpimittatasolle, jonka kuolleet oksat keskimäärin olivat mittaushetkellä

saavuttaneet kehittyttyään aikaisemmin valinnessa vapaammassa tilassa.

Latvuskatoksen sulkeutuminen näytti vaikuttavan elävien oksien läpimitan keskiarvoon jo hieman vähäisemmissäkin tiheyksissä. Tiheydessä 8 000 kpl/ha ero elävien ja kuolleiden oksien läpimitassa puuryhmällä kaikki puut, 200 paksuinta ensin vähennettyinä, oli 0,5 mm ja vielä tiheydessä 5 000 kpl/ha vain 1,5 mm. Vastaava ero harvimmassa asennoissa oli merkittävästi suurempi eli noin 4 mm. Valtapuuryhmällä ero oli kuitenkin kaikissa tiheyksissä tasaisesti 4 mm, joten latvuskatoksen sulkeutuminen ei vielä metsikön tässä iässä rajoittanut valtapuiden elävien oksien paksuuskasvua.

Kun tarkastellaan tämän tutkimuksen elävän latvuksen alarajan suhteellista korkeutta, tiheyden vaikutus tuli selvästi esiin. Raja nousi harvimpien koemetsiköiden 30 %:sta tiheimpien noin 50:een. Tulos on jotakuinkin yhtäpitävä esimerkiksi Uusvaaran (1974) esittämien sadannesten (36—45) kanssa.

Mitä tiheämpi metsikkö oli, sitä korkeammalla paksuin elävä oksa suhteellisesti sijaitisi. Harvimmasta tiheimpään sadannes kasvoi 40:stä yli 60:een. Samalla paksuin elävä oksa hieman etääntyi latvuksen alarajasta. Tiheys näin ollen pidensi varjoon jääneen ja elintoiminnoissaan heikentyneen oksiston osuutta latvuksessa.

Tässä aineistossa paksuimman kuolleen oksan suhteellinen korkeus ei tiheyden lisääntyessä noussut, vaan pysyi samalla tasolla. Paksuimmat kuolleet oksat olivat suurissa tiheyksissä ilmeisesti kehittyneet aikana, jolloin puut pienempinä eivät vielä olleet toistensa puristuksessa. Myöhemmässä vaiheessa syntyneet oksat kasvoivat ja kuolivat ahtaammissa oloissa ja jäivät siten läpimitaltaan pienemmiksi kuin niitä alempana sijaitsevat kuolleet oksat. Seurauksena oli, että paksuimman kuolleen oksan suhteellinen korkeus kuolleiden oksien alueella oli alempi kuin paksuimman elävän oksan suhteellinen sijainti elävän latvuksen alueella.

Männyn latvaoksat ovat aluksi yleensä vinoasti ylöspäin suuntautuneita. Niiden valtakulma rungosta voi olla vain 45 asteen suuruinen. Pituuden ja painon kasvaessa oksat kääntyvät yhä lähemmäs vaakasuoraa asentoa. Mitä hennompi oksat ovat, sitä nopeammin tämä tapahtuu. Toisaalta pitkäkin oksa huolimatta omasta tai esimerkiksi talvisen lumitaakan painosta voi säilyttää keski-osaltaan 90 astetta pienemmän valtakulman,

mikäli sen tyvi on hyvin paksu ja jäykkä. Tämä on yleensä seurauksena väljästä kasvuasennosta. Oksien valtakulman suuruus liittyy siten kiinteästi myös oksien läpimitaan sekä rungon oksaisuuteen ja yleiseen laatuun joskin oksakulma on eräs voimakkaimmoin perinnöllisesti vaihteleva ominaisuus (esim. Velling 1978).

Tässä aineistossa oksien valtakulma suureni voimakkaasti harvimmista tiheyksistä noin 10 000 kpl/ha tiheyteen asti. Valtapuuryhmällä kulma oli pienempi kuin koko aineistossa. Kellomäki ja Tuimala (1981) ovat päätyneet erilaiseen tulokseen. Heidän aineistossaan oksakulma tosin suureni kiehkuroitain samalla tavalla nyt kerätyn aineiston kanssa nuorimpien oksien runsaasta 40 asteesta alimman elävän eli yhdennentoista kiehkuran yli 80 asteeseen. Oksakulma kuitenkin pieneni tiheyden lisääntyessä ja sitä enemmän, mitä alemmasta kiehkurasta oli kysymys. Kulma vaihteli tiheimmissä kasvusasunnoissa 33—60 asteen välillä. Tulosten ero saattaa kuitenkin johtua siitä, että heidän aineistonsa oli mitattu mustikkatyypin männiköistä ja mittaukset koskivat vain oksien tyvikulmaa eikä, kuten tässä työssä, oksien puolivälin ja rungon välistä kulmaa.

Tässä tutkimuksessa laskettiin myös oksala eli elävän latvuksen oksien tyvileikkausten pinta-alojen suhde vastaavaan rungon vaippaan. Se oli riippuvainen puuston tiheydestä ja vaihteli 1,0—0,5 % välillä. Matalimmillaan se oli koko aineiston suurimmilla tiheyksillä. Saman laskelman, tosin koko rungon ja kaikkien oksien osalta ovat tehneet Kellomäki ja Tuimala mustikkatyyppiä koskevana (1981). Siinä aineistossa maksimiarvo nousi hiukan yli 1 000 rungon tiheydessä lähelle 0,6 % ja laski 5 000 rungon tiheydessä noin 0,2 %:iin jääden siten vain runsaaseen puoleen nyt saadusta.

Heikinheimo (1953) tutki samaa suhdetta luontaisissa puolukkatyyppin männiköissä kaikkien oksien ja koko rungon välisenä. Hän sai suhteiksi ”susipuun” eläville oksille 0,62 %, kuolleille 0,17 ja molemmille yhteensä 0,79 %. Päävaltapuiden prosentit ko. 30—35-vuotiaassa männikössä olivat 0,32, 0,08 ja 0,60 %. Kuolleiden oksien korkea sadannes johtui ilmeisesti männikön iästä ja kuolleiden oksien peittämän rungon osan pituudesta.

Laskentatavan erilaisuus tässä tutkimuksessa eli suhteen laskeminen vain elävän latvuksen osalta selittänee näiden tutkimusten

tulosten suuruusluokan eron. Tulokset vahvistivat edelleen sitä, että harvoissa tiheyksissä kaikki puut ovat lähes samanlaisessa asemassa keskenään. Oksien tyvipinta-alan osuuden pieneneminen tiheyden kasvaessa kuvaa oksaisuuden kehittymistä. Tulokset valta-  
puuryhmistä osoittivat jälleen valtapuiden kykyä erottua puiden suuresta massasta.

Käsillä olevan tutkimuksen aineisto antoi myös mahdollisuuden karkeasti tarkastella, miten suuren osan rungon ympäröimistä karsimishaavat peittäisivät, jos eläviä oksia katkaistaisiin yhdellä kertaa kokonaisuudessaan kiehkuroiden.

Elävien oksien läpimittojen summan suhde rungon kehään pieneni viidenneksi ylimmästä oksakiehkurassa 50:stä 25 %:iin harvimmasta kasvatusasennosta suurimpaan tiheyteen siirryttäessä. Vastaavat suhteet seitsemännessä oksakiehkurassa olivat selvästi alhaisemmat, vain 40 ja 10 %. Leikkauspintojen suuri osuus ylimmissä oksakiehkuroissa antaa aiheita varovaisuuteen karsimiskorkeutta määrättäessä.

Ylimmän oksakiehkuran korkea suhdeluolu oli seurausta siitä, että kiehkuran oksat olivat heti alusta alkaen tanakoita, kun niitä vain vuotta vanhempi runko samalla kohdalla oli vielä verrattain ohut. Yksittäisten kuvaajien aleneva suunta aiheutuu siitä, että tiheyden kasvaessa yhä suurempi osa puista jäi alistettuihin latvuserroksiin. Tällöin suhteen pienenemiseen samassa oksakiehkurassa on vaikuttanut oksien heikkenemisen ohella myös niiden lukumäärän väheneminen.

Siirryttäessä taas ylempistä oksakiehkuroista alempiin sadannes aleni johdonmukaisesti. Syynä oli alempien kiehkuroiden oksien kasvun heikkeneminen rungon kasvuun nähden ja lopuksi myös elävien oksien lukumäärän pieneneminen. Alimmat oksat jäivät vähitellen yhä syvempään varjoon erityisesti tiheissä kasvatusasunnoissa, jolloin niiden kasvu samalla heikkeni. Runko sen sijaan hyötyi koko latvuksen oksakiehkuroiden yhteyttämisestä ja sen kasvu jatkui suhteellisesti voimakkaampana kuin alempien oksakiehkuroiden. Myös puun kasvun kannalta ylimmät oksakiehkurat ovat paljon tärkeämpiä kuin alemmat (esim. Möller 1958, Kramer ja Kozłowski 1960 ja Kozłowski 1971). Jos puututettiin karsimalla esimerkiksi viidennen oksakiehkuran oksiiin, suuri osa eli yli 40 % rungon kehästä vahingoittuisi. Tätä alempien oksakiehkuroiden osalta vaurioaltis ala kuitenkin väheni nopeasti. Suurissa tiheyksissä

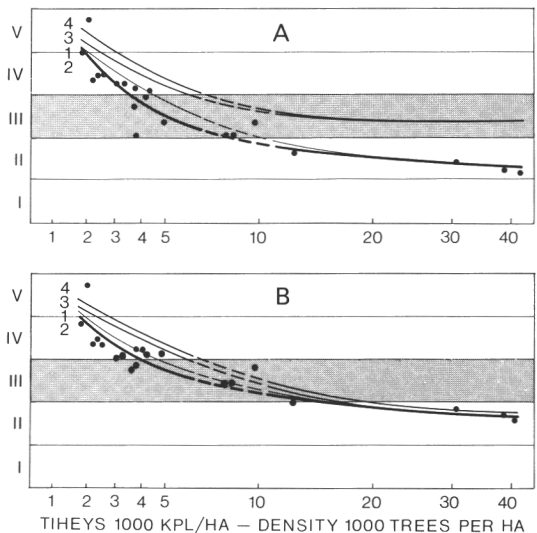
esimerkiksi yhdeksännen kiehkuran oksat olivatkin jo lähes kaikki kuolleita.

### 43. Tiheyden vaikutus rungon tekniseen laatuun

#### Oksaisuus- ja laatuiluokka

Käytetyn viisijakoisen luokituksen kolmatta oksaisuus- ja laatuiluokkaa voidaan pitää hyvälaatuisen puun tuottamisen vähimmäistasona. Tähän luokkaan sijoittuivat tutkimusaineiston luontaisesti tai kylvöstä syntyneet ja suhteellisen tiheinä kasvaneet männiköt. Sitä suurempi luokka merkitsee sahapuuksi kelpaamatonta laatua.

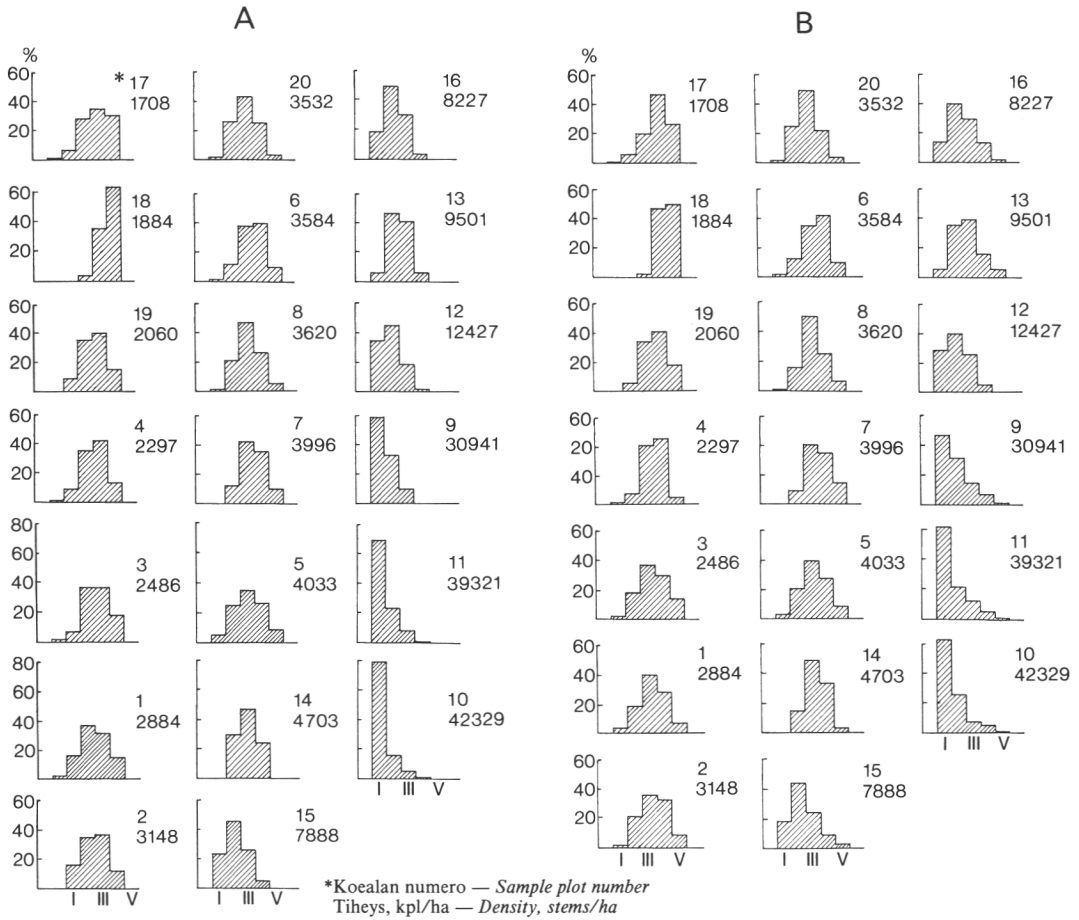
Alle 3 500 kpl/ha tiheyksissä kaikkien puiden sekä valta-  
puuryhmien keskiarvo oli kolmatta oksaisuusluokkaa huonompi (kuva 7A). Tilanne oli sama myös rungon laatu-  
luokan osalta (kuva 7B). Puiden oksaisuus ja



Kuva 7. Runkojen oksaisuusluokan (A) ja laatuiluokan (B) riippuvuus tiheydestä.

Fig. 7. The dependence of the branchiness class (A) and quality class (B) on the stocking density.

- |                            |                     |
|----------------------------|---------------------|
| Oksaisuusluokat:           | Laatuiluokat:       |
| Branchiness classes:       | Quality classes:    |
| I = erittäin ohutoksainen  | I = erittäin hyvä   |
| = extremely thin-branched  | = excellent         |
| II = ohutoksainen          | II = hyvä           |
| = thin-branched            | III = good          |
| III = keskioksainen        | III = kohtalainen   |
| = medium branched          | IV = moderate       |
| IV = paksuoksainen         | IV = heikko         |
| = thick-branched           | V = erittäin heikko |
| V = erittäin paksuoksainen | = extremely poor    |
| = extremely thick-branched |                     |



Kuva 8. Runkojen jakautuminen A = oksaisuusluokkiin ja B = laatuluokkiin. Luokat kuten kuvassa 7.  
 Fig. 8. Distribution of stems according to branchiness class (A) and quality class (B). See Fig. 7 for explanation of classes.

laatu paranivat voimakkaasti lähes 10 000 kpl/ha tiheyteen asti, jonka jälkeen paraneminen oli vähäistä. Valtapuuryhmissä tarvittiin yli 6 000 kpl/ha tiheys, jotta niiden keskiarvo olisi siirtynyt kolmanteen laatuluokkaan. Kaikkien puiden keskiarvon siirtyminen toiseen laatuluokkaan edellytti jo yli 12 000 kpl/ha tiheyttä. Valtapuuryhmien keskiarvot eivät oksaisuuden osalta muuttaneet suurillakaan tiheyksillä kolmatta laatuluokkaa paremmiksi (kuva 7A).

Laatutunnusten osalta harvojen kasvatusasentojen tilanne näytti hieman kohenevan, kun tarkasteltiin puiden määrällistä jakautumista eri oksaisuus- ja laatuluokkiin (kuvat 8 A ja 8 B). Noin 20- vuotiaassa puustossa yli 2 000 kpl/ha tiheydessä lähes puolet puista eli noin 1 000 kpl oli oksaisuudeltaan ja laadultaan kolmanteen tai sitä parempaan

luokkaan kuuluvia. Runkoluvun nousua lähelle 3 500 kpl/ha ja sen yli näihin luokkiin kuuluvien puiden osuus nousi molemmissa luokituksissa jopa yli 1 500 kpl/ha.

Yli 10 000 kpl/ha tiheyksillä ensimmäisen ja toisen luokan yhteisosuus puustossa nousi vallitsevaksi. Kuitenkin vain osalla puista on mahdollisuus kehittyä täysimittaisiksi rungoiksi supistuneen latvuksen vuoksi.

### Tarkastelua

Tässä tutkimuksessa sovellettiin puiden oksaisuutta ja laatua silmävaraisesti arvioitaessa Kärkkäisen ja Uusvaaran (1982) esittämää luokitusta. Oksaisuuden osalta jouduttiin luokitusta täydentämään ryhmällä ”erit-

täin hieno-oksainen”, koska tiheimmillä koealoilla ei mallina ollut neliasteinen luokitus riittänyt. Luokittelun yhdenmukaisuus ja tasavälisyys pyrittiin varmistamaan maastoharjoituksilla ja neuvotteluilla sekä pitämällä arviointiryhmän kokoonpano koko työn ajan samana.

Pääosa puista sijoittui keskimääräiseen eli kolmanteen laatuluokkaan, kun tiheys nousi vähintään 4 500 kpl:een/ha. Valtapuuryhmät jäivät kuitenkin siinäkin tiheydessä neljänteen luokkaan. Valtapuuryhmien ja kaikkien puiden välillä oksaisuusluokituksessa tiheysalueella 10 000—40 000 kpl/ha havaitaan suuri ero, jota laatuluokituksessa ei ole. Ero lienee seurausta siitä, että oksat suurimmissa tiheyksissä, runsaudestaan huolimatta, olivat valtapuillakin alittaneet laatuun haitallisesti vaikuttavan läpimittarajan.

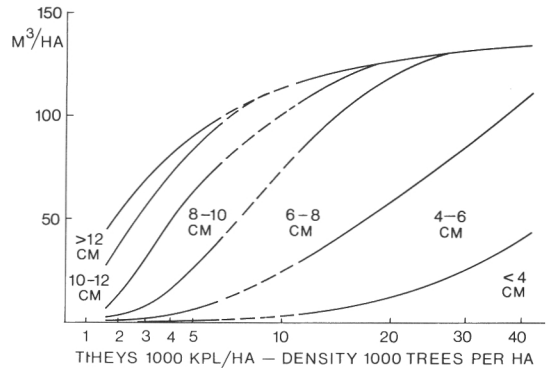
Tutkimuksen mukaan kuitenkin jo noin 4 000 rungon nykytiheydellä (lähtötiheys noin 15 % suurempi) voidaan päästä puustoon, josta voidaan toivoa kehittyvän kohtalaisen hyvälaatuista, karsimiskelpoista mäntyä. Tämän mahdollisuuden hyödyntäminen käytännössä edellyttää, että harvennuksissa hylätään suurikokoisimpien puiden suosiminen ja tehdään ns. laatuharvennus kuten esimerkiksi Vuokila (1979b, 1982 ja 1985) on ehdottanut.

Nyt esitettyä aineistoa tarkateltaessa on syytä muistaa, että elävät oksat jatkavat edelleen paksuuskasvuun. Erityisesti harvojen kasvatusasentojen ja valtapuuryhmien laatukehitys tulee puiden vanhetessa siten edelleen huononemaan. Näin käy sellaisissa hyvin yleisissä käytännön tapauksissa, joissa ei pystykarsintaa eikä laatuharvennusta suoriteta ja joiden kehitystä tämä tutkimus on tarkoitettu valaisemaan. Tehty luokitus kuvasi siis vain ohimenevää välivaihetta tällaisten viljelymänniköiden jatkuvasti huononevassa laatukehityksessä. Myös on otettava huomioon, että toisaalla esitetyt, mitatut oksatunnukset antavat tilanteesta luotettavamman kuvan kuin tässä esitelty silmävarainen luokittelu.

#### 44. Tiheyden vaikutus tuotokseen

##### Runkotilavuus

Harvimmissa tiheyksissä eli alle 3 000 kpl/ha pääosa runkotilavuudesta koostui rinnankorkeudelta yli 10 cm läpimittaisista



Kuva 9. Tiheyden vaikutus puuston runkotilavuuteen rinnankorkeusläpimittaluokittain.

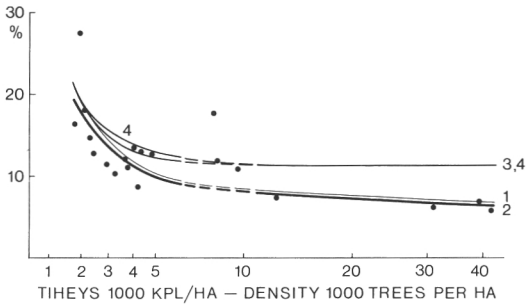
Fig. 9. Effect of stocking density on the stem volume of the stand by breast-height diameter class.

puista (kuva 9). Alle 2 000 kpl/ha tiheydessä noin kolmannes runkotilavuudesta koostui vähintään 12 cm täyttävistä rungoista. Alle 6 cm läpimittaisen puuston kuutiomäärä oli hyvin vähäinen. Tiheyden noustessa pieniläpimittaisten puiden osuus kokonaistuotoksesta suureni. Vielä käyttökelpoisen läpimittaluokan 8—10 cm osuus ei juurikaan muuttunut laajalla tiheysvälillä 3 000—12 000 kpl/ha.

Harvimmissa kasvatusasennossa kokonaistuotos jäi alle 50 m<sup>3</sup>/ha eli noin 2,5 m<sup>3</sup>/ha/vuosi. 3 500 kpl/ha tiheydessä tuotos nousi jo noin 75 m<sup>3</sup>:iin/ha ja noin 6 000 kpl/ha tiheydessä tuotos saavutti 100 m<sup>3</sup>/ha eli noin 5 m<sup>3</sup>/ha/vuosi rajan. Vielä 4 000 kpl/ha tiheydessä noin 85 % tuotoksesta kertyi yli 6 cm paksuista rungoista. Yli 10 000 kpl/ha tiheydessä tuotos nousi edelleen tasaisesti, mutta selvästi hidastuen. Suurimmillaan tuotos oli noin 130 m<sup>3</sup>/ha eli runsas 6 m<sup>3</sup>/ha/vuosi. Taimikoiden nykytiheyttä suurin piirtein vastaava 1 700 kpl/ha merkitsee siten noin 5 000 kpl/ha tiheyteen verrattuna 20 vuoden iässä lähes 50 m<sup>3</sup>/ha tuotostappiota.

##### Oksatilavuuden suhde runkotilavuuteen

Alle 3 500 kpl/ha tiheyksissä puiden biomassan tuotos näytti keskittyneen runkopuun ohella ja jopa sen kustannuksella oksamassan tuottamiseen (kuva 10). Oksamassa laskettiin tosin hyvin karkealla menetelmällä. Oletettiin jokaisen oksakiehkuran keskimää-



Kuva 10. Tiheyden vaikutus oksatilavuuden osuuteen runkotilavuudesta. Puuryhmät ks. kuva 1.

Fig. 10. Effect of stocking density on the proportion of branch volume out of the stem volume. See Fig. 1. for explanation of tree groups.

räisen oksan pituudeksi lyhimmän ja pisimmän oksan keskiarvo ja paksuudeksi puolet niiden tyvipaksuudesta.

Kysymys oli siten vain oksien tilavuuden likiarvosta, joka näin mitaten oli ilmeisesti todellisuutta pienempi, sillä valtaosa kiehkuran oksista oli kooltaan lähempänä pisintä kuin lyhintä oksaa. Tulokset kuvaavat siksi vain tämän suhteen muuttumista tiheyden lisääntyessä.

Oksien pääangan tilavuuden suhde koko rungon tilavuuteen oli harvimmissa asennoissa noin 20 % sekä koko aineistossa että valtapuuryhmissä. Tiheyden nousu 5 000 kpl:een/ha pudotti suhteellisen osuuden 10 %:iin koko aineistossa, mutta valtapuuryhmissä osuus pieneni vain noin 15 % tasolle, jonka jälkeen se ei enää juurikaan pienentynyt tiheyden suuretessa. Koko aineistossa pieneneminen jatkui edelleen, tosin selvästi hidastuen.

### Tarkastelua

Luonnontilaisten nuorten männiköiden tuotosta on mitattu useissa tutkimuksissa (esim. Heikinheimo 1915, Ilvessalo 1920, Lönnroth 1925 sekä Ilvessalo, Y. ja M. 1975). Ilvessalon (1920) selostuksen mukaan: ”Koealat sijoitettiin yhtenäisen aineiston saamiseksi säännöllisesti kasvaneisiin, mikäli mahdollista koskemattomiin ja puhtaisiin metsiköihin, vaikka tällaisten löytyminen kohtasi-kin melkoisia vaikeuksia”. Hänen mukaansa kaikki tutkitut metsiköt paria poikkeusta lu-

kuunottamatta olivat luonnonsiemennyksestä syntyneitä ja miltei kaikki, varsinkin männiköt ja koivikot, olivat tasaikäisiä.

Lönnroth (1925) asetti koealoilleen vieläkin ankarampia laatuvaatimuksia. Niihin kuului hänen mukaansa se, että tutkimusmetsiköt olivat sulkeutuneita ja tasaisia, että puustot kasvoivat lähes täystiheinä sekä vapaina varjostuksesta ja että ne olivat säästyneet myös luonnontuhoilta ja ihmisen vaikutukselta. Joka tapauksessa on todennäköistä, että tutkitut luontaiset männiköt olivat ainakin osittain syntyneet usean vuoden kuluessa ja kehittyneet pitkän ajan alikasvoksina.

Lönnroth esitti tietoja mm. eri puuluokkien pituudesta, rinnankorkeusläpimitasta, luontaisesta poistumasta ja kuutiotuotoksesta metsiköiden 14 vuoden ikävaiheesta 150 vuoden ikään saakka. Kokonaistuotokseksi hän sai 10 000 rungon hehtaartihydessä 20 vuoden iällä puolukkatyyppillä 32 m<sup>3</sup>/ha. Ilvessalon tiedot alkoivat 10 vuoden iästä, joskin runkosarjat oli laskettu vasta 50 vuoden iästä alkaen. ”Aivan nuorille metsiköille tällaisia lukusarjoja ei ole laskettu, syystä että sellaisissa niillä ei ole sanottavaa merkitystä”.

Männyn tuotokseksi puolukkatyyppillä 20 vuoden iällä 10 000 kpl/ha tiheydessä saatiin tässä työssä noin 115 m<sup>3</sup>/ha. Saatu tulos on siten yli kaksinkertainen edellä esitettyihin luonnontilaisiin metsiköihin verrattuna. Tulokseen on osaltaan vaikuttanut se, että koealat ovat kasvaneet vapaina ylispuustosta ja että alkuaikoina lähes vuosittain heinät käännettiin mittauksen vuoksi taimien päältä pois.

Huomattavaa on, että Ilvessalon ja Lönnrothin tulokset edustavat vain laajojen alueiden keskiarvoja, joihin tietoisesti pyrittiin kuten Ilvessalon ilmoitus todistaa: ”Vaihtelutalastollisia menetelmiä käyttäen tutkittiin aineiston yhtenäisyyttä ja tämän perusteella jätettiin aineistosta pois joukko enimmäns keskimäärästä poikkeavia koealoja...”. Molemmat tutkijat mainitsivat myös, että luonnontiloissa esiintyy suuria sekä tiheyden että läpimittavaihteluita samanikäisissäkin metsiköissä.

Tässä tutkimuksessa tiheimmät koealat olivat pienikokoisia. Huolimatta kaatonäytettä suojaavasta vaipasta, jonka runkoluku oli 29—48 % kunkin koealan kokonaisrunkoluvusta, koealan sisältä mitatun kaatonäytteen puut ovat voineet saada kasvukau-

den aikana normaalia runsaammin valoa (vrt. esim. Oikarinen 1978). Tämä on voinut vaikuttaa myös lumen ja roudan sulamiseen puiden juurilta aikaisemmin kuin yhtä tiheistä, laajoista metsiköistä (Yli-Vakkuri 1960). Tiheimpien koealojen puut ovat siinä tapauksessa kehittyneet suotuisammissa oloissa kuin luonnonmänniköiden taimet.

On myös otettava huomioon, että tuotos mitattiin ennen vakavaa lumituhoa, joka alensi merkittävästi kasvavan puuston määrää tiheimmillä, yli 10 000 kpl/ha koealoilla. Aika-ajoin sattuvat lumituhot vaikuttanevat samoin myös ylitieheissä, nuorissa luonnonmänniköissä.

Oksaisuusluokkakautumat ja oksien paksuudet eivät myöskään tue epäilyä runsaasta sivuvalosta, sillä tiheiden koemetsiköiden sisältä otettujen kaatonäytteiden puut olivat keskimäärin ohutoksaisia. Se ei valolle herkästi reagoivalla männyllä ole runsaassa valossa mahdollista. Tutkimukseen sisältyi myös 22-vuotias luontaisesti syntynyt männikkö täydentävänä koealana. Sen tiheys oli 33 000 kpl/ha ja tuotos yli 150 m<sup>3</sup>/ha (liite 2, koeala 34).

Eräässä vesametsien tuotosta selvittäneessä tutkimuksessa (Hakkila toim. 1985) on, tosin paremmalla maaperällä, saatu tuloksia, jotka huomattavasti ylittävät tämän tutkimuksen tuotokset. Hieskoivun tuotokseksi turvemaalla oli kokeissa mitattu, oksat mukaanlukien, 6—10 m<sup>3</sup>/ha/vuosi 12—20 vuoden kiertoajalla. Suurin tuotos saavutettiin metsiköissä, joissa elävien puiden runkolulu ylitti 25 000 kpl/ha. Metsiköt olivat siten tämän tutkimuksen tiheimpien koealojen tapaisia, joskin mäntytiheikköjen runkoluku oli lähes kaksinkertainen ja kasvupaikka karumpi.

Hylättyjen peltojen OMT:tä vastaavalla maaperällä Raulo (1984) on mitannut nuorille rauduskoivuille tuotoksia, jotka vielä huomattavasti ylittävät esitetyt hiesvesametsän tuotokset. Rautalahden koivukoetilalla rauduskoivun tiheyskokeessa on noin 7 600 kpl/ha runkoluvulla saavutettu 19 kasvukaudessa jopa yli 250 m<sup>3</sup>:n tuotos hehtaaria kohden. Kokeen harvimmallakin koelalla, jonka istutusitiheys oli noin 2 200 kpl/ha kokonaistuotos nousi noin 170 m<sup>3</sup>:iin.

Oikarinen (1983) kuitenkin arvioi Rautalahden tulokset poikkeukselliseksi. Hän päätyi teoreettisissa kasvatusmalleissaan parhaalla boniteetilla vain noin 180 m<sup>3</sup>:n kokonaistuotokseen, mutta karuimmilla kasvupaikoil-

la vain 50 m<sup>3</sup>/ha tuotokseen tiheyden ollessa 2 000 kpl/ha ja iän 20 vuotta.

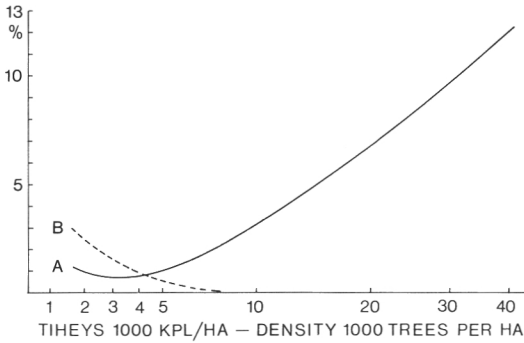
Käytännön toimenpiteiden kannalta tärkeimmällä tiheysalueella eli 1 700—5 000 kpl/ha tämän tutkimuksen koealasto kuitenkin on luotettava, koska koealoilla on laaja, samanlainen puusto ympärillään. Tiheyden noustessa näissä rajoissa tuotos kasvoi 45:stä 90 kuutiometriin/ha. Siten kohtuullinen tiheyden lisääminen nostaa tuotoksen kaksinkertaiseksi. Mikä tärkeintä, se samalla vaikuttaa sekä luston paksuuteen että oksaisuuteen siinä määrin, että sopivalla laatuharvennuksella voitaneen noin 4 000 kpl/ha tiheydessä päästä karsimiskelpoiseen peruspuustoon, joka sahapuuna täyttää vähintään kohtuullisen vaatimustason.

Olettamus, että hyvin harvassa asennossa merkittävä osa kasvusta suuntautuu rungon sijasta oksiin, sai tämän tutkimuksen tuloksista vahvistusta. Alle 3 500 kpl/ha tiheydessä tuotos alkoi yhä enemmän sijoittua runkopuun kustannuksella oksistoon. Tulos oli yhdenmukainen sen havainnon kanssa, että puiden keskipituus oli suurimmillaan noin 3 000—4 000 kpl/ha tiheydessä.

Heikinheimo (1953) teki samantapaisia laskelmia. Hän punnitsi puolukkatyyppin männiköiden muutamia runkoja ja erotteli oksabiomassaan myös oksien sivuhaarat ja neulaset eli enemmän aineksia kuin tässä tutkimuksessa. Hän jakoi rungot lisäksi neljään eri latvuskerrokseen (Ilvessalo 1929). Niiden välillä ei kuitenkaan ilmennyt suuriakaan eroja. Kaksikymmenvuotiaassa männikössä suhde vaihteli 20—40 % välillä. Puiden vanhetessa se aleni 10—20 %:iin. Ero tulosten suuruusluokassa tämän tutkimuksen kanssa selittyyneen oksamassan mittaustavan erilaisuudella.

#### 45. Tiheyden vaikutus lumituhoihin

Etelä-Suomessa lumituhot talvella 1983—84 kohdistuivat osaltaan tämän tutkimuksen koealoihin ja sallivat tuhojen selvittelyn myös tiheyskysymyksenä. Kaikki koemetsiköt, noin 6 600 runkoa, tarkastettiin ja vauriot määritettiin. Tuhot ilmenivät puustossa kahdella eri tavalla, runko- ja oksamurtumina. Runkomurtumia (kuva 11 A) ilmeni eniten suurimmissa tiheyksissä, noin 12 %:ssa kaikista puista. Niiden yleisyys aleni



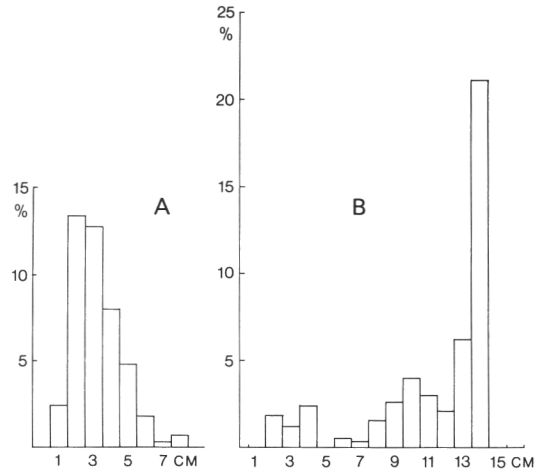
Kuva 11. Tiheyden vaikutus lumituhojen yleisyyteen koko aineistossa: A = runkomurtumat ja B = oksamurtumat.

Fig. 11. Effect of stocking density on the occurrence of snow damage in the whole material: A = broken stem and B = broken branches.

5 000 kpl/ha tiheyteen mennessä noin 1 %:iin. Tätä alemmissa tiheyksissä lumen aiheuttamat vauriot olivat ensisijaisesti joko latvojen katkeamisia tai latvahaarojen ja oksien lohkeamisia (kuva 11 B). Tämänkaltaiset vauriot loppuivat kokonaan tiheyden noustessa noin 7 000 kpl/ha:iin. Oksa- ja runko- vaurioiden yhteisvaikutus oli pienin tiheysalueella 3 000—5 000 kpl/ha.

Aineistosta mitattiin myös lumituhojen esiintyminen eri läpimittaluokkien puissa (kuva 12). Runkomurtumat kohdistuivat voimakkaimpina hoikkiin puihin. Yli 9 cm:n läpimittaluokissa niitä ei havaittu lainkaan. Suurissakaan tiheyksissä valtapuut eivät yleensä kärsineet runkomurtumista, joskin satunnaisesti myös verrattain paksuja eli 7—8 cm läpimittaisia runkoja oli murtunut. Se oli seurausta tiheiden kasvustojen latvuksiin kertyneiden laajojen lumipatjojen painosta. Yhtenäinen lumimassa oli taivuttanut ohuiden runkojen ohella myös sellaisia runkoja, jotka yksittäin olisivat saattaneet kestää lumen painon.

Oksamurtumia ei esiintynyt juurikaan alle 9 cm läpimittaisissa puissa. Paksummissa läpimittaluokissa (13—14 cm) oksamurtumat olivat yleisimmillään. Järeimmässä luokassa niitä esiintyi jopa viidenneksessä runkoja. Ilmiö oli yhteydessä oksien puituuteen.



Kuva 12. Lumen aiheuttamien runkomurtumien (A) ja oksamurtumien (B) riippuvuus runkojen rinnankorkeusläpimitasta, % ko. läpimittaluokan kaikista puista.

Fig. 12. Dependence of stem breakage (A) and branch breakage (B) caused by snow on the breast-height diameter of the stems, % of all the trees in the same diameter class.

### Tarkastelua

Suomen oloissa lumi aiheuttaa painollaan metsissä silloin tällöin taloudellisia vahinkoja kaatamalla ja murtamalla puita. Runsaslumisilla Itä- ja Pohjois-Suomen vaaramailla laajamittaista ja säännöllistä metsien vaurioitumista lumen painosta tapahtuu lähes vuosittain. Maan eteläosassa sattuu merkittävää puuston tuhoutumista vain poikkeuksellisten sääolojen seurauksena. Tällaista on tapahtunut esimerkiksi talvella 1947—48 Keski-Suomessa ja Pohjois-Karjalassa, vuonna 1952 Keski-Suomessa, talvella 1955—56 Etelä- ja Länsi-Suomessa. Vuonna 1959 huomattavaa puuston tuhoutumista tapahtui osassa Uttamaata ja Etelä-Hämettä (Lumituho- komitean mietintö 1960, Suominen 1963). Lumituhoja on selvitetty laajalti niiden valtakunnallisen merkityksen vuoksi. Lukuisat tutkijat ovat syventyneet aiheeseen (esim. Heikinheimo 1920, Aaltonen 1934, Kangas 1948a ja 1948b, Juutinen 1953, Rummukainen 1967 sekä Solantie ja Ahti 1980).

Lumituhot ovat nuorten metsien hoidossa varteenotettava haitta kaikkialla muuallakin pohjoisissa maissa (esim. Mattson-Mårn 1922, Schotte 1922, Samuelson 1970, Godman ja Cooley 1970). Lumi ja jää voivat ai-

heuttaa merkittäviä tuhoja kuitenkin myös etelämpänä varsinkin vuoristoseuduilla. Esimerkiksi Saksassa ne on otettava yleisesti huomioon (Rebel 1922, Stadler 1959, Schmidt-Vogt 1966, Lessel-Dummel 1981, sekä Kramer ja Jünemann (1984). Niinkin etelässä kuin Yhdysvaltojen Georgiassa ajoittain sattuvat jäämyrskyt voivat aiheuttaa laajamittaisia tuhoja kuten runkojen katkeamista sekä suurienkin puiden kaatumista (Rowland 1950, Roberts ja Clapp 1956).

Aikaisemmat lumituhohavainnot meillä ovat kohdistuneet lähinnä luonnonmetsiin, joiden puut ovat voineet alusta saakka kehittää juuristonsa sopivimmiksi oman kasvu-kohtansa maaperään ja muihin olosuhteisiin. Tässä tutkimuksessa kyse oli pääasiassa istuttamalla perustetuista koealoista ja niihin kohdistuneista lumituhouista. Tällaisissakin metsiköissä tuhot olivat tyypiltään tavanomaisia eli runkojen vääntymistä ja murtumista sekä latvojen ja oksien lohkeamista.

## YHTEENVETO

Tutkimuksen koemetsiköt kasvavat Etelä-Suomessa, Hartolassa (maantiet. pit. 26°00' ja lev. 61°28'). Ne on alunperin perustettu istutuksen suoritustapojen, istutusajankohtien ja taimityyppien vertailemiseksi. Laajan tiheysvaihtelun vuoksi aineisto, joka on vanhin tämän tyyppinen kokeellinen materiaali Suomessa, tarjoaa harvinaisen mahdollisuuden ainakin suuntaa-antavasti selvittää myös tiheyden vaikutusta istutusmännikön tekniiseen laatuun ja tuotokseen.

Tutkimus osoitti johdonmukaisesti, että nuoruusvaiheen kasvatustiheys luo pohjan männikön laatu- ja tuotoskehitykselle. Erittäin sahapuun kasvatuksessa laatuksisuus on tärkeä, mutta korkealaatuinen puu-aines on käyttökelpoisinta muihinkin tarkoituksiin.

Tutkimuksen istutustiheysarja kattoi mitausvaiheessa jokseenkin tasaisesti tiheysalueen 1 700—42 000 tainta/ha. Metsiköiden ikä oli silloin keskimäärin 20 vuotta. Seuraavassa esitettävät runkoluvut tarkoittavat tämän ikävaiheen tiheyksiä. Tutkimuksen varsinaiset koealat ovat kasvaneet perustamisaikana käytännössä yleisestä, jalostamattomasta sie-

Juuriston heikkoudesta johtuvaa kallistumista ei havaittu.

Tiheimmillä istutuskoealoilla lumi teki samantapaisia aukkoja metsiköihin kuin Godman ja Cooley (1970) ovat kuvanneet. Heidän havaintojensa mukaan tällaiset aukot jättivät alunperin tiheinä perustettujen taimikkojen pohjapinta-alan jopa pienemmäksi kuin alunperin harvemmissä istutuksissa, joissa taimet vaurioitta kestivät lumen painon.

Lumituho näyttää jonkin verran heikentäneen sitä hyötyä, joka suurista istutustiheyksistä runkojen laadulle olisi ilmeisesti koitunut. Lumituhot eivät kuitenkaan nousseet käytännössä merkittäviin mittoihin niissä tiheyksissä, jotka täyttävät korkealaatuisen sahapuun tuottamisen minimiedellytykset. Optimaalinen kasvatustiheys, jossa runkojen murtumat ja oksalohkeamat jäivät vähäisimmiksi, näytti olleen noin 3 000—5 000 kpl/ha.

menkeräysmetsiköiden siemenestä harventamattomina ja karsimattomina männiköinä. Kasvupaikka oli hyvä puolukkatyyppin kangasmaa. Koealoilta mitattiin monipuolisesti männyn sahapuun laatua kuvaavia ja myöhempää kehitystä ennustavia tunnuksia. Mitatustulokset antoivat mahdollisuuden tarkastella tiheyden vaikutusta myös puuston kokoa ja määrää kuvaaviin tunnuksiin sekä lumituhohalttiuteen. Istutuskoealojen täydennyksenä ja vertailuna oli mukana muutamia kylvään ja luontaisesti perustettuja metsiköitä.

Ne koealat, joiden tiheys oli 30 000 kpl/ha tai enemmän, olivat siksi pienialaisia, että niiden tuloksia käytettäessä on otettava huomioon sivuvalon mahdollinen vaikutus. Muissa tiheyksissä koealojen vaippa oli riittävä.

Pituuskehityksen kannalta edullisin tiheysalue oli 3 000—4 000 kpl/ha. Tiheyden kasvaessa runkojen rinnankorkeusläpimitta pieneni. Suuri tiheys hoikensi keskimääräisiä runkoja voimakkaasti ja teki ne lumen aiheuttamille murtumille alttiiksi. Valtapuut sen sijaan säilyttivät riittävän tanakkuuden

tiheiköissäkin.

Senttimetrin päästä kantoleikkauksen ytimestä alkavien vuosilustojen paksuus ylitti kaikkien puiden keskiarvona 3 mm:n rajan aina 4 000 rungon hehtaartihyeyteen saakka. Saman rajan alittamiseen tarvittiin valtapuuryhmillä jopa 7 000 rungon tiheys.

Tiheys vaikutti sekä elävien että kuolleiden paksuimpien oksien tyviläpimitaan tasan pienentävästi tiheysvälillä 1 700—10 000 kpl/ha. Sen jälkeen vaikutus heikkeni, mutta pysyi samansuuntaisena tiheyden edelleen lisääntyessä. Jos karsimiskelpoisuuden rajana pidettäisiin esimerkiksi 20 mm, paksuimman elävän oksan läpimita oli sitä suurempi alle 4 000 kpl/ha tiheydessä kaikkien puiden ryhmissä. Vastaava raja paksuimman kuolleen oksan osalta oli noin 2 500 kpl/ha. Valtapuuryhmillä rajat kuitenkin nousivat 8 000 ja 5 000 kpl:een/ha, vaikka 200 paksuinta puuta oli näistä ryhmistä poistettu.

Latvussuhdetta eli elävän latvuksen osuutta puun pituudesta tiheys pienensi vain vähän. Samoin elävän latvuksen alaraja nousi tiheyden kasvaessa vain lievästi, eikä se suurissakaan tiheyksissä ylittänyt kolmen metrin rajaa. Kun kuolleista oksista karsiutunut osa jäi suurissakin tiheyksissä vain muutaman desimetrin pituiseksi, metsiköt eivät sellaisenaan ilman kuolleiden oksien ja alimpien, elintoiminnassaan heikentyneiden oksakiehkuroiden karsintaa tuota oksatonta sahataravaa.

Elävien oksien läpimittojen summan suhde rungon kehään pieneni viidenneksi ylimmästä oksakiehkurassa 50:stä 25 %:iin harvimmasta kasvatusasennosta suurimpaan tiheyteen siirryttäessä. Vastaavat suhteet seitsemännessä oksakiehkurassa olivat alhaisemat eli 40 ja 10 %. Leikkauspintojen suuri osuus ylimmissä oksakiehkuroissa antaa aihetta varovaisuuteen karsimiskorkeutta mää-

rättäessä.

Tiheys vaikutti voimakkaasti myös runkopuun kokonaistilavuuteen. Nykykäytännön tiheyttä eli noin 2 000 kpl/ha vastaavilla koaloilla tuotos nousi 20 vuoden iällä noin 45 m<sup>3</sup>:iin/ha. Tiheyden nostaminen 5 000 runkoon hehtaaria kohti kohotti tuotoksen lähes kaksinkertaiseksi. Tällöin sen valtaosa eli noin 80 % koostui rinnankorkeudelta 6 cm täyttävistä rungoista. Tuotos nousi edelleen tiheyden kasvaessa. Noin 30 000—40 000 kpl/ha tiheydessä runkopuun määrä oli noin 130 m<sup>3</sup>/ha, mutta tällöin valtaosa rungoista eli n. 80 % oli läpimitaltaan alle 6 cm. Myös eräällä täydentävällä, luontaisesti syntyneellä ylitiehellä koelallalla tuotos nousi 22 vuoden iällä jopa 150 m<sup>3</sup>:iin/ha.

Tutkimuksessa tehtiin myös se havainto, että erittäin väljissä asennoissa merkittävä osa kasvusta sijoittui rungon asemesta oksistoon.

Silmävarainen oksaisuus- ja laatuluokitus vahvisti mitattujen oksatunnusten antamia tuloksia, mutta se osoitti samalla, että noin 4 000 kpl/ha tiheydestä alkaen on mahdollista tuottaa kohtalaisen hyvälaatuisia, karsimiskelpoisia runkoja, jos puuston käsittelyssä nykyistä rohkeammin noudatetaan laatu-harvennuksen periaatetta.

Kasvupaikka oli maaperä- ja kasvipeite-analyysien mukaan hyvä puolukkatyyppi, jonka pituusboniteetti luokka kylvömänniköille on H<sub>100</sub>=24 m. Pituuskasvutulokset viittasivat kuitenkin boniteetti luokkiin 27 ja 30 m, jotka vastaavat metsätyyppäjä MT ja OMT (Lh). Ero johtunee siitä, että hyvin hoidetut istutusmänniköt kehittyvät nuoruusvaiheissaan yleisesti kylvömänniköitä nopeammin. Kun runkojen laatukehitys kuitenkin kiinteästi seuraa kasvunopeutta, lienevät tämän tutkimuksen johtopäätökset sovellettavissa hyvän VT:n hoidettuihin istutusmänniköihin.

## KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Aaltonen, V.T. 1934. Metsänhoito-opin alkeet. Werner Söderström. Porvoo. Helsinki. 260 s.
- Abetz, P. 1970. Bestandesdichte und Astdurchmesser bei der Rheintalkiefer. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 141(12): 233—238.
- & Merkel, O. 1968. Aststärken und Schaftovalität in Fichten-Reihenbeständen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 1939(16): 138—145.
- Amuat, F. 1861. Ueber die Aufästung der Waldbäume. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 50(2): 144—151.
- Arnkil, J.E. 1985. Männikön ensiharvennus osa laatu-kasvatusta. Metsä ja puu 1985(3): 15—17.
- Arovaara, H., Hari, P. & Kuusela, K. 1984. Possible effect of changes in atmospheric composition and acid rain on tree growth. Seloste: Ilmakehän ominaisuuksien muutosten ja happaman laskeuman mahdollinen vaikutus puuston kasvuun. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 122: 1—16.
- Asikainen, K. & Panhelainen, A. 1970. Tukin lenkouden vaikutus sahaustulokseen. Summary: The effect of the sweep of the log on the sawing yield. Paperi ja Puu 52(4a): 219—230.
- Bell, T.I.W. 1978. The Effect of Seedling Container Restrictious on the Development of Pinus Caribaea Roots. Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium. British Columbia Ministry of Forest/Canadian Forestry Service Joint Report 8: 91—95.
- Bennet, F.A. 1960. Spacing and early growth of planted Slash pine (Pinus eliottii). Journal of Forestry 58(12): 966—967.
- Biermans. 1845. Kulturverfahren von Biermans. Neue Jahrbuch der Forstkunde 1845/1846.
- Borg, A. 1926. Metsän kylvö ja istutus. Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapion Käsikirjasia 15: 1—48.
- 1931. Metsänviljelys. Tapion taskukirja. Seitsemäs painos. Helsinki. s. 77—84.
- Brazier, J.D. 1970. The effect of spacing on the wood density and wood yield of Sitka spruce. Forestry 43(3): 22—28.
- Brown, J.M.B. 1952. Influence of shade on the height growth and habit of beech. Report on Forest Research. Forestry Commission. London 1952(10): 62—67.
- Burger, H. von 1925. Einfluss von Rasse, Boden und Erziehung auf die Stammform der Föhre. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 57(20): 296—303.
- 1951a. Ertragskundliche Grundlagen zur Frage der Massen- und der Qualitätsholzerzeugung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 102(4): 185—201.
- 1951b. Aufästung, Entnadelung und Zuwachs bei jungen Fichten und Föhren. Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn 47: 8—16.
- Busse & Jaehn, 1925. Wachsraum und Zuwachs. Mitteilungen aus der Sächsischen forstlichen Versuchsanstalt zu Tharandt 2(6): 200—281.
- Bühler, 1886. Untersuchungen in einem Fichtenbestande über den Einfluss der Pflanzweite. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung 62(1): 1—7.
- Byrnes, W.R. & Bramble, W.C. 1955. Growth and yield of plantation-grown Red pine at various spacings. Journal of Forestry 53(8): 562—565.
- Cajander, A.K. 1949. Metsätyypit ja niiden merkitys. Forest types and their significance. Acta Forestalia Fennica 56. 71 s.
- Carbonnier, C. 1964. Aktuelle synpunkter på föryngringsfrågorna speciellt med tanke på förbandets inflytande på kvantitets- och kvalitetsproduktionen. Rapporten och Uppsatser, Institutionen för Skogsproduktion, Skogshögskolan 6: 1—15.
- Chavasse, C.G.R. 1978. The Root Form of Stability of Planted Trees with Special Reference to Nursery and Establishment Practice. Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium. British Columbia Ministry of Forests/Canadian Forestry Service Joint Report 8: 54—64.
- Cotta, H. 1849. Anweisung zum Waldbau. Siebente Auflage. Arnoldische Buchhandlung. Dresden und Leipzig. 418 s.
- Courval, 1865. Das Aufästen der Waldbäume oder neue Methode der behandlung der Hochstämmigen Hölzer. Julius Springer. Berlin. 75 s.
- Craib, I.J. 1947. The Silviculture of Exotic Conifers in South Africa. Summary: 5th British Empire Forestry Conference, London. 816: 1—35.
- Cromer, D.A.N. & Pawsey, C.K. 1957. Initial Spacing and Growth of Pinus radiata. Forestry and Timber Bureau. Bulletin 36: 1—42.
- Dengler, A. 1930. Waldbau auf ökologischer Grundlage. Julius Springer. Berlin. 560 s.
- Dittmar, O. 1975. Waldbauliche und ertragskundliche Ergebnisse 30 jähriger Kiefern-Verbandsweiten im Staatlichen Forstwirtschaftsbetrieb Eberswalde. Sozialistische Forstwirtschaft 25(8): 239—241, 245.
- Dücker, V. 1883. Ist die Pflanzung junger Kiefern mit entblösster Wurzel eine empfehlenswerte Kulturmethode? Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 2: 65—82.
- Düesberg, 1893. Wie erwachsen astreine Kiefern? Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 25: 601—607.
- Eklund, B. 1956. Ett förbandsförsök i tallskog. Summary: An experiment in sowing and planting pine with different spacings. Meddel. från Statens skogsforskningsinstitut 46(10): 1—98.
- Elfving, B. 1975. Volym och struktur i ogallrade tallbestånd. Summary: Volume and structure in unthinned stands of Scots pine. Rapporten och Uppsatser. Skogsproduktion. Skogshögskolan 35: 1—128.
- Ericson, B. & Beyer-Ericson, L. 1984. Fördande svampskador på tall som stamkvistats under vinterhalvåret. Skogen 1984(7): 24—26.
- Erteld, W. 1975. Verbandsweite, Jahrringsbreite und Aststärke der Kiefer auf einem mittleren terrestischen Standort in Altpleistozän. Die sozialistische Forstwirtschaft 25(8): 242—245.
- Eversole, K.R. 1955. Spacing tests in a Douglas-fir plantation. Forest Science 1(1): 14—18.
- Flöhr, W. 1975. Zur Verbandswahl in Kiefernkulturen aus waldbaulicher und technologischer Sicht. Die sozialistische Forstwirtschaft 25(8): 236—238.
- Frankhauser, 1901. Der weite Pflanzverband. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 52(9): 217—221.
- Gayer, K. 1898. Der Waldbau. Vierte Auflage. Paul Parey. Berlin. 626 s.
- Godman, R.M. & Cooley, J.H. 1970. Effect of initial

- spacing on Jack pine growth and yield. *Michigan Academician* 2(4): 107—111.
- Grah, R.F. 1961. Relationship between tree spacing, knot size and log quality in young Douglas-fir stands. *Journal of Forestry* 59(4): 270—272.
- Gylden, C.W. 1853. *Handledning för skogshållare i Finland*. H.C. Friis. Helsingfors. 149 s.
- Hagner, S. 1978. Observations on the Importance of Root Development in the Planting of Containerized Tree Seedlings. Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium. British Columbia Ministry of Forests/Canadian Forestry Service Joint Report 8: 145—149.
- Hakkila, P. (toim.-ed.) 1985. Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. Summary: The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project. *Folia Forestalia* 624. 86 s.
- Hannikainen, P.W. 1919. Metsänhoito-oppi metsän ystävälle. Neljäs painos. Otava. Helsinki. 286 s.
- Harms, W.R. & Collins, A.B. 1965. Spacing and twelve year growth of Slash pine. *Journal of Forestry* 63(12): 909—912.
- Harris, J.M., James, R.N. & Collings, M.J. 1976. Case for improving wood density in Radiata pine. *New Zealand Journal of Forestry Science* 5(3): 347—354.
- Hawley, R.C. 1937. *The practice of silviculture*. 4th Ed. J. Wiley. New York. 32 s.
- & Clapp, R.T. 1935. Artificial pruning in coniferous plantations. Yale University. School of Forestry. *Bull.* 39: 1—36.
- Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. Referat: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 4: 1—264, liitteitä 149 s.
- 1920. Suomen lumituoalueet ja niiden metsät. Referat: Die Schneeschadengebiete in Finnland und ihre Wälder. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 3(3): 1—151.
- 1935. Tuloksia metsänviljelymenetelmiä koskevista kokeista. *Metsätietoa* I: 134—150.
- 1938. Harvennushakkauksista. *Silva Fennica* 46: 84—98.
- 1941. Metsänistutusmenetelmistä. Referat: Versuche mit waldbaulichen Pflanzmethoden. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 29(4): 1—63.
- 1951. Metsänistutukset huokeammiksi ja yleisemmiksi. *Metsälehti* 1951(45): 1—2.
- 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. Summary: On natural pruning of tree stems. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 41(5): 1—39.
- Heiskanen, V. 1954. Vuosiluston paksuuden ja sahatukien laadun välisestä riippuvuudesta. Summary: On the interdependence of annual ring width and sawlog quality. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 44(5): 1—28.
- 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisestä suhteista männiköissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. *Acta Forestalia Fennica* 80(2): 1—62.
- & Siimes, F. 1959. Tutkimus mäntysahatukien laatuluokituksesta. Summary: A study regarding the grading of pine saw logs. *Paperi ja Puu* 41(8): 359—368.
- Hiley, W.E. 1930. *The Economics of Forestry*. Clarendon Press. Oxford. 256 s.
- Hultén, H. & Jansson, K.-Å. 1978. Stability and Root Deformation of Pine Plants (*Pinus silvestris*). Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium. British Columbia Ministry of Forests/Canadian Forestry Service Joint Report 8: 145—149.
- Huuri, O. 1956. Arvokas metsikköharvinaisuus yksityismaalla. *Metsälehti* 1956(6): 5.
- 1965a. Taimivälän vaikutus metsänviljelyn kustannuksiin ja tuloksiin I. *Metsälehti* 1965(23): 4.
- 1965b. Taimivälän vaikutus metsänviljelyn kustannuksiin ja tuloksiin II. *Metsälehti* 1965(24): 6.
- 1972. Istutuksen suoritustavan vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. Summary: The effect of deviating planting techniques on initial development of seedlings of Scots pine and Norway spruce. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 75(6): 1—92.
- 1973. Eräitä männyn turveruokkuistutuksia koskevia suomalaisia havaintoja. Summary: Finnish observations on planting pine in peat pots. *Suo* 24(2): 37—46.
- 1976. Kallistumisilmiö istutusmänniköissä. Tiedustelun tuloksia. Summary: Tilting of planted pines; survey results. *Folia Forestalia* 265. 22 s.
- , Lähde, E. & Huuri, L. 1984. Tiheyden vaikutus istutusmännikön laatuun. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 167: 1—22.
- & Lähde, E. 1985. Effect of planting density on the yield, quality and quantity of Scots pine plantations. Proceeding of an International Conference Crop Physiology of Forest Trees, held in Finland, July 23—28, 1984. Compiled and edited by Tigerstedt, P., Puttonen, P. and Koski, V. University of Helsinki, s. 295—304.
- Ivessalo, L. 1929. Puuluokitust ja harvennussasteikko. A Treeclassification and Thinning System. *Acta Forestalia Fennica* 34(38): 1—15.
- Ivessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotalut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. *Acta Forestalia Fennica* 15(4): 1—96.
- & Ivessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuottokyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. *Acta Forestalia Fennica* 144: 1—101.
- Jalava, M. 1934. Havaintoja puun aseman vaikutuksesta puun ominaisuuksiin. Summary: Investigation into the influence of the position of a tree in the stand upon the properties of wood. *Acta Forestalia Fennica* 40(9): 229—248.
- 1937. Parantaako karsiminen puiden laatua? *Suomen Puu* 12 (Erikoinennumero): 54—57.
- Jokinen, P. & Kellomäki, S. 1982. Havaintoja metsikön kasvutiheyden vaikutuksesta runkojen oksaisuuteen varttuneissa männyn taimikoissa. Summary: Observations on the effect of spacing on branchiness of Scots pine stems at pole stage. *Folia Forestalia* 508. 12 s.
- Junack, 1921. Soll man aufastan oder nicht. *Forstliche Wochenschrift Silva* 1921(26): 174.
- Jussila, E.A. 1935. Raaka-aineen vaikutus sahatavaran laatuun. Yksityismetsänhoitajyhdistyksen vuosikirja 8:24—38.
- Juutinen, P. 1953. Männyn toipuminen Kolilla talven 1947—48 lumituhojen jälkeen. Referat: Die Erhöhung der Kiefer auf der Koli-Anhöhe nach den Schneebruchschäden im Winter 1947—48. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 41(2): 1—43.

- Kalela, E. 1945. Metsät ja metsien hoito. WSOY. Porvoo — Helsinki. 368 s.
- Kangas, E. 1948a. Eräitä näkökohtia viime talven lumituhaloalueiden metsien käsittelystä. *Metsälehti* 1948(20): 4—5.
- 1948b. Lumituhaloalueiden metsistä n. 1/4 täydellisesti pilalla. *Metsälehti* 1948(39): 1, 7.
- Karlman, M. 1985. Stamkvistning av Pinus contorta — skador. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 6: 25—33.
- Kaunisto, S. & Tukeva, J. 1986. Kasvatustiheyden vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen turvemilla. Summary: Effect of tree spacing on the development of pine plantations on peat. *Folia Forestalia* 646. 36 s.
- Kauttu, K. 1965. Metsänviljely. Tapion taskukirja. 15. painos. Kirjayhtymä. Helsinki. s. 92—105.
- Kellomäki, S. 1980. Growth dynamics of young Scots pine crowns. Seloste: Nuorten mäntyjen latvusten kasvun dynamiikka. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 98(4): 1—50.
- 1981a. Effect of the within-stand light conditions on the share of stem, branch and needle growth in a twenty-year-old Scots pine stand. Seloste: Metsikön valaistusolojen vaikutus rungon, oksien ja neulasten kasvun osuuksiin eräissä kaksikymmenvuotiaassa männikössä. *Silva Fennica* 15(2): 130—139.
- 1981b. Karsiminenkin edellyttää riittävää viljelytiheyttä. *Metsä ja Puu* 1981(2): 21—23.
- 1984. Havaintoja puuston kasvatustiheyden vaikutuksesta mäntyjen oksikkuuteen. Summary: Observations on the influence of stand density on branchiness of young Scots pines. *Silva Fennica* 18(2): 101—114.
- & Hari, P. 1980. Eco-physiological studies on young Scots pine stands: I. Tree class as indicator of needle biomass, illumination, and photosynthetic capacity of crown system. Seloste: Puuluokka latvuksen neulasmassan, valaistuksen ja fotosynteesikapasiteetin ilmaisijana eräissä nuorissa männiköissä. *Silva Fennica* 14(3): 227—242.
- , Hari, P., Kanninen, M. & Ilonen, P. 1980. Ecophysiological studies on young Scots pine stands: II. Distribution of needle biomass and its application in approximating light conditions inside the canopy. Seloste: Neulasmassan jakautuminen nuoren männikön latvuksessa ja tämän käyttö metsikön sisäisten valaistusolojen arvioinnissa. *Silva Fennica* 14(3): 243—257.
- & Tuimala, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots pines. *Folia Forestalia* 478. 27 s.
- & Nevalainen, T. 1983. Näkökohtia puuston tiheyden ja puiden koon välisestä suhteesta. Summary: On relationship between stand density and tree size. *Silva Fennica* 17(4): 389—402.
- & Oker-Blom, P. 1983. Canopy structure and light climate in a young Scots pine stand. Seloste: Männikön latvuston rakenne ja latvuston sisäiset valaistusolot. *Silva Fennica* 17(1): 1—21.
- & Väisänen, H. 1986. Kasvatustiheyden ja kasvupaikan hyvyden vaikutus 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: 1—38.
- Kittredge, J.Jr. 1929. Forest planting in the Lake States. U.S. Department of Agriculture. Bulletin 1497: 1—85.
- Klebingat, G. 1962. Der Einfluss der Kulturverbandsweite auf die qualitative Entwicklung der Kiefer. *Archiv für Forstwesen* 11(7): 877—901.
- Knigge, W. & Schultz, H. 1966. Grundriss der Forstbenutzung, Entstehung, Eigenschaften, Verwertung und Verwendung des Holzes und anderer Forstprodukte. Hamburg und Berlin. 584 s.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 51(8): 1—49.
- Kozłowski, T.T. 1971. Growth and Development of Trees I. Academic Press. 443 s.
- Kramer, H. von 1960. Kulturverbandsversuche. Forst- und Holzwirt 15(23): 496—500.
- 1977. Zur Qualitätsentwicklung junger Kiefernbestände in Abhängigkeit vom Ausgangsverband. Forst- und Holzwirt 32(23): 469—476.
- & Kozłowski, T.T. 1960. Physiology of Trees. Mc Graw — Hill Book Co. 642 s.
- & Jünemann, D. 1984. Bestandesentwicklung und Erstdurchforstung bei einem weitständig begründeten Kiefernbestand. *Forstarchiv* 55(1): 10—17.
- Kurkela, T. 1985. Haavan parantuminen havupuilla. *Metsä ja Puu* 1985(3): 13, 50.
- Kärkkäinen, M. 1976. Mänty on istutettava riittävän tiheään. *Metsälehti* 1976(1): 8—9.
- 1977. Puu, sen rakenne ja ominaisuudet. Helsingin Yliopiston monistuspalvelu, offset. Helsinki. 442 s.
- 1978. Laatuun kasvattaminen — unohtunut tehtävä. *Metsänhoitaja* 28(7): 10—12.
- 1981. Onko männyn pystykarinnalla tulevaisuutta? *Teho* (11): 20—22.
- & Uusvaara, O. 1982. Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Abstract: Factors affecting the quality of young pines. *Folia Forestalia* 515. 28 s.
- Laine, L. 1985. Sieni- ja hyönteistuhoriskit männyn karinnassa. *Metsä ja Puu* 1985(3): 18—19, 46.
- Laitakari, E. 1935. Karsimisesta ja sen vaiheista maassamme. *Metsätaloudellinen Aikakauskirja* 52: 31—33.
- Lappi-Seppälä, M. 1929. Untersuchungen über die Schlantheit der Kiefer. *Acta Forestalia Fennica* 34(42): 1—13.
- 1952. Männyn sydänpuusta ja runkomuodosta. Referat: Über Verkernung und Stammform der Kiefer. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(25): 1—26.
- Larson, P.R. 1963. Stem form development of forest trees. *Forest Science Monographs* 5: 1—42.
- Laurila, K. 1951. Keskustelua istutusvälin pidentämisestä. *Metsälehti* 1951(48): 3.
- Lessel-Dummel, A. 1981. Der Kiefern-schneebruch 1968 und 1975 im Pfälzer Wald. Erfassung und Analyse. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität zu Freiburg i.Br. 207 s.
- Lumituhokomitea. 1960. Komitean mietintö. *Moniste* 1960.1. Eduskunnan kirjasto. Helsinki. 28 s. Liitteet.
- Lunz. 1951. 11 Jahre Kiefern- Naturverjüngung. *Allgemeine Forstzeitschrift* 6(44): 433—436.
- Lönnroth, E. 1925. Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichartiger naturnormaler Kiefernbestände basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 30(1): 1—269.
- Mathieu, J.H. 1967. Einfluss von Pflanzenverband und

- Herkunft auf das Wachstum der Kiefer im Versuch Bremervörde. A. Funke, Offsetdruck. Göttingen. 117 s.
- Mattson-Mårn, L. 1922. Snöttryckskador å ungtall. Résumé: Dégâts de neige chez des jeunes pins sylvestres. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt 19: 517—528.
- May, K.I. 1890. Geschichte der Aufastungstechnik und Aufastungslehre. Forstwissenschaftliches Centralblatt 12: 205—220.
- 1891. Geschichte der Aufastungstechnik und Aufastungslehre. Forstwissenschaftliches Centralblatt 13: 161—175.
- Mayer-Wegelin, H. 1952. Das Aufästen der Waldbäume. 3. Auflage. M. & H. Schaper. Hannover. 92 s.
- Merslenko, M.P. & Curtsev, A.L. 1982. [Viljellyn männyn (Pinus sylvestris L.) istutustheydestä riippuva tuottokyky. Biological productivity of Pinus sylvestris L. cultures depending on density of planting.] Lesovedenie 1982(2): 85—88. (ven.)
- Metsähallitus. 1971. Ohjekirje eräistä hakkuu- ja metsänhototoiminnoista Etelä-Suomen piirikunnassa. Mh. 120. 15 s.
- 1985. Ohjekirje metsien käsittelystä Etelä-Suomen piirikunnassa. Mh. 111. 44 s.
- Møller, C.M. 1958. Negative grene? Dansk Skovforenings Tidsskrift 1958: 372—378.
- Nieminen, K. 1986. Metsänuudistaminen ja metsitys. Tapion taskukirja 20. painos. Kirjayhtymä. Helsinki. s. 179—190.
- Nylinder, P. 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Summary: Aspects of quality production. Uppsats Institutionen för Virkeslära. Skogshögskolan 2: 1—19.
- Nyssonen, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltujen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta Forestalia Fennica 60(4): 1—194.
- 1957. Männikön tuotoksesta ja kasvatuksesta. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 74(3): 49—52.
- Oikarinen, M. 1978. Viljelymetsiköiden puuston vaihtelu ja kasvukoalojen edustavuus. Summary: Variations in growing stock in cultivated stands and the representation of growth sample plots. Folia Forestalia 350. 15 s.
- 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for silver birch (Betula pendula) plantations in southern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 113: 1—75.
- Oker-Blom, P. & Kellomäki, S. 1982. Metsikön tiheyden vaikutus puun latvuksen sisäiseen valaistukseen ja oksien kuolemiseen. Abstract: Effect of stand density on the withincrown light regime and dying-off of branches. Folia Forestalia 509. 14 s.
- Olberg & Kühn, 1930. Ueber den Zusammenhang zwischen der Holzzeitlät und der Jugendentwicklung der Kiefer. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 62(9): 625—658.
- Ollinmaa, P.J. 1959. Reaktiopuututkimuksia. Summary: Study on reaction wood. Acta Forestalia Fennica 72(1): 1—54.
- Paavonen, T.W. 1915. Ohjeita metsän kylvössä ja istutuksessa. Toinen painos. J. Simelius'en Perillisten Kirjapaino. Helsinki. 63 s.
- Parviainen, J. 1978. Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus. Referat: Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase. Folia Forestalia 346. 40 s.
- Paul, B.H. 1930. The Application of Silviculture in Controlling the Specific Gravity of Wood. U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C. Bulletin 168: 1—19.
- 1932a. The relation of certain forest conditions of the quality and value of second growth Loblolly pine timber. Journal of Forestry 30(1): 4—21.
- 1932b. Improving the quality of second-growth Douglas fir. Journal of Forestry 30(6): 682—686.
- 1933. Pruning forest trees. Journal of Forestry 31(5): 563—566.
- 1938. Knots in second-growth pine and its desirability of pruning. U.S. Department of Agriculture. Miscellaneous publication 307: 1—35.
- 1946. Tree pruning by annual removal of lateral buds. Journal of Forestry 44(7): 499—501.
- Persson, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Summary: The influence of spacing on the quality of sawn timber from Scots pine. Rapport och Uppsats. Skogsproduktion. Skogshögskolan. 42: 1—22.
- 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. Rapport och Uppsats. Skogsproduktion. Skogshögskolan 45: 1—152.
- Peurakoski, J.O. & Rautapää, H. 1918. Asetus toimenpiteistä metsän hävittämisen ehkäisemiseksi 2 päivältä marraskuuta 1917 sekä siihen kuuluvat hallinnolliset määräykset. Helsinki, Suomen metsänhoitoyhdistys Tapio 1918. 139 s.
- Rancken, T. 1951. Keskustelua istutusvälin pidentämisestä. Metsälehti 1951(48): 3.
- Raulo, J. 1984. Rautalahden koivukoetila. Retkeilykohteet. Enso-Gutzeit — Metsäntutkimuslaitos. 15 s.
- Rebel, K. 1922. Waldbauliches aus Bayern. Hubers Verlag. Diessen vor München. 293 s.
- Reuss, H. 1907. Die forstliche Bestandesgründung. Julius Springer. Berlin. 398 s.
- Rjabokon, A.P. & Litach, N.P. 1981. [Eri tiheyksiin istutettujen mäntyjen puuaineksen fysikaalimekaaniset ominaisuudet. Physico-mechanical properties of Scots pine wood in plantations of various density.] Lesovedenie 1981(1): 39—45. (ven.)
- Roberts, E.G. & Clapp, R.T. 1956. Effect of pruning on the recovery of ice bent Slash pines. Journal of Forestry 1956: 596—597.
- Ronkanen, A.J. 1950. Tutkimuksia sahatukin pituuden, lenkouden ja kapenemisen vaikutuksesta sydäntavaran pituuteen ja leveyteen. Summary: Investigations into the Effect of Length, Crooked Growth and Taper of Sawlog on the Length and Width of the Most Valuable Lumber. Metsätehon julk. 23: 1—34.
- Rowland, T.A. 1950. Early results of bud-pruning in Slash pine. Journal of Forestry 48(2): 100—103.
- Rummukainen, U. 1967. Lumituho — Suomen metsien luonnonmullistus. Suomen puutalous 1967(3/4): 100—101, 106.
- Räisänen, H., Laine, L., Kero, I. & Kaleva, T. 1986. Alustavia tutkimustuloksia hyönteis- ja sienituhoista pystykarsituissa männiköissä. Summary: Preliminary study on insect and fungal damage in pruned Scots pine stands. Folia Forestalia 663. 18 s.
- Räsänen, P.K., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltonen, A. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978—1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from the inventories in 1978—1979. Folia Forestalia 637. 30 s.
- Samuelson, E. 1970. Storm och snö i skogen.

- Skogsägaren 46(12): 17—19.
- Schember, C. 1861. Ueber die Pflanzweite. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung 37: 4—5.
- Schmidt-Vogt, H. 1966. Zwischen engen und weiten Verbänden. Der Forst- und Holzwirt 21(4): 73—77.
- Schotte, G. 1922. Om snöbrottsfaran vid mycket starka gallringar. Résumé: Sur le danger de dégâts de neige après de très fortes éclaircies. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt 19: 493—516.
- Schwappach, A. 1915. Die Ergebnisse forstlicher Kulturversuche. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 47(2): 65—84.
- Shilkin, B.D. 1955. [Kokemuksia männyn istutustavoista ja tiheydestä. Experiences of planting-methods and density of Scots pine. Lesnoe Hozjajstvo 1955(5): 36, 43, 45—47.] (ven.)
- Siimes, F.E. 1951. Sahatukkien laatuluokittelu sahatavaraan käytön, lajitteleen ja koesahausten valossa. Silva Fennica 69(8): 63—75.
- 1957. Tukkien lenkouden vaikutus sahaustulokseen. Summary: The influence of the crookedness of logs on the sawing yield. Paperi ja Puu 39(3): 93—98.
- Sjolte-Jørgensen, J. 1967. The influence of spacing on the growth and development of coniferous plantations. International Review of Forestry Research 2: 43—94. Academic Press. New York. London. Edited by J.A. Romberger & P. Mikola.
- Solantie, R. & Ahti, K. 1980. Säätekijöiden vaikutus Etelä-Suomen lumituhoihin v. 1959. Summary: The influence of weather in the snow damages for forests of South-Finland in 1959. Silva Fennica 14(4): 342—353.
- Spitzenberg, G.K. 1908. Über Missgestaltung des Wurzelsystems der Kiefer und über Kulturmethoden. Neudamm. 32 s.
- Stadler, A. 1959. Weiterbehandlung und Aufwertung schneebruchgeschädigter Nadelholzbestände. Allgemeine Forstzeitschrift 14(51): 877—880.
- Stefansson, E. 1978. Root Quality of Pine Plantations Established with Seedlings Grown in Multipots. Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium. British Columbia Ministry of Forests / Canadian Forestry Service Joint Report 8: 114—118.
- Stevenson, D.D. & Bartoo, R.A. 1939. The effect of spacing on the growth of Norway pine plantations — a progress report. Journal of Forestry 37(4): 313—319.
- Suomen Sahanomistajayhdistys. 1984. Laadukkaan mäntysahapuun kasvat. Männyn laatu kasvatust-projektin tulokset. 44 s.
- Suominen, O. 1963. Metsiköiden alttius lumituhoon. Tutkimus Etelä-Suomessa talvella 1958—59 sattuneesta lumituhosta. Summary: Susceptibility of stands to devastation by snow. Investigation into snow devastation in South Finland in winter 1958—59. Silva Fennica 112: 1—35.
- Takalo, S. 1980. Kannattaako karsinta. Metsä ja Puu 1980(1): 29—30.
- Tanttu, A. 1951. Keskustelua istutusvälin pidentämisestä. Metsälehti 1951(48): 3.
- Toumey, J.W. & Korstian, C.F. 1931. Seeding and Planting in the Practice of Forestry. 2nd ed. John Wiley & Sons. New York. 507 s.
- Turner, L.M. 1943. Relation of stand density to height growth. Journal of Forestry 41(10): 766.
- Uusvaara, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Communicationes Instituti Forestalis Fennicae 80(2): 1—105.
- 1979. Viljelymänniköt — uhka puun laadulle. Metsänhoitaja 29(3): 12—14.
- 1980. Karsimallako puun laatua parantamaan. Metsä ja Puu 1980(1): 28—29.
- 1981a. Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Summary: The quality and value of sawn goods obtained from plantation-grown Scots pine. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 27: 1—108.
- 1981b. Viljelymänniköiden puun tekninen laatu ja arvo. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 28: 1—47.
- Wahlroos, A. 1892. Lyhykäinen metsänhoidon oppi. Satakunnan kirjakauppa. Pori. 71 s.
- Vakuljuk, P.G., Beloni, G.P. & Shlijmar, E.D. 1980. [Puhtaiden männynviljelmien istutustiheys. Planting density of pure pine cultures. Lesnoe Hozjajstvo 1980(4): 45—46.] (ven.)
- Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. Folia Forestalia 451. 21 s.
- 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Summary: Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning. Folia Forestalia 524. 31 s.
- Veijalainen, H., Reinikainen, O. & Kolari, K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Folia Forestalia 601. 41 s.
- Velling, P. 1978. Puun laatu paremmaksi metsää jalostamalla. Metsä ja Puu 1978(10): 9—12.
- Wibeck, E. 1923. Om missbildning av tallens rotsystem vid spettplantering. Meddelanden från statens skogsförsöksanstalt 20: 261—303.
- Vuokila, Y. 1968. Karsiminen ja kasvu. Summary: Pruning and increment. Communicationes Instituti Forestalis Fennicae 66(5): 1—61.
- 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. Folia Forestalia 141. 36 s.
- 1976. Karsimisen vaikutus männyn ja koivun terveystilaan. Summary: Effect of green pruning on the health of pine and birch. Folia Forestalia 281. 13 s.
- 1979a. Karsinta tulee taas. Metsänhoitaja 29(6): 6—8.
- 1979b. Laatanäkökohdat metsänkasvatuksessa. Metsä ja Puu 1979 (6—7): 8—9.
- 1980a. Luonnonmetsiemme hyvä laatu — pelkkä näköharhako? Suomen puutalous 1980(5): 8—9.
- 1980b. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY. Porvoo. 256 s.
- 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. Summary: The improvement of technical quality of forests. Folia Forestalia 523. 55 s.
- 1985. Korkeaa mäntylaatua karsimatta ja karsimalla. Metsä ja Puu 1985(3): 11—12.
- & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatustmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fennicae 99(2): 1—271.
- Yli-Vakkuri, P. 1956. Metsänviljely. Teoksessa: Metsäkäsikirja I. Toim. Jalava, M., Lihtonen, V., Heiskanen, V. & Sippola, H. Helsinki. s. 565—579.
- 1960. Metsiköiden routa- ja lumisuhteista. Summary: Snow and frozen soil conditions in the forest. Acta Forestalia Fennica 71(5): 1—48.
- 1968. Taimiston perustamistiheys. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 85(2): 55—57.

*Total of 204 references*

## SUMMARY

### *Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations*

The experimental stands are situated in Hartola (N 26° 00', E 61° 28'), southern Finland. They have originally been established in order to compare the effect of planting technique, planting time and transplant type. Owing to the considerable range of stocking density, the material, which is the oldest of its kind in Finland, represents a unique opportunity to obtain provisional information about the effect of stand density on the technical quality and yield of Scots pine plantations.

The study shows quite clearly that stand density at the initial development stage of Scots pine stands is the most critical factor affecting the subsequent quality and yield development of the stand. Quality is especially important in the production of pine sawtimber, although high-quality wood is also the best raw-material for all other purposes.

The series of stocking densities included in the study rather uniformly covered the range 1 700–42 000 trees/ha at the time they were inventoried. The mean age of the stands at that time was 20 years. The number of trees in the following refers to densities at this age. The sample plots in the main material (Appendix 1) were situated in unthinned, unpruned, pure Scots pine stands established using unbred material. The sites were on mineral soil and of good *Vaccinium vitis-idaea* forest site type (Cajander 1949). A large number of characteristics depicting the quality of pine saw timber, as well as the future development of the stand, were measured on the plots (Appendices 3, 4). The inventory results provide us with an opportunity to investigate the effect of stocking density on characteristics depicting the tree size and volume of the stands, as well as their susceptibility to snow damage. A number of sown and naturally regenerated stands were included to supplement the planted stands, and to act as reference material (Appendix 2).

Owing to the fact that the plots with a density of 30 000 stems/ha or more were rather small, the possible effect of lateral illumination should be taken into account when utilizing these results. The bordering stand on the other plots was sufficient to prevent such effects.

The most favourable stocking density range from the point of view of height development (Fig. 1 A) was 3 000–4 000 trees/ha. The diameter at breast height (Fig. 1 B, 2) was reduced with higher stocking densities. A high density strongly increased the slenderness of the mean stems (Fig. 1 C), and made them susceptible to stem breakage caused by snow (Fig. 12 A). The dominant trees, on the other hand, remained sufficiently sturdy even in dense stands.

The average width of the annual rings, measured at stump height (Fig. 1 E), exceeded 3 mm at densities up to 4 000 stems/ha. In the dominant tree group, a density of as high as 7 000 stems/ha was needed to lower the annual ring width below this level.

The stocking density uniformly decreased the butt diameter of both the thickest living and dead branches (Fig. 3 C, 3 D) over the range of densities 1 700–10 000 stems/ha. At densities above this range the effect weakened, but remained constant as the density

increased further. If the prunability limit is set at 20 mm for instance, the diameter of the thickest living branch in each of the tree groups was greater than this when the stocking density was below 4 000 trees/ha. The corresponding limit as regards the thickest dead branches was about 2 500 trees/ha. In the dominant tree group, however, the limit rose to 8 000 and 5 000 trees/ha, even though the 200 thickest trees were omitted from this group.

The stocking density only slightly decreases the crown ratio, i.e. the proportion of the length of the living crown out of the tree height (Fig. 3 B). Similarly, the lower limit of the living crown (Fig. 3 A, 4) rose only slightly with an increase in stocking density, and it never exceeded a height of three meters even at the highest densities. Since natural branch pruning did not affect more than a few decimetres of stem at even the highest densities (Fig. 4), these stands cannot as such produce knotfree sawtimber without artificial pruning of the dead branches and those lower living branch whorls which have poor vitality.

The ratio between the sum of the diameters of the living branches to the circumference of the stem (Fig. 6) decreased in the fifth uppermost branch whorl from 50 to 25 % as the density increased from the lowest level to the highest level. The corresponding ratios within the 7th whorl were 40 and 10 %. The high proportion of the branch cross-sectional area out of the stem surface in the uppermost branch whorls would suggest that care should be taken when defining the pruning height.

Density also had a strong effect on the stem volume of the stand (Fig. 9). The yield on the sample plots corresponding to the current density used in practice (around 2 000 trees/ha) increased at the age of 20 years to about 45 m<sup>3</sup>/ha. Increasing the stocking density to 5 000 stems/ha almost doubled the yield. In this case, the major portion of the stand (accounting for about 80 % of production) exceeded a breast-height diameter of 6 cm. The yield further increased as the stocking density rose. The yield at a density of around 30 000–40 000 stems/ha was about 130 m<sup>3</sup>/ha, but in this case the major portion of the stand (about 80 % of the yield) had a breast-height diameter of below 6 cm. The yield on one naturally regenerated, extremely dense supplementary plot increased at an age of 22 years to as much as 150 m<sup>3</sup>/ha.

It was also found in the study that a significant part of the growth of the trees sited in extremely open positions was transferred from the stem to the branches (Fig. 10).

Visual classification of branchiness and stem quality (Fig. 7 A, 7 B) confirmed the results given by the measured characteristics, while at the same time showing that it is possible to produce moderately good quality stems, suitable for pruning, by using a density of about 4 000 trees/ha (Fig. 8 A, 8 B) if the principles of thinning for quality are followed more strongly than at present.

According to the results of the soil and plant coverage analyses, the site was a good *Vaccinium vitis-idaea* (VT) site type, which is equivalent to a height

index for sown pine stands of  $H_{100} = 24$  m. However, the results for height growth indicate that the height indices of the site were 27 and 30 m, which is equivalent to the *Vaccinium myrtillus* and *Oxalis acetosella-Vaccinium myrtillus* site types. The difference may be due to the fact that well managed planted pine stands

usually grow faster during the initial stages of stand development than sown pine stands. However, since the quality development of the stems closely follows the growth rate, the conclusions drawn in this study would appear to be applicable to managed pine plantations growing on good VT sites.

Liite 1. Varsinaiset koealat  
Appendix 1. The main sample plot material

Koealan numero Plot No	Mittaustiedot — Sample plot data							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	23	506	140	378	2 884	109	100	23
2	24	506	148	378	3 148	109	100	25
3	22	400	100	370	2 486	92	92	22
4	23	400	92	370	2 297	85	85	19
5	22	972	403	243	4 033	98	98	25
6	21	1 800	575	279	3 584	100	100	22
7	19	1 764	595	245	3 996	98	98	23
8	19	1 620	515	279	3 620	101	101	21
9	18	50	151	46	30 941	144	102	15
10	18	50	207	46	42 329	197	102	13
11	19	50	201	46	39 321	183	98	15
12	19	180	213	136	12 427	170	100	17
13	17	196	194	148	9 501	141	100	17
14	20	540	260	438	4 703	206	100	21
15	18	192	155	149	7 888	118	73	17
16	18	192	165	156	8 227	129	78	17
17	23	> 2 000	> 350	720	1 708	123	110	24
18	17	> 2 000	> 400	552	1 884	104	104	20
19	23	> 2 000	> 400	480	2 060	99	99	23
20	21	1 764	534	252	3 532	89	89	24

Selitys — Legend

- |   |   |  |
|---|---|--|
| 1. Ikä siemenestä, v.<br>Age, years since germination                     | 4. Koealan pinta-ala, m <sup>2</sup><br>Area of sample plot, m <sup>2</sup> | 7. Kaatonäyte, kpl<br>Number of trees potentially felled |
| 2. Koemetsikön pinta-ala, m <sup>2</sup><br>Area of stand, m <sup>2</sup> | 5. Koealan nykytiheys, kpl/ha<br>Present density of plot, trees/ha          | 8. Kaatokoepuita, kpl<br>Felled sample trees             |
| 3. Koemetsikön kokonaisrunkoluku, kpl<br>Total number of trees in stand   | 6. Koealan runkoluku, kpl<br>Number of trees on plot                        |  |

Liite 2. Täydentävät koealat  
Appendix 2. Supplementary sample plots

Koealan numero Plot No	Mittaustiedot — Sample plot data							
	1	2	3	4	5	6	7	8
21	19	50	139	46	27 718	129	100	18
22	17	192	238	160	11 878	191	100	16
23	19	85	113	62	12 340	77	70	15
24 a)	18	150	62	129	4 012	52	50	11
25 a)	19	100	44	90	4 556	41	40	10
26 a)	17	150	51	135	3 481	47	42	11
27	22	> 2 000	> 350	595	1 664	99	87	20
28	15	> 2 000	> 350	589	1 678	99	97	22
29	15	> 2 000	> 550	597	2 694	161	104	20
30	27	> 2 000	> 600	435	2 782	121	104	26
31 b)	21	> 2 000	> 650	280	3 357	94	94	24
32 b)	21	> 2 000	> 650	310	3 253	101	100	24
33 c)	24	> 2 000	> 500	459	2 501	115	110	23
34 d)	22	> 75	> 250	25	33 205	86	83	20
35 e)	20	324	125	272	3 893	106	85	26

Selitys ks. liite 1. — For legend see Appendix 1.

- |   |   |
|---|---|
| a) Harvennettu 1979<br>Thinned 1979                               | e) Luontaisesti uudistunut, harvennettu 1976<br>Naturally regenerated, thinned 1976 |
| b) Hajakylvetty, harvennettu 1976<br>Broadcast sown, thinned 1976 | d) Luontaisesti uudistunut<br>Naturally regenerated                                 |
|   | e) Istutusta ja kylvöä<br>Regenerated by planting and sowing                        |

Liite 3. Varsinaisilta koealoilta mitattujen puustotunnusten keskiarvo sekä minimi- ja maksimiarvot  
*Appendix 3. The characteristics (average and range) on the main sample plots*

Koeala Sample plot	Puustotunnus — Characteristic													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	743 480—930	90 31—136	89 60—155	3,0 0—15	3,2 1,5—4,5	296 30—440	60 44—73	22 11—33	20 10—27	3,9	66	17	81	12 6—18
2	805 330—1060	88 24—136	98 70—139	4,2 0—19	3,0 1,2—4,7	346 180—460	58 46—71	21 8—36	19 7—30	3,6	58	28	92	10 4—16
3	788 600—1010	95 39—137	87 65—154	3,0 0—9	3,5 1,4—4,9	289 190—400	63 54—73	24 11—39	21 15—26	4,0	70	25	85	13 8—20
4	777 565—910	100 54—133	80 59—105	4,5 0—30	3,6 2,5—5,4	298 100—480	63 49—73	25 15—38	23 12—33	4,5	64	31	79	15 10—23
5	754 460—970	81 31—138	100 67—148	2,0 0—6	3,3 1,1—5,1	328 230—440	57 33—70	19 6—36	19 8—29	3,9	63	11	92	9 1—14
6	665 440—840	80 26—124	88 68—169	2,7 0—9	3,2 0,5—4,9	278 160—400	63 50—75	20 8—29	18 8—25	3,9	60	20	81	12 6—18
7	650 340—840	80 35—122	86 66—131	2,8 0—11	3,4 1,7—5,5	231 80—380	65 55—75	20 11—30	17 8—25	3,7	65	6	91	14 7—30
8	655 420—780	76 27—109	92 64—156	2,5 0—9	3,1 1,1—4,8	240 80—350	64 52—77	18 8—27	18 12—32	3,9	62	7	80	11 7—20
9	480 350—590	36 20—63	144 92—200	2,6 0—16	1,3 0,5—2,2	265 80—430	53 19—84	10 5—15	10 7—12	2,3	47	0	144	6 1—12
10	498 360—630	36 17—63	153 94—241	2,7 0—45	1,2 0,4—2,4	269 120—370	48 14—63	9 4—17	9 6—13	2,2	48	0	146	6
11	497 410—590	34 15—68	167 81—273	2,5 0—10	1,0 0,3—1,9	280 50—400	49 27—66	9 4—17	10 6—18	2,2	49	0	121	7 1—13
12	525 320—680	46 23—80	122 79—171	2,6 0—10	1,2 0,3—2,7	273 130—390	48 35—60	12 8—19	12 8—17	2,8	64	0	82	7 3—16
13	425 290—600	41 21—64	108 80—138	3,1 0—14	1,5 0,3—2,5	173 70—270	63 53—78	12 6—18	11 8—16	3,6	59	1	40	11 6—14
14	573 325—740	63 20—97	96 75—163	3,5 0—16	2,8 1,1—4,1	228 90—370	66 56—80	17 9—23	16 8—23	3,6	68	3	63	13 9—17
15	463 340—585	45 19—74	113 78—195	1,9 0—5	1,7 0,5—3,1	171 50—250	69 48—78	14 6—26	12 7—16	3,3	65	3	44	18 9—46
16	452 315—595	43 22—80	115 73—152	2,2 0—9	1,7 0,5—3,6	163 70—330	67 51—79	12 8—22	11 7—20	3,1	64	3	41	12 7—19

17	706	105	72	4,6	3,6	210	71	26	22	4,5	66	26	46	17
	535—850	55—154	50—124	0—14	2,3—4,9	40—380	58—87	15—40	15—32					11—24
18	555	92	62	4,7	4,5	151	72	30	23	5,7	72	6	52	28
	310—680	39—125	52—80	0—20	2,5—5,7	40—240	61—81	15—42	12—31					18—42
19	658	96	72	3,7	3,7	216	73	25	22	5,3	68	25	53	18
	480—865	50—147	50—96	0—13	2,4—4,8	50—320	62—84	17—36	14—30					10—27
20	704	83	89	1,8	—	271	61	21	18	3,9	53	22	82	12
	430—900	40—133	64—129	0—8	—	190—380	52—71	10—31	11—24					6—19

Selitys — Legend

1. Pituus, cm — Height, cm
2. D.1.3, mm — D.B.H., mm
3. Suhte-t/d, % — Ratio h/d.b.h., %; h=cm, d.b.h.=cm
4. Tyvienkous, cm — Butt crookedness, cm
5. Luston paksuus, mm — Annual ring width, mm
6. Elävän latvuksen alaraja, cm — Lower limit of the living crown, cm
7. Latvussuhde, % — Crown ratio, %
8. Paksum elävä oksa, mm — Thickest living branch, mm
9. Paksum kuollut oksa, mm — Thickest dead branch, mm
10. Oksien poikkileikkauksien alojen suhte rungon vaippaan elävässä latvuksessa, % — Proportion of the cross-sectional area of branches out of the surface area of stem in the living crown
11. Oksien läpimittojen summa prosentteina puun ympärysmästä, kiekku 1 — Proportion of the sum of the branch diameters out of the circumference of the stem, %, whorl 1
12. Oksien läpimittojen summa prosentteina puun ympärysmästä, kiekku 9 — Proportion of the sum of the branch diameters out of the circumference of the stem, %, whorl 9
13. Puuston tilavuus, m<sup>3</sup>/ha — Stand volume, m<sup>3</sup>/ha
14. Oksatilavuuden suhte runkotilavuuteen, % — Proportion of branch volume out of the stem volume, %

Liite 4. Täydentäviltä koealoilta mitattujen puustotunnusten keskiarvo sekä minimi- ja maksimiarvot  
*Appendix 4. The characteristics (average and range) of the trees on the supplementary sample plots*

Koeala Sample plot	Puustotunnus — Characteristic													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
21	481 340—610	38 15—74	143 82—227	2,9 1—10	1,2 0,3—2,4	224 30—340	60 44—84	12 5—33	10 6—19	2,3	54	1	128	8
22	348 260—460	34 17—63	111 73—165	2,5 0—9	—	163 50—260	66 51—75	11 7—18	10 6—18	3,2	61	2	36	11 6—15
23	634 400—760	54 26—79	123 96—182	2,3 0—7	—	327 200—440	56 42—71	13 7—20	12 9—19	2,5	59	3	138	7 3—11
24	428 340—520	48 34—66	90 75—110	2,9 1—6	—	149 60—250	68 56—84	14 10—19	12 11—14	3,4	61	2	26	13 8—18
25	528 480—610	58 42—70	91 77—114	2,8 0—8	—	209 100—260	66 56—77	17 12—18	14 11—19	4,1	60	—	52	13 9—17
26	446 340—640	54 33—77	85 63—106	2,6 0—6	—	149 60—250	70 58—87	15 9—20	14 9—18	3,7	56	1	30	13 8—17
27	724 530—835	97 51—140	79 56—106	4,3 0—24	1,7 0,5—3,6	238 110—320	68 56—76	26 15—42	19 12—37	4,8	71	18	58	16 11—23
28	412 250—540	62 22—98	71 54—114	4,7 1—16	4,3 2,1—5,8	55 10—110	88 83—95	23 13—34	12 6—29	6,2	73	15	17	37 19—53
29	392 275—540	61 34—95	68 51—97	3,2 1—12	3,6 2,3—5,1	53 10—120	88 77—94	21 14—31	13 10—18	6,7	71	17	23	32 19—49
30	744 410—1090	94 32—151	84 57—128	4,1 0—20	3,3 1,1—4,8	316 90—540	63 53—78	22 9—34	20 9—38	4,4	57	36	91	12 5—19
31	749 565—990	85 43—142	94 70—140	2,0 0—5	2,9 1,5—4,7	315 230—400	59 50—73	21 11—34	18 10—29	4,1	67	20	85	10 6—16
32	720 540—910	79 42—122	95 64—137	2,1 0—8	2,4 1,4—3,8	288 200—380	61 50—74	20 11—31	16 11—22	4,1	63	23	75	12 7—20
33	793 580—985	93 44—143	89 60—132	2,0 0—5	2,5 0,9—4,2	315 170—470	61 48—73	21 13—35	18 11—26	4,3	60	27	78	10 5—17
34	497 280—775	35 10—75	176 102—380	1,3 0—5	0,8 0,—2,1	239 100—350	56 33—66	9 4—16	8 3—13	2,3	45	23	151	8
35	780 480—930	88 45—137	94 63—150	3,4 0—18	2,9 1,5—4,2	319 130—450	58 49—79	21 10—34	19 12—30	3,8	70	17	127	10 3—22

Selitys ks. liite 3. — For legend see Appendix 3.

# METSÄNTUTKIMUSLAITOS

## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

### Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto  
*Department of Soil Science*

Suontutkimusosasto  
*Department of Peatland Forestry*

Metsänhoidon tutkimusosasto  
*Department of Silviculture*

Metsänjalostuksen tutkimusosasto  
*Department of Forest Genetics*

Metsänsuojelun tutkimusosasto  
*Department of Forest Protection*

Metsäteknologian tutkimusosasto  
*Department of Forest Technology*

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
*Department of Forest Inventory and Yield*

Metsäekonomian tutkimusosasto  
*Department of Forest Economics*

Matemaattinen osasto  
*Department of Mathematics*

### Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

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

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

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

Punkaharjun tutkimusasema  
*Punkaharju Research Station*  
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland  
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

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

Kolarin tutkimusasema  
*Kolari Research Station*  
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland  
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* Eteläranta 55  
96300 Rovaniemi, Finland  
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema  
*Joensuu Research Station*  
Os. — *Address:* PL 68  
80101 Joensuu, Finland  
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema  
*Kannus Research Station*  
Os. — *Address:* PL 44  
69101 Kannus, Finland  
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

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

- No 664 Laasasenaho, Jouko & Päivinen, Risto: Kuvioittaisen arvioinnin tarkistamisesta. On the checking of inventory by compartments.
- No 665 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1985. Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1985.
- No 666 Valsta, Lauri: Mänty-rauduskoivusekametsikön hakkuuohjelman optimointi. Optimizing thinnings and rotation for mixed, even-aged pine-birch stands.
- No 667 Lipas, Erkki: Maan ravinnetila siemenviljelyksillä. Soil fertility levels in Finnish seed orchards.
- No 668 Uusvaara, Olli: Sahanhakkeen painomittaus. Weight scaling of sawmill chips.
- No 669 Kortesharju, Jouko & Mäkinen, Yrjö: Vaatuksen, lannoituksen ja katteiden vaikutus hillaan karuilla luonnon-tilaisilla soilla. The effect of furrowing, fertilization, and mulching on cloudberry (*Rubus chamaemorus*) on virgin oligotrophic mires.
- No 670 Jäppinen, Jukka-Pekka, Hotanen, Juha-Pekka & Salo, Kauko: Marja- ja sienisadot ja niiden suhde metsikkö-tunnuksiin mustikka- ja puolukkatyyppin kankailla Ilomantsissa vuosina 1982—1984. Yields of wild berries and larger fungi and their relationship to stand characteristics on MT and VT-type mineral soil sites in Ilomantsi, eastern Finland, 1982—1984.
- No 671 Parviainen, Jari & Antola, Jukka: Taimien kehitys ja juuriston morfologia eri taimilajeilla perustetuissa männynistutuksissa. The root system morphology and stand development of different types of pine nursery stock plantations.
- No 672 Onttinen, Sirpa: Metsurin työvälinekustannukset 1985. Forest workers' equipment costs in Finland in 1985.
- No 673 Gustavsen, Hans Gustav & Päivänen, Juhani: Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa. Tree stands on virgin forested mires in the early 1950's in Finland.
- No 674 Mikkola, Kari & Sepponen, Pentti: Kasvupaikkatekijöiden ja kasvillisuuden suhteet Luoteis-Enontekiön tunturikoivikoissa. Relationships between site factors and vegetation in mountain birch stands in northwestern Enontekiö.
- No 675 Repo, Seppo: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1984—1986. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1984—1986.
- No 676 Keskitalo, Pentti & Sepponen, Pentti: Erilaisten moreenimuotojen kasvupaikkaominaisuuksia Pohjois-Suomessa. The site properties of different types of moraine formation in northern Finland.
- No 677 Metsäntutkimuslaitoksen päätös havupuutukkien, lehtipuutukkien, mäntypylväiden ja ratapölkkyaihoiden mittauksessa käytettävistä yksikkötilavuusluvuista 14. päivänä kesäkuuta 1985 annetun päätöksen muuttamisesta. Skogsforskningsinstitutes beslut om förändring av beslutet från den 14 juni 1985 om de enhetsvolumtal, som används vid mätning av barrtimmer, lövtimmer, tallstolpar och sliperstimmer.
- No 678 Isomäki, Antti: Linjakäytävän vaikutus reunapuiden kehitykseen. Effects of line corridors on the development of edge trees.
- No 679 Peltonen, Antti: Metsien uudistaminen turvemailla kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978—1979 inventointitulokset. Forest regeneration on peatlands in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from inventories in 1978—1979.
- No 680 Naskali, Arto: Keskittymisindeksit ja ostajien keskittyminen Pohjois-Suomen raakapuumarkkinoilla. Concentration indices and buyer concentration in the roundwood markets in Northern Finland.
- 1987
- No 681 Kaunisto, Seppo: Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas.
- No 682 Voipio, Raili: Puiden biomassan vitamiinipitoisuus. Vitamin content of tree biomass.
- No 683 Uusvaara, Olli & Verkasalo, Erkki: Metsähakkeen tiiviys ja muita teknisiä ominaisuuksia. Solid content and other technical properties of forest chips.
- No 684 Rikkonen, Pentti: Havutukkien kuorelliseen latvaläpimitään perustuva tilavuuden määrittäminen. Volume of coniferous saw logs based on top diameter over bark.
- No 685 Huuri, Olavi, Lähde, Erkki & Huuri, Leena: Tiheyden vaikutus nuoren istutusmännikön laatuun ja tuotokseen. Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.  
*Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.*

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17 341