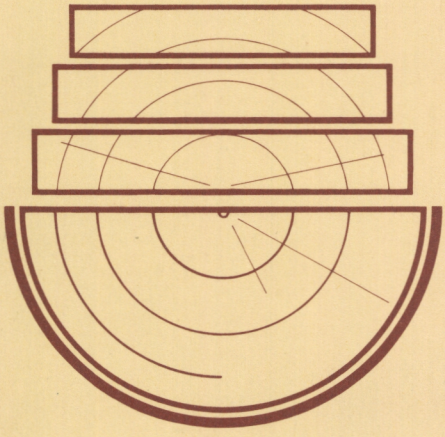
METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 28a

METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO
PUUNTUTKIMUSSUUNTA

Olli Uusvaara

VILJELYMÄNNIKÖIDEN PUUN TEKNINEN LAATU JA ARVO



HELSINKI 1981

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 28
METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO
PUUNTUTKIMUSSUUNTA

OLLI UUSVAARA

VILJELYMÄNNIKÖIDEN PUUN TEKNINEN LAATU JA ARVO

Esitetään Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan suostumuksella julkisesti tarkastettavaksi 16. tammikuuta 1982 klo 10 yliopiston päärakennuksen luentosalissa XIV.

HELSINKI 1981

Julkaisu sisältää yhteenvedon seuraavista tutkimuksista:

1. UUSVAARA, O. 1974. Wood quality in plantation - grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Commun. Inst. For. Fenn. 80(2):1-105.

2. UUSVAARA, O. 1981. Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 27:1-108.

ISSN 0358-4283

Helsinki 1981, Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Tämän yhteenvedon sisältämistä osatutkimuksista 1 - 2 edellinen tehtiin vuosina 1968 - 1974 ja jälkimmäinen vuosina 1978 - 1981 Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolla.

Ensimmäistä osatutkimusta tehdessäni sain koko työn ajan arvokasta apua silloiselta metsäteknologian osaston päälliköltä prof. Veijo Heiskaselta. Prof. Pentti Hakkila ja prof. Paavo Yli-Vakkuri tarkastivat käsikirjoituksen. Heille, sekä prof. Bror-Anton Granvikille, joka ohjasi ja auttoi allekirjoittanutta työn kuluessa, haluan osoittaa parhaat kiitokseni.

Toisen osatutkimuksen olen myös tehnyt prof. Bror-Anton Granvikin eteenpäin kannustavassa ohjauksessa. Monin neuvoin on työssä auttanut prof. Matti Kärkkäinen, joka on myös lukenut käsikirjoituksen. Käsikirjoituksen ovat lisäksi lukeneet arvokkaita korjausehdotuksia tehden prof. Jaakko Meriluoto ja dos. Kari Löyttyniemi, jolta sain monin tavoin apua jo ensimmäistä osatutkimusta tehdessäni. Heille kaikille haluan lausua parhaat ja vilpittömät kiitokseni.

Myös haluan kiittää metsäteknikoita Pertti Laaksoa ja Tauno Oittista, jotka johtivat innostuneesti pitkäaikaisia kenttätöitä.

Kiitokset osoitan myös maisteri Päivikki Ojansuulle, joka suoritti englanninkielen käännöstyöt.

Monivuotiset tutkimukset vaativat uhrautuvan työpanoksen hyvin monilta työtovereiltani mm. tutkimusten kenttätöiden, laboratoriotöiden, atk-käsittelyn, laskennan, piirustus- ja konekirjoitustöiden sekä käsikirjoituksen laa-

dinnan parissa. Heitä, sekä useita käytännön työkentän puolesta minua työssäni auttaneita henkilöitä, haluan vielä muistaa parhain kiitoksin.

Helsingissä, marraskuussa 1981 Olli Uusvaara

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 5
2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO 13
3. TUTKIMUSTULOKSET 16
31. Runkoja ja tukkeja koskevat tulokset ja niiden tarkastelu 16
311. Runkojen karsiutuminen 16
312. Runkojen oksikkuus 18
313. Vikaisuudet 20
314. Tyvitukin laatu 22
315. Rungon sisäiset laatutunnukset 24
32. Koesahaustulokset ja niiden tarkastelu 27
4. TIIVISTELMÄ 32
KIRJALLISUUS 35

1. JOHDANTO

Keinollisesti uudistettujen männiköiden merkitys raaka-ainelähteenä on vielä nykyisin vähäinen niiden verrattain suuresta pinta-alasta huolimatta. Metsänviljelytoiminta alkoi laajassa mitassa 1950-luvun alussa, mutta viljelyalat kasvoivat jyrkästi vasta seuraavalla vuosikymmenellä (UUSITALO 1979). Männyn osuus viljelyaloista on nyt noin miljoona hehtaaria eli noin 5 % metsämaan pinta-alasta, mutta metsiköiden nuoren iän vuoksi niistä ei saada toistaiseksi juuri lainkaan sahapuuta.

Parin viimeisen vuosikymmenen aikana metsätaloudessa on ollut voimassa suuntaus, jossa on pyritty pääasiassa puun tuoton lisäämiseen ja määrällisten tavoitteiden saavuttamiseen laadun jäädessä taka-alalle (VUOKILA 1972). Toisaalta viljelymetsien puun laadusta ei ole ollut käytettävissä paljonkaan tutkimusten antamaa tietoa.

Viimeksi puutavaran laatukysymykset olivat vahvasti esillä 1950-luvulla ja 1960-luvun alussa, jolloin asia oli ajankohtainen paitsi sahateollisuuden huonojen suhdanteiden myös metsänhoidon kehittymisen vuoksi (HEISKANEN 1954a, 1954b, 1962, 1965, HEISKANEN ja SIIMES 1959). Näin ollen oli luonnollista, että huoli puun laadusta toi niihin aikoihin jälleen kerran esille kysymyksen runkojen pystykarsinnasta laadun parannuskeinona (HEISKANEN ja TAIPALE 1963). Puun laadusta puhuttaessa on päähuomio aina kiinnitetty pääasiassa mäntyyn, jonka laatu on herkin ulkoisten tekijöiden vaikutukselle ja jossa toisaalta hyvä- ja huonolaatuisen puutavaran väliset arvoerot ovat suurimmat.

Tutkimusten tulokset ovat osoittaneet selvästi, että mäntypuun laatu riippuu normaalin ikääntymisen ohella voimakkaasti ulkoisten kasvutekijöiden muutoksista erityisesti puuston nuoruusvaiheissa. Tämän vuoksi männyn kasvatusta

koskevissa oppikirjoissa ja tutkimuksissa korostettiin aikaisemmin metsikön tiheyden merkitystä laatuun aina siihen kehitysvaiheeseen asti, jolloin rungon oksat ovat kuolleet vähintään tyvitukin pituudelta (KALELA 1945, HEIKINHEIMO 1953, HEISKANEN 1954b, 1965, SARVAS 1956). Yleisin männyn keinollinen uudistusmenetelmä on nykyisin istutus (UUSITALO 1979), ja ohjeiden mukaisena istutustiheytenä käytetään 1 600 - 2 500 tainta hehtaarille kasvupaikan mukaan (Ohjekirje... 1978, TAKALA 1978). Viime aikoina suoritetut tutkimukset osoittavat lopullisen taimimäärän jäävän kuitenkin viljelyaloilla tavallisesti huomattavasti tavoitetta alhaisemmaksi (LEIKOLA ym. 1977, RAUTIAINEN ja RÄSÄNEN 1980).

Viljelymänniköiden ja luonnonsiemennyksestä syntyneiden männiköiden kasvuolot eroavat toisistaan jo niiden kehityksen alkuvaiheista lähtien. Sahatukit, joita sahateollisuutemme nykyisin käyttää raaka-aineenaan, ovat peräisin pääasiassa 1800-luvun loppupuolella syntyneistä metsistä. Silloiset luonnonmänniköt kehittyivät tavallisesti kehityksensä alkuvaiheissa tiheikköinä ja sekametsinä sekä usein jopa täysin luonnontilaisinakin, hakkuutoiminnan ulkopuolella.

Viime aikoina on yleinen huomio jälleen alkanut suuntautua myös puun laatukysymyksiin osittain siksi, että viime vuosikymmenien aikana istutetut männiköt ovat saavuttaneet kehitysvaiheen, jossa myös puun laatu alkaa näkyä (HUURI 1976, KÄRKKÄINEN 1978). Erityisesti istutusmänniköiden heikkoon laatuun on kiinnitetty viime aikoina suurta huomiota (mm. ARNKIL 1978, KOIVISTO 1980, UUSVAARA 1979, 1980a, 1981a, 1981b). On nimittäin pelättävissä, että hakkuukypsiksi kehittyvien istutusmänniköiden myötä sahapuuksi kelvollisen tukkipuun sekä parhaiden sahatavaralaatujen osuus tulee merkittävästi vähenemään. Istutusmänniköiden ehkä vakavin vika, paksuoksaisuus, on jälleen kerran herättänyt keskustelua myös pystykarsinnan mahdollisuuksista erityi-

sesti männyn laadun kohottajana (mm. VUOKILA 1979a, 1979b, UUSVAARA 1980a, 1980b, KÄRKKÄINEN 1981). Uusimmissa tutkimuksissa on todettu oksikkuuden lisäksi erityisesti vikaisuuksien alentavan istutettujen mäntyjen tyvitukkien laadun usein jopa sahatavaraksi kelpaamattomaksi (UUSVAARA 1981a, 1981b, 1981c, 1981d, VARMOLA 1981). Myös Ruotsissa on selvitelty männyn kasvutilan ja läpimitan kasvun vaikutusta oksaisuusominaisuuksiin ja sahatavaran sekä massan laatuun (PERSSON 1975, 1976, 1977). Ruotsalaisten tutkimusten mukaan jää parhaiden sahatavaralaatujen osuus viljelymänniköiden sahapuussa hyvin vähäiseksi.

Paitsi runkojen myös sahatukkien laatuun on kiinnitetty huomiota, koska tuotteen arvo riippuu paljolti raaka-aineen laadusta (ASIKAINEN 1980). Kokeiluja on tehty objektiivisesti mitattavien tekijöiden käytöstä runkojen ja tukkien laatuluokituksessa (ORVÉR 1970a, 1970b, QY 1974, DAHLEN ja WARG 1979). Myös meillä tukkien tarkempi laatuluokitus ja niiden kauppaan liittyvä laatumaksutapa on herättänyt keskustelua (ISOMÄKI 1978, KÄRKKÄINEN 1978, OKSANEN 1978). Puutavaran laatuluokituksessa vallitsee nimittäin selvä ristiriita siinä, että valmis sahatavara myydään tarkasti laatuluokkien mukaan ryhmiteltynä, kun taas sahatukeissa todetaan pelkkä käypä minimilaatu. Pystypuiden laatutunnusten avulla on pyritty selvittämään myös runkojen laatua sahatavaran arvon kannalta (KÄRKKÄINEN 1980a, 1980b). Männyn taimikoiden kasvun ja laatutunnusten kehityksen fysiologisiin perusteisiin on niin ikään kiinnitetty huomiota (KELLOMÄKI 1980, KELLOMÄKI ja TUIMALA 1981).

Taimikon kasvuedellytykset, erityisesti kasvutiheys ovat olleet jo kauan esillä kansainvälisessä metsätieteellisessä kirjallisuudessa. Niinpä kasvupaikan ja istutus- tai kylvövälin vaikutusta oksien paksuuteen ja oksaisuuteen viljelymetsiköissä ovat tutkineet mm. KLEM (1944 ja 1952), CHROUST (1958), NYLINDER (1959), KLEBINGAT (1962), RICHARDS

ym. (1962), STIELL (1964), DAN'ŠIN (1966), MERKEL (1967) ja MRÁČEK (1969). Tällöin on todettu perustamistiheyden pienenemisen lisäävän voimakkaasti oksien paksuuskasvua nimenomaan männiköiden nuoruusvaiheissa (mm. BRAMBLE ym. 1949, GUILKEY ja WESTING 1956, CROMER ja PAWSEY 1957, STIELL 1966, EVERT 1971). Alkuperäisen istutusvälin vaikutuksen myös rungon karsiutumiseen ja latvuksen kokoon ja muotoon ovat todenneet mm. ERTELD (1967) ja BERRY (1965). Harvennukset sekä luonnon poistuma heikentävät kuitenkin alkuperäisen taimitiheyden vaikutusta sitä enemmän, mitä vanhemmaksi metsikkö kehittyy (NYLINDER 1959).

HEISKASEN (1954a, 1954b ja 1965), NYLINDERIN (1959) ja GRAHIN (1961) mukaan mäntyrungon suurimman oksan ja puun paksuuden sekä tyvitukin laadun välillä vallitsee selvä riippuvuus. KOLTZENBURG (1954) toteaakin männyn paremmilla kasvupaikoilla vaativan tiheän istutuksen ja runkoluvun pitämistä korkeana metsikön myöhemmissäkin kehitysvaiheissa. YLI-VAKKURI (1958) mainitsee, että sahapuun laatua ajatellen olisi kasvupaikka valittava siten, ettei se ainakaan olisi parempi kuin heikohko MT. Tutkiessaan kasvupaikan ravinnepitoisuuden vaikutusta Pinus radiata -männyn viljelyaloilta saatavan sahatavaran laatuun WRIGHT (1967) havaitsi paitsi oksien koon myös kuoren paksuuden kasvavan ja latvusrajan kohoavan kasvupaikan viljavuuden lisääntyessä. Kasvuun vaikuttavat tekijät, kuten ravinnepitoisuus ja kasvutila, korreloivat selvästi latvuksen koon ja muodon kanssa (BENNETT 1960, ŽILKIN 1960, HALL 1965, KELLOMÄKI 1980).

Puun ulkoapäin havaittava laatu voidaan yhdistää puun sisäiseen rakenteeseen ja sitä kuuvaaviin tunnuksiin, joista riippuu puun käyttökelpoisuus eri tarkoituksiin. Käsillä olevissa tutkimuksissa näistä tunnuksista käsiteltiin vuosiluston leveyttä, kesäpuuprosenttia, puuaineen kuiva-tuoretiheyttä ja sydänpuuprosenttia. Vuosiluston vahvuus riippuu etupäässä puulajista, kasvuedellytyksistä, puun iästä ja me-

kaanisista vaikutuksista (JALAVA 1952). Luston leveys pienenee yleensä puun ytimestä pintaan päin eli puun vanhetessa (MIKOLA 1950, SCHULTZE-DEWITZ 1958). Luston leveyden vaihtelu aiheuttaa puolestaan monien puun fysikaalisten ja teknisten ominaisuuksien eroavuuden rungon sisä- ja pintaosien välillä.

Myös kesäpuuprosentissa esiintyy rungon pituus- ja poikittaissuuntaista vaihtelua (mm. SCHULTZE-DEWITZ 1958, SELLERS 1962, HAKKILA 1967). Männyllä kesäpuuprosentti nousee tasaisesti siirryttäessä ytimestä pintaa kohti eli vanhemmista lustoista nuorempiin päin (mm. HAKKILA 1967).

Eri kasvu- ja ympäristötekijöiden vaikutusta kesäpuuprosentin määrään ovat tutkineet mm. HARRIS (1955), LARSON (1957), PECHMANN (1958), BAKER (1969) ja KLEM (1969). Kesäpuuprosenttia pidetään männyllä yleisesti myös merkittävänä puuaineen kuiva-tuoretiheyteen vaikuttavana tekijänä (mm. PILLOW 1952, ZOBEL ja RHODES 1955, HAKKILA 1966, SCHALCK 1967, KOBYLIŃSKI 1969, ELLIOTT 1970, LUBARDIĆ ja NIKOLIĆ 1970).

Pääasiassa kesäpuuprosentin vuoksi mäntyrungon kuiva-tuoretiheys lisääntyy iän mukana tiettyyn kehitysvaiheeseen asti, jolloin puun elinvoima alkaa ehtyä. Nuorilla puilla, joiden kasvunopeus on suuri, on kuiva-tuoretiheyskin siten alhaisempi kuin vanhoilla ja hidaskasvuisilla rungoilla. Viljely- ja luonnonmänniköitä vertailtaessa onkin todettu edellisten puuaineen kuiva-tuoretiheyden jäävän luontaisesti syntyneiden ja vastaavan ikäisten metsiköiden puuaineen tiheyttä alhaisemmaksi (OLSON ym. 1947, GIORDANO 1951, PILLOW 1952, MIYAJIMA 1958, BAKER 1967). Kasvupaikan merkitystä kuiva-tuoretiheyden vaihteluun korostetaan useissa tutkimuksissa (GÖHRE 1958, JAYNE 1958, TAMMINEN 1962, ZOBEL ym. 1965).

Vuosiluston leveyden merkitystä muiden laatutunnusten kannalta on tutkittu männyn kesäpuuprosenttia ja puuaineen kuiva-tuoretiheyttä koskevien tutkimusten yhteydessä. Eräiden tutkimusten mukaan kesäpuuprosentti vaihtelee, mutta se ei yleensä riipu vuosiluston paksuudesta (LARSON 1957, KOBYLIŃSKI 1969, KLEM 1969 ja 1970). Toisissa tutkimuksissa on kuitenkin todettu kesäpuuprosentin laskevan luston leveyden kasvaessa tai pienentyessä huomattavasti (mm. JALAVA 1952, HAKKILA 1968). PECHMAN (1958) puolestaan mainitsee, että männyn kesäpuun suhteellinen osuus ei riipu luston leveydestä, paitsi äärimmäisissä tapauksissa, jolloin lustot jostakin syystä erityisesti levenevät tai puu kärsii ravinteiden puutetta. Luston paksuuden ollessa 1,0 - 1,5 mm on kesäpuuprosentti korkeimmillaan (mm. ŠKRIPEŇ ja RIASOVÁ 1958).

Havupuiden vuosiluston leveyden ja puuaineen kuiva-tuoretiheyden välistä yhteyttä ovat tutkineet mm. VOLKERT (1941), ZOBEL ja RHODES (1955), YANDLE (1956), LARSON (1957), RENDLE ja PHILLIPS (1957), PAUL (1960), KNIGGE (1961), SELLERS (1962), MITCHELL (1964), RALSTON ja McGINNES (1964), KLEM (1969), KOBYLIŃSKI (1969).

Luston paksuuden lähinnä puun ytimen ympärillä on osoitettu antavan parhaan kuvan paitsi puuaineen lujuudesta myös puun sisäisten oksien suuruudesta (HEISKANEN 1954b).

Kasvunopeuden merkitystä puun mekaanisten ominaisuuksien, lähinnä lujuuden, kannalta käsittelevät KRAMER ja SMITH (1956), VENET (1958) ja KLEM (1970). LUBARDIĆ ja NIKOLIĆ (1970) ovat todenneet viljelymänniköiden puuaineen olevan lujuusominaisuuksiltaan luonnonmetsiköiden puuainetta huonompaa.

Sydänpuu ja pintapuu eroavat toisistaan mm. kemiallisen koostumuksen, puuaineen painon, kosteuden ja lu-

juuden suhteen (COHEN 1962, BROWNING 1967). Sydänpuun muodostumisen mainitaan alkavan suomalaisella männyllä 30 - 40 vuoden iässä, mutta ajankohdassa esiintyy pohjois-eteläsuuntaista maantieteellistä vaihtelua (BRUUN ja WILLBERG 1964). Sydänpuuprosentti lisääntyy iän mukana, mutta korreloi sen sijaan negatiivisesti kasvunopeuteen (EDLUND 1966, HAKKILA 1968).

Sydänpuuta koskevia tutkimuksia ovat tehneet mm. ENEROTH (1922), HÄGGLUND ym. (1935), LAPPI-SEPPÄLÄ (1952), NYLINDER (1961), RUDMAN (1966) ja HAKKILA (1967 ja 1968). KÄRKKÄISEN (1972) tutkimuksessa tarkastellaan sydänpuuosuuden vaihtelua rungossa ja runkojen välillä kirjallisuuden pohjalta.

Vuonna 1974 julkaistiin tutkimus (UUSVAARA 1974, Commun.Inst. For.Fenn. 80.2), jossa selviteltiin eri tekijöiden, mm. kasvuolosuhteiden vaikutusta viljelymänniköistä saatavan puutavaran laatuun ja laatua kuvaaviin tunnuksiin. Tutkimuksen materiaali oli kerätty pääasiassa kylvömänniköistä, jotka oli perustettu 1920- ja 1930-luvuilla monessa suhteessa erilaisissa oloissa kuin missä viljelymetsiköt nykyisin kehittyvät. Vertailuja pyrittiin tekemään myös viljelymänniköiden ja toisaalta luonnonsiemennyksellä syntyneiden, mutta metsätalouden piiriin kuuluvien metsien puustojen kesken. Tietojen puutteellisuuden ja vertailuksi saatavissa olevien aineistojen erilaisuuden vuoksi tulokset jäivät tuolloin eräissä suhteissa vaillinaisiksi. Mainitun tutkimuksen sekä useiden muiden selvitysten perusteella voidaan kuitenkin vetää johtopäätös, että viljelymänniköt tuottavat heikompilaatuista puutavaraa kuin luonnonmänniköt. Tuoton maksimointi ja hoitotoimenpiteiden eräissä suhteissa liiallinen tehostaminen viljelymänniköissä kostaantuvat toisaalta laadun alenemisena sahatukeissa, joiden kasvatukseen männiköissä pääasiassa pyritään.

Edellä mainitun tutkimuksen mukaan voidaan rungon ulkoisten tunnusmerkkien ja sahapuun laadun perusteella ennustaa jossakin määrin epäsuorasti myös sahatavaran laatua. Luotettavimmin puun sisäinen laatu selvitetään kuitenkin suorien koesahausten ja sahatavaran laatuluokituksen avulla. Viljelymännikköjen usein heikkoon laatuun on viime aikoina kiinnitetty yleisesti huomiota, mutta toistaiseksi on niistä peräisin olevan sahatavaran laatu ollut Suomen oloissa täysin arvailujen varassa.

Tästä syystä aiempia tutkimuksia täydennettiin lisäselvityksillä, joiden tarkoituksena oli tutkia koesahausten perusteella viljelymänniköistä saatavan sahatavaran laatua ja arvoa sekä niiden riippuvuutta puun sisäistä ja ulkoista laatua kuvaavista tunnuksista (UUSVAARA 1981e). Sahatavaraa pyrittiin tarkastelemaan sen käyttötarkoituksen, sekä vientisahatavaran että rakennussahatavaran normien puitteissa. Vertailuja pyrittiin suorittamaan mahdollisimman laajassa mittakaavassa sen sahatavaran kanssa, joka on peräisin tavallisista, hoidetuista luonnonsiemennyksen kautta syntyneistä männiköistä sekä metsistämme yleensä.

Tutkimuksen tavoitteet ovat pääkohdin seuraavat:

- Selvittää viljelymänniköistä saatavan puutavaran, lähinnä sahatukkien, laatu rungon ulkoisten ja sisäisten laatutunnusten perusteella Etelä- ja Keski-Suomen alueella.
- Vertailla keskenään suunnilleen samoissa oloissa kehittyneiden viljely- ja luonnonmänniköiden puuraaka-ainetta sekä laatutunnuksia.
- Selvittää viljely- ja luonnonmänniköistä saatavan sahatavaran laatu ja arvo koesahausten perusteella.
- Selvittää puuaineen sisäisen laadun ja erilaisten ulkoisten laatua kuvaavien tunnusten vaihtelu sekä yhteys ja riippuvuus toisistaan viljelymänniköissä.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

Lyhyyden vuoksi tullaan aikaisempaa tutkimusta (UUSVAARA 1974) nimittämään oheisessa käsittelyssä vuoden 1974 tutkimukseksi ja myöhempää tutkimusta (UUSVAARA 1981e) vuoden 1981 tutkimukseksi.

Tutkimukset pyrittiin kummassakin työssä kohdistamaan alueellisesti Etelä- ja Keski-Suomeen, koska näin voitiin vähentää maantieteellisen vaihtelun vaikutusta puuaineen ominaisuuksiin ja toisaalta männiköiden laatuhaitat näyttävät täällä ilmenevän voimakkaammin kuin maan muissa osissa. Vanhoja, jo sahapuukoossa olevia männiköitä, joista on saatavissa riittävästi tarpeellista perustietoa, on pääasiassa valtion mailla. Sen vuoksi kokeet suoritettiin etupäässä Metsäntutkimuslaitoksen ja metsähallituksen alueilla, joilla tutkimusten käytännön suoritus on muutenkin parhaiten toteutettavissa. Vuoden 1974 tutkimukseen hyväksyttiin kuitenkin mukaan myös nuorempia puustoja, joista oli kuitenkin jo saatavissa minimimitat täyttävää kuitupuuta. Kohteiden tuli muutoin edustaa ainakin jo osittain tukkipuukokoisia paikkakunnalle tyypillisiä, puulajistoltaan puhtaita, tasaikäisiä ja maaston sekä metsätyypin suhteen mahdollisimman yhtenäisiä männiköitä. Periaatteena oli, että eri kasvupaikkaboniteetteja tulisi tutkimusaineistoon mukaan suunnilleen siinä suhteessa kuin niitä männyllä keskimäärin esiintyy.

Kultakin paikkakunnalta pyrittiin ottamaan vuoden 1981 tutkimuksen vertailuaineistoksi materiaalia myös luonnonmänniköistä, jotka iältään, puustoltaan ja maaston laadun suhteen olisivat olleet mahdollisimman paljon vastaavien viljelymänniköiden kaltaisia.

Vuoden 1974 tutkimuksessa koepuiksi otettiin koealalla 30 valikoimatta eteen sattuvaa runkoa, jotka olivat vierek-

käisiä suppealla ja rajaamattomalla alueella sijaitsevia puita. Näiden koepuiden joukosta arvottiin edelleen useimmilla koealoilla 2 - 6 runkoa kaadettaviksi koepuiksi. Vuoden 1981 tutkimuksessa, jossa puusto oli yleensä kookkaampaa kuin aikaisemmissa tutkimuksissa, muodostettiin koealoja, jotka rajasivat vähintään 20 koepuuta. Suorakulmaisten koealojen koko vaihteli puuston koon ja tiheyden mukaan. Metsikön yleistiedot kuten perustamistapa ja käsittelyt eri kehitysvaiheissa sekä metsätyyppi, pohjapinta-ala ja ikä selvitettiin ja kirjattiin muistiin mahdollisimman tarkoin. Luonnonmänniköissä koealaa kohti mitattujen koepuiden määrä nostettiin 60 runkoon, koska puuston ikä ja koko vaihtelivat enemmän kuin viljelymänniköissä.

Pystykoepuista mitattiin runkojen pituus, ikä, rinnankorkeusläpimitta ja kapeneminen sekä rungon karsiutumista kuvaavat tunnukset, kuten kylestyneiden oksien kyhmyraja, kuivien oksien raja ja latvusraja. Oksien paksuuteen kiinnitettiin kummassakin tutkimuksessa erityistä huomiota. Niinpä mitattiin rungon paksuin kuiva ja elävä oksa sekä oksien paksuudet rungon eri korkeuksilla oksan paksuuden pituussuuntaisen vaihtelun selvittämiseksi. Sekä rungoista että tukeista havainnoitiin erilaiset laatua alentavat vikaisuudet. Mittausten määrä ja suoritustapa olivat sekä viljely- että luonnonmänniköissä aina samanlaiset.

Kummassakin osatutkimuksessa keskityttiin pelkästään tyvitukkeihin, jotka mitattiin ja laatuluokiteltiin. Vuoden 1981 tutkimuksessa kultakin koealalta arvottiin kaadettavaksi 5 tukkipuukokoista runkoa, joista tyviosa valmistettiin tukiksi. Tukit koesahattiin kenttäsirkkelillä ja sahaustulos laatuluokiteltiin sekä vientisahatavaran lajitteluohjeitten mukaisesti että silmävaraisen T-lujuusluokituksen ja LT-luokituksen mukaisesti. Joka toisesta sahatukista yksi sydäntavarakappale lujuusluokiteltiin lisäksi koneellisesti. Koska kenttäpyörösahaus antaa muihin sahausme-

netelmiin verrattuna heikon mittatarkkuuden (vrt. GRANVIK 1967), osa sydäntavarakappaleista höylättiin määräpaksuuteen. Sahatavara lajiteltiin erottelematta eri u/s-laatuja ja hinnoiteltiin vientisahatavaran tukkumyyntihintojen mukaisesti. Sahatavaran arvosuhteiden laskennassa oli perushintana u/s-laudan yksikköhinta, jota merkittiin luvulla 100.

Vuoden 1974 tutkimuksessa kaadetuista koepuista otettiin vertailumateriaaliksi kairanlastut sekä osasta aineistoa myös kiekot runkojen eri suhteellisilta korkeuksilta 10 %:n välein puun pituudesta. Vuoden 1981 tutkimuksessa puuaineen sisäisiä laatuominaisuuksia, erityisesti luston leveyttä, puuaineen kuiva-tuoretiheyttä sekä kesäpuuprosenttia, tutkittiin pelkästään kannon korkeudelta otetuista näytepaloista. Erityistä huomiota kiinnitettiin näiden laatuominaisuuksien vaihteluun 75 mm:n matkalla puun ytimestä lukien.

Vuoden 1974 aineisto käsitti kaikkiaan 92 koealaa, joilta mitattiin 2 760 runkoa sekä 460 kaadettua koepuuta. Vuoden 1981 aineistossa koemetsiköitä oli kaikkiaan 11 paikkakunnalta 61 kpl, joista 31 viljeltyä ja 30 luontaisesti syntynyttä männikköä. Viljelymänniköt oli perustettu pääasiassa kylvämällä. Viljely- ja luonnonmäntyrunkoja mitattiin 630 ja 1 810 kappaletta, joista edellisistä valmistettiin sahattavaksi 165 tukkia ja jälkimmäisistä 135 tukkia.

3. TUTKIMUSTULOKSET

31. Runkoja ja tukkeja koskevat tulokset ja niiden tarkastelu

311. Runkojen karsiutuminen

Mäntyrungon oksaton rungonosa piteni iän lisääntyessä, mutta piteneminen nopeutui selvästi sekä vuoden 1974 että vuoden 1981 tutkimuksen mukaan erityisesti 60 ikävuoden jälkeen. Kehitys oli samansuuntainen sekä viljely- että luonnonmänniköissä. Oksattoman samoin kuin oksakyhmyisen osan yläraja oli kuitenkin koko ajan luonnonmänniköissä korkeammalla kuin viljelyrungoissa. Oksien varisemisen nopeutuessa oksakyhmyisen osan pituus näytti toisaalta pysyvän jokseenkin vakiona. Kuivaoksainen rungonosa samoin kuin latvus pitenivät viljelymänniköissä selvästi iän myötä, kun taas luonnonmänniköiden rungoissa kehitys näytti vuoden 1981 tutkimuksen mukaan olevan pikemminkin päinvastainen. Oksaisuudeltaan erilaisten rungonosien pituuden riippuvuutta iästä kuvattiin vuoden 1974 tutkimuksessa viljelymänniköissä regressioyhtälöillä, jolloin ikä selitti 36 % oksattoman ja 43 % virheettömän rungonosan pituuden vaihtelusta.

Noin 60 vuoden ikään asti viljelymäntyrungon kyhmyraja oli edellä mainitun tutkimuksen mukaan käytännössä keskimäärin sama kuin oksaraja, eli oksien kylestymistä ei vielä tapahtunut juuri lainkaan. Oksaton rungonosa, joka tällöin oli keskimäärin vain 3 % rungon koko pituudesta, oli 70 vuoden iässä 17 % ja 80 vuoden iässä 22 % rungon pituudesta. Tästä rungonosasta noin puolet sisälsi kuitenkin oksakyhmyjä.

Viljelyrungoille tyypillinen pitkä kuivien oksien vyöhyke johtuu ilmeisesti niiden luonnonrunkoja paksummista oksista, joiden kuivuminen ja variseminen on hidasta vielä

myöhäiselläkin iällä. Eroja oli havaittavissa vuoden 1981 tutkimuksen mukaan myös eri viljelytapojen välillä. Istutusmänniköissä karsiutuminen oli kylvömänniköitä hitaampaa ja oksan paksuus selvästi suurempi kuin kylvömetsiköissä, etenkin hajakylvöalueilla (vrt. KALLIO 1960).

Vaikka laadultaan ja oksaisuudeltaan erilaisten rungonosien absoluuttinen pituus lisääntyy iän mukana, niiden suhteellinen pituus riippuu sen sijaan pääasiassa kasvunopeudesta eli kasvupaikan laadusta ja kasvutilasta (vrt. HEISKANEN 1965, VENCENOSCEVA 1967). Tietyn ikäluokan ohuimmilla puilla todettiin kummassakin osatutkimuksessa suhteellisesti pienin latvus ja vastaavasti pisin rungon kuivaoksainen osa sekä vähiten oksatonta ja kyhmyistä runkoa. Poikkeuksen muodostivat kuitenkin hyvin nuoret puut, joilla oksien kuoleminen ei vielä ollut alkanut ja joiden latvus oli vielä suhteellisen pitkä. Toisaalta myös viljelymännikön suurimmilla rungoilla oli suhteellisesti lyhin virheetön rungonosa. Tietyn ikäluokan sisällä ovat sekä runkojen karsiutumisen että oksien paksuuden suhteen siis laadullisesti parhaita läpimitaltaan keskikokoiset puut (HEISKANEN 1965, KÄRKKÄINEN 1980a). Näin ollen sahapuun hyvään laatuun pyrittäessä olisi metsänhoidossa useiden tutkijoiden mielestä suosittava yläharvennustyyppisiä hakkuita, joissa poistettaisiin ylispuiden ohella myös oksaisia valtapuita (NYYSSÖNEN 1954, HEISKANEN 1965, VUOKILA 1970, 1977).

Kasvunopeutta tarkasteltaessa on tässä suhteessa merkitystä myös maapohjan viljavuudella eli metsätyypillä. Sen vaikutus on kaksinainen: toisaalta oksat muodostuvat hyvällä kasvupaikalla paksummiksi kuin heikolla, mutta hyvällä kasvupaikalla kylestyminen on sen sijaan nopeampaa kuin heikoilla kasvupaikkaboniteeteilla. Niinpä vuoden 1974 tutkimuksessa todettiin, että oksaton ja kyhmytön rungonosa olivat puolukkatyypillä huomattavasti lyhyemmät kuin vastaavan ikäluokan mustikkatyypin metsiköissä. Ero oli eri-

tyisen selvä varttuneissa, yli 60 vuoden ikäisissä männiköissä. Myös kuivaoksaisen rungonosan ja latvuksen pituus lisääntyivät varsinkin puolukkatyypiltä käenkaali-mustikkatyypille siirryttäessä.

Rungon oksien kuivuminen ja kylestyminen liittyvät läheisesti latvuksen pituuden kehitykseen. NILSSON (1968) on todennut latvuksen pituuden osittain myös periytyväksi ominaisuudeksi, jonka vaikutuksen metsikön puustossa tapahtuvat tiheysmuutokset kuitenkin yleensä peittävät. Tiheyden vaikutusta kuivaoksaisen rungonosan pituuteen ja latvussuhteeseen on tutkittu runsaasti (mm. NÄSLUND 1944, ERTELD 1967, MATHIEU 1967, PERSSON 1977, VARMOLA 1980). KELLOMÄKI ja TUIMALA (1981) totesivat, että elävien oksakiehkuroiden määrä laski selvästi eli latvuksen suhteellinen osuus pieneni nuoren männikön tiheyden kasvaessa.

312. Runkojen oksikkuus

Oksikkuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä rungon pinnan ulkopuolella olevien oksien runsautta, niiden paksuutta, lukumäärää ja karsiutuneisuutta. Oksat ovat oleellinen osa puuta, joten oksien paksuus, pituus ja tilavuus sekä niiden osuus rungon tilavuudesta riippuvat rungon paksuudesta. Oksan paksuus kasvaa pääasiassa rungon paksuuskasvun myötä eikä ole yhtä voimakkaasti riippuvainen puun iästä. Kummassakin osatutkimuksessa rungon rinnankorkeusläpimitta osoittautui parhaaksi mäntyrungon paksuimman kuivan ja elävän oksan paksuuden selittäjäksi. Sen avulla voitiin selittää vuoden 1974 tutkimuksessa 63 ja 54 % rungon paksuimman kuivan ja pisimmän oksan paksuuden vaihtelusta. Oksien vahvuus korreloi sen sijaan tukkipuukokoisissa männiköissä lievästi negatiivisesti iän kanssa. Luonnonmänniköissä tällainen kehityssuunta oli vuoden 1981 tutkimuksen mukaan vielä selvempi kuin viljelymänniköissä.

Oksan paksuus kasvoi rungon eri korkeuksilla iän mukana viljelymänniköissä, mutta rungon tyviosassa paksuuserot olivat hyvin pienet eri ikäluokkien välillä ja kasvoivat latvaa kohti. Rungon maksimipaksuiset oksat tavattiin viljelymänniköissä yli 50 vuotiailla puilla 60 %:n suhteellisella korkeudella, kun sen sijaan alle 30 vuotiaissa metsiköissä paksuimmat oksat sijoittuivat 40 %:n korkeudelle. Rungon paksuimmat oksat nousevat siis iän mukana yhä ylemmäs, kunnes noin 60 vuoden iässä oksien paksuuskasvu ei enää lisäänny.

Luonnonmäntyrunkojen oksat olivat selvästi ohuempia kaikissa läpimittaluokissa kuin viljelyrunkojen oksat etenkin rungon alaosassa, mutta rungon yläosissa erot sen sijaan osittain hävisivät. Rungon paksuimmat oksat sijaitsivat pieniläpimittaisimmissa puissa rungon puolivälissä tai vähän sen alapuolella, mutta niiden korkeus nousi rungon läpimitan kasvaessa. Rungon karsiutuminen ja oksan paksuus riippuvat myös kasvunopeudesta, etenkin läpimitan kasvusta. Mitä vanhempi tietyn paksuinen runko on sitä parempi se on yleensä laadultaan kuitenkin tiettyyn ikärajaan asti, jossa rungon laatu jälleen heikkenee sekä oksikkuuden että vikaisuuksien suhteen. Kasvunopeuden heiketessä voimakkaasti ohuetkaan oksat eivät pysty enää kylestymään, minkä seurauksena karsiutuminen heikkenee (vrt. KELLOMÄKI ja TUIMALA 1981).

Rungon laadun kannalta on kuitenkin suurin merkitys tyvitukin alueelle syntyvien oksien paksuudella, sillä tukin laatu määräytyy pääasiassa oksien perusteella (HEISKANEN 1954a). Toisaalta näiden oksien paksuus kuvaa varsin hyvin myös rungon muiden tukkien oksaisuutta ja laatua. Jos oksat ovat paksuja, ne eivät varise pois, ja pitkään puussa kiinni olevat oksat alkavat usein lahota. Oksikkaista tukeista valmistettu sahatavara sisältää näin ollen tavallista runsaammin myös kuivia ja lahoja oksia, joiden sahatavaran

laatua heikentävä vaikutus on paljon suurempi kuin elävien oksien aiheuttamat laatuhaitat. Oksien mahdollisimman varhaista karsiutumista olisikin pyrittävä nopeuttamaan toisaalta metsikön puuston alkutiheyden säätelyn sekä toisaalta metsänhoidollisten hakkuiden tarjoamin keinoin.

Tyvitukeista mitattujen oksien paksuus kasvoi vuoden 1981 tutkimuksessa tukin laadun heiketessä, ja viljelymänniköistä peräisin olevissa tukeissa oksat olivat keskimäärin paksumpia kuin luonnonmännikköjen tukeissa, myös vastaavassa laatuluokassa. Myös oksien tukkia kohti laskettu lukumäärä kasvoi samanaikaisesti tukin laadun heiketessä, mikä johtuu heikomman laadun ohella siitä, että heikkolaatuiset tukit olivat peräisin keskimääräistä nuoremmista metsiköistä. Tulokset osoittavat, että ensimmäisen ja toisen laatuluokan välinen laatuero viljelymäntytukeissa on pienempi kuin toisen ja kolmannen luokan välinen ero. Jos taas verrataan keskenään viljely- ja luonnonmänniköistä peräisin olevia tyvitukkeja, erot ovat myös niiden välillä suurimmat kaikkein huonoimmissa laatuluokissa. Kolmannen laatuluokan viljelymäntytukki oli siis huomattavasti heikompi laadultaan kuin vastaavan luokan luonnonmäntytukki.

Viljely- ja luonnonmänniköiden runkojen keskimääräisten kapenemislukujen välillä ei havaittu merkittäviä eroja.

313. Vikaisuudet

Vioilla tarkoitetaan tässä yhteydessä rungon ulkoisia vikoja, jolloin sisäiset viat sekä oksiin ja latvukseen kohdistuneet viat, esimerkiksi sieni- ja hyönteisvauriot jätettiin tässä käsiteltävissä tutkimuksissa huomiotta. Runkoviat saattavat kuitenkin usein syntyä puuta aikoinaan kohdanneen sieni- tai hyönteisvioittuman seurauksena.

Yleisin vika vuoden 1974 tutkimuksessa oli mutkarunkoisuus, jolloin mutka tavallisesti sijaitsi rungossa tyviosan yläpuolella, kun tyveksi luettiin metrin pituinen rungonosa kannosta ylöspäin. Yleisyyden mukaan ryhmiteltyinä sijoittuivat viat järjestyksessä seuraavasti: runkomutka, tyvimutka, pystyoksa ja lenkous, jotka kattoivat yhteensä 95 % kaikista vioista. KANGAS (1962) on tutkimuksissaan todennut mäntypuun teknistä käyttökelpoisuutta alentavien vikojen jakautuvan yleisyyden mukaan seuraavasti: eriasteiset mutkat 81 %, lenkous 12 % ja avokorot 7 % kaikista vikaisuuksista.

Keskimäärin viljelymäntyrungoista oli vuoden 1974 tutkimuksen mukaan lähes joka toinen runkomutkainen, joka viides tyvimutkainen, joka seitsemäs lenko ja vain noin yhdessä kolmasosassa rungoista ei voitu havaita mitään teknistä laatua heikentäviä vikoja. Metsätyyppien välinen vertailu osoitti, että vikojen osuus oli VT:llä pienin ja OMT:llä suurin. Maapohjan ravinnepitoisuuden kasvu aiheutti etenkin parhaalle kasvupaikalle siirryttäessä mutkaisuuden, haaraisuuden, lenkouden ja oksaisuuden voimakasta lisääntymistä. Metsikön tiheydellä ei sen sijaan todettu olevan yhteyttä vikojen esiintymisrunsauteen (CROMER ja PAWSEY 1957).

Viljelymänniköissä esiintyi lenkoutta vuoden 1981 tutkimuksen mukaan enemmän kuin luonnonmänniköissä, mutta ero tämän vikaisuuden esiintymisrunsaudessa ei ollut yhtä suuri kuin mutkien yleisyyttä vertailtaessa. Lenkous esiintyi melkein pelkästään rungossa, kun taas mutkat olivat jonkin verran yleisempiä puun tyven alueella. Vikojen sijoittuminen rungossa edellä mainitulla tavalla selittynee pääasiassa sillä, että tutkimusaineisto käsitti valtaosaltaan kylvömänniköitä. Istutusaloilla tyvilenkous on sen sijaan yleinen nimenomaan mäntyrunkojen tyviosassa (HUURI 1976, UUSVAARA 1981b). Vuoden 1981 tutkimuksessa lenkous oli, päinvastoin kuin aiemmassa tutkimuksessa, yleisin vika kummassakin osa-aineistossa. Viljely- ja luonnonmänniköiden

runkojen mutkaisuusprosentit 50 ja 37 sekä lenkousprosentit 56 ja 48 osoittavat, että viljelymäntyrungot olivat luonnonrunkoja vikaisempia. Viljelymäntyrungoissa esiintyneet viat olivat myös luonteeltaan vakavampia kuin luonnonmäntyrungoissa, sillä tyvitukin pituudelta mitattu lenkous oli edellisissä suurempi kuin jälkimmäisissä.

314. Tyvitukin laatu

Viljely- ja luonnonmäntyrungot jakautuivat vuoden 1981 tutkimuksessa tyvitukin osalta eri laatuluokkiin seuraavasti.

	Tukin laatuluokka %			
	1	2	3	Hylky
Viljelymänniköt	12	37	43	8
Luonnonmänniköt	27	53	19	1

Eri aineistojen vertailukelpoisuutta vähentää jossakin määrin se, että viljelymäntyaineisto oli jonkin verran nuorempaa ja peräisin keskimääräistä paremmilta kasvupaikoilta kuin vertailuaineiston rungot.

Vuoden 1974 tutkimuksessa 1, 2 ja 3 luokkaan sekä hylkyluokkaan kuuluvien tyvitukkien osuudet olivat 1, 12, 66 ja 21 %, joten vuoden 1981 tutkimuksen luonnonmänniköihin verrattuna oli viljelymänniköiden laatujakauma varsin hyvä. HEISKASEN (1954a) mukaan eri laatutunnuksista tukin laatua määräävinä tekijöinä oksaisuuden osuus on 81 % sekä lenkouden ja mutkien osuus 8 %. Tukit luokiteltiin vuoden 1981 tutkimuksen molemmissa aineistoissa sekä pelkän oksaisuuden mukaan että sen lisäksi kaikki runkoviat mukaan otettuina. Kun runkovikojen vaikutus huomioitiin luokituksessa oksaisuuden lisäksi, tapahtui viljelymänniköissä pääasiallinen

siirtymä kolmannesta luokasta hylkytukkeihin, mikä myös on osaltaan osoitus esiintyneiden vikojen vakavuudesta. Kun luonnonmänniköissä siirryttiin tukkien todelliseen luokitukseen siirtymää tapahtui pääasiassa ensimmäisestä toiseen ja toisesta kolmanteen laatuluokkaan. Viljelymänniköissä viat näyttivät keskittyvän myös suurelta osin oksaisuudeltaan heikkolaatuisiin eli muutoinkin huonoihin runkoihin ja siirsivät usein maksimioksaisen tukin hylkyluokkaan. Runkoviat alensivat sekä viljely- että luonnonmänniköissä parhaiden, ensimmäisen ja toisen, laatuluokkien osuutta keskimäärin noin 10 %.

Vuoden 1981 tutkimus osoitti, että viljelymänniköissä laadultaan parhaat tukit saadaan keskimääräistä vanhemmista ja järeämmistä rungoista, mutta rungot ovat toisaalta usein myös toisen tai kolmannen latvuskerroksen hitaammin kasvaneita ja sen vuoksi paremmin karsiutuneita runkoja. Joka tapauksessa kasvunopeuden hidastumisen vaikutus laadun alenemiseen oli selvästi nähtävissä esimerkiksi tarkasteltaessa tyvitukin paksuimpia oksia ja luston leveyksiä erityisesti ytimen ympäristössä puun tyvellä. Tukin laatu heikkeni eli laatuindeksi nousi jyrkästi luston leveyden kasvaessa ytimen ympäristössä, kun taas puun pintaosien lustojen ja tukin laadun välinen korrelaatio oli heikompi. HEISKASEN (1965) saamat tulokset ovat hyvin samankaltaiset. Hän toteaa kuitenkin, että leveiden lustojen kapeneminen vaikuttaa laatuun voimakkaammin kuin kapeissa lustoissa tapahtuvat muutokset. Luonnonmäntyrungoissa luston leveyden ja tukin laadun välinen yhteys oli vuoden 1981 tutkimuksen mukaan hyvin samankaltainen kuin viljelymänniköissä. Luston leveyksien muutokset puun pintaosissa eivät kuitenkaan enää vaikuttaneet lainkaan tyvitukin laatuun.

Kasvunopeuden vaikutus tukin laatuun voitiin havaita vuoden 1974 tutkimuksessa myös tarkastelemalla tyvitukkien laatujakaumia ikäluokittain. Hylkytukkien osuus oli pienin

(10 %) tietynikäisten metsiköitten ohuimmissa puissa ja suurin vastaavasti paksuimmissa eli nopeimmin kasvaneissa rungoissa (35 %). Viljelymäntyrungon tyvitukin laatu on siis keskimäärin sitä parempi, mitä vanhempi tietyn paksuinen runko on. Näin ollen yleensä puustoltaan verrattain tasaisessa viljelymännikössä eivät ylimmän latvuskerroksen puut ole sahapuun kannaltakaan arvostellen laadullisesti parhaita. Tyvitukin laadun perusteella voidaan lisäksi arvostella muidenkin rungosta saatavien tukkien laatua, eli tyvitukin laatu kuvaa hyvin koko rungon keskimääräistä laatua. HEISKANEN (1954a) onkin todennut, että tietyssä oksaisuusluokassa on latvatukkien todellinen oksaisuus sitä vähäisempi ja laatu sitä parempi, mitä parempaan oksaisuusluokkaan rungon tyvitukki kuuluu.

315. Rungon sisäiset laatutunnukset

Vuoden 1974 aineistosta tutkittiin myös luston leveyttä, kesäpuuprosenttia, sydänpuuprosenttia ja puuaineen kuiva-tuoretiheyttä ja niiden vaihtelua runkojen sisällä ja runkojen välillä.

Luston paksuutta käytettiin myös eri analyyseissä puun laadun tunnusten selittäjänä. Luston paksuuden yhteys ulkoisiin laatutunnuksiin kuten oksien paksuuteen ja rungon karsiutumiseen erityisesti ytimen lähellä voitiin todeta selvästi. Luston leveys oli myös koealoittaisessa tarkastelussa hyvä ja rungoittaisessakin analyysissä kohtalainen puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelun selittäjä. Rungon kesäpuuprosentin parhaaksi selittäjäksi osoittautui luston leveyden logaritmi.

Kesäpuuprosentti laskee viljelymäntyrungossa tyvestä latvaan päin ja on myös keskimäärin sitä alhaisempi, mitä nuorempi puu on. Rungon kesäpuuprosentin keskiarvo si-

joittui keskimäärin 30 %:n suhteelliselle korkeudelle. Kuidun seinämien paksuus ja kesäpuuprosentti nousevat rungossa iän mukana ja ovat korkeimmillaan rungon tyvessä ja puun pintaosissa (mm. LARSON 1957, SELLERS 1962, SAIKI 1965, HAKKILA 1966).

Vuoden 1974 tutkimuksessa vuosiluston leveys osoittautui parhaaksi rungon kesäpuuprosentin selittäjäksi, joskin selitysprosentti kokonaisuudessaan jäi suhteellisen alhaiseksi. Luston leveyden logaritmi selitti 41 % rungon kesäpuuprosentin kokonaisvaihtelusta, jolloin yhtälö sai muodon $y = 0{,}539 - 82{,}013\ x$, jossa y = rungon kesäpuuprosentti, x = luston leveyden logaritmi, $r = 0{,}636$. Selitysaste nousi 45 %:iin, kun luston leveyden lisäksi kesäpuuprosentin vaihtelun selittäjiksi otettiin rungon rinnankorkeusläpimitan kasvu ja suurimman kuivan oksan paksuus.

Puuaineen kuiva-tuoretiheys laskee viljelymäntyrungossa tyvestä kohti latvaa, ja puun pituussuuntainen tiheyden aleneminen on jyrkintä tyven läheisyydessä ja toisaalta puun latvaa lähestyttäessä. Rungon keskimääräinen kuiva-tuoretiheys viljelymänniköissä oli 395 kg/m^3, ja se sijoittui rungossa 25 prosentin korkeudelle puun pituudesta. Vuoden 1981 tutkimuksen mukaan kuiva-tuoretiheys oli puun tyvellä ytimen ympäristössä ja puun pintaosissa 425 ja 430 kg/m^3 viljelymäntyrungossa sekä 448 ja 470 kg/m^3 luonnonrungossa.

Eri metsätyyppejä verrattaessa puuaineen kuiva-tuoretiheys oli suuren kasvunopeuden ja leveiden vuosilustojen vuoksi OMT:llä poikkeuksellisen alhainen. OMT:n runkojen keskimääräinen kuiva-tuoretiheysero oli noin 20 kg/m^3 alhaisempi kuin vastaava kuiva-tuoretiheys MT:llä, kun taas MT:n ja VT:n ero oli vain 10 kg/m^3 jälkimmäisen metsätyypin hyväksi.

Rungoittaisessa regressioanalyysissä osoittautuivat

ikä, puun läpimitan ja pituuden kasvu sekä luston leveys voimakkaimmiksi puuaineen kuiva-tuoretiheyden selittäjiksi. Selitetty varianssi oli tällöin 42 % tiheyden kokonaisvaihtelusta.

Kun puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelua metsiköitten välillä selitettiin samojen muuttujien avulla, nousivat korrelaatiot huomattavasti korkeammiksi. Paras selitysprosentti, 83 %, saavutettiin kun käytettiin selittäjinä luston leveyden ja kasvunopeuden muunnelmia sekä rungon oksien paksuutta.

Mäntyrungon sydänpuuprosentti, joka riippui erittäin selvästi rungon iästä, kohosi rungon tyvestä noin 15 %:n suhteelliselle korkeudelle, jossa se saavutti maksiminsa, ja laski sen jälkeen jyrkästi puun latvaa kohti. 80 %:n korkeudella sydänpuuprosentti oli enää vain noin 1. Lyhyemmissä puissa sydänpuuprosentti oli alhaisempi kuin pidemmissä ja vanhemmissa rungoissa. Ikä selitti 37 % viljelymäntyrunkojen sydänpuusadanneksesta.

Viljelymänniköiden tuottaman puuaineen kesäpuuprosentin ja puuaineen kuiva-tuoretiheyden arvot olivat jonkin verran pienemmät kuin vastaavat luonnonmänniköistä saadut arvot etenkin hyvillä kasvupaikoilla. Runkojen sydänpuuprosenteissa vallitsevat erot olivat suuret, sillä viljelymäntyrunkojen sydänpuuprosentti oli keskimäärin vain noin puolet luontaista alkuperää olevien runkojen sydänpuuprosentista.

Iän lisäksi sydänpuuprosentti riippuu mm. maaperästä, kasvunopeudesta, geneettisistä tekijöistä sekä metsikön maantieteellisestä sijainnista. Koska useat oksaisuutta ja runkomuotoa kuvaavat tunnukset kuvaavat nimenomaan kasvunopeutta, sisältävät sydänpuuta keskimäärin eniten vanhat kapealustoiset, pienilatvuksiset sekä solakat, vähän kapenevat rungot (LAPPI-SEPPÄLÄ 1952, KÄRKKÄINEN 1972). Tutkiessaan

sydänpuuosuuden ja erilaisten rungon tunnusten välistä yhteyttä totesi NYLINDER (1961) voimakkaimman riippuvuuden sydänpuun määrän ja toisaalta läpimitan, pinnanläheisten vuosilustojen leveyden sekä latvuksen suhteellisen pituuden välillä.

32. Koesahaustulokset ja niiden tarkastelu

Huomattavin ero viljely- ja luonnonmetsiköistä peräisin olevan sahatavaran välillä oli u/s-luokan vähyys viljelyaineistosta saadussa sahatavarassa. Parhaan laatuluokan soiroja ja lankkuja saatiin viljelymänniköiden tyvitukeista lähes 30 % vähemmän sahatavaran tilavuudesta laskettuna kuin luonnonmänniköistä, mutta lautojen kohdalla ero oli vielä suurempi. Tulos kuvastaa paitsi luonnonmänniköiden oksien pienempää kokoa niiden runkojen oksien parempaa kylestymistä. Viljelymäntytukeista saatujen sydäntavarakappaleiden kvintta- ja sekstalaatujen osuus oli sen sijaan suurempi kuin luonnonmänniköiden tukeista saatu vastaava jakauma, mutta erot pienenivät lautoja tarkasteltaessa. Keskimääräiset laatujakaumat prosentteina sahatavaratilavuudesta olivat vuoden 1981 tutkimuksen mukaan seuraavat.

	Laatu					
	u/s	V	VI	PL/VL	PL/KL	Hylky
Viljelymänniköt, sydäntavara	25	44	30			2
Viljelymänniköt, laudat	4	18		51	25	2
Luonnonmänniköt, sydäntavara	50	33	15			3
Luonnonmänniköt, laudat	13	31		44	10	2

Tukkien eri laatuluokkien keskinäinen vertailu osoitti,

että saman laatuluokan viljelymäntytukki antoi vähemmän u/s-luokan mutta enemmän heikompien laatuluokkien sahatavaraa kuin samanarvoiseksi luokiteltu luonnonmäntytukki. Erot olivat sitä suuremmat, mitä parempilaatuiset tukit olivat kysymyksessä, ja sydäntavarasta saatavat u/s-laadun erot olivat suuremmat kuin vastaavat laudoista saatavat laatuerot. Kvintta-laadun suhteelliset osuudet eri laatuluokkien välillä pysyivät sen sijaan melko vähäisinä.

Nyt tehdyissä laskelmissa on kuitenkin jätetty huomioon ottamatta u/s-laatuluokan sisäinen hajonta, jolla on eräissä tapauksissa merkitystä sahatavarakaupassa, vaikkakin luokan alaryhmät tavallisesti hinnoitellaan yhtäläisesti. Parhaan laatuluokan tukeista saadaan luonnonmänniköissä nimittäin valtalaatuna tertiaa ja toisen luokan tukeista kvarttaa (HEISKANEN ja SIIMES 1959). Näin ollen myöskään saadut u/s-jakaumat eivät ole täysin verrattavissa toisiinsa, vaan tulokset antavat ilmeisesti viljelymäntytukkien sahaustuloksesta jonkin verran liian hyvän kuvan.

Kun tukin u/s-prosenttia selitettiin erilaisten rungon ulkoisten ja sisäisten laatutunnusten avulla, parhaiksi selittäjiksi luonnonmänniköissä osoittautuivat tyvitukin todellinen laatuluokka ja kuiva-tuoretiheys sekä vuosiluston leveys ytimen ympäristössä ja puun pintaosissa. Viljelymänniköissä parhaita selittäjiä olivat sen sijaan alimman täyden oksakiehkuran korkeus maan pinnasta sekä luston paksuus ytimen ympäristössä. Kun vuosiluston leveys kohosi puun ytimen ympäristössä 3,5 mm:iin, ei sydäntavarakappaleista enää saatu u/s-tavaraa kummassakaan aineistoryhmässä.

Tyvitukista saadun sahatavaran u/s-prosentin vaihtelulle saatiin viljely- ja luonnonmänniköissä seuraavat yhtälöt, jotka selittävät 29 ja 30 % u/s-prosentin kokonaisvaihtelusta. Tyvitukista saadun u/s-laatuisen sydäntavaran

osuus oli korkeimmillaan luston leveyden ollessa viljelymäntyrungossa 2 mm ja luonnonmäntyrungossa 1 mm.

Viljelymänniköt

$y = 17,654 + 0,507x_{20} - 0,474x_{25}$ jossa

y = sahatavaran u/s-prosentti

x_{20} = ensimmäisen oksakiehkuran korkeus, dm

x_{25} = vuosiluston leveys/75 mm ytimestä, mm

R^2 = 29,3

Luonnonmänniköt

$y = 63,096 + 0,296x_{20} - 0,153x_{23} + 20,769x_{14}/x_7 - 0,027(x_{25})^2 + 0,029(x_{26})^2$ jossa

y = sahatavaran u/s-prosentti

x_{20} = ensimmäisen oksakiehkuran korkeus, dm

x_{23} = kuiva-tuoretiheys/75 mm ytimestä, kg/m^3

x_{14}/x_7 = rungon pisimmän elävän oksan läpimitta/ rungon rinnankorkeusläpimitta, mm/cm

$(x_{25})^2$ = vuosiluston leveys/75 mm ytimestä, mm

$(x_{26})^2$ = vuosiluston leveys puun pintaosissa, mm

R^2 = 29,5

Koesahattu aineisto jakautui silmävaraisen T-luokittelun perusteella määriteltyihin lujuusluokkiin seuraavasti. Laatuluokat heikkenevät vasemmalta oikealle.

	Lujuusluokka				
	T40	T30	T24	T18	Hylky
			%		
Viljelymänniköt	14	20	39	19	9
Luonnonmänniköt	22	34	35	5	4

Viljelymänniköistä saatava sahatavara oli siis lujuudeltaan selvästi luonnonmänniköiden sahatavaraa heikompaa. Kun silmävaraista lujuusluokkajakaumaa verrattiin edelleen koneellisen lujuuslajittelun tuloksiin, voitiin todeta edellisen luokitustavan johtavan huomattavasti ankarampaan lajitteluun. Silmävarainen arviointi ilmeisesti liioittelee oksaisuuden merkitystä lujuutta alentavana tekijänä (PERSSON 1976).

Tukista koesahauksissa saadun sahatavaran arvo laskettiin sahatavaran yksikköhintoina, jolloin u/s-lauta sai vertailussa arvon 100. Tällöin saatiin seuraavat keskimääräiset arvosuhteet.

	Viljelymänniköt	Luonnonmänniköt
	Suhteellinen arvo	
Sydäntavara	55,8	60,0
Laudat	43,5	53,9
Yhteensä	52,8	58,3

Sydäntavaran, lautojen ja koko sahatavaran välinen hintaero kahden aineiston välillä oli keskimäärin 7,0, 22,2 ja 9,1 % luonnonmänniköistä saadun sahatavaran eduksi.

Merkittävin sahatavaran yksikköhinnan vaihtelun selittäjä on viljelymänniköissä tukin tilavuus, joka yksinään se-

littää 85 % hinnan kokonaisvaihtelusta. Muiksi sahatavaran yksikköhintaa parhaiten selittäviksi tekijöiksi todettiin sekä viljely- että luonnonmänniköissä tukin u/s-prosentti, rungon pituuskasvunopeus ja tukin lenkous. Kun yksikköhinnan vaihteluita tutkittiin ilman tukin tilavuuden vaikutusta olivat tärkeimpiä selittäjiä rungon ensimmäisen oksakiehkuran korkeus sekä vuosiluston leveys. Rungon kasvunopeuteen ja karsiutuneisuuteen liittyvät muuttujat tuntuvat siten olevan erityisen tärkeitä sahatavaran arvon vaihteluitten selittäjiä.

Edellä esitetyt tulokset osoittavat, että viljelymänniköistä saatava puuaine ja puutavara ovat kaikkien tarkasteltujen kriteerien valossa heikkolaatuisempia kuin luonnonmänniköissä, kun ajatellaan puuta sen käyttöarvon kannalta. Arvioitaessa tulosten merkitystä on korostettava että vanhat viljelymänniköt, joista oheisena esiteltyjen tutkimusten materiaali on peräisin, perustettiin aikoinaan kylväen, kun taas nykyisin pääasiallisin uudistustapa on istutus. Tuloksia ei tästä syystä voida sellaisenaan soveltaa nykyisistä istutusmänniköistä aikanaan saatavan puutavaran laadun arviointiin. Muun muassa nykyisten taimikoiden väljän istutustavan sekä eräiden uusien tutkimustulosten perusteella voidaan kuitenkin päätellä, että nuorten istutusmänniköidemme puuston, ja nimenomaan niistä saatavien sahatukkien, laatu tulee voimakkaasti heikkenemään vanhojen viljelyalojen puustoon verrattuna.

4. TIIVISTELMÄ

Tutkimus perustuu kahteen eri osatutkimukseen, joiden aineistot kerättiin Suomen eteläosissa puhtaisiin männiköihin sijoitetuilta koealoilta. Vuodelta 1974 peräisin olevan tutkimuksen aineisto (Commun.Inst.For.Fenn. 80.2) käsitti 2 760 viljelymäntyrunkoa 92 koealalta ja myöhemmän, vuoden 1981, tutkimuksen (Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 27) aineisto 630 viljely- ja 1 810 luonnonmäntyrunkoa 61 koealalta. Jälkimmäisen tutkimuksen aineistosta koesahattiin 165 tyvitukkia viljely- ja 135 tukkia luonnonmänniköistä. Sahatavarasta määritettiin laatuluokat ja sahatavaran arvo.

Tutkimusten tavoitteena oli selvittää viljelymänniköistä saatavan puuraaka-aineen, lähinnä tyvitukkien, ja sahatavaran laatu ja arvo sekä niihin vaikuttavat tekijät. Tulokset ovat pääkohdittain seuraavat:

1. Oksaton ja virheetön rungonosa pitenivät männiköissä iän lisääntyessä, mutta oksaraja oli samaakin ikäluokkaa tarkasteltaessa luonnonmänniköissä korkeammalla kuin viljelymänniköissä. Karsiutumisnopeus riippui kuitenkin erityisesti läpimitan kasvunopeudesta siten, että kussakin ikäluokassa olivat parhaiten karsiutuneita keskikokoiset puut.
2. Oksan paksuus rungon eri korkeuksilla kasvoi iän mukana, mutta rungon rinnankorkeusläpimitta oli paras rungon paksuimpien oksien läpimitan selittäjä. Luonnonmäntyrunkojen oksat olivat keskimäärin ohuempia kuin viljelyrunkojen oksat, ja saman metsikön sisällä olivat oksaisuudeltaan heikkolaatuisimpia suurimmat puut.
3. Viljelymäntyrunkojen runkovioista olivat yleisimpiä vikoja tyvimutkat, lenkous ja pystyoksat, jotka käsittivät n. 95 % kaikista vioista. Viljely- ja luonnonmäntyrun-

kojen mutkaisuusprosentit 50 ja 37 sekä lenkousprosentit 56 ja 48 osoittavat, että viljeltyjen metsiköiden puissa esiintyi enemmän laatuvikoja kuin luonnonmäntyrungoissa.

4. Viljelymänniköiden tyvitukit olivat keskimäärin heikkolaatuisia, mitä kuvaavat kahdessa eri tutkimuksessa saadut 3. laatuluokan osuudet 66 ja 43 %. Vastaava luku luonnonmänniköissä oli 19 %. Tukin laatu heikkeni jyrkästi luston leveyden kasvaessa ytimen ympäristössä, kun taas puun pintaosien lustojen ja tukin laadun välinen korrelaatio oli verrattain heikko.
5. Parhaan eli u/s-luokan sydäntavarakappaleita saatiin viljelymetsiköitten tukeista lähes 30 % vähemmän kuin luonnonmänniköistä, mutta lautoja tarkasteltaessa ero oli vielä suurempi. Myös saman laatuluokan viljelytukki antoi vähemmän parhaiden ja enemmän heikkojen luokkien sahatavaraa kuin vastaava luonnonmänniköistä saatu tyvitukki. Sahatavaran laatu laski voimakkaasti rungon tyveltä mitattujen vuosilustojen leveyden kasvaessa.
6. Viljelymänniköistä saatava sahatavara oli sekä silmävaraisen että koneellisen lujuusluokittelun mukaan heikompaa kuin vertailuaineisto. Erot tasoittuivat kuitenkin jonkin verran sovellettaessa koneellista lujuuslajittelua.
7. Viljelymäntytukista saatujen sydäntavarakappaleiden, lautojen ja koko sahatavaran yksikköhinta oli 7,0, 22,2 ja 9,1 % alhaisempi kuin vertailumateriaalista saatu vastaava hinta. Rungon kasvunopeuteen ja karsiutuneisuuteen liittyvät muuttujat olivat tukin koon jälkeen merkittävimpiä sahatavaran arvon vaihteluiden selittäjiä.
8. Kesäpuuprosentti laski viljelymäntyrungossa tyvestä latvaan päin ja oli keskimäärin sitä alhaisempi, mitä nuorempi tai hidaskasvuisempi puu oli. Rungon kesäpuuprosentin keskiarvo rungossa sijoittui 30 %:n suhteelliselle korkeudelle. Luston leveys osoittautui muodossa tai toisessa varsin hyväksi rungon kesäpuuprosentin

vaihteluitten selittäjäksi. Rungon kesäpuuprosentin kokonaisvaihtelusta voitiin selittää kuitenkin vain 45 %, kun luston leveyden lisäksi selittäviksi muuttujiksi otettiin rungon läpimitan kasvu ja suurimman kuivan oksan paksuus.

9. Rungon puuaineen kuiva-tuoretiheys laski tasaisesti tyvestä latvaa kohti, ja rungon keskimääräinen tiheys 395 kg/m^3 sijoittui rungon 25 %:n suhteelliselle korkeudelle. Metsätyypin vaikutus kuiva-tuoretiheyteen oli voimakas siten, että tiheys aleni, mikäli maapohjan rehevyys kasvoi erityisen paljon normaalia suuremmaksi.
10. Viljelymäntyrungon sydänpuuprosentti kohosi rungon tyvestä noin 15 %:n suhteelliselle korkeudelle, jossa se saavutti maksiminsa, ja laski sen jälkeen jyrkästi latvaa kohti. Keskimäärin sydänpuuprosentti oli sitä korkeampi, mitä vanhempi puu oli.

KIRJALLISUUS

ARNKIL, J. 1978. Sahatukin laatu unohdettu asia. Metsä ja Puu 10:23-24.

ASIKAINEN, K. 1980. Tukin laadun vaikutus sahaustulokseen. Sahapuupäivät 31.1.-1.2.1980. Moniste. 11 s.

BAKER, G. 1967. Estimating specific gravity of plantation-grown Red pine. For.Prod.J. 17(8):21-24.

-------- 1969. Influence of tree spacing in a Red pine plantation on certain wood and tree qualities. Me.Agric.Exp.Sta.Bull. 668:1-10.

BENNETT, F. 1960. Spacing and early growth of planted Slash pine. J.For. 58(12):966-967.

BERRY, A. 1965. Effect of heavy thinning on the stem form of plantation-grown Red pine. Publ.Dept.For.Can. 1126:1-16.

BRAMBLE, W., COPE, H. & CHISMAN, H. 1949. Influence of spacing on growth of Red pine in plantations. J.For. 47(9):726-732.

BROWNING, B. 1967. Methods of wood chemistry 1. New York-London. 383 s.

BRUUN, H. & WILLBERG, J. 1964. The heartwood contents of pine (Pinus silvestris) and spruce (Picea abies). Paperi ja Puu 46(4a):221-227. (Tiivistelmä).

CHROUST, L. 1958. Vliv hustoty na vývoj a rúst borové tyčkoviny. Summary: The influence of density on the development and growth of a pole stand of pine. Práce Vyzkum. Ust. Lesn. ČSR 15:93-117. (Sit. Forestry Abstracts 1960:1635).

COHEN, W. 1962. Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries. Chapter 13: The influence of resins on paper manufacture. New York-London. 513 s. (Sit. Forestry Abstracts 1963:2740).

CROMER, D. & PAWSEY, D. 1957. Initial spacing and growth

of Pinus radiata. Bull. For. Timb. Bur. Aust. 36:1-46.

DAHLEN, L. & WARG, A. 1978. Värdering av stämplingsposter. Summary: Valuation of timber stands marked for felling. Rapp. Instn. Virkeslära Sveriges Lantbruksuniv. 105:1-32.

DAN´ŠIN, I. 1966. Effect of high initial plantation density on the formation of young stands and the growth of Scots pine in the Lower Don region. Sborn.Rabot Lesn.Hoz. Vsesojuz. Nauč. -Issled. Inst. Lesovod. 51:36-48. (Sit. Forestry Abstracts 1968:5577).

Definitioner, metoder m.m. vid vedundersökningar. 1980. Koonneet ANDERSSON, E. ja TUIMALA, A. Upps. 4:1-139.

EDLUND, E. 1966. Den sibiriska lärken i Norrland och Dalarna som skogsträd och industriråvara. Sveriges SkogsvFörb.Tidskr. 64(5-6):461-560.

ELLIOT, G. 1970. Wood density in conifers. Tech. Commun. For. Bur. 8:1-44.

ENEROTH, O. 1922. Vedens byggnad. Teoksessa: Ekman, W. ym. (toim.) Handbok i skogsteknologi: 5-34. Stockholm.

ERTELD, W. 1967. Crown characteristics as indicators of growth potential in young pine stands at various spacings. Sozial.Forstw., Berl. 17(8):236-239. (Sit. Forestry Abstracts 1968:566).

EVERT, F. 1971. Spacing studies - A review. Inf. Rep. Dept. Env. Can. For. Serv. 37:1-95.

GIORDANO, G. 1951. Studio comparativo sul leguo del larice, dell´ abete rosso e del pine silvestre proveniente dalle foreste alpine e dai rimboschimenti dell´ Appennino. Summary: Comparative study of the wood of larch, Norway spruce and Scots pine from alpine forests and from plantations in the Apennines. Ital.For.Mont. 6(6):288-297. (Sit.

Forestry Abstracts 1952:3305).

GRAH, R. 1961. Relationship between tree spacing, knot size and log quality in young Douglas-fir stands. J.For. 59(4):270-272.

GRANVIK, B-A. 1967. Havusahatavaran valmistus kenttäpyörösahalla. Työtieteellinen tutkimus. Summary: On the preparation of coniferous sawn goods using circular saws. Acta For.Fenn. 84(3):1-162.

GUTTENBERG, P. & WESTING, A. 1956. Effects of initial spacing on the development of young Jack pine in Northern Lower Michigan. Mich. Acad. Sci. Arts. Letters, Pap. 41:45-50. (Sit. Forestry Abstracts 1957:4017).

GÖHRE, K. 1958. Über die Verteilung der Rohwichte im Stamm und ihre Beeinflussung durch Wuchsgebiet und Standort. Summary: The distribution of density through the stem, and the effect on it of growth region and site. Holz Roh- u. Werkstoff 16(3):77-90.

HAKKILA, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Commun.Inst.For.Fenn. 61(5):1-98.

-------- 1967. Puun laadun vaikutuksesta mäntysulfaattisellua valmistettaessa. Summary: On wood quality in sulphate pulping of Scots pine. Paperi ja Puu 7:461-464.

-------- 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Summary: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 66(8):1-60.

HALL, G. 1965. Wood increment and crown distribution relationships in Red pine. For. Sci. 11:438-448.

HARRIS, E. 1955. The effect of rainfall on the late wood of Scots pine and other conifers in East Anglia.

Forestry 28(2):136-140.

HEIKINHEIMO, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. Summary: On natural pruning of tree stems. Commun.Inst.For.Fenn. 41(5):1-39.

HEISKANEN, V. 1954a. Tutkimuksia mäntytukkipuiden laatuluokitustavoista ja niiden tarkkuudesta. Summary: Investigations into pine tree grading methods and their accuracy. Commun. Inst. For. Fenn. 44(1):1-132.

-------- 1954b. Vuosiluston paksuuden ja sahatukin laadun välisestä riippuvuudesta. Summary: On the interdependence of annual ring width and sawlog quality. Commun.Inst.For.Fenn. 44(5):1-28.

-------- 1962. Mäntysahatukkien laatuluokituksen tarkkuudesta. Summary: Accuracy of the grading of pine sawlogs. Commun.Inst.For.Fenn. 55(16):1-15.

-------- 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta For.Fenn. 80(2):1-62.

-------- & SIIMES, F. 1959. Tutkimus mäntysahatukkien laatuluokituksesta. Paperi ja Puu 41(8):359-368.

-------- & TAIPALE, A. 1963. Tutkimuksia männyn karsimisesta. Summary: Studies on the pruning of pine. Commun.Inst.For.Fenn. 57(1):1-66.

HUURI, O. 1976. Kallistumisilmiö istutusmänniköissä. Tiedustelun tuloksia. Summary: Tilting of planted pines; survey results. Folia For. 265:1-22.

HÄGGLUND, E., LJUNGGREN, S., NIHLÉN, H. & SANDELIN, O. 1935. Undersökningar över vedbeskaffenhetens in - flytande på utbyte och kvalitet av sulfit- och sulfatmassa. II. Undersökning av tallved. Svensk PappTidn. 38(14):454-463. (Zusammenfassung).

ISOMÄKI, A. 1978. Kiertoaika metsätaloudessa. Metsä ja

Puu 8:27-30.

JALAVA, M. 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki. 352 s.

JAYNE, B. 1958. Effect of site and spacing on the specific gravity of wood of plantation-grown Red pine. Tappi 41(4):162-166.

KALELA, E. 1945. Metsät ja metsien hoito. Porvoo-Helsinki. 368 s.

KALLIO, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development on pine stands established by sowing in the south of Finland. Acta For.Fenn. 71(3):1-78.

KANGAS, E. 1962. Über Krummstämmigkeit und Verzweigung der finnischen Kiefer. Commun. Inst. For. Fenn. 55(15):1-16.

KELLOMÄKI, S. 1980. Growth dynamics of young Scots pine crowns. Seloste: Nuorten mäntyjen latvusten kasvun dynamiikka. Commun. Inst. For. Fenn. 98(4):1-50.

-------- & TUIMALA, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puun oksikkuuteen taimisto- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots pine. Folia For. 478:1-27.

KLEBINGAT, G. 1962. Der Einfluss der Kulturverbandsweite auf die qualitative Entwicklung der Kiefer. Summary: The influence of spacing on the development of quality in Scots pine timber. Arch.Forstw. 11(7):877-901.

KLEM, G.G. 1944. Planteavstandens innflytelse på granvedens og sulfitcellulosens kvalitet. Summary: Effect of planting space on the quality of spruce wood and sulphite pulp. Medd. Norske Skogforsøksv. 8(30):257-293.

-------- 1952. Planteavstandens virkning på granvirkets kvalitet. Summary: The influence of spacing on

spruce quality. Medd. Norske Skogforsøksv. 11(40):473-506.

KLEM, G.S. 1969. Betydningen av øket veksthastighet for en del virkesegenskaper hos gran (Picea abies (L) Karst.) og furu (Pinus sylvestris L.). Summary: The influence of increased growth rate on some wood properties of P. abies and P. sylvestris. Medd. Norske Skogforsøksv. 27(96):63-90.

-------- 1970. Betydningen av sterk tilvekstøkning hos vanlig furu for trevirkets tørkeskader, bøyefasthet og skjaerfasthet. Summary: The effect of a rapid increase in growth rate of Scots pine on drying defects bending strength and shear strength of wood. Norsk Skogind. 24 (2):43-48.

KNIGGE, W. 1961. Der Einfluss verschiedener Wuchsbedingungen auf Eigenschaften und Verwertbarkeit des Nadelholzes. Summary: The effect of growth conditions on properties and usability of conifer wood. Allg.Forst- u. Jagdztg. 132(6):149-156.

KOBYLINSKI, F. 1969. Macrostructure, density and main mechanical properties of Scots pine wood. Prace Inst. Tech. Drewna 16(3):63-68. (Sit. Forestry Abstracts 1970:7092).

KOIVISTO, V. 1980. Minkä laatuista puuta tulisi kasvattaa. Metsä ja Puu 3:23-25.

KOLTZENBURG, C. 1954. Untersuchung einer auf einem Laubholzstandort erwachsenen Wertholzkiefer. Summary: Research on a high-quality pine (log) from a broad-leaved-forest site. Arch.Forstw. 3(5/6):503-517.

KRAMER, P. & SMITH, R. 1956. Strength properties of plantation grown Slash pine. For. Prod. J. 6(3):129-136.

KÄRKKÄINEN, M. 1972. Kuusen ja männyn sydänpuuosuudesta. Summary: On the proportion of heartwood in Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) and Scots pine (Pinus silvestris L.) Silva Fenn. 6(3):193-208.

-------- 1978. Laatupuun kasvattaminen - unohtunut tehtävä. Metsänhoitaja 7:10-12.

-------- 1980a. Mäntytukkirunkojen laatuluokitus. Summary: Grading of pine sawlog stems. Commun. Inst. For. Fenn. 96(5):1-152.

-------- 1980b. Tuloksia Rauman alueen mäntytukkien sahauksesta. Summary: Results of sawing pine logs in Rauma region, western Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 96(7):1-43.

-------- 1981. Onko männyn pystykarsinnalla tulevaisuutta. Teho 1:20-22.

LAPPI-SEPPÄLÄ, M. 1952. Männyn sydänpuusta ja runkomuodosta. Referat: Über Verkernung und Stammform der Kiefer. Commun.Inst.For.Fenn. 40(25):1-26.

LARSON, P. 1957. Effect of environment on the percentage of summerwood and specific gravity of Slash pine. Bull. Yale School For. 63:1-80.

LEIKOLA, M., METSÄMUURONEN, M., RÄSÄNEN, P. & TAIMISTO, E. 1977. Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967-1975. Summary: The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967-1975. Folia For. 312:1-27.

LUBARDIĆ, S. & NIKOLIĆ, M. 1970. The effect of ring width and late-wood percent on some physical and mechanical properties of pine from Mount Goč. Sumarstvo 23(3/4):31-40. (Sit. Forestry Abstracts 1971:1395).

MATHIEU, J. 1967. Einfluss von Pflanzenverband und Herkunft auf das Wachstum der Kiefer im Versuch Bremervörde. Göttingen. 117 s.

MERKEL, O. 1967. Der Einfluss des Baumabstandes auf die Aststärke der Fichte. Summary: The effect of tree spacing on branch sizes in spruce. Allg.Forst- u. Jagdztg. 138(6):113-124.

MIKOLA, P. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On varia-

tions in tree growth and their significance to growth studies. Commun. Inst. For. Fenn. 38(5):1-131.

MITCHELL, H. 1964. Patterns of variation in specific gravity of southern pines and other coniferous species. Tappi 47(5):276-283.

MIYAJIMA, H. 1958. The physical and mechanical properties of plantation-grown White pine, (Pinus strobus), Jack pine (Pinus banksiana) and Japanese larch (Larix leptolepis) in the Tomakomai Experiment Forest of Hokkaido University. Res.Bull. Hokkaido Univ.Exp.For. 19(3):99-216. (Sit. Forestry Abstracts 1960:2371).

MRÁČEK, Z. 1969. Influence of spacing on the quality of Scots pine stands. Commun.Inst.For.Čsl. 6:99-109. (Sit. Forestry Abstracts 1971:4236).

NILSSON, B. 1868. Studier av några kvalitetsegenskapers genetiska variation hos tall (Pinus silvestris L.). Summary: Studies of the genetical variation of some quality characters in Scots pine (Pinus silvestris L.). Rapp. Uppsats. Instn. Skogsgenet. Skogshögsk. 3:1-117.

NYLINDER, P. 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Summary: Aspects of quality production. Uppsats.Instn.Virkeslära Skogshögsk. 2:1-19.

-------- 1961. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flytbarhet. I. Tall. Summary: Influence of tree features and wood properties on basic density and buoyancy. I. Scots pine (Pinus silvestris). Upps.Instn.Virkeslära Skogshögsk. 35:1-63.

NYYSSÖNEN, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta For.Fenn. 60:1-194.

NÄSLUND, M. 1944. Diskussionsinlägg i anslutning till föredraget "Erfarenheter av skogsodling". Sveriges SkogsvFörb.Tidskr. 42(2):108-116.

Ohjekirje metsittämisestä ja metsän uudistamisesta. 1978. Metsähallitus Mh. 130:1-72.

OKSANEN, A. 1978. Laatuluokitus mukaan tukkien hinnoitteluun. Metsä ja Puu 10:26-27.

OLSON, A., POLETIKA, N. & HICOCK, H. 1947. Strength properties of plantation-grown coniferous woods. Conn.Univ.Storrs Agr.Exp.Sta., Bull. 511. (Sit. Tappi Monograph Series 24. 1962).

ORVÉR, M. 1970a. Klassificering av tallsågtimmer med objektivt mätbara faktorer. Summary: Grading of Scots pine saw timber using objectively measurable factors. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 65:1-138.

-------- 1970b. Sågutfallets volym och värde hos tall vid olika råvarukvaliteter och varierande postningar. Summary: Lumber yield and value for Scots pine at different log qualities and gang saw set-ups. Rapp.Instn. Virkeslära Skogshögsk. 66:1-54.

PAUL, B. 1960. Importance of the width of growth rings in lumber. Southern Lumberman 201(2504):1-34.

-------- & SMITH, D. 1950. Summary of growth in relation to quality of southern Yellow pine. Rep. U.S. For. Serv. For. Prod. Lab. 1751:1-48.

PECHMANN, H. von. 1958. Die Auswirkung der Wuchsgeschwindigkeit auf die Holzstruktur und die Holzeigenschaften einiger Baumarten. Schweiz. Z.Forstw. 109(11):615-647.

PERSSON, A. 1975. Ved och pappersmassa från gran och tall i olika förband. Summary: Wood and pulp of Norway spruce and Scots pine at various spacings. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 37:1-145.

-------- 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkva-

litet. Summary: The influence of spacing on the quality of sawn timber from Scots pine. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 42:1-122.

-------- 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 45:1-152.

PILLOW, M. 1952. Some characteristics of young plantation-grown Red pine in relation to properties of the wood. For.Prod.J. 2(1):25-31.

QY, H. 1974. Verdien av forskjellige kvaliteter og dimensjoner av grantømmor ved skurlastproduksjon. Summary: The value for different log qualities and dimensions of Norway spruce in sawmilling. Medd. Norsk.Inst.Skogforskn. 31(7):275-325.

RALSTON, R. & McGINNES, E., Jr. 1964. Shortleaf pine wood density unaffected by ring growth. Southern Lumberman 208(2592):17-19.

RAUTIAINEN, O. & RÄSÄNEN, P. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimistojen kehitys Itä-Savossa 1968-1976. Summary: Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968-1976. Folia For. 426:1-24.

RENDLE, B. & PHILLIPS, E. 1957. The effect of rate of growth on the density of softwoods. Forestry 31(2):113-120.

RICHARDS, N., MORROW, R. & STONE, E. 1962. Influence of soil and site on Red pine plantations in New York. 1. Stand development and site index curves. Bull.Cornell Agric.Exp.Sta. 977:1-24.

RUDMAN, P. 1966. Heartwood formation in trees. Nature 210(5036):608-610.

SAIKI, H. 1965. Studies on the annual ring structure of coniferous wood. 5. Variation from the pith to-

ward the outside. J. Jap. Wood Res. Soc. 11(5):185-190.

SARVAS, R. 1956. Metsänhoidon tekniikka. Metsäkäsikirja 1:498-564. Rauma.

SCHALCK, J. 1967. Über die Rohdichte und Festigkeit des Schwarzkiefernholzes (Pinus nigra Arnold) und den Zusammenhang zwischen Rohdichte und Holzstruktur untersucht an belgischen Aufforstungsbeständen. Summary: Density and strength of Pinus nigra wood, and relations between density and wood structure, in Belgian plantations. Forstwiss. Forsch. 24:1-86.

SCHULTZE-DEWITZ, G. 1958. Einfluss der soziologischen Stellung auf den Jahrringbau sowie auf die Holzelemente bei Kiefern. Spirken und Lärchen eines Naturwaldes. Holz-Cbl. 84(65):849-851.

SELLERS, T., Jr. 1962. Factors influencing the wood quality of plantation-grown Slash pine. For.Prod.J. 12(9):443-446.

ŠKRIPEŇ, J. & RIASOVÁ, T. 1958. Stavba dreva a objemová váha borovice obyčajnej (Pinus silvestris) na Slovensku. Summary: The wood structure and density of P. sylvestris in Slovakia. Drev. Výsk. 3(1):27-48. (Sit. Forestry Abstracts 1959:2353).

STIELL, W. 1964. Twenty-year growth of Red pine planted at three spacings. Publ.Dep.For.Can.For.Res.Branch. 1045:1-24.

-------- 1966. Red pine crown development in relation to spacing. Publ. Dep.For.Can.For.Res.Branch. 1145:1-44.

TAKALA, P. 1978. Metsänviljely. Teoksessa: Tapion Taskukirja. 18.p.:124-136.

TAMMINEN, Z. 1962. Fuktighet, volymvikt mm. hos ved och bark. 1. Tall. Summary: Moisture, density, etc. of wood and bark. 1. Scots pine. Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslära. Skogshögsk. 41:1-117.

UUSITALO, M. (toim.) 1979. Metsätilastollinen vuosikirja 1977-1978. Yearbook of Forest Statistics 1977-1978. Official Statistics of Finland XVII S:10. Folia For. 375:1-197.

UUSVAARA, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Commun.Inst.For.Fenn. 80(2):1-105.

-------- 1979. Viljelymänniköt - uhka sahapuun laadulle. Metsänhoitaja 2:12-14.

-------- 1980a. Karsimalla ei korjata taimikkovaiheen virheitä. Metsäliiton Viesti 2:24-25.

-------- 1980b. Karsimallako puun laatua parantamaan. Metsä ja Puu 1:28-29.

-------- 1981a. Istutusmänniköiden laatu - kasvava ongelma. Metsä ja Puu 1:4-5.

-------- 1981b. Lenkous vaivaa istutusmänniköissä. Metsälehti 5.

-------- 1981c. Minkä laatuista puutavaraa istutusmänniköistämme. Suomen Puutalous 2:26-28.

-------- 1981d. Saammeko tulevaisuudessa hyvälaatuista sahapuuta. Sahamies 1:8-10.

-------- 1981e. Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Summary: The quality and value of sawn goods obtained from plantation-crown Scots pine. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 27:1-107.

VARMOLA, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. Folia For. 451:1-21.

VENCENOSCEVA, M. 1967. Patterns in the distribution of wood defects in Scots pine stands. Lesn.Ž., Arhangel´sk 10(3):156-157. (Sit. Forestry Abstracts 1968:1104).

VENET, J. 1958. Étude de la resistance mécanique des bois de mine en fonction des facteurs de la production forestière. Summary: The mechanical strength of mine timbers in relation to growth factors. An.Ec.Eaux For.Nancy 16(1):1-338. (Sit. Forestry

Abstracts 1959:3695).

VOLKERT, E. 1941. Untersuchungen über Grösse und Verteilung des Raumgewichts in Nadelholzstämmen. Schriftenreihe der Hermann-Göring-Akademie. Deut.Forstw. 2:1-133.

WRIGHT, J. 1967. The variation in log quality in Pinus radiata D. Don on a range of sites. Bull. For. Comm. Vict. 19:1-28.

VUOKILA, Y. 1970. Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Acta For. Fenn. 110:1-45.

-------- 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. Folia For. 141:1-36.

-------- 1977. Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä. Folia For. 298:1-17.

-------- 1979a. Karsinta tulee taas. Metsänhoitaja 6:6-7.

-------- 1979b. Laatunäkökohdat metsänkasvatuksessa. Metsä ja Puu 6-7:8-9.

YANDLE, D. 1956. Statistical evaluation of the effect of age on specific gravity in Loblolly pine. Rep. U.S. For. Prod. Lab. 2049:1-4.

YLI-VAKKURI, P. 1958. Metsänhoidollisia näkökohtia sahapuun laatukasvatuksesta. Metsätal. Aikak.1. 12:407-410.

ŽILKIN, B. 1960. Ob uzko- i širokokronnyh sosnah v Belorusskoj SSR. Summary: Narrow- and broad-crowned Scots pine in Belorussia. Lesn.Ž., Arhangel´sk 3(2):17-21. (Sit. Forestry Abstracts 1961:2886).

ZOBEL, B., RALSTON, J. & ROBERDS, J. 1965. Wood yields from Loblolly pine stands of different age, site, and stand density. Tech. Rep. School For. N.Ca. St.Coll. 26:1-23.

-------- & RHODES, R. 1955. Relationship of wood specific gravity in Loblolly pine (Pinus Taeda L.) to growth and environmental factors. Tech.Rep.Tex.For.Serv. 11:1-32.

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 27
METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO
PUUNTUTKIMUSSUUNTA

OLLI UUSVAARA

VILJELYMÄNNIKÖISTÄ SAADUN SAHATAVARAN LAATU JA ARVO

Summary

THE QUALITY AND VALUE OF SAWN GOODS OBTAINED FROM PLANTATION-CROWN SCOTS PINE

HELSINKI 1981

UUSVAARA, O. 1981. 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

Tutkimuksen aineisto käsitti 31 keinollisesti uudistaen perustettua ja 30 luontaista alkuperää olevaa mäntykoemetsikköä Etelä- ja Keski-Suomen alueelta. Viljely- ja luonnonmetsiköistä mitattiin 630 ja 1810 rungon sekä 165 ja 135 tyvitukin laatuominaisuudet. Tukit koesahattiin ja sahaustuloksesta arvioitiin sekä sahatavaran laatu että arvo.

Runkojen luontainen karsiutuminen oli viljelymänniköissä hitaampaa ja oksien paksuuskehitys nopeampaa kuin luontaisesti syntyneissä männiköissä. Erityisesti oksaisuuden mutta myös runkovikojen johdosta viljelymänniköiden tyvitukit olivat heikkolaatuisempia kuin luonnonrunkotukit.

Viljelymäntytukeista saatiin sekä keskimäärin että tietyn laatuluokan tukit luokittelemalla heikompi sahaustulos kuin luonnonrunkotukeista. Sahatavaran u/s-prosentti aleni ja heikompien laatujen osuus kasvoi kummassakin aineistossa vuosiluston levetessä ytimen ympäristössä.

The material of the study comprised 31 experimental pine stands established by planting and 30 experimental pine stands of natural origin in southern and central Finland. The quality characteristics of 630 and 1810 stems, respectively, and those of 165 and 135 butt logs from plantation-

grown pines and pines of natural origin were measured. The butt logs were test sawn and the quality and grade of sawn goods were determined.

Natural pruning of stems was slower in pine plantations and the development of branch thickness faster than in natural pine stands. Branchiness in particular, but also stem defects made the butt logs of pine plantations poorer in quality than logs from naturally grown trees.

Logs from plantation-grown pines gave both on average and from logs of a certain quality class a poorer sawing result than logs from pines of natural origin. The u/s-percentage of sawn goods decreased and the share of poorer qualities increased when the annual ring widened in the vicinity of the pith.

ISSN 0358-4283

Helsinki 1981. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Keinollisesti uudistettujen männiköiden laatukysymykset ovat saaneet koko 1970-luvun ajan osakseen yhä kasvavaa huomiota. Oheinen tutkimus onkin siten luontevasti jatkoa ja täydennystä vuonna 1974 julkaistuille viljelymänniköiden puun ja puuaineen laatua koskeville selvityksilleni.

Tutkimuksen kuluessa olen saanut innostavaa opastusta ja tukea työni ohjaajalta prof. BROR-ANTON GRANVIKILTA. Arvokkain neuvoin on työtä auttanut eteenpäin myös esimieheni prof. MATTI KÄRKKÄINEN, joka myös on lukenut käsikirjoituksen. Heille, samoin kuin muille käsikirjoituksen lukeneille, prof. JAAKKO MERILUODOLLE ja dos. KARI LÖYTTYNIEMELLE, tahdon esittää parhaat kiitokseni.

Myös haluan kiittää metsäteknikoita PERTTI LAAKSOA ja TAUNO OITTISTA, jotka ovat johtaneet pitkäaikaisia kenttätöitä, ohjelmoija HANNU AALTIOTA, joka hoiti tutkimuksen atk-käsittelyn, apututkija LIISA NUUTISTA, joka tarkasti tekstin suomenkielen osalta sekä maisteri PÄIVIKKI OJANSUUTA, joka suoritti englanninkielen käännöstyöt.

Vielä kiitän monia työn eri vaiheisiin osallistuneita työtovereitani sekä kentällä käytännön tehtävissä toimineita henkilöitä.

Helsinki 1981 Olli Uusvaara

SISÄLLYS

MERKKIEN SELITYS 5
1. JOHDANTO 7
2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO 12
21. Tutkimusmenetelmä 12
22. Tutkimusaineisto 19
3. RUNKOJA JA TUKKEJA KOSKEVAT TULOKSET 22
31. Runkojen karsiutuminen 22
32. Runkojen oksikkuus 35
33. Tyvitukin laatu 44
4. KOESAHAUKSIA KOSKEVAT TULOKSET 53
41. Sahatavaran laatu 53
411. Vientisahatavaran mukainen lajittelu 53
412. Lujuuslajittelu 71
42. Sahatavaran arvo 79
5. TULOSTEN TARKASTELU 86
6. TIIVISTELMÄ 94
KIRJALLISUUTTA 97
SUMMARY 105
LIITTEET

MERKKIEN SELITYS - SYMBOLS

r = korrelaatiokerroin
R^2 = selitysaste
$\overline{y}$ = keskiarvo
$\overline{x}$ = keskiarvo
s = keskihajonta
F = mallin F-arvo
DF = vapausasteita
t = t-arvo
M_e = mediaani
M_o = moodi
N = lukumäärä
x_1 = metsätyyppi
x_2 = rungon ikä, a
x_3 = metsikön pohjapinta-ala, m^2
x_4 = tyvitukin paksuin oksa, mm
x_5 = latvuskerroin
x_6 = puun pituus, dm
x_7 = rinnankorkeusläpimitta, mm
x_8 = kapeneminen $d_{1,3} - d_6$, mm
x_9 = kyhmyisen rungonosan alaraja, dm
x_{10} = kuivia oksia käsittävän rungonosan alaraja, dm
x_{11} = latvusraja, dm
x_{12} = rungon paksuimman kuivan oksan läpimitta, mm
x_{13} = paksuimman kuivan oksan korkeus, dm
x_{14} = rungon pisimmän elävän oksan läpimitta, mm
x_{15} = pisimmän elävän oksan korkeus, dm
x_{16} = tyvitukin oksaisuuslaatuluokka
x_{17} = tyvitukin todellinen laatuluokka
x_{18} = tukin latvaläpimitta, cm
x_{19} = pisimmän elävän oksan pituus, cm
x_{20} = 1. täyden oksakiehkuran korkeus, dm
x_{21} = oksien keskipaksuus, mm
x_{22} = lustoja/75 mm ytimestä, kpl

x_{23} = kuiva-tuoretiheys 75 mm matkalla ytimestä, kg/m^3

x_{24} = kuiva-tuoretiheys puun pintaosissa, kg/m^3

x_{25} = lustojen leveys/75 mm ytimestä, mm

x_{26} = luston leveys puun pintaosissa, mm

x_{27} = kesäpuuprosentti/75 mm ytimestä

x_{28} = kesäpuuprosentti puun pintaosissa

x_{29} = latvussuhde, %

x_{30} = tukin tilavuus, dm^3

x_{31} = lenkous, mm

x_{32} = rungon kyhmyisen alueen pituus, dm

x_{33} = rungon kuivaoksaisen alueen pituus, dm

x_{34} = tukin pituus, dm

x_{35} = u/s-prosentti

1. JOHDANTO

Keinollisesti uudistettujen männiköiden merkitys raaka-ainelähteenä on vielä nykyisin vähäinen niiden verrattain suuresta pinta-alasta huolimatta. Metsänviljely alkoi laajassa mitassa 1950-luvun alussa, mutta viljelyalat kasvoivat jyrkästi vasta seuraavalla vuosikymmenellä (UUSITALO 1979). Männyn osuus viljelyaloista on nyt noin miljoona hehtaaria eli noin 5 % metsämaan pinta-alasta, mutta männiköiden nuoren iän vuoksi niistä ei toistaiseksi saada juuri lainkaan sahapuuta.

Viimeisten vuosikymmenien aikana metsätaloudessa on pyritty puun tuotannon lisäämiseen ja määrällisten tavoitteiden saavuttamiseen (VUOKILA 1972), mutta toisaalta viljelymetsien laadusta ei ole ollut käytettävissä tutkimusten antamaa tietoa. Näihin kysymyksiin alettiin kiinnittää huomiota ensi kerran 1960-luvun lopulla, jolloin Metsäntutkimuslaitoksessa aloitettiin tutkimukset viljelymänniköiden laadusta ja niistä tunnuksista joiden avulla laatua voidaan tarkastella (UUSVAARA 1974).

Kokemuksia viljeltyjen ja luontaisten metsiköiden laatueroista oli saatu jossakin määrin jo aiemmin tutkittaessa viljelykuusikoiden puuaineen kuiva-tuoretiheyttä ja verrattaessa sitä luontaisten metsiköiden tiheyteen (HAKKILA ja UUSVAARA 1968). Päähuomio kiinnitettiin nyt kuitenkin mäntyyn jonka laatu on herkin ulkoisten tekijöiden vaikutuksille, ja jossa hyvän ja huonon laadun väliset arvoerot ovat suurimmat (HEISKANEN 1965). Tutkimuksen tulokset osoittivat selvästi, että männyn laatu riippuu normaalin ikääntymisen ohella voimakkaasti ulkoisten kasvutekijöiden muutoksista erityisesti puuston nuoruusvaiheissa. Tämän vuoksi korostettiinkin aikaisemmin männyn kasvatusta koskevissa oppikirjoissa ja tutkimuksissa metsikön tiheyden merkitystä laadun kannalta aina siihen kehitysvaiheeseen asti, jolloin rungon

oksat ovat kuolleet tyvitukin pituudelta (KALELA 1945, HEISKANEN 1954 b, 1962, SARVAS 1956).

Vaikka viljely- ja luonnonmänniköiden laatueroista ei ollut olemassa mitään varsinaisia tutkimuksia, kävi eri yhteyksistä selville, että keinollisesti ja luontaisesti syntyneiden metsiköiden kehityksen alkuvaiheissa vallitsevat erot aiheuttavat eroja myös runkojen ulkoisessa ja sisäisessä laadussa (LAITAKARI 1937, HEIKINHEIMO 1953). Vielä 1930-luvulla viljelykohtien lukumäärä hehtaaria kohti oli 5000 - 6000 kpl ja mänty uudistettiin pääasiassa kylvämällä (KALELA 1945). Männyn yleisin uudistusmenetelmä on nykyisin istutus (UUSITALO 1979), ja ohjeiden mukaisena istutustiheytenä käytetään 1600 - 2500 tainta hehtaarille kasvupaikan mukaan (TAKALA 1978, Ohjekirje... 1978, KAILA 1979). Viime aikoina tehdyt tutkimukset osoittavat metsiköitten lopullisen taimimäärän jäävän kuitenkin tavallisesti huomattavasti tavoitetta alhaisemmaksi (LEIKOLA ym. 1977, RAUTIAINEN ja RÄSÄNEN 1980). RÄSÄNEN (1981) korostaa myös istutettavien taimien korkeaa laatua metsänviljelyn onnistumiseen ja riittävän tiheään, tasaiseen ja hyvälaatuiseen taimikkoon vaikuttavana tekijänä. Taimien laadusta puhuttaessa tarkoitetaan kuitenkin etupäässä taimien hyvää terveydentilaa ja nopeakasvuisuutta.

Jos verrataan toisiinsa olosuhteita, joissa viljely- ja luonnonmänniköt kehittyvät, erot ovat suuret jo metsikön kehityksen alkuvaiheista lähtien. Sahatukit, joita sahateollisuutemme nykyisin käyttää raaka-aineenaan, ovat suurelta osin peräisin 1800-luvun loppupuolella syntyneistä metsistä. Nämä metsät kehittyivät tavallisesti tiheikköinä ja sekametsinä sekä usein luonnontilaisina, hakkaamattomina. Niihin kohdistuneet toimenpiteet kuten kaskeaminen, määrämittaharsinta, tervanpoltto sekä kulot ovat jättäneet jälkensä osittain myös nykyisiin männiköihin. Kaskeaminen ja kulot ovat lisäksi vahvistaneet männyn asemaa muihin puulajeihin ver-

rattuna (VUOKILA 1980 b). Voimakkaan sahateollisuuden tuntema mielenkiinto puuston järeimpään osaan piti yllä harsintamenetelmää vielä pitkälle tämän vuosisadan puolelle.

Edellämainitut kehitysvaiheet vaikuttivat monella tavoin myös mäntypuuston laatuun, monessa suhteessa myös kielteisesti. Kehityksellä pääasiallisesti luonnonsiemennyksellä syntyneistä tiheistä luonnon- ja kulttuurimetsistä harva-asentoisiin kulttuurimetsiin on epäilemättä vaikutuksensa myös sahatavaran laatuun. Näitä vaikutuksia ei sahateollisuudessa kuitenkaan vielä tunneta, koska viljelymetsistä tulevalla puutavaralla ei toistaiseksi ole merkittävää osaa raaka-aineessa.

Viime aikoina laatukysymykset ovat jälleen saaneet osakseen niin laajaa huomiota, että kulunutta vuosikymmentä voidaan nimittää puun laadun vuosikymmeneksi. Runkojen lisäksi myös sahatukkien laatuun on kiinnitetty huomiota, koska tuotteen arvo riippuu paljolti raaka-aineen laadusta. Kokeiluja on tehty objektiivisesti mitattavien tekijöiden käytöstä tukkien laatuluokituksessa (ORVÉR 1970 a, 1970 b). Myös meillä tukkien tarkempi laatuluokitus ja laatumaksutapa on herättänyt keskustelua (ISOMÄKI 1978, KÄRKKÄINEN 1978, OKSANEN 1978). Pystypuiden laatutunnusten avulla on pyritty selvittämään puiden laatua sahatavaran arvon kannalta (DAHLEN ja WARG 1978, KÄRKKÄINEN 1980 a, 1980 b).

Ruotsissa on selvitelty männyn kasvutilan ja läpimitan kasvun vaikutusta oksaisuusominaisuuksiin, sahatavaran ja massan laatuun (PERSSON 1975, 1976, 1977). Suomessa on kiinnitetty suurta huomiota erityisesti istutusmänniköiden heikkoon laatuun (mm. ARNKIL 1978, KOIVISTO 1980, UUSVAARA 1979, 1980 a, 1981 a, 1981 b). Istutusmänniköiden ehkä vakavin vika, paksuoksaisuus, on jälleen kerran herättänyt keskustelua pystykarsinnan mahdollisuuksista laadun kohottajana (mm. UUSVAARA 1980 a, 1980 b, VUOKILA 1979 a, 1980 a,

KÄRKKÄINEN 1981). Uusimpien tutkimusten mukaan oksikkuuden ohella vikaisuudet alentavat istutettujen mäntyjen tyvitukkien laadun usein jopa sahatavaraksi kelpaamattomaksi (UUSVAARA 1981 a, 1981 b, 1981 c, 1981 d, VARMOLA 1980).

UUSVAARAN (1974) tutkimuksessa mitattiin viljelymänniköiden ulkoisen ja sisäisen laadun tunnuksia, vaihtelua ja keskinäistä yhteyttä. Myös viljely- ja luonnonmänniköiden laatueroja pyrittiin vertailemaan, mutta tietojen puutteellisuuden ja vertailuksi saatavissa olevien aineistojen erilaisuuden vuoksi tulokset jäivät vaillinaisiksi. Tehdyt tutkimukset edustivat tavallaan välillistä laaduntutkimusta sellaisten ominaisuuksien avulla, joilla on yhteisvaikutus puutavaran lopulliseen laatuun.

Sahatukkien laatua arvosteltaessa ovat ongelmana puuaineen sisälle kätkeytyvät viat, joten puutavaran todellista laatua ei kyetä tutkimaan pelkästään ulkoisten tunnusten perusteella. Esimerkiksi sisäisten oksatappien merkitystä vanhojen, hyvän kasvupaikan runkojen laatuun vaikuttavana tekijänä ei voida arvioida pelkästään ulkoisen tarkastelun perusteella.

Käsillä olevan tutkimuksen tavoitteena on selvittää viljely- ja luonnonmänniköistä saatavan sahatavaran laatu ja arvo sekä se, mitkä rungon ja puuaineen laatutunnukset vaikuttavat eniten sahatavaran arvoon. Päämäärään pyritään mittaamalla laatu suoraan koesahausten ja sahaustulosten laatuluokituksen perusteella. Laatua verrataan normaalin vientilajittelukäytännön ohella myös lujuuslajittelulla, jolla näyttää olevan lisääntyvää merkitystä rakennuspuutavaran käytössä (RAVEALA 1979). Vertailussa keskitytään yksinomaan tyvitukkeihin, osaksi sen vuoksi, että ne muodostavat yli puolet rungon arvosta (ORVÉR 1970 b). Niiden avulla voidaan myös parhaiten verrata runkojen välisiä arvoeroja, joiden vertailu muiden tukkien kohdalla on paljon

vaikeampaa (PERSSON 1976).

Tutkimus rajataan maantieteellisesti koskemaan Etelä- ja Keski-Suomea, joissa männyn viljelyä koskevat laatuongelmat ovat polttavimpia.

Tavoitteena on tutkia myös runkojen luontaista karsiutumista, oksien paksuuskehitystä ja niihin vaikuttavia tekijöitä viljely- ja luonnonmänniköissä sekä sitä, onko näillä laatutekijöillä merkittävää eroa eri alkuperää olevien metsiköitten välillä.

Koska männiköiden kasvatuksen päätavoite on sahatukkien tuottaminen ja koska toisaalta sahatavaran laatu riippuu suoranaisesti tukin laadusta, kiinnitetään huomiota myös tyvitukin laatuun ja sen riippuvuuteen rungon laatumuuttujista, erityisesti oksaisuudesta ja runkovioista. Kaikki vertailut tehdään mäntyviljelmiltä ja luontaisesti syntyneistä metsiköistä peräisin olevien runkojen välillä.

Tutkimukset rajoitetaan viljelymänniköiden osalta onnistuneisiin, puhtaisiin ja terveisiin metsiköihin, joista iän ja koon puolesta on jo hakattavissa sahatukkeja. Hajakylvökohteita pyritään välttämään, koska ne muistuttavat syntytavaltaan ja rakenteeltaan erittäin paljon luonnonkylvöjä. Eri alkuperien vertailujen onnistuminen riippuu eri tutkimusmateriaalien onnistuneesta valinnasta ja vertailukelpoisuudesta. Tätä kysymystä kosketellaan lähemmin menetelmien selostuksen sekä tulosten edustavuutta ja tarkastelua käsittelevien kappaleiden yhteydessä.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

21. Tutkimusmenetelmä

Tutkimukset pyrittiin kohdistamaan alueellisesti Etelä- ja Keski-Suomeen, koska näin voitiin vähentää maantieteellisen vaihtelun vaikutusta ja toisaalta männiköiden laatuhaitat näyttävät täällä ilmenevän voimakkaimmin (taulukko 1). Vanhoja, jo sahapuukoossa olevia viljelymänniköitä, joista on saatavissa riittäviä alkuperä- ja käsittelytietoja on verrattain vähän. Koska useimmat niistä sijaitsevat Metsäntutkimuslaitoksen alueilla, metsäopistojen havaintometsissä tai metsähallituksen alaisina, tutkimukset kohdistettiin niihin. Tämä oli tarpeen osittain jo käytännön syistäkin. Valtion alueilla puiden kaataminen ja käyttö tutkimustarkoituksiin on nimittäin helpoimmin toteutettavissa.

Useilla tutkimusalueilla aineistoksi valittiin viljelymänniköiden vähyyden vuoksi kaikki tai lähes kaikki saatavissa olevat metsiköt. Mikäli vaatimuksen täyttäviä kohteita oli runsaasti, niiden kesken suoritettiin arvonta. Metsiköitten tuli edustaa ainakin jo osittain tukkipuukokoisia, paikkakunnalle tyypillisiä, puulajistoltaan puhtaita, tasaikäisiä ja maaston sekä metsätyypin suhteen mahdollisimman yhtenäisiä männiköitä. Periaatteena oli että eri kasvupaikkaboniteetteja tulisi mukaan siinä suhteessa kuin niitä männyllä keskimäärin esiintyy. Muutoin valintaperusteet ja kohteiden sijoitus olivat samat kuin tekijän aikaisemmassa tutkimuksessa (UUSVAARA 1974, s. 19).

Tutkimukseen pyrittiin saamaan sekä istutus- että kylvömänniköitä, mutta edellisten osuus jäi verrattain rajalliseksi, sillä kylvö oli vuosisadan alkupuolella yleisin männyn uudistustapa (vrt. s. 19). Kylvötavoista hajakylvöä pyrittiin välttämään.

Kultakin paikkakunnalta pyrittiin ottamaan vertailuksi luonnonmänniköitä, jotka iältään, puustoltaan ja maaston laadun suhteen olisivat olleet mahdollisimman paljon vastaavien viljelymänniköiden kaltaisia. Valinta ei kaikilta osin täysin onnistunut, sillä luonnonmänniköt keskittyivät, toisin kuin viljelymänniköt, pääasiassa puolukkatyypille (vrt. s. 20) ja olivat useilla paikkakunnilla iältään viljelmiä vanhempia (s. 89).

Koeala sijoitettiin metsikköön siten, että kohdalle sattuva metsikön leveimmän kohdan halkaisija jaettiin yhtä pitkiin osiin. Osat arvottiin ja koeala sijoitettiin osan keskelle, mutta siirrettiin seuraavaan, mikäli paikka ei täyttänyt yleisiä koealalle asetettuja vaatimuksia.

Jotta aineistoa saataisiin riittävästi mutta työmäärä pysyisi kohtuullisena, jokaisesta viljelymänniköstä otettiin koealoja, jotka rajasivat vähintään 20 koepuuta. Koeala rajattiin suorakulmaisena prismaa käyttämällä, ja koealan koko vaihteli puuston koon ja tiheyden mukaan. Metsikön perustamistapa ja käsittelyt eri kehitysvaiheissa sekä metsätyyppi, pohjapinta-ala ja ikä selvitettiin mahdollisimman tarkoin. Luonnonmänniköissä koepuiden määrä nostettiin 60 runkoon puuston iän ja koon suuremman vaihtelun vuoksi. Niiden ikä määritettiin kymmenen arpomalla saadun rungon tyvestä otetuista kairanlastuista. Luonnonrunkojen pituus mitattiin koealalla joka viidennestä rungosta.

Pystypuiden runkoa, oksistoa ja vikaisuutta koskevien mittausten osalta viitataan aiempaan tutkimukseen (UUSVAARA 1974, sivut 19-21). Eroavuutena voidaan mainita, että tyvitukin laatu mitattiin käsillä olevassa työssä normaalin laatuluokituksen lisäksi myös pelkkä oksaisuus arvoperusteena.

Kaadettujen puiden tyvi valmistettiin tukiksi, josta mitattiin läpimitta kuoren alta tukin latvasta, pituuden

puolivälistä ja tyvestä ristiin millimetrin tarkkuudella, sydänpuualueen läpimitta ja tukin pituus. Tukin latvaläpimitta mitattiin myös kuoren päältä tukkien mittausohjeiden mukaisesti. Tukin kuorettomat läpimitat mitattiin myös oksakyhmyisen osan alarajalla ja kuivien oksien alarajalla. Tukin viat huomioitiin rungosta erillään ja lenkous mitattiin tukin pituudelta yleisesti käytetyllä menetelmällä (Definitioner... 1980).

Oksaisuuteen kiinnitettiin huomiota mittaamalla tukin paksuin kuiva oksa ja sen sijainti sekä kuivien oksantynkien ja kylestymässä olevien oksien lukumäärä ja keskiläpimitta.

Runkovioista otettiin huomioon vain mutkat, lenkous ja pystyoksat, koska muiden vikojen merkitys on osoittautunut aiemmin yleensä vähäiseksi (UUSVAARA 1974). Vian sijainnista todettiin, esiintyikö se pahempana tyven vai rungon alueella.

Kunkin tutkimusmetsikön puista kaadettiin arvonnan jälkeen viisi runkoa. Aiemmasta käytännöstä poiketen kaadetuista puista mitattiin ensimmäisen elävän oksakiehkuran korkeus puun tyveltä sekä siitä lähtien metrin välein lähimmän oksakiehkuran paksuimman oksan läpimitta heti oksan kynnäksen ulkopuolelta (Definitioner... 1980, s. 50).

Koetukit sahattiin kullakin paikkakunnalla kenttäpyörösahalla. Sahauksessa rajoituttiin yleisimmin käytettyihin asetteisiin, jotka määräytyivät kunkin tukin kohdalla kuoren alta mitatun latvaläpimitan mukaan. Sivulautavahvuutena käytettiin 19 mm:ä. Sydäntavarakappaleiden asetteet olivat seuraavat.

Tukin latvaläpimitta, mm	Asete
150 - 165	50 . 100
165 - 180	50 . 100
180 - 195	50 . 125
195 - 210	50 . 150
210 - 225	63 . 150
225 - 240	75 . 150
240 - 255	63 . 175
255 - 270	75 . 175
270 - 285	75 . 200
285 - 300	75 . 225

Sahatavara lajiteltiin vientisahatavaran lajitteluohjeiden mukaisesti (Vientisahatavaran... 1979) erottelematta toisistaan u/s-laatuja 1 - 4. Käytännössä u/s-sahatavaran hinta riippuu nimittäin vain vähän laatuluokan sisäisestä jakaumasta, eikä laatuja yleensä myydä erikseen. Pintalaudoista erotettiin toisistaan vientilaatu (PL/VL) ja kotimaan laatu (PL/KL), joten laatuluokkia oli hylkytavara mukaan luettuna yhteensä kuusi kappaletta.

Sydäntavarakappaleet valmistettiin edellä esitetyn asetelman mukaisesti soiroiksi tai lankuiksi tukin latvaläpimitan mukaan. Soiroja ovat sahatavarakappaleet, joiden paksuus on yli 38 mutta enintään 75 mm sekä leveys 75 - 175 mm. Lankuiksi luetaan puolestaan kappaleet, joiden paksuus on yli 38 mm mutta alle 100 mm sekä leveys yli 175 mm.

Sahatavara hinnoiteltiin vientisahatavaran tukkumyyntihintojen sekä hinnoitteluperusteiden mukaisesti (Sahatavaran... 1980). Sahatavaran arvosuhteiden laskennassa u/s-laudan yksikköhintaa merkittiin luvulla 100, johon suhteutettuina saatiin muiden laatujen arvot (liite 1).

Tavanomaisen lajittelun ohella soirot ja lankut lujuuslajiteltiin silmävaraisesti normaaleihin T-lujuusluokkiin

sekä liimapuulamellien luokituksen mukaisesti (RIL 120, 1978). Silmävaraisessa T-luokituksessa luokat olivat T40, T30, T24 ja T18 sekä lamelliluokituksessa LT40, LT30, LT20 ja LT10 (RIL 120, 1978).

Kukin sahatavarakappale luokiteltiin sekä tavallisessa että T- ja LT-luokituksessa todellisen laadun ohella myös pelkästääm oksaisuuden perusteella, jolloin erilaisia valmistus- ym. vikoja, esimerkiksi vajaasärmää, ei otettu huomioon.

Syy laadun mahdolliseen alenemiseen parhaasta luokasta merkittiin muistiin. Tällaiset laadun heikkenemiseen johtavat viat voidaan ryhmitellä esimerkiksi sahaustekniikasta, puuaineen pilaantumisesta ja rungon muodosta ja vikaisuuksista aiheutuneisiin vikoihin. Jo tutkimusmateriaalia valittaessa ulkoisten tekijöiden sekä lahon ja sinistymän vioittamat rungot hylättiin. Mikäli tällaisia vikoja kuitenkin esiintyi sahatavarakappaleissa, niitä ei otettu huomioon laatuluokituksen yhteydessä.

Joka toisen tukin toinen sattumanvaraisesti valittu sydäntavarakappale luokitettiin silmävaraisen luokituksen tarkentamiseksi lujuuslajittelukoneella, joka ilmaisi sahatavarakappaleen lujuuden sen taivutukseen perustuen. Käytetty luokitusasteikko oli sama kuin silmävaraisessa lajittelussakin. Mikäli sydäntavarakappaleita oli sahattu kolme, otettiin koneelliseen lajitteluun toinen reunimmaisista kappaleista.

Lujuuslajittelussa voidaan verrata keskenään vain kappaleita, joiden pituus ja paksuusvaihtelut ovat suhteellisen vähäiset. Sahatavarakappaleitten pituusvaihtelu pyrittiin pitämään rajoissa 31 - 46 dm, minkä vuoksi ylipitkiä kappaleita lyhennettiin niiden latvapäästä. Kappaleen lujuuteen vaikuttaa pituutta ratkaisevammin sen nimellispaksuus, joka

sirkkelisahauksessa vaihtelee esimerkiksi tavallista kehyssahausta enemmän. Sen vuoksi luokituksen yhteydessä kunkin kappaleen paksuudet mitattiin tarkasti viidestä eri pituusakselin kohdasta. Koneellisen luokituksen antamat mittatarkkuuden poikkeamista aiheutuneet lujuusarvot korjattiin kertoimilla.

Koneellisen lajittelun edellytyksenä on myös tasainen, alhainen kosteus. Tästä syystä lajiteltava sahatavara kuivattiin sahalaitoksilla noin 20 prosentin kosteuteen.

Puolet koneellisesti lajitelluista kappaleista höylättiin paksuuserojen poistamiseksi alempaan täyden mm:n paksuuteen ja lajiteltiin uudelleen. Todelliset sahatavarapaksuudet olivat tällöin 46, 60 ja 71 mm.

Lajittelun yhteydessä kappaleen kummastakin päästä otettiin 10 cm:n levyinen pala sahatavaran puuaineen kuivatuoretiheyden määrittämistä varten.

Monet puuaineen ominaisuudet muuttuvat ratkaisevasti puun ytimestä pintaan päin, ja puun nuorella iällä vallinneet olosuhteet vaikuttavat myös myöhemmin kehittyvän puutavaran laatuun (HEISKANEN 1965). Tästä syystä kaadettujen puiden kannoista leikatut palat jaettiin kahteen osaan, joiden katkaisukohta oli 75 mm ytimestä. Aiemmat tukkien laatuvaatimukset edellyttivät, että kolmannen laatuluokan sahatukin luston leveys ei tällä matkalla ylitä 3 mm:n rajaa (HEISKANEN 1954 b).

Sekä sahatavarakappaleista että kaadettujen puiden kannoista otetuista näytepaloista määritettiin laboratoriossa kappaleen massa uunikuivauksen jälkeen sekä veteenupotukseen perustuva tilavuus. Näiden perusteella laskettiin puun kuiva-tuoretiheys. Kannosta otetuista näytteistä määritettiin lisäksi lustomittarilla vuosiluston leveys eri vyöhyk-

Taulukko 1. Tutkimusaineisto paikkakunnittain.
Table 1. The investigation material by localities.

Paikkakunta Locality	Viljelymänniköt - Plantations			[1] Luonnonmänniköt - [1] Natural stands		
	Koealoja Sample plots	Runkoja Stems	Tukkeja Logs	Koealoja Sample plots	Runkoja Stems	Tukkeja Logs
Tuusula	3	60	15	3	240	15
Punkaharju	6	130	40	6	378	30
Koli	2	40	10	2	120	10
Pieksämäki	1	20	5	1	40	5
Ähtäri	5	100	25	5	299	25
Kuru	3	60	15	3	180	15
Virrat	3	60	15	3	175	15
Juupajoki	3	60	15	2	100	10
Evo	2	40	10	2	100	10
Tammisaari	2	40	10	2	120	10
Tenhola	1	20	5	1	60	5
Yhteensä - Total	31	630	165	30	1812	150

[1] Luonnonmännikkö = luonnonsiemennyksestä syntynyt männikkö.
[1] Natural stand = stand born by natural seeding.

keissä ja näytteen kesäpuuprosentti.

22. Tutkimusaineisto

Tutkimus rajoitettiin alueellisesti koskemaan Suomen etelä- ja keskiosissa kasvavia vanhoja viljelymänniköitä (taulukko 1). Aineisto muodostui suurelta osin samoista kohteista, jotka mitattiin vuosina 1968 - 1969 (UUSVAARA 1974), mutta puusto oli nyt vanhempaa ja järeämpää. Kun tavoitteeksi asetettiin, että ainakin metsikön muutamat rungot jo olisivat saavuttaneet tyvitukin osalta sahapuun mitat, nuorimmat metsiköt olivat käytännössä noin 35-vuotiaita. Tutkimusaineistoon hyväksyttiin ainoastaan viljelymetsiköitä, joissa luonnontaimien osuuden tiedettiin jääneen vähäiseksi ja joiden alkuperästä ja käsittelystä oli saatavissa riittävät tiedot. Sekapuuston enimmäismääräksi hyväksyttiin 10 % metsikön kuutiomäärästä.

Koealat sijoitettiin kussakin metsikössä maastoltaan ja metsätyypiltään yhtenäiselle alueelle, joten viljelymänniköt olivat rakenteeltaan hyvin yhtenäisiä ja tasaisia. Vertailuaineistoksi valitut luonnonmänniköt olivat sen sijaan syntytapansa ja kehityserojensa vuoksi puuston rakenteen suhteen huomattavasti heterogeenisempia.

Koemetsiköitä oli kaikkiaan 11 eri paikkakunnalta 61 kpl, joista 31 viljeltyjä ja 30 luontaisesti syntynyttä männikköä. Kohteista pääosa eli 40 metsikköä sijaitsi metsähallituksen tai metsäopistojen ja loput 21 metsikköä metsäntutkimuslaitoksen alueilla. Viljelymänniköistä 26 % oli perustettu istuttamalla ja 74 % kylvämällä, joka oli vuosisadan alkupuolella yleisin uudistustapa. Pääasiallisin kylvömenetelmä oli aikoinaan ruutukylvö, jossa tavallisesti käytettiin tiheämpiä ruutuvälejä kuin nykyisin, usein 1,5 x 1,5 m tai 1,8 x 1,8 m. Kylvöistä 16 % oli hajakyl-

vöjä. Myös istutuksista noin puolet oli perustettu nykyistä tiheämmin taimivälein.

Koepuustoiksi valittiin yleensä säännöllisen metsänhoidollisen käsittelyn kohteena olleita metsiköitä. Viljelymänniköistä voitiinkin dokumentoida sekä perustamistiedot että käsittelytavat ja -ajat kehitysvaiheittain lähes poikkeuksetta joko muistiinpanojen tai muistitiedon perusteella. Luonnonmänniköiden syntyvaiheet sekä käsittely etenkin kehityksen alkuvaiheissa jäivät sen sijaan useasti varsin hataran tiedon varaan. Puuston tiheyden ja koon suhteen sekä viljellyt- että luonnonmetsiköt olivat hyvin toisiinsa verrattavissa, sillä esimerkiksi molempien pohjapinta-alat olivat keskimäärin lähes yhtä suuret. Luonnonmänniköt olivat kuitenkin jonkin verran järeämpiä ja mahdollisesti voimakkaammin harvennettuja kuin viljelmät, mikä ilmenee seuraavan asetelman luvuista. Luonnonmetsiköiden hehtaaria kohti alhaisempi runkomäärä johtuu myös osittain koealojen keskittymisestä pääasiassa puolukkatyypille.

	Koeala, m^2	Runkoja/ha
Viljelymänniköt	267	852
Luonnonmänniköt	1184	639

Metsiköt jakautuivat metsätyypeittäin koealojen lukumäärän mukaan seuraavasti:

	Viljelymänniköt	Luonnonmänniköt
	%	
CT	3	7
VT	45	82
MT	28	7
OMT	25	4

Viljelymetsiköistä sijaitsi siis lähes puolet männyn

normaaleja kasvupaikkoja viljavammilla maapohjilla, mikä osittain kuvaa männyn uudistamisen suuntautumista metsänviljelytoiminnan alkuaikoina. Luontaisesti syntyneet männiköt taas keskittyvät yleensä männyn fysiologisten vaatimusten johdosta puolukkatyypille tai sitä karummille kasvupaikoille.

Pystykoepuita mitattiin viljelymänniköistä 630 kappaletta ja luonnonmänniköistä 1810 kappaletta eli yhteensä 2440 runkoa. Näistä kaadettiin arvonnan jälkeen tarkempia kokeita varten vastaavasti viljely- ja luonnonmänniköistä 165 ja 150 runkoa, joista tyvitukki apteerattiin yleisesti käytettyjen laatuluokitusohjeitten mukaisesti (HEISKANEN ja SIIMES 1959) kuitenkin ns. Järvi-Suomen luokitusta soveltamalla. Kunkin tukin tyvestä leikattiin pinnasta ytimeen ulottuva pisimmän ja lyhimmän läpimitan puolivälistä otettu sektori, josta määritettiin puuaineen kuiva-tuoretiheys, vuosiluston leveys ja kesäpuuprosentti. Kun jokainen sektori käsiteltiin kahdessa osassa, kertyi tällaisia näytteitä 600 kappaletta.

Kaikki tukit sahattiin ja sahatavara lajiteltiin silmävaraisesti. Joka toisesta tukista luokiteltiin yksi soiro tai lankku koneellisella lajittelulla, eli yhteensä noin 150 sahatavarakappaletta.

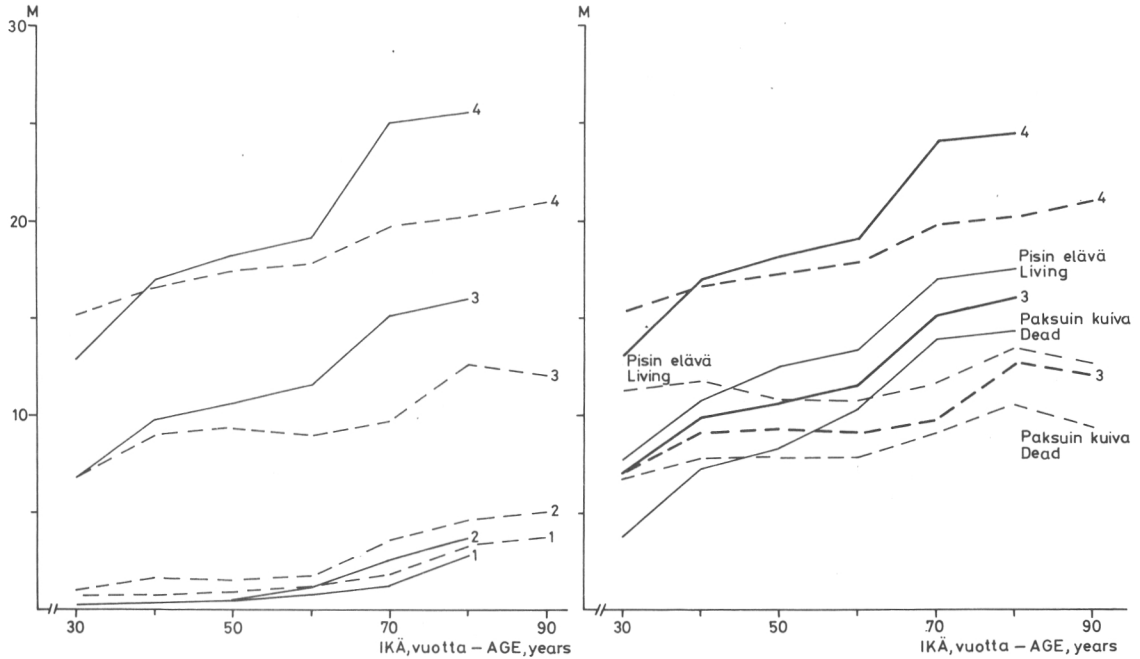
3. RUNKOJA JA TUKKEJA KOSKEVAT TULOKSET

31. Runkojen karsiutuminen

Kuvassa 1 esitetään oksaisuudeltaan erilaisten rungon vyöhykkeiden riippuvuus puun iästä viljely- ja luonnonmetsiköissä. Runkojen pituus lisääntyy tasaisesti iän kasvaessa, mutta pituuskasvu on etenkin vanhoissa viljelymänniköissä kuitenkin nopeampaa kuin luonnonmetsiköissä. Tähän vaikuttaa osittain viljelyalojen parempi metsätyyppi (s. 20).

Oksaton rungonosa pitenee puun iän myötä, mutta piteneminen nopeutuu erityisesti 60 ikävuoden jälkeen. Oksattoman samoin kuin oksakyhmyisen rungonosan yläraja on kuitenkin koko ajan luonnonmäntyrungoissa korkeammalla kuin viljelyrungoissa. Oksien varisemisen nopeutuessa oksakyhmyisen osan pituus näyttää kuitenkin pysyvän jokseenkin vakiona. Kuivaoksainen rungonosa samoin kuin latvus pitenevät viljelymänniköissä selvästi iän myötä, kun taas luonnonmänniköiden rungoissa kehitys näyttää olevan pikemminkin päinvastainen (vrt. taulukko 2).

Pitkä kuivien oksien vyöhyke johtuu ilmeisesti viljelymäntyrunkojen luonnonrunkoja paksummista oksista, joiden kuivuminen ja variseminen on hidasta vielä myöhäiselläkin iällä. Eroja on havaittavissa myös eri viljelytapojen välillä. Istutusmänniköissä karsiutuminen on hitaampaa kuin kylvömänniköissä, ja eri kylvötapojen vertailu osoittaa puolestaan, että hajakylvetyillä alueilla runkojen karsiutuminen on nopeinta. Eri viljelytapojen aiheuttamat erot rungon oksikkuudessa ilmenevät seuraavasta asetelmasta joka kuvaa etäisyyttä alimpaan kuivaan oksaan maanpinnasta ja rungon paksuimman kuivan oksan paksuutta 40 - 60-vuotiaissa viljelymänniköissä.



Kuva 1. Rungon eri oksaisuusvyöhykkeiden, puun pituuden sekä suurimpien oksien kehitys iän mukana. Katkoviiva = luonnonmänniköt. 1 = kyhmyraja, 2 = oksaraja, 3 = latvusraja, 4 = puun pituus.

Fig. 1. Development with age of the branchiness zones, the tree height and the biggest branches. Broken line = natural pine stands. 1 = knot bumb limit, 2 = branch limit, 3 = crown limit, 4 = tree height.

Taulukko 2. Eri oksaisuusvyöhykkeiden suhteelliset pituudet ikäluokittain.
Table 2. Relative heights of the branchiness zones by age classes.

Ikäluokka Age class	Kyhmyraja Knot bumb limit		Kuivat oksat Dry branch limit		Elävät oksat Crown limit	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Viljelymänniköt, % - Plantations, %					
30	1,4	0,7	1,6	1,1	52,3	9,9
40	2,1	1,5	3,1	2,7	55,8	10,0
50	2,8	2,1	5,1	5,4	57,2	12,6
60	4,3	3,4	7,5	6,3	61,7	11,7
70	4,8	1,2	9,4	4,2	60,4	4,2
80	10,8	6,1	14,0	5,2	62,2	5,2
90						
	Luonnonmänniköt, % - Natural stands, %					
30	3,7	2,2	3,9	2,2	44,7	9,8
40	3,7	2,0	9,1	9,4	52,7	10,6
50	4,1	2,6	7,8	7,7	52,8	8,3
60	5,3	2,9	8,5	5,9	50,1	8,0
70	5,4	2,8	17,7	16,2	51,5	11,2
80	17,3	6,6	20,8	14,2	54,2	12,5
90	17,6	7,5	23,8	13,8	57,0	11,2

Taulukko 3. Rungon eri oksaisuusvyöhykkeiden korkeuden riippuvuus iästä ja puun rinnankorkeus-läpimitasta.

Table 3. Correlation between the height of stem branchiness zones and age and DBH.

$D_{1.3}$, cm Dbh, cm	Kyhmyraja, dm - Knot bump limit, dm						Oksaraja, dm - Branch limit, dm						Latvusraja, dm - Crown limit, dm					
	Ikä, a - Age, years						Ikä, a - Age, years						Ikä, a - Age, years					
	< 45		46-65		> 66		< 45		46-65		> 66		< 45		46-65		> 66	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Viljelymänniköt - Plantations																	
15	2	2	4	2	5	2	4	5	6	7	17	11	79	18	85	19	50	12
20	3	2	5	4	10	16	5	5	8	8	4	2	88	25	101	25	125	19
25	3	2	5	5	10	5	6	5	8	8	22	14	103	29	111	26	139	22
30	4	2	5	5	21	18	5	3	8	9	28	21	99	34	111	25	151	18
	Luonnonmänniköt - Natural stands																	
15	4	1	6	5	10	8	5	2	13	12	26	25	58	4	71	21	80	19
20	5	2	7	6	13	9	9	7	15	13	33	31	85	30	92	17	94	24
25	5	5	6	4	14	9	8	7	17	15	35	33	86	20	97	18	111	34
30	..	..	8	4	13	8	..	..	14	9	36	33	..	..	102	17	118	34

	Alimman kuivan oksan korkeus, dm	Paksuimman kuivan oksan paksuus, mm
Istutus	5	38
Ruutukylvö	7	28
Hajakylvö	4	25

Taimiston varhaiskehitys, lähinnä kasvutiheys, heijastuu ilmeisesti rungon alimman osan oksikkuudessa, vaikkakin perustamistiheyden vaikutus häviää iän mukana. Tätä kuvaa eri tavoin perustettujen viljelyrunkojen luston leveys ytimen ympäristössä rungon 0-korkeudella.

Istutus	Ruutukylvö	Hajakylvö
	Luston leveys, mm	
3,4	2,7	2,2

Myös suhteessa rungon pituuteen on virheettömän ja kyhmyisen rungonosan pituus viljelymänniköissä luonnonmänniköitä alhaisempi, kun taas kuivia oksia käsittävä rungonosa on vastaavasti pidempi mutta latvus lyhyempi (taulukko 2). Tulos on merkittävä rungon käyttöarvon kannalta, sillä kuivat oksat alentavat sahatavaran laatua enemmän kuin elävät oksat.

Luonnonmänniköissä oli luston leveys ytimen ympäristössä 40 - 60-vuotiaissa rungoissa keskimäärin 1,8 mm ja etäisyys alimman kuivan oksan rajaan 16 dm. Eri viljelymenetelmistä näyttää siis hajakylvämällä syntynyt puusto muistuttavan eniten oksaisuustunnuksiltaan ja laadultaan luonnonpuustoja. Tähän suuntaan viittaavat myös KALLION (1960) saamat kylvömänniköiden kehitystä koskevat tulokset. Runkojen karsiutumiskehitys oli näiden, runsaasti hajakylvöalueilta peräisin olevaa aineistoa sisältäneiden tutkimusten mukaan jopa nopeampaa kuin esimerkiksi NYYSSÖSEN (1954, s. 87) toteama karsiutuminen toistuvasti harvennetuissa männiköissä.

Oksaisuudeltaan erilaisten rungonvyöhykkeiden pituus lisääntyy latvusta lukuunottamatta iän mukana, mutta karsiutumiseen vaikuttaa myös rungon paksuuskasvunopeus. Nuorissa metsiköissä oksista karsiutunut ja virheetön rungonosa ei sanottavasti pidentynyt rungon järeytyessä, vaan tietyn ikäisistä rungoista paksuimmat olivat heikoimmin karsiutuneita ja siten heikkolaatuisimpia sekä viljely- että luonnonmänniköissä (taulukko 3). Vanhimmassa ikäryhmässä olivat heikkolaatuisimpia toisaalta myös ohuimmat rungot, vaikka niiden oksisto oli toisaalta kuivunut varsin korkealle ja latvus näin ollen lyhentynyt. Latvusraja sen sijaan nousi rungon paksuuskehityksen myötä myös nuorissa metsiköissä, mikä merkitsee nopeasti kasvaneissa rungoissa pientä latvusta ja pitkää kuivaoksaista rungonosaa (kuva 1 ja taulukko 2).

Jo aikaisemmin todettiin selviä eroja runkojen karsiutuneisuudessa sekä metsiköiden välillä että niiden sisällä siten, että heikoimmin karsiutuneita ovat metsikössä suurimmat sekä toisaalta pienimmät puut (UUSVAARA 1974). Käsillä olevassa työssä havaittiin sama kehityssuunta viljelymänniköissä, mutta luonnonmänniköissä rungon koon ja karsiutuneisuusasteen välinen riippuvuus oli heikompi. Mainitun suuntaiset tulokset tuntuisivat puoltavan männiköiden harvennuksessa ja väljennyksessä yläharvennustyyppisiä hakkuita, joissa poistettaisiin ylispuiden lisäksi suurimpia ensimmäisen latvuskerroksen puita. Tämän mahdollisuuden ovat yhtenä hakkuumenetelmänä esittäneet myös mm. NYYSSÖNEN (1954), HEISKANEN (1965) ja VUOKILA (1977).

Myös metsätyyppi vaikuttaa oksien karsiutumiseen ja kylestymiseen sekä latvusrajan sijaintiin. Tätä kuvaa myös rungon ensimmäisen täyden oksakiehkuran korkeus, joka on pienin käenkaali-mustikkatyypin ja puolukkatyypin kasvupaikoilla, kun vertailtavina ovat samanikäiset rungot.

Taulukko 4. Viljelymäntyrunkoja kuvaavien muuttujien korrelaatiomatriisi.
Table 4. Correlation matrix of variables that explain plantation-grown pine stems.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
x_1	1,000									
x_2	-0,053	1,000								
x_3	0,288	- ,036	1,000							
x_4	0,497	- ,219	,391	1,000						
x_5	- ,158	- ,152	,014	- ,359	1,000					
x_6	,357	,699	,146	,074	- ,462	1,000				
x_7	,374	,511	,077	,437	- ,679	,787	1,000			
x_8	,093	,211	- ,050	,340	- ,370	,250	,592	1,000		
x_9	,238	,693	- ,113	- ,064	- ,182	,552	,489	,259	1,000	
x_{10}	,187	,687	- ,121	- ,126	- ,156	,569	,451	,216	,777	1,000
x_{11}	,400	,630	,161	- ,017	- ,230	,812	,533	,113	,506	,529
x_{12}	,402	- ,020	,349	,729	- ,122	,149	,331	,249	,186	- ,069
x_{13}	,052	,880	,084	- ,316	- ,105	,835	,412	- ,064	,699	,525
x_{14}	,177	- ,010	,155	,500	- ,123	,053	,313	,278	,103	,056
x_{15}	,390	,798	,237	- ,165	,139	,854	,354	- ,040	,651	,564
x_{16}	,060	- ,527	,311	,559	- ,001	- ,376	- ,126	,032	- ,563	- ,585
x_{17}	,046	- ,498	,256	,521	,002	- ,362	- ,362	,063	- ,542	- ,512
x_{18}	,413	,577	,023	,326	- ,189	,653	,653	,429	,600	,576
x_{19}	,245	,012	,136	,393	- ,102	,145	,145	,214	,169	,067

Taulukko 5. Luonnonmäntyrunkoja kuvaavien muuttujien korrelaatiomatriisi.
Table 5. Correlation matrix of variables that explain natural pine stems.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
x_1	1,000									
x_2	- ,111	1,000								
x_3	,327	,115	1,000							
x_4	,012	,133	- ,214	1,000						
x_5	- ,091	- ,079	- ,117	- ,284	1,000					
x_6	,285	,336	,566	,013	- ,367	1,000				
x_7	,258	,425	,463	,390	- ,614	,624	1,000			
x_8	- ,046	,273	,156	,400	- ,292	,167	,576	1,000		
x_9	- ,079	,475	- ,013	- ,083	- ,080	,153	,194	,128	1,000	
x_{10}	- ,065	,320	,182	- ,089	- ,092	,316	,196	,091	,458	1,000
x_{11}	,123	,212	,725	- ,012	- ,161	,699	,373	,100	,165	,545
x_{12}	,284	- ,299	,257	,507	- ,047	,204	,262	,227	- ,236	- ,140
x_{13}	,117	,223	,573	- ,133	,186	,567	,125	- ,179	,366	,388
x_{14}	,239	,021	,053	,172	- ,090	,042	,301	,347	- ,041	,007
x_{15}	,203	,109	,598	- ,292	,152	,601	,152	- ,133	,282	,282
x_{16}	,137	- ,327	- ,101	,639	- ,020	- ,247	- ,004	,029	- ,327	- ,489
x_{17}	,066	- ,258	- ,135	,543	- ,009	- ,239	- ,044	,032	- ,268	- ,395
x_{18}	,395	,320	,425	,338	- ,198	,490	,797	,380	,107	,107
x_{19}	,320	,103	,025	,469	- ,046	,005	,238	,276	- ,138	- ,116

x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}
1,000								
,165	1,000							
,828	,035	1,000						
- ,078	,362	- ,012	1,000					
,964	,075	,728	- ,043	1,000				
- ,416	,263	- ,418	,222	- ,405	1,000			
- ,359	,170	- ,467	,177	- ,421	,810	1,000		
,488	,429	,420	,381	,473	- ,163	- ,175	1,000	
- ,034	,321	- ,012	,740	- ,014	,135	,098	,456	

x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}
1,000								
,159	1,000							
,800	,175	1,000						
- ,102	,421	- ,126	1,000					
,760	,176	,733	- ,019	1,000				
- ,251	,282	- ,374	,193	- ,353	1,000			
- ,215	,228	- ,239	,069	- ,296	,779	1,000		
,263	,310	,192	,327	,207	- ,077	- ,138	1,000	
- ,263	,446	- ,173	,749	- ,222	,347	,258	,297	

Metsätyyppi	Ikäluokka, a ≤ 45	46 - 55
	1. oksakiehkura maanpinnasta, dm	
VT	16	31
MT	16	36
OMT	11	12

Samansuuntainen eri metsätyyppien välinen runkojen karsiutumisero havaittiin jo tekijän aiemmassa tutkimuksessa (UUSVAARA 1974), jossa erityisesti kahden parhaan metsätyypin välinen ero oli selvä.

Seuraavat yhtälöt kuvaavat oksaisuudeltaan erilaisten rungonosien pituuden ja puun iän välistä korrelaatiota viljely- ja luonnonmänniköissä.

Viljelymänniköt:

Regressioyhtälö	$\bar{y}$	r
$y_1 = 2{,}0719\ x + 9{,}9864$	17,96	0,693
$y_2 = 0{,}4983\ x - 19{,}406$	0,61	0,689
$y_3 = 0{,}7266\ x - 27{,}895$	0,92	0,695
$y_4 = 1{,}5396\ x + 24{,}365$	10,39	0,616

Luonnonmänniköt:

Regressioyhtälö	$\bar{y}$	r
$y_1 = 0{,}5424\ x + 144{,}73$	18,07	0,307
$y_2 = 0{,}2014\ x - 3{,}6298$	0,97	0,467
$y_3 = 0{,}4711\ x - 7{,}6826$	2,31	0,342
$y_4 = 6{,}3571\ x + 71{,}402$	9,51	0,224

Yhtälöissä

y_1 = puun pituus, dm
y_2 = oksakyhmyisen rungonosan korkeus, dm
y_3 = kuivaoksaisen rungonosan korkeus, dm
y_4 = latvusraja, dm
x = puun ikä, a

Yhtälöihin liittyvistä korrelaatiokertoimista nähdään, että viljelymänniköistä lasketut korrelaatiokertoimet ovat merkittävästi korkeampia kuin luonnonmänniköistä saadut kertoimet. Oksaisuusrajojen korkeuden vaihtelusta ei luonnonmänniköissä siis voida selittää iän avulla yhtä suurta osaa kuin viljelymänniköissä, joissa eri oksaisuusrajojen selitysprosentit ovat 47, 48 ja 38 prosenttia. Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty eräiden pystykoepuista ja koealoilta mitattujen rungon ulkoisia laatutunnuksia kuvaavien muuttujien keskinäinen riippuvuus. Taulukoista ilmenee että muuttujien väliset korrelaatiot ovat yleensä viljelymänniköissä korkeampia kuin luonnonmänniköissä. Tämä johtuu pääasiassa muuttujien arvojen suuremmasta vaihtelusta luonnonmänniköissä.

Taulukoissa 6 ja 7 esitetään viljely- ja luonnonmäntyrunkojen pystypuista ja tyvitukeista mitattuja ja tyvitukin oksaisuusluokan mukaan ryhmiteltyjä ominaisuuksia. Runkojen mittaustuloksia tarkasteltaessa voidaan päätellä, että heikkolaatuisimmat tukit tulevat toisaalta nuorista, pienikokoisista rungoista sekä toisaalta verrattain järeistä, nopeakasvuisista rungoista. Heikkolaatuisimmat tukit ovat nimittäin peräisin järeimpiin runkoihin kuuluvista mutta eivät kuitenkaan pisimmistä puista.

Rungon karsiutuneisuus on sitä heikompi ja oksien paksuus sitä suurempi, mitä heikommasta laatuluokasta on kysymys. Varsinkin luonnonmäntyrunkojen ominaisuuksia esittävästä taulukosta voidaan esimerkiksi läpimittojen perusteella päätellä myös se jo aiemmin todettu seikka, että parhaat tukit eivät ole peräisin metsikön suurimmista rungoista. Iän ja oksan paksuuden perusteella nähdään, että tukin laatu on paras vanhoissa hitaasti kasvaneissa rungoissa (taulukko 6). Viljelymänniköiden ensimmäisen oksaisuuslaatuluokan tukit eivät siis ilmeisestikään aina järeydestään huolimatta ole todelliselta laatuluokaltaan parhaita, vaan nopean nuoruudenkehityksen aiheuttamat viat kät-

Taulukko 6. Oksaisuusluokaltaan erilaisten tyvitukkien ja runkojen ominaisuuksia. Viljelymänniköt.

Table 6. Properties of butt logs and stems of differing branchiness classes. Plantation-grown pine stands.

Ominaisuus Property	Oksaisuuslaatuluokka - Branchiness class 1			2			3			4	
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	n
x_6	222	40	56	197	30	185	177	27	173	198	4
x_7	259	60	56	216	37	188	224	34	173	300	4
x_2	69	15	56	54	11	188	48	9	173	47	4
x_5	1,1	0,3	56	1,3	0,5	188	1,2	0,4	173	1,0	4
x_8	47	14	56	39	10	188	44	11	172	65	4
x_{18}	22	5	55	18	3	187	19	3	169	25	4
x_{17}	1,3	0,7	56	2,2	0,5	188	3,2	0,4	173	4,0	4
x_{34}	48	7	55	49	7	187	47	8	168	49	4
x_4	12	-	4	20	4	149	30	7	112	56	4
x_9	24	19	47	6	5	188	4	3	173	1	4
x_{10}	35	25	45	11	19	188	5	5	173	1	4
x_{11}	140	32	56	113	29	185	98	27	170	116	4
x_{12}	32	13	50	27	6	140	33	7	112	..	4
x_{14}	34	9	50	33	6	140	38	8	112	44	4
x_{15}	148	37	50	124	31	140	104	29	112	98	4
x_{19}	273	61	50	281	60	140	292	53	112	380	4
x_{13}	110	43	50	89	28	140	67	29	112	50	4
x_{23}	419	36	18	433	40	63	420	54	70	..	..
x_{24}	418	39	18	436	49	64	428	60	70	..	..
x_{25}	2,1	0,4	18	2,6	0,6	64	3,4	1,0	70	..	..
x_{26}	1,9	0,4	18	2,2	0,7	64	2,5	1,0	70		
x_{27}	29	5	18	26	5	64	25	5	70		
x_{28}	36	5	18	33	6	64	30	6	70		

Taulukko 7. Oksaisuusluokaltaan erilaisten tyvitukkien ja runkojen ominaisuuksia. Luonnonmänniköt.

Table 7. Properties of butt logs and stems of differing branchiness classes. Natural pine stands.

Ominaisuus Property	Oksaisuuslaatuluokka - Knottiness class								
	1			2			3		
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
x_6	195	32	132	184	23	173	179	21	119
x_7	235	54	460	220	41	629	240	44	215
x_2	76	17	120	68	19	150	60	10	130
x_5	1,3	0,5	457	1,3	0,5	603	1,2	0,5	189
x_8	46	13	460	44	13	628	47	17	215
x_{18}	20	4	427	19	3	579	20	4	201
x_{34}	49	8	427	49	6	588	49	6	207
x_{17}	1,3	0,6	460	2,2	0,5	629	3,1	0,3	215
x_4	11	4	460	18	6	628	25	6	215
x_9	14	14	453	9	5	269	7	4	214
x_{10}	44	37	418	19	12	629	11	8	214
x_{11}	113	34	182	99	27	219	97	20	130
x_{12}	26	7	182	26	7	219	34	7	130
x_{14}	35	7	182	34	8	219	41	10	130
x_{15}	130	27	182	113	26	219	102	19	130
x_{19}	251	55	182	259	47	219	319	51	130
x_{13}	999	276	182	839	225	219	706	252	130
x_{23}	447	33	45	449	48	68	447	35	21
x_{24}	478	53	45	467	48	68	464	47	21
x_{25}	1,6	0,6	45	1,7	0,7	68	2,4	0,6	21
x_{26}	1,7	0,5	45	1,8	0,7	68	1,8	0,6	21
x_{27}	33	5	45	33	5	68	27	5	21
x_{28}	33	5	45	34	7	68	33	5	21

keytyvät rungon sisälle (sivu 56).

Rungon pisin oksa kuvaa tyvitukin laatua paremmin kuin rungon suurimman kuivan oksan paksuus. Viljelymänniköissä myös pisimmän oksan pituus kasvaa tukin laadun heiketessä, mikä kuvaa osittain latvuksen leveyden riippuvuutta puun yleisestä laadusta.

HEISKANEN (1965) korostaa tutkimuksissaan rungon oksattoman osan pituuden ja oksaisuuden merkitystä sahapuun laadun kannalta. Oksaton rungonosa on kaikissa läpimittaluokissa sitä lyhyempi ja tyviosan oksat sitä paksummat mitä suurempi puun kasvunopeus on ollut. Hänen mukaansa oksista vapaan rungonosan pituus nousee 4 m:iin n. 80 vuoden iässä ja on tällöin n. 15 % rungon pituudesta. HEIKINHEIMO (1953) mainitsee vastaavasti, että oksista puhdistunut tyvikappale on 14 % rungosta jo 50 vuoden iässä. Myös KALLIO (1960) totesi kylvömänniköiden karsiutuneen 4 m korkeuteen mustikkatyypillä jo 55 vuoden iässä. Hänen tutkimuksensa vertailukelpoisuutta oheisen tutkimuksen tuloksiin vähentää kuitenkin se, että aineistoon otettiin mukaan rajoituksetta myös hajakylvöalueitten puustoa. Myös OMT:n kasvupaikkojen männiköt oli rajattu tutkimuksen ulkopuolelle. KÄRKKÄISEN (1980 a) tutkimuksissa oksaton rungonosa vaihteli luonnonmänniköissä pituudeltaan 26 - 75 m:iin tukin laadun mukaan. Vastaavasti hänen toisessa tutkimuksessaan (1980 b) hyvälaatuisen leimikon rungot olivat karsiutuneet 89 dm:iin mutta heikkolaatuisessa leimikossa vain 36 dm:iin. Tulokset eivät ole täysin verrattavissa käsillä olevaan tutkimukseen, jonka aineistoon oli valittava etupäässä nuorehkojen luonnonmänniköiden puustoa.

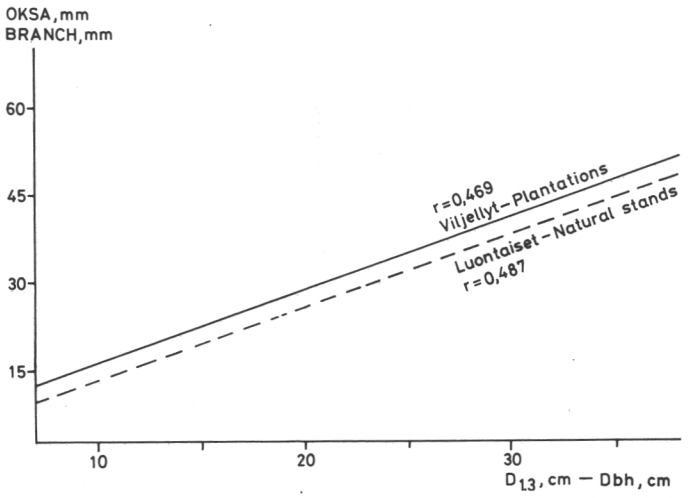
Koska vain tyvitukit ovat yleensä täysin karsiutuneet oksistaan, on laatulajittelun erääksi perustaksi esitettykin tyvitukkien erottamista muista tukeista (HEISKANEN 1971, ASIKAINEN 1980, KÄRKKÄINEN ja SALMI 1981).

Rungon oksien kuivuminen ja kylestyminen liittyvät läheisesti latvuksen pituuden kehitykseen. NILSSON (1968) on todennut latvuksen pituuden myös periytyväksi ominaisuudeksi, jonka vaikutuksen metsikön tiheysmuutokset kuitenkin yleensä peittävät. Puuston tiheyden vaikutusta kuivaoksaisen rungonosan pituuteen ja latvussuhteeseen on tutkittu runsaasti (mm. NÄSLUND 1944, ERTELD 1967, MATHIEU 1967, PERSSON 1977, VARMOLA 1980). KELLOMÄKI ja TUIMALA (1981) totesivat, että elävien oksakiehkuroiden määrä laski selvästi, eli latvus supistui metsikön tiheyden kasvaessa. KELLOMÄKI (1980 ja 1981) on selvitellyt nuorten männiköiden oksien, neulasten ja runkopuun muodostumista ja kasvua ja niiden jakosuhteiden riippuvuutta valaistusoloista. Hänen mukaansa mäntyrungon kasvun osuus on suurimmillaan, kun latvuksen valaistus on 60 - 70 % vastaavasta aukean alueen valaistuksesta.

32. Runkojen oksikkuus

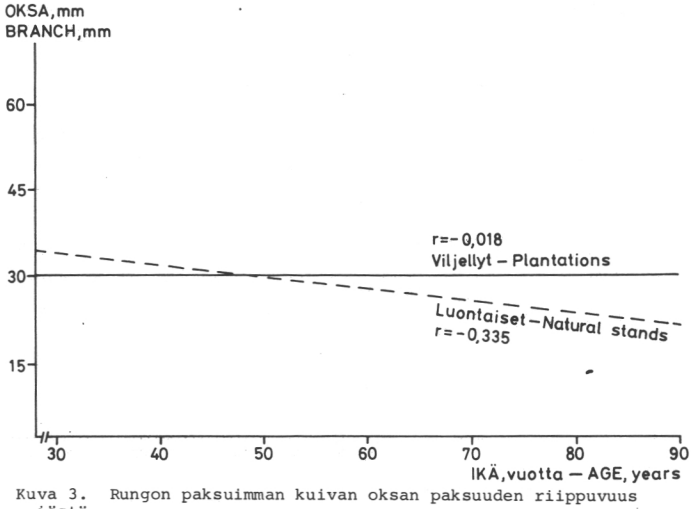
Oksikkuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä rungon pinnan ulkopuolella olevien oksien runsautta, paksuutta, lukumäärää ja karsiutuneisuutta (vrt. UUSVAARA 1974, s. 10).

Oksat ovat oleellinen osa puusta, joten oksien paksuus ja tilavuus sekä niiden osuus rungon tilavuudesta riippuvat rungon paksuudesta. Oksan paksuus kasvaa pääasiassa rungon paksuuskasvun myötä eikä riipu yhtä voimakkaasti puun iästä. Jo aikaisemmassa tutkimuksessa (UUSVAARA 1974) rinnankorkeusläpimitta osoittautui parhaaksi rungon paksuimman kuivan ja elävän oksan paksuuden selittäjäksi. Niiden avulla voitiin selittää 63 ja 54 % viljelymäntyrunkojen suurimpien oksien paksuuden vaihtelusta. Selittämättä jäänyt vaihtelu riippuu mm. ulkoisista kasvuoloista, esimerkiksi naapurirunkojen vaikutuksesta, valaistusoloista sekä toisaalta metsikön geneettisestä perusrakenteesta.



Kuva 2. Rungon paksuimman kuivan oksan paksuuden riippuvuus puun rinnankorkeusläpimitasta.

Fig. 2. Correlation between the diameter of the thickest dead branch of the stem and breast height diameter.



Kuva 3. Rungon paksuimman kuivan oksan paksuuden riippuvuus iästä.

Fig. 3. Correlation between the diameter of the thickest dry branch of the stem and age.

Myös tässä työssä rinnankorkeusläpimitan ja rungon suurimpien oksien välillä vallitsi kumpaakin alkuperää olevassa aineistossa vahva korrelaatio, kun taas oksien paksuus korreloi jopa negatiivisesti iän kanssa (kuvat 2 ja 3). Luonnonmänniköissä tällainen kehityssuunta on vielä selvempi kuin viljelymänniköissä.

Riippuvuuksia kuvaavat seuraavat yhtälöt.

Viljelymänniköt

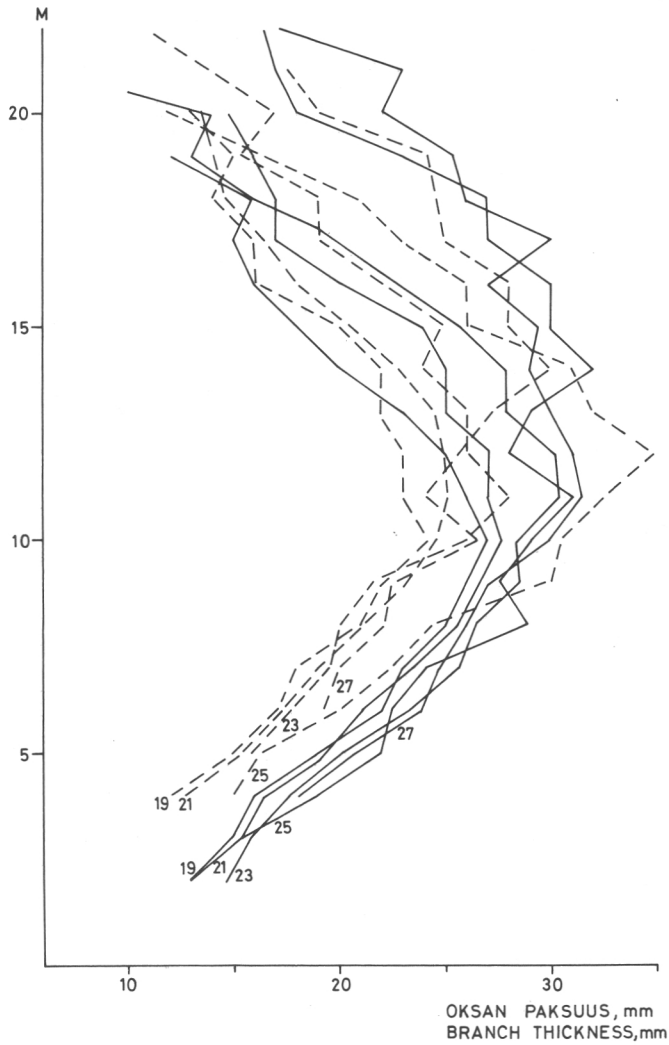
Regressioyhtälö	$\bar{y}$	r
$y_1 = -0{,}1265\ x_1 + 31{,}808$	31	-0,018
$y_2 = 0{,}00505\ x_1 + 35{,}901$	36	-0,009
$y_1 = 1{,}2255\ x_2 + 4{,}2698$	31	0,469
$y_2 = 0{,}96424\ x_2 + 14{,}502$	36	0,448

Luonnonmänniköt

$y_1 = -0{,}14244\ x_1 + 37{,}562$	27	-0,335
$y_2 = -0{,}02596\ x_1 + 37{,}529$	35	-0,055
$y_1 = 1{,}2967\ x_2 - 0{,}77168$	27	0,487
$y_2 = 1{,}6765\ x_2 - 0{,}88920$	35	0,567

y_1 = rungon paksuimman kuivan oksan paksuus, mm
y_2 = rungon pisimmän elävän oksan paksuus, mm
x_1 = rungon ikä, a
x_2 = rungon rinnankorkeusläpimitta, cm

Rungon läpimitan ohella oksan paksuus riippuu myös puun pituus- mutta erityisesti paksuuskasvunopeudesta, jonka lisääntyminen edistää samassa suhteessa oksien paksuuskasvua. Jo aiemmin todettiin rungon kasvunopeus tärkeäksi rungon suurimpien oksien paksuuden ja pituuden vaihteluita selittäväksi tekijäksi (UUSVAARA 1974). Näin ollen nuoressa puussa voi olla paksummat oksat kuin huomattavasti vanhemmassa rungossa, ja keskimäärin oksat ovatkin sitä ohuemmat mitä vanhempi tietyn paksuinen runko on.



Kuva 4. Mäntyrunkojen oksien paksuus eri korkeuksilla ensimmäisestä oksakiehkurasta lähtien läpimittaluokittain. Katkoviiva = luonnonmänniköt.

Fig. 4. Thickness of the branches of pine stems at different heights by diameter class starting from the first branch whorl. Broken line = natural pine stands.

Puun ikääntyessä rungon paksuimmat oksat siirtyvät rungossa yhä ylemmäs ja tietyssä iässä oksien paksuus kulminoituu ja alkaa päinvastoin vähentyä runkojen karsiutumisen myötä. Käännekohta näyttää olevan noin 60 vuoden iässä, jonka jälkeen oksan paksuuden kasvu loppuu. Metsikön kiertoajan alkuvaiheissa on oksien paksuuskasvu nopeinta, joten juuri tässä vaiheessa ovat tärkeimpiä myös rungon tyviosan oksien kasvua hidastavat metsänhoidolliset toimenpiteet.

Kuvassa 4 esitetään rungon oksien paksuus rungossa ensimmäisestä täydestä oksakiehkurasta ylöspäin. Luonnonmäntyrunkojen oksat ovat ohuempia kuin viljelyrunkojen oksat etenkin rungon alaosassa, mutta rungon yläosassa oksien paksuuserot häviävät osittain. Rungon paksuimmat oksat sijaitsevat pieniläpimittaisimmissa puissa rungon puolivälissä tai vähän sen alapuolella, mutta niiden sijainti nousee rungon läpimitan kasvaessa. Kuvasta nähdään myös että läpimitaltaan paksuimmat puut eivät välttämättä ole paksuoksaisimpia, kun tarkastellaan koko rungon oksia. Tyviosassa noin rungon puoliväliin asti erot ovat kuitenkin selvät siten, että suurimpiin läpimittaluokkiin kuuluvilla rungoilla on myös paksuimmat oksat. Luonnonmäntyrunkojen paksuimmat oksat sijaitsevat jonkin verran ylempänä kuin viljelymäntyjen, mikä ilmeisesti on seurausta luonnonmäntyrunkojen alaosan oksien nopeammasta kuolemiskehityksestä. Myös latvuksen muoto saattaa vaikuttaa paksuimpien oksien sijaintiin siten, että leveälatvuksisten puiden paksuimmat oksat sijaitsevat alempana kuin pitkä- ja kapealatvuksisten puiden oksat.

Rungon karsiutuminen ja oksien paksuus riippuvat myös puun kasvunopeudesta. Mitä vanhempi tietyn paksuinen runko on sitä parempi se on yleensä laadultaan kuitenkin tiettyyn ikärajaan asti. Kasvunopeuden heiketessä voimakkaasti ohuetkaan oksat eivät pysty enää kylestymään ja karsiutuminen heikkenee (HEISKANEN 1965, UUSVAARA 1974, KELLOMÄKI ja TUI-

MALA 1981).

Asiaa kuvaa seuraava asetelma, joka osoittaa rungon paksuimman kuivan oksan paksuuden pienenevän tietyn ikäisen viljelymäntyrungon rinnankorkeusläpimitan pienetessä.

	Rinnankorkeusläpimitta, cm						
Ikä, a	29	27	25	23	21	19	17
	Oksan paksuus, mm						
≤ 45	37	42	36	33	31	31	23
46-65	36	32	36	29	29	25	25
≥ 66	49	29	33	27	23	..	..

Luonnonmänniköissä rungon paksuimman kuivan oksan paksuuden kehitys oli seuraava.

	Rinnankorkeusläpimitta, cm						
Ikä, a	29	27	25	23	21	19	17
	Oksan paksuus, mm						
≤ 45	35	35	33	31	30	..	..
46-65	34	32	31	34	25	26	..
≥ 66	31	28	27	27	22	21	..

Rungon laadun kannalta on kuitenkin suurin merkitys tyvitukin alueelle syntyvien oksien paksuudella, sillä tukin laatu määräytyy pääasiassa oksien perusteella. Toisaalta kyseisten oksien paksuus kuvaa myös, joskin jonkin verran heikommin, rungon muiden tukkien oksaisuutta ja laatua. Jos oksat ovat paksuja, ne eivät varise vanhetessaan yhtä helposti, ja rungosta aikanaan valmistettavan sahatavaran sisään joutuu kuivia ja jopa lahoja oksia.

Rungon tyviosan paksuimpien oksien kuvaamiseksi mitattiin pystypuista tyvitukin pituisen rungonosan paksuin vielä näkyvissä oleva oksa sekä valmistetuista tukeista paksuin kuiva oksa ja muiden vielä kylestymättömien oksien keskipak-

suus. Tyvitukin alueelta havainnoidut oksat olivat kaikki kuolleita oksia. Viljelymänniköistä valmistetuista tyvitukeista 10 % oli kuitenkin täysin oksattomia, ja vastaava luku luontaisissa männiköissä oli 21 %.

Taulukosta 8 nähdään valmistettujen tyvitukkien oksien lukumäärä, keskipaksuus sekä suurimman oksan paksuus tukin todellisen laatuluokan mukaan. Yleinen kehityssuunta on, että oksan paksuus kasvaa tukin laadun heiketessä, ja luokkien väliset paksuimpien oksien läpimittaerot lisääntyvät heikompiin laatuluokkiin päin siirryttäessä. Viljelymänniköistä peräisin olevissa tukeissa oksat ovat vastaavissa laatuluokissa paksumpia kuin luonnonmänniköiden tukeissa. Oksien keskiläpimitan vaihtelu erilaatuisten tukkien välillä on vähäisempää kuin paksuimpien oksien paksuusvaihtelu. Myös oksien lukumäärä kasvaa tukin laadun heiketessä, mikä johtuu heikomman laadun ohella siitä, että heikkolaatuiset tukit ovat peräisin keskimääräistä nuoremmista metsiköistä. Oksan paksuus sekä rungossa että tyvitukissa riippuu voimakkaasti rungon paksuuskasvunopeudesta (kuvat 7 ja 8, sivu 48).

Seuraava asetelma osoittaa pystypuiden tyvitukin alueelta mitattujen paksuimpien oksien keskiläpimitan, kun tukki on luokiteltu pelkästään oksaisuuden perusteella sekä toisaalta todellisen laatuluokan mukaan myös runkoviat mukaan luettuna (vrt. taulukko 8).

	Oksaisuusluokka								Todellinen laatuluokka							
	1		2		3		Hylky		1		2		3		Hylky	
	Paksuin kuiva oksa, mm															
	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s
Viljely-männiköt	12	3	20	4	30	6	56	9	12	3	20	4	29	6	31	11
Luonnon-männiköt	11	3	18	6	25	5	34	6	10	3	17	6	24	7	25	9

Tulokset osoittavat myös tässä yhteydessä, että hyvien ja huonojen tukkien oksien paksuuserot kasvavat erityisesti kaikkein huonoimpiin tukkeihin päin siirryttäessä. Viljelymänniköistä ja luontaisen siemennyksen kautta syntyneistä metsistä peräisin olevien tukkien väliset oksien paksuuserot ovat suurimmat kaikkein huonoimmissa laatuluokissa.

Oksikkuutta ja oksien merkitystä laadun kannalta voidaan kuvata myös oksakulman, oksien lukumäärän ja pituuden sekä oksien katkaisupintojen peittävyyden avulla rungon vaipassa. Oksakulma kuvaa myös oksan paksuutta, joka yleensä kasvaa rungossa oksakulman pienetessä. Oksakulman suuruus on myös erilainen rungon tyvi- ja latvaosissa siten, että kulma suurenee oksan iän lisääntyessä (mm. MAYER 1961). Yleisesti oksakulmaa pidetään vahvasti periytyvänä ominaisuutena (SCHÖPF 1954). Runkojen luontaisen karsiutumisen myötä sekä puiden iän lisääntyessä oksakulman merkitys laatutunnuksena kuitenkin vähenee.

Taulukko 8. Laatuluokaltaan erilaisten tyvitukkien paksuin oksa, oksien keskiläpimitta ja lukumäärä.

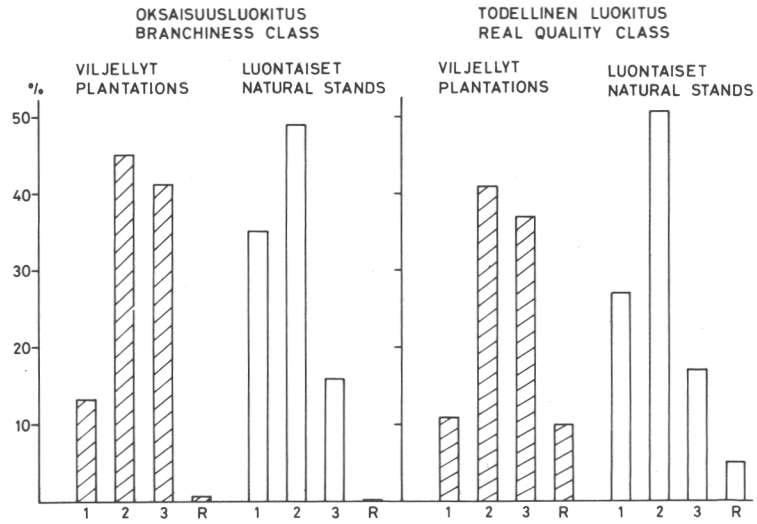
Table 8. The thickest knot, the mean knot diameter and number of butt logs of the quality classes.

Laatuluokka Quality class	Paksuin oksa, mm Thickest branch, mm		Keskiläpimitta, mm Average diameter, mm		Oksia, kpl Number of branches	
			Viljelymänniköt - Plantations			
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	17	4	11	2	9	8
2	19	4	16	9	21	16
3	30	5	17	6	36	16
Hylky Cull	33	15	-	-	36	10
			Luonnonmänniköt - Natural stands			
1	7	2	7	2	1	4
2	16	5	11	4	21	14
3	29	4	14	2	28	11
Hylky Cull	44	20	-	-	44	4

Myös kiehkuraan syntyvien oksien lukumäärän on todettu olevan vahvasti perinnöllisten tekijöiden säätelemä (mm. EKLUNDH EHRENBERG 1963, RAUTIAINEN 1971). Oksien määrä riippuu kuitenkin vahvasti myös metsikön tiheydestä eli valaistusoloista (FLOWER-ELLIS ym. 1976, KELLOMÄKI 1980). Oksakiehkuran oksien lukumäärät vaihtelevat yleensä verrattain vähän (VARMOLA 1980), joten tunnuksen merkitys laatutekijänä ei ole kovin suuri.

KELLOMÄKI ja TUIMALA (1981) ovat tutkineet oksan läpimitan ja nuorten männiköiden puuston tiheyden riippuvuutta ja havainneet, että metsikön tiheyden ylittäessä nuorissa männiköissä 2000 - 3000 rungon rajan ei oksan paksuus enää pienentynyt selvästi. Oksan paksuus pieneni ja karsiutuminen parani metsikön puuston tiheyden kasvaessa. Kuitenkin näytti siltä, että erityisen tiheissä metsiköissä karsiutuminen päinvastoin heikkeni. Myös PERSSON (1977) on todennut samansuuntaisen riippuvuuden oksan paksuuden ja männikön kasvatustiheyden välillä. Hän havaitsi myös vuosiluston leveyden kasvavan ja etäisyyden alimpiin kuiviin oksiin pienenevän istutustiheyden pienentyessä.

Metsikön nuoruusaikainen kasvunopeus voidaan nähdä oksien paksuutta tarkasteltaessa usein vielä tukkipuun kokoon kehittyneissä männiköissä. HEISKASEN (1965) mukaan mäntytyvitukin suurin oksa paksuni jyrkästi vuosiluston levetessä ytimen lähiympäristössä. Luston paksuuden ollessa mustikkatyypillä 3 mm oksan paksuus oli mäntyrunkojen tyvitukeista mitattuna keskimäärin noin 20 mm. NYLINDER (1958) mittasi mäntyrunkojen oksan paksuudeksi 3 m:n korkeudella 22 mm, kun vuosiluston leveys oli 4 mm. HEISKANEN (1954 b) totesi riippuvuuden myös vuosiluston paksuuden ja sahatavaran suurimman oksan välillä. Vuosiluston paksuutta 1,4 mm vastasi keskimäärin 25 mm:n oksan paksuus sahatavarakappaleessa.



Kuva 5. Pystypuiden tyvitukkiosan jakautuminen laatuluokkiin oksaisuuden ja todellisen luokituksen perusteella. R = hylky.

Fig. 5. Distribution of standing tree butt logs into quality classes on the basis of branchiness and real grading class. R = cull.

33. Tyvitukin laatu

Kuvassa 5 esitetään pystypuista luokiteltujen tyvitukkien jakautuminen laatuluokkiin pelkästään tyvitukin pituisen rungonosan oksaisuuden sekä toisaalta myös kaikkien vikojen perusteella. Kun tyvitukki luokiteltiin pelkästään oksaisuusluokituksella, jolloin vain oksat ja oksakyhmyt otettiin huomioon, kuului tyvitukki viljelymänniköissä lähes yhtä usein kolmanteen kuin toiseenkin laatuluokkaan, mutta se joutui kuitenkin vain harvoin hylättyjen joukkoon. Tyypillisin piirre viljelymänniköiden tyvitukkien laatujakaumassa on ensimmäisen laatuluokan vähyys (13 %) ja vastaavasti kolmannen luokan yleisyys (42 %). Luonnonmänniköissä ensimmäisen laatuluokan osuus on huomattava (35 %), mutta ylivoimaisesti yleisin luokka on toinen laatuluokka joka yhdessä ensimmäisen luokan kanssa muodostaa lähes 85 % kaikista luonnonrunkotukeista. Ensimmäisen ja toisen laatu-

luokan osuuden tarkastelu on merkityksellinen sen vuoksi, että tukkien parhaat laatuluokat tuottavat huomattavasti parhaita u/s-laatuja joskin pääasiassa tertia- ja kvartaluokan sahatavaraa (SIIMES 1962, ORVÉR 1970 b).

Vaikka oksaisuus onkin määräävänä tekijänä tukin laatua arvosteltaessa on myös ulkoapäin havaittavilla runkovioilla sekä sisäisillä puuaineen vioilla laadun kannalta huomattava merkitys. Osa vioista aiheutuu rodullisista ominaisuuksista ja osa erilaisista ympäristötekijöistä sekä ulkoisista vaurionaiheuttajista. Näistä mainittakoon mm. lumi, joka aiheuttaa puiden latvaosien katkeilua erityisesti nuorissa nopeakasvuisissa taimikoissa (vrt. UUSVAARA 1974 s. 51). Epäonnistunut istutustyö johtaa istutusmänniköissä usein tyvien tai jopa ylemmän rungonosan lenkoutumiseen, jota on kutsuttu taimistoinventointien yhteydessä kallistumisilmiöksi (HUURI 1976). HUURI (1979 a, 1979 b) toteaa kallistumisilmiön lievimmässä muodossaan istutusmänniköissä niin yleiseksi, että tällaisen männikön saattaa parhaiten erottaa kylvetystä tai luontaisesti syntyneestä harvennetusta männiköstä runsaina esiintyvien kaartuneiden runkojen avulla (vrt. UUSVAARA 1981 b).

Käsillä olevassa työssä kuitenkin vain murto-osa aineistosta oli peräisin istutusmänniköistä, joten rungon tyvessä tavattujen mutkien tai rungon lenkouden on täytynyt aiheutua pääasiassa muista syistä. Yksi mahdollisuus lenkouden esiintymiseen saattaa olla kylvötuppaiden liian myöhäiseen ajankohtaan siirtynyt harventaminen. Viljelymänniköissä esiintyy lenkoutta enemmän kuin luonnonmänniköissä, mutta ero tämän vikaisuuden esiintymisrunsaudessa ei ole yhtä suuri kuin mutkien yleisyyttä vertailtaessa (taulukko 9). Sahattaviksi valmistettujen viljelymäntytukkien keskimääräinen lenkous oli tukin pituudella 18 mm ja suurin mitattu lenkousarvo 90 mm. Vastaavat arvot luonnonmäntytukeissa olivat 14 ja 50 mm. Metsikön alkuperäinen

runkoluku on merkittävä vikojen runsauteen vaikuttava tekijä, sillä metsikön käsittelyssä pyritään aina poistamaan etupäässä viallisia runkoja. Koska luonnonmänniköiden puuston lähtötiheys on suuri voidaan harvennuksissa tavallisesti jättää jäljelle riittävä määrä virheettömiä runkoja. Näin ollen viljelymänniköiden suurempien vikaisuusprosenttien ei tarvitse johtua pelkästään runkojen alttiudesta erilaisille vikaisuuksille.

Lenkous esiintyy viljelymäntyrungoissa melkein yksinomaan rungossa, kun taas mutkat ovat jonkin verran yleisempiä tyven alueella kuin ylempänä rungossa. Samansuuntainen tulos havaitaan myös taulukosta 10, joka koskee pelkästään tyvitukin alueelta tehtyjä havaintoja. Taulukko näyttäisi

Taulukko 9. Pystypuista havaittujen runkovikojen yleisyys.
Table 9. Frequency of stem defects in standing trees.

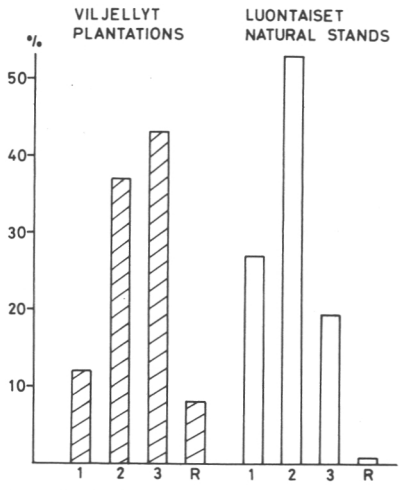
Alkuperä Origin	Virheettömät rungot Defect-free stems	Vika tyvessä Defect in butt	Vika rungossa Defect in stem
	Mutka, % - Crook, %		
Viljelymänniköt Plantations	50	27	23
Luonnonmänniköt Natural stands	63	21	16
	Pystyoksa, % - Vertical branch, %		
Viljelymänniköt Plantations	88	4	9
Luonnonmänniköt Natural stands	97	-	3
	Lenkous, % - Sweep, %		
Viljelymänniköt Natural stands	44	1	55
Luonnonmänniköt Natural stands	52	1	47

osoittavan myös, että koesahauksen kohteeksi on tullut sekä viljely- että luonnonmänniköistä enemmän lenkoja tukkeja mutta vähemmän mutkaisia tukkeja kuin aineistossa esiintyi keskimäärin. Toisaalta tämä selittyy osittain siten, että lenkous sijaitsee rungossa kuitenkin usein myös tyvitukin aluetta ylempänä.

Todellista laatuluokitusta käytettäessä, jolloin myös runkoviat otetaan huomioon, tapahtuu viljelymänniköissä pääasiallinen siirtymä kolmannesta luokasta hylkytukkeihin, mutta luonnonmänniköissä puolestaan ensimmäisestä toiseen ja vastaavasti toisesta kolmanteen laatuluokkaan. Viljelymänniköissä viat näyttävät keskittyvän suurelta osin myös oksaisuudeltaan heikkolaatuisiin runkoihin, mikä siirtää usein maksimioksaisen tukin hylkyluokkaan (taulukko 11). Ensimmäisen luokan osuus pysyy sen sijaan lähes muuttumattomana. Luonnonmänniköissä taas erot hyvien ja huonojen tyvitukkien vikaisuuksien määrissä eivät näytä olevan läheskään yhtä suuria. Runkoviat laskevat sekä viljely- että luonnonmänniköissä parhaiden, ensimmäisen ja toisen, laatuluokkien osuutta keskimäärin noin 10 %.

Kuvassa 6 nähdään koepuista valmistettujen tyvitukkien todelliset laatuluokat viljely- ja luonnonmänniköissä. Kuvien 5 ja 6 vertailu osoittaa, että vaikka sahattujen viljelymäntytukkien joukossa oli jonkin verran enemmän kolmannen luokan tukkeja kuin koealojen puustossa keskimäärin, koetukkien laatuluokat vastasivat keskimäärin verrattain hyvin pystypuiden tyvitukkien laatujakaumaa.

Tarkasteltaessa sahattavia tukkisumia yleensä havaitaan, että tukin laatu paranee, eli ensimmäisen ja toisen laatuluokan osuus nousee tukin latvaläpimitan kasvaessa tiettyyn pisteeseen asti, jonka jälkeen laatu alenee (HEISKANEN ja ASIKAINEN 1969). Laadun paraneminen on luonnollinen seuraus runkojen järeytymisen myötä tapahtuvasta oksien kylestymisestä (vrt. KÄRKKÄINEN 1980 a). Kaikkein jä-

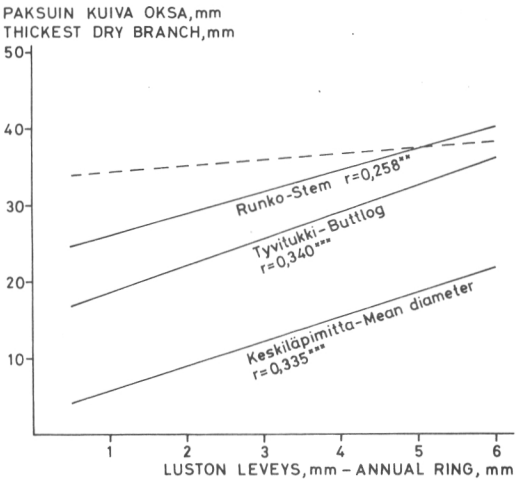


Kuva 6. Tyvitukkien jakautuminen laatuluokkiin todellisen luokituksen mukaan. R = hylky.

Fig. 6. Distribution of butt logs into quality classes according to real grading class. R = cull.

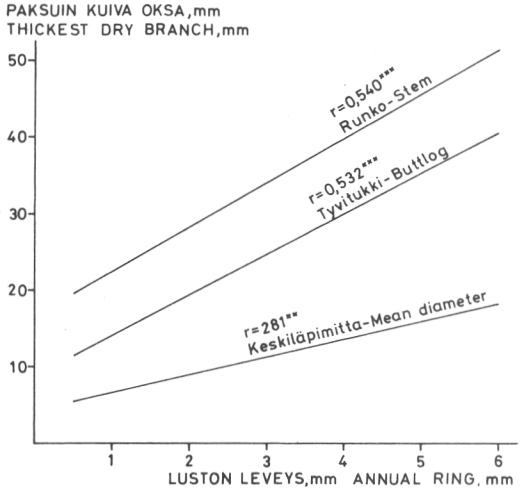
reimpien, huonolaatuisten tukkien joukkoon kuuluu kuitenkin ilmeisesti osittain nopeasti kasvaneista, huonosti karsiutuneista ja verrattain nuorista rungoista peräisin olevia tukkeja sekä toisaalta yli-ikäisistä rungoista saatuja tukkeja. Viljelymänniköiden laadultaan parhaat tukit saadaan keskimääräistä vanhemmista ja järeämmistä rungoista, mutta rungot ovat toisaalta usein myös toisen tai kolmannen latvuskerroksen hitaammin kasvaneita ja paremmin karsiutuneita runkoja (taulukko 6). Joka tapauksessa kasvunopeuden hidastumisen vaikutus laadun alenemiseen on selvästi nähtävissä esimerkiksi tarkastelemalla tukkirungon ja tyvitukin paksuimpia oksia ja luston leveyksiä erityisesti ytimen ympäristössä (kuvat 7 ja 8, taulukko 6).

Luonnonmänniköissä suunta on samankaltainen, mutta runkojen ikä- ja järeyserot hyvä- ja huonolaatuisia tukkeja antavien runkojen välillä ovat pienemmät. Luonnonmänniköissä siis useammin myös nuorempi ja pienikokoisempi runko voi olla hyvälaatuinen (taulukko 7).



Kuva 7. Rungon ja tyvitukin paksuimpien oksien läpimitan riippuvuus luston leveydestä ytimen ympäristössä. Viljelymänniköt. Katkoviiva = rungon paksuin kuiva oksa istutusmänniköissä.

Fig. 7. Correlation between the diameter of the thickest stem branches and butt log knots and annual ring width near the pith. Plantation-grown pine stands. Broken line = the thickest dry branch of a stem in planted pine stands.



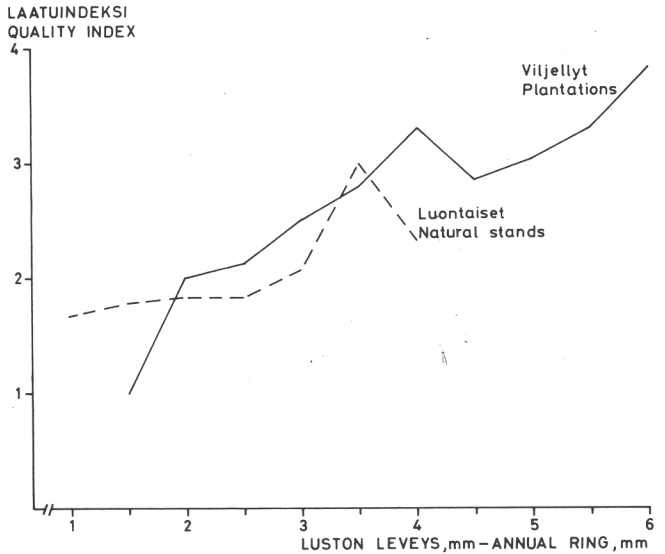
Kuva 8. Rungon ja tyvitukin paksuimpien oksien läpimitan riippuvuus luston leveydestä ytimen ympäristössä. Luonnonmänniköt.

Fig. 8. Correlation between the diameter of the thickest stem branches and butt log knots and annual ring width near the pith. Natural pine stands.

Taulukoiden perusteella havaitaan, että tukin laatu heikkenee myös lustojen levetessä ytimen ympäristössä. Pinnan lähellä kehittyneiden lustojen leveyden ja laadun välillä ei ole yhtä selvää riippuvuutta etenkään luonnonmänniköissä. Muista puun laatua kuvaavista tunnuksista puuaineen kuiva-tuoretiheyden kohoaminen parantaa jossakin määrin mutta kesäpuuprosentin nousu selvästi tukin laatua.

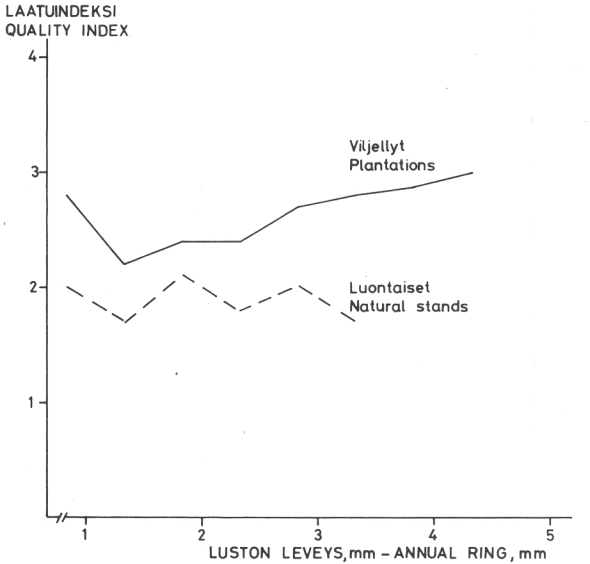
Luston leveyden kasvun eli puun paksuuskasvunopeuden vaikutus puun laadun heikkenemiseen on nähtävissä selvästi kuvista 9 ja 10, joissa esitetään tukin keskimääräisen laatuindeksin riippuvuus vuosiluston leveydestä tukin tyvessä. Tukin laatu heikkenee eli laatuindeksi nousee jyrkästi luston leveyden kasvaessa ytimen ympäristössä, kun taas puun pintaosien lustojen ja tukin laadun välinen korrelaatio on selvästi heikompi. Luonnonmänniköissä luston leveyksien muutokset puun pintaosissa eivät sen sijaan vaikuta enää lainkaan tukin laatuun, mikä johtuu pääasiassa siitä, että luston leveys ei sanottavasti muutu siirryttäessä ytimen ympäristöstä puun pintaosiin (s. 33). HEISKASEN (1965) saamat luston leveyttä ja tukin laatua koskevat tulokset ovat hyvin samankaltaiset. Hän toteaa kuitenkin, että leveiden lustojen kapeneminen vaikuttaa laatuun voimakkaammin kuin kapeissa lustoissa tapahtuvat muutokset. Osittain tästä syystä selvimmät muutokset puun laadussa tapahtuvat kolmen ja kahden mm:n vuosiluston paksuuksien välillä (HEISKANEN 1962). SIIMEKSEN (1962) mukaan mäntytukkien laadun kannalta on yleisoksaisuutta tärkeämpi suurin oksa, jonka koko kasvaa miltei suoraviivaisesti luston leveyden kasvaessa (vrt. kuvat 7 ja 8).

Tukin laadun heikkeneminen kasvunopeuden myötä johtuu viljelymäntyrungoissa osittain metsätyypin vaikutuksesta. Tukin laatu on heikko parhaimmilla sekä toisaalta hyvin heikoilla kasvupaikoilla kehittyneissä metsiköissä, jos ikätekijän vaikutus eliminoidaan.



Kuva 9. Tyvitukin laatuindeksin riippuvuus luston leveydestä ytimen ympäristössä.

Fig. 9. Correlation between the quality index of the butt log and annual ring width near the pith.



Kuva 10. Tyvitukin laatuindeksin riippuvuus luston leveydestä puun pintaosissa.

Fig. 10. Correlation between the quality index of the butt log and annual ring width in the outer parts of the log.

Taulukko 10. Tyvitukeista havaittujen vikojen yleisyys.
Table 10. Frequency of defects in butt logs.

Alkuperä Origin	Virheettömät rungot Defect-free stems	Vika tyvessä Defect in butt	Vika latvassa Defect in top end
	Mutka, % - Crook, %		
Viljelymänniköt Plantations	61	28	11
Luonnonmänniköt Natural stands	77	16	7
	Pystyoksa, % - Vertical branch, %		
Viljelymänniköt Plantations	90	7	3
Luonnonmänniköt Natural stands	95	-	5
	Lenkous, % - Sweep, %		
Viljelymänniköt Plantations	33	7	60
Luonnonmänniköt Natural stands	44	2	54

Taulukko 11. Vikojen yleisyys eri laatuluokan tukeissa.
Table 11. Frequency of defects in logs of the quality classes.

Laatuluokka Quality class	Viljelymänniköt - Plantations			Luonnonmänniköt - Natural stands		
	Virheettömät rungot Defect-free stems	Vika tyvessä Defect in butt	Vika rungossa Defect in stem	Virheettömät rungot Defect-free stems	Vika tyvessä Defect in butt	Vika rungossa Defect in stem
			Mutka, % - Crook, %			
1	66	11	23	72	14	13
2	45	33	22	61	23	17
3	47	21	32	69	12	20
			Lenkous, % - Sweep, %			
1	60	-	39	57	-	42
2	46	2	53	49	1	50
3	39	1	60	57	5	38
			Pystyoksa, % - Vertical branch, %			
1	98	2	-	97	-	2
2	93	3	4	96	-	3
3	82	2	17	92	2	6

4. KOESAHAUKSIA KOSKEVAT TULOKSET

41. Sahatavaran laatu

411. Vientisahatavaran mukainen lajittelu

Sahatavaran u/s-laadun osuus kasvaa ja heikompien laatujen osuus alenee tukin läpimitan kasvaessa (HEISKANEN ja ASIKAINEN 1969). Luonnonmänniköissä laadun paraneminen on ilmeisesti nopeampaa kuin viljelymänniköissä. Tulos on luonnollinen seuraus iän lisääntymisen ja järeytymisen aiheuttamasta oksien kylestymisestä ja tukin vikojen vähenemisestä ja häviämisestä. Ilmeisesti ylijäreytyminen aiheuttaisi kuitenkin jälleen laadun alenemista tietyn läpimittaluokan jälkeen, sillä hyvin järeät tukit ovat usein peräisin tavallista nopeakasvuisemmista ja siten heikkolaatuisemmista rungoista. Tähän viittaavat myös KÄRKKÄISEN (1980 b) saamat tulokset tiettyä aluetta koskevien mäntytukkien koesahausten tuloksista. Osa järeistä rungoista saattaa kuitenkin toisaalta olla myös peräisin yli-ikäisistä ja siten tavallista vikaisemmista rungoista, joissa erilaiset rakenneviat ja vioittumat kylestyvät hyvin hitaasti.

Edellinen johtopäätös lienee kuitenkin todennäköisempi, sillä jo tässä työssä aiemmin saatujen tulosten sekä HEISKASEN (1965) ja UUSVAARAN (1974) tulosten perusteella keskikokoiset rungot ovat yleensä laadultaan metsikön parhaita. Viljelymänniköissä varsinaista ylijäreytymistä tuskin pääsee yleensä tapahtumaankaan, sillä nopean kasvun ansiosta käytännössä sovellettavien kiertoaikojen voi ajatella muodostuvan nykyistä lyhyemmiksi.

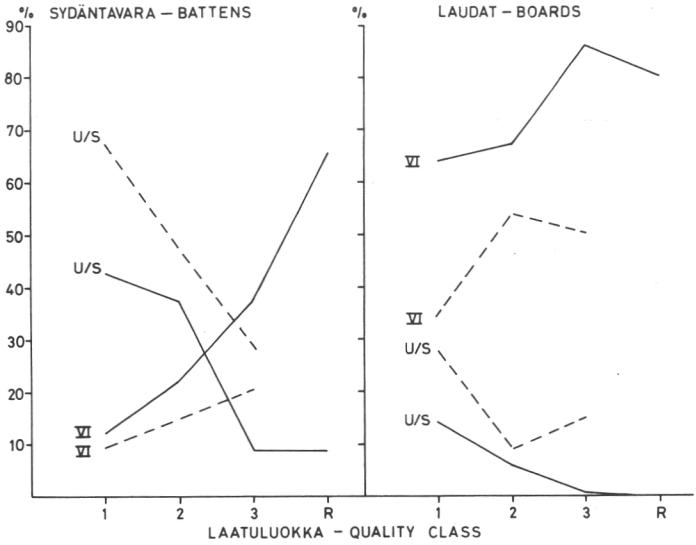
Tukin järeyden ja sahatavaran laadun väliset suhteet ovat myös erilaiset eri laatuluokan tukeissa. Vaikka suppeahko aineisto ei antanutkaan hyviä mahdollisuuksia asian tarkasteluun näytti siltä, että laadun parantuminen järeyden

myötä on sitä nopeampaa, mitä paremmasta tukin laatuluokasta on kysymys. Erityisesti pintalaudoissa oksien paksuus ja laatu ovat tärkeässä asemassa. Asiaa valaisee seuraava viljelymäntyaineistoon perustuva asetelma, jossa esitetään sahatavaran laatujakauman riippuvuus tyvitukin latvaläpimitasta toisen ja kolmannen laatuluokan tukeissa.

Latvaläpimitta, cm	Tukin laatuluokka 2 u/s	V	VI	Hylky	3 u/s	V	VI	Hylky
				Sydäntavara, %				
14	32	38	26	5	4	51	38	4
18	39	35	26	..	10	46	42	2
22	40	40	17	5	6	68	26	..
26	44	45	6	..	..	..	..	..
				Laudat, %				
14	3	17	75	4	..	..	..	..
18	7	24	66	3	..	12	88	..
22	5	28	67	..	10	10	84	7
26	..	..	..	..	..	..	..	..

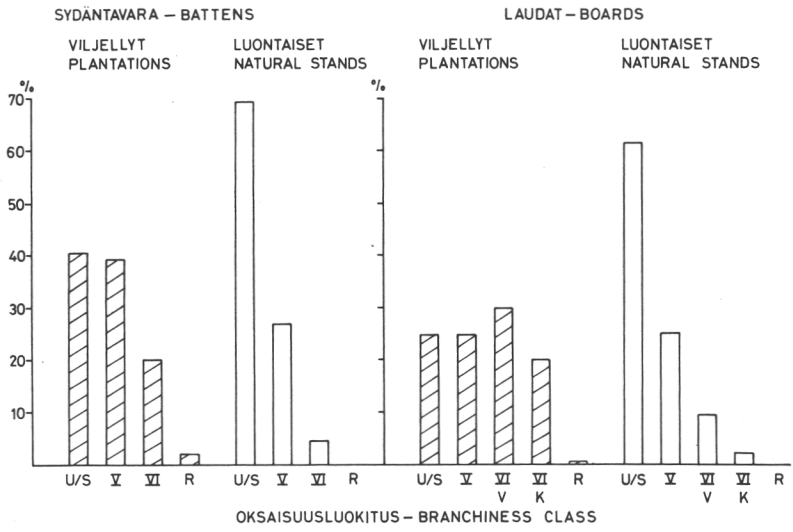
Asiaa voidaan tutkia myös tarkastelemalla millaista sahatavaraa saadaan erilaatuisista ulkoisten tuntomerkkien mukaan luokitelluista tukeista. Koesahaukset ovat osoittaneet, että tällaisten tunnusten perusteella voidaan keskimäärin melko tarkkaan ennustaa saatujen sahaustulosten laatujakaumat (SIIMES 1962). Yleensä hyviksi laatuluokitelluista tukeista saadaan pääasiassa hyvälaatuista sahatavaraa.

Hyvältä näyttävästä tukista voidaan kuitenkin saada myös huonolaatuista sahatavaraa, mutta vastaavasti huonosta tukista tuskin koskaan hyvää laatua. Jos ratkaistaan tukin laatu vain ulkoapäin havainnoiden, saatetaan määrätyn laatu-



Kuva 11. Sahatavaran u/s- ja sekstaprosentin riippuvuus tukin laatuluokasta. Katkoviiva = luonnonmänniköt. R = hylky.

Fig. 11. Correlation between the u/s and sixth grade percentages of sawn goods and the log quality class. Broken line = natural pine stands. R = cull.



Kuva 12. Sahatavaran jakautuminen laatuluokkiin oksaisuuden mukaan. Yhtenäiset pylväät = luonnonmänniköt. R = hylky, V = vientilaatu, K = kotimaan laatu.

Fig. 12. Distribution of sawn goods into quality classes according to knottiness. Unshaded columns = natural pine stands. R = cull, V = export quality, K = domestic quality.

luokan tukeista saada erilaisia laatujakaumia, jos ne koesahataan.

Kuvan 11 mukaan voidaan havaita, että tietyn laatuluokan viljelymäntytukki antoi vähemmän u/s-luokan mutta enemmän heikompien laatuluokkien sahatavaraa kuin samanarvoiseksi luokiteltu luontaista alkuperää oleva tukki. Laatuluokkien osuudet on laskettu sahatavaratilavuudesta. Erot ovat sitä suuremmat, mitä parempilaatuiset tukit ovat kysymyksessä, ja sydäntavaran sisältämän u/s-laadun määrälliset erot ovat suuremmat kuin vastaavat laudoista saatavat laatuerot. Kvinttalaadun suhteelliset osuudet eri laatuluokissa pysyvät sen sijaan melko vähäisinä. Viljelymäntyrungot näyttävät siis muodostavan poikkeukselisen sahapuuryhmän, jossa laatuluokitusohjeiden mukainen sahapuulaatu on ristiriidassa jalosteen laadun kanssa. Tukkien laatuluokitus viljelymänniköissä antaa sitä virheellisemmän kuvan todellisesta laadusta mitä vanhempi metsikkö on, ja toisaalta mitä nopeakasvuisempi ja heikkolaatuisempi se on ollut nuorena. Tosin tyvitukit ovat tässä suhteessa erikoisasemassa verrattuna rungon muihin tukkeihin, joissa sisäinen laatu on todettavissa paljon paremmin ulkoisten tuntomerkkien perusteella.

Nyt tehdyissä laskelmissa on kuitenkin jätetty huomioon ottamatta u/s-laatuluokan sisäinen jakauma, jolla on eräissä tapauksissa merkitystä sahatavarakaupassa, vaikkakin luokan alaryhmät tavallisesti hinnoitellaan yhtäläisesti. Parhaan laatuluokan tukeista saadaan luonnonmänniköissä nimittäin valtalaatuna tertiaa ja toisen luokan tukeista kvarttaa (HEISKANEN ja SIIMES 1959). Näin ollen myöskään saadut u/s-jakaumat eivät ole täysin verrattavissa toisiinsa. Voidaan nimittäin olettaa, että viljelymänniköiden tukeista saatu u/s-laatu sisältää pääasiassa heikoimpia tertia- ja kvarttalaatuja ja se vastaa siten luonnonmänniköiden lähinnä toisen laatuluokan tukeista saatua sahatavaraa.

Sahatavaran laatu määräytyy pääasiassa oksaisuuden perusteella, joka on tärkein sahatavaran rakennevioista. HEISKANEN (1954 a) on tutkimuksessaan osoittanut, että tukin laatua määräävistä tekijöistä oksaisuuden osuus on 81 % ja loput tulevat vikojen, lähinnä lenkouden ja mutkaisuuden osalle. HEISKASEN ja SIIMEKSEN (1959) tutkimuksissa todettiin, että kaikissa tukkien läpimitta- ja oksaisuusluokissa pääasiassa oksaisuus on vienyt sahatavaraa sekstaluokkaan. Edellä mainitut tutkimukset koskevat kuitenkin pelkästään luonnonmänniköitä. Uudet tutkimukset antavat kuitenkin viitteitä siitä, että rungon muotovikojen merkitys männiköiden laatuun vaikuttavana tekijänä kasvaa tulevaisuudessa (UUSVAARA 1981 a, 1981 b, VARMOLA 1980).

Oksaisuus voidaan ilmaista oksien laatuna, oksien kokona ja määränä sekä niiden sijoittumisena sahatavarakappaleessa. Viljely- ja luonnonmänniköistä saadun sahatavaran laatueroja voidaan siten hyvin tarkastella pelkästään oksaisuuden perusteella, jolloin seuraava huomattava laatutekijä, valmistusviat, jää huomioon ottamatta.

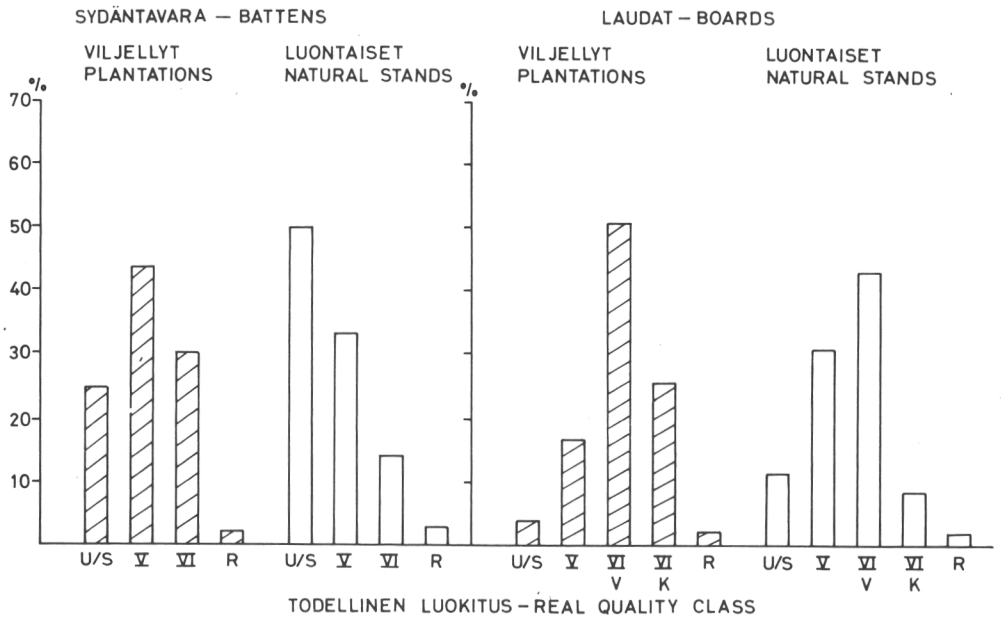
Huomattavin ero viljely- ja luonnonmetsiköistä peräisin olevaa sahatavaraa verrattaessa on u/s-luokan vähyys viljelymänniköiden tyvitukeista valmistetussa sahatavarassa, kun se taas on valtalaatuna luonnonmäntysahatavarassa (kuva 12). Parhaan laatuluokan sydäntavarakappaleita saadaan viljelymänniköistä peräisin olevasta materiaalista lähes 30 % vähemmän sahatavaran tilavuudesta laskettuna kuin luonnonmänniköistä, mutta laudoissa ero on vielä suurempi. Tulos kuvastaa paitsi luonnonmänniköiden oksien pienempää kokoa myös niiden parempaa kylestymistä. Toisaalta sydäntavaran sisältämän kvintta- ja etenkin sekstalaadun osuus on viljelyrungoista saadussa sahatavarassa suurempi kuin luonnonmänniköiden sahatavarassa. Aineistojen väliset erot pienenevät lautoja tarkasteltaessa.

Kun sahatavaran laatua tarkastellaan todellisen luokituksen mukaan, jolloin otetaan huomioon myös muut puun rakenneviat sekä sahaustekniikasta johtuvat viat, laatujakaumien suunta on sama; parhaan laadun osuus viljelymänniköistä peräisin olevassa sahatavarassa on pienempi ja toisaalta sekstalaadun ja sydäntavarassa myös kvinttalaadun osuus suurempi kuin luonnonmäntytukeista saadussa sahatavarassa (kuva 13). Luonnonmäntyrungoista sahatuissa laudoissa kasvaa kuitenkin myös heikoimpien laatujen, erityisesti vientilaatuisen pintalaudan osuus voimakkaasti, samalla kun u/s-laudan osuus vähenee. Suurimmat erot kahdesta eri tutkimusaineistosta saadussa sahatavarassa vallitsivat siis u/s-laatujen sekä heikompiluokkaisten pintalautalaatujen välillä (kuva 13).

GRANVIK (1967) sai kenttäpyörösahauksessa sydäntavaran laatujakaumaksi: u/s 32,8 %, kvintta 12,1 %, seksta 24,7 % ja hylky 2,3 % kun hyötysuhde oli 72,3 %. Jakauma vastaa hyvin tässä työssä luonnonmäntyrungoista saatua sahatavaran laatujakaumaa.

Paitsi että u/s-laadun sisäinen jakauma on jätetty huomioon ottamatta, myös erot tukkien kokojakaumassa vaikeuttavat jonkin verran kummankin tutkimusaineiston keskinäistä vertailua. Koska viljelymäntyaineisto sisälsi jonkin verran enemmän toisaalta pieniläpimittaisia ja toisaalta suuriläpimittaisia tukkeja kuin luonnonmäntyaineisto (kuva 26), oli viljelytukeista tehty sahatavara mahdollisesti jonkin verran vajaasärmäisempää. Ero ei kuitenkaan voi olla suuri.

Vajaasärmä oli luonnollisestikin ylivoimaisesti yleisin syy sahatavarakappaleen laadun alenemiseen. Seuraava asetelma osoittaa, että varsinaisista laatuvioista oksaisuus oli muodossa tai toisessa pääasiallinen syy viljelymännyistä saadun sahatavaran heikompaan laatuun. Ryhmä "vajaasärmä ja muu" kuvaa vikayhdistelmää, jossa kuitenkin oksaisuus oli



Kuva 13. Sahatavaran jakautuminen laatuluokkiin todellisen luokituksen mukaan. Yhtenäiset pylväät = luonnonmänniköt. R = hylky, V = vientilaatu, K = kotimaan laatu.

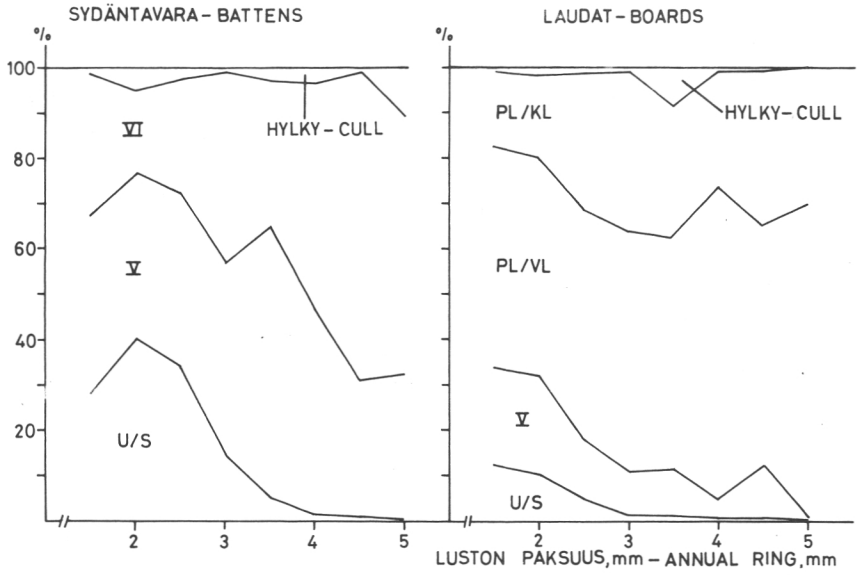
Fig. 13. Distribution of sawn goods into quality classes according to real quality grading. Unshaded columns = natural pine stands. R = cull, V = export quality, K = domestic quality.

useimmin vajaasärmän ohella pääasiallisena syynä laadun alenemiseen.

Laadun aleneman syy	Viljelymänniköt		Luonnonmänniköt	
	Sydäntavara	Laudat	Sydäntavara	Laudat
		%		
Vajaasärmä	25,4	44,0	38,5	70,1
Vajaasärmä ja muu	15,2	23,6	11,9	12,1
Laho-oksa	3,0	0,5	1,5	0,3
Kuorioksa	1,5	0,8	0,0	0,0
Kuivaoksa	0,0	0,5	0,0	0,6
Oksan koko	3,0	3,3	1,5	0,9
Syrjäoksa	17,8	6,3	19,3	5,6
Yleisoksaisuus	33,3	20,1	20,7	8,9
Muu	0,9	1,0	6,7	1,7

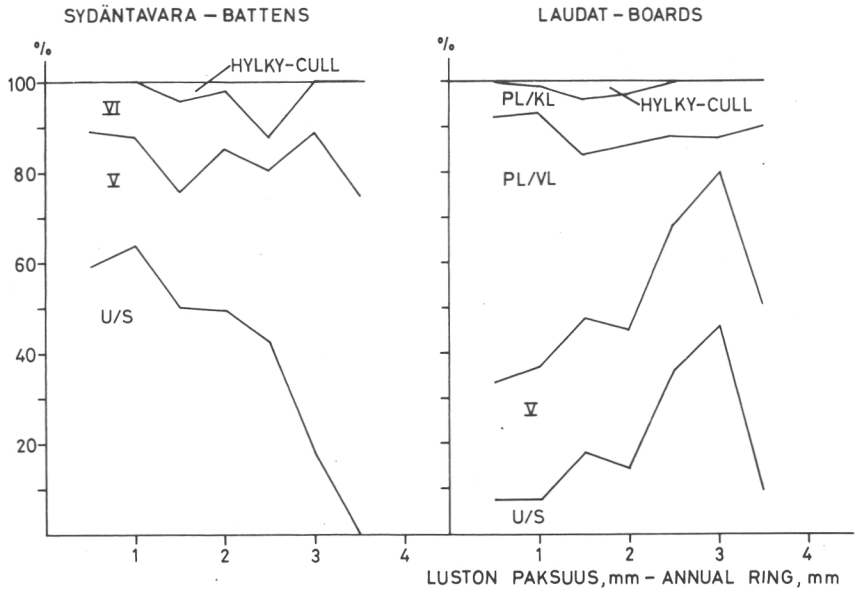
Vuosiluston kehityksellä tyvitukin tyvipäässä oli aikaisemmin merkitystä laatuluokituskriteerinä käytännön puutavaran mittauksessa. Havaintopaikan sijainti johtui vaivattomuudesta, jolla puun luston paksuus voitiin todeta puuta muuten katkomatta sekä siitä, että puun kasvunopeus ja elinvoimaisuus voitiin näin todeta heti kehityksen alkuvaiheista lähtien. Vaikka rungon paksut oksat olisivatkin ehtineet kylestyä puun sisälle näkymättömiin, antavat tyvileikkauksen ytimen läheisten lustojen paksuus viitteen puun nuoruusajan kasvunopeudesta.

Edellä todettiin, että saman luokan viljelymäntytukista saadaan huonompia sahatavaran laatujakaumia kuin vastaavan arvoisiksi luokitelluista luonnonmäntytukeista. Epäilemättä tämä johtuu useimmissa tapauksissa luonnontaimistojen hitaasta alkukehityksestä ja paksuuskasvusta etenkin rungon tyviosassa. Ero ei selity kuitenkaan täysin tällä, sillä myös samassa kasvunopeudessa eli luston paksuuden ollessa ytimen ympäristössä sama saatiin luonnonmäntyrungoista parempi sahatavaran laatujakauma (kuvat 14 ja 15). Tämä



Kuva 14. Sahatavaran laatujakauman riippuvuus luston leveydestä ytimen ympäristössä. Viljelymänniköt. PL/VL = pintalauta vientilaatu, PL/KL = pintalauta kotimaan laatu.

Fig. 14. Correlation between the sawn goods quality distribution and the annual ring width near the pith. Pine plantations. PL/VL = side board export quality, PL/KL = side board domestic quality.

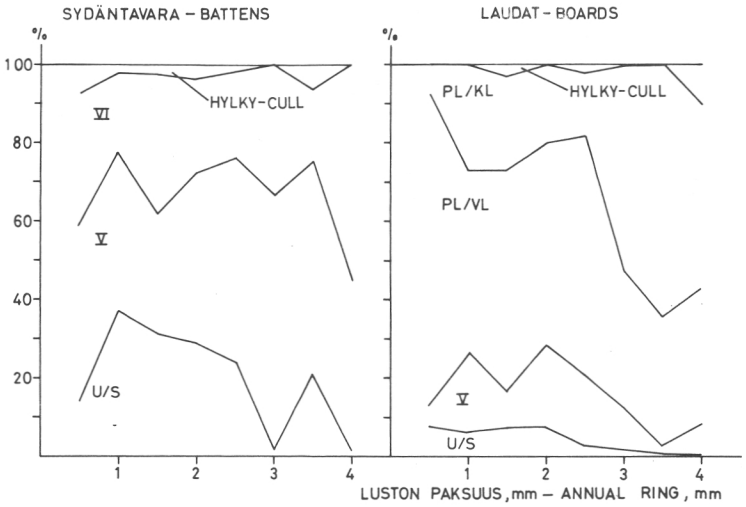


Kuva 15. Sahatavaran laatujakauman riippuvuus luston leveydestä ytimen ympäristössä. Luonnonmänniköt. PL/VL = pintalauta vientilaatu, PL/KL = pintalauta kotimaan laatu.

Fig. 15. Correlation between the sawn goods quality distribution and the annual ring width near the pith. Natural pine stands. PL/VL = side board export quality, PL/KL = side board domestic quality.

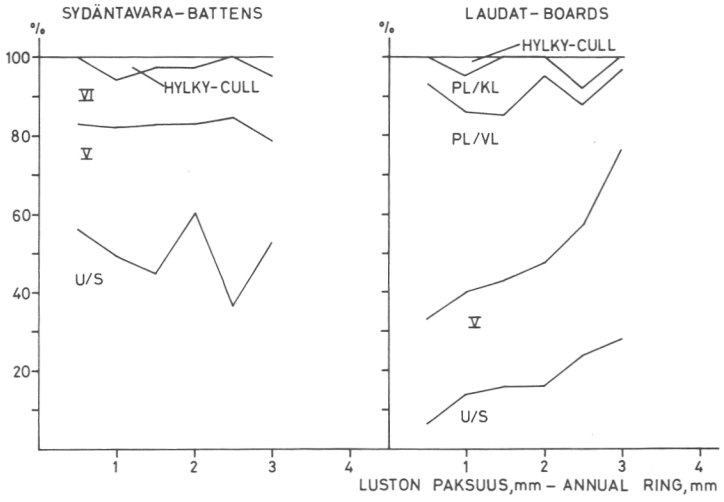
johtuu ilmeisesti osaksi siitä, että luonnonmänniköiden ohutlustoiset puut ovat kuuluneet kehityksensä alkuvaiheissa hidaskasvuisten valtapuiden joukkoon, kun taas viljelymänniköissä ohuet lustot ovat osittain peräisin vallittujen, kehityksessä jälkeen jääneiden latvuskerrosten rungoista. Eroja aiheuttavat ilmeisesti myös perintötekijät sekä erilaiset ympäristötekijät.

Luston paksuuden vaikutus soirojen ja lankkujen laatujakaumiin on kumpaakin alkuperää olevissa metsiköissä samanlainen. Sydäntavarakappaleiden u/s-osuus on korkeimmillaan viljelymänniköistä saadussa sahatavarassa noin kahden mm:n ja luonnonmänniköistä peräisin olevassa sahatavarassa noin yhden mm:n luston leveydellä, jonka jälkeen laatu laskee jyrkästi. Kun luston leveys ytimen ympäristössä nousee 3,5 mm:iin, ei u/s-sahatavaraa enää saada juuri lainkaan. Myös poikkeuksellisen alhaisten luston leveyksien (0,5 - 1,5 mm) ollessa kysymyksessä u/s-laadun osuus vähenee. Viljelymäntyrunkojen ytimen ympäristön kasvunopeus näyttää vaikuttavan samansuuntaisesti myös lautojen laadun kehitykseen, kun taas luonnonmänniköissä pintalautojen laatu päinvastoin nousee paksuuskehityksen ollessa nopeaa puun nuoruusaikana. Samanlainen yhteys on havaittavissa luonnonmänniköissä myös tukin pintaosien luston leveyden ja lautojen laadun välillä. Lautojen laatujakauma on parhaimmillaan noin 3 mm:n luston leveydessä puun pintaosissa. Tulos on ymmärrettävissä siten, että puun pintaosissa luston leveneminen ja kasvunopeuden lisääntyminen merkitsee oksien parempaa kylestymistä ja laadun kohoamista. Yleensä runkojen pintaosien luston leveyden ja sahatavaran laadun välillä ei ole kuitenkaan enää havaittavissa voimakasta korrelaatiota (kuvat 16 ja 17). Myös rungon pintaosien lustoja tarkasteltaessa havaitaan kuitenkin sama ilmiö kuin edellä; samassa luston leveydessä saadaan luonnonmännyistä arvokkaampaa sahatavaraa kuin viljelyrungoista.



Kuva 16. Sahatavaran laatujakauman riippuvuus luston leveydestä tukin pintaosissa. Viljelymänniköt. PL/VL = pintalauta vientilaatu, PL/KL = pintalauta kotimaan laatu.

Fig. 16. Correlation between the sawn goods quality distribution and annual ring width in the outer parts of the log. Pine plantations. PL/VL = side board export quality, PL/KL = side board domestic quality.



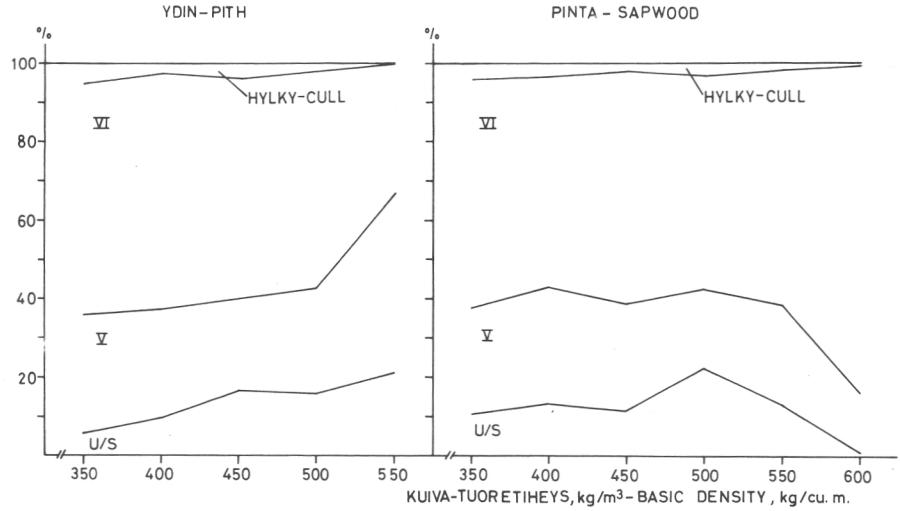
Kuva 17. Sahatavaran laatujakauman riippuvuus luston leveydestä tukin pintaosissa. Luonnonmänniköt. PL/VL = pintalauta vientilaatu, PL/KL = pintalauta kotimaan laatu.

Fig. 17. Correlation between the sawn goods quality distribution and the annual ring width in the outer parts of the log. Natural pine stands. PL/VL = side board export quality, PL/KL = side board domestic quality.

Myös puuaineen kuiva-tuoretiheyden ja sahatavaran laadun välisellä tarkastelulla on oma mielenkiintonsa, sillä puuaineen suuren tiheyden ja mekaanisen lujuuden välillä tiedetään vallitsevan selvä riippuvuus (mm. SIIMES 1967). Luonnonmänniköissä rungon puuaineen tiheys nousee rungossa iän mukana (HAKKILA 1966), mutta viljelymänniköissä riippuvuus on heikompi (UUSVAARA 1974). Myöskään käsillä olevan tutkimuksen mukaan viljelymänniköiden nuoruusaikana syntyneen ja toisaalta puun pintaosien puuaineen kuiva-tuoretiheyden välillä ei ole suurta eroa (taulukko 6). Luonnonmäntyrunkojen luston leveys ytimen lähellä on keskimäärin sama kuin puun pintaosissakin, vaikka kuiva-tuoretiheys nouseekin pintaa kohti merkittävästi. Puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelut eivät siis tässä yhteydessä näyttäneet liittyvän luston leveyteen. Myöskään sahatavaran laatujakauma ei näytä paljon riippuvan kuiva-tuoretiheydestä (kuvat 18 - 19). Viljelymänniköissä havaitaan kuitenkin heikko parhaiden sahatavaralaatujen osuuden kohoaminen ytimen ympäristön puuaineen kuiva-tuoretiheyden kasvaessa.

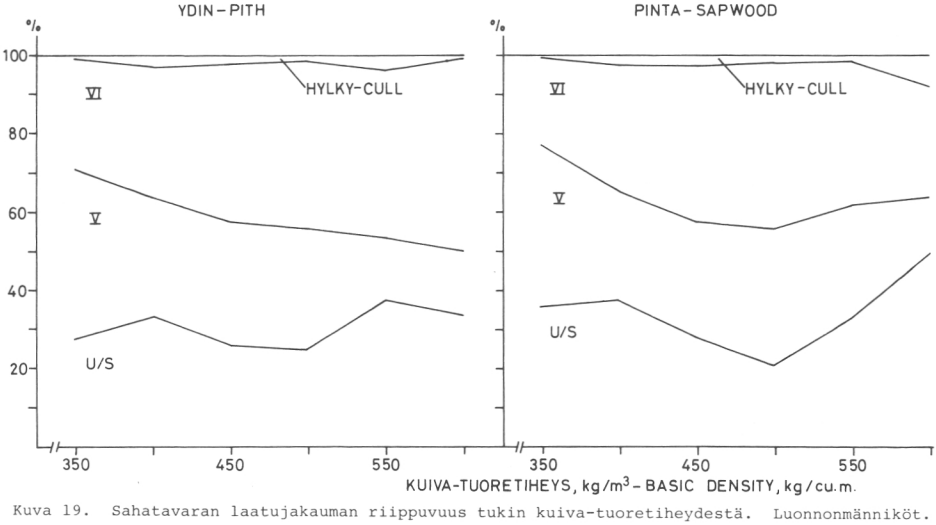
Tekijän aikaisemmassa työssä tutkittiin erilaisten puun laatua kuvaavien tunnusten välisiä suhteita ja pyrittiin kuvaamaan puun laatua tiettyjen selitettäviksi muuttujiksi valittujen tunnusten avulla (UUSVAARA 1974). Puun mittasuhteita kuvaavien tunnuslukujen ohella kasvunopeus osoittautui jossakin muodossa hyväksi laadunvaihteluiden selittäjäksi. Luston leveys ei tuolloin ollut erityisen käyttökelpoinen tunnus, sillä se oli määritetty rungon koko elinaikaisena keskiarvona.

Tyvitukin ja myös mäntyrungon arvoa yleensä voidaan kuvata tyvitukin sisältämän u/s-sahatavaran määrällä, sillä muun rungonosan alueelta saatava u/s-osuus on siihen verrattuna hyvin vähäinen. Luonnonmänniköiden u/s-prosentin vaihteluiden parhaiksi selittäjiksi osoittautuivat tyvitukin todellinen laatuluokka ja kuiva-tuoretiheys sekä luston leveys



Kuva 18. Sahatavaran laatujakauman riippuvuus tukin kuiva-tuoretiheydestä. Viljelymänniköt.

Fig. 18. Correlation between the sawn goods quality distribution and the basic density of the log. Pine plantations.



Kuva 19. Sahatavaran laatujakauman riippuvuus tukin kuiva-tuoretiheydestä. Luonnonmänniköt.

Fig. 19. Correlation between the sawn goods quality distribution and the basic density of the log. Natural pine stands.

ytimen ympäristössä. Laatuluokan merkitys selittävänä tekijänä on itsestään selvä, koska sahatavaran laatu riippuu yleensä suoraan tukin laadusta. Viljelymänniköissä parhaita selittäjiä ovat sen sijaan alimman täyden oksakiehkuran korkeus maan pinnasta sekä luston paksuus ytimen ympäristössä.

Valikoivalla regressioanalyysillä voidaan tyvitukista saadun sahatavaran u/s-prosentin vaihtelua selittää parhaiten seuraavilla yhtälöillä.

Viljelymänniköt

$$y = 17{,}257 + 0{,}516x_{20} - 0{,}462x_{25}$$

$R^2 = 29{,}8$

$F = 28{,}4$

$DF = 134$

y = Sahatavaran u/s-prosentti

Muuttuja	t-arvo
x_{20}	5.3
x_{25}	-2.2

Luonnonmänniköt

$$y = 89{,}446 - 7{,}609x_{17} - 0{,}142x_{23} + 19{,}717 \cdot x_{14}/x_7 - 0{,}031(x_{25})^2 + 0{,}028(x_{26})^2$$

$R^2 = 28{,}3$

$F = 7{,}81$

$DF = 7{,}81$

y = Sahatavaran u/s-prosentti

Muuttuja	t-arvo
x_{17}	-2.2
x_{23}	-2.5
x_{14}/x_7	-2.4
$(x_{25})^2$	-3.3
$(x_{26})^2$	-2.8

Selitysprosentti jää kuitenkin alhaiseksi, sillä edellä mainitut yhtälöt selittivät viljelymänniköissä vain 30 % ja luonnonmänniköissä 28 % u/s-prosentin kokonaisvaihtelusta. Alhainen selitysprosentti johtuu osittain selitettävän muuttujan luonteesta sekä muista asiaan vaikuttavista tekijöistä, esimerkiksi sahaustekniikan vaikutuksesta laatuun. Edellä mainittujen muuttujien ohella eräitä muita parhaiten korreloivia muuttujia olivat seuraavat.

Viljelymänniköt		Luonnonmänniköt	
Muuttuja	r	Muuttuja	r
$(x_{20})^2$	-0,155	$(x_{28})^2$	0,178
x_{16}	-0,134	x_{28}	0,174
x_2/x_{30}	0,101	x_{20}	0,164
		$(x_{20})^2$	0,147
		x_{32}	0,117

Kun tyvitukin laatua ei oteta huomioon selittävänä muuttujana, saadaan regressioanalyysissä parhaiksi selittäjiksi viljelymänniköissä jälleen ensimmäisen täyden oksakiehkuran korkeus ja luston leveys ytimestä 75 mm:n matkalla. Yhtälö kuvaa toisaalta rungon karsiutuneisuuden ja toisaalta puun hitaan nuoruuskehityksen merkitystä sahatavaran laatuun. Luonnonmänniköissä parhaita selittäjiä ovat oksakiehkuran korkeuden lisäksi ytimen läheinen kuiva-tuoretiheys sekä vuosiluston paksuus puun ytimen lähellä. Selitysprosentit ovat 29 % viljelymänniköissä ja 30 % luonnonmänniköissä u/s-prosentin kokonaisvaihtelusta. Nyt saadaan seuraavat yhtälöt.

Viljelymänniköt

$y = 17,654 + 0,507x_{20} - 0,474x_{25}$

	Muuttuja	t-arvo
$R^2 = 29,3$	x_{20}	5.3
$F = 28,0$	x_{25}	-2.2
DF = 135		
y = Sahatavaran u/s-prosentti		

Luonnonmänniköt

$y = 63,096 + 0,296x_{20} - 0,153x_{23} + 20,769 \cdot x_{14}/x_7 - 0,027(x_{25})^2 + 0,029(x_{26})^2$

	Muuttuja	t-arvo
$R^2 = 29,5$	x_{20}	2.6
$F = 8,3$	x_{23}	-2.8
DF = 99	x_{14}/x_7	2.5
y = Sahatavaran u/s-prosentti	$(x_{25})^2$	-2.9
	$(x_{26})^2$	2.9

Muita parhaan korrelaation saaneita muuttujia ovat seuraavat.

Viljelymänniköt		Luonnonmänniköt	
Muuttuja	r	Muuttuja	r
x_2	-0,142	$(x_{28})^2$	0,170
x_{24}	-0,111	x_{28}	0,166
x_2/x_{30}	0,101	$(x_{23})^2$	0,122

HEISKASEN (1965) mukaan u/s-luokan osuus kaikkien läpimittaluokkien rungoissa on sitä pitempi ja kvinttaluokan osuus sitä lyhyempi, mitä pienempi on vuosiluston paksuus ytimen ympäristössä. Hitaasti kasvaneissa puissa u/s-osuus on verraten lyhyt, ja se pitenee vuosiluston suuretessa ja lyhenee jälleen nopeimmin kasvaneissa puissa. Puuston kasvatus harvana aiheuttaa näin ollen myös sahaustuloksen laadun yleisen heikkenemisen. HEISKASEN (1954 b) mukaan sahaustuloksen keskimääräinen laatu on huonompi kuin 4.0, kun luston leveys pienenee 2,4 mm:iin, eli edellä mainittua luston leveyttä nopeampikasvuisemmat rungot tuottavat pääasiassa kvintta- ja sekstalaatuista sahatavaraa. Laatuindeksi 4.0 tarkoittaa edellä mainitussa tutkimuksessa u/s-luokan alaryhmää kvartta. Näin ollen 1. laatuluokan tukkeihin ei saisi hyväksyä edellä mainittua leveämpilustoisia tukkeja. Tutkimusten perusteella tehtiin johtopäätös, että laatupuun kannalta ja jotta edellä mainittua luston leveyttä ei ylitettäisi, olisi suosittava metsikön kasvattamista tiheänä 8 - 10 cm:n tyviläpimittaan asti.

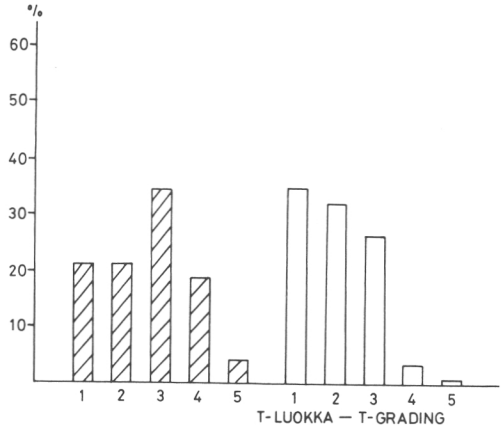
KÄRKKÄINEN (1980 a, 1980 b) pyrki arvioimaan mäntyleimikon sahaustuloksen arvoa erilaisten mitattavien rungon ulkoisten tekijöiden avulla. U/s-prosenttia selittivät par-

haiten alin kuiva oksa, latvussuhde ja tyvitukin laatuluokka. Mäntytukkien arvo todettiin voitavan arvioida kahdella mitattavalla suureella, nimittäin rungon rinnankorkeusläpimitalla ja etäisyydellä alimpaan kuivaan oksaan. PERSSON (1976) analysoi erilaisten laatua kuvaavien muuttujien merkitystä mäntytyvitukeista saadun sydäntavaran laatuindeksin kannalta istutusmänniköissä, ja totesi istutustiheyden ja luston leveyden 2 - 4 cm:n matkalla ytimestä antavan korkeimmat korrelaatiot. Myös oksan paksuudella oli analyysissä hyvä selitysarvo. Tutkittaessa alkuperäisen istutustiheyden vaikutusta sahatavaran laatujakaumaan todettiin istutusvälin 0,75 m antavan u/s-laatua noin 45 %, kun taas 3,0 m:n istutusvälillä u/s-sahatavaraa ei saatu lainkaan (PERSSON 1976). Istutusmänniköissä ei u/s-sahatavaraa saatu myöskään käytettäessä 1,5 m istutusväliä, kun taas vastaava tiheys tuotti kylväaloilla noin 35 % u/s-sahatavaraa.

412. Lujuuslajittelu

Lujuuslajittelun tehtävänä on jakaa sahattu puutavara visuaalisin luokitteluin tai mekaanisin menetelmin eri lujuusluokkiin. Lujuusluokittelu koskee lähinnä rakennussahatavaraa, jolle on asetettava eräitä lujuutta koskevia vähimmäisvaatimuksia varsinkin milloin sitä käytetään kantavissa rakenteissa.

Silmävarainen lujuuslajittelu tehtiin käsillä olevassa tutkimuksessa T- ja LT-luokituksen mukaisesti ensi vaiheessa oksaisuusluokitusta käyttämällä eli pelkästään oksien määrän, koon ja sijainnin perusteella. Oksat näet vaikuttavat eri vioista yleensä voimakkaimmin sahatavarakappaleen lujuusominaisuuksiin. Kuvasta 20 nähdään sahatavaran jakautuminen lujuusluokkiin silmävaraisen, pelkästään oksien perusteella tapahtuneen arvioinnin mukaan. Pääosa viljelymän-



Kuva 20. Sahatavaran jakautuminen lujuusluokkiin oksaisuuden perusteella. Silmävarainen arviointi. (1=T40, 2=T30, 3=T24, 4=T18, 5=hylky). Yhtenäiset pylväät = luonnonmänniköt.

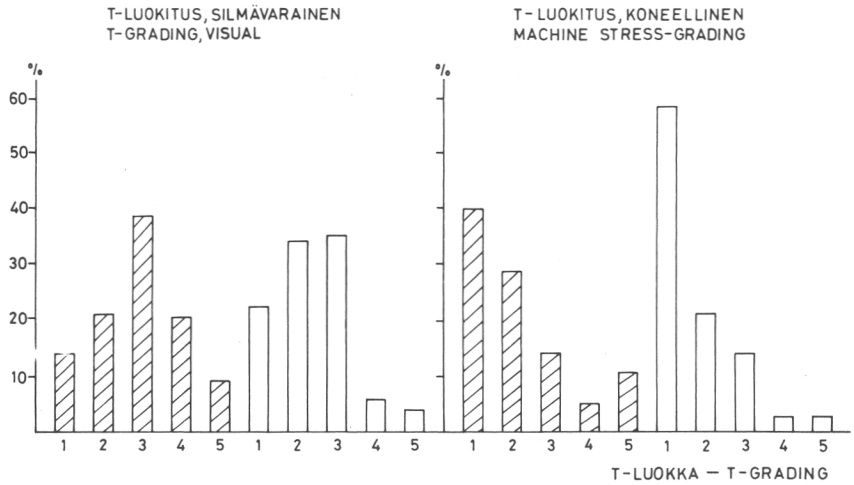
Fig. 20. Distribution of sawn goods into strength classes according to knottiness. Visual stress grading. (1=T40, 2=T30, 3=T24, 4=T18, 5=cull). Unshaded columns = natural pine stands.

niköistä peräisin olevasta sahatavarasta keskittyy lujuusluokkaan T24 ja luontaisessa aineistossa parhaaseen laatuluokkaan T40. Viljelymännikköaineiston lujuusluokkajakauma on edellä mainittua luokkaa lukuun ottamatta varsin tasainen, kun taas luontaisessa aineistossa jakauma on vino, eli eri luokkien prosenttiset osuudet pienenevät heikompia laatuluokkia kohti.

Todellisessa T-luokituksessa, jolloin kaikki asiaan vaikuttavat tekijät otettiin huomioon, keskittyy viljelymännikköaineisto edelleen selvästi lujuusluokkaan T24, kun taas parhaan luokan osuus vähenee samanaikaisesti (kuva 21). Myös luonnonrungoista peräisin olevassa sahatavarassa lujuusjakauma muuttuu samaan suuntaan, vaikkakin parhaisiin luokkiin kuuluvien kappaleiden osuus on edelleen korkeampi kuin viljelyrunkoaineistossa.

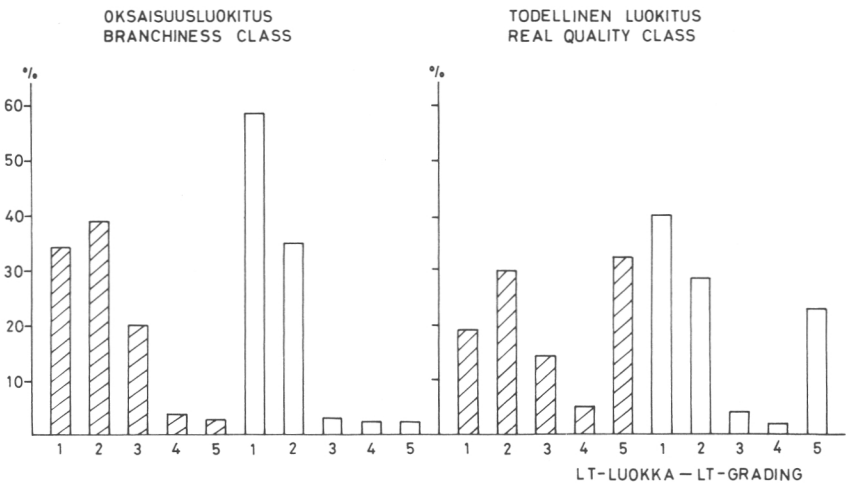
Pelkästään oksaisuuden tarkasteluun perustuvassa LT-luokituksessa aineisto keskittyy T-luokitusta voimakkaammin parhaisiin lujuusluokkiin LT40 ja LT30, mikä johtuu T-luokituksen huomattavasti ankarammasta suhtautumisesta oksien kokoon sekä kappaleen syrjällä että lappeella (kuva 22). Todelliseen luokitukseen siirryttäessä hylätyksi joutuvien kappaleiden määrä kasvaa voimakkaasti sekä varsinaisessa että vertailuaineistossa. Tähän vaikuttaa ilmeisesti suurelta osin vajaasärmän esiintyminen, jota sallitaan T-luokituksessa kappaleen syrjässä 1/4 sen paksuudesta, mutta LT-luokituksessa vain 1/10 kappaleen paksuudesta (RIL 120, 1978).

Koska koneellinen T-luokitus perustuu kappaletta taivuttamalla saatuihin lujuusarvoihin, menetelmä antaa virheellisiä tuloksia, mikäli sahatavarakappaleiden mittatarkkuus vaihtelee. Erityisesti kenttäpyörösahauksessa syntyy kappaleiden paksuusvaihteluita tukin keskittämismenetelmän heikkouksien vuoksi. GRANVIK (1967) mainitseekin, että



Kuva 21. Sahatavaran jakautuminen lujuusluokkiin todellisen, silmävaraisen ja koneellisen luokituksen perusteella (1=T40 2=T30, 3=T24. 4=T18, 5=hylky). Yhtenäiset pylväät = luonnonmänniköt.

Fig. 21. Distribution of sawn goods into strength classes according to real, visual and machine stress grading (1=T40, 2=T30, 3=T24, 4=T18, 5=cull). Unshaded columns = natural pine stands.



Kuva 22. Sahatavaran jakautuminen lamelliluokkiin silmävaraisen oksaisuusluokituksen ja todellisen luokituksen perusteella (1=LT40, 2=LT30, 3=LT24, 4=LT18, 5=hylky). Yhtenäiset pylväät = luonnonmänniköt.

Fig. 22. Distribution of sawn goods into glue-laminated classes according to visual knottiness grading and real grading (1=LT40, 2=LT30, 3=LT24, 4=LT18, 5=cull). Unshaded columns = natural pine stands.

kenttäpyörösahauksessa saatu sahatavara on yleensä päistään ohuempaa kuin keskeltä ja epämittaisuus on suurempi paloitteen alku- kuin loppupäässä. Lisäksi tavara on usein jonkin verran kiilamaista.

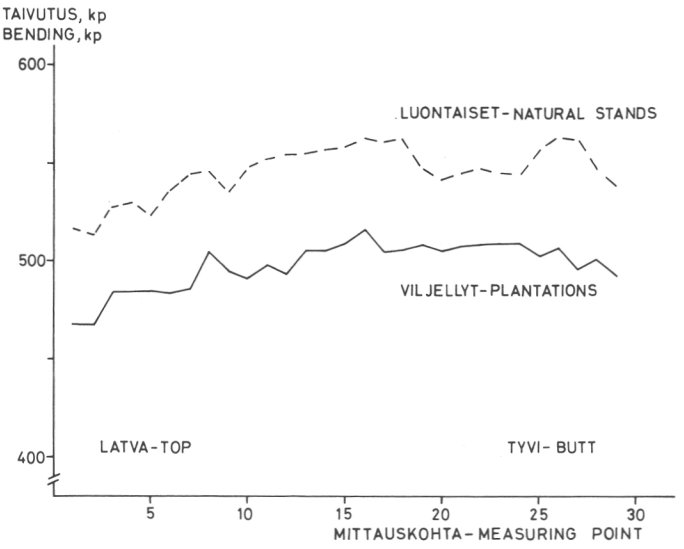
Mikäli ylimitan suuruus oli yli 1 mm, virheelliset taivutusvoimat ja niiden antamat lujuusluokat korjattiin oheisessa tutkimuksessa seuraavalla kaavalla.

$$k_v = \frac{t_v}{(\frac{d_m}{d_n+1})^3}$$

k_v = korjattu voima, kp
t_v = taivutusvoima, kp
d_m = mitattu paksuus
d_n = nimellispaksuus

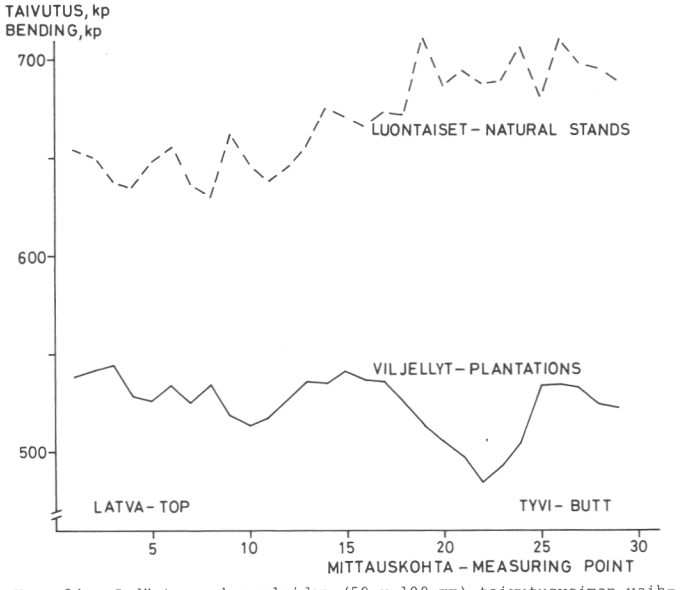
Höyläämällä osa sahatavarakappaleista määräpaksuuteen sekä tekemällä tämän jälkeen uudet lujuusmittaukset voitiin todeta, että korjauskerroin johti kuitenkin useissa tapauksissa liian alhaiseen lujuusluokkaan. Toisaalta höyläys alensi eräissä tapauksissa lujuusluokkaa kappaleissa, joissa ei ollut suoritettu luokan korjausta.

Kuvassa 21 esitetään eri alkuperää olevien aineistojen jakautuminen lujuusluokkiin koneellisessa lajittelussa, kun arvot on korjattu kertoimilla ja tarkistettu höyläyskokeiden perusteella. Eri luokkien jakaumat ovat kummassakin aineistossa hyvin samankaltaiset, ts. histogrammojen vinoudet muistuttavat toisiaan. Jakaumat eroavat selvästi myös silmävaraisen luokittelun tuloksista, jotka ovat johtaneet paljon koneellista luokitusta ankarampaan sahatavaran lajitteluun. Silmävaraisen arvioinnin osuvuus on jonkin verran



Kuva 23. Sydäntavarakappaleiden (50 x 100 mm) taivutusvoiman vaihtelu kappaleen eri osissa. Painealue 1, taivutus 1,3 mm.

Fig. 23. Variation of the bending strength of scantlings (50 x 100 mm) in different parts of the piece. Stress area 1, bending 1,3 mm.



Kuva 24. Sydäntavarakappaleiden (50 x 100 mm) taivutusvoiman vaihtelu kappaleen eri osissa. Painealue 1, taivutus 1,5 mm.

Fig. 24. Variation of the bending strength of scantlings (50 x 100 mm) in different parts of the piece. Stress area 1, bending 1,5 mm.

parempi luonnonmänniköistä peräisin olevassa sahatavarassa, mutta menetelmä liioittelee oksaisuuden merkitystä lujuutta alentavana tekijänä sitä enemmän, mitä parempilaatuinen sahatavara on tarkasteltavana.

Sahatavarakappaleen alhaisimmat lujuusarvot sijoittuvat tavallisesti kappaleen latvapäähän (kuvat 23 - 24). Tämä johtuu osaksi puuaineen kuiva-tuoretiheydestä, joka on tukin latvassa alhaisempi kuin tyvessä sekä osaksi kappaleen latvapään suuremmasta oksikkuudesta. Tässä työssä käytetty menetelmä, jossa ylipitkää sahatavarakappaletta lyhennettiin latvapäästä, on voinut jossakin määrin pienentää eri tutkimusaineistojen välisiä sahatavaran laatueroja. Puuaineen kuiva-tuoretiheys oli viljely- ja luonnonmäntyaineistosta sahattujen sydäntavarakappaleiden latvapäässä 383 ja 406 kg/m^3 sekä tyvipäässä 432 ja 471 kg/m^3.

Kolmas huomattavasti lujuuteen vaikuttava tekijä on luston leveys, jonka vaikutus tulee otetuksi huomioon jo lujuusluokittelun yhteydessä. Vuosiluston suurin sallittu leveys parhaissa luokissa T40 ja LT40 on 30 mm (RIL 120, 1978).

Viljelymänniköistä ja luonnonmetsiköistä peräisin olevien aineistojen väliset lujuuserot eivät ole suuret kun verrataan keskenään saman laatuluokan tukeista saatua sahatavaraa (taulukko 12). Kummankin alkuperän sisäistä jakaumaa tarkasteltaessa havaitaan, että ensimmäisen ja toisen laatuluokan tukeista valmistetun sahatavaran lujuuserot ovat verrattain vähäiset, mutta lujuus heikkenee sen sijaan ratkaisevasti kolmannen laatuluokan tukeista valmistettuun sahatavaraan siirryttäessä. Sahatavaran lujuusjakauma muistuttaa siis tässä suhteessa laatujakaumaa, jossa myös suurimmat u/s-prosentin erot vallitsivat toisen ja kolmannen laatuluokan välillä (kuva 11, sivu 55).

Taulukko 12. T-lujuusluokkajakauman riippuvuus tukin todellisesta laatuluokasta. R = hylky.

Table 12. Correlation between the T-strength class distribution and the real quality class of the log. R = cull.

T-luokka T-grading class	Tukin laatuluokka Log quality class		
	1	2	3
	Viljelymänniköt, % - Plantations, %		
40	76,9	61,3	20,6
30	7,7	16,1	35,3
24	7,7	16,1	20,6
18	7,7	3,2	2,9
R	..	3,3	20,6
	Luonnonmänniköt, % - Natural stands, %		
40	72,2	70,6	23,1
30	16,7	17,7	38,5
24	5,6	8,8	30,8
18	5,6	..	7,7
R	..	2,9	..

Taulukko 13. T-lujuusluokan riippuvuus sahatavarakappaleen kuiva-tuoretiheydestä. R = hylky.

Table 13. Correlation between the T-strength class distribution and the basic density of the sawn goods piece. R = cull.

T-luokka T-grading class	Kuiva-tuoretiheys, kg/m^3 - Basic density, kg/cu.m 325	375	425	475
	Viljelymänniköt, % - Plantations, %			
40	..	18,5	60,5	63,6
30	..	25,9	25,6	18,2
24	20,0	33,3	11,6	..
18	..	11,1	..	..
R	80,0	11,1	2,3	18,2
	Luonnonmänniköt, % - Natural stands, %			
40	..	28,6	55,6	81,8
30	..	28,7	25,0	13,6
24	..	28,7	13,9	4,6
18	..	14,3	2,8	..
R	..	..	2,8	..

Laadun heikkeneminen selittyy pääasiassa heikkolaatuisten tukkien lisääntyvän oksaisuuden ja luston leveyden sekä toisaalta puuaineen kuiva-tuoretiheyden pienenemisen avulla. Puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaikutus sydäntavarakappaleiden lujuusluokkajakaumaan on nähtävissä taulukosta 13. Parhaiden laatuluokkien osuus vähenee nopeasti puuaineen kuiva-tuoretiheyden pienetessä (taulukko 13).

PERSSON (1976) sai istutusmänniköistä peräisin olevalle sahatavaralle seuraavat parasta lujuusluokkaa kuvaavat prosenttiosuudet metsikön alkuperäisen istutustiheyden kasvaessa.

Istutusväli, m	T 300, %
0,75	42
1,25	22
1,50	15
3,00	-

Sahatavaran lujuus on siis sitä heikompi mitä alhaisempaan puuston tiheyteen se on perustettu, ja nykyisen mittapuun mukaan varsin tiheistäkin istutusmänniköistä saadaan niukasti korkeat lujuusvaatimukset täyttävää sahatavaraa.

PERSSON on myös todennut yhteneväisesti oheisen tutkimuksen kanssa, että koneellinen T-lajittelu antaa usein selvästi korkeampia laatuindeksejä kuin silmävarainen lajittelu. Hänen mukaansa ero johtuu suurelta osin ohuiden dimensioiden suurista syrjäoksista, joiden perusteella sahatavara arvostellaan silmävaraisesti usein hylkyluokkaan vaikka kyseinen sahatavara täyttääkin koneellisessa lajittelussa paremman luokan vaatimukset. Koneellisen lujuuslajittelun antamat silmävaraista luokittelua korkeammat arvot johtunevat osittain myös kappaleitten latvapään lyhentämisestä, jolloin osa pahimmista oksavioista on hävinnyt (sivu 16).

42. Sahatavaran arvo

Sahatavaran arvoa tarkastellaan vientisahatavaran tukkuhintojen pohjalta siten, että u/s-laudan perushinnaksi on asetettu 100 (Sahatavaran...1980). Sahatavaran eri laatuluokkien hinnat ja arvosuhteet on esitetty liitteessä 1. Muitten laatujen hinnat on laskettu suhteessa u/s-lautaan ja leveille sahatavarakappaleille on laskettu leveyslisät (liite 1), jotka perustuvat hinnaston pohjalta laskettuihin erilevyisten kappaleiden hintaeroihin.

Taulukossa 14 esitetään viljely- ja luonnonmänniköistä saadun sahatavaran yksikköhinnat tukin laatuluokan mukaan ryhmiteltyinä. Taulukko osoittaa, että erot kahden eri alkuperää olevan aineiston välillä ovat erityisen suuret etenkin, jos tarkastellaan heikkolaatuisista tukeista sahattuja lautoja. Sydäntavarakappaleiden väliset arvoerot kahden eri tutkimusaineiston välillä jäävät sen sijaan vähäisemmiksi. Ensimmäisen ja toisen laatuluokan välinen ero viljelymännikköaineistossa ei ole suuri, mutta arvo laskee nopeasti siirryttäessä toisesta luokasta kolmanteen laatuluokkaan. Luonnonmänniköissä puolestaan arvoerot ovat suurimmat parhaimpiin laatuluokkiin kuuluvista tukeista saatujen sahatavaraerien välillä. Sydäntavarakappaleiden, lautojen ja koko sahatavaran väliset hintaerot kahden aineiston välillä ovat keskimäärin 7,0, 22,2 ja 9,1 % luonnonmänniköistä saadun sahatavaran eduksi. Lautojen suuret arvoerot johtuvat lautatavaran eri laatujen välisistä hintaeroista, jotka ovat huomattavasti suuremmat kuin soiroissa ja lankuissa.

Sahatavarasaannoksi saatiin 51,9 ja 52,9 % viljely- ja luonnonmänniköissä. Kyseiset luvut ovat verrattain korkeat muissa tutkimuksissa todettuihin saantoihin verrattuna (esim. HEISKANEN 1976). KÄRKKÄINEN (1980 a) sai koesahauksissa keskimääräiseksi saannoksi 48,7 %. Viljelymänniköiden

heikompi saanto kuvastanee tässä yhteydessä omalta osaltaan sitä, että niiden puuston laatu on erityisesti runkovikojen osalta heikompi kuin luonnonmänniköiden puustoissa. Esimerkiksi lenkouden on todettu alentavan selvästi saantoa (mm. SIIMES 1957, ASIKAINEN ja PANHELAINEN 1970). Saanto kasvaa myös sekä viljelymänty- että vertailuaineistossa tukin läpimitan kasvaessa, mutta alenee noin kahdella prosenttiyksiköllä siirryttäessä ensimmäisen luokan tukeista kolmannen laatuluokan tukkeihin.

Sahatavarasaanto pieneni siis tässä tutkimuksessa tukin laadun heikentyessä. Saannon ja tukin laadun välinen korrelaatio on kuitenkin yleensä päinvastainen, eli saanto kohoaa tukin oksaisuuslaatuluokan huonontuessa (esim. KÄRKKÄINEN 1980 a). Tällainen kehitys perustuu ilmeisesti tukkien muodon muuttumiseen, joka johtuu tyvilaajentumasta ja on siitä syystä rungossa selvintä tyvitukkien ja muiden tukkien välillä.

Sahatavaran yksikköhintaan vaikuttavia tekijöitä testattiin valikoivalla regressioanalyysillä. Merkittävin yksikköhinnan vaihtelun selittäjä viljelymänniköissä on tukin tilavuus, joka yksinään selittää 85 % hinnan kokonaisvaihtelusta (vrt. QY 1974). Muita parhaan yhtälön tekijöitä ovat tyvitukin u/s-prosentti, lenkous sekä rungon pituuskasvunopeus. Muut selittäjät paitsi lenkous tuntuvatkin loogisilta. Parhaaksi viljelymänniköiden sahatavaran yksikköhintaa selittäväksi malliksi saadaan seuraava yhtälö, joka selittää 91 % viljelymänniköiden sahatavaran yksikköhinnasta.

Taulukko 14. Eri laatuisista tukeista saadun sahatavaran yksikköhinta. R = hylky.

Table 14. Volume price of sawn goods obtained from logs of different qualities. R = cull.

Tukin laatu Log quality	Viljelymänniköt - Plantations			Luonnonmänniköt - Natural stands		
	Sydäntavara Battens	Laudat Boards	Yhteensä Total	Sydäntavara Battens	Laudat Boards	Yhteensä Total
1	59,2	52,1	57,6	62,7	60,4	62,0
2	58,3	45,2	55,0	58,5	51,4	56,7
3	54,1	38,7	49,9	57,5	53,8	56,5
R	50,9	36,5	48,1	53,5	44,0	50,8
Keskimäärin Average	56,0	42,7	52,8	59,6	54,9	58,3

$$y = 8{,}920 + 0{,}117x_{35} - 0{,}121x_{31} + 0{,}265x_{30} - 0{,}272(x_6/x_2)^2 - 0{,}062x_8 \cdot x_7$$

	Muuttuja	t-arvo
R^2 = 91,4	x_{35}	5.2
F = 244,8	x_{31}	-3.5
DF = 131	x_{30}	15.8
y = Sahatavaran yksikköhinta	$(x_6/x_2)^2$	-2.1
	$x_8 \cdot x_7$	-2.9

Luontaisten männiköiden osalta parhaita sahatavaran yksikköhinnan selittäjiä ovat tukin tilavuuden lisäksi myös tukin u/s-prosentti ja lenkous sekä rungon pituuskasvu. Paras yhtälö, joka selittää 90 % luonnonmänniköiden yksikköhinnan kokonaisvaihtelusta, on seuraava.

$$y = -11{,}80 + 0{,}171x_{35} - 0{,}112x_{31} + 0{,}346x_{30} + 0{,}422(x_6/x_2)^2$$

	Muuttuja	t-arvo
R^2 = 90,2	x_{35}	8.6
F = 230,1	x_{31}	-2.1
DF = 100	x_{30}	27.9
y = Sahatavaran yksikköhinta	$(x_6/x_2)^2$	2.3

Muita mainitsemisen arvoisia tekijöitä ja niiden korrelaatiokertoimia ovat seuraavat.

Viljelymänniköt		Luonnonmänniköt	
Muuttuja	r	Muuttuja	r
x_6/x_2	0,163	x_{20}	0,193
x_{14}	0,131	$(x_{14})^2$	0,167
x_{14}/x_7	0,127	x_{33}	0,163
$(x_{27})^2$	0,126	$(x_{20})^2$	0,162
$(x_{14})^2$	0,120	x_{14}	0,164

Huomattavaa on, että parhaat tulosta selittävät muuttujat ovat osittain samoja jotka esiintyivät aikaisemmin sahatavaran u/s-prosentin testauksen yhteydessä (sivu 66). Yksittäisistä muuttujista myös luston paksuus korreloi varsin selvästi sahatavaran yksikköhinnan kanssa.

Kun viljelymänniköistä saadun sahatavaran yksikköhintaa tarkastellaan ilman tukin tilavuuden vaikutusta, ovat parhaat selittävät muuttujat ensimmäisen oksakiehkuran korkeus ja tukin lenkous. Tällöin saatava malli selittää 21 % hinnan kokonaisvaihtelusta.

$y = 0,508 + 0,001x_{20} - 0,001x_{31}$

$R^2 = 21,1$

$F = 18,0$

$DF = 134$

y = Sahatavaran yksikköhinta

Muuttuja	t-arvo
x_{20}	3.9
x_{31}	-2.8

Muut parhaita korrelaatioita antavat muuttujat kuvaavat kasvunopeutta ja eräitä rungon ulkoisia laatutunnuksia.

Muuttuja	r
x_{22}	0,163
x_{21}	0,150
$(x_{22})^2$	0,151
x_{17}	0,143
x_{25}	0,136

Kun tukin tilavuus jätetään pois analyysistä yhtälön selitysaste pienenee, ja luston leveys nousee parhaaksi yksikköhintaa kuvaavaksi muuttujaksi. Jos sahatavaran suhteellinen hinta lasketaan sahatavarayksikköä kohti saadaan luonnonmänniköissä paras selitysaste, 25 % seuraavalla yhtälöllä.

$$y = 0,368 + 0,004x_{26} + 0,074x_{14}/x_7 + 0,02(x_{20})^2$$

R^2 = 24,7

F = 11,03

DF = 101

y = Sahatavaran yksikköhinta/ sahatavarayksikkö

Muuttuja	t-arvo
x_{26}	3.7
x_{14}/x_7	3.3
$(x_{20})^2$	3.1

Muita selittäjiä korrelaatioineen ovat seuraavat muuttujat, jotka kuvaavat lähinnä rungon oksien karsiutuneisuutta.

Muuttuja	r
x_{33}	-0,177
x_{32}	0,167
x_{23}	-0,147
x_{10}	0,147

KÄRKKÄINEN (1980 a) on saanut sahatavaran yksikköhintaa parhaiten selittäviksi muuttujiksi tietyn alueen luonnonmänniköissä sydäntavaran yksikköhinnan ja tukin kuorettoman latvaläpimitan, joilla pystyttiin selittämään 91,4 % hinnan kokonaisvaihtelusta. Keskimääräinen sahatavaran yksikköhinta oli KÄRKKÄISEN tutkimuksissa (1980 a ja 1980 b) 56,3 ja 60,9. Tutkimuksissa käytetyt hinnat erosivat käsillä olevassa työssä käytetyistä, ja tutkimukset koskivat myös koko rungon tukkiosaa. Näin ollen voidaan todeta, että kyseisten tutkimusten tulokset eivät ole suoraan verrattavissa tässä saatuihin, mutta luonnonmänniköiden yksikköhinnat olivat edellä mainituissa tutkimuksissa varsin korkeat oksaisista väli- ja latvatukeista huolimatta.

5. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimusmenetelmän selostuksen yhteydessä tuotiin jo esille eräitä aineiston keräystapaan liittyviä piirteitä. Aineisto kerättiin maan etelä- ja keskiosista, siis maastollisesti ja ilmastollisesti verrattain yhtenäiseltä alueelta. Rannikkoalueita vältettiin tarkoituksellisesti niiden tuuliolosuhteiden poikkeavuuden vuoksi, joiden voidaan katsoa vaikuttavan runkopuun laatuun. Näytemetsiköiden valintaan ja näytteenottotapaan vaikuttivat sopivien kohteiden saatavuus ja sijainti. Systemaattisia näytteenottomenetelmiä ei voitu noudattaa materiaalin valinnassa, sillä vanhoja viljelyaloja, joilta on myös saatavissa luotettavat perustamistiedot, on maassamme varsin rajallisesti valtion mailla. Tämän vuoksi sopivat kohteet valittiin saatavissa olevien metsiköitten joukosta, mutta arvontaa käytettiin apuna joillakin alueilla.

Viljelymänniköiden siemenen tai taimiaineksen alkuperät olivat tavallisesti paikallista rotua, mutta siemenkeräyspuiden geneettiseen laatuun ei niihin aikoihin jolloin tutkimusmetsiköt perustettiin, kiinnitetty paljon huomiota. Useissa tapauksissa siemenen alkuperä oli kuitenkin tuntematon.

Tavoitteena oli yhtä monta viljely- ja vertailumetsikköä kullakin tutkimuspaikkakunnalla sekä yhtä monta metsikköä yhteensä eri alueilla. Tässä ei kuitenkaan täysin onnistuttu, sillä viljelyalojen lukumäärä vaihteli paikkakunnittain. Edellä selostetun vuoksi aineistoa ei voi pitää täysin edustavana, vaan valinnassa oli noudatettava osittain varsin subjektiivista menetelmää.

Koealojen sijoittamisessa metsikön sisällä käytetty menetelmä (vrt. sivu 13) antoi metsikö kaikille osille mahdollisuuden joutua koealueeksi suurien metsiköiden keskiosia

lukuun ottamatta. Tällaisia kohteita oli kuitenkin vähän, sillä useimmat vanhat viljelyalat olivat pieni-alaisia. Luonnonmetsiköt olivat tässä suhteessa epätasaisempia.

Koealojen puut numeroitiin järjestelmällisesti ja sattumanvaraisesti koealan reunasta aloittaen, jolloin lopussa ylimääräisiksi jääviä puita ei otettu mukaan mitattavaan puustoon. Kun kaadettavien puiden valinnassa käytettiin arvoilla tulivat nämä puut sattumanvaraisesti koepuiden joukkoon. Poikkeuksen muodostivat nuorimmat metsiköt, joissa kaikki rungot eivät vielä täyttäneet tukkipuun kokovaatimuksia. Tällaisissa tapauksissa jouduttiin koepuut joskus valikoimaan verrattain suppeasta joukosta.

Koealojen ja runkojen määrää voidaan pitää varsin suurena sekä hyvin jakautuneena, vaikkakin aineisto keskittyy jossakin määrin Hämeen alueelle valtion maiden sijainnin vuoksi. Kaadettujen runkojen ja niistä valmistettujen tukkien määrä on sen sijaan paljon pienempi, 165 tukkia viljely- ja 135 tukkia luonnonmänniköistä. Kun aineisto ei ole suuri, on tärkeätä, että se kuvaa mahdollisimman hyvin koko perusjoukon ominaisuuksia. Tukkirunkojen ja niistä valmistettujen tyvitukkien ominaisuuksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että pystypuuston rinnankorkeusläpimitat olivat viljely- ja luonnonmetsissä keskimäärin 20,1 ja 20,9 cm ja vastaavasti tyvitukeiksi valmistetussa puustossa 20,3 ja 20,2 cm. Tyvitukkien latvaläpimitat olivat kummassakin aineistoryhmässä vastaavasti pystypuustossa 19,1 ja 19,5 sekä sahatuissa tukeissa 19,1 ja 18,9 cm. Kaadettavaksi koepuustoksi joutuneista rungoista valmistetut tukit edustivat siten kooltaan hyvin koko tutkimuksen kohteena ollutta puustopopulaatiota.

Myös tukkien laatujakaumat pystypuissa ja kaadetuissa koepuissa vastasivat hyvin toisiaan, vaikkakin tukeiksi valmistettiin jonkin verran enemmän heikkolaatuisia runkoja

kuin aineistossa esiintyi keskimäärin (sivu 47). Puuston laadusta antavat kuvan myös tyvitukin paksuimmat oksat, jotka olivat viljely- ja luonnonmänniköiden pystypuissa 23 ja 18 mm sekä tukeissa 25 ja 18 mm. Tukit ja niistä valmistettu sahatavara vastasivat siis paitsi kooltaan myös laadultaan hyvin koko aineistoa ja näin ollen sahattua aineistoa, yhteensä 300 tukkia, voidaan pitää määrältään riittävänä. Mainittakoon, että PERSSONIN (1976) istutusmänniköiden sahatavaran laatua koskevassa aineistossa tukkien määrä oli 269 kappaletta.

Aineistoa valittaessa pyrittiin siihen, että eri metsätyypit tulisivat edustetuiksi oikeassa suhteessa eli siinä määrin kuin niitä esiintyy männyn kasvupaikkoina. Viljelymänniköitä perustettiin aikoinaan nykyistä enemmän hyville maapohjille mutta on mahdollista, että hyvien kasvupaikkojen osuus aineistossa on kuitenkin suurempi kuin käytännössä (sivu 21). Luonnonmänniköt taas syntyvät puuston fysiologisten vaatimusten johdosta pääasiassa puolukkatyypin maapohjille. Kasvupaikkojen hyvyyserot ovat siis ilmeisesti jossakin määrin vaikuttaneet aineistojen vertailtavuuteen. Uusien tutkimusten perusteella näyttää kuitenkin siltä (VARMOLA 1980, UUSVAARA 1981 a ja 1981 b), että metsätyypin vaikutus puuston laatuun, erityisesti oksikkuuteen, ei ole männyllä käenkaali-mustikkatyyppiä lukuun ottamatta merkittävä.

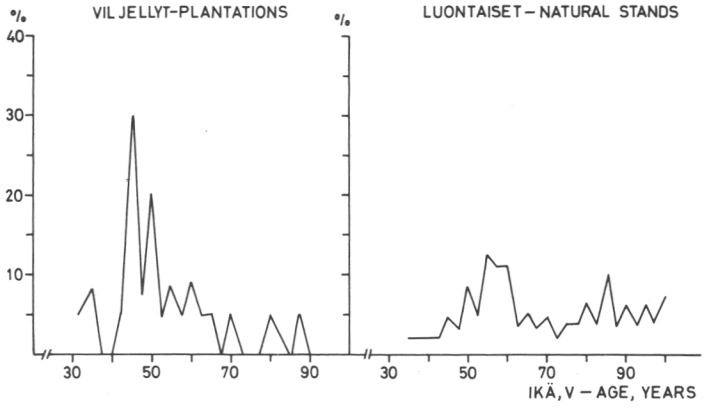
Luonnonmänniköiden puustosta pyrittiin löytämään kullakin paikkakunnalla kohteet, joissa puiden ikä ja koko vastaisivat mahdollisimman hyvin tutkimuksen kohteeksi valittujen viljelymänniköiden puustoja. Tämä oli useissa tapauksissa vaikeaa erityisesti keski-ikäisten metsiköiden puutteen ollessa luonnonmänniköissä selvä. Myös runkojen koko ja ikä samankin metsikön sisällä saattoi vaihdella luonnonmänniköissä verraten paljon. Tämä johtui mahdollisesti eräissä tapauksissa metsiköiden vanhoista käsittelytavoista, esimerkiksi harsintahakkuista. Kaikki metsiköt olivat kui-

tenkin aina kuuluneet metsänhoidon piiriin, joskin toimenpiteiden tehokkuus ja säännöllisyys näyttivät olevan yleensä viljelymetsiköissä paremmat. Viljelymänniköissä suoritetuista hakkuista, perkauksista ja harvennuksista oli myös olemassa paremmat tiedot kuin luonnonmänniköistä.

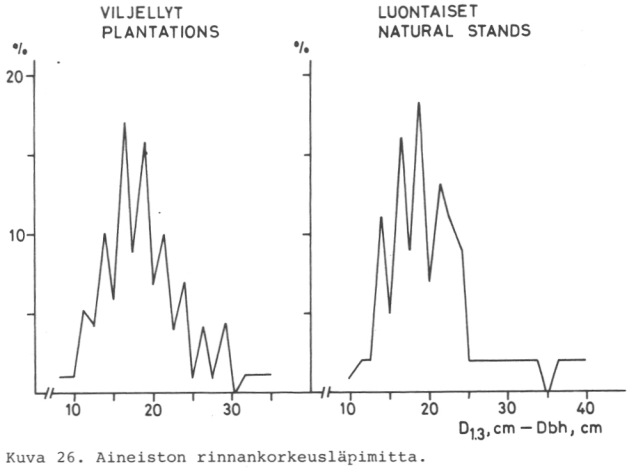
Viljelymänniköiden keski-ikä oli alhaisempi kuin luonnonpuustojen ikä, ja kummankin aineiston ikäluokkien jakaumat erosivat jossain määrin toisistaan (kuva 25). Viljely- ja luonnonmänniköiden keski-iän ero oli myös tilastollisesti erittäin merkitsevä ($t = 12,0^{xxx}$). Viljelymänniköiden iässä oli selvä keskittymä 45 vuoden vaiheilla, kun taas luonnonmänniköiden ikäjakauma oli selvästi kaksihuippuinen. Ikäjakaumien tunnusluvut olivat seuraavat.

	Viljely-männiköt	Luonnon-männiköt
$\bar{x}$	51	67
Me	49	60
Mo	45	56
S	12,3	17,3
Vaihtelurajat	31-87	34-99
N	630	314
Vinous	1,09	0,36
Huipukkuus	1,25	-1,15

Viljelymäntyrunkojen ja luonnonmäntyrunkojen rinnankorkeusläpimittojen ero oli tilastollisesti merkitsevä ($t = 2,92^{xx}$). Rinnankorkeusläpimittojen jakaumien tunnukset olivat seuraavat (vrt. kuva 26).



Kuva 25. Aineiston ikäjakauma.
Fig. 25. Age distribution of the material.



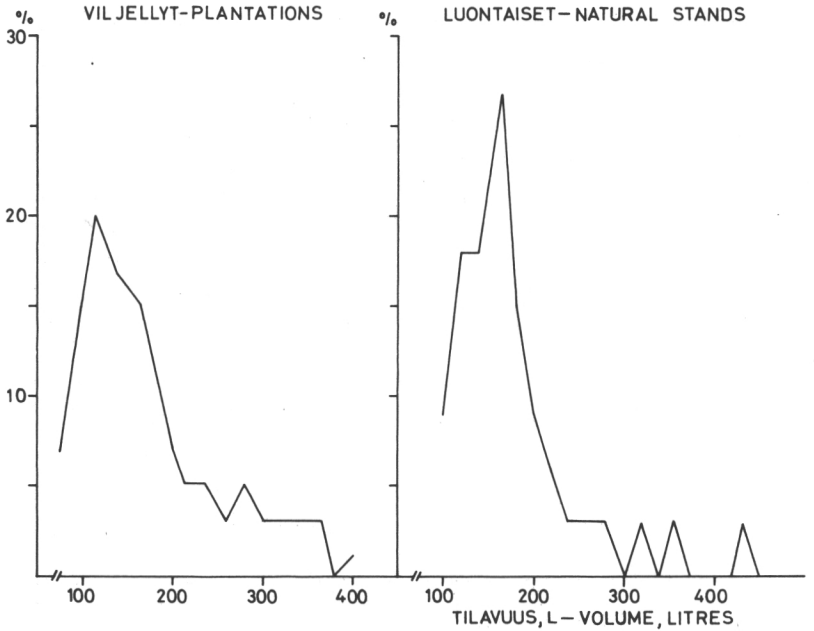
Kuva 26. Aineiston rinnankorkeusläpimitta.
Fig. 26. DBH distribution of the material.

	Viljely-männiköt	Luonnon-männiköt
$\bar{x}$	20,1	20,9
Me	19,5	20,0
Mo	18,0	20,0
S	5,2	5,3
Vaihtelurajat	8-37	8-44
N	630	1879
Vinous	0,55	0,72
Huipukkuus	0,27	0,90

Tyvitukin keskimääräinen tilavuus oli viljelymännikössä 148,5 dm^3 ja luonnonmännikössä 155,6 dm^3, joiden ero oli tilastollisesti mahdollisesti merkitsevä (t_x = 1,20). Tilavuuksien jakaumia koskevat luvut olivat seuraavat (vrt. kuva 27).

	Viljely-männiköt	Luonnon-männiköt
$\bar{x}$	148,5	155,6
Me	134,8	149,1
Mo	-	-
S	61,2	53,8
Vaihtelurajat	60,9-401,5	85,1-442,6
N	162	135
Vinous	1,36	1,94
Huipukkuus	1,99	6,22

Luonnonmäntyrungot olivat siis iältään vanhempia kuin viljelyrungot, mutta tyvitukkien koko ei ollut merkittävästi viljelymetsiköistä saatuja tukkeja suurempi. Tulos kuvastaa hyvin jo edellä eri yhteyksissä saatua toteamusta, että luonnonmäntyrungot ovat samassa läpimittaluokassa viljelymäntyjä jonkin verran vanhempia mutta myös hidaskasvuisempia. Tämä seikka on ratkaisevasti vaikuttanut niiden parempaan puun laatuun ja edullisempaan sahatavaran laatuja-



Kuva 27. Aineistoon kuuluneiden tyvitukkien tilavuusjakauma.
Fig. 27. Volume distribution of the butt logs of the material.

kaumaan.

Edellä esitetyt tulokset osoittavat, että viljelymänniköistä saatava puuaine ja puutavara ovat kaikkien tarkasteltujen kriteerien valossa heikkolaatuisempia kuin luonnonmänniköistä saatava puutavara, kun ajatellaan puuta sen käyttöarvon kannalta. Erot selittyvät vain pieneltä osin tutkimusaineistojen heikkouksien perusteella.

Arvioitaessa tuloksia sekä niiden merkitystä viime aikoina perustettujen viljelymänniköiden laatua silmälläpitäen on huomattava, että vanhat viljelymänniköt, joista tässä esitetty aineisto on peräisin, perustettiin pääasiassa kylväen, kun taas nykyisin pääasiallisin uudistustapa on istutus. Tuloksia ei tästä syystä voi sellaisenaan soveltaa nykyisten istutusmänniköiden laadun arviointiin. Tästä huolimatta yhtymäkohtia vanhojen ja nuorien viljelymänniköiden välillä on runsaasti, sillä kullekin viljelyalalle syntyvä uusi puusto ei ole tavallisesti paikallista puurotua, ja kummassakin uudistusmenetelmässä viljelykohtien lukumäärä sekä taimiston kehityksen alkuvaiheet ovat suunnilleen samat. Muun muassa nykyisin käytettävien taimikoiden pienten istutustiheyksien perusteella voidaan kuitenkin arvioida, että viljelymänniköidemme laatu tulee vanhojen viljelyalojen puuston laatuun verrattuna voimakkaasti heikkenemään.

6. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen aineisto käsitti 31 viljelemällä perustettua ja 30 luontaisesti syntynyttä mäntykoemetsikköä Etelä- ja Keski-Suomen alueelta. Runkoja mitattiin viljelymänniköistä 630 ja luonnonmänniköistä 1810 kappaletta, joista arvottiin kaadettaviksi vastaavasti 165 ja 135 runkoa. Kaadetuista rungoista mitattiin rungon laatutunnuksia kuten eri oksaisuusvyöhykkeet, oksien paksuus, vikaisuudet ja rungon kapeneminen. Kannon korkeudelta otetuista näytteistä määritettiin puun sisäisiä laatutunnuksia. Tyviosa valmistettiin tukeiksi, koesahattiin ja sahaustulos laatuluokitettiin.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää koesahausten avulla viljelymäntyrunkojen tyvitukeista saatavan sahatavaran laatu ja arvo sekä niihin vaikuttavat tekijät. Laatua verrattiin vastaavan tyyppisistä luonnonmänniköistä saatuihin tuloksiin.

Tutkimuksen tärkeimmät tulokset olivat seuraavat:

1. Oksattoman rungonosan muodostuminen alkoi viljelymänniköissä myöhemmin kuin luonnonmänniköissä ja karsiutuminen oli metsikön iän lisääntyessäkin hitaampaa. Myös suhteessa rungon pituuteen oli virheettömän ja oksakyhmyjä käsittävän rungonosan pituus viljelymänniköissä alhaisempi kuin luonnonmänniköissä, mutta kuivaoksainen rungonosa pidempi ja latvus lyhyempi.

2. Luonnonmäntyrunkojen oksat olivat ohuempia kuin viljelymäntyrunkojen oksat etenkin rungon alaosassa, mutta rungon yläosassa erot osittain hävisivät. Tyvitukkien suurimpien oksien paksuus sekä mitattujen oksien keskipaksuus kasvoivat tukin laadun heiketessä kumpaakin alkuperää olevassa aineistossa. Viljelymäntytukeissa oksat olivat myös

keskimäärin paksumpia kuin luonnonmänniköistä valmistetuissa tukeissa.

3. Viljelymänniköistä saadut tyvitukit olivat heikkolaatuisempia kuin luonnonrunkotukit sekä pelkän oksaisuuden että todellisen luokituksen mukaan arvostellen. Tukin laatu heikkeni eli laatuindeksi nousi jyrkästi luston leveyden kasvaessa ytimen ympäristössä. Luston paksuuden ylittäessä noin 3,5 mm:n rajan tukin laatu oli keskimäärin heikompi kuin kolmannen luokan laatuvaatimukset edellyttävät.

4. Saman laatuluokan viljelymäntytukista saatiin vähemmän u/s-luokan mutta enemmän heikompien laatuluokkien sahatavaraa kuin saman arvoiseksi luokitellusta luonnonmäntytukista. Sahatavaran u/s-prosentti laski ja heikompien laatujen osuus nousi luston levetessä ytimen ympäristössä. Kriittinen raja viljelymäntyrunkojen sydäntavarakappaleissa oli luston leveys 3,5 mm, jonka jälkeen ei enää saatu u/s-sahatavaraa.

5. Silmävaraisen lujuusluokituksen mukaan T40-, T30-, T24-, T18-lujuusluokkien osuudet sekä hylky-osuus olivat viljelymänniköistä peräisin olevissa soiroissa ja lankuissa 14, 21, 38, 20 ja 7 % sekä luontaisessa sahatavarassa vastaavasti 22, 35, 35, 5 sekä 3 %.

6. Viljelymäntyrunkojen tyvitukeista sahatut soirot ja lankut, laudat sekä sahatavara yhteensä olivat yksikköhinnaltaan keskimäärin 7,0, 22,2 ja 9,1 % alhaisempia kuin vastaavat luonnonmäntytukeista saadut sahatavaralajit. Yksikköhinnan vaihteluita parhaiten selittäviä suureita ja laatutunnuksia olivat tukin tilavuus, u/s-prosentti sekä rungon kasvunopeus. Kun tilavuus jätettiin pois selittävien tekijöiden joukosta, kasvunopeuden, erityisesti ytimen läheisten lustojen leveyden, selitysarvo nousi.

7. Eri alkuperää olevien aineistojen vertailukelpoisuutta vähensi osittain viljelymetsiköiden sijoittuminen keskimääräistä paremmille kasvupaikoille, sekä niiden luontaisia metsiköitä jonkin verran alhaisempi ikä. Runkojen ja tukkien kokojakaumat vastasivat sen sijaan hyvin toisiaan eri aineistoissa.

KIRJALLISUUTTA

ARNKIL, J. 1978. Sahatukin laatu unohdettu asia. Metsä ja Puu 10:23-24.

ASIKAINEN, K. 1980. Tukin laadun vaikutus sahaustulokseen. Sahapuupäivät 31.1.-1.2.1980. Moniste. 11 s.

-------- & PANHELAINEN, A. 1970. Tukin lenkouden vaikutus sahaustulokseen. Paperi ja Puu 52(4a):219-230.

DAHLEN, L. & WARG, A. 1978. Värdering av stämplingsposter. Summary: Valuation of timber stands marked for felling. Rapp. Instn. Virkeslära Sveriges Lantbruksuniv. 105:1-32.

Definitioner, metoder m.m. vid vedundersökningar. 1980. Koonneet ANDERSSON, E. ja TUIMALA, A. Upps. 4:1-139.

EKLUNDH EHRENBERG, C. 1963. Genetic variation in progeny tests of Scots pine (Pinus silvestris L.). Sammanfattning: Ärftlig variation in avkommeförsök med tall. Stud. For. Suec. 10:1-135.

ERTELD, W. 1967. Crown characteristics as indicators of growth potential in young pine stands at various spacings. Sozial Forstw., Berl. 17(8):236-239. (Sit. Forestry Abstracts 1968:566).

FLOWER-ELLIS, J., ALBREKTSSON, A. & OLSSON, L. 1976. Structure and growth of some young Scots pine stands: (1) dimensional and numerical relationships. Swedish coniferous forest project. Techn. rep. 3:1-98.

GRANVIK, B-A. 1967. Havusahatavaran valmistus kenttäpyörösahalla. Työtieteellinen tutkimus. Summary: On the preparation of coniferous sawn goods using circular saws. Acta For. Fenn. 84(3):1-162.

HAKKILA, P. 1966. Investigations on the basic density of finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Commun.Inst.For.Fenn. 61(5):1-98.

-------- & UUSVAARA, O. 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. Lyhennelmä: Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä. Commun.Inst.For.Fenn. 66(6):1-23.

HEIKINHEIMO, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. Summary: On natural pruning of tree stems. Commun.Inst.For.Fenn. 41(5):1-39.

HEISKANEN, V. 1954 a. Tutkimuksia mäntytukkipuiden laatuluokitustavoista ja niiden tarkkuudesta. Summary: Investigations into pine tree grading methods and their accuracy. Commun.Inst.For.Fenn. 44(1):1-132.

-------- 1954 b. Vuosiluston paksuuden ja sahatukkien laadun välisestä riippuvuudesta. Summary: On the interdependence of annual ring width and sawlog quality. Commun.Inst.For.Fenn. 44(5):1-28.

-------- 1962. Mäntysahatukkien laatuluokituksen tarkkuudesta. Summary: Accuracy of the grading of pine sawlogs. Commun.Inst.For.Fenn. 55(16):1-15.

-------- 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta Forest.Fenn. 80(2):1-62.

-------- 1971. Tyvitukkien ja muiden tukkien koesahauksia Pohjois-Suomessa. Summary: Test sawings of butt logs and top logs in Northern Finland. Folia For. 116:1-23.

-------- 1976. Havusahatukkeja koskevia arvolaskelmia vv. 1974-1975. Summary: Value calculations for softwood sawlogs in 1974-1975. Folia For. 251:1-64.

-------- & ASIKAINEN, K. 1969. Havusahatukkien järeyden mukaiset arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet. Summary: The value relationships and pricing principles of coniferous sawlogs on the basis of their diameter. Commun.Inst.For.Fenn. 69(3):1-122.

-------- & SIIMES, F.E. 1959. Tutkimus mäntysahatukkien laatuluokituksesta. Paperi ja Puu 41(8):359-368.

HUURI, O. 1976. Kallistumisilmiö istutusmänniköissä. Tiedustelun tuloksia. Summary: Tilting of planted pines; survey results. Folia For. 265:1-22.

-------- 1979 a. Havaintoja Etelä-Suomen piirikunnan istutusmänniköiden tilasta. Esitelmä 20 s.

-------- 1979 b. Havaintoja Pohjanmaan piirikunnan istutusmänniköiden tilasta v. 1979. Esitelmä 33 s.

ISOMÄKI, A. 1978. Kiertoaika metsätaloudessa. Metsä ja Puu 8:27-30.

KAILA, S. 1979. Tuloksellinen metsänviljely. Helsinki. 125 s.

KALELA, E. 1945. Metsät ja metsien hoito. 1. painos. Porvoo-Helsinki. 368 s.

KANGAS, E. 1962. Über Krummstämmigkeit und Verzweigung der finnischen Kiefer. Commun.Inst.For.Fenn. 55(15):1-16.

KALLIO, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development on pine stands established by sowing in the south of Finland. Acta For. Fenn. 71(3):1-78.

KELLOMÄKI, S. 1980. Growth dynamics of young Scots pine crowns. Seloste: Nuorten mäntyjen latvusten kasvun dynamiikka. Commun.Inst.For.Fenn. 98(4):1-50.

-------- 1981. Effect of 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 eräässä kaksikymmenvuotiaassa männikössä. Silva Fennica 15(2):130-139.

-------- & TUIMALA, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puun oksikkuuteen taimisto- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots pines. Folia For. 478:1-27.

KOIVISTO, V. 1980. Minkä laatuista puuta tulisi kasvattaa.

Metsä ja Puu 3:23-25.

KÄRKKÄINEN, M. 1978. Laatupuun kasvattaminen - unohtunut tehtävä. Metsänhoitaja 7:10-12.

-------- 1980 a. Mäntytukkirunkojen laatuluokitus. Summary: Grading of pine sawlog stems. Commun.Inst.For.Fenn. 96(5):1-152.

-------- 1980 b. Tuloksia Rauman alueen mäntytukkien sahauksesta. Summary: Results of sawing pine logs in Rauma region, western Finland. Commun.Inst.For.Fenn. 96(7):1-43.

-------- 1981. Onko männyn pystykarsinnalla tulevaisuutta. Teho 1:20-22.

-------- & SALMI, J. 1981. Länsi-Uudenmaan rannikon mäntytukkien ominaisuudet. Summary: Properties of pine logs in coastal sawmill in southern Finland. Folia For. 458:1-20.

LAITAKARI, E. 1937. Laatupuun kasvattamisesta. Silva Fennica 39:259-270.

LEIKOLA, M., METSÄMUURONEN, M., RÄSÄNEN, P. & TAIMISTO, E. 1977. Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967-1975. Summary: The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967-1975. Folia For. 312:1-27.

MATHIEU, J. 1967. Einfluss von Pflanzenverband und Herkunft auf das Wachstum der Kiefer im Versuch Bremervörde. Göttingen. 117 s.

MAYER, H. 1961. Waldbauliche Güteansprache und morphologische Qualitätsmerkmale in Fohren-Dickungen zwischen Alpen und Donau. Forstwiss.Cbl. 809(10):294-316.

NILSSON, B. 1968. Studier av några kvalitetsegenskapers genetiska variation hos tall (Pinus silvestris L). Summary: Studies of the genetical variation of some quality characters in Scots pine (Pinus silvestris

L.). Rapp. Uppsats. Instn. Skogsgenet. Skogshögsk. 3:1-117.

NYLINDER, P. 1958. Synpunkter på produktionens kvalitet. Skogen 45(4):100-102.

-------- 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Summary: Aspects of quality production. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 2:1-19.

NYYSSÖNEN, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta For. Fenn. 60(4):1-194.

NÄSLUND, M. 1944. Diskussionsinlägg i anslutning till före draget "Erfarenheter av skogsodling". Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 42(2):108-116.

Ohjekirje metsittämisestä ja metsän uudistamisesta. 1978. Metsähallitus Mh. 130. 71 s .

OKSANEN, A. 1978. Laatuluokitus mukaan tukkien hinnoitteluun. Metsä ja Puu 10:26-27.

ORVÉR, M. 1970 a. Klassificering av tallsågtimmer med objektivt mätbara faktorer. Summary: Grading of Scots pine saw timber using objectively measurable factors. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 65:1-138.

-------- 1970 b. Sågutfallets volym och värde hos tall vid olika råvarukvaliteter och varierande postningar. Summary: Lumber yield and value for Scots pine at different log qualities and gang saw set-ups. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 66:1-54.

PERSSON, A. 1975. Ved och pappersmassa från gran och tall i olika förband. Summary: Wood and pulp of Norway spruce and Scots pine at various spacings. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 37:1-145.

-------- 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Summary: The influence of spacing on the quality of sawn timber from Scots pine. Rapp.

Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 42:1-122.

-------- 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 45:1-152.

QY, H. 1974. Verdien av forskjellige kvaliteter og dimensjoner av grantømmor ved skurlastproduksjon. Summary: The value for different log qualities and dimensions of Norway spruce in sawmilling. Medd. Norsk. Inst. Skogforskn. 31(7):275-325.

RAUTIAINEN, P. 1971. Ympäristö- ja perintötekijöiden vaikutus männyn ilmiasuun Pohjois-Karjalan piirimetsälautakunnan siemenviljelyksessä Tohmajärvellä. Summary: The effect of environmental and genetical factors on the phenotype of pine in a seed orchard in North Karelia. Silva Fenn. 5(4):336-349.

RAUTIAINEN, O. & RÄSÄNEN, P. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimistojen kehitys Itä-Savossa 1968-1976. Summary: Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968-1976. Folia For. 426:1-24.

RAVEALA, A. 1979. Uusitut puunormit ja lujuuslajittelu. Suomen Puutalous 2:11.

RIL 120. Puurakenteiden suunnitteluohjeet. 1978.

RÄSÄNEN, P. 1981. Metsäpuiden taimikasvatus ja metsänviljely. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 29:1-99.

Sahatavaran tukku- ja vähittäismyyntihinnasto. 1980. Suomen Sahat r.y. 30:1-12. Helsinki.

SARVAS, R. 1956. Metsänhoidon tekniikka. Metsäkäsikirja 1:498-564. Rauma.

SCHÖPF, I. 1954. Untersuchungen über Astbildung und Astreinigung der Selber Kiefer. Forstwiss. Cbl. 73(9/10):275-290.

SIIMES, F. 1957. Tukkien lenkouden vaikutus sahaustulokseen. Paperi ja Puu 39(3):93-98.

-------- 1962. Tukkien koon, muodon ja laadun sekä sahausasetteen vaikutus sahaustulokseen. Paperi ja Puu 44(1):3-16.

------- 1967. The effect of specific gravity, moisture content, temperature and heating time on the tension and compression strength and elasticity properties perpendicular to the grain of Finnish pine, spruce and birch wood and the significance of these factors on the checking of timber at kiln drying. Julk. Valt. Tekn. Tutkimusl. 84:1-86.

TAKALA, P. 1978. Metsänviljely. Teoksessa: Tapion Taskukirja. 1978. 18. p. 124-136.

UUSITALO, M. (toim.) 1979. Metsätilastollinen vuosikirja 1977-1978. Yearbook of Forest Statistics 1977-1978. Official Statistics of Finland XVII S:10. Folia For. 375:1-197.

UUSVAARA, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Commun.Inst.For.Fenn. 80(2):1-105.

-------- 1979. Viljelymänniköt - uhka sahapuun laadulle. Metsänhoitaja 2:12-14.

-------- 1980 a. Karsimalla ei korjata taimikkovaiheen virheitä. Metsäliiton Viesti 2:24-25.

-------- 1980 b. Karsimallako puun laatua parantamaan. Metsä ja Puu 1:28-29.

-------- 1981 a. Istutusmänniköiden laatu - kasvava ongelma. Metsä ja Puu 1:4-5.

-------- 1981 b. Lenkous vaivaa istutusmänniköissä. Metsälehti 5.

-------- 1981 c. Minkä laatuista puutavaraa istutusmänniköistämme. Suomen Puutalous 2:26-28.

-------- 1981 d. Saammeko tulevaisuudessa hyvälaatuista sahapuuta. Sahamies 1:8-10.

VARMOLA, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. Folia For. 451:1-21.

Vientisahatavaran lajitteluohjeet. 1979. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys. Helsinki. 50 s.

VUOKILA, Y. 1970. Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Summary: Selection from above in intermediate cuttings. Acta For. Fenn. 110:1-45.

-------- 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. Folia For. 141:1-36.

-------- 1977. Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä. Summary: Selective thinning from above as a factor of growth and yield. Folia For. 298:1-17.

-------- 1979 a. Karsinta tulee taas. Metsänhoitaja 6:6-7.

-------- 1979 b. Laatunäkökohdat metsänkasvatuksessa. Metsä ja Puu 6-7:8-9.

-------- 1980 a. Luonnonmetsiemme hyvä laatu - pelkkä näköharhako? Suomen Puutalous 5:8-9.

-------- 1980 b. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. Porvoo. 256 s.

SUMMARY

The material of the study consisted of 31 experimental pine plantations and 30 experimental pine stands of natural origin in southern and central Finland. 630 stems were measured in the pine plantations and 1 810 stems in the natural pine stands. 165 and 135 of these stems, respectively, were selected by lot for felling. Stem quality characteristics, e.g. different branchiness zones, branch thickness, defects and stem taper were measured from the boles felled. Intra-tree quality characteristics were measured from the samples taken at stump height. The butt portion was made into logs, test sawn and the sawing result was graded.

The purpose of the study was to establish by test sawing the quality and value of the sawn goods obtained from the butt logs of plantation-grown pines and the factors affecting them. The quality was compared with the results for natural pine stands of corresponding type.

The most important results of the study were as follows:

1. Formation of the branchless part of the stem began earlier in natural stands than in plantation-grown stems and natural pruning was faster with increasing age. The length of the defect-free part of stem with knot bumps was smaller in plantation-grown pine stands also in ratio to the stem height, the part of the stem with dry branches was longer and the crown shorter.

2. The branches of pines of natural origin were thinner than the branches of plantation-grown stems, especially in the lower part of the stem, but the differences disappeared in its upper part. The thickness of

the biggest knots of the butt logs and the mean thickness of the knots measured increased when the log quality deteriorated in materials of both origins. The knots of plantation-grown pine logs were thicker than those of naturally grown pine logs.

3. The butt logs from plantation-grown pine stands were of poorer quality than logs from pines of natural origin evaluated on the basis of both knottiness alone and real quality grading. The log quality deteriorated, i.e., the quality index rose steeply, when the width of the annual ring increased in the vicinity of the pith. When the annual ring width exceeded the limit of approx. 3,5 mm the log quality was poorer than the third grade quality requirements.

4. A plantation-grown log of the same quality class yielded less sawn goods of u/s grade but more sawn goods of lower grades than a log from a pine of natural origin. The u/s percentage of sawn goods fell and the share of lower grades rose when the annual ring widned in the vicinity of the pith. The critical limit in scantlings of plantation-grown stems was an annual ring width of 3,5 mm after which u/s sawn goods were no longer obtained.

5. According to visual stress grading the shares of the strength classes T40, T30, T24, T18 and of culls were 14, 21, 38, 20 and 7 volume % for planks and battens deriving from plantation-grown pines and 22, 35, 35, 5 and 3 volume % for sawn goods from pines of natural origin.

6. The unit prices of planks and battens, boards and sawn goods together, sawn from butt logs of plantation-grown pines were 7,0, 22,2 and 9,1 % lower than those of the corresponding sawn goods assortments obtained from logs of naturally grown pines. Log volume, u/s

percentage and the stem growth rate are factors and quality characteristics that explain best the fluctuations of unit price. When volume was omitted from the independent variables the degree of explanation of the growth rate, especially that of the annual rings close to the pith, rose.

7. The comparability of materials of different origins was reduced partly by the better than average site of plantations and their slightly lower age than that of natural stands. The size distributions of stems and logs, in contrast, were in good correspondence in the different materials.

Liite 1. Sahatavaran hinnat ja arvosuhteet

	Sydäntavara		Laudat	
Laatu	mk/m^3	Suhde	mk/m^3	Suhde
U/s	892	68	1321	100
V	739	56	787	60
VI	678	51		
PL/VL			582	44
PL/KL			315	24

Leveys, mm	Leveyslisä, %	
	Sydäntavara	Laudat
200	5,8	3,9
225	11,0	7,7

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 80.2
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 80.2

WOOD QUALITY IN PLANTATION-GROWN SCOTS PINE

OLLI UUSVAARA

Lyhennelmä

PUUN LAADUSTA VILJELYMÄNNIKÖISSÄ

HELSINKI 1974

ISBN 951-40-0091-9

Helsinki 1974. Valtion painatuskeskus

PREFACE

The effect of reforestation on wood quality has been known to some extent for a long time, although few real studies of the problem have been conducted in Finland. Hence, as timber harvested from pine plantations will also begin before long to change somewhat the properties of the raw material utilised by the forest industry, it was natural for the Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Technology to begin to study the quality of wood in plantation-grown pines.

The chief of the Department of Forest Technology, Professor Veijo Heiskanen, contributed valuable advice from the very beginning of the study and throughout its different phases. He also checked the manuscript. Acting Professor Pentti Hakkila also checked the manuscript. His assistance in the course of the work and when the manuscript was being written was in many ways decisive for the study. Professor Bror-Anton Granvik from the Department of Logging and Utilization of Forest Products, University of Helsinki, directed the work in its later stages. Professor Paavo Yli-Vakkuri checked the manusript especially from the silvicultural point of view. From Dr Kari Löyttyniemi I received a great deal of help during the research project, expecially with the part concerning defects.

Mr Jaakko Kaarre, Mr Sulo Kaarre, Mr Jukka Kanninen and Mr Antti Karjalainen participated in the field work of the study under my direction. A part of the field work was directed by Mr Teuri J. Salminen, M.Sc. Mr Klaus Rantapuu, B.For., translated the Russian source literature.

The laboratory work was done by Mrs Taija Havanto, Mrs Kaarina Koskinen and Mrs Irma Saarilahti. Miss Eija Aronen, M.Sc., Miss Susanna Havukkala, Mrs Kaija Kanninen, B.A., Mrs Ulla Knuutinen, Miss Maaret Turunen and Miss Arja Winter, M.Sc. (Pol.), participated in the calculation work. The drawings were made by Mrs Leena Muronranta. Mrs Aune Rytkönen typed the manuscript.

The study was translated into English by Miss Päivikki Ojansuu, M.A., and checked by Mr L. A. Keyworth, M.A. (Cantab.).

Many foresters engaged in practical forestry helped in the planning of the investigation objects.

With the exception of N:o 4, the photographs were taken by photographer Matti Ruotsalainen, the Photography Institute, University of Helsinki.

I wish to express my best thanks to all the above-mentioned.

Helsinki, November 1973

Olli Uusvaara

CONTENTS

Page

1. Introduction 7

2. Review of the literature 10

3. Investigation material and method 16
   31. Investigation material 16
   32. Investigation method 19
      321. Measurements 19
      322. Collection of wood samples 21
      323. Treatment of wood samples 22

4. Results of the study 25
   41. External characteristics illustrative of wood quality 25
      411. Defect-free stem, stem with knot bumps and dry-branched part of the stem, and crown 25
      412. Size of branches 32
         4121. Branch diameter at different heights 32
         4122. Largest dry and living branch 39
      413. Tapering 44
      414. Defects 47
      415. Butt log quality 54
   42. Indicators of the quality of defect-free wood 59
      421. Ring width 59
      422. Percentage of late wood 63
      423. Basic density 66
         4231. Density variation within the stem 66
         4232. Density variation between the stems 70
         4233. Density variation between the stands 71
      424. Percentage of heartwood 72
   43. Comparison between naturally regenerated and plantation-grown pines 75

5. Summary 85

References 89

Appendices 100

Lyhennelmä 103

1. INTRODUCTION

It can be seen from the long-term reforestation programmes that wood produced by natural forests will decrease fast because of increasing reforestation activity. Hence, a growing proportion of the wood utilized for various forest industry purposes will be harvested in the future from plantations. The short time of regeneration, the possibility of selecting the tree species and of using improved seedling stock, a higher yield than in natural forests and possibly lower management and harvesting costs are strong arguments in favour of expanding reforestation activity.

However, it is impossible to be certain now about how much and what type of wood the forest industry will need in the future. Nevertheless, as far as Scots pine (Pinus silvestris L.) stands are concerned it may be assumed, that the species will be of considerable importance, particularly as sawlogs. In pine stands, therefore, the quality of the wood should be accorded equal consideration as fast and high yield. In fact, in addition to high yield, attention has long been paid in silviculture to the quality of the growing stock to be cultivated and the factors affecting it (e.g. Helander 1922, Jussila 1935, Laitakari 1937, Lindqvist 1939, Eriksson 1941, Sarvas 1944, 1956, Paul and Smith 1950, Andersson 1958, Heiskanen 1959, Jackson 1968).

It is also obvious that with the increasing change to reforestation the quality of the timbergoods and the wood raw material will change in many ways. When artificial regeneration is practised the growing space of the trees is generally decided immediately the stand begins to develop and it often becomes considerably more spacious than in natural forests. Moreover, overshadowing by broad-leaved trees and their competition for growing space are absent or slight. Later thinnings of plantation-grown pines affect, furthermore, both the size of the branches and the natural pruning of the stem.

The wood quality of plantation-grown pine may be influenced also by e.g. the means offered by the breeding of trees and soil improvement. If the aim is merely to increase growth, the measures may also have detrimental effects on wood quality, e.g. on branchiness and basic density

(Schöpf 1954, Nilsson 1968). Reforestation of former fields is a factor that also affects the wood of plantations, for the areas selected in the past for farming were the best in regard to soil and richest in nutrients.

Plantation-grown pines have an average yield higher than that of natural forests, which implies fast growth of individual trees also. The changes that take plase in the external characteristics of wood quality, branchiness and self-pruning, cannot avoid influencing also the anatomical structure of wood and the internal characteristics that portray wood itself. It is possible to harvest timber from plantation-grown pines in a slightly earlier phase of development than from natural forests, and this too is of importance for wood quality and serviceability.

Extensive interference of man with the evolutionary process of nature often has harmful consequences. If forest regeneration work creates favourable propagation conditions for, for instance, certain injurious insect species in the form of widespread logging areas and homogeneous »cultural forests», the result may be an outbreak of unexpected devastation. Not only quantitative but also qualitative losses are always associated with phenomena of this kind, even in mild cases.

Expansion of reforestation activity and other associated measures which change growth conditions thus bring new problems related to the utilization of wood. The reforestation technique itself and soil improvement questions have been studied relatively extensively, whereas examination of the effect of the different measures on wood quality has been the subject of rather summary and inadequate studies.

The present study is in its subject matter not only wood-technological but partly also silvicultural, for the silvicultural aspects of the importance for wood quality both of the establishment of a seedling stand and its treatment cannot be totally disregarded. The effect of silvicultural measures on wood quality emerges in different connections, although the main purpose is to describe from a technical point of view the quality of wood and timber and the factors affecting it. It may be mentioned, too, that silvicultural and wood-technological points of view are closely connected especially in cultivated stands and both should be taken into consideration today and in the future e.g. when the field afforestation programme is implemented.

The aims of the study in main outline were as follows:

— To throw light on the quality of timber, chiefly with reference to sawlogs, the development of quality as judged by external stem characteristics and various factors relating to stand development.

— To examine the variations in pine plantations of wood quality characteristics significant for the purposes of wood utilization and their correlation with environmental and other factors.

— To throw light on the connection between and interdependence of wood quality and various external characteristics illustrative of quality.

— To compare the timber and wood characteristics of natural and cultivated pine stands.

2. REVIEW OF THE LITERATURE

Heikinheimo (1953) mentioned branchiness and knottiness as characteristics that illustrate the amount of branches. The former denotes the abundance of branches outside the stem surface and the latter the number of branches inside the wood. Branches refer in the present work to branches outside the stem.

The stem may be divided on the basis of branches into a branchless, dry-branched part of the stem, stem with overgrown knots, and the crown (e.g. Krotkevitš 1955, Krigul 1961, Heiskanen 1965). The longer the branchless butt and the smaller the knot bumps and branches are, the better the utilization value and quality of the stem.

The effect of habitat and the planting and seeding space on branch thickness and branchiness in cultivated stands was studied by e.g. Klem (1944 and 1952), Chroust (1958), Nylinder (1959), Klebingat (1962), Richards et al. (1962), Stiell (1964), Danšin (1966), Merkel (1967), Wright (1967) and Mráček (1969). The pronounced effect of spacing at establishment on branch thickness, particularly in the young phase of the stand, has been noted (e.g. Bramble et al. 1949, Guilkey and Westing 1956, Cromer and Pawsey 1957, Stiell 1966, Lehto and Yli-Vakkuri 1969, Evert 1971). The effect of the original planting spacing on the self-pruning of the stem and on the size and shape of the crown was shown by e.g. Erteld (1967) and Berry (1970). However, thinnings and removal by self-thinning weaken the effect of the original seedling density increasingly as the stand ages (Nylinder 1959).

According to Heiskanen (1954, 1955 and 1965), Nylinder (1958) and Grah (1961), there is a distinct correlation between the largest branch of the pine stem, tree diameter and the quality of the butt log. Indeed, Koltzenburg (1954) stated that on better sites pine requires a dense planting spacing and that the number of stems must be kept high even in the later phases of stand development. Yli-Vakkuri (1958) stated that from the point of view of sawlog quality the selected site should at least not be better than fairly poor Myrtillus type (MT). In his study

of the effect of the nutrient content of the growing site on the quality of sawlogs from plantations growing *Pinus radiata*-pine, Wright (1967) noted that not only branch size but also bark thickness grows and the crown limit rises when the fertility of the site increases. Factors that influence growth, such as nutrient content and growing space, correlate distinctly with crown size and form (Bennett 1960, Žilkin 1960, Hall 1965). Although growing conditions in naturally regenerated forests differ from the environmental conditions of plantation forests, studies of the former yield information on the self-pruning of stems and the development of branchiness that is applicable to cultivations (Heikinheimo 1953, Koltzenburg 1954, Heiskanen 1965).

Stem taper cannot be regarded as a defect, although abnormally great tapering lowers the utilization value of wood like damage does. Taper may be considered in many respects to be one of the indicators of the quality of sawlog stems (Volkert 1941, Venet 1958, Ralston and McKinnes 1964, Turolski and Bucholz 1964, Chojnacki 1969). The development of stem form depends e.g. on the light conditions in the stand and the age of the tree (Lohrey 1961, Berry 1965).

Tree growth and the development of stem form follow certain known laws and stem form may be related to the changes that occur in crown size and the height of the branchless part of the stem (Larson 1963). Kano and Saito (1970) also observed the correlation between stem form and branch diameter.

The changes of reducing crookedness and sweep by silvicultural means are small, apart from the removal of defective trees. On the other hand, it is possible to regulate stem taper and crown shape directly by controlling the number of stems.

Great tapering of wood is regarded in Central Europe as a serious value-reducing defect, whereas in the Nordic countries, the USSR and USA this property does not affect the value of sawlogs at all in the classification instructions (Heiskanen 1968 a). The negative features of sharp tapering in the sawmill industry are, however, an increase in the number of short slabs in the sawing yield and cross-grainedness (Heiskanen 1968 b).

Defects that reduce the technical quality of the stem may be caused by various external factors which damage the tree, internal growth disturbances and environmental or genetic factors. Sweep and crookedness of the stem are the commonest and most important stem form defects. It is often difficult to draw a dividing line between the two, but sweep includes bending whereas sharp changes in the form of the stem may be called crooks.

Juutinen (1962) and Kangas (1962) studied the crookedness and forkedness of Finnish pine and the factors affecting them. Gaalas (1933) and Guilkey (1958) considered the snow load and fractures to be the principal reasons for crookedness and sweep. Butt crooks and sweep were observed by Moss (1971) in trees of the fastest growing provenances of *Pinus contorta*.

On a good site, sweep often appears to be a defect associated with fast growth. König (1958) stated that the correct selection of site and site and climatic strain are important for reducing sweep in pine. The importance of form defects, sweep and crooks, in sawlogs depends not only on the magnitude of the defect but also on their position in the stem. A stem crookedness is a great disadvantage especially in the mechanical forest industry. Sweeps and crooks in sawlogs increase raw material consumption by shortening and narrowing the sawing yield and lowering the quality of sawn timber (Heiskanen 1970). Crookedness is always more serious than sweep, for the quality loss in sawing sweeped sawlogs can be diminished at least to some extent by guiding the log (Heiskanen 1968 b).

Siimes (1957) reported that the sawlog consumption in cubic feet increases by approx. 50 cu.ft./standard when the sweep of the logs increases to 6—9 cm.

Compression wood is a defect inside the stem that lowers the technical quality and utilization value of wood. The composition and properties of compression wood have been studied by e.g. Ollinmaa (1955), Dadswell et al. (1958) and Shelbourne and Ritchie (1968). There is almost always compression wood in branches and roots, but its practical significance is small there (Haught 1957 and 1958, Zobel and Haught 1962). The origin of compression wood is generally associated with stem crookedness and sweep (e.g. Jalava 1952, Vakin et al. 1969).

The worst property of compression wood for utilization value is its marked shrinkage in the longitudinal direction which causes twisting, splitting and rupturing of timber that contains it (e.g. Knigge 1958, Perem 1958, Heiskanen 1970).

Ring width depends chiefly on the tree species, growing conditions, age of the tree and mechanical effects (Jalava 1952). The width of the annual ring generally decreases from the pith to the surface as the tree becomes older (Mikola 1950, Schultze-Dewitz 1958). Variation in ring width is the cause of the difference in many physical and technical properties of wood between the inner and superficial parts of the stem. There is also longitudinal variation in ring width and in the juvenile wood zone. Wood characteristics are consequently different also at different

stem heights. The significance of ring width has been studied in investigations concerned with the percentage of late wood and basic density in pine. According to several studies, the percentage of late wood varies but is generally independent of ring width (Larson 1957, Klem 1969 and 1970, Kobylinski 1969). However, some authors have reported that the percentage of late wood decreases when ring width increases or decreases considerably (e.g. Jalava 1952, Hakkila 1968). Pechmann (1958), on the other hand, stated that the proportion of late wood is not dependent on ring width except in extreme cases when the annual rings widen especially for some reason or the tree suffers from nutrient deficiency. When the ring width is 1.0—1.5 mm, the percentage of late wood is at its highest (e.g. Siimes 1938, Skripen and Riasova 1958).

The connection between ring width and wood density in softwood trees has been studied by, among others, Volkert (1941), Zobel and Rhodes (1955), Yandle (1956), Larson (1957), Rendle and Phillips (1957), Paul (1960), Knigge (1961), Sellers (1962), Mitchell (1964), Ralston and McGinnes (1964), Klem (1969), Kobylinski (1969).

Ring width, especially around the pith of the tree, has been shown to give the best idea not only of wood strength but also of the size of the knots inside the wood (Heiskanen 1954).

The importance of the growing rate for the mechanical properties of wood — mainly strength — has been discussed by Kramer and Smith (1956), Venet (1958) and Klem (1970). Lubardić and Nikolić (1970) reported that wood of plantation-grown pines was poorer than that of natural forests in its strength properties.

The percentage of late wood also displays variation longitudinally and transversally to the stem (e.g. Schultze-Dewitz 1958, Sellers 1962, Hakkila 1967). The percentage of late wood rises evenly in pine from the pith towards the surface, that is, from older to younger annual rings (e.g. Hakkila 1967).

The effect of various growth and environmental factors on the percentage of late wood has been studied by e.g. Harris (1955), Larson (1957), Pechmann (1958), Edlin (1965), Baker (1969) and Klem (1969).

Strength is an important property, especially for sawlog and sawn timber quality. Late wood with reference to strength characteristics of pine wood has been studied by Kobylinski (1969), Lubardić and Nikolic (1970), and others. The percentage of late wood determines to a great extent both the pulp yield and the properties of paper in the pulp industry (Mitchell 1961, Watson and Dadswell 1964).

Barefoot et al. (1964) mentioned that the thickness of the cell wall of late wood explains 74 per cent of the variation in strength characteristics of paper in *Pinus taeda*.

The percentage of late wood is generally also an important factor affecting basic density in the pine (e.g. Pillow 1955, Zobel and Rhodes 1955, Hakkila 1966, Schalk 1967, Kobylinski 1969, Elliott 1970, Lubardić and Nikolić 1970).

It is mainly because of the late wood percentage that basic density increases with age until a certain phase of development when the vitality of the tree begins to wane. Basic density is thus lower in young trees with a high growth rate than in old and slow-growing trees (e.g. Zobel et al. 1972). It has been noted that the basic density of plantation-grown pine trees is lower than that of naturally regenerated stands of corresponding age (Olson et al. 1947, Giordano 1951, Pillow 1952, Miyajima 1958, Baker 1967). The significance of site for basic density is pointed out in several studies (Göhre 1958, Jayne 1958, Tamminen 1962, Zobel et al. 1965).

Also regional differences and racial characteristics cause differences in basic density (Skripen and Riasova 1958, Zobel and Thorbjornsen 1960, Goddard and Strickland 1962, Mitchell 1964, Gilmore 1968, Hakkila 1968).

In addition to stem-to-stem and stand-to-stand variation, the basic density of the pine stem changes from the pith both radially and longitudinally to the stem. Within-stem variation of basic density in pine has been studied in Finland by Jalava (1952), Hakkila (1966), and Hakkila and Panhelainen (1970), and in other countries by e.g. Spurr and Hsiung (1954), Göhre (1958), Stojanoff et al. (1958), Maeglin (1966), Okkonen (1968), Elliot (1970).

A problem of interest from the point of view of practical silviculture and for users of wcod is the effect of various silvicultural measures on basic density in plantations growing different pine species (Jayne 1958, Echols 1959, Geyer and Gilmore 1965, Hamilton and Mathews 1965, Jackson 1968, Rudman and McKinnell 1970).

According to several authors (Elliot 1970), basic density decreases in young stands of some foreign conifers by 9—15 per cent in the years immediately after fertilization. Basic density reduction of about 3—5 per cent by fertilization were obtained by Saikku (1973 b) in his roentgenological study of the density of individual annual rings. However, there are investigation results indicating that fertilization has no effect or that it even has a basic density-increasing influence (Echols 1972, Gooding and Smith 1972, Smith et al. 1972). The degree and route of influence

of fertilization obviously depend largely on the growth rate of the tree, that is the annual ring width, at the time of fertilization (cf. Salonen 1973).

The heartwood percentage of pine stems is also associated with the above-mentioned characteristics that describe wood quality, especially with the growth rate of wood. The physiological importance of heartwood for the tree is probably mainly the support it provides against external forces. The protection against injurious fungi provided by many substances accumulating in heartwood and their role in the chemical conversion of wood are known. Furthermore, the larval galleries of injurious insects do not generally penetrate to the region of heartwood. Heartwood is consequently also a useful property for portraying wood quality.

Heartwood is formed around the pith of a tree when the cells of the innermost parts of the sapwood die and flows of liquid cease. Heartwood and sapwood differ in, for instance, chemical composition, weight, moisture content and strength of wood (Cohen 1962, Browning 1967). The formation of heartwood begins at the age of 30—40 years in Finnish pine, but north-south geographical variations occur in the time of starting (Bruun and Willberg 1964). The heartwood percentage increases with age, but is correlated negatively with the growth rate (Edlund 1966, Hakkila 1968, Heiskanen 1970).

Studies on heartwood have been published by e.g. Eneroth (1922), Hägglund (1935), Lappi-Seppälä (1952), Nylinder (1961), Rudman (1966), and Hakkila (1967 and 1968). The study by Kärkkäinen (1972), based on the literature deals with the within-stem and stem-to-stem variation of the heartwood percentage.

3. INVESTIGATION MATERIAL AND METHOD

31. Investigation material

The investigations were limited regionally to plantation-grown pines in South Finland which had already reached the minimum size for harvesting. The lower age limit was thus in practice approx. 20 years, depending on the growth rate of the stand. The original intention was to accept only stands for which there was accurate information on origin, e.g. the method of establishment and treatment. However, especially for old stands, the data had often been lost or were based on faint memories of information. The requirement of complete information had therefore to be lowered in order to ensure a sufficiently comprehensive investigation material.

The material was collected in 1968—1969 from the localities shown in Fig. 1. The localities extended geographically from the 60th parallel to slightly about 63° lat. The differences in the height above sea level of the localities weaken to some extent the comparability of wood quality by locality. For example, the southernmost investigation areas, Tuusula and Bromarv, are an average of 60 and 20 m and the northernmost areas, Koli, Viitasaari, Kivijärvi and Karstula, about 145, 115, 135 and 150 m above sea level. The variations in temperature and precipitation of the localities were probably also of some significance for the increment of trees.

Of the total of 92 sample stands, 23 were situated in the experimental areas of the Finnish Forest Research Institute, 63 on land owned by the National Board of Forestry and six in areas owned by companies.

The sample stands were distributed as follows by soil type: Oxalis-Myrtillus type (OMT) 12.0 per cent, Myrtillus type (MT) 31.4 per cent and Vaccinium type (VT) 56.6 per cent. The forest site type was determined in the field from the type plants of the vegetation, using data provided by the records or reforestation blank form whenever available. The mean volume of the sample stands was 132 cu.m./hectare and basal area 20 sq.m./hectare.

The sample stands had usually been treated by normal release cutting and thinning, but this had been delayed in some stands. Only one sample plot was in a middle-aged unthinned stand which belonged to an experi-

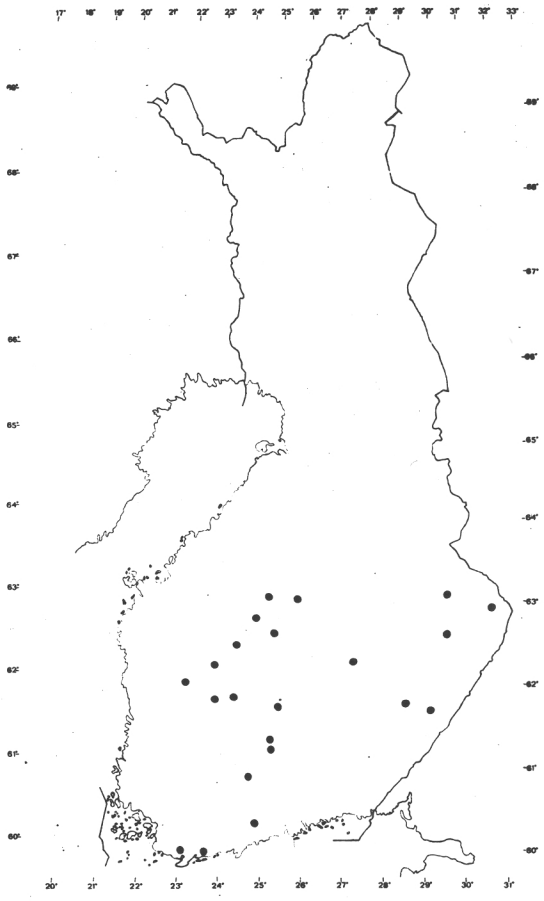


Fig. 1. Location of the investigation sites.
Kuva 1. Tutkimuspaikkojen sijainti

mental plot under study for the effect of thinning on yield. Pruning, too, had been carried out in some stands, but the diameter of the branches on the stem and the degree of self-pruning was not measured in these stands.

Comparison of the basal areas of pine plantations with those of Mäkinen's (1958) natural pine stands and seeded stands treated with repeated thinnings showed the sample stands to be denser at an early age and to approach normal with advancing age. If the results are compared with the target basal area values reported by Nyyssönen (1954) for pine stands treated with cutting, or with the density of Kallio's (1960) seeded pine stands, the pine plantations of VT-type are almost normal in their basal area whereas the stands of MT-type are a little too thin (cf. also Vuokila 1967). If a similar comparison is made between the

volumes of the stands, the growing stock of 40-year-old MT-stands is also below normal whereas the volume of VT-stands is comparable with the mean presented by Nyyssönen for the age class in question.

Standing and felled sample trees which totalled 2 760 and 460, respectively, gave the following core material:

Cores from standing trees	5 500 units
Cores from felled trees	3 600 »
Total	9 100 »

In addition, approx. 480 discs were taken from felled sample trees.

Some figures denoting the characteristics of the sample trees are given in the following. The mean diameter and height of the sample trees were slightly greater than the measuring results reported by Kallio (1960) for seeded pine stands of corresponding age.

	$\bar{x}$	s
Age, years	42.0	14.5
Diameter, cm	15.0	6.1
Height, m	13.4	4.7
Volume, solid cu.m.	0.164	0.02
Tapering, cm	3.4	1.3
Crown height, m	5.4	2.4
Crown proportion, %	44.2	23.9

Table 1 shows the distribution of the material by age class and forest type.

Table 1. Age class distribution of the sample trees by forest site type in accordance with measurements made at breast height and above bark

Taulukko 1. Koepuiden ikäluokkajakautuma rinnantasalta kuoren päältä suoritetun mittauksen mukaisesti metsätyypeittäin

Age, years *Ikä, vuotta*	Forest site type *Metsätyyppi*		
	VT	MT	OMT
	Number of stems, per cent of the total material *Runkojen lukumäärä, % kokonaismäärästä*		
—20	2	3	1
21—30	5	3	—
31—40	26	9	5
41—50	15	7	2
51—60	5	4	—
61—70	1	3	—
71—80	—	3	3
80+	1	—	—
Total — *Yhteensä*	56	32	12

Seedlings and seed were generally of local origin, although information was often missing on this point. The material was distributed as follows by the method of cultivation.

Method of cultivation	Sample plots, units
Planting	15
Patch sowing	52
Broadcast sowing or broadcast sowing on the snow crust	18
Not known	7
Total	92

Information about the density of planting and seedling was usually available from old cultivation cards, but it was necessary in some stands to measure the distances between stems and stumps. The commonest planting and seedling space was 1.5 × 1.5 m, and the smallest and largest patch or planting hole distance 1.2 × 1.2 m and 2 × 2 m.

32. Investigation method

321. Measurements

Plantations meeting the requirements set and for which the information was obtained were selected as the sample stands in the area of the Finnish Forest Research Institute and the companies in question. In the supervisory areas of the National Board of Forestry the stands were selected by lot from among the available plantations. The location and size of the sample stand were first determined from the map as far as possible and then by inspection in the field. The sample plot was located in a part of the stand that represented a uniform area typical of the stand in topography and growing stock. If the plantation had failed or the growing stock was seriously damaged for some reason in a part of the compartment, it was rejected as unsuitable for a sample plot. Similarly, only plantations of pure growing stock which had been established in mineral soil and had developed normally when examined by the naked eye were accepted for the study. General information on the growing stock and data on the establishment and treatment of the stand, etc., were entered for each sample plot on a separate sample plot form.

Thirty adjacent unselected stems in a restricted and unbounded area were selected at random as sample trees. The trees were numbered. In most of the sample stands 2—6 stems from among these sample trees were drawn by lot for felling.

The following measurements and classifications were made on the standing sample trees:

Diameter was measured on the side which the worker happened to be facing at breast height above bark to the nearest centimetre. The *height* of the tree was measured by Blume-Leiss hypsometer to an accuracy of

½ m. If the growing stock was short a long-shafted caliper was used to measure height.

Crown limit was measured at the same time as tree height.

Crown class and *tree class* were determined in accordance with the classification employed in the National Forest Inventory (Anon. 1971).

Taper was determined as the difference of the 1.3 m and 6 (3.5) m diameters.

The lower limit of *the part of the stem with overgrown knots* (knot bumps) was measured in full decimetres.

The lower limit of the part of the stem with *dry branches* was measured in full decimetres down to the lowest dry branch. If there were no knot bumps in the stem, the point of origin of dry branches was entered as the knot bump limit.

The *quality class of the butt log*, that is the quality class of the part of the stem butt 18 ft. in height and meeting the log minimum measurement at the top was determined both on the basis of branchiness and by taking the possible stem defects into consideration. The quality classification was performed according to the recommendation made by the Committee on Business Letter Forms in 1966 and the quality classification instructions drawn up by the Finnish Forest Research Institute and the State Institute for Technical Research (Heiskanen 1970).

Wood *defects* refer here chiefly to defects outside the stem that impair the technical quality of timber. Defects in the anatomical structure of wood were disregarded, with the exception of compression wood observations which were made on the stumps of felled sample trees. The main defects seen in the material may be described as follows.

Crooks are sharp changes in the longitudinal form of the stem which make relatively small angles with the axis of the tree (Erteld et al. 1964). Crooks may be grouped in many ways, according to their form, location and importance, but in this work the distinction was between *butt crooks* and *stem crooks*. The former denote a sudden bend in the root collar or its immediate proximity and the latter a bend elsewhere in the stem.

Sweep refers to an even deviation from the straight line formed by the pith of a tree; the degree of sweep is measured as the maximum distance from the imaginary straight line drawn between the two ends of a piece of wood.

Fork is formed by two or more stems that are joined at the butt or by the bifurcation of a lateral branch at some height of the stem. When the side shoot supplants the leading shoot because of damage that it has sustained, *a vertical branch* often forms. Classified as a separate defect from this is the *great-branchiness* resulting from branches that are abnormally

large. Other defects encountered in the material were *cankers*, usually the result of damage caused by an external factor, and a defect which was manifested primarily as the drying of the tree and was usually entered as a disease.

Pine blister rust, though a disease, was treated as a separate defect because of its lowering effect on the technical quality of timber.

In addition, the following measurements and estimates were made for felled sample trees:

Branch diameter was measured at the relative heigh of 10, 20, 30, 50 and 80 per cent in full millimetres and, to establish the size of stem branches, also at the height of 40, 60 and 70 per cent in a part of the material. Branch diameter at a given level was obtained by measuring at right angles to the longitudinal direction of the tree the thickest branch of the whorl of branches above the basal knob. *Dead or dry branches* and *living branches* were distinguished from one another.

The thickest dry branch of the stem was measured.

The length and diameter of the *longest living branch* and the height of the site of origin of the branch from the butt of the tree were measured.

The height of the *lowest living branch* from the butt of the tree was measured.

Observations were made on *compression wood* at the cutting height of the tree.

322. Collection of wood samples

Two 5.5 mm thick increment cores extending from surface to pith were taken at breast height from all the stems of the sample stand. The stem was bored on the side the worker happened to be facing, but surface defects, knots and compression wood inside the stem were avoided. The sample was usually taken by boring right through pith. The two cores made it possible to eliminate variation in the wood characteristics on different sides of the stem. In addition, cores were taken from felled sample trees at 10 per cent steps from stump height to 90 per cent height if stem diameter still satisfied the 3 cm diameter criterion at that point. The boundary between heartwood and sapwood was marked immediately on the cores on the basis of colour and moisture differences.

One to two stems were drawn by lot from among the felled trees in the sample stand and approx. 4 cm thick discs were sawn from them, likewise at 10 per cent relative height intervals. The discs were used as control material with the cores for the study of variation of longitudinal basic density and heartwood percentage.

323. Treatment of wood samples

As wood properties change in the radial direction of the stem they were studied separately in the outer and inner parts of the stem. The core was divided into three parts by the method worked out by Ericson (1959) to prevent the part around the pith from being over-weighted in the calculation of mean density. The parts of the core then represented 10, 40 and 50 per cent from the cross-section area of the tree as a whole. Short cores (length 2.5—4,0 cm) were divided into two parts only, representing 30 and 70 per cent, and even shorter cores were treated as such. These relative figures were used as weight figures in the calculation of the mean core density.

Basic density (kg/solid cu.m.) was determined from the cores by the mercury immersion method employed in several studies (e.g. Ericson 1960, Hakkila 1966, Hakkila and Uusvaara 1968). Core volume was measured when the wood was of green timber volume, and weight after the cores had been dried. Drying was done at a temperature of 104° C for 48 hours. As the cores were air-dried, in order to prevent decay, they were restored to their original green volume by soaking in water.

Disc weight was measured by weighing, also with the discs absolutely dry. Volume was determined from the displacement when the disc was immersed in water. The too high volume values for the cores given by the mercury method were corrected by using the discs as control material. The difference in the mean stem basic density with these two methods was 18 kg/solid cu.m. The core densities at different stem heights were corrected using the following regression equation (Fig. 2).

Correction equation	R	$S_{y \cdot x}$
$Y = -8.6697 + 1.0629\,X$	0.915	13.3

Y = basic density, kg/solid cu.m. on the basis of discs
X = basic density, kg/solid cu.m. on the basis of cores

The basic density of a pine stem is considerably greater at the butt than elsewhere in the stem and decreases evenly towards the top, depending on the species in question. Hence, a sample taken at breast height gives too high a value for average basic density compared with the mean. The mean stem basic density is generally achieved around quarter height (Nylinder 1961, Hakkila 1966). The breast height values were corrected in the following way with the means of the disc material (Fig. 3).

Correction equation	R	$S_{y \cdot x}$
$Y = 78.4374 + 0.7905\,X$	0.849	14.2

Y = mean density on the basis of discs
X = mean density on the basis of breast-height cores

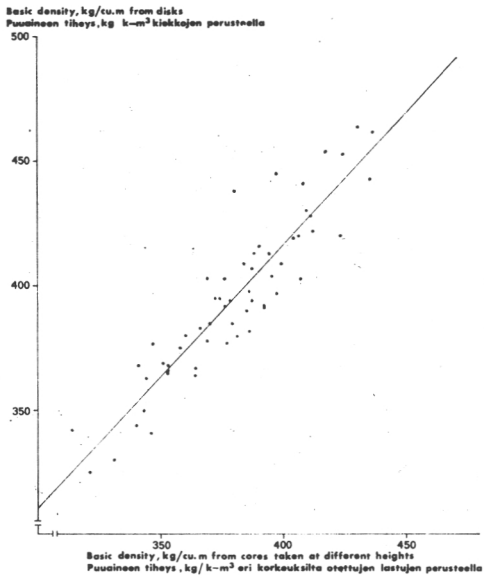


Fig. 2. Correction of basic density calculated from cores taken at different stem heights.
Kuva 2. Rungon eri korkeuksilta otettujen lastujen perusteella lasketun tiheyden korjaaminen

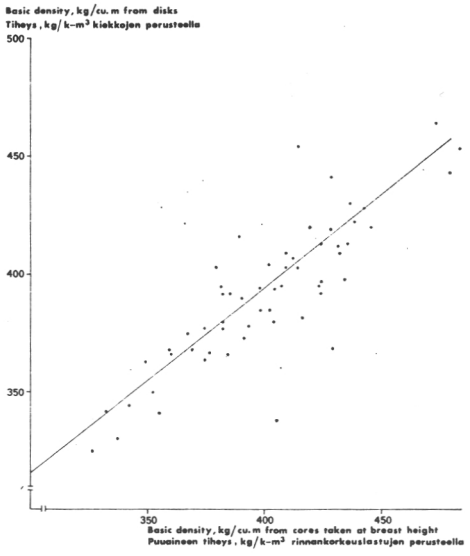


Fig. 3. Correction of basic density calculated from a core taken at breast height.
Kuva 3. Rinnankorkeudelta otetun lastun perusteella lasketun tiheyden korjaaminen

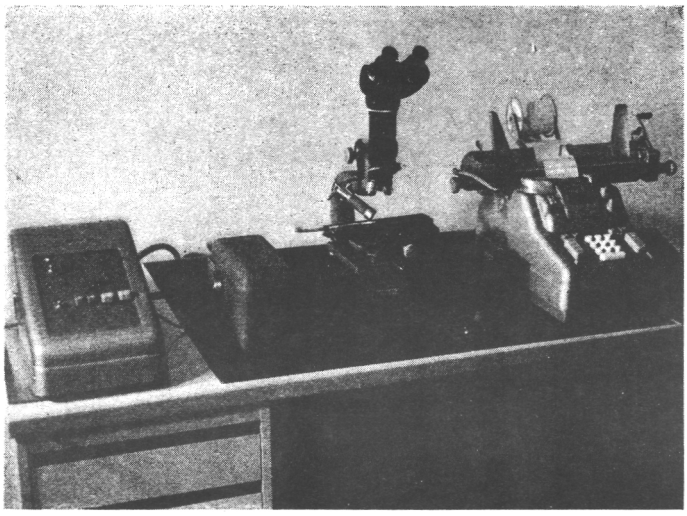


Fig. 4. Annual ring meter used for measuring the annual ring width and percentage of late wood.
Kuva 4. Luston leveyden ja kesäpuuprosentin mittaamiseen käytetty lustomittari.

The quantity of heartwood was first measured in accordance with the heartwood boundary made on the cores in the field at the same time as the cores were divided into 2—3 parts as described above. The length of the heartwood part and the core as a whole was measured to the nearest mm and the percentage of heartwood was calculated as the ratio of the heartwood area and the entire cross-section area of the tree.

The disc material was again used as control material and the discs were treated with benzidine which stained the heartwood part brownish red. It was now observed that the heartwood percentages obtained on the basis of the moisture boundary were slightly higher than in reality. The cores were then dipped in bromphenol solution in a test tube before the heartwood percentage was measured. The staining solution was prepared by mixing 0.0413 g of bromphenol blue in 100 ml of water; the solution stained the heartwood part yellowish colour and the sapwood blue (K u t s c h a and S a c h s 1963).

For the determination of ring width and late wood proportion the core pieces were soaked in water to restore the original dimensions of the cells and facilitate the preparation of the core surface for microscopic examination. To level the surface, the rough surface part of each core was cut away by microtome after which the ring width and late wood and early wood proportions were determined with an annual ring meter (Fig. 4). The device measures to an accuracy of 0.01 mm.

4. RESULTS OF THE STUDY

41. External characteristics illustrative of wood quality

411. Defect-free stem, stem with knot bumps and dry-branched part of the stem, and crown

The results for parts of the stem of differing branchiness are given in Figs. 5—8 and Tables 2—6. The average knot bump limit of a plantation-grown pine stem at the age of 60 years is the same in practice as the branch

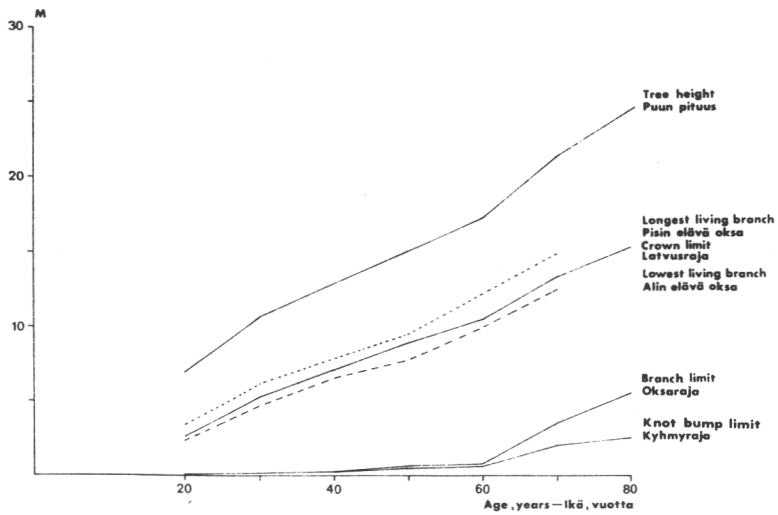


Fig. 5. Development according to age of tree height, location of the longest living and lowest living branch and stem parts of different branchiness in pine plantations.

Kuva 5. Puun pituuden, pisimmän elävän ja alimman elävän oksan sijainnin sekä oksaisuudeltaan erilaisten rungonosien kehitys iän mukaan viljelymänniköissä

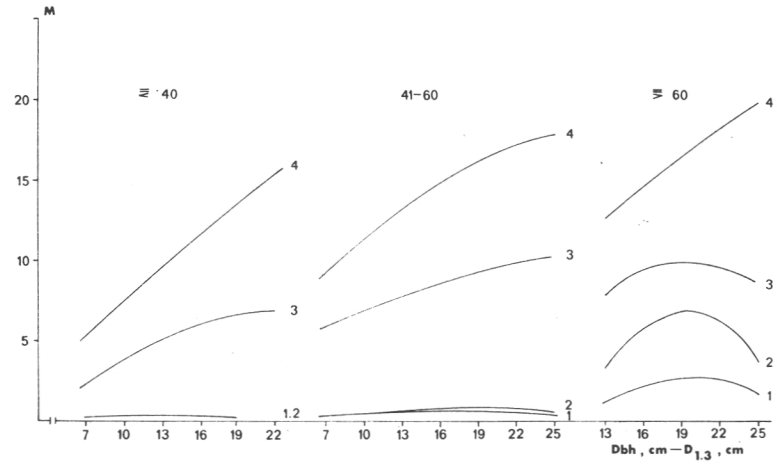


Fig. 6. Variation by Dbh (breast height diameter) and age class of the height of the knot bump-, branch- and crown limit and the tree height of plantation-grown pine stems. VT [1])

1 = knot bump limit, 2 = lower limit of dry branches, 3 = crown limit, 4 = tree height.

Kuva 6. Viljelymäntyrunkojen kyhmy-, oksa- ja latvusrajan pituuden sekä puun pituuden vaihtelu rinnankorkeusläpimitta- ja ikäluokittain. VT [1])

1 = Kyhmyraja, 2 = Kuivien oksien alaraja, 3 = Latvusraja, 4 = Puun pituus

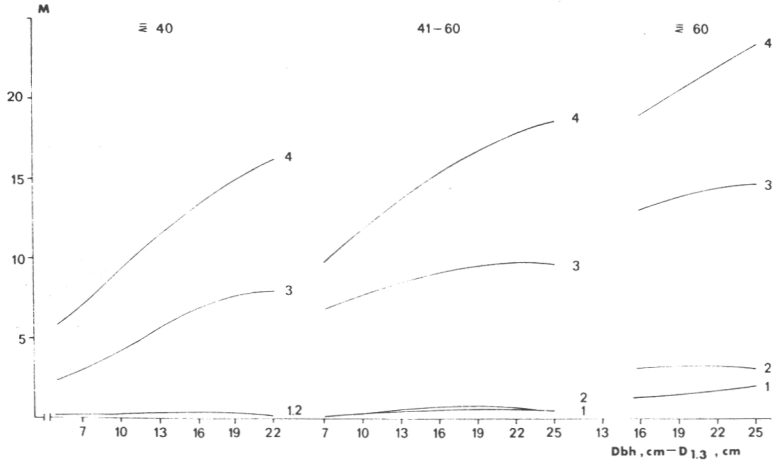


Fig. 7. Variation by Dbh and age class of the height of the knot bump-, branch-and crown limit and the tree height of plantation-grown pine stems. MT [2])

1 = knot bump limit, 2 = lower limit of dry branches, 3 = crown limit, 4 = tree height.

Kuva 7. Viljelymäntyrunkojen kyhmy-, oksa- ja latvusrajan pituuden sekä puun pituuden vaihtelu rinnankorkeusläpimitta- ja ikäluokittain. MT [2])

1 = Kyhmyraja, 2 = Kuivien oksien alaraja, 3 = Latvusraja, 4 = Puun pituus

[1]) Vaccinium type — *Puolukkatyyppi.*

[2]) Myrtillus type — *Mustikkatyyppi.*

limit, i.e., there is no stem with overgrown knots at all. The branchless part of the stem, which is then only about 3 per cent of the total stem height, is 17 per cent of it at the age of 70 and 22 per cent at the age of 80 years. However, approximately a half of this part of the stem contains knot bumps.

Crown limit rises evenly with the age of the tree and the crown proportion of tree height decreases. For instance, the crown proportion is 63 per cent at the age of 20 years and decreases to 41 and 27 per cent of the tree height by the time it reaches 50 and 80 years, respectively. The following regression equations can be used to illustrate the correlation between the height of stem parts with differing branchiness and the age of the tree.

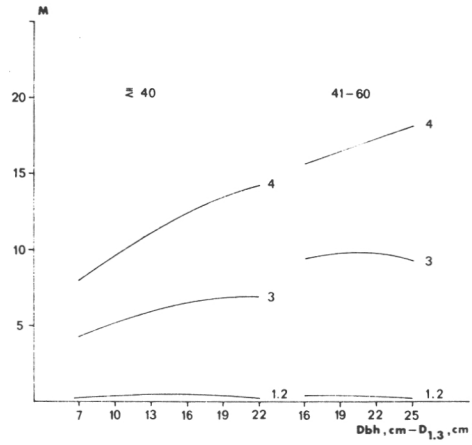


Fig. 8. Variation by Dbh and age class of the height of the knot bump-, branch- and crown limit and the tree height of plantation-grown pine stems. OMT [1])

1 = knot bump limit, 2 = lower limit of dry branches, 3 = crown limit, 4 = tree height.

Kuva 8. Viljelymäntyrunkojen kyhmy-, oksa- ja latvusrajan pituuden sekä puun pituuden vaihtelu rinnankorkeusläpimitta- ja ikäluokittain. OMT [1])

1 = Kyhmyraja, 2 = Kuivien oksien alaraja, 3 = Latvusraja, 4 = Puun pituus

Part of stem	Regression equation	$\bar{x}$	R	$S_{y \cdot x}$
Knot bump limit	$Y_1 = -0.944 + 0.034\,X$	0.48	0.656	0.572
Branch limit	$Y_2 = -1.412 + 0.048\,X$	0.60	0.600	0.935
Crown limit	$Y_3 = -1.064 + 0.203\,X$	7.43	0.791	2.284
Tree height	$Y_4 = 1.867 + 0.275\,X$	13.38	0.854	2.441

Y_1 = height of the part of the stem with knot bumps, m
Y_2 = height of the dry-branched part, m
Y_3 = height of the crown limit, m
Y_4 = tree height, m
X = age of the tree, years

Age explains only 36 per cent of the variation in the height of the branchless part of the stem and 43 per cent of that in the height of the knot bump-free part. The explanation percentages arrived at when the effect of different factors illustrating stem on the height of the branchless stem part was tested by regression analysis were not superior to these percentages. The low correlation was probably due to the minimal variation of the height of the branch limit, the great number of zero observations, that is of stems branched down to the ground, measuring errors and genetic factors.

[1]) Oxalis-Myrtillus type — *Käenkaali-Mustikkatyyppi.*

Table 2. Tree height, knot bump limit and the lower limit of dead and living branches, by age classes

Taulukko 2. Puun pituus, kyhmyraja sekä kuolleitten ja elävien oksien alaraja ikäluokittain

Age, years *Ikä, vuotta*	Knot bump limit, dm *Kyhmyraja, dm*		Lower limits of branches, dm *Oksavyöhykkeiden alaraja, dm*				Lowest branches, dm *Alimmat oksat, dm*				Tree height, dm *Puun pituus, dm*	
			Dead Kuolleet		Living *Elävät*		Dead *Kuolleet*		Living *Elävät*			
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
20	1	1	1	1	27	9	1	1	24	9	69	14
30	3	2	3	2	54	19	3	3	47	18	107	26
40	3	2	3	4	70	17	2	2	66	18	129	25
50	5	4	6	5	89	40	6	5	78	17	150	27
60	3	2	4	4	105	11	4	5	100	14	173	17
70	21	13	36	23	133	25	35	17	125	18	214	31
80	27	11	56	9	154	20	53	1	160	22	244	21

The equations illustrate the development of different branchiness characteristics and height only in the present material and the results are not applicable to pine stands in general. The development of the height and branchiness characteristics of pine stands has been studied by e.g. Nyyssönen (1954) and Kallio (1960). Vuokila (1965) compiled increment functions for density yield tables of pine.

The absolute height of stem parts differing in quality and branchiness increases with age, but their relative height depends on the growth rate, that is, the nature of the growing site and the growing space (cf. Heiskanen 1965, Vencenosceva 1967). The thinnest trees have relatively the smallest crown within a certain age class and, correspondingly, the longest dry-branched part of stem and the smallest length of branchless stem and part of the stem with knot bumps (Figs. 6—8). However, very young trees whose branches have not yet begun to die and whose crown is relatively high are an exception. When the stem diameter increases, the crown decreases to begin with and at the same time the self-pruned and dry-branched part lengthens correspondingly until a certain diameter when the relative branchiness of the stem increases again. Trees of medium diameter have the best stems as regards branches within the age class. Thin trees are either suppressed trees, individuals suffering from lack of light or otherwise slow-growing trees whose branches, though obviously thin, fail to heal over an account of poor growth. On the other hand, the branches of especially thick trees are thick and thus remain alive for a long time or keep on the stem as dry branch stubs.

The branchless part of the stem and stem without knot bumps is considerably longer in the Vaccinium-type than in coeval Myrtillus-type stands. The difference is particularly evident in mature pine stands over

Table 3. Height of the knot bump-, branch- and crown limit and the tree height,by diameter and age classes. VT [1])
Taulukko 3. Kyhmy-, oksa- ja latvusrajan korkeus sekä puun pituus läpimitta- ja ikäluokittain. VT [1])

Dbh, cm *D1.3, cm*	Knot bump limit — *Kyhmyraja*				Branch limit — *Oksaraja*				Crown limit — *Latvusraja*				Tree height, dm *Puun pituus, dm*	
	dm		%		dm		%		dm		%			
	$\bar{x}$	s	x	s	$\bar{x}$	s	x	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Age, years — *Ikä, v*													
	—40													
— 5	1	2	2	3	1	2	2	3	24	11	43	12	54	11
6— 8	2	2	2	3	2	2	2	3	35	17	50	48	71	16
9—11	2	2	2	2	1	2	2	2	49	16	50	12	97	17
12—14	2	2	2	2	2	2	2	2	61	16	51	11	119	15
15—17	3	3	2	2	3	3	2	2	64	16	48	9	132	14
18—20	2	2	1	1	2	2	2	2	68	16	48	9	142	14
21—23	3	2	2	2	3	2	2	2	69	19	44	8	155	21
	41—60													
6— 8	3	2	3	2	3	2	3	2	58	16	52	12	92	13
9—11	3	3	3	2	3	3	3	2	72	18	62	10	115	15
12—14	4	3	3	2	4	4	3	3	79	18	60	11	131	15
15—17	5	4	3	3	5	5	4	3	83	19	56	10	148	18
18—20	5	4	3	3	6	6	4	3	91	20	56	10	161	15
21—23	5	4	3	2	7	6	4	3	97	18	56	11	172	14
24—26	4	4	2	2	6	6	4	3	103	25	58	16	178	11
	61—80													
12—14	11	6	1	5	32	30	23	21	79	12	62	2	127	20
15—17	41	30	3	20	68	5	45	3	100	20	65	11	153	12
18—20	25	21	2	13	67	14	41	9	99	11	61	8	162	9
21—23	25	18	1	9	63	12	35	7	97	9	54	5	179	9
24—26	17	6	1	2	34	27	19	18	97	9	60	4	198	38

[1]) Vaccinium type
[1]) *Puolukkatyyppi*

Table 4. Height of the knot bump-, branch- and crown limit and the tree height, by diameter and age classes. MT [1])
Taulukko 4. Kyhmy-, oksa- ja latvusrajan korkeus sekä puun pituus läpimitta- ja ikäluokittain. MT [1])

Dbh, cm *D1.3, cm*	Knot bump limit — *Kyhmyraja*				Branch limit — *Oksaraja*				Crown limit — *Latvusraja*				Tree height, dm *Puun pituus, dm*	
	dm		%		dm		%		dm		%			
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Age, years — *Ikä, vuotta*													
	—40													
— 5	1	1	1	1	1	1	1	1	21	6	40	7	53	8
6— 8	1	1	1	1	1	1	1	1	31	13	43	12	70	12
9—11	1	2	2	2	1	2	2	2	42	21	46	13	86	19
12—14	2	2	2	2	2	2	2	2	63	22	52	13	118	21
15—17	3	2	2	2	3	2	2	2	71	15	52	8	134	18
18—20	2	2	2	2	2	2	2	2	78	10	52	6	149	12
21—23	2	2	2	1	2	2	2	1	78	12	48	7	162	10
	41—60													
6— 8	2	2	3	3	2	2	3	3	69	18	69	9	98	15
9—11	3	3	3	2	3	3	3	2	78	18	62	7	125	17
12—14	3	2	2	2	4	3	3	2	86	12	62	7	138	15
15—17	5	4	3	2	7	10	4	6	89	11	57	5	157	11
18—20	4	3	3	2	5	4	3	3	94	16	56	8	166	13
21—23	6	3	3	2	7	5	4	3	99	13	55	5	179	13
24—26	5	3	3	2	5	4	3	2	97	17	52	5	186	17
	61—80													
15—17	14	8	8	5	36	29	20	16	128	17	68	5	188	22
18—20	16	11	8	7	30	23	16	13	142	28	68	10	209	23
21—23	17	9	8	4	34	24	17	13	142	24	66	8	214	22
24—26	24	15	10	5	27	18	12	9	146	16	62	5	234	14

[1]) Myrtillus type.
[1]) *Mustikkatyyppi*

Table 5. Height of the knot bump-, branch- and crown limit and the tree height, by diameter and age classes. OMT [1])
Taulukko 5. Kyhmy-, oksa- ja latvusrajan korkeus sekä puun pituus läpimitta- ja ikäluokittain. OMT [1])

Dbh, cm *D1.3, cm*	Knot bump limit — *Kyhmyraja*				Branch limit — *Oksaraja*				Crown limit — *Latvusraja*				Tree height, dm *Puun pituus, dm*	
	dm		%		dm		%		dm		%			
	x	s	x	s	x	s	x	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Age, years — *Ikä, vuotta*													
	—40													
6— 8	2	3	2	3	2	3	2	3	42	6	52	6	80	18
9—11	3	2	3	2	3	2	3	2	53	12	54	8	97	13
12—14	3	3	3	2	3	2	3	2	59	10	52	7	113	13
15—17	3	2	3	2	3	2	3	2	63	12	51	7	122	15
18—20	3	2	2	2	3	2	2	1	59	10	48	7	124	13
21—23	2	1	1	1	2	1	2	1	69	11	48	9	143	15
	41—60													
15—17	3	2	2	1	3	3	2	2	93	12	60	8	157	13
18—20	3	2	2	2	4	3	2	2	100	12	60	5	165	13
21—23	2	2	1	2	2	2	1	2	95	11	56	6	171	13
24—26	2	1	1	1	2	1	1	1	92	6	51	3	182	9
	61—80													
21—23	2	1	11	2	—	—	—	—	129	23	58	8	221	16
24—26	3	8	13	4	—	—	—	—	141	18	63	7	224	13

[1]) Oxalis-Myrtillus type.
[1]) *Käenkaali-Mustikkatyyppi.*

60 years old. The height of the dry-branched part of the stem and the crown also increase on moving from Vaccinium-type to Oxalis-Myrtillus-type stands, and the difference is the greater the older the stand.

There are not only stand-to-stand but also within-stand variations in branchiness (Table 6). The knot bump and branch limits of the largest trees of a stand, those of the 1st crown class, are slightly higher than the corresponding branchiness zones of trees of the 3rd and 4th crown classes, whereas no noteworthy difference is seen in stems of the 2nd crown class. On the other hand, as regards the relative height of the branchless part of the stem, the 3rd and 4th crown classes are better self-pruned at an early age than the dominant trees, but the difference is reversed at a later age.

Self-pruning of stems was considerably faster in the sown pine stands studied by K a l l i o (1960), for the 4-m self-pruning height was achieved already at the age of 55, against about 70 years in this study. The effect of the growing rate on crown height gave similar results when stem taper was used to illustrate growth rate. K r i g u l (1961) mentioned that the death of the lowest branches of the crown was fastest at the age of 20—30 years and that the height of the branchless zone reached a relative height of 24—35 per cent at the age of 100. Z i l k i n (1960), H a l l (1965) and E v e r t (1971) associated growth rate and crown development chiefly with the age of the stand, nature of the soil and growing space.

412. Size of branches

4121. Branch diameter at different heights

As the branches of the butt portion of the stem are the first branches to grow during the life of a tree they also die and fall first and their diameter remains smaller than that of the upper branches. Branches that grow later survive longer and also have more time to grow in thickness. In the later years of life, on the other hand, the branches that originate in the crown portion of the stem develop very slowly and when the vitality of the tree wanes remain thinner than the branches of the other parts of the crown. The fact that the lower branches of the stem are left without sufficient light when the stand closes in furthers their drying and falling.

Table 7 and Fig. 9 show the correlation between the diameter growth of branches and stand age. Branches grow in diameter in all parts of the stem, but the diameter differences increase towards the crown. For instance, there is no great difference at the relative height of 10 per cent in the branch diameter of trees between the youngest and oldest age classes. The branch diameter of young trees at relative heights is much more even than that of

Table 6. Height of the knot bump-, branch- and crown limit and the tree height, by age classes and crown classes
Taulukko 6. Kyhmy-, oksa- ja latvusrajan korkeus sekä puun pituus ikäluokittain ja latvuskerroksittain

Age, years *Ikä, vuotta*	Knot bump limit — *Kyhmyraja*				Branch limit — *Oksaraja*				Crown limit — *Latvusraja*				Tree height, dm *Puun pituus, dm*	
	dm		%		dm		%		dm		%			
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	x	s	x	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	x	s
	Crown class — *Latvuskerros* 1													
20	1	1	1	1	1	1	1	1	27	8	36	8	73	12
30	3	3	3	3	3	3	3	3	55	19	48	13	114	25
40	3	2	2	2	3	4	2	3	72	16	52	7	138	22
50	5	4	3	2	7	5	4	3	89	20	56	10	160	22
60	3	2	2	1	5	5	3	3	106	12	52	8	180	12
70	22	13	10	6	34	22	17	13	137	24	61	8	223	24
80	26	10	10	4	56	9	22	3	154	20	62	5	246	19
	2													
20	1	1	1	1	1	1	1	1	26	10	40	10	63	12
30	2	2	3	3	2	2	3	3	49	19	50	12	98	24
40	3	2	2	2	3	3	2	2	69	16	56	8	122	20
50	5	4	4	3	6	5	4	3	85	21	58	12	142	23
60	2	2	2	1	3	3	2	2	102	11	62	7	164	5
70	22	15	12	9	41	25	24	16	127	24	65	8	195	30
80	35	19	14	8	56	2	22	1	159	23	68	9	235	16
	3													
20	1	1	2	2	1	1	2	2	25	1	45	8	55	12
30	2	2	3	2	2	2	3	2	49	19	56	17	88	22
40	2	2	2	3	2	2	2	3	64	19	66	58	105	24
50	4	3	3	2	4	4	3	2	82	19	63	10	128	20
60	2	1	1	1	3	3	2	2	106	9	71	6	150	16
70	12	8	7	4	39	30	23	20	131	22	72	12	182	25
	4													
30	2	1	3	2	2	1	3	2	51	21	58	13	85	18
40	2	2	2	2	2	2	2	2	63	16	68	10	92	17
50	4	3	4	3	4	3	4	3	108	141	107	156	105	27
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70	10	64	8	5	24	28	18	20	76	13	62	3	123	19

Table 7. Branch diameter at different relative heights, by age classes and crown classes
Taulukko 7. Oksan paksuus rungon eri suhteellisilla korkeuksilla ikäluokittain ja latvuskerroksittain

Crown class *Latvuskerros*	Relative height, per cent — *Suhteellinen korkeus, %*															
	10		20		30		40		50		60		70		80	
	Branch diameter, mm — *Oksan paksuus, mm*															
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	x	s
	Age, years — *Ikä, vuotta*															
	—30															
1	14	5	16	5	19	5	24	7	24	6	23	4	21	5	16	4
2	11	3	13	3	15	4	21	5	17	4	22	10	19	3	13	3
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	31—50															
1	13	5	18	6	21	7	23	6	26	7	27	8	27	7	23	6
2	12	4	15	4	17	5	17	4	20	5	19	3	19	5	18	5
3	10	3	13	4	14	4	16	4	17	4	18	3	18	3	16	4
4	9	3	11	4	12	3	13	3	14	3	15	3	14	3	14	4
	51+															
1	14	8	17	6	21	6	28	6	26	8	30	10	28	9	26	6
2	12	3	14	4	18	6	21	2	21	6	26	5	27	5	23	6
3	9	2	11	4	12	2	13	4	15	5	19	2	19	3	16	5
4	8	2	11	2	11	1	10	0	12	2	17	0	12	0	14	2

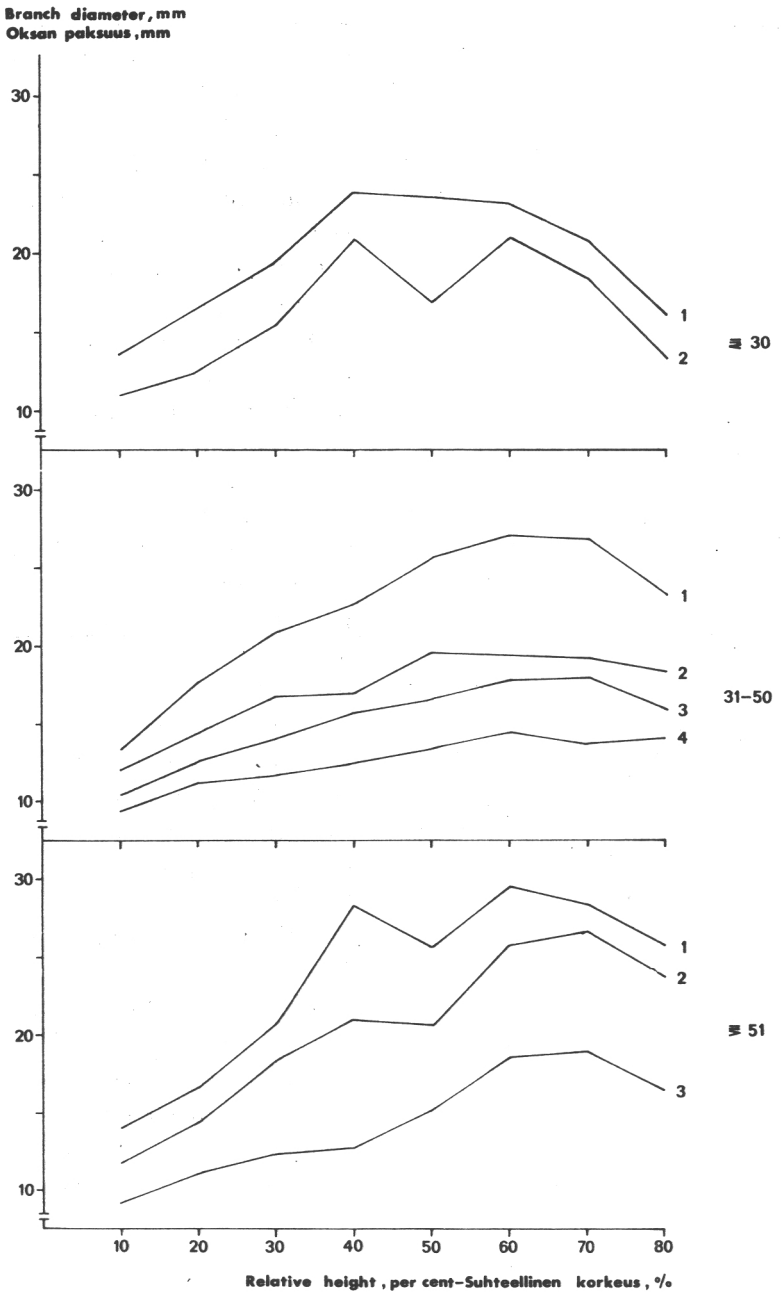


Fig. 9. Branch diameter at relative heights of 30, 30—50 and over 50 year old plantation-grown pine stems, by crown classes (1, 2, 3, 4).

Kuva 9. Oksan paksuus 30, 30—50 ja yli 50 vuotiaiden viljelymäntyrunkojen suhteellisilla korkeuksilla latvuskerroksittain (1, 2, 3, 4).

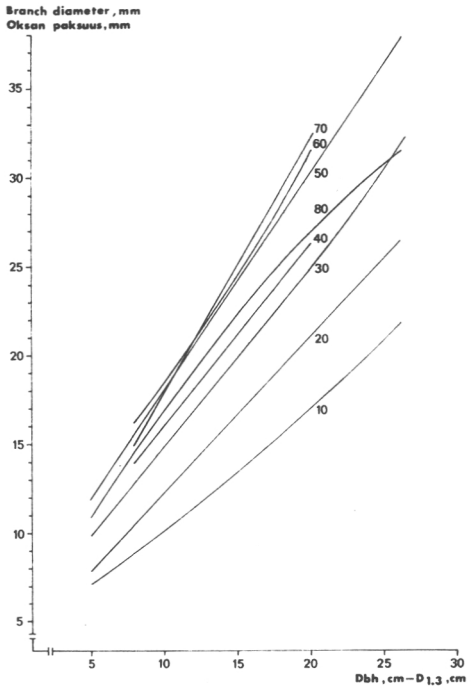


Fig. 10. Correlation between Dbh and branch diameter at different relative heights in 30—50 year old plantation-grown pines.

Kuva 10. Oksan paksuuden riippuvuus läpimitasta eri suhteellisilla korkeuksilla 30—50 vuotiaissa viljelymänniköissä

the stems of older stands. Branch diameter increases with age more steeply toward the crown.

The thickest branches are encountered in the oldest age class at the relative height of 60 per cent, in the youngest stands at the 40 per cent height.

Branch diameter not only diminishes on moving from the first crown class to lower classes but also levels out at different heights and the difference between the thickest branch of the stem and the thinnest branch of minimum size decreases (Fig. 9). The co-dominant trees of plantation-grown pine seem to be superior to dominant trees not only in pruning but also in branch diameter.

Branch diameter grows steeply with the growth rate. The effect is greatest in the upper parts of the crown. However, the increase in diameter growth ceases to have the same effect at the relative height of 80 per cent (Figs. 10 and 11 and Table 8).

It proved impossible in this work to study the effect of the original planting space on branch diameter as the planting spacings varied very little. The branches that originate during the early development of the stand influence the quality of the most valuable butt portion of the stem, whereas later thinnings are capable of regulating only the development of upper branches. The branches of the butt part have already died and partly fallen off by this time.

S t i e l l (1966) reported that the crown size of an individual tree is directly proportional to the growing space of the tree in *Pinus resinosa*, and that the crown size is reflected in the characteristics that portray the quality of the stem and wood. The effect of silvicultural measures on wood quality is probably relatively small, except in the initial stage of stand development (K l e m 1969). An exception from this is, however, the pruning

Table 8. Branch diameter at relative heights of trees of differing heights, by forest site types
Taulukko 8. Oksan paksuus eri pituisten puiden suhteellisilla korkeuksilla metsätyypeittäin

Tree height, m *Puun pituus, m*	Relative height, per cent — *Suhteellinen korkeus, %*															
	10		20		30		40		50		60		70		80	
	Branch diameter, mm — *Oksan paksuus, mm*															
	x	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	x	s	x	s	x	s	x	s
								VT								
6—10	10	4	12	3	14	4	17	6	18	6	18	5	17	5	14	4
11—15	12	4	15	4	17	5	20	5	21	6	23	7	24	7	20	5
16—20	16	7	17	5	21	6	23	7	26	7	27	9	31	8	25	5
								MT								
6—10	12	4	15	5	17	6	21	7	20	7	21	7	19	6	15	4
11—15	12	3	15	5	18	5	16	7	21	9	21	7	20	5	20	6
16—20	13	4	17	7	20	6	25	5	26	7	29	7	25	7	24	6
21—25	—	—	15	3	21	5	—	—	25	7	—	—	—	—	31	5
								OMT								
6—10	13	4	18	7	19	6	—	—	23	8	—	—	—	—	20	7
11—15	16	4	23	6	26	7	—	—	27	5	—	—	—	—	25	6
16—20	20	5	25	4	30	7	31	9	31	6	33	7	27	4	24	5
21—25	—	—	19	10	27	4	—	—	26	6	—	—	—	—	31	6

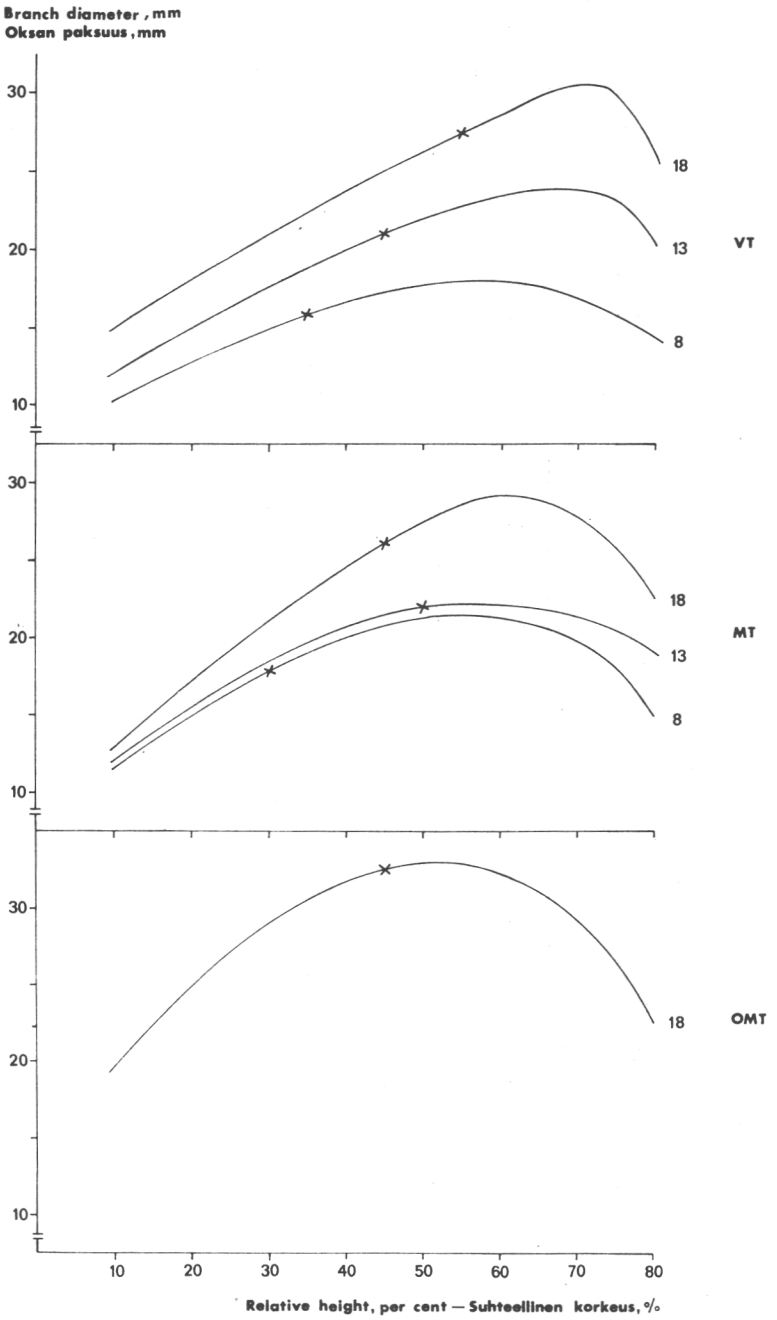


Fig. 11. Branch diameter at relative heights of 8, 13 and 18 m high plantation-grown pine stems (x = highest measured dry branch).

Kuva 11. Oksan paksuus 8, 13 ja 18 metrin pituisten viljelymäntyrunkojen suhteellisilla korkeuksilla (x = ylin mitattu kuiva oksa)

of selected trees of the stand which naturally has a favourable effect on stem branchiness.

Genetic factors also affect branchiness, branch size and crown form. Strains with thick and those with slender branches can be distinguished in pine (Schöpf 1954, Mráček 1969). Oldenkamp (1968) stresses the necessity of selecting the right tree species and strains for the growing of good quality trees if sparser plantation densities are used.

Selection of the right pine strain and tree breeding thus offer possibilities for raising wood quality. Several investigators are of the opinion, however, that pruning should be used for pine, too, in growing quality wood (e.g. Sarvas 1956, Krigul 1958, Heiskanen and Taipale 1963, Bennet 1969, Lehto and Yli-Vakkuri 1969).

4122. Largest dry and living branch

The largest dry and living branch are characteristics that represent the quality and useful value of the tree as a whole. All the branches of the stem, but more especially its largest branches, are indicators of its growth rate and thus illustrate both sawlog quality and the quality of the tree stem in general, e.g. crown height and form (Hall 1965). The growth of branches is commonly associated with diameter growth, i.e., stem growth rate (Nylinder 1959, Stout 1964). But growth rate and crown development are dependent also on the age of the stand and the nature of its site (Evert 1971). Merkel (1967) noted in his studies on spruce that the maximum branch diameter increases by 3.5 mm and length by 35 cm when the mean spacing of the trees is increased by 1 m.

The diameter of the thickest dry branch and the diameter and length of longest living branch were studied by means of various external characteristics portraying the stem. Stepwise regression analysis was used in the study. Stem volume, taper, age, height, diameter and crown proportion and their various variants were the independent variables. Breast height diameter proved to be the best variable and it explained 63 per cent of the diameter variation of the thickest dry branch. The regression equation then takes the form $Y = 7.314 + 1.153\ X$, in which Y = the thickest branch of the stem, mm; X = the breast height diameter of the stem, cm; $R = 0.795$.

The best correlations were given by the following variables singly for a linear correlation between them and the diameter of the thickest dry branch.

Independent variable	Coefficient of correlation
Breast height diameter	0.796
Breast height diameter^2	0.777
Volume growth	0.772
Logarithm of volume	0.727
Diameter growth	0.650

The part of the variation in the diameter of the largest dry branch of the stem that is explained by quantities illustrating the stem was as follows when the number of independent variables was increased.

Independent variable	R	Explained variance, %
Diameter	.796	63
+ radial increment	.821	67
+ crown proportion	.828	69
+ 1/tree length	.832	69

The best degree of explanation, 70 per cent, was obtained by the following equation:

$$Y = 0.703\,X_1 - 0.184\,X_2 - 0.123\,X_3 + 1.423\,X_4 + 26.838\,X_5, \text{ when } R = 0.837.$$

X_1 = tapering, cm
X_2 = age, years
X_3 = crown proportion, %
X_4 = breast height diameter, cm
X_5 = reciprocal of height

When corresponding regression analysis was performed for the diameter and length of the longest living branch, breast height diameter was again the best variable. The following regression equations were obtained.

Regression equation	$\bar{y}$	s	$\bar{x}$	s	R
$Y_1 = 7.801 + 1.340\,X$	25.5	8.8	13.2	4.8	0.737
$Y_2 = 0.696 + 0.092\,X$	1.9	0.57			0.777

Y_1 = diameter of longest living branch, mm
Y_2 = length of the longest living branch, m
X = breast height diameter of the stem, cm

The following variables show the best correlation with the diameter and length of the longest living branch.

Branch diameter		Branch length	
Independent variable	R	Independent variable	R
Diameter	0.737	Diameter	0.777
Logarithm of volume growth	0.724	Logarithm of volume growth	0.772
Diameter^2	0.721	Diameter^2	0.765
Logarithm of volume	0.662	Logarithm of volume	0.703
Volume	0.651	Volume	0.694
Logarithm of taper	0.519	Logarithm of taper	0.685

The following combinations of independent variables explain best the diameter and length of the longest branch of a tree when regression analysis is applied.

Diameter of the longest living branch, mm

Independent variable	R	Explained variance, %
Diameter	.737	54
+Logarithm of age	.784	61
+Age/length	.790	62
+Logarithm/ (age/diameter) ..	.795	63

Length of the longest living branch, m

Independent variable	R	Explained variance, %
Diameter	.777	60
+Diameter growth	.820	67
+Crown proportion	.826	68

The dimensions of the largest branches are thus explained best by stem diameter and age in one form or another (cf. also Figs. 12—13), although stem volume and taper also correlate closely with these characteristics. A tree consequently grows bigger branches the older and faster-growing it is. Heiskanen (1965) found a linear correlation also in every age class between the stem breast height diameter and the largest branch of the butt log. When the variation in the diameter of the largest dry branch of the stem and the diameter and length of the longest living one in different age classes was analysed, the development in pine plantations was

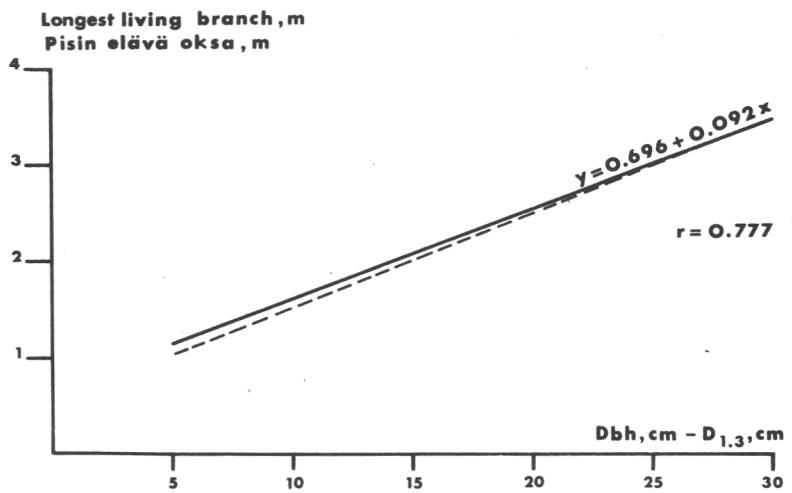


Fig. 12. Correlation between the length of the longest branch and Dbh.
— — — — — Longest branch of the tree in naturally regenerated pine stands according to HAKKILA (1971).

Kuva 12. Männyn pisimmän elävän oksan pituuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta
— — — Puun pisin oksa luonnonmäkkiköissä HAKKILAN (1971) mukaan

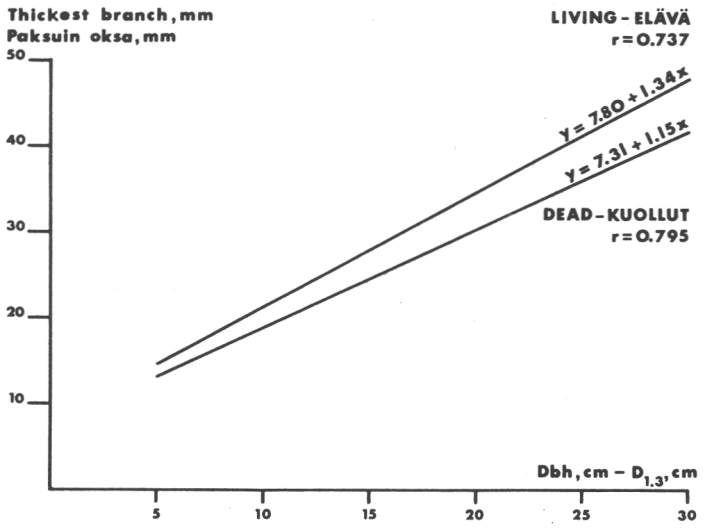


Fig. 13. Correlation between the diameter of the longest living and thickest dead branch of stem and Dbh in pine plantations.

Kuva 13. Rungon pisimmän elävän ja paksuimman kuolleen oksan paksuuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta viljelymänniköissä

found to be somewhat different (Figs. 14—16). Branch diameter and length increase steeply at first with stem diameter growth, but then slow down when maximal diameter growth values are achieved.

Trees of the poorest quality as regards branchiness are the fastest-growing individual trees of the 1st crown class, and their dry branches are very low, particularly thick and heal over slowly.

The thickest dry branch of a plantation-grown pine stem is located on average slightly below the lowest living branches, and the thickest green branch in the lower portion of the crown (Fig. 5). The longest branch of the stem on average is also the thickest, except in the small-crown trees of the 4th crown class. Hence, the thickest branch in small trees is roughly half way up the stem, but higher as the tree ages, and at approx. the $^2/_3$ height of the stem at the age of 70. A g e r et. al. (1964) reported that the thickest branch of the pine usually develops slightly below the middle of the stem. As with the crown limit, the height of the longest living branch in a certain age class rises at first as the diameter increases but falls again when the growth rate becomes especially fast.

The effect of the forest type on the diameter growth of branches is seen in the following table which shows the diameter and length of the largest branches of 30—40-year-old pine stems.

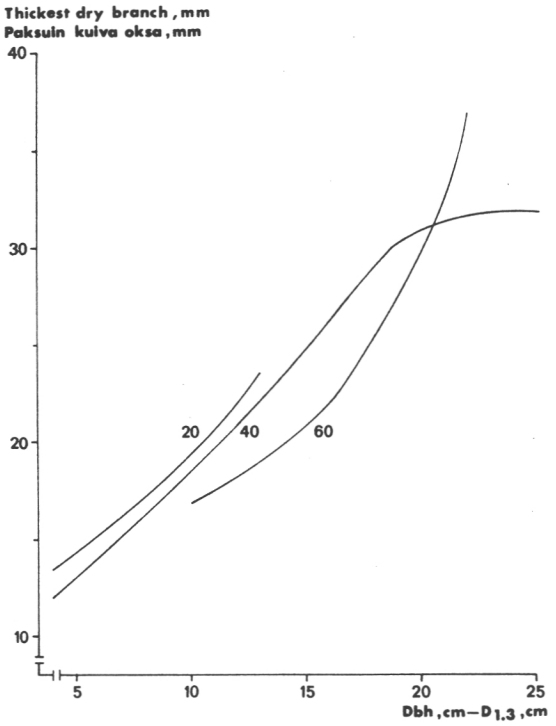


Fig. 14. Correlation between the diameter of the thickest dry branch of the stem and Dbh in pine plantations aged 20, 40 and 60 years.

Kuva 14. Rungon suurimman kuivan oksan paksuuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta 20-, 40- ja 60-vuotiaissa viljelymänniköissä

	VT		MT		OMT	
	x	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Largest dry branch, mm	20.7	5.8	24.6	7.3	30.2	6.2
Longest living branch, mm ..	23.7	7.9	27.5	11.5	30.4	7.5
Longest living branch, m	1.8	0.5	2.1	0.7	2.3	0.6

H a k k i l a (1972) in his study of the correlation between the diameter and length of the thickest branch and different factors noted breast height diameter and tree height to be the best variables explaining branch dimensions. The development of the length of the longest branch in natural pine stands of an average age of 107 years as a function of breast height diameter was similar to the results obtained in the present study (Fig. 12).

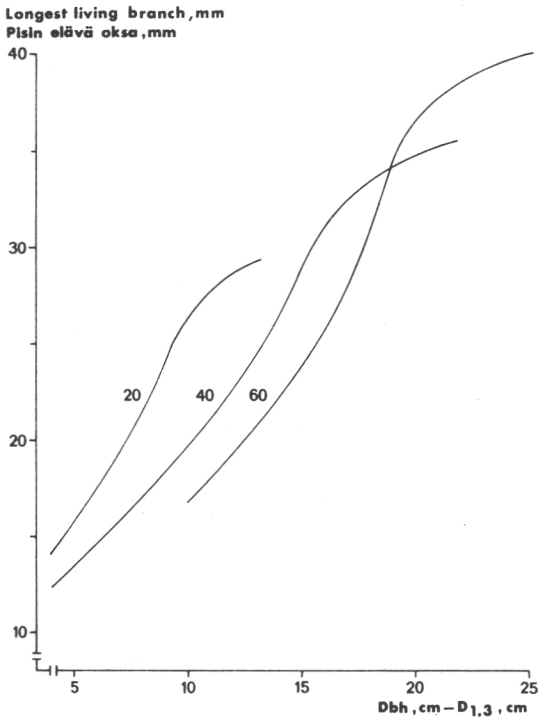


Fig. 15. Correlation between the diameter of the longest living branch of the stem and Dbh in pine plantations aged 20, 40 and 60 years.

Kuva 15. Rungon pisimmän elävän oksan paksuuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta 20-, 40- ja 60-vuotiaissa viljelymänniköissä

413. Tapering

Tapering is the decrease in stem diameter from the butt towards the crown. A decrease in the diameter of an adult tree by 1 cm per linear metre is defined as normal in Central European conditions, while more pronounced taper is regarded as characteristic of young stand or as a defect when it occurs in trees of the older age classes (D u r s t 1955, E r t e l d et al. 1964).

Taper is affected by age, diameter growth, stand density, site and generally the height ratio of the living crown (K a l l i o 1960, C h o j n a c k i 1969, I p a t o v 1970). Many of these factors are inter-related; diameter growth and crown ratio are accelerated when the stand density decreases.

Intensive logging is usually followed by growth reactions which concentrate diameter growth chiefly in the butt section of the tree. However, according to N y y s s ö n e n (1954) and L o h r e y (1961), the effect of these measures is generally relatively small and of short duration.

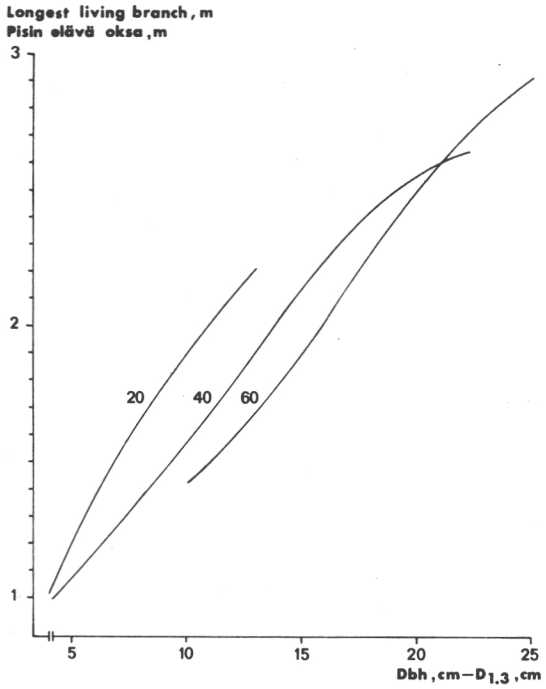


Fig. 16. Correlation between the length of the longest living branch of the stem and Dbh in pine plantations aged 20, 40 and 60 years.

Kuva 16. Rungon pisimmän elävän oksan pituuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta 20-, 40- ja 60-vuotiaissa viljelymänniköissä

Tapering increases within a certain age class when the tree diameter increases (Table 9). The trees of smallest diameter and lower crown classes in a stand consequently taper least and have the best stem form (cf. also Table 10). H e i s k a n e n (1955) also noted a strong correlation between taper, breast height diameter and branchiness, especially in forests of logging age.

Comparison of the taper figures in Table 9 with Figs. 6—8 and 10 which illustrate natural pruning and branch thickness shows that taper is associated with branchiness, branch thickness and crown height (cf. also T u r o l s k i and B u c h h o l z 1964). In *Pinus contorta* bark thickness also has been found to correlate with stem form; the more slowly the tree tapers, the smaller is the bark percentage (H a k k i l a and P a n h e l a i n e n 1970). Stem form of a tree and the factors influencing it, especially growth rate, are associated also with wood properties. The following cor-

Table 9. Correlation between taper and Dbh, by age classes
Taulukko 9. Kapenemisen [1]) riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ikäluokittain

Age, years *Ikä, vuotta*	Dbh, cm — *D1.3, cm*													
	< 6		6—10		11—15		16—20		21—25		26—30		31—35	
	Taper, cm — *Kapeneminen, cm*													
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
21—40	1.9	0.7	3.0	1.0	3.5	1.1	4.2	1.1	5.6	1.3	—	—	—	—
41—60	1.9	0.5	2.5	0.7	3.0	0.8	3.5	0.9	4.2	0.9	—	—	—	—
61—80	—	—	—	—	3.0	0.9	3.8	0.9	4.6	1.1	5.5	1.3	6.3	1.4

Table 10. Tapering by age classes and crown classes
Taulukko 10. Kapeneminen ikäluokittain ja latvuskerroksittain

Age, years *Ikä, vuotta*	Crown class — *Latvuskerros*							
	1		2		3		4	
	Taper, cm — *Kapeneminen, cm*							
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
21—40	3.5	1.1	2.7	1.0	2.6	0.9	2.3	0.8
41—60	3.4	1.0	2.8	0.8	2.9	1.0	2.5	0.8
61—80	4.8	1.4	3.7	1.2	3.9	1.1	3.0	1.4

relation coefficients denote the correlations between taper and various factors which illustrate the external and internal characteristics of plantation-grown pine stems.

	Correlation coefficient
Tree volume, solid cu.m.	0.479
Largest dry branch, mm	0.206
Longest living branch, m	0.198
Basic density, kg/solid cu.m.	0.044
Percentage of late wood	— 0.121
Diameter growth	0.481
Height growth	0.230
Ring width, mm	0.131

The correlations would be considerably greater if the effect of the age factor were excluded and the connections between different variables and taper in certain age classes were examined.

Taper expresses also the internal properties of wood. Volkert (1941), Larson (1963) and Kano and Saito (1970) observed that an inincrease in taper reduced the proportion of late wood and basic density.

[1]) The taper of trees shorter than 8 m was determined as the difference of the 1.3 m and 3.5 m diameters.

[1]) *8 metriä lyhyempien puiden kapeneminen määritettiin 1.3 metrin korkeuden ja 3.5 metrin korkeuden läpimittojen erotuksena.*

414. Defects

Defects refer here to deviations from the quality and usability of a normal, good-quality stem. The analysis is concerned chiefly with external stem defects and, except for compression wood, defects of wood are outside its scope. Defects were grouped according to their type when the material was collected and thus the total of defects in a stem was not taken into consideration.

A defect or a combination of defects may recur at different stem heights if the stand is damaged several times during its development. Defects of this type are crookedness of stem and a vertical branch often associated with it as the result of the change of the annual shoot. Log quality is then weakened decisively, especially if the crooks are so located that several defects occur in a single log length. A tree with sweep tends to bend the longitudinal axis of the stem again to the vertical plane. The stem may grow beyond its axis in another direction, leading to double sweep in the same stem.

The relative frequency histograms in Figs. 17 and 18 illustrate the precence of defects of different types in plantation-grown pines by age groups and forest site types. The commonest defect is crookedness of the stem, with the crook usually located above the butt section. The defects in order of frequency are as follows: crookedness of stem, butt crook, vertical branch and sweep (Figs. 20—21, 24, 26, 28). They represent together 95 per cent of all defects (cf. Fig. 19). K a n g a s (1962) reported the following distribution of defects that lower the technical usability of pine: crooks of varying degrees 81 per cent, sweep 12 per cent and open cankers 7 per cent.

Almost every other plantation-grown pine on average reveals crookedness of stem, every fifth butt crook, every seventh sweep, and only approx. one-third have no defect that weakens technical quality. The proportion of defects is smallest in Vaccinium type and greatest in Oxalis-Myrtillus type soil. Hence, an increase in the nutrient content of the soil increases crookedness, forks, sweep and branchiness. On the other hand, no correlation was observed between stand density and the frequency of defects. Nor did C r o m e r and P a w s e y (1957) in their study on *Pinus radiata* observe a correlation between sweep or crookedness and growing space, whereas forks increased when the growing space was more open.

The same trend was not seen for other defects, mainly cankers, pine blister rust and other diseases and, exceptionally, long and thick branches (»wolf trees», Fig. 22), and their overall importance is small.

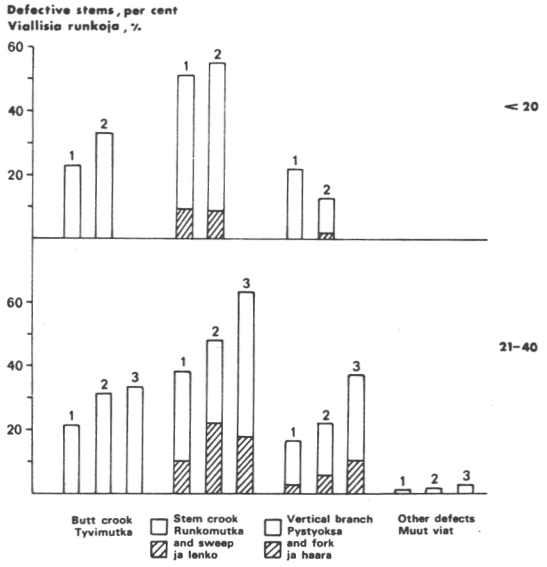


Fig. 17. Share of different defects in sample trees, by age classes and forest site types (1 = VT, 2 = MT, 3 = OMT).

Kuva 17. Eri vikojen osuus koepuista ikäluokittain ja metsätyypeittäin (1 = VT, 2 = MT, 3 = OMT)

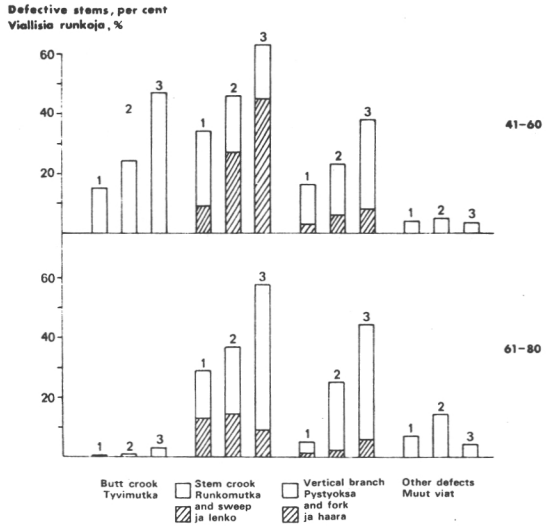


Fig. 18. Share of different defects in sample trees, by age classes and forest site types (1 = VT, 2 = MT, 3 = OMT).

Kuva 18. Eri vikojen osuus koepuista ikäluokittain ja metsätyypeittäin (1 = VT, 2 = MT, 3 = OMT

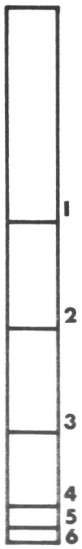


Fig. 19. Per cent share of different desects in defective stems (1 = stem crook, 2 = butt crook, 3 = vertical branch, 4 = sweep, 5 = fork, 6 = other defects).

Kuva 19. Eri vikojen osuus prosentteina viallisista rungoista



Fig. 20. Sweep is a common defect especially in pine stands on good soil.

Kuva 20. Lenkous on yleinen vika nimenomaan hyvän maapohjan männiköissä



Fig. 21. A fork originates when two shoots compete for equal longitudinal growth.

Kuva 21. Haaroittuma syntyy kahden verson kilpaillessa tasavertaisesta pituuskasvusta

The number of defective stems decreases with the increasing age of the stand (Fig. 23). This is due primarily to silvicultural loggings undertaken to remove defective stems. A part of the defects, especially slight crooks, also disappear gradually as the tree grows.

Although crookedness of stem and sweep contribute notably to the deterioration of quality, the sawlog quality class is determined first and foremost by the number and diameter of branches on the stem. This is shown by e.g. Heiskanen's (1955) study in which branchiness accounted for 81 per cent and sweep and crookedness for 8 per cent of the different quality characteristics that determine log quality. The significance of branchiness was accentuated in young stands. The corresponding figures according to Lappalainen (1949) were 86 and 7 per cent.

The proportion of defects in the different crown classes of pine stands of 40—60 years was as follows by forest site types.



Fig. 22. Trees that have gained a leading position compared with other stems usually become exceptionally branchy.

Kuva 22. Muihin runkoihin nähden johtoaseman saavuttaneet puut kehittyvät tavallisesti poikkeuksellisen oksikkaiksi

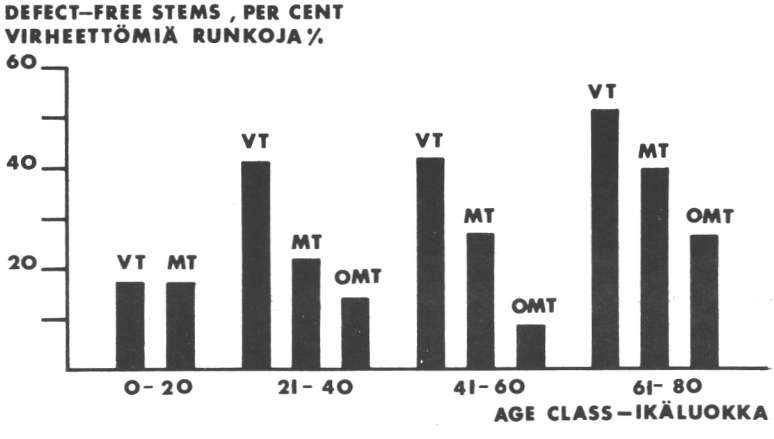


Fig. 23. Proportion of defect-free stems in the measured sample trees, by age classes and forest site types.

Kuva 23. Virheettömien runkojen suhteellinen osuus mitatuista koepuista ikäluokittain ja metsätyypeittäin

Crown class	Defects, per cent VT	MT	OMT
1	13.8	20.5	28.0
2	15.6	20.8	30.8
3	15.1	21.0	—
4	16.4	28.2	—

The higher proportion of defects in the lower crown classes was probably due in part to the failure of the stems, because of their poorer growth than that of the dominant trees, to heal over the crooks and vertical branches. The trees in the poorest condition in the stand were probably also more susceptible to various external injurious agents, e.g. insect damage. Among other authors, K a n g a s (1962) reported that defects arising from injuries to the stem are more serious the lower the crown class and more common the better the site quality of the stand.

Stem defects are caused by many external injurious and genetic factors. According to K a l e l a (1937) and S a r v a s (1964), pine forms several geographical clines and strains which differ both morphologically and physiologically. Mistakes made during the nursery establishment phase or during primary treatment, and damage caused by the elements such as snow and storms, may give rise to defects. G u i l k e y (1958) regards sweep in *Pinus resinosa* as damage caused chiefly by snow in the seedling stage.

Pine plantations, especially in the early phases of growth, are also exposed to damage by some animals. Y l i - V a k k u r i (1955) reported moose damage in 20 per cent of the pine seedling stands in the Ostrobothnian region. More susceptible to damage were seedling stands in poor condition containing a hardwood mixture (cf. K a n g a s 1949).

However, K a n g a s (1962) stated that some insects, especially the pitch gall spinner moth *(Evetria resinella)* and the European pine shoot moth *(Evertria buoliana)* were almost the sole agents causing damage that resulted in crookedness of stem in 1—8 m tall pines. Damage leading to stem crookedness in pine stands can also be caused by e.g. squirrels and gallinaceous birds (S e i s k a r i 1962, P u l l i a i n e n and S a l o n e n 1965) and rust fungus *(Melampsora pinitorqua)* (e.g. S y l v e n 1924). As described by K a n g a s, the main development of crook caused by insect damage is as follows:

— The terminal bud dies, the side bud continues the height growth and a slight crook generally ensues (Figs. 24—25).

— The leading shoot as a whole dies and the side shoot continues the height growth. The crook thus originating is worse than the above (Figs. 26—27).

— The top of the tree dies over more than the length of the shoot to the side of the previous shoot or even including it. The side shoot which has already become a branch then becomes the top and the resulting crook is from the outset worse than those described above (Fig. 28).

According to J u u t i n e n (1962) every third pine in 10—12 years old plantations reveals form defects, and the main factor causing crooks is ground vegetation.

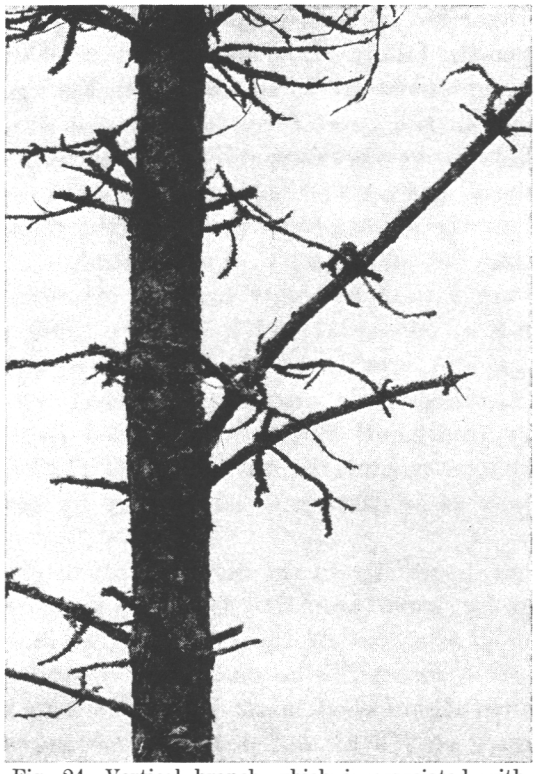


Fig. 24. Vertical branch which is associated with terminal bud change.

Kuva 24. Silmunvaihdokseen liittyvä pystyoksa



Fig. 25. Change of the bud and slight crook resulting from the destruction of a terminal bud.

Kuva 25. Latvasilmun tuhoutumisen seurauksena syntynyt silmunvaihdos ja lievä mutka

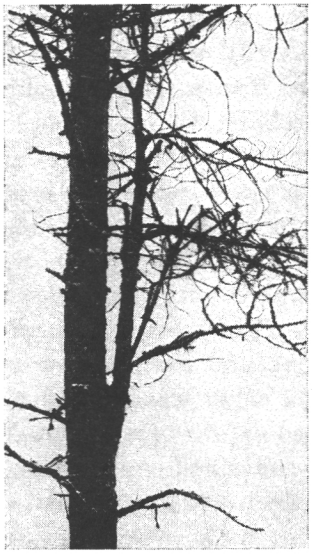


Fig. 26. Vertical branch.
Kuva 26. Pystyoksa

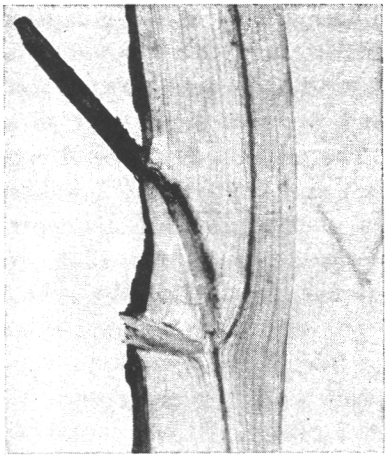


Fig. 27. Crown change and a relatively serious crook resulting from destruktion of the leading shoot.

Kuva 27. Päärangan tuhoutumisen seurauksena syntynyt latvanvaihdos ja verrattain paha mutka

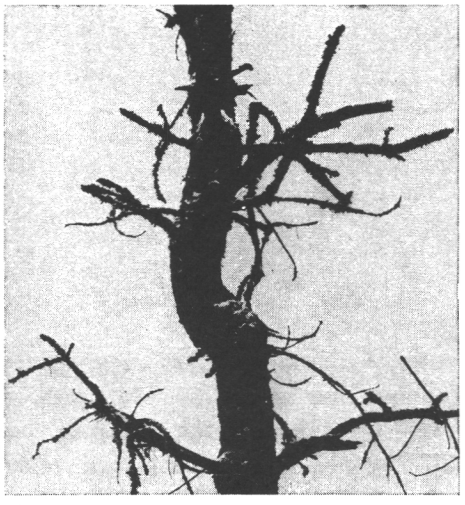


Fig. 28. When a shoot that has achieved the position of a branch continues its longitudinal growth a crook originates which makes the log technically unfit for use.

Kuva 28. Oksan aseman saavuttaneen verson jatkaessa pituuskasvua syntyy mutka, joka tekee tukin teknisesti käyttökelvottomaksi

Cellular tissue called compression wood in which the tracheids are abnormally short and irregularly arranged generally appears in the underside of softwood stems that are leaning for some reason, in the crooked and sweeping parts of stems and as supporting cellular tissue (O l l i n m a a 1955). The primary function of compression wood is probably to straighten the stem and support the branches, but compression wood has been produced also experimentally by centrifugal force in seedlings of *Pinus Strobus* (S c o t t and P r e s t o n 1955, W a r d r o p 1964). Compression wood is encountered also in straight stems. Z o b e l and H a u g h t (1962) stated that 6 per cent of the volume of straight *Pinus Taeda* stems is compression wood, while in crooked stems the content is 16 and even 67 per cent.

In this work the occurrence of compression wood was studied only at the cutting height. It was found to be associated expressly with butt crooks and sweep. 30.4 per cent of all stems studied contained compression wood in the stump cross-section. The proportion rose to 46.2 per cent in trees with butt crook and to 48.7 per cent in trees with sweep. Crookedness and sweep are particularly common in pine stands on good soil. Similarly to the defects discussed in the foregoing, the proportion of stems which contain compression wood decreases with age due to silvicultural measures. This is apparent from the following table.

Age of stand, years	Proportion of stems containing compression wood at cutting height, per cent
—30	38.8
31—40	35.9
41—50	24.4
51—60	11.6
61—	14.3

415. Butt log quality

Pine begins to enter a diameter class meeting sawlog measurements in South Finland at about the age of 30—35 years. If a height of 18 ft. and top diameter of 5½″ are taken as the minimum sawlog measurements, 9 per cent of 30—35-year-old plantation-grown pines reach sawlog size in VT, but 40 per cent in MT and OMT type soil. Value increment on good soil is thus very great at this age.

However, fast diameter growth and concentration of growth in the butt section of the tree are not advantages for wood quality. This will be seen in Fig. 29 which shows the correlation of the proportion of sawlogs in different quality classes and cull stems and the breast height diameter

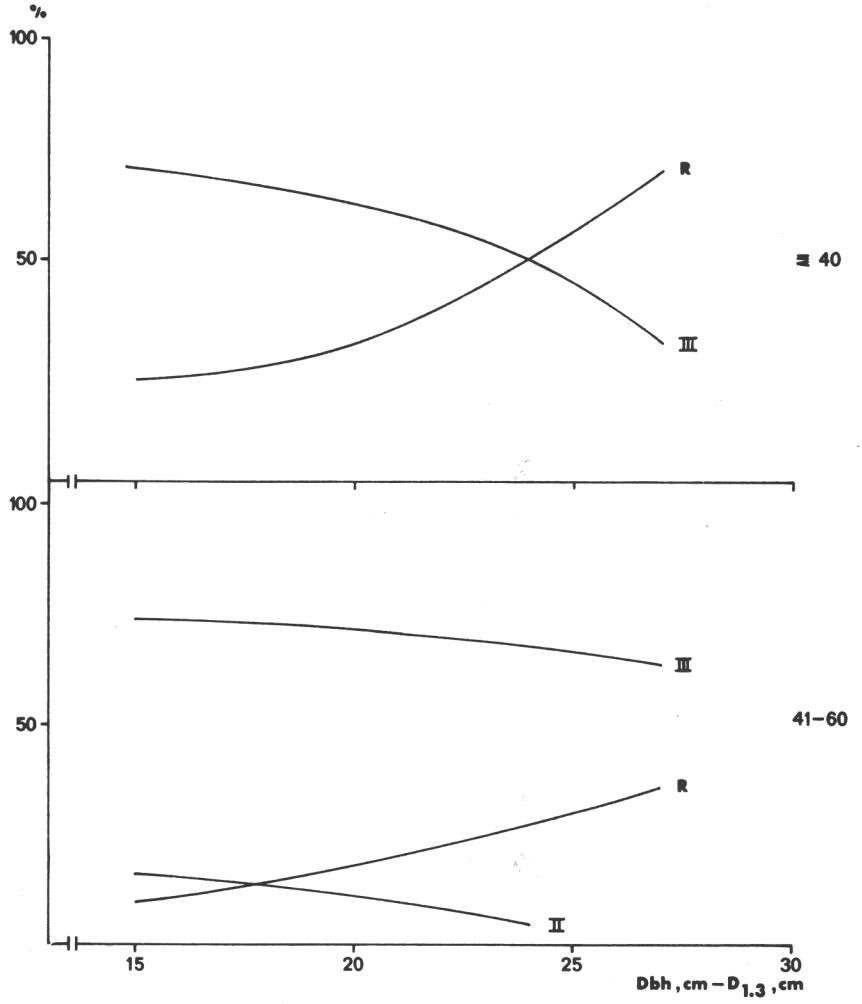


Fig. 29. Correlation between quality classes II and III of butt logs and cull stems and Dbh by age classes (R = cull stem).

Kuva 29. Tyvitukkien II ja III laatuluokan sekä raakkien osuuksien riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ikäluokittain (R = raakkitukki)

in different age classes. Quality class III is the commonest for pines under 40 years. When Dbh [1]) grows the proportion of butts in the cull class increases and that of class III logs decreases sharply. When Dbh is 24 cm half of the logs belong to the culls and half to class III.

The quality of trees older than 40 years is no longer equally poor, for the branches self-prune and heal over earlier than before. Culls stems are

[1]) Dbh = stem diameter at breast height.

[1]) *Dbh = puun rinnankorkeusläpimitta.*

fewest (10 per cent) among the thinnest trees of stands of a certain age and most numerous among the thickest, i.e., fastest growing (35 per cent). The quality of the butt log of a plantation-grown pine stem is thus better on average the older the stem of certain diameter. Hence, trees of the highest crown class in a relatively homogeneous pine plantation are not the best qualitatively even for sawlogs. It is possible to evaluate the quality of other logs obtained from the stem on the basis of the quality of the butt log; in other words, the butt log quality illustrates well the average quality of the whole stem. Heiskanen (1954) stated that the real branchiness of top logs in a certain branchiness class is smaller and the quality higher, the better the branchiness class to which the butt log of the stem belongs.

Fig. 30 shows the proportion of various defects in butt logs of different quality. Crookedness of stem together with vertical branch are of the greatest significance for rejection of a log. The proportion of crooks in sawlog stems does not, true, give a correct idea of the true effect of the defect, as defects were estimated from the whole stem while sawlog quality was assessed from the butt log only. Sarvas (1944) regarded sweep, branchiness and canker as the most important of the defects lowering sawlogs to class III in selection stands. Sweep was found in 50 per cent of the trees in class III. The incidence of defects in stems of different quality classes is shown by the following table which gives the average number of defects in butt logs of different quality by forest site type.

Butt log quality class	Forest site type		
	VT	MT	OMT
	Number of defects/stem		
II	0.4	0.7	0.7
III	0.8	1.1	1.6
R	2.0	2.0	2.2

Tables 11 and 12 present the distiribution of sawlogs into quality classes evaluated on the basis of both branchiness and all defects. If stem defects are excluded, the quality class distribution is considerably better. Stem defects appear to influence specifically the change from quality class II to III. The average distributions between classes I, II and III and culls for Vaccinium type were 5.6, 22.1, 68.6 and 3.7 per cent according to branchiness, and 2.0, 12.0, 71.9 and 14.1 per cent judget by all defects. The proportion of class III and culls decreases with age. A considerable proportion of the material from older MT and OMT stands is placed in quality class I when evaluted solely by branchiness, but the knot bumps of poorly healed over, large branches lowered the true quality. The proportions of all accepted butt logs according to quality class was as follows:

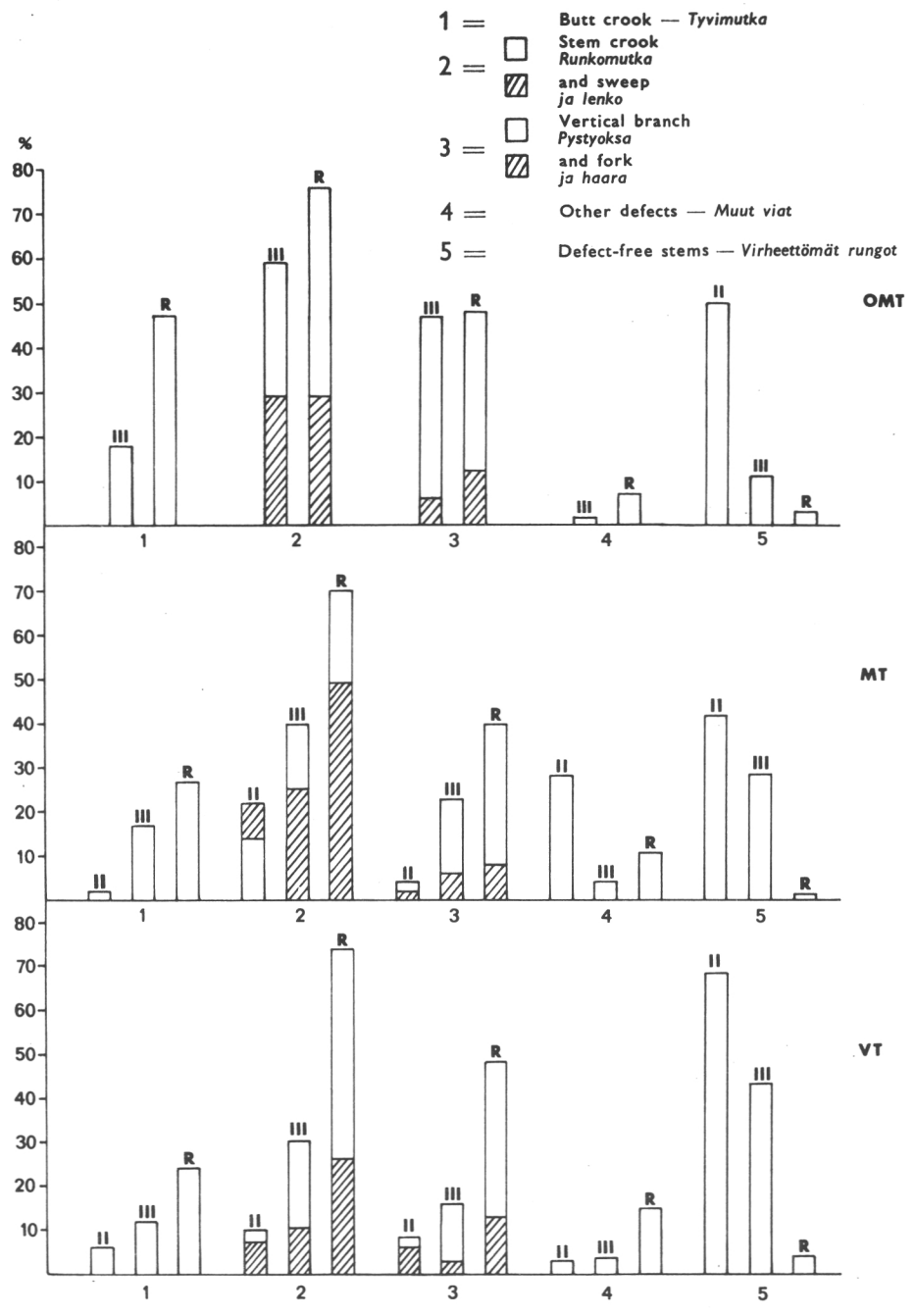


Fig. 30. Share of different defects and defect-free stems in butt logs of different quality classes (R = cull stem).

Kuva 30. Eri vikojen sekä virheettömien runkojen osuus tyvitukin laatuluokaltaan erilaisissa rungoissa (R = raakkitukki)

Table 11. Distribution of butt logs into quality classes and cull stems according to branchiness, by forest site types

Taulukko 11. Tyvitukkien jakautuminen laatuluokkiin ja hylkytukkeihin oksaisuuden perusteella metsätyypeittäin

Age, years *Ikä, vuotta*	Butt log quality *Tyvitukin laatuluokka*			
	I	II	III	Cull — *Raakki*
		VT		
		%		
35	—	10	84	6
45	—	33	65	2
55	—	21	75	4
65	96	4	—	—
75	—	—	—	—
Total — *Yhteensä*	6	22	69	4
		MT		
35	—	5	88	7
45	—	10	90	—
55	—	24	74	3
65	11	43	46	—
75	24	52	24	—
Total — *Yhteensä*	5	22	71	2
		OMT		
35	—	—	89	11
45	—	6	79	15
55	—	—	—	—
65	—	—	—	—
75	56	21	15	8
Total — *Yhteensä*	16	9	64	12

Forest type	Quality class, %		
	I	II	III
VT	2	14	84
MT	1	15	84
OMT	—	18	81

Sawlog stems of different qualities also differ as regards the internal qualitative characteristics of wood. Appendices 1—3 present indicators of the average stem characteristics of trees of different quality classes, that is branchiness, degree of self-pruning and wood quality.

According to Kallio (1960), 7, 65 and 18 per cent of the sawlog portion of the stem of MT plantation-grown pines in South Finland belong to quality classes I, II and III at the age of 50. In Heiskanen's (1965) studies the share of class II in the sawlog portion in under 60-year-old VT stands was 57 per cent at its highest and then decreased as Dbh increased. The share of class III increased correspondingly, while the proportion of class I was no higher than 1—2 per cent.

Table 12. Distribution of butt logs into quality classes and cull stems according to branchiness and stem defects, by forest site types

Taulukko 12. Tyvitukkien jakautuminen laatuluokkiin ja hylkytukkeihin sekä oksaisuuden että runkovikojen perusteella metsätyypeittäin

Age, years *Ikä, vuotta*	Butt log quality *Tyvitukkien laatuluokka*			
	I	II	III	Cull — *Raakki*
		VT		
		%		
35	—	5	75	20
45	—	14	75	11
55	—	9	76	15
65	34	42	25	—
75	—	—	—	—
Total — *Yhteensä*	2	12	72	14
		MT		
35	—	1	71	28
45	—	2	80	18
55	—	9	74	18
65	—	13	67	21
75	7	64	21	7
Total — *Yhteensä*	1	12	68	20
		OMT		
35	—	—	41	59
45	—	—	55	46
55	—	—	—	—
65	—	—	—	—
75	3	36	41	21
Total — *Yhteensä*	1	10	46	43

42. Indicators of the quality of defect-free wood

421. Ring width

Ring width varies with the tree species, age, growth conditions and external stimuli. Ring width is in many respects an indicator of the utilizability of wood from the point of view of strength, basic density and the nature and volume of the pulp obtained. Variations in ring width are connected in many studies also with the amount of certain chemical components contained in wood (Hata 1949, Worster and Sugiyama 1962). It has been possible to demonstrate a distinct correlation between the internal knottiness of wood, quality and strength of sawlog and sawn goods and especially the annual rings in the vicinity of the pith (Heiskanen 1954 and 1965, Nylinder 1959).

Ring width decreases with age and the widest annual rings of a tree are consequently to be found in the vicinity of the pith (Table 13). As the age of rings decreases from the butt of the tree upwards, ring width is different at different heights of the tree and smallest in the butt section (Table 14).

Table 13. Annual ring width at breast height in different parts of the core, by age classes and forest site types

Taulukko 13. Luston leveys rinnankorkeudella lastun eri osissa ikäluokittain ja metsätyypeittäin

Age, years *Ikä, vuotta*	Part of the core — *Lastun osa*							
	Outer — *Pinta*		Middle — *Keski*		Inner — *Ydin*		Average — *Keskimäärin*	
	Ring width, mm — *Luston leveys, mm*							
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
				VT				
21—40	1.6	0.5	2.5	0.6	3.3	0.9	2.0	0.5
41—60	1.1	0.4	2.2	0.6	3.4	1.0	1.7	0.4
61—80	1.3	0.4	1.4	0.3	2.4	0.7	1.5	0.3
				MT				
21—40	1.8	0.7	3.1	0.6	4.0	0.9	2.5	0.6
41—60	1.2	0.6	2.4	0.6	3.7	0.8	1.9	0.4
61—80	1.2	0.4	1.9	0.5	3.6	0.9	1.8	0.3
				OMT				
21—40	2.0	0.6	3.3	0.8	4.1	0.9	2.7	0.6
41—60	—	—	—	—	—	—	—	—
61—80	1.4	0.3	1.9	0.4	2.7	0.5	1.7	0.2

Table 14. Annual ring width at relative stem heights, by age classes

Taulukko 14. Luston leveys rungon suhteellisilla korkeuksilla ikäluokittain

Relative height, per cent *Suhteellinen korkeus, %*	Age, years — *Ikä, vuotta*							
	21—40		41—60		61—80		Average *Keskimäärin*	
	Ring width, mm — Luston leveys, mm							
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
0	2.2	1.0	1.9	1.1	1.6	0.4	2.0	1.0
10	2.0	0.7	1.9	1.0	1.5	0.3	2.0	0.8
20	2.2	0.7	1.9	0.8	1.7	0.4	2.1	0.8
30	2.5	0.8	2.0	0.6	1.7	0.4	2.2	0.8
40	2.5	0.9	2.0	0.5	1.9	0.2	2.3	0.8
50	2.7	0.8	2.0	0.5	2.0	0.7	2.4	0.8
60	2.8	0.9	2.0	0.5	2.0	0.5	2.4	0.9
70	2.9	1.0	2.1	0.6	2.3	0.6	2.6	0.9
80	3.0	0.9	2.2	0.7	2.3	0.8	2.7	0.9
90	3.2	1.0	2.6	0.8	2.0	0.8	2.9	1.0

Ring width distinctly affects at least the branch diameter and the length of the self-pruned part of the stem. Table 15 shows that branch diameter is greater the faster the diameter growth of the tree at different ages (cf. Fig. 10). Ring width close to the pith does not correlate directly with branch diameter in the top parts of the stem, as the branches there have originated later. On the other hand, ring width in the outer parts does not affect branch diameter at the butt as the branches there are already dead. The fact that

Table 15. Correlation between branch diameter and annual ring windth at breast height in pine stands aged 30—50 years
Taulukko 15. Oksan paksuuden riippuvuus luston leveydestä rinnankorkeudella 30—50-vuotiaissa männiköissä

Ring width, mm *Luston leveys, mm*	Relative height, per cent — *Suhteellinen korkeus, %*															
	10		20		30		40		50		60		70		80	
	Branch diameter, mm — *Oksan paksuus, mm*															
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
								Outer — *Pinta*								
—2.0	12	4	15	5	18	6	19	6	21	6	22	8	22	8	20	6
2.1—4.0	15	6	20	7	25	6	23	3	30	7	32	9	29	9	26	7
4.1—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
								Middle — *Keski*								
—2.0	11	3	13	3	15	3	19	4	20	5	22	5	24	5	20	5
2.1—4.0	14	4	18	5	22	6	23	5	25	6	27	9	27	9	23	6
4.1—	20	8	25	3	29	3	—	—	33	11	—	—	—	—	28	9
								Inner — *Ydin*								
—2.0	9	2	10	1	12	3	10	1	17	5	13	3	15	3	16	4
2.1—4.0	12	4	15	5	18	5	19	5	21	6	22	6	22	7	20	6
4.1—	15	4	20	6	24	6	25	6	27	7	31	11	31	7	23	6

Table 16. Correlation between the defect-free part of the stem and annual ring width at breast height for 15, 20, 25 cm trees

Taulukko 16. Virheettömän rungonosan pituuden riippuvuus luston leveydestä rinnankorkeudelta 15, 20, 25 cm:n puilla

Dbh, cm *D1.3, cm*	Ring width, mm — *Luston leveys, mm*									
	1		2		3		4		5	
	To the knot bumps, dm, — *Virheetön rungonosa, dm*									
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
15	3	3	9	13	3	3	3	2	2	2
20	4	3	18	10	7	9	2	2	3	2
25	4	4	25	6	19	14	5	5	—	—

there is a difference also in branch diameter between the ring width groups around the pith is probably due to the relatively great diameter growth also in later age generally seen in trees which grow fast when young.

The effect of growth rate on branchiness is illustrated by Table 16 which presents the correlation between the branch-free part of the stem and ring width in trees of a certain diameter. Relatively slow-growing trees are qualitatively the best (cf. Figs. 6—8).

The effect of the growth rate of trees on indicators of the internal quality of wood has been studied extensively. According to especially the earlier studies, ring width has a considerable effect on e.g. basic density (Larson 1957, Miyajima 1958, Knigge 1961, etc). However, variations in basic density are often associated primarily with age (Cooper 1960, Echols 1960, Paul 1960, Sellers 1962, Hakkila 1966, Fielding 1967). Pine wood density was reported by Hakkila (1966) to decrease when ring width increases, but when the effect of the structurally exceptional juvenile wood zone was eliminated the correlation weakened considerably.

Although ring width increases somewhat in thinnings, some studies on exotic pine species have revealed that normal silvicultural treatment does not notably reduce basic density or the strength properties of wood (Turnbull et al. 1946, Nichols and Fielding 1965, Ericson 1966, Schalck 1967, Choong et al. 1970). Klem (1969) noted that ring widths doubled under the effect of fertilisation before any appreciable changes occurred in the wood properties of pine or spruce. According to Saikku (1973 a), bark thickness also decreased slightly when the growth rate was increased by fertilisation.

In this study by regression analysis of the correlation between basic density and indicators of the stem, the correlation between basic density and ring width was —0.210 in the per-stem analysis and —0.755 in the between-stand analysis. Ring width was a good indicator of basic density

in the analysis by experimental plot and a fair one also in the per-stem analysis (cf. pp. 72 and 71). On the other hand, the logarithm of ring width was the best indicator of the percentage of late wood in the stem (p. 65).

422. Percentage of late wood

Softwood tracheids with cell vacuoles wider in the radial direction than double the cell wall thickness are generally regarded as early wood. Variation in the middle layer thickness of the secondary cell wall causes the main difference between early and late wood.

The volume ratios of the walls and vacuoles vary within an individual annual ring under the influence of precipitation and dry periods during the growing season (e.g. Harris 1955, Larson 1957). The effect of the percentage of late wood on the structure of wood is great, although the connection is confused by the juvenile wood zone. There is a correlation between ring width and late wood percentage (Schultze-Dewitz 1958, Corona 1966) and the significance of the latter as an indicator of basic density variations has been shown to be decisive (Larson 1957, Hakkila 1966 and 1968, Yao 1970). However, it is impossible to explain total basic density with the variation of early wood and late wood as the internal density of early and late wood also varies.

The percentage of late wood decreases in the stem from the butt upwards and is also lower on average the younger the tree (Table 17). The mean of the stem latewood percentage coincides on average with the 30 per cent relative height. The fibre wall thickness and the percentage of late wood thus increase with age and are at their highest in the butt of the stem and in the outer parts of the tree (e.g. Larson 1957, Sellers 1962, Saiki 1965, Hakkila 1966).

Fig. 31 shows the variation in the latewood percentage at differents heights of pine stems of differing lengths. As a taller tree is generally also older, the latewood percentage increases with tree height. Changes in the percentage of late wood in the longitudinal direction of the tree are linear, declining evenly except in the upper part of the stem. The percentage of late wood is highest in slow-growing trees and reaches its maximum values in a pine stand in the stems of the lowest crown classes (Table 18).

Ring width was the best indicator of the percentage of late wood in the stem, although the degree of explanation was relatively low throughout. The logarithm of ring width explained 41 per cent of the total variation

Tebla 17. Percentage of late wood at relative heights of stems of different ages and in different parts of the core

Taulukko 17. Kesäpuuprosentti eri ikäisten runkojen suhteellisilla korkeuksilla sekä lastun eri osissa

Age, years *Ikä, vuotta*	Relative height, per cent — *Suhteellinen korkeus, %*									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	Latewood, per cent — *Kesäpuuta, %*									
	Outer — *Pinta*									
—40	32.8	33.9	32.0	30.2	28.8	27.2	25.6	23.4	22.0	20.0
41—60	37.6	37.8	36.8	35.6	34.2	32.5	32.0	29.5	26.7	23.8
61—80	36.8	38.2	36.5	36.3	32.8	33.6	31.0	28.9	26.5	23.0
	Middle — *Keski*									
—40	28.1	26.5	23.3	22.4	22.1	21.5	20.5	21.4	—	—
41—60	31.4	29.0	27.0	25.8	25.7	25.8	26.2	24.4	—	—
61—80	34.2	31.4	30.8	28.7	26.6	24.2	23.8	24.0	21.4	—
	Inner — *Ydin*									
—40	26.4	21.9	19.7	19.4	19.4	20.2	19.9	20.5	20.6	—
41—60	27.6	22.3	20.6	21.0	20.0	20.4	22.2	23.3	22.9	—
61—80	26.0	21.5	18.9	17.0	18.1	17.2	19.0	19.6	18.9	—
	Average — *Keskimäärin*									
—40	30.6	30.2	17.9	26.7	26.0	25.2	24.1	23.0	23.2	20.0
41—60	34.3	33.0	31.7	30.6	29.8	29.1	29.1	28.1	26.8	23.8
61—80	34.6	33.6	32.4	31.3	29.1	28.2	27.1	26.6	24.0	23.0

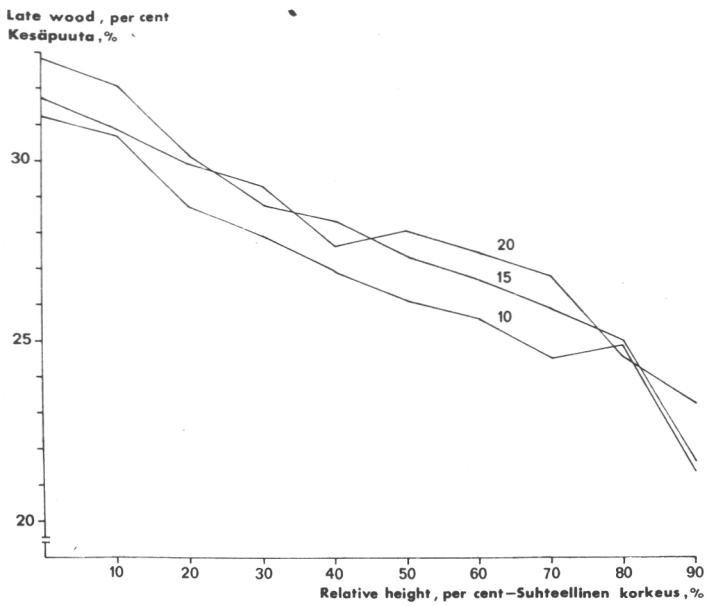


Fig. 31. Variation in the percentage of late wood at relative heights in 10-, 15- and 20-m plantation-grown pine stems.

Kuva 31. Kesäpuuprosentin vaihtelu 10-, 15- ja 20-metristen viljelymäntyrunkojen suhteellisilla korkeuksilla

Table 18. Percentage of late wood in different crown classes, by age classes
Taulukko 18. Kesäpuuprosentti eri latvuskerroksissa ikäluokittain

Age, years *Ikä, vuotta*	Crown class — *Latvuskerros*							
	1		2		3		4	
	Latewood, per cent — *Kesäpuuta, %*							
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
—40	26.3	3.6	27.6	3.6	30.0	3.6	30.5	1.6
41—60	30.1	2.9	31.3	2.9	31.5	3.1	32.5	3.0
61—80	29.4	2.9	32.4	3.2	—	—	—	—

in the stem late wood percentage and the equation thus assumes the form $Y = 0.539—82.013\ X$, in which $R = 0.636$.

Y = stem late wood percentage
X = logarithm of ring width

The degree of explanation rose to 45 per cent when the stem diameter growth and the diameter of the thickest dry branch were added to ring width as indicators of the variation of latewood percentage. The equation then took the form $Y = 0.155 — 355.517\ X_1 — 317.002\ X_2 — 48.764\ X_3 — 3934.092\ X_4 + 0.070\ X_5$ and $R = 0.666$.

X_1 = the logarithm of ring width,
X_2 = the reciprocal of the diameter of the thickest dry branch
X_3 = the logarithm of Dbh/age
X_4 = the reciprocal of ring width
X_5 = the square of ring width

In his study of the correlation of the latewood percentage of pine pulpwood with different factors H a k k i l a (1968) did not find ring width to affect appreciably the variation in the percentage of late wood in a material collected from all over Finland. However, the coefficient of correlation was —0.580 in the southernmost part of the country.

The mean latewood percentage for plantation-grown pine stems was found to be 28.6 and its deviation 1.6. J a l a v a (1934) stated the percentage of late wood in pine to be 28.2 in South Finland. The percentage of late wood in pine pulpwood was reported by H a k k i l a (1968) to be 26 (deviation 1.9) south of the 64th parallel. H a k k i l a (1967) obtained results of the same magnitude for growing pine. There is thus no noteworthy difference between plantation-grown pines and naturally regenerated pine stands in the percentage of late wood.

Several studies have shown that age is the most important factor regulating the variation in the percentage of late wood (e.g. L a r s o n 1957, S e l l e r s 1962 and S a i k i 1965). However, a negative correlation was

established also between growth rate and late wood percentage in a study of the wood qualities of pine from cultivated stands (Hamilton and Mathews 1965, Baker 1969). The percentage of late wood in *Pinus Taeda* was reported by YAO (1970) to increase significantly when the ring width contracted from 8 to 3 mm; after this the narrowing of the annual ring no longer had any effect.

423. Basic density

4231. Density variation within the stem

The percentage of late wood is the most significant factor that affects the change in wood density in pine because of the notable weight difference between late and early wood (e.g. Pillow 1955, Zobel and Rhodes 1955, Einspahr et al. 1964, Zobel et al. 1965, Manwiller 1972). However, the percentage of late wood is not the sole indicator of basic density, for it varies also within the cellular tissue of early wood and late wood. In his study of the effect of the anatomic factors of wood on the basic density of *Pinus Elliottii* van Buijtenen (1964) observed that the most important were the thickness of the cell wall in late wood, the early wood percentage and the diameter of late wood fibres.

When basic density was studied as a function of late wood percentage determined at breast height an equation was obtained which explains 42 per cent of the variation of basic density (Fig. 32).

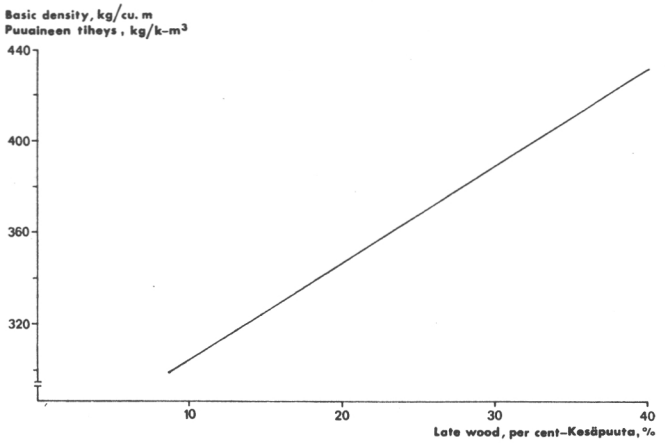


Fig. 32. Correlation between the basic density (kg/solid cu.m.) of the stem and the percentage of late wood at breast height in plantation-grown pine.

Kuva 32. Rungon puuaineen tiheyden (kg/k-m³) riippuvuus kesäpuuprosentista rinnankorkeudella viljelymänniköissä

Regression equation	R	$S_{y \cdot x}$
$Y = 262.881 - 4.228\,X$	0.650	21.5

Hakkila (1966) explained by means of the percentage of late wood 53 per cent of the density of pine cores taken with an increment borer, and Larson (1957) 60 per cent of the basic density variation of *Pinus ponderosa*. YAO's (1970) studies on *Pinus Taeda* also revealed a strong correlation between the percentage of late wood and basic density. The degree of explanation of late wood percentage at breast height was 49 per cent, and it rose further when the correlation was studied at the relative heights of 30 and 50 per cent.

The percentage of late wood and the density of the late wood part rise with age and basic density may therefore be associated also with the age of the tree (Sellers 1962, Mitchell 1964). Hence, basic density increases with age and reaches its maximum at a certain age and in an annual ring of a certain width (Skripen and Riasova 1958). Fig. 33 shows the variation of basic density in the longitudinal direction of pine stems of different age classes.

Both radial and longitudinal variation can be distinguished in the basic density of stems. Density generally increases from the pith towards the surface and decreases from the butt towards the top. Variations in basic density within the stem thus follow the variations in late wood percentage (cf. p. 64). The cellular tissue of juvenile wood causes an exceptionally

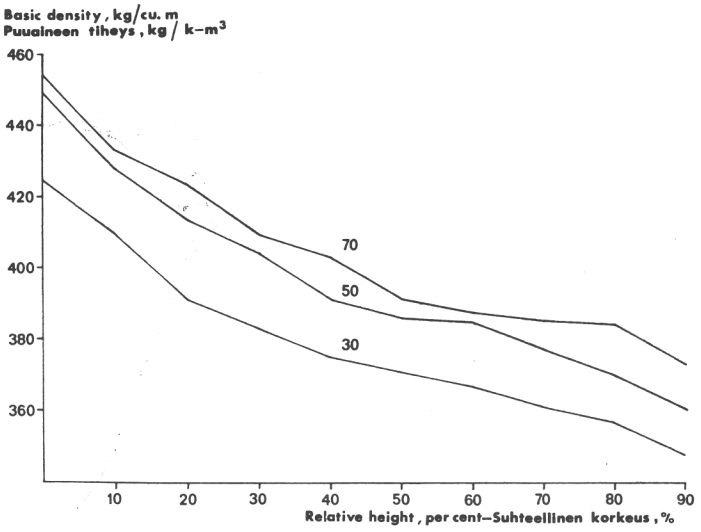


Fig. 33. Basic density (kg/solid cu.m.) by age classes in plantation-grown pine.

Kuva 33. Puuaineen tiheys (kg/k-m³) ikäluokittain viljelymänniköissä

Table 19. Basic density at relative heights of stems of different ages in different parts of the core

Taulukko 19. Puuaineen tiheys eri ikäisten runkojen suhteellisilla korkeuksilla lastun eri osissa

Age, years *Ikä, vuotta*	Relative height, per cent —— *Suhteellinen korkeus, %*									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	Basic density, kg/cu.m. — *Puuaineen tiheys, kg/k-m³*									
	Outer — *Pinta*									
—40	442.5	432.5	413.6	399.7	387.6	379.9	371.8	362.5	357.1	348.1
41—60	469.4	457.3	443.1	429.6	409.3	401.6	396.8	382.5	372.6	361.8
61—80	465.7	458.8	449.0	433.9	422.1	405.8	401.9	394.1	395.2	374.5
	Middle — *Keski*									
—40	404.8	581.8	360.2	357.9	352.2	352.2	348.6	355.0	366.5	—
41—60	427.1	399.0	379.5	374.6	365.9	365.3	369.7	357.8	360.0	—
61—80	455.2	422.6	413.4	397.9	394.6	381.0	377.9	384.2	366.1	—
	Inner — *Ydin*									
—40	407.1	371.8	354.8	354.5	350.5	352.1	350.4	349.6	342.6	—
41—60	421.8	368.4	362.0	358.2	356.1	357.0	361.2	362.2	356.3	—
61—80	432.3	361.6	354.7	348.5	355.1	366.6	374.8	358.6	359.7	—
	Average — *Keskimäärin*									
	Outer — *Pinta*									
	454.0	443.4	426.8	412.8	397.5	389.4	382.8	371.9	365.2	356.2
	Middle — *Keski*									
	416.4	391.8	371.6	367.7	361.0	360.2	361.9	362.3	365.6	—
	Inner — *Ydin*									
	413.8	369.9	357.7	355.8	353.0	354.7	356.3	356.4	353.2	—

low basic density in the vicinity of pith. Density in the juvenile wood zone is at the same time abnormally low and relatively even. Table 19 shows the variation in basic density in radial zones and at different relative heights of the stem. It is greatest in the outer part of the tree butt and declines from the surface towards the pith the more steeply the older the age class. The corresponding decrease in density is smaller at the top of the tree than in the butt section.

Figs. 33 and 35 present the mean basic density at different relative heights of the stem by age classes and density in pine stands aged 30—50 years on different forest site types. Fig. 34 compares basic density in the longitudinal direction of the stem in plantation-grown and naturally regenerated pines (cf. H a k k i l a 1966). The decrease in density longitudinally is steepest in the vicinity of the butt and approaching the tree top. The mean density of the stem is 395 kg/solid cu.m., and this falls at the 25 per cent height of the stem. O k k o n e n et al. (1972) distributed softwoods into two groups according to the quantity of late wood; one group was characterised by a high and the other by a low percentage of late wood.

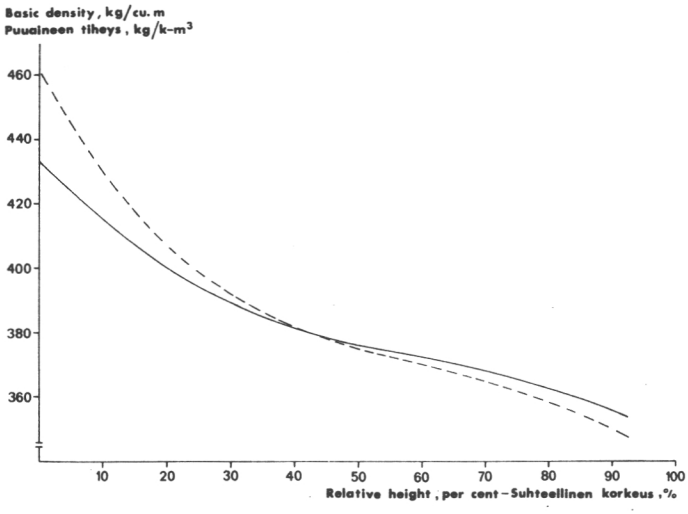


Fig. 34. Basic density (kg/solid cu.m.) at relative heights of plantation-grown pine. — — — Basic density (kg/solid cu.m.) of pine stem according to HAKKILA (1966).

Kuva 34. Puuaineen tiheys (kg/k-m³) viljelymäntyrunkojen suhteellisilla korkeuksilla. — — — Mäntyrungon puuaineen tiheys (kg/k-m³) HAKKILAN (1966) mukaan

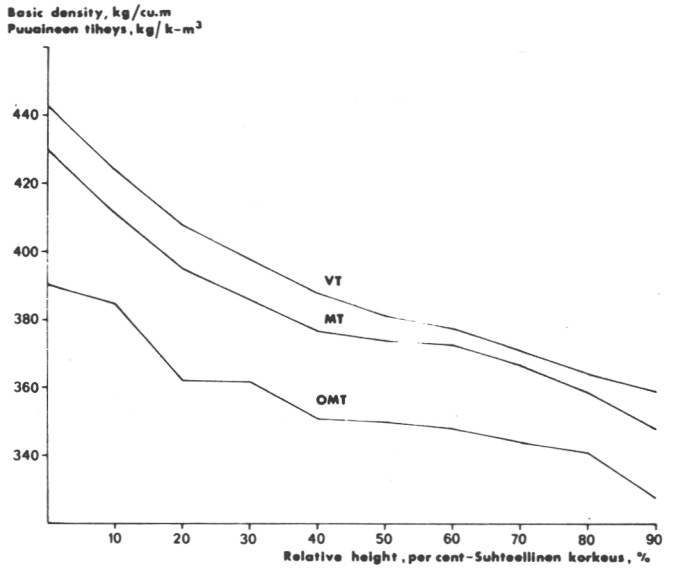


Fig. 35. Basic density (kg/solid cu.m.) by forest site type in plantation-grown pine aged 30—50 years.

Kuva 35. Puuaineen tiheys (kg/k-m³) metsätyypeittäin 30—50 vuotiaissa viljelymänniköissä

A higher basic density in the butt than elsewhere in the stem was typical of the former group which included all the 11 American pine species studied, while the latter group was characterised by an increase in density in the opposite direction, from butt to top.

According to Fig. 35 basic density is exceptionally low for OMT because of the high growth rate. The average density difference between OMT and MT stems is about 20 kg/solid cu.m., against only 10 kg/solid cu.m. between MT and VT. The concentration of growth in the butt in OMT is seen also from the low density at 0 height compared with MT and VT.

The importance of growth rate for wood properties, specifically density, has been studied extensively. Opinions as to its role are partly contradictory. However, the thought has been commonly accepted in the literature that if the changes in growth rate are not particularly steep their effect on basic density remains relatively small (Zobel and Rhodes 1955, Paul 1960, Sellers 1962, Mitchell 1964, Ralston and McGinnes 1964). Yet, it has been found that the nutrient content of the soil lowers basic density (Jayne 1958).

It has also been observed that slight changes in the planting spacing affect pine density but little (Echols 1960, Geyer and Gilmore 1965, Hamilton and Mathews 1965, Baker 1969).

4232. Density variation between the stems

Stem-to-stem variation of the average basic density in a stem depends on different environmental and genetic factors and age. The logarithm of age was found to be the best variable for explaining the variation; it explained 37 per cent of the total variation in stem density.

Regression equation	R	$S_{y \cdot x}$
$Y = 212.880 + 49.601 \log X$	0.610	22.3

Y = basic density of stem, kg/solid cu.m.
X = age of tree, years

The mean of basic density of the total material of 2 747 stems was 395.2 kg/solid cu.m. and the standard deviation 28.1 kg/solid cu.m., i.e. 7.1 per cent of the mean. The corresponding mean stem density and deviation in naturally regenerated pine stands were 408.6 and 32.8 kg/solid cu.m. (Hakkila 1966). It is natural that wood quality is more homogeneous and stem-to-stem variation of density smaller in plantation forests than in naturally regenerated forests. Age explained 32 per cent of the stem density variation in natural stands.

If the ratio between Dbh and age, i.e. growth rate, is adopted as the explanatory factor, the degree of explanation rises to 40 per cent. It rises further to some extent if the number of indicators is increased. In addition to the logarithm of age, the best indicators are the following.

Independent variable	R	Explained variance, %
Breast height diameter/age	0.632	40
+ (tree height/age)^2	0.640	41
+ logarithm of ring width	0.647	42

The degree of explanation was not improved by the addition of several independent variables to the equation. Hakkila (1966) explained 40 per cent of the total variation of pine stem density with the help of external tree characteristics and environmental factors. The best equation explained 37 per cent of the density variation in spruce stems from cultivated spruce stands and the variation was considerably lower than that for naturally regenerated stems (Hakkila and Uusvaara 1968). Hakkila and Panhelainen (1970) explained 35 per cent of the wood density variation of *Pinus contorta* grown in Finland. Longitudinal growth, bark percentage and indicators of stem form turned out to be the best independent variables.

Age and growth rate were the best factors explaining the basic density of plantation-grown pine stems in the present study. The results obtained by regression analysis are thus in good agreement with the conclusions drawn on stem-to-stem variation in the previous chapter. Acceleration of growth reduces basic density and the wood quality can consequently be affected by regulating growth.

4233. Density variation between the stands

If, instead of stem-to-stem wood density variation, stand-to-stand variation is examined, the results are different. Variation between stems is excluded and the results are levelled. The minimum and maximum values for basic density in a material from 90 sample stands were 340 and 432 kg/solid cu.m. and the standard deviation was 21.8 kg/solid cu.m. (5.5 per cent of the mean), i.e. lower than in the stem-to-stem comparison.

Stand-to-stand and within-stand variation of basic density was studied by variance analysis. According to the analysis, within-stand variation was significant at the 0.01 per cent risk level.

Variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value
Stand-to-stand	1 240 900	89	13 942	38.47***
Within-stand	926 980	2 558	362	
Total	2 167 900	2 647		

The between-stand basic density variation was studied by means of stepwise regression analysis, using the variables that were used before; it gave logarithm of breast height diameter divided by the age of the stem as the best variable. The correlations were considerably greater than earlier. The variable mentioned explained 72 per cent of the total variation of density and the regression equation assumed the following form:

Regression equation	R	$S_{y \cdot x}$
$Y = 468.302 - 1066.817\,X$	0.854	11.5

Y = basic density of stand, kg/solid cu.m.
X = logarithm of Dbh/age

When the number of independent variables was increased further an 83 per cent degree of explanation was achieved by means of five variables. Stand-to-stand basic density variation is thus explained best when the following variables are added to the variable logarithm of breast height diameter divided by age.

Independent variable	R	Explained variance, %
Logarithm of the mean ring width	0.879	77
+(Mean age/mean diameter)^2	0.891	79
+Mean branch diameter at 20 % relative height, mm	0.896	80
+Mean diameter of the longest living branch, mm	0.909	83

The residual deviation of the equation was 9.3 kg/solid cu.m., i.e., 2.4 per cent of the average basic density of the stands. A considerable proportion of the unexplained variance was probably due to genetic factors that affect basic density, but measuring errors also cause unexplained variation.

The following table presents some correlations between basic density by stem and by stand and between some variables.

Independent variable	Coefficient of correlation	
	By stem	By stand
Reciprocal of age	— 0.599	— 0.813
Square root of age	0.600	0.811
Logarithm of crown proportion	0.501	0.706
Diameter growth	— 0.295	— 0.507
Height	0.464	0.657
Logarithm of volume	0.365	0.640

424. Percentage of heartwood

There is no heartwood in pines of seedling age; it begins to develop, depending on e.g. the latitude, at the age of approx. 25 years in the southern part of, say, Sweden and at about 70 years of age in the northern part (H ä g g l u n d 1935). Heartwood formation is accelerated and its pro-

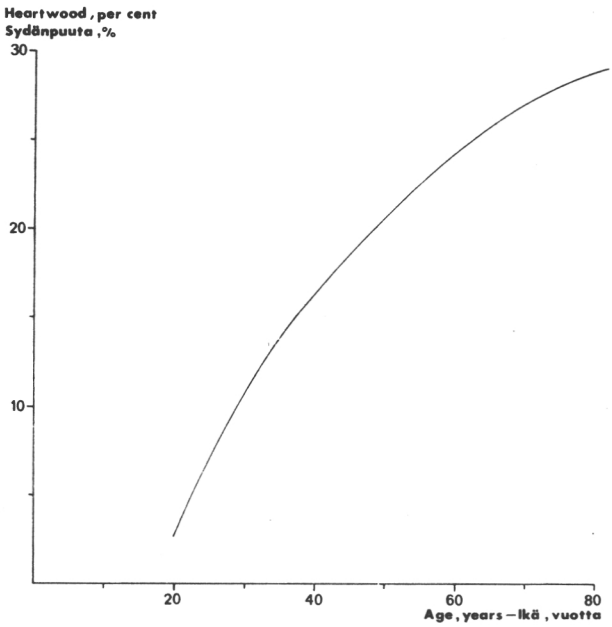


Fig. 36. Correlation between percentage of heartwood at breast height of the tree and age in pine plantations.
Kuva 36. Puun rinnankorkeudelta mitatun sydänpuuprosentin riippuvuus iästä viljelymänniköissä

portion in the stem grows sharply with age. The development is illustrated by a curve (Fig. 36) plotted from the Dbh measurements of the percentage of heartwood. This curve shows that heartwood begins to develop in plantation-grown pines on average at the age of somewhat under 20 years. The heartwood percentage increases steeply at first, more gently later. The proportion of heartwood at the age of 80 years is 29 per cent.

Regression equation	$\bar{y}$	$\bar{x}$	R	$S_{y \cdot x}$
$Y = -55.508 + 19.514 \log X$	16.5	36.8	0.610	8.81

Y = heartwood at breast height, per cent
X = tree age, years

Age explains 37 per cent of the heartwood percentage of plantation-grown pine stems. Hakkila (1968) observed the logarithm of age to be the best independent variable for explaining the variation of the percentage of heartwood in pine pulpwood by locality. The heartwood percentage of pine pulpwood bolts at the age of 80 years was approx. 4 per cent higher than the same percentage determined at breast height for plantation-grown pine stems. The significance of age for the heartwood percentage has been reported in many other studies (Lappi-Seppälä 1952, Tamminen 1962, Heiskanen 1970). Edlund

(1966) reported that pine contains almost 20 per cent heartwood at breast height at the age of 40 years. According to the studies conducted by Eneroth (1922) on old trees, the percentage of heartwood rises continuously with age though the increase slows down slightly at the age of about 100.

In addition to age, heartwood percentage depends on e.g. soil, growth rate, genetic factors and geographical location. As many indicators of branchiness and stem form describe expressly the growth rate, old, narrow-ringed, small-crowned and slender, slightly tapering stems contain on average the greatest quantity of heartwood (Lappi-Seppälä 1952, Kärkkäinen 1972). In his study of the correlation between the percentage of heartwood and various stem indicators Nylinder (1961) noted the strongest correlation between heartwood percentage on one side and, on the other, diameter, width of annual rings close to the surface and relative crown height.

The heartwood percentage rises from the butt of the stem up to a relative height of about 15 per cent where it reaches its maximum and then decreases sharply towards the top. The percentage is only about 1 at 80 per cent height (Fig. 37). The heartwood percentage is lower in shorter trees than in taller and older stems.

The variation with age of the heartwood percentage can also be seen from Table 20. Although the percentage of heartwood in older stems is a little higher on average than in younger stems, the growth rate influences the fact that the heartwood content of the faster-growing of two stems may be greater than that of the slow-growing stem.

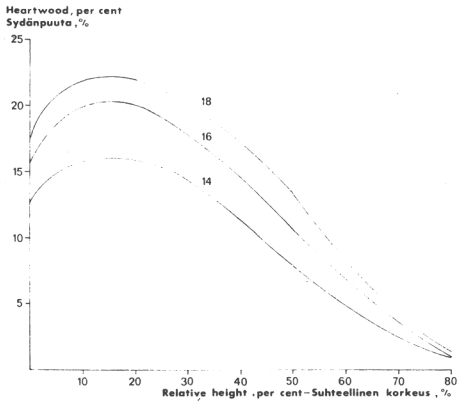


Fig. 37. Percentage of heartwood at relative heights in 14-, 16- and 18-m plantation-grown pine stems.

Kuva 37. Sydänpuuprosentti 14-, 16- ja 18-metristen viljelymäntyrunkojen suhteellisilla korkeuksilla

Nylinder (1961), Ericson (1966) and Hakkila (1967) found the highest heartwood percentage at the 20—30 per cent height of the pine. The highest heartwood percentage of the *Pinus contorta* is at the 20 per cent height of the smallest stems of the stand, but closer to the butt when the tree height grows (Hakkila and Panhelainen 1970). The curves illustrating longitudinal changes in heartwood percentage in the above study were similar to the curves for plantation-grown stems, but the actual percentage of heartwood was considerably higher.

Table 20. Percentage of heartwood at relative heights of stems of different ages
Taulukko 20. Sydänpuuprosentti eri ikäisten runkojen suhteellisilla korkeuksilla

Relative height, per cent *Suhteellinen korkeus, %*	Age, years — *Ikä, vuotta*						Average *Keskimäärin*	
	21—40		41—60		61—80			
	Heartwood, per cent — *Sydänpuuta, %*							
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
0	6.6	7.6	14.4	11.0	19.5	14.5	10.2	10.3
10	9.6	8.6	18.2	10.4	22.0	16.9	13.4	10.7
20	9.2	8.5	17.9	10.1	25.8	16.3	13.3	10.7
30	8.4	8.3	16.2	10.5	26.8	16.1	12.2	10.8
40	6.4	7.4	14.3	9.7	18.7	13.4	10.0	9.6
50	4.6	6.6	10.6	8.8	17.3	10.5	7.5	8.5
60	2.0	3.8	7.0	8.4	13.3	7.6	4.4	6.9
70	1.2	3.7	3.5	5.5	5.3	4.8	2.3	4.7
80	0.4	1.5	1.3	5.1	1.5	2.4	0.8	3.6

43. Comparison between naturally regenerated and plantation-grown pines

Fig. 38 shows the development of the lower limit of dead and living branches and of the tree height in plantation-grown and naturally regenerated pine stems as a function of breast height diameter (H a k k i l a et al. 1972). The latter material was collected from South Finland in the National Forest Inventory. The growing stock and the crown limit are both higher in cultivated than in naturally regenerated pine stands. As the point of origin of dry branches is lower in the former, the part of the stem with dry branches is considerably longer in plantation than in naturally regenerated pines. The branchless part of the stem is correspondingly shorter although the difference decreases as the diameter grows.

The crown proportion is greater in naturally regenerated than in cultivated pine stands (Fig. 39). When the diameter grows the crown proportion is shortened evenly in the former, while in the latter it is first shortened and then lengthens in the highest diameter stems.

The results taken in the foregoing as references for comparison with plantation-grown pines apply equally well to the results obtained for mixed forests and pure pine stands. Although self-pruning is slower in plantation-grown pines than in naturally regenerated stems, a partial explanation of the great differences in the height of the pruned part and of the branchy part is that a stem of certain diameter in a naturally regenerated stand is usually older than a plantation-grown pine of the same diameter, but of faster growth. These results are compared in the following table with N y y s s ö n e n's (1954) findings for the development of branchiness in pine stands aged 60 and 80 years treated with cuttings (cf. Fig. 5).

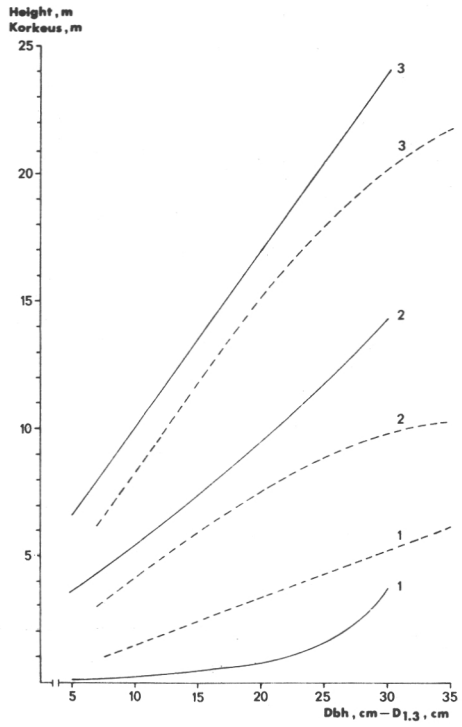


Fig. 38. Lower limit (1) of dry branches of the tree, crown limit (2) and the overall height of the tree (3) as a function of Dbh in pine plantations.
— — — Corresponding parts of the stem in naturally regenerated pine stands (HAKKILA et al. 1972).

Kuva 38. Puun kuivien oksien alaraja (1), latvusraja (2) sekä puun koko pituus (3) rinnankorkeusläpimitan funktiona viljelymänniköissä
— — — Vastaavat rungon osat luonnonmänniköissä (HAKKILA ym. 1972)

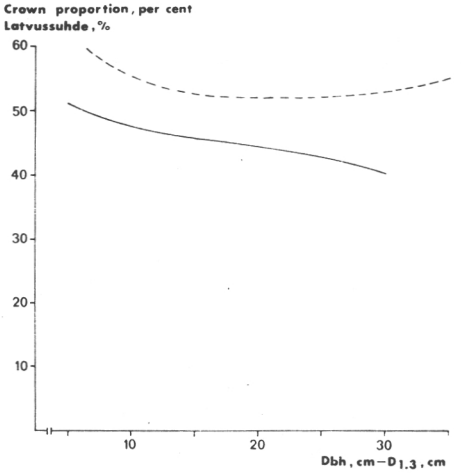


Fig. 39. Crown proportion as a function of Dbh in pine plantations.
— — — Crown proportion in naturally regenerated pine stands (HAKKILA et al. 1972).

Kuva 39. Latvussuhde rinnankorkeusläpimitan funktiona viljelymänniköissä
— — — Latvussuhde luonnonmänniköissä (HAKKILA ym. 1972)

	Naturally regenerated stands				Plantations	
	MT		VT			
	60	80	60	80	60	80
	Per cent of the stem height					
Branchless part of stem	13	17	15	19	6	22
Dry-branched part of the stem	48	43	44	38	56	41
Crown	41	39	41	40	38	37

The branchless part and the crown of plantation-grown pines are thus shorter and the dry-branched part of the stem longer than in naturally regenerated pine stands.

K r o t k e v i t š (1955) reported the length of the self-pruned and dry-branched part of the stem and the crown height of 60-year-old pine stands to be 13, 42 and 31 per cent of the tree height. Similar results were obtained for naturally regenerated forests by H e i k i n h e i m o (1953) and H e i s k a n e n (1965). According to N y y s s ö n e n (1954), the crown proportion at the age of 40 is 45 per cent and then decreases evenly to 39 per cent for VT and 35 for MT at the age of 100 years. S a r v a s (1944) studied the crown proportion of pine stands treated with selection cutting and found it to be 35 per cent for VT.

Comparison with naturally regenerated pine stands shows that plantation-grown pine stems are poorly self-pruned, especially at the age of 40—60 years when the butt section has already attained sawlog dimensions. The branch limit rises at an older age in plantation-grown pines to the level of naturally regenerated stems, but even then about a half of the self-pruned part of the stem contains knot bumps.

The poor self-pruning of plantation-grown pines is due partly to the slow decay and falling of abnormally thick branches. The studies made by H a k k i l a (1971) show that Dbh is the best indicator of branch diameter and height also in naturally regenerated pines stands, i.e., the branch dimensions develop in ratio to the stem diameter. As diameter growth is faster in cultivated stands, branches, too, grow thicker than they do in naturally regenerated stems. There are not very many points of reference with the branch diameters of naturally regenerated stands. A comparison is made in Fig. 40 between the diameter of the thickest branch at 70 per cent height in naturally regenerated stands and plantations (H a k k i l a et al. 1972). Although the objects of comparison were plantation-grown pines of under 50 years which were in the best growth rate phase and a material comprising numerous old and slow-growing naturally regenerated pines, the diameters were almost equally great. Branch diameter increases sharply in the top parts of the tree only at a higher age (Fig. 9).

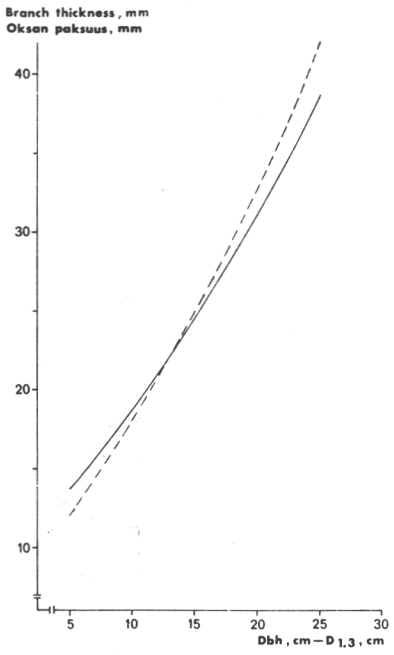


Fig. 40. Branch diameter at 70 per cent height of the tree as a function of Dbh in plantation-grown pine. — — — Branch diameter in naturally regenerated pine stands (HAKKILA et al. 1972).

Kuva 40. Oksan paksuus puun 70 %:n korkeudella rinnankorkeusläpimitan funktiona viljelymänniköissä — — — Oksan paksuus luonnonmänniköissä (HAKKILA ym. 1972)

A comparison is made in the following table between branch diameters at the 10 and 50 per cent stem heights in plantations and natural pine stands by crown classes (H e i k i n h e i m o 1953). Some of the naturally regenerated stands are mixed spruce-birch stands and their mean age, 30 years, is slightly lower than that of the plantations. In the former, dead and living branches were also distinguished between.

Crown class	Naturally regenerated stands		Plantations
	Mean diameter of the branches, mm		
	Living	Dead	
1	10	12	19
2	7	9	15
3	6	7	13
4	4	4	11

Light conditions in the forest have been found to be decisive for the quality development of pine (C h o j n a c k i 1969). There are many pine plantation experiments in which the seeding and planting spacings have been varied. The experiments demonstrated that branch diameter increases when the cultivation spacing is lengthened.



Fig. 41. Pine plantations usually develop in homogenous conditions compared with naturally regenerated pine stands.

Kuva 41. Viljelymänniköt kehittyvät tavallisesti luonnonmänniköihin verrattuna tasaisissa olosuhteissa

The slow development of sown plants restricts the use of sowing on fertile sites, whereas a planted seedling usually tends to grow branches. However, it was pointed out by Yli-Vakkuri (1968) in his study of the establishment density of a seedling stand that little can be done about this, not even by increasing the planting spacing on fertile sites. Branch development is affected not only by the planting or seedling spacing but also by the homogeneity of the growing stock. Branch development in pine plantations must probably be related to the fact that it is not possible with anything like the same frequency to create in natural stands homogeneous growth environments with similar light and growth conditions (Fig. 41).

Stem taper was mentioned as being associated with the stem growth rate, branch diameter and crown size and shape. Hence, primarily a low number of stems per unit of area and thinnings of growing stock increase taper. Larson (1963) stated that every silvicultural measure which causes changes in crown growth is reflected immediately as changes in stem form. Taper is dependent on the intensity of the thinnings, and this increases the growth of taper only until the crown reaches again its most meaningful dimensions (Flury 1903 and Krahl-Urban 1939). The effect of growth rate is greatest in young stands (Fig. 42).

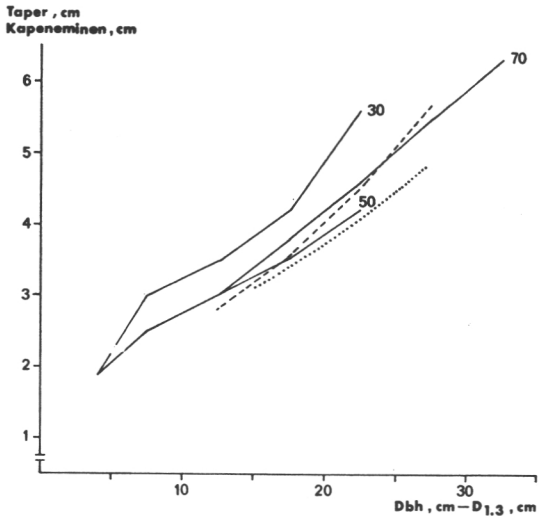


Fig. 42. Correlation between the taper and Dbh of plantation-grown pines aged 30, 50 and 70 years.
... taper according to NYYSSÖNEN (1954)
— — — taper according to SARVAS (1944)

Kuva 42. 30-, 50- ja 70-vuotiaiden viljelymäntyjen kapenemisen riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta
... kapeneminen NYYSSÖSEN (1954) mukaan
— — — kapeneminen SARVAAN (1944) mukaan

A comparison is made in Fig. 42 of tapering in plantations, thinned forests of natural origin (Nyyssönen 1954) and pine stands treated with selective cuttings (Sarvas 1944). The curves for naturally regenerated pine stands are based on a material collected only from VT forests. The difference would be reduced slightly had the comparison material included also growing stock from better forest site types. The difference in the stem taper of MT and VT stands was, however, extremely small in pine stands subjected to cutting (Nyyssönen 1954).

According to Tiihonen (1972), tapering of the pine stem in diameter classes 13—24 cm is 4 cm.

The commonest defect in plantation-grown pines impairing its technical quality was either a stem crook or a crook in the butt. The observations made by Kangas (1962) on naturally regenerated pine stands were similar, but are not comparable as such. It thus remains uncertain whether there are essential differences in the quantity and quality of the defects encountered in naturally regenerated and plantation-grown pine stands. It seems, nevertheless, that growth disturbances, particularly sweep, are associated with the high growth rate of plantation-grown pines.

Heiskanen's (1955 and 1965) studies give the best reference points for a comparison of the butt log quality in cultivated pine stands. The quality class per cent distribution for butt logs was: I 11.2, II 63.4 and III 25.5 in the 1955 study. In the present study the same distribution was 1.4, 14.8 and 83.6 per cent.

The absence of age distribution data alone prevents direct comparison of the results with those obtained in this study. However, they indicate the difference in standard between the quality of logs from plantations and from naturally regenerated forests. When diameter growth is accelerated, especially in young stands, the proportion of the poorer quality class increases strongly (Heiskanen 1965). According to that study. the share of class III butt logs is at its best 55 per cent in stands of under 60 years and rises sharply with the increase in diameter. The proportion of class III butts is very small in the age class 81—100 years.

The log diameter class also affects the quality class distribution: the share of logs of quality classes I and II in the volume decreases fast when the diameter diminishes.

According to the Third National Forest Inventory (Ilvessalo 1957), the average shares of quality classes I, II and III in the total of standing saw timber was 16.3, 32.7 and 51.0 per cent. The figures are for the same district forestry boards from which the data on plantation-grown pines were collected.

According to the Sixth National Forest Inventory the shares of quality classes I, II and III in the sawlog growing stock were 14.2, 30.0 and 55.7

per cent. However, the figures were calculated only from the area of three district forestry boards in the southern half of Finland as technical cubic metres per hectare (T i i h o n e n 1973, cf. also A n o n. 1971).

It is rather difficult to make comparison with the above figures as the plantation-grown pine material also derived from young forests on the whole. However, the poorer self-pruning than in naturally regenerated forests and thick-branchiness alone indicate that the formation of better quality saw timber begins later in plantation pines than in naturally regenerated pine stands, and that the quality is lower even then.

Conclusions can be drawn also on within-stem wood properties on the basis of the external stem characteristics and the timber quality. According to the comprehensive review of the literature presented by L a r s o n (1963), stem form may be regarded at least in some degree as a criterion for the evaluation of basic density.

The percentage of late wood in a plantation-grown pine stem at different heights may be compared with the values reported by H a k k i l a (1967) for naturally regenerated pine stands. The difference in the late wood percentage varies from 2 to 5 per cent units in different parts of the stem; this may be due to the measuring method and the measurer's principles for evaluating late wood and early wood. The mean late wood percentage for plantation -grown pines was 29 per cent; this is 2—3 per cent units more than the values reported by H a k k i l a (1968) for pine pulpwood between the 62nd and 64th parallels.

As basic density is strongly dependent on the late wood percentage, no noteworthy difference can be seen in the basic density of naturally regenerated pine stands and plantations when judged by the density/age ratio. The most detailed data on the basic density of naturally regenerated pine stands are to be found in the studies conducted by H a k k i l a (1966). Fig. 43 shows the correlation between basic density and age in plantations and natural pine stands. The regression equation illustrating the former is as follows:

Regression equation	R	$S_{y \cdot x}$
$Y = 212.880 + 49.601 \log X$	0.609	22.3

Y = basic density of stem, kg/solid cu.m.
X = tree age, years

The basic density was slightly higher in plantation-grown pines, but the results of the two studies were close.

However, growth and development are faster on average in pine plantations than in naturally regenerated pine stands and it is consequently possible to harvest timber faster in the former. If it is assumed that stems

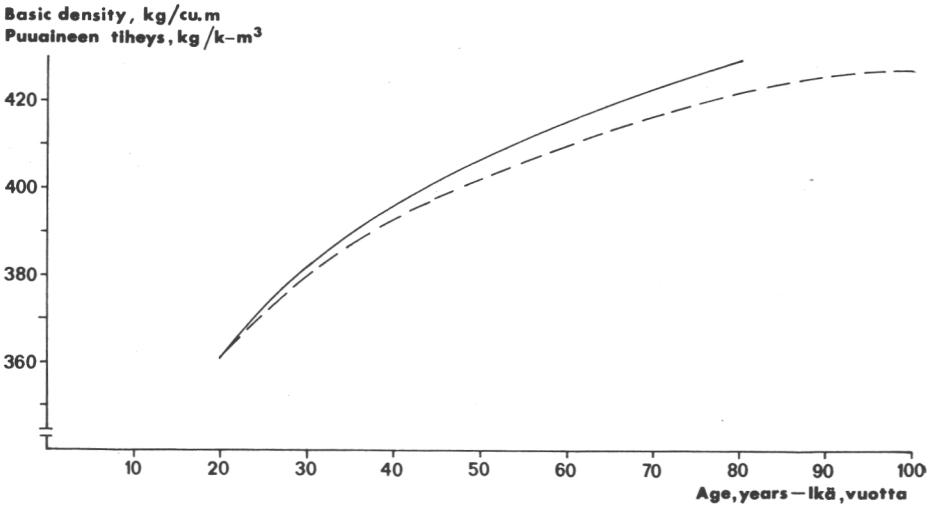


Fig. 43. Correlation between the basic density and age of plantation-grown pine stems. — — — Basic density in naturally regenerated pine stands according to HAKKILA (1966).
Kuva 43. Viljelymäntyrungon puuaineen tiheyden riippuvuus iästä — — — Puuaineen tiheys luonnonmänniköissä HAKKILAN (1966) mukaan

develop to a certain dimension and to the logging stage is 10 years faster in pine plantations than in naturally regenerated pine stands, basic density in the former will be approx. 10 kg/solid cu.m. lower than in natural pine stands.

Although there was no difference in the average basic density of the two types of pine stand, the fact remains that growth rate has a strong effect on density. This appears from the following table in which basic density is compared at the age of about 40 years in plantations and natural pine stands on VT, MT and OMT soil. The basic density of plantation-grown pines from a very favourable site may be considerably lower than that of pines from naturally regenerated forests.

	Plantations	Naturally regenerated stands
	Basic density, kg/solid cu.m.	
VT	400	406
MT	390	386
OMT	370	385

Several investigators have arrived at the conclusion that basic density is lower in plantation-grown pine stands than in stands of natural origin (e.g. Pillow 1952, Miyajima 1958, Baker 1967). The reverse has also been stated in studies of the effect of growth rate on basic density (Sellers 1962, Nichols and Fielding 1965, Schalck 1967).

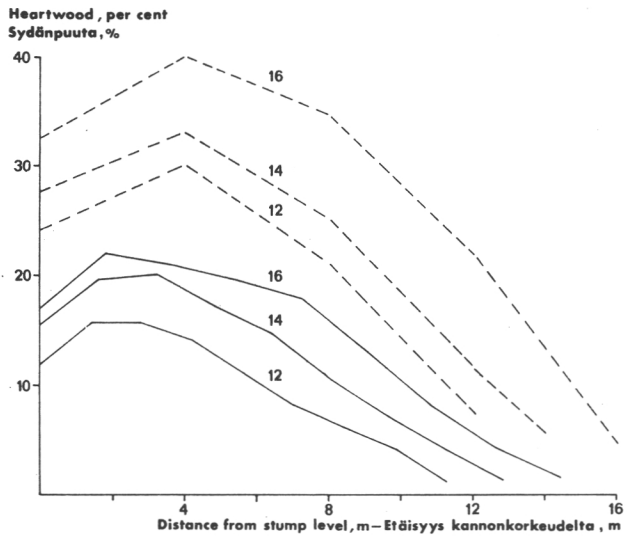


Fig. 44. Percentage of heartwood at different heights of a plantation-grown pine stem the height of whose utilizable part is 12, 14 and 16 m.
— — — Percentage of heartwood in naturally regenerated pine stands according to HAKKILA (1967).

Kuva 44. Käyttöosaltaan 12-, 14- ja 16-metrin pituisen viljelymäntyrungon sydänpuuprosentti eri korkeuksilla
— — — Sydänpuuprosentti luonnonmänniköissä HAKKILAN (1967) mukaan

According to Elliot's (1970) review of the literature, dense establishment of a pine stand reduces the juvenile wood zone of low density and the growth of branches and taper. Intensive thinnings of young seedling stands increase crown size in ratio to stem volume and decrease the late wood percentage and basic density immediately after the thinning.

The average heartwood percentage of plantation-grown pine stems is low, only about a half of that of naturally regenerated stems (Fig. 44). The heartwood percentage peak, too, is somewhat lower in a plantation-grown than in naturally regenerated pine. The longitudinal variation in the heartwood percentage of pine was very similar in studies made in Sweden; the highest stem heartwood values were encountered at the relative height of 20 per cent (Nylinder 1961, Tamminen 1962). These studies give a maximum heartwood percentage range of 23 to 70, but note that age strongly influences the quantity of heartwood.

According to Hakkila (1968), the average heartwood percentage of pine pulpwood south of the 62nd parallel is 16 and between the 62nd and 64th parallel 21. Bruun (1965 and 1967) reported heartwood percentages of 14 to 41 in different parts of the country.

Little is known about the reasons for the formation of heartwood. However, the proportion of heartwood depends to a certain extent on the vitality and growth rate of the tree: the heartwood percentage of fast-growing trees is smaller than that of slow-growing. As the amount of heartwood seems to be associated simultaneously with age, growth rate and site type, wood with a particularly low heartwood percentage will be obtained from young, fast-growing pine plantations.

5. SUMMARY

The quality of timber harvested from forests and wood quality will change in many ways with the yearly expansion of the area of artificial reforestation. Selection of seedling material, deciding the growing space of trees at the beginning of the development of a stand, more homogeneous growing conditions than in naturally regenerated forests, and possibly, more intensive silvicultural measures distinguish pine plantations from natural pine stands in their development.

If high yield is the sole aim for cultivated pine stands, at least some compromise will have to be made with the quality of timber. Studies to date have disclosed the negative influence of fast growth on the self-pruning of the stem and diameter growth of the branches, negative, that is, for sawlog quality. But trees are grown today in pine stands and will be grown in the immediate future with sawlogs as the ultimate aim.

The purpose of this work was to study the quality of timber and wood in plantation-grown pines, chiefly for use as sawlogs, and the development of quality as judged by external characteristics and factors associated with stand development. In addition, wood characteristics and the correlation between them and various indicators of external quality were examined. The results were compared with corresponding data on naturally regenerated pine stands.

The material comprised 30 stems per stand collected in the southern part of Finland from sample stands located in pure pine plantations. For the investigation of wood characteristics, two cores were taken by increment borer and the branchiness, defects, etc. of the stem were measured and noted. A part of the sample trees were felled for study of the longitudinal variations in the different stem characteristics. Cores were taken as control material from the felled sample trees, and from a part of the material disks were also taken from different relative heights. 2 760 stems from 92 sample stands were studied and 460 of them were felled for additional studies.

The main results were as follows:

1) Formation of the branchless part of the stem is a slow process in pine plantations until the age of 60 years when the healing over of the branches is accelerated. The crown proportion decreases evenly with age,

whereas the relative height of the dry-branched part of the stem grows at first and decreases later, and the relative height of the branchless part of the stem increases. At 80 years, the stems are self-pruned to an average height of 22 per cent. The self-pruning rate, however, also depends on the rate of diameter growth, and trees of medium diameter are the best pruned within each age class.

2) The branch diameter at different stem heights increases with age, but diameter differences between the different age classes are very small in the butt section and increase towards the top. The maximum diameter branches of the stem are at the relative height of 60 per cent in trees aged over 50 years, in stands of under 30 years at the 40 per cent height. The better the forest site type, the thicker are the branches. Concentration of the diameter growth of branches in the butt section of the tree is then the most negative factor for wood quality. Stems of crown class I are the largest-branched trees of the stand; branch diameter decreases in the lower crown classes.

3) Of the indicators describing stem, the length and diameter of the longest branch of the stem and the diameter of the thickest dry branch are explained best by stem diameter at breast height. In addition to diameter radial increment, the quantities that explain best the length and diameter of the largest branches are crown proportion and age in different forms. The best degrees of explanation obtained by regression analysis for the diameter of the thickest branch and the length and diameter of the longest living branch were 70, 68 and 63 per cent.

4) Stem taper increases within a certain age class as the tree diameter grows. Trees of the lowest crown classes of the stand thus display the least taper and have the best stem form. Stem taper correlated with the indicators of branchiness and the characteristics illustrating the internal quality of wood.

5) The commonest defects in plantation-grown pine stands lowering technical quality are crookedness of stem, butt crook, vertical branch and sweep. Together they cover about 95 per cent of all the defects observed. The proportion of all defects is smallest in VT (Vaccinium type) stands and highest in all age classes in OMT (Oxalis-Myrtillus type) stands. The incidence of defects in the stem is higher the lower the crown class to which it belongs.

Compression wood was seen at stump height in 30.4 per cent of all the sample trees felled. The proportion of stems containing compression wood rose to 46.2 per cent in crooked stems and to 48.7 per cent in stems with sweep.

6) Sawlogs harvested from pine plantations are of poor quality in general. The proportion of sawlogs of quality class I in the growing stock of

even the oldest stands is very small. Log quality deteriorates when the nutrient content of the soil increases, and the technical quality of butt logs harvested from OMT pine stands is especially poor. Butt logs that meet sawlog dimensions are distributed according to branchiness into classes I, II and III and cull stems as follows: 6.7, 19.8, 69.4 and 4.2 per cent. If, in addition to branchiness, all defects are taken into account in the quality assessment, the distribution becomes 1.3, 11.7, 66.2 and 20.8 per cent. The proportions of all accepted butt logs in quality classes I, II and III are 1.4, 14.8 and 83.6 per cent.

7) Branch diameter at different heights of the stem increases with the diameter growth rate of the tree at different ages, i.e., with the width of the annual rings. There is a correlation between ring width and self-pruning; relatively slow-growing stems show the best self-pruning, while both very fast-growing and very slow-growing trees show the worst degree of self-pruning. Ring width proved to be a good independent variable of total basic density variation in stand-to-stand analysis and a moderately good one also in stem-to-stem analysis.

8) The percentage of late wood decreases in the stem from the butt towards top and is generally lower the younger or faster-growing the tree is. The mean late wood percentage occurs at 30 per cent relative height. ing width in one form or another was a fairly good independent variable of the late wood percentage of the stem. However, when stem diameter growth and diameter of the largest dry branch were added as independent variables, ring width explained only 45 per cent of the total variation of the late wood percentage.

9) The basic density of the stem decreases evenly from the butt upwards and the mean stem basic density, 395 kg/solid cu.m., coincides with the relative stem height of 25 per cent. The effect of the forest site type on basic density is pronounced if the nutrient content of the soil is abnormally high.

In stem-to-stem regression analysis, age, growth of tree diameter, height and ring width proved to be the best independent variables of basic density. The explained variance was 42 per cent.

When stand-to-stand variation of density is explained by the same variables, the correlations are considerably closer. The best degree of explanation, 83 per cent, was achieved with the independent variables ring width and growth rate variance and branch diameter.

10) The heartwood percentage of a plantation-grown pine stem increases from stem butt to a relative height of about 15 per cent where it reaches its maximum and then decreases sharply towards the top. The average heartwood percentage is higher the older the tree.

11) Comparison with naturally regenerated pine stands shows that self-pruning is poorer in plantation-grown pine stems, particularly at the age of 40—60 when the butt portion of the stem already meets sawlog dimension requirements. The quality of the butt portion of a stem self-pruned at a later age is lowered by large and long-lasting knott bumps. Although direct points of comparison with naturally regenerated pine stands are few, the development of branch thickness in plantation-grown pine stands seems to be stronger on average than in natural pine stands.

The quality of sawlogs from cultivated pine stands is poorer than that of naturally regenerated pine stands, chiefly because of poor branchiness but also on account of various technical defects. Approximately one-fifth of stems of sawlog size are not acceptable even as sawlogs of quality class III. The stems also taper more than naturally regenerated stems, and this affects e.g. the raw material consumption.

12) There is no appreciable difference between the late wood percentages and basic density of wood produced by cultivated and naturally regenerated pine stands. However, if stands are established on especially good sites and the number of stems is kept small, basic density decreases notably. As cultivated forests grow fast, it is possible to harvest wood from them earlier than from naturally regenerated forests. As basic density rises sharply with age in young stands, the pulp yield per unit of volume is somewhat lower for plantation-grown than for naturally regenerated pines.

The average percentage of heartwood in plantation-grown pine is only a half of the percentage in stems of natural origin.

REFERENCES

Ager, B., Nilsson, N-E. & Segebaden, G. von 1964. Beskrivning av vissa skogstekniskt betydelsefulla bestånds- och trädegenskaper samt terrängförhållanden. Summary: Description of some for logging operations important characteristics of forest stands, trees and terrain in Sweden. Studia Forestalia Suecica 20.

Anderson, M. I. 1958. Effect of site and silvicultural treatment upon timber quality. Quart. J. For. 52,4: 272—290.

Anon. 1971. Valtakunnan metsien kenttätyön ohjeet. Yleinen osa. Metsäntutkimuslaitos. Metsänarvioimisen tutkimusosasto. Moniste. 22 p.

Baker, G. 1967. Estimating specific gravity of plantation-grown Red pine. For. Prod. J. 17,8.

—»— 1969. Influence of tree spacing in a Red pine plantation on certain wood and tree qualities. Me.Agric.Exp.Sta. Bull. 668.

Barefoot, A. C., Hitchings, R. G. & Ellwood, E. L. 1964. Wood characteristics and kraft paper properties of four selected Loblolly pines. 1. Effect of fiber morphology under identical cooking conditions. Tappi 47,6: 343—356.

Bennett, F. A. 1960. Spacing and early growth of planted Slash pine. J. For. 58,12: 966—967.

—»— 1969. Spacing and Slash pine quality timber production. U.S. For. Serv. Stheast. For. Exp. Sta. Res. Pap. SE -53.

Berry, A. B. 1965. Effect of heavy thinning on the stem form of plantation-grown Red pine. Dept. For. Can. Publ. 1126.

—»— 1970. Spacing of Red pine affects upper stem and crown growth. Bi-m. Res. Notes 25,5:50—51.

Bramble, W. C., Cope, H. N. & Chisman, H. H. 1949. Influence of spacing on growth of Red pine in plantations. J. For. 47,9: 762—732.

Browning, B. L. 1967. Methods of wood chemistry 1. 383 p. New York—London.

Bruun, H. 1965. Selluteollisuuden käyttämän männyn ja kuusen sydänpuupitoisuus. Kemian teollisuus 22,12: 919—922.

—»— 1967. Maamme selluloosateollisuuden havupuun runkohalkaisijasta ja iästä. Kemian teollisuus 24,1: 20—22.

—»— & Willberg, J. 1964. The heartwood contents of pine (Pinus silvestris) and spruce (Picea abies). Paperi ja Puu 46,4a: 221—227. (Tiivistelmä).

Chojnacki, W. 1969. Results of investigations of stem form and quality of Scots pine under various conditions, using a complex method. Folia for. polon. (Leśn.) 15: 185—237 (Ref. Forestry Abstracts 1970: 4146).

Choong, E. T., Box, B. H. & Fogg, P. J. 1970. Effects of intensive cultural management on growth and certain wood properties of young Loblolly pine. Wood & Fiber 2,2: 105—112.

Chroust, L. 1958. Vliv hustoty na vývoj a rúst borové tyčkoviny. Summary: The influence of density on the development and growth of a pole stand of pine. Práce Vyzkum. Ust. Lesn. ČSR 15: 93—117. (Ref. Forestry Abstracts 1960: 1635).

Cohen, W. E. 1962. Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries. Chapter 13: The influence of resins on paper manufacture. 513 p. New York—London. (Ref. Forestry Abstracts 1963: 2 740).

Cooper, G. A. 1960. Specific gravity of Red pine as related to stem and crown-formed wood. Iowa St. Coll. J. Sci. 34: 693—707 (Ref. Forestry Abstracts 1961: 2 369).

Corona, E. 1966. Variations and disagreements in series of annual growth rings. Monti e Boschi 17,2: 27—34 (Ref. Forestry Abstracts 1966: 6 527).

Cromer, D. A. N. & Pawsey, C. K. 1957. Initial spacing and growth of Pinus radiata. For. Timb. Bur. Aust. Bull. 36.

Dadswell, H. E., Wardrop, A. B. & Watson, A. J. 1958. The morphology, chemistry and pulp characteristics of reaction wood. Repr. from Fundamentals of Papermaking Fibres, British Paper & Board Makers' Association. (Ref. Forestry Abstracts 1959: 3 676).

Dan'šin, I. I. 1966. Effect of high initial plantation density on the formation of young stands and the growth of Scots pine in the Lower Don region. Sborn. Rabot Lesn. Hoz. Vsesojuz. Nauč.-Issled. Inst. Lesovod. 51: 36—48. (Ref. Forestry Abstracts 1958: 5 577).

Durst, J. 1955. Taschenbuch der Fehler und Schäden des Holzes. 150 p. Fachbuchverlag. Leipzig.

Echols, R. M. 1960. Effects of growing space on wood specific gravity in Loblolly pine. Proc. Soc. Amer. For.: 140—143 (Ref. Forestry Abstracts 1960: 3 727).

—»— 1972. Patterns of wood density distribution and growth rate in ponderosa pine. Proceedings of the symposium on the effect of growth acceleration on the properties of wood. U. S. For. Prod. Lab. Madison.

Edlin, H. L. 1965. The summerwood-springwood ratio in conifers. The Journal of the Society of Foresters of Great Britain 38: 91—112.

Edlund, E. 1966. Den sibiriska lärken i Norrland och Dalarna som skogsträd och industriråvara. Sveriges skogsvårdsförbunds Tidskrift 64, 5—6: 461—560.

Einspahr, D. W., Peckham, J. R. & Mathes, M. C. 1964. Base lines for judging wood quality of Loblolly pine. For. Sci. 10,2: 165—175.

Elliot, G. K. 1970. Wood density in conifers. Commonwealth Forestry Bureau. Technical communication 8.

Eneroth, O. 1922. Vedens byggnad. Handbok i skogsteknologi. 5—34 pp. Stockholm.

Ericson, B. 1959. A mercury immersion method for determining the wood density of increment core sections. Statens Skogsforskningsinstitut. Avdelningen för skogsproduktion. Rapporter 1.

Ericson, B. 1960. Studies of the genetical wood density variation in Scots pine and Norway spruce. Referat: Studier över den ärftliga volymviktsvariationen hos tall och gran. Statens Skogsforskningsinstitut. Avdelningen för skogsproduktion. Rapporter 4.

—»— 1966. Gallringens inverkan på vedens torr-råvolymvikt, höstvedhalt och kärnvedhalt hos tall och gran. Summary: Effect of thinning on the basic density and content of latewood and heartwood in Scots pine and Norway spruce. Skogshögskolan. Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och uppsatser 10.

Eriksson, H. 1941. Kvantitet och kvalitet i virkesproduktion. Norrlands Skogsvårdförbunds Tidskrift 4: 393—403.

Ertel d, W. 1967. Crown characteristics as indicators of growth potential in young pine stands at various spacings. Sozial. Forstw., Berl. 17,8: 236—239. (Ref. Forestry Abstracts 1968: 566).

—»— Mette, H.-J. & Achterberg, W. 1964. Defects in wood. 76 p. London.

Evert, F. 1971. Spacing studies — A review. Can. For. Serv. Dept. of the environment. Information report FMR-X-37.

Fielding, J. M. 1967. The influence of silvicultural practices on wood properties. Intern Rev. of For. Res. Academic Press. 126 p. New York—London.

Flury, P. 1903. Einfluss verschiedener Durchforschungsgrade auf Zuwachs und Form der Fichte und Buche. Schw. Centralanstalt forstl. Versuchsw. Mitt. 7.

Gaalas, H. 1933. Om kvalitetsfeil in granvirke. Medd. fra Det norske Skogsforsøksavesen 5.

Guer, W. A. & Gilmore, A. R. 1965. Effect of spacing on wood specific gravity in Loblolly pine in southern Illinois. Ill. Agric. Exp. Sta. For. Note 113.

Gilmore, A. R. 1968. Geographic variations in specific gravity of White pine and Red pine in Illinois. For. Prod. J. 18,11.

Giordano, G. 1951. Studio comparativo sul leguo del larice, dell' abete rosso e del pino silvestre proveniente dalle foreste alpine e dai rimboschimenti dell' Appennino. Summary: Comparative study of the wood of larch, Norway spruce and Scots pine from alpine forests and from plantations in the Apennines. Italia forestale a Montana. (Ref. Forestry Abstracts 1952: 3 305).

Goddard, R. E. & Strickland, R. K. 1962. Geographic variation in wood specific gravity of Slash pine. Tappi 45,7: 606—608.

Gooding, J. W. & Smith, W. H. 1972. Effects of fertilization on stem, wood properties and pulping characteristics of Slash pine *(Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.). Proceedings of the symposium on the effect of growth acceleration on the properties of wood. U.S. For. Prod. Lab. Madison.

Grah, R. F. 1961. Relationship between tree spacing, knot size and log quality in young Douglas-fir stands. J. For. 59,4: 270—272.

Guilkey, P. C. 1958. Managing Red pine for poles in Lower Michigan. Lake St. For. Exp. Sta. Pap. 57.

—»— & Westing, A. H. 1956. Effects of initial spacing on the development of young Jack pine in Northern Lower Michigan. Mich. Acad. Sci. Arts. Letters, Pap. 41. (Ref. Forestry Abstracts 1957: 4 017).

Göhre, K. 1958. Über die verteilung der Rohwichte im Stamm und ihre Beeinflussung durch Wuchsgebiet und Standort. Summary: The distribution of density through the stem, and the effect on it of growth region and site. Holz als Roh- und Werkstoff 16,3.

Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Metsäntutk. lait. Julk. 61.5.

—»— 1967. Puun laadun vaikutuksesta mäntysulfaattisellua valmistettaessa. Summary: On wood quality in sulphate pulping of Scots pine. Paperi ja Puu 49, 7: 461—464.

—»— 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Lyhennelmä: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Metsäntutk. lait. Julk. 66.8.

—»— 1971. Coniferous branches as a raw material source. Lyhennelmä: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Metsäntutk.lait. Julk. 75.1.

Hakkila, P., Laasasenaho, J. & Oittinen, K. 1972. Korjuuteknisiä oksatietoja. Summary: Branch data for logging work. Folia Forestalia 147.

—»— & Panhelainen, A. 1970. On the wood properties of Pinus contorta in Finland. Lyhennelmä: Suomessa kasvatetun Pinus contortan puuaineen ominaisuuksista. Metsäntutk.lait. Julk. 73.1.

—»— & Uusvaara, O. 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. Lyhennelmä: Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä. Metsäntutk.lait. Julk. 66.6.

Hall, G. S. 1965. Wood increment and crown distribution relationships in Red pine. For. Sci. 11,4: 438—449.

Hamilton, J. R. & Mathews, R. M. 1965. Wood characteristics of planted Loblolly and Shortleaf pine. Ga. For. Res. Coun. Res. Pap. 27.

Harris, E. H. M. 1955. The effect of rainfall on the wood of Scots pine and other conifers in East Anglia. Forestry 28,2: 136—140.

Hata, K. 1949. Studies on the pulp of Akamatsu (Pinus densiflora Sieb. et Zucc.) wood. 4. The chemical composition of pine wood grown at different rates and stained by Ceratosmella sp. Kawanga (-Ken). Agr. Coll. Tech. Bull. 1,2: 21—26.

Haught, E. 1957. Distribution and extent of compression wood in Loblolly pine. For. Tree. Impr. Progr. Sch. For. N. Ca. Sta. Coll. 1 st. Rep. 14.

—»— 1958. Further study on compression wood in Loblolly pine. For. Tree. Impr. Progr. Sch. For. N. Ca. Sta. Coll. 2nd. Rep. 7.

Heikinheimo, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. Summary: On natural pruning of tree stems. Metsäntutk. lait. Julk. 41.5.

Heiskanen, V. 1954. Tutkimuksia mäntytukkipuiden laatuluokitustavoista ja niiden tarkkuudesta. Summary: Investigations into pine tree grading methods and their accuracy. Metsäntutk. lait. Julk. 44.1.

—»— 1955. Vuosiluston paksuuden ja sahapuun laadun välisestä riippuvuudesta. Summary: On the interdependence of annual ring with and sawlog quality. Metsäntutk. lait. Julk. 44.5.

—»— 1959. Puu sahateollisuuden raaka-aineena. 100 vuotta sahateollisuutta. 66—88 pp. Helsinki.

Heiskanen, V. 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä 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.

—»— 1968 a. Defects of coniferous sawlogs to be taken into account in grading. ECE/Timber Committee. Tim/Conf. Room. Doc. 61.

—»— 1968 b. Havaintoja eräiden vikaisuuksien vaikutuksesta mäntytukkien sahauksessa. Summary: Observations of the influence of some log defects in sawing of pine logs. Silva Fennica 2: 137—147.

—»— 1970. Puun rakenne ja ominaisuudet. Metsänkäyttöoppi 1. 11—73 pp. Rauma.

—»— & Taipale, A. 1963. Tutkimuksia männyn karsimisesta. Summary: Studies on the pruning of pine. Metsäntutk. lait. Julk. 57.1.

Helander, A. B. 1922. Metsänkäyttöoppi. 584 p. Porvoo.

Hägglund, E. 1935. Undersökningar över vedbeskaffenhetens inflytande på utbyte och kvalitet av sulfit- och sulfatmassa. 2. Undersökning av tallved. Svensk Papperstidning 38: 454—463. (Zusammenfassung).

Ilvessalo, Y. 1957. Suomen metsät metsänhoitolautakuntien toiminta-alueittain. Valtakunnan metsien inventoinnin tuloksia. Summary: The forests of Finland by Forestry Board districts. Metsäntutk. lait. Julk. 47.3.

Ipatov, L. F. 1970. The stem form of Scots pine in young stands. Lesn. Ž. 13,4: 132—135 (Ref. Forestry Abstracts 1971: 2 258).

Jackson, L. W. R. 1968. Effect of thinning on growth and specific gravity of Loblolly and Slash pine. Ga. For. Res. Coun. Res. Pap. 50.

, alava, 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 the wood. Acta Forestalia Fennica 40,9: 229—248.

—»— 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet. 352 p. Helsinki.

Jayne, B. A. 1958. Effect of site and spacing on the specific gravity of wood of plantation-grown Red pine. Tappi 41,4: 162—166.

Jussila, E. A. 1935. Raaka-aineen vaikutus sahatavaran laatuun. Yksityismetsänhoitajayhdistyksen vuosikerta 8: 24—38. Helsinki.

Juutinen, P. 1962. Tutkimuksia metsätuhojen esiintymisestä männyn ja kuusen viljelytaimistoissa Etelä-Suomessa. Referat: Untersuchungen über das auftreten von Waldschäden in den Kiefern- und Fichtenkulturen Südfinnlands. Metsäntutk.lait. Julk. 54.5.

Kalela, A. 1937. Zur Synthese der experimentellen Untersuchungen über Klimarassen der Holzarten. Lyhennelmä: Puulajien ilmastorotuja koskevista kokeellisista tutkimuksista. Metsäntutk. lait. Julk. 26.1.

Kallio, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development on pine stands established by sowing in the south of Finland. Acta Forestalia Fennica 71,3.

Kangas, E. 1949. Hirven metsässä aikaansaamat tuhot ja niiden metsätaloudellinen merkitys. Summary: On the damage to the forests caused by the moore, and its significance in the economy of the forest. Suomen Riista 4.

—»— 1962. Über Krummstämmigkeit und Verzweigung der finnischen Kiefer. Metsäntutk. lait. Julk. 55.15.

Kano, T. & Saito, H. 1970. On the selection, in respect of the basic density, in the Japanese Red pine (Pinus densiflora Sieb. et Zucc.) wood. J. Jap. Wood Res. Soc. 16,7: 305—309. (Ref. Forestry Abstracts 1972: 1 436).

Klebingat, G. 1962. Der Einfluss der Kulturverbandsweite auf die qualitative Entwicklung der Kiefer. Summary: The influence of spacing on the development of quality in Scots pine timber. Arch. Forstw. 11,7: 877—901.

Klem, G. G. 1944. Planteavstandens innflytelse på granvedens og sulfitcellulosens kvalitet. Summary: Effect of planting space on the quality of spruce wood and sulphite pulp. Medd. fra Det norske Skogforsøksvesen 8: 257—293.

—»— 1952. Planteavstandens virkning på granvirkets kvalitet. Summary: The influence of spacing on spruce quality. Medd. fra Det norske Skogforsøksvesen 11: 473—506.

Klem, G. S. 1969. Betydningen av øket veksthastighet for en del virkesegenskaper hos gran [Picea abies (L) Karst.] og furu (Pinus sylvestris L.). Summary: The influence of increased growth rate on some wood properties of P. abies and P. sylvestris. Medd. fra Det norske Skogforsøksvesen 27: 63—90.

—»— 1970. Betydningen av sterk tilvekstøkning hos vanlig furu for trevirkets tørkeskader, bøyefasthet og skjaerfasthet. Summary: The effect of a rapid increase in growth rate of Scots pine on drying defects, bending strength and shear strength of wood. Norsk Skogind. 24,2: 43—48.

Knigge, W. 1958. Das Phänomen der Reaktionsholzbildung, und seine Bedeutung für die Holzverwendung. Forstarchiv 29,1: 4—10.

—»— 1961. Der Einfluss verschiedener Wuchsbedingungen auf Eigenschaften und Verwertbarkeit des Nadelholzes. Summary: The effect of growth conditions on properties and usability of conifer wood. Allg. Forst- und Jagdztg. 132,6: 149—156.

Kobylinski, F. 1969. Macrostructure, density and main mechanical properties of Scots pine wood. Prace Inst. Tech. Drewna 16,3: 63—68. (Ref. Forestry Abstracts 1970: 7092).

Koltzenburg, C. 1954. Untersuchung einer auf einem Laubholzstandort erwachsenen Wertholzkiefer. Arch. Forstw. 3,5/6: 503—517.

Krahl-Urban, J. 1939. Untersuchungen über den Jahrringbau der Eichen im preussischen Forstamt Freien Walde. 72 p. Verlag F. Neumann-Neudamm.

Kramer, P. R. & Smith, R. L. 1956. Strength properties of plantation-grown Slash pine. For. Prod. J. 6,3.

Krigul, T. 1958. Männipuistute laasimisest parematel boniteetidel (1—3). Loodusuur. Seltsi Aastar., Tallinn 51: 61—72.

—»— 1961. Männi- ja kuusepuistute laasimine. Eesti Loodusteaduste Arhiiv. 18. Köide. 191 p. Tartu.

Krotkevitš, P. G. 1955. Virašivarie vysokokatšestvennon drevesiny. 179 p. Moskva.

Kutscha, N. P. & Sachs, I. B. 1963. Color tests for differentiating heartwood and sapwood in certain softwood tree species. U. S. For. Prod. Lab. Dept. Agric. For. Serv. Rep. 2246.

Kärkkäinen, M. 1971. Puun rakenteesta ja ominaisuuksista. 248 p. Helsinki.

—»— 1972. Kuusen ja männyn sydänpuuosuudesta. Summary: On the proportion of heartwood in Norway spruce [Picea abies (L.) Karst.] and Scots pine (Pinus silvestris L.). Silva Fennica 6,3: 193—208.

König, E. 1958. Fehler des Holzes. 256 p. Stuttgart.

Laitakari, E. 1937. Laatupuun kasvattamisesta. Silva Fennica 39: 259—270.

Lappalainen, R. 1949. Mäntysahatukkien laatulajittelu ja sen vaikutus sahaustulokseen. (Käsikirjoitus). (Ref. Heiskanen, V. 1954).

Lappi-Seppälä, M. 1952. Männyn sydänpuusta ja runkomuodosta. Referat: Über Verkernung und Stammform der Kiefer. Metsäntutk. lait. Julk. 40.25.

Larson, P. R. 1957. Effect of environment on the percentage of summerwood and specific gravity of Slash pine. Yale School For. Bull. 63.

—»— 1963. Stem form development of forest trees. For. Sci. Monogr. 5.

Lehto, J. & Yli-Vakkuri, P. 1969. Viljelytiheys. Metsänviljely. 231—234 pp. Helsinki.

Lindquist, B. 1939. Virkeskvalitet och rotnettovärde hos smalkronig och bredkronig tall. Sveriges Skogsvårdsföreningens Tidskrift: 1—119.

Lohrey, R. E. 1961. Stand density influences stem taper in a thinned Red pine plantation. Lake St. For. Exp. Sta. Tech. Note 607.

Lubardić, S. & Nikolić, M. 1970. The effect of ring width and late-wood percent on some physical and mechanical properties of pine from Mount Goč. Šumarstvo 23,3/4: 31—40. (Ref. Forestry Abstracts 1971: 1395).

Maeglin, R. R. 1966. Predicting specific gravity of plantation-grown Red pine. U.S. For. Prod. Lab. Madison. Res. note FPL-0149.

Manwiller, F. G. 1972. Volumes, wood properties, and fiber dimensions of fast-and-slow-grown spruce pine. Proceeding of the symposium on the effect of growth acceleration on the properties of wood. U.S. For. Prod. Lab. Madison.

Merkel, O. 1967. The effect of tree spacing on branch sizes in spruce. Allg. Forst- und Jagdztg. 138,6: 113—124. (Ref. Forestry Abstracts 1968: 322).

Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Metsäntutk. lait. Julk. 38.5.

Mitchell, H. L. 1961. A concept of intrinsic wood quality, and non-destructive methods for determining quality in standing timber. U.S. For. Prod. Lab. Rep. 2233.

—»— 1964. Patterns of variation in specific gravity of Southern pines and other coniferous species. Tappi 47,5: 276—83.

Miyajima, H. 1958. The physical and mechanical properties of plantation-grown White pine (Pinus strobus), Jack pine (Pinus banksiana) and Japanese larch (Larix leptolepis) in the Tomakomai Experiment Forest of Hokkaido University. Hokkaido Univ. Exp. For. Res. Bull. 19. (Ref. Forestry Abstracts 1960: 2371).

Moss, A. 1971. An investigation of basal sweep of Lodgepole and Shore pines in Great Britain. Forestry 44,1: 43—65.

Mráček, Z. 1969. Influence of spacing on the quality of Scots pine stands (in Czechoslovakia). Commun. Inst. For. Čsl. 6: 99—109. (Ref. Forestry Abstracts 1971: 4236).

Mäkinen, V. O. 1958. Harvennuksen aiheuttamat muutokset nuorten männiköiden rakenteeseen. Metsätal. Aikak.l. 75,5: 164—167.

Nicholls, J. W. P. & Fielding, J. M. 1965. The effect of growth rate on wood characteristics. APPITA 19,1: 24—30.

Nilsson, B. 1968. Studies of the genetical variation of some quality characters in Scots pine (P.sylv.). Skogshögskolan. Institutionen för skogsgenetik. Rapporter och uppsatser 3.

Nylinder, P. 1958. Synpunkter på produktionens kvalitet. Skogen 45,4: 100—102.

—»— 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Summary: Aspects of quality production. Kungl. Skogshögskolan. Institutionen för virkeslära. U2.

—»— 1961. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flytbarhet. I. Tall. Summary: Influence of tree features and wood properties on basic density and buoyancy. 1. Scots pine (Pinus silvestris). Kungl. Skogshögskolan. Institutionen för virkeslära. Uppsatser R 35.

Nyyssönen, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of finnish pine stands treated with different cuttings. Acta Forestalia Fennica 60,4.

Okkonen, E. A., Wahlgren, H. E. & Maeglin, R. R. 1972. Relationships of specific gravity to tree height in commercially important species. For. Prod. J. 22,7.

Oldenkamp, L. 1968. The silvicultural basis for adopting wider plant spacings in conifers. Nederl. Bosb. Tijdschr. 40,5: 186—206. (Ref. Forestry Abstracts 1968: 5574).

Ollinmaa, P. 1955. Havupuiden lylypuun rakenteesta ja ominaisuuksista. Summary: On the structure and properties of coniferous compression wood. Paperi ja Puu 37,11: 544—549.

Olson, A. R., Poletika, N. V. & Hicock, H. W. 1947. Strength properties of plantation-grown coniferous woods. Conn. Univ. Storrs Agr. Exp. Sta. Bull. 511. (Ref. Tappi Monograph Series 24. 1962).

Paul, B. H. 1960. Importance of the width of growth rings in lumber. Southern Lumberman 201,2504.

—»— & Smith, D. 1950. Summary of growth in relation to quality of southern Yellow pine. U.S. For. Prod. Lab. Madison. Rep. 1751.

Pechmann, H. von 1958. Die Auswirkung der Wuchsgeschwindigkeit auf die Holzstruktur und die Holzeigenschaften einiger Baumarten. Schw. Ztg. Forstw. 109,11: 615—647.

Perem, E. 1958. The effect of compression wood on the mechanical properties of White spruce (Picea glauca) and Red pine (Pinus resinosa). For. Prod. J. 8,8.

Pillow, M. Y. 1952. Some characteristics of young plantation-grown Red pine in relation to properties of the wood. For. Prod. J. Res. Soc. 2,1: 25—31. (Ref. Forestry Abstracts 1953: 1501).

—»— 1955. Specific gravity relative to characteristics of annual rings in Loblolly pine. U.S. For. Prod. Lab., Madison. Rep. 1989.

Pulliainen, E. & Salonen, K. 1965. On eating of pine buds by the squirrel (Sciurus vulgaris). Selostus: Orava männyn silmutuholaisena. Silva Fennica 117,5.

Ralston, R. A. & McGinnes E. A., Jr. 1964. Shortleaf pine wood density unaffected by ring growth. Southern Lumberman 208, 2592.

Rendle, B. J. & Phillips E. W. J. 1957. The effect of rate of growth (ring width) on the density of softwoods. For. Comm. London. (7th British Commonwealth Forestry Conference, Australia and New Zealand, 1957). (Ref. Forestry Abstracts 1958: 934).

Richards, N. A., Morrow, R. R. & Stone, E. L. 1962. Influence of soil and site on Red pine plantations in New York. 1. Stand development and site index curves. Cornell Agric. Exp. Sta. Bull. 977.

Rudman, P. 1966. Heartwood formation in trees. Nature, London. 210,5036: 608—610.

—»— & McKinnell, F. H. 1970. Effect of fertilizers on wood density of young Radiata pine. Austr. For. 34,3: 170—178.

Saiki, H. 1965. Studies on the annual ring structure of coniferous wood. 5. Variation from the pith toward the outside. J. Jap. Wood Res. Soc. 11,5: 185—190.

Saikku, O. 1973 a. Lannoituksen vaikutuksesta männyn kuoren määrään kangasmaalla. Summary: The effect of fertilization on the amount of the bark of Scotch pine in forest land. Folia Forestalia 184.

—»— 1973 b. Lannoituksen vaikutuksesta puuaineen tiheyteen kangasmaalla. Suullinen tiedonanto.

Salonen, K. 1973. Lannoitus ja puun laatu. Puumies 5.

Sarvas, R. 1944. Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksityismetsiin. Referat: Einwirkung der Sägestammblenterungen auf die Privatwälder Südfinnlands. Metsäntutk. lait. Julk. 33.1.

—»— 1956. Metsänhoidon tekniikka. Metsäkäsikirja 1: 498—564. Rauma.

—»— 1964. Havupuut. 518 p. Porvoo.

Schalck, J. 1967. Density and strength of Pinus nigra wood, and relations between density and wood structure in Belgian plantations. Forstw. Forsch. 24. 86 p. (Ref. Forestry Abstracts 1967: 6401).

Schultze-Dewitz, G. 1958. Einfluss der soziologischen Stellung auf den Jahrringbau sowie auf die Holzelemente bei Kiefern, Spirken und Lärchen eines Naturwaldes. Holz-Z.bl. 84,65: 849—851.

Schöpf, I. 1954. Untersuchungen über Astbildung und Astreinigung der Selber Kiefer. Forstw. C.bl. 73: 275—290.

Scott, D. R. M. & Preston S. B. 1955. Development of compression wood in Eastern White pine through the use of centrifugal force. For. Sci. 1, 3: 178—182.

Seiskari, P. 1962. On the winter ecology of the capercaillie, Tetrao urogallus, and the black grouse, Lyrurus tetrix, in Finland. Riistatieteellisiä julkaisuja 22.

Sellers, T., Jr. 1962. Factors influencing the wood quality of plantation-grown Slash pine. For. Prod. J. 12,9.

Shelbourne, C. J. A. & Ritchie, K. S. 1968. Relationships between degree of compression wood development and specific gravity and tracheid characteristics of Loblolly pine (Pinus taeda L.). Holzforschung 22,6: 185—190.

Siimes, F. E. 1938. Suomalaisen mäntypuun rakenteellisista ja fysikaalisista ominaisuuksista. Erikoisesti kutistumis- ja laajenemisilmiöistä puun vesipitoisuuden vaihdellessa. Summary: On the structural and physical properties of finnish pine wood, especially the phenomenon of shrinking and swelling affected by changing the moisture content of wood. Puutekniikan tutkimuksen kannatusyhdistys. Julkaisu 29.

Siimes, F. E. 1957. Tukkien lenkouden vaikutus sahaustulokseen. Summary: The influence of the crookedness of logs on the sawing yield. Paperi ja Puu 39,3: 93—98.

Škripeń, J. & Riasová, T. 1958. Stavba dreva a objemová váha borovice obyčajnej (Pinus silvestris) na Slovensku. Summary: The wood structure and density of P. sylvestris in Slovakia. Drev. Výskum. 3,1: 27—48.

Smith, D., Wahlgren, H. & Bengtson, G. W. 1972. Effect of irrigation and fertilization on wood quality of young Slash pine. Proceedings of the symposium on the effect of growth acceleration on the properties of wood. U.S. For. Prod. Lab. Madison.

Spurr, S. H. & Hsiung, W-Y. 1954. Growth rate and specific gravity in conifers. J. For. 52: 191—200.

Stiell, W. M. 1964. Twenty-year growth of Red pine planted at three spacings. Dep. For. Can. Publ. 1045.

—»— 1966. Red pine crown development in relation to spacing. Dep. For. Can. Publ. 1145.

Stojanoff, V., Entcheff, E., Göhre, K. & Götze, H. 1958. Über die Verteilung der Rohwichte im Stamm und ihre Beeinflussung durch Wuchsgebiet und Standort. Summary: Wood density variation within the stem and the influence on it of growth region and site. Arch. Forstw. 7,12: 953—958; 959—974.

Stout, B. B. 1964. Stem-crown relationships in Scots pine. Proc. 11th Ntheast. For. Tree Impr. Conf., New Brunswick 1963: 31—35.

Sylven, N. 1924. De svenska skogsträden. 1. Barrträden. 299 p. Stockholm.

Tamminen, Z. 1962. Fuktighet, volymvikt mm. hos ved och bark. 1. Tall. Summary: Moisture, density, etc. of wood and bark. 1. Scots pine. Kungl. skogshögskolan. Institutionen för virkeslära. Uppsatser R 41.

Tiihonen, P. 1972. Rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvat uudet puutavarataulukot. Referat: Auf Brusthöhendurchmesser und Höhe gestützte neue Sortimententafeln. Folia Forestalia 167.

—»— 1973. Valtakunnan metsien 6. inventoinnin tuloksia. Suullinen tiedonanto.

Turnbull, J. M. & Du Plessis, C. P. 1946. Some sidelights on the rate of growth bogey. J. S. Afr. For. Assoc. 14. (Ref. Forestry Abstracts 1946—47: 2451).

Turolski, J. & Buchholz, J. 1964. Effect of taper on the quality of Scots pine lumber. Sylwan 108, 1: 59—65. (Ref. Forestry Abstracts 1966: 1445).

Vakin, A. T., Polubojarinov, O. J. & Colovjov, V. A. 1969. Albom porokov drevesiny. 124 p. Moskva.

Van Buijtenen, J. P. 1964. Anatomical factors influencing wood specific gravity of Slash pines and the implications for the development of a high-quality pulpwood. Tappi 47,7: 401—404.

Wardrop, A. B. 1964. The reaction anatomy of arborescent angiosperms. The formation of wood in forest trees. 405—456 pp. New-York—London.

Watson, A. J. & Dadswell, H. E. 1964. Influence of fibre morphology on paper properties. 3. Length: diameter (L/D) ratio. 4. Micellar spiral angle. APPITA 17,6: 146—150, 151—156.

Vencenosceva, M. 1967. Patterns in the distribution of wood defects in Scots pine stands. Lesn. Ž., Arhangel'sk 10,3: 156—157. (Ref. Forestry Abstracts 1968: 1104).

Venet, J. 1958. Ětude de la résistance mécanique des vois de mine en fonction des facteurs de la production forestière. Summary: The mechanical strength of mine timbers in relation to growth factors. An. Ec. Eaux For. Nancy 16,1. (Ref. Forestry Abstracts 1959: 3695).

Volkert, E. 1941. Untersuchungen über Grösse und Verteilung des Raumgewichts in Nadelholzstämmen. Schriftenreihe Akad. Deut. Forstw. Bd. 2.

Worster, H. & Sugiyama, B. K. 1962. The carbohydrate content and composition of some western woods related to growth factors. Pulp Pap. Mag. Can. 63: T 395— T 401.

Wright, J. P. 1967. The variation in log quality in Pinus radiata D. Don on a range of sites. For. Comm. Vict. Bull. 19. (Pap. 9th Commonwealth Forestry Conference, New Delhi 1968).

Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Lyhennelmä: Tilapäiskoealoihin perustuvat yhtälöt männyn kasvu- ja tuottotaulukoita varten. Metsäntutk. lait. Julk. 60.4.

—»— 1967. Eri asteisin kasvatushakkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Summary: Growth and yield tables for pine stands treated with intermediate cuttings of varying degree for Southern Central-Finland. Metsäntutk. lait. Julk. 63.2.

Yandle, D. O. 1956. Statistical evaluation of the effect of age on specific gravity in Loblolly pine. U. S. For. Prod. Lab. Madison. Rep. 2049.

Yao, J. 1970. Influence of growth rate on specific gravity and other selected properties of Loblolly pine. Wood Science and Technology 4,3: 163—175.

Yli-Vakkuri, P. 1955. Männyn kylvötaimistojen hirvivahingoista Pohjanmaalla. Referat: Om älgens skadegörelse på sådda tallplantbestånd i Österbotten. Summary: Moose damage in seedling stands of pine in Osthrobothnia. Silva Fennica 88,3.

—»— 1958. Metsänhoidollisia näkökohtia sahapuun laatukasvatuksesta. Metsätal. Aikak. 1. 75,12: 407—410.

—»— 1968. Taimiston perustamistiheys. Metsätal. Aikak. l. 68,2: 55—57.

Žilkin, B. D. 1960. Ob uzko- i širokokronnyh sosnah v Belorusskoj SSR. Lesn. Ž., Arhangel'sk 3,2: 17—21. (Ref. Forestry Abstracts 1961: 2886).

Zobel, B. J. & Haught, A. E., Jr. 1962. Effect of bole straightness on compression wood of Loblolly pine. School For. N. Ca. St. Coll. Tech. Rep. 15.

—»—, Kellison, R. C. & Kirk, D. G. 1972. Wood properties of young Loblolly and Slash pines. Proceedings of the symposium on the effect of growth acceleration on the properties of wood. U. S. For. Prod. Lab. Madison.

—»—, Ralston, J. & Roberds, J. H. 1965. Wood yields from Loblolly pine stands of different age, site, and stand density. School For. N. Ca. St. Coll. Tech. Rep. 26.

—»— & Rhodes, R. R. 1955. Relationship of wood specific gravity in Loblolly pine (Pinus Taeda L.) to growth and environmental factors. Tex. For. Serv. Tech. Rep. 11.

—»—, Thorbjornsen, E. & Henson, F. 1960. Geographic site and individual tree variation in wood properties of Loblolly pine. Silvae Genet. 9,6: 149—158.

Appendix 1. Average properties of sawlog stems of different quality classes and cull stems (R)

Liitetaulukko 1. Laatuluokaltaan erilaisten tukkirunkojen sekä hylkytukkeihin (R) kuuluvien runkojen keskimääräisiä ominaisuuksia

Quality class *Laatuluokka*	Dbh, cm *D1.3, cm*		Tree height, m *Puun pituus, m*		Taper, cm *Kapeneminen, cm*		To the knot bumps, m *Oksakyhmyihin, m*		Stem with overgrown knots, m *Kyhmyosa, m*		Stem with dry branches, m *Kuivaoksainen osa, m*		Crown, m *Latvuksen pituus, m*		Lowest dry branch, m *Alin kuiva oksa, m*		Lowest living branch, m *Alin elävä oksa, m*	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Age, years — *Ikä, vuotta*																	
	—40																	
I																		
II	16.6	1.2	14.1	1.5	3.7	1.1	0.5	0.4	—	—	6.6	1.2	5.7	1.1	—	—	—	—
III	18.0	2.2	14.2	1.3	3.6	1.0	0.3	0.2	0.1	0.6	6.8	1.3	5.7	1.2	0.2	0.1	6.3	1.4
R	18.9	2.7	13.7	1.7	4.4	1.4	0.2	0.2	—	—	6.6	1.6	5.4	1.4	0.2	0.2	6.4	1.4
	41—60																	
I																		
II	18.6	2.3	16.5	1.3	3.2	0.8	0.5	0.4	0.2	0.4	8.5	1.3	7.5	1.3	0.9	0.6	8.5	0.9
III	19.4	3.0	16.4	1.8	3.4	1.0	0.4	0.3	0.1	0.5	8.6	1.9	7.6	1.8	0.5	0.5	8.6	1.4
R	19.9	3.0	16.6	1.6	3.7	1.0	0.4	0.3	0.1	0.2	8.9	1.7	7.7	1.4	0.4	0.4	8.3	1.9
	61—80																	
I	23.3	5.6	19.5	3.5	3.8	1.3	4.0	2.2	2.9	2.7	4.0	2.4	8.9	2.0	—	—	—	—
II	25.5	6.0	21.9	3.8	4.6	1.6	2.4	1.1	2.5	2.0	8.6	3.6	11.3	2.3	4.3	2.5	—	—
III	26.7	5.5	23.1	2.8	5.0	1.5	1.7	0.7	1.5	1.5	11.3	3.3	12.1	2.3	3.2	3.2	1.5	0.4
R	23.6	4.8	22.5	1.9	4.8	1.4	1.5	1.0	0.6	1.1	12.8	3.4	12.5	2.5	—	—	1.9	0.6

Appendix 2. Average properties of sawlog stems of different quality classes and cull stems (R)

Liitetaulukko 2. Laatuluokaltaan erilaisten tukkirunkojen sekä hylkytukkeihin (R) kuuluvien runkojen keskimääräisiä ominaisuuksia

Quality class *Laatuluokka*	Largest dry branch, mm *Suurin kuiva oksa, mm*		Longest living branch *Pisin elävä oksa*				Heartwood, per cent *Sydänpuuta, %*		Basic density, kg/cu.m. *Puuaineen tiheys, kg/k-m³*		Ring width, mm *Luston leveys, mm*		Latewood, per cent *Kesäpuuta, %*	
			Length, m *Pituus, m*		Diameter, mm *Paksuus, mm*									
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Age, years — *Ikä, vuotta*													
	—40													
I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
II	—	—	—	—	—	—	7.9	7.5	414.3	27.3	2.4	0.3	33.0	4.8
III	29.5	5.4	2.6	0.5	36.5	8.4	14.5	6.8	384.1	23.4	2.6	0.5	30.1	3.8
R	33.4	6.5	2.8	0.5	36.1	6.5	16.1	8.9	372.1	22.3	2.8	0.5	28.4	3.9
	41—60													
I														
II	27.2	4.7	2.2	0.3	29.3	5.7	19.3	6.9	410.8	14.7	1.9	0.3	33.2	2.9
III	27.7	5.5	2.3	0.4	31.8	8.0	21.1	7.9	405.6	22.4	2.0	0.3	33.2	4.8
R	32.5	9.7	2.5	0.6	35.2	8.6	24.6	11.7	398.2	24.7	2.0	0.4	32.7	3.8
	61—80													
I	—	—	—	—	—	—	24.6	13.0	428.8	15.4	1.6	0.3	37.5	3.5
II	27.0	7.0	2.3	0.8	34.3	11.2	29.8	10.6	426.9	21.1	1.6	0.3	36.5	3.2
III	32.0	5.7	2.3	0.8	30.5	3.5	34.7	12.9	417.0	19.1	1.8	0.3	34.9	3.2
R	—	—	—	—	—	—	37.8	11.7	414.0	17.3	1.8	0.2	34.4	3.4

Appendix 3. Average properties of sawlog stems of different quality classes and cull stems (R)

Liitetaulukko 3. Laatuluokaltaan erilaisten tukkirunkojen sekä hylkytukkeihin (R) kuuluvien runkojen keskimääräisiä ominaisuuksia

Quality class *Laatuluokka*	Relative height, per cent — *Suhteellinen korkeus, %*															
	10		20		30		40		50		60		70		80	
	Branch diameter, mm — *Oksan paksuus, mm*															
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Age years — *Ikä, vuotta*															
	——40															
II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
III	15	4	21	5	26	5	26	3	30	9	31	10	32	9	25	—
R	19	6	26	7	29	6	28	5	34	6	35	16	34	12	29	—
	41—60															
II	13	4	16	5	18	6	19	4	26	6	25	3	26	5	24	—
III	13	5	17	5	21	5	25	6	26	6	30	7	28	7	24	—
R	17	8	18	6	21	6	31	8	30	6	28	9	33	9	25	—
	61—80															
II	14	0	22	14	19	11	—	—	19	8	—	—	—	—	26	—
III	—	—	22	1	25	7	—	—	16	4	—	—	—	—	25	—
R	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

LYHENNELMÄ

Keinollisesti uudistettujen metsien pinta-alan vuosittain laajentuessa tulee metsistä korjattavan puutavaran laatu ja puuaineen laatu monin tavoin muuttumaan. Taimiaineksen valinta, puiden kasvutilan määrääminen jo metsikön kehitysvaiheen alussa, luonnonmetsiä tasaisemmat kasvuolot ja mahdollisesti entistä intensiivisemmät hoitotoimenpiteet erottavat viljelymänniköt kehitykseltään luonnonmänniköistä.

Mikäli viljelymänniköissä tähdätään vain korkeaan tuotokseen, joudutaan ainakin jossakin määrin tinkimään puutavaran laadusta. Tähän astisista tutkimuksista näkyvät mm. nopean kasvun rungon karsiutumiselle ja oksien paksuuskasvulle aiheuttamat haitat. Tällä hetkellä ja vielä lähitulevaisuudessakin tullaan männiköissä kuitenkin kasvattamaan puuta pääasiassa sahapuuksi.

Tutkimuksen tavoitteena on ollut selvittää viljelymänniköiden puuraaka-aineen laatu puutavaraa, lähinnä sahatukkeja, silmällä pitäen ja laadun kehitys rungon ulkoisten tunnusten sekä metsikön kehitykseen liittyvien tekijöiden perusteella. Lisäksi on tutkittu puuaineen ominaisuuksia ja niiden sekä erilaisten ulkoista laatua kuvaavien tunnusten riippuvuutta toisistaan. Tuloksia on vertailtu vastaaviin luonnonmetsikköjä koskeviin tietoihin.

Aineisto kerättiin Suomen eteläosissa puhtaisiin männiköihin sijoitetuilta koealoilta, joista kussakin oli 30 runkoa. Puuaineen ominaisuuksien selvityksiä varten kustakin rungosta otettiin rinnantasalta kaksi lastua kasvukairalla, sekä tehtiin rungon oksaisuutta, vikaisuutta ym. koskevia mittauksia ja havaintoja. Rungon eri ominaisuuksien pituussuuntaisten vaihteluiden selvittämiseksi kaadettiin osa koepuista. Kaadetuista koepuista otettiin vertailumateriaaliksi lastut, sekä osasta aineistoa myös kiekkoja eri suhteellisilta korkeuksilta. Kaikkiaan 92 koealalta tutkittiin 2 760 runkoa, joista lisätutkimuksia varten kaadettiin 460.

Tutkimuksen tulokset olivat pääkohdittain seuraavat:

1) Oksattoman rungonosan muodostuminen on viljelymänniköissä hidasta aina 60 ikävuoteen asti, jolloin oksien kylestyminen nopeutuu. Iän lisääntyessä latvussuhde tasaisesti pienenee, kun taas kuivaoksaisen rungonosan suhteellinen pituus aluksi kasvaa, mutta myöhemmin pienenee, ja oksattoman rungonosan suhteellinen pituus kasvaa. 80 vuoden iässä ovat rungot karsiutuneet keskimäärin 22 %:n korkeudelle. Karsiutumisen nopeus riippuu kuitenkin myös läpimitan kasvunopeudesta siten, että kunkin ikäluokan sisällä läpimitaltaan keskikokoiset puut ovat parhaiten karsiutuneita.

2) Oksan paksuus rungon eri korkeuksilla kasvaa iän mukana, mutta rungon tyviosassa eri ikäluokkien väliset paksuuserot ovat hyvin pienet, ja ne kasvavat latvaa kohti. Rungon maksimipaksuiset oksat ovat yli 50 vuotisissa puissa 60 %:n suhteellisella korkeudella, kun sen sijaan alle 30 vuotiaissa metsiköissä paksuimmat oksat ovat 40 %:n korkeudella. Mitä paremmasta metsätyypistä on kysymys, sitä

paksummiksi oksat kehittyvät. Puun laadun kannalta on tällöin vahingollisinta oksien paksuuskasvun keskittyminen puun tyviosaan. Metsikön suurioksaisimpia puita ovat I latvuskerrokseen kuuluvat rungot; oksat ohenevat alempiin latvuskerroksiin päin.

3) Rungon pisimmän oksan pituutta ja läpimittaa sekä paksuimman kuivan oksan paksuutta voidaan parhaiten selittää rinnankorkeusläpimitan avulla. Suurimpien oksien pituutta ja paksuutta parhaiten selittäviä suureita ovat läpimitan lisäksi sädekasvu, latvussuhde ja ikä eri muodoissaan. Parhaat regressioanalyysin avulla saatavat paksuimman kuivan oksan paksuuden sekä rungon pisimmän elävän oksan pituuden ja paksuuden selitysasteet olivat 70, 68 ja 63 %.

4) Tietyn ikäluokan sisällä rungon kapeneminen suurenee puun läpimitan kasvaessa. Metsikön alimpiin latvuskerroksiin kuuluvat puut ovat siten myös vähiten kapenevia ja runkomuodoltaan parhaita. Rungon kapenemisella huomattiin olevan yhteys oksaisuutta kuvaaviin tunnuksiin sekä puuaineen sisäisiin laatua kuvaaviin ominaisuuksiin.

5) Viljelymänniköiden yleisimmät teknistä laatua alentavat vikaisuudet ovat runkomutka, tyvimutka, poikaoksa ja lenkous, jotka yhteensä kattavat noin 95 % kaikista esiintyvistä vioista. Kaikkien vikojen osuus on puolukkatyypin (VT) metsiköissä pienin ja käenkaali-mustikkatyypillä (OMT) suurin kaikissa ikäluokissa. Rungossa on vikoja sitä runsaammin mitä alempaan latvuskerrokseen se kuuluu.

Kaikista kaadetuista koepuista 30.4 %:ssa todettiin lylyä kannon korkeudella. Lylyä sisältävien runkojen osuus sen sijaan nousi tyvimutkaisissa puissa 46.2 %:in ja lengoissa puissa 48.7 %:in.

6) Viljelymänniköistä korjattava sahapuu on keskimäärin huonolaatuista, sillä I laatuluokan sahapuun osuus on vanhimpienkin metsiköiden puustosta erittäin vähäinen. Tukin laatu huononee maapohjan ravinteisuuden kasvaessa, ja OMT:n männiköistä korjattavien tyvitukkien tekninen laatu on erityisen heikko. Sahapuun mitat täyttävät tyvitukit jakaantuvat oksaisuuden perusteella I, II, III luokkaan sekä raakkeihin seuraavasti: 6.7, 19.8, 69.4, ja 4.2 %. Jos laadun arvioinnissa otetaan oksaisuuden lisäksi huomioon kaikki muutkin viat, on jakautuma seuraava: 1.3, 11.7, 66.2 ja 20.8 %. I, II ja III laatuluokkien osuudet kaikista kelvollisista tyvitukeista olivat 1.4, 14.8 ja 83.6 %.

7) Oksan paksuus rungon eri korkeuksilla on sitä suurempi mitä nopeammin puu on kasvanut paksuutta eri ikäkausina eli mitä leveämpiä vuosilustot ovat. Vuosiluston paksuuden ja rungon karsiutumisen välillä vallitsee sellainen riippuvuus, että karsiutuneisuudeltaan parhaita runkoja ovat suhteellisen hidaskasvuiset ja huonoimpia erittäin nopeakasvuiset ja toisaalta erittäin hidaskasvuiset puut. Luston leveys osoittautui koealojen välisessä tarkastelussa hyväksi ja rungottaisessa analyysissäkin kohtalaiseksi puuaineen tiheyden kokonaisvaihtelun selittäjäksi.

8) Kesäpuuprosentti pienenee rungossa tyvestä latvaan päin ja on keskimäärin sitä alhaisempi mitä nuorempi tai mitä hidaskasvuisempi puu on. Rungon kesäpuuprosentin keskiarvo rungossa sijoittuu 30 %:n suhteelliselle korkeudelle. Luston leveys osoittautui muodossa tai toisessa varsin hyväksi rungon kesäpuuprosentin selittäjäksi. Rungon kesäpuuprosentin kokonaisvaihtelusta voitiin selittää kuitenkin vain 45 %, kun selittäviksi muuttujiksi otettiin luston leveyden lisäksi rungon läpimitan kasvu ja suurimman kuivan oksan paksuus.

9) Rungon puuaineen tiheys laskee tasaisesti tyvestä latvaa kohti, ja rungon keskimääräinen tiheys, 395 kg/k-m^3 sijoittuu rungon 25 %:n suhteelliselle korkeudelle. Metsätyypin vaikutus puuaineen tiheyteen on suuri mikäli maapohjan rehevyys kasvaa erityisen paljon normaalia suuremmaksi.

Rungottaisessa regressioanalyysissä osoittautuivat ikä, puun läpimitan ja pituuden kasvu sekä luston leveys parhaiksi puuaineen tiheyttä selittäviksi muuttujiksi. Selitetty varianssi oli 42 %.

Kun tiheyden metsiköittäistä vaihtelua selitettiin samojen muuttujien avulla, nousivat korrelaatiot huomattavasti korkeammiksi. Paras selitysprosentti (83) saavutettiin luston leveyden ja kasvunopeuden muunnelmien sekä oksien paksuuden avulla.

10) Viljelymäntyrungon sydänpuuprosentti kasvaa rungon tyvestä noin 15 %:n suhteelliselle korkeudelle, jossa se saavuttaa maksiminsa, ja laskee sen jälkeen jyrkästi latvaa kohti. Keskimäärin on sydänpuuprosentti sitä korkeampi mitä vanhempi puu on.

11) Vertailu luonnonmänniköihin osoittaa, että viljelymäntyrungot ovat luontaisesti syntyneitä puita huonommin karsiutuneita nimenomaan 40—60 vuoden iässä, jolloin rungon tyviosa jo mittojensa puolesta täyttäisi tukkipuun vaatimukset. Myöhemmällä iällä oksista karsiutuneen rungon tyviosan laatua alentavat suuret ja kauan säilyvät oksakyhmyt. Vaikka suoranaisia vertailukohtia luonnonmänniköistä onkin niukasti, voidaan oksien paksuuden kehityksen viljelymänniköissä todeta olevan keskimäärin luonnonmänniköitä nopeampaa.

Pääasiassa huonon oksaisuuden, mutta lisäksi erilaisten teknisten vikaisuuksien johdosta on viljelymänniköiden sahapuun laatu luontaisten männiköiden tukkipuuston laatua huonompi. Noin viidesosa tukkipuukokoisista rungoista ei kelpaa edes III laatuluokan sahapuuksi. Puut ovat lisäksi luontaisia runkoja kapenevampia, mikä vaikuttaa mm. raaka-aineen menekin kasvuun.

12) Viljely- ja luonnonmänniköiden tuottaman puuaineen kesäpuuprosenteissa ja tiheyksissä ei ole sanottavaa eroa. Mikäli metsiköitä kuitenkin perustetaan erityisen hyville kasvupaikoille ja runkoluku jätetään alhaiseksi, puuaineen tiheys laskee huomattavasti. Koska viljelymetsät kasvavat nopeasti, voidaan niistä korjata puuta aiemmin kuin luonnonmetsiköistä. Koska puuaineen tiheys nousee nuorissa metsiköissä jyrkästi iän mukana, on tilavuusyksiköstä saatavan massan saanto viljelymänniköissä luonnonpuustoa jonkin verran alhaisempi.

Viljelymäntyrunkojen sydänpuuprosentti on keskimäärin vain noin puolet luontaista alkuperää olevien runkojen sydänpuuprosentista.

881066360-225g/VAPK

ISSN 0358-4283