

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET

ACTA
FORESTALIA FENNICA

72

ARBEITEN DER
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN
GESELLSCHAFT
IN FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE
SOCIETY OF FORESTRY
IN FINLAND

PUBLICATIONS DE LA
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE
DE FINLANDE

HELSINKI 1961

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat:

ACTA FORESTALIA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin yleensä käsittää useampia tutkimuksia.

SILVA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta käsitteleviä kirjoitelmia ja pienehköjä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin.

Finska Fortsamfundets publikationsserier:

ACTA FORESTALIA FENNICA. Innehåller vetenskapliga undersökningar rörande huvudsakligen skogshushållningen i Finland och dess grunder. Banden, vilka icke utkomma periodiskt, omfatta i allmänhet flere avhandlingar.

SILVA FENNICA. Omfattar uppsatser och mindre undersökningar rörande huvudsakligen skogshushållningen i Finland. Utkommer icke periodiskt.

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET

ACTA
FORESTALIA FENNICA

72

ARBEITEN DER
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN
GESELLSCHAFT
IN FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE
SOCIETY OF FORESTRY
IN FINLAND

PUBLICATIONS DE LA
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE
DE FINLANDE

HELSINKI 1961

Acta Forestalia Fennica 72.

1. Paavo J. Ollinmaa: Reaktiipuututkimuksia	1—51
Summary (Study on reaction wood)	52—54
2. Paavo J. Ollinmaa: Eräistä ojitetuilla soilla kasvavan puun fysikaalisista ominaisuuksista	1—22
Summary (On certain physical properties of wood growing on drained swamps)	23—24
3. Kullervo Kuusela: Maan kuvioiden ja puuston vaihtelu sekä sen vaikutus metsän inventoinnin tarkkuuteen	1—67
Summary (Variation of the site pattern and growing stock and its effect on the precision of forest inventory)	68—72
4. Viljo Holopainen: Marketing of Roundwood in Finland and the Scandinavian Countries. With special regard to marketing channels and trade customs	1—176
Seloste (Raakapuun markkinointi Suomessa ja Skandinavian maissa. Erityisesti markkinointiteiden ja kauppatapojen kannalta)	177—180
Appendix — Liite	181—188
5. Kullervo Kuusela: Pinotavaraleimikon taksatoriset tunnuksiset ja niiden vaikutus leimikkoarvioinnin tarkkuuteen	1—22
Summary (Mensurational characteristics of cordwood stock marked for felling and their effect on the precision of the stock estimation)	23—24

REAKTIOPUUTUTKIMUKSIA

PAAVO J. OLLINMAA

SUMMARY:
STUDY ON REACTION WOOD

HELSINKI 1959

Alkusanat

Käsillä oleva tutkimus on luonnollisena jatkona aikaisemmille ensi sijassa koivun vetopuuta, mutta jossain määrin myös männyn lylypuuta koskeville tutkimuksilleni.

Siitä, että sain mahdollisuuden tutkimusteni jatkamiseen, olen kiitollisuuden velassa lähinnä Havulinna Oy:n osastopäällikölle, fil.maist. ONNI SORAKUNNAALLE, jonka tilannettani ymmärtävän asenteen johdosta saatoin jo muutenkin kireästä taloudellisesta asemastani huolimatta hankkia yksityiskäyttöni kunnollisen tutkimusmikroskoopin piirustus- ym. lisälaitteineen. Näitähän tulen tarvitsemaan vastaisuudessakin.

Helsingin yliopiston Suometsätieteen laitoksen esimies, professori LEO HEIKURAINEN on luovuttanut auliisti laitoksensa laboratorion käytettäväkseni, mikä muistan kiitollisin mielin. Lujuustutkimukset olen saanut tehdä Metsäteknologian laitoksen laboratoriossa, mistä kiitän sanotun laitoksen esimiestä, professori THEODOR WEGELIUSTA.

Tutkimuksen ovat käsikirjoituksena lukeneet dosentti, metsät. tri VEIJO HEISKANEN, tehden varteen otettavia, etupäässä muodollista laatua olevia parannusehdotuksia, ja professori LEO HEIKURAINEN. Heille molemmille lausun parhaat kiitokseni.

Julkaisun englanninkielisen lyhennelmän on kääntänyt fil.maist. ULJAS ATTILA, josta olen hänelle kiitollinen.

Kaikille muillekin, jotka ovat jollakin tavoin edistäneet tutkimuksen valmistumista julkaisukuntoon, esitän täten kiitokseni.

Suomen Metsätieteellistä Seuraa kiitän siitä, että se on ottanut tutkimuksen julkaisusarjaansa.

Tutkimukseen liittyvät kuvat ja graafiset piirrokset ovat kirjoittajan käsi-alaa.

Helsingissä, lokakuun 30 p:nä 1959.

Paavo J. Ollinmaa

Sisällysluettelo

	Sivu
Katsaus tärkeimpiin reaktiipuuta koskeviin tutkimuksiin ja niiden päätuloksiin	5
Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimusmenetelmä	9
Tutkimustulokset	12
Puun mikroskooppinen rakenne	12
Ilman mittauksia valomikroskoopissa todettavat tuntomerkit	12
Solu- ja solukkomittaukset	17
Puukuituihin kohdistuneet mittaukset	17
Puukuitujen pituus	17
Puukuitujen läpimitta ja niiden seinämän paksuus	22
Puukuitujen seinämän rakenne	26
Putkiloihin kohdistuneet tutkimukset	30
Ydinsäteisiin kohdistuneet tutkimukset	32
Pihkatiehyihin kohdistuneet tutkimukset	34
Puun fysikaaliset ominaisuudet	35
Tilavuuspaino	36
Kutistumisominaisuudet	37
Puun lujuusominaisuudet	41
Yhdistelmä	44
Kirjallisuusluettelo	47
Summary	52

Katsaus tärkeimpiin reaktiipuuta koskeviin tutkimuksiin ja niiden päätuloksiin

Koska lylypuuta muodostuu luonnon oloissa yleensä eksentriseen kasvuun liittyvänä vinossa asennossa olevien havupuurunkojen ja vaakasuorien tai sitä lähentelevien oksien alapuoleen ja veto puuta lehtipuissa päinvastoin yläpuoleen, tulivat vanhimmat tutkijat (mm. MÉR 1887—89, HARTIG 1896 ja 1901, METZGER 1908, JACCARD 1917, ENGLER 1918) sellaiseen tulokseen, että lylypuuta muodostuu vastavaikutuksena havupuissa esiintyville puristus- ja veto puuta lehtipuissa esiintyville vetojännityksille. Tätä käsitystä tukivat myös havainnot tuulen ja lumen vaikutuksesta reaktiopuun muodostumiseen.

EWARTIN ja MASON-JONESIN (1906) kokeet, joita JACCARDIN (1938) myöhemmät tutkimukset vahvistivat, katsottiin osoitukseksi siitä, että painovoima olisi välittömänä-syynä reaktiopuun muodostumiseen (myös SCOTT ja PRESTON 1955).

Vihdoin HARTMANN (1932 ja 1942), joka otti käytäntöön reaktiopuu-nimityksen, totesi, että reaktiopuun muodostuminen ei ole säännönmukaisessa syy-yhteydessä enempää painovoimaan kuin yksipuolisiin veto- tai puristusjännityksiinkään, vaan että reaktiopuun biologinen toiminta pohjautuu havupuissa sen työntö- ja lehtipuissa veto vaikutukseen synnynnäisestä asemastaan poikeneiden elinten jälleen normaaliasentoonsa saattamiseksi kasvureaktioiden kautta. Tämä selittää reaktiopuun toisilleen päinvastaisen sijoittumisen havu- ja lehtipuissa. Mainittuja tutkimustuloksia vahvistavat osaltaan mm. SINNOTTIN (1952), DADSWELLIN ja WARDROPIN (1954), DYERIN (1955) ja MERGENIN (1958) tutkimukset.

On kertynyt myös sellaista tutkimusaineistoa, joka osoittaa reaktiopuun muodostumisen olevan yhteydessä kasvihormoonien eli auksiinien toimintaan (mm. WERSHING ja BAILEY 1942, ONAKA 1949, FRASER 1952).

Mitä tulee reaktiopuun anatomista rakennetta, kemiallista koostumusta, fyysikaalisia ominaisuuksia ja lujuutta koskeviin tutkimuksiin, on sellaisten suorittajista mainittava SANIO (1863), SCHNEIDER (1896), HARTIG (1896 ja 1901), SCHWAPPACH (1897), SONNTAG (1903), METZGER (1908), HERIC (1915), JACCARD (1917, 1919, 1928, 1938), ENGLER (1918 ja 1924), MORK (1928), TRENDELENBURG (1932), HÄGGLUND ja LJUNGRÉN (1933), CLARKE (1936 ja 1937), PILLOW ja LUX-

FORD (1937), RENDLE (1937), MÜNCH (1937—38), SIIMES (1938), WEGELIUS (1939), MARRA (1942), WARDROP ja DADSWELL (1945—55), CHOW (1946), BAUDENDISTEL ja AKINS (1946), PRESTON ym. (1947), ONAKA (1949), AKINS ja PILLOW (1950), MATSUMOTO (1950), JAYME ym. (1950—54), GUSTAFSSON ym. (1952), JANE (1952), KLAUDITZ ym. (1953 ja 1955), v. PECHMANN (1953), LANGE (1954), OLLINMAA (1955 a, b ja 1956) sekä MAYER-WEGELIN (1958).

Havupuiden lylypuun trakeidien on todettu yleensä olevan poikkileikkausmuodoltaan pyöristyneitä jättäen väliinsä runsaasti soluvälejä, paksuseinäisiä, yleensä normaalia lyhempiä ja niiden seinämärakenteesta tavallisesti puuttuvan sekundäärin seinämän sisäkerroksen tai olevan kovin heikosti kehittyneen ja vallitsevan fibrillikierteen olevan normaalia matalamman.

Lehtipuiden vetopuussa on todettu putkiloiden osuuden olevan normaalia pienemmän, puusyiden olevan vastapuolen puuhun verrattuna yleensä pitempiä ja paksuseinäisempiä, niiden seinämässä olevan paksun, liivatemaisen sekundäärin seinämän sisäkerroksen eli tertiäärin seinämän ja vallitsevan fibrillikierteen olevan normaalia jyrkemman, miltei kuidun pituusakselin suuntaisen. Sen mukaan, missä kehitysvaiheessa ko. puusyy on vetopuun alkaessa muodostua ja miten intensiivisesti puu reagoi ilmaantuneeseen kiihokkeeseen, liivatemainen sisin seinämäkerros voi olla kokonaan ylimääräisenä sekundäärin seinämän kolmen normaalisti esiintyvän kerroksen lisäksi, mutta voi korvata mainitun seinämän sisäkerroksen tai sekä keski- että sisäkerroksen (WARDROP ja DADSWELL 1948, 1955).

Havupuiden lylypuun tilavuuspainon on todettu olevan normaalia suuremman siis runsaasti ligniiniä, mutta normaalia vähemmän selluloosaa ja enemmän hemiselluloosaa. Sen sijaan lehtipuiden vetopuun selluloosapitoisuus on normaalia suurempi ja ligniinipitoisuus yleensä normaalia pienempi, samoin pentosaanipitoisuus. Vetopuun heksosaanipitoisuuden on todettu lylypuun tapaan olevan normaalia suuremman. Vetopuun normaalia pienempi ligniini- ja varsinkin pentosaanipitoisuus tekevät sen vastustuskyvyn happeja vastaan suureksi, koska pentosaanit ovat helposti hydrolysoituvia.

Havupuiden lylypuun tilavuuspainon on todettu olevan normaalia suuremman, mutta puuaineksen ominaispainon normaalia pienemmän, kutistumisen pituussuunnassa huomattavasti normaalia suuremman, mutta tangentin ja säteen suunnassa normaalia pienemmän, vesipitoisuuden tuoreessa tilassa, kyllästymiskosteuden ja hygroskooppisen voiman sekä kuivumisnopeuden normaalia pienemmän, mutta hygroskooppisen veden määrän tilavuusyksikköä kohden normaalia suuremman.

Lehtipuiden vetopuu on mainituilta fysikaalisilta ominaisuuksiltaan lylypuun tapaista muuten, paitsi kutistumisominaisuuksiltaan, sillä vetopuun kutistumisen on pituussuunnan lisäksi todettu olevan yleensä normaalia suuremman myös tangentin ja usein säteenkin suunnassa. Vetopuun puuaineksen ominaispaino on myös normaalia suurempi.

Havupuiden lylypuun puristus- ja taivutuslujuuden sekä kovuuden on todettu olevan tuoreena normaalia suuremman, mutta suhteellisesti tilavuuspainon huomioon ottaen jopa normaalia pienemmänkin. Kuivatuksen on todettu vaikuttavan lylypuun lujuuteen epäedullisesti sikäli, että ilmakeivän lylypuun lujuus ei ole aina edes absoluuttisesti, saati sitten suhteellisesti normaalia suurempi. Lylypuun puusyiden suuntaisesta vetolujuudesta on saatu sekä tuoreena että ilmakeivana normaalia pienempiä arvoja, samoin yleensä kimmoisuudesta ja sitkeydestä.

Lehtipuiden vetopuun on todettu olevan kaikilta lujuusominaisuuksiltaan tuoreena normaalia heikompa. Selvimpänä tämä tulee ilmi puusyiden suuntaisessa puristuksessa. Päinvastoin kuin lylyn ollessa kyseessä, on kuivatuksen todettu vaikuttavan vetopuun lujuuteen normaalia edullisemmin, joten ilmakeivän puun ollessa kyseessä vetopuu voi olla jokseenkin yhtä lujaa tai lujempaa kuin normaalipuu, joskin se tällöinkin on yleensä sitä heikompa. Puusyiden suuntaisessa vedossa vetopuun on todettu olevan ilmakeivana selvästi normaalia lujempaa. Kun otetaan huomioon vetopuun normaalia suurempi tilavuuspaino, muodostuu vetopuun suhteellinen lujuus normaalipuuhun verrattuna vielä absoluuttista lujuutta epäedullisemmaksi. Sormin samoin kuin teräaseella tai neulalla koeteltaessa vetopuu tuntuu poikkileikkauksessaan lylypuun tapaan normaalia kovemmalta.

Reaktiopuun käyttäytymiseen työstökoneissa ja käyttömahdollisuuksiin puuta jalostavassa teollisuudessa ovat kiinnittäneet huomiota lähinnä seuraavat tutkijat: BRAX (1936), CLARKE (1936 ja 1937), MÜNCH (1937—38), WEGELIUS (1939), MARRA (1946), DADSWELL ja WARDROP (1949), AKINS ja PILLOW (1950), JAYME ym. (1951—58), MAYER-WEGELIN (1951), RENDLE (1955 ja 1956), OLLINMAA (1955 a, b) sekä WATSON ja DADSWELL (1956 ja 1957).

Tiiviinä ja kovana lylyä on vaikeampi muokata työkaluilla kuin normaalipuuta, ei kuitenkaan niin vaikeata kuin vetopuuta, joka tekee suurta vastusta eri työstökoneissa aiheuttaen terien voimakasta kuumenemista ja ylimääräistä ajan hukkaa. Kun otetaan huomioon vetopuusta lähtevän hienojakoisen ja pitkäikäisen sahanpurun villamainen tai hahtuvamainen pehmeys vastakohtana normaalipuun karkeammalle ja tikkumaiselle purulle sekä pölymäisen hienon jauheen runsas osuus edellisessä, käy ymmärrettäväksi, että vetopuun sahausvaikeudet ovat suuret. Havupuiden lylypuun on todettu vuoltaessa ja sorvattaessa erottuvan lyhyinä ja hauraina lastuina, mutta lehtipuiden vetopuun pitkinä, murtumattomina ja taipuisina nauhoina.

Sen sijaan, että lylyn sahauspinta sekä poikittais- että pitkittäissahauksessa muodostuu yleensä normaalia sileämmäksi, saadaan vetopuusta pitkittäissahauksessa ja sorvauksessa erittäin nukkainen tai villainen pinta, jota on vaikea siloitella, mikä muodostuu siten huomattavaksi haitaksi esimerkiksi vaneri- ja puusepänteollisuudessa. Poikittäissahauksessa vetopuustakin saadaan normaalia sileämpi pinta.

Sekä lyly- että vetopuun epänormaalit kutistumisominaisuudet aiheuttavat puutavarassa ja -tuotteissa, joissa reaktiupuuta esiintyy normaalipuun ohella, vääntyiilemistä, kieroutumista, murtumista ja halkeilemistä. Haitallisimpina nämä ilmiöt esiintyvät pieniläpimittaisissa tukeissa, ohuissa laudoissa ja vanerivuilussa, jotka työskentelevät tavallista enemmän ilman kosteuden vaihdellessa aiheuttaen siten jatkuvaa haittaa. Sahatavaran sekä vienti- että lujuuslajittelussa samoin kuin sahatukkien luokittelussa otetaan meillä lylyn esiintyminen jo jossain määrin huomioon (SIIMES 1957 ja HEISKANEN 1959). Sen sijaan vetopuun esiintymistä ei meillä oteta suoranaisesti huomioon koivutukkien enempää kuin koivuvanerinkaan laatuluokituksessa, niin tarpeellista kuin se ehkä olisi-kin. Ennen enempää toimenpiteitä tässä suhteessa olisi kuitenkin saatava selvyttä vetopuun esiintymismääristä vaneriteollisuutemme raakaapuussa.

Lylyn esiintyminen alentaa puun sopivaisuutta paperimassan valmistukseen, koska massaantoo jää lylypuusta normaalia pienemmäksi ja siitä saatava massa on runsaasti ligniiniä sisältävänä tummaa ja vaikeasti valkaistavaa. Lylypuun normaalia pienempi trakeidien pituus ja erikoinen kuiturakenne vaikuttavat epäedullisesti saatavan massan lujuusominaisuuksiin. Vetopuu on siinä suhteessa edullista paperiteollisuuden raaka-aineeksi, että siitä saadaan normaalia enemmän ja puhtaampaa selluloosaa, mutta tämä etu saavutetaan laadun kustannuksella, koska vetopuusta valmistetun selluloosan on todettu olevan lujuusominaisuuksiltaan yleensä normaalia heikompaa lylypuuta vastaavasti. Todennäköisesti vetopuu olisi keitettävä alhaisemmassa lämpötilassa ja miedommassa kemikalioidessa kuin normaalipuu. Keittoaikaa voidaan myös lyhentää.

Varsinkin lylypuu, mutta eräiden troopillisten puulajien ollessa kyseessä vetopuukin voi olla värivikana kiusallinen mm. sahatavarassa ja vanerissa, joskin niillä voi eräissä tapauksissa olla myös kauneudellista arvoa. Lylyhän erottuu havupuiden eri suuntaisissa leikkauspintoissa muusta puusta sileinä ja kiiltävinä, tiiviinä ja kovina vyöhykkeinä, joiden normaalia tummempi väri vaihtelee puulajin mukaan ruskeasta tumman punaisen ruskeaan. Vetopuu esiintyy meikäläisissä lehtipuissa poikkileikkauksessa sileinä ja silkinkiiltoisina, tiiviinä ja sarveismaisen kovina, vahamaisina ja vaaleina vyöhykkeinä, jotka eivät erotu ympäristöstään yleensä niin selvästi kuin havupuiden lylypuu.

Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimusmenetelmä

Kuten edellisestä luvusta käy ilmi, on reaktiupuuta tutkittu eri maissa jo verrattain runsaasti, varsinkin lylypuuta. Saatua koivun vetopuuta ja havupuiden lylypuuta koskevat tutkimukseni julkaistuksi (OLLINMAA 1955 a ja b) kiinnostuin aiheeseen niin, että päätin yrittää laajentaa reaktiupuuta koskevia tutkimuksiani omakohtaisen yleensäkin puun rakennetta ja ominaisuuksia koskevan käsitykseni laajentamiseksi muitakin puulajejamme, lehtipuista haapaa ja harmaaleppää sekä havupuista mäntyä ja kuusta, vähäiseltä osaltaan myös katajaa koskeviksi.

Tutkimuksen tarpeellisuutta arvosteltaessa on otettava huomioon myös se, että meikäläisistä puulajeista leppä ei ole päässyt tutkimuksen piiriin juuri lainkaan ja että haapaakin koskevat tutkimukset on tehty lähinnä vain paperiteollisuuden tarpeita silmällä pitäen. Koska nimenomaan lylypuuta koskevia tutkimuksiakaan ei ole pohjoismaissa sanottavasti tehty, lienee nyt kyseessä oleva orientoiva tutkimus havupuittemmekin osalta perusteltavissa.

Koska reaktiupuun muodostumisolosuhteita ja yleistä esiintymistä puussa ja siihen liittyvää eksentristä paksuskasvua, puun käyttäytymistä erilaisissa työstökoneissa ja sen makroskooppisia tuntomerkkejä sekä kemiallista koostumusta on tutkittu ennestään jokseenkin runsaasti, ei niiden seikkaperäistä selvittelyä ole sisällytetty enää tämän tutkimuksen piiriin. Tällä kerralla on tutkimukset rajoitettu myös pelkästään runkopuuta koskeviksi.

Tutkimuksen kohteeksi tuli siten puun mikroskooppinen rakenne vesisoluihin, puusyihin, putkiloihin, ydinsäteisiin ja pihkatiehyihin sekä soluseinämän rakenteeseen kohdistuvine tutkimuksineen, puun fysikaaliset ominaisuudet tilavuuspainoon ja kutistumiseen kohdistuvine tutkimuksineen sekä puun lujuusominaisuuksista puusyiden suuntainen puristuslujuus.

Tutkimusaineiston muodostaa viisi hidaskasvuista koepuuta, yksi kustakin em. puulajista. Koepuuaineisto on siis pieni, mutta ottaen huomioon sen, että erilaisia mittauksia on kuitenkin suoritettu verrattain runsaasti ja että saatuja tuloksia on käytetty etupäässä vain pääteeman, siis normaali- ja reaktiupuun eroavaisuuksien selvittelyyn, on täten kertynyttä tutkimusaineistoa kuitenkin pidettävä aivan riittävänä. Koepuut, joiden ikä oli 35—45 v., otettiin Mäkky-län yliopistotilalta Helsingistä, rinnemaalta, ja tarvittavat koekappaleet niiden

käyrästä tyviosasta normaali- ja reaktiopuusta samoja menetelmiä käyttäen kuin aikaisemmissakin tutkimuksissani (OLLINMAA 1955 a, ss. 13—16). Koepuut olivat siis puusolujen kokoa ajatellen täysi-ikäisiä, sillä yleisesti sanottuna kuluu noin 20—30 vuotta, jonka aikana yksityiset solut huomattavasti pitenevät ytimeistä pintaan päin vuosilustosta toiseen siirryttäessä (DADSWELL 1958).

Puun mikroskooppista rakennetta tutkittaessa tehtiin ensin yleisiä havain-toja sellaisista tuntomerkeistä, jotka voitiin havaita ilman mittauksiakin.

Puusyiden ja vesisolujen pituusmittaukset suoritettiin maseroiduista puu-näytteistä rungon eri puolilta saman vuosiluston toisiaan vastaavista osista oku-laarimikrometrin avulla, suurennuksen ollessa lehtipuiden osalta noin 50- ja havupuiden noin 20-kertainen. Lehtipuiden maserointiin käytettiin 5 %-kromi-happoa ja havupuiden Jeffrey'n liuosta, joka koostuu samansuuruisista osista 10 %-typpihappoa ja 10 %-kromihappoa (TRENDELENBURG 1939, s. 88).

Kuitujen läpimitan ja seinämän paksuuden mittaukset sekä seinämäprosen-tin määritykset suoritettiin tavallisen alkoholin ja glyseriinin seoksessa pehmen-netyistä koekappaleista käsिमikrotoomilla leikatuista ohuista poikittaisprepa-raateista Abben piirustuslaitetta apuna käyttäen suorittamalla mittaukset piir-roksista viivottimen ja poletin avulla (APPELT 1950, ss. 209—210, 176). Käy-tetty suurennus piirroksessa oli yleensä 750-, mutta joskus 1500-kertainenkin.

Puusyiden ja vesisolujen seinämän rakennetutkimukset suoritettiin poikki-leikkauksista polarisoitua valoa apuna ja kloorisinkkijodia reagenssina käyttäen suurennuksen ollessa n. 1200-kertainen. Soluseinämän fibrillaarista orientoitu-mista tutkittiin Abben piirustuslaitteen avulla erittäin ohuista pitkittäisleik-kauksista em. suurennusta piirroksessa käyttäen. Orientoitumiskulmat mitattiin piirroksessa läpinäkyvällä astelevyllä.

Lehtipuiden putkiloita ja havupuiden pystysuoria pihkatiehyitä koskevat tutkimukset, jotka kohdistuivat näiden lukumäärään ja prosenttiseen osuuteen puun tilavuudesta, suoritettiin poikkileikkauksista Abben piirustuslaitetta ja polettia apuna käyttäen suurennuksen piirroksessa ollessa 270-kertainen. Putkilo-prosentin määrittämisessä piirroksista käytettiin osittain myös leikkaus-punnitusmenetelmää (TRENDELENBURG 1939, s. 88). Punnitsemisessä käytettiin 1 mg:n tarkkuutta.

Ydinsädetutkimukset, jotka kohdistuivat ydinsäteiden lukumäärään ja pro-senttiseen osuuteen puun tilavuudesta, suoritettiin tangentin suuntaisista leik-kauksista em. piirustuslaitetta apuna käyttäen. Suurennus piirroksessa oli 270-kertainen. Ydinsädeprosentin määrittämiseen piirroksista käytettiin pelkästään leikkaus-punnitusmenetelmää.

Puun fysikaalisista ominaisuuksista määritettiin tilavuuspaino kuusen, kata-
jan ja lepän osalta abs. kuivana veteen upottamalla, koekappaleiden koon ol-
lessa n. $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ cm. Tällöin koekappaleen paino määritettiin parafinoi-
mattomana, mutta tilavuus laskettiin vähentämällä edellisestä paino parafinoi-
tuna vedessä. Painon määrityksissä käytettiin 10 mg:n tarkkuutta.

Käytetty menetelmä on osoittautunut suorittamissani tutkimuksissa erittäin tarkaksi ja vain kaksi punnitusta vaativana nopeaksi, virheprosentin ollessa nyt käytetyn suuruisia koekappaleita käytettäessä keskimäärin — 1.5 %:n suuruus-luokkaa. Parafiini ei siis pääse sanottavasti vaikuttamaan tulokseen, koska sen ominaispaino on verrattain lähellä veden ominaispainoa (OLLINMAA 1957, mene-telmä n:o 4).

Puun hygroskooppisista ominaisuuksista tutkittiin kuusen, lepän ja haavan kutistumista pituussuunnassa tuoreesta absoluuttisen kuivaan tilaan siirryttäes-sä ja kuusen osalta lisäksi paisumista tangentin ja säteen suunnassa absoluutti-sen kuivasta tuoreeseen tilaan siirryttäessä. Kutistumisen ja paisumisen määrät laskettiin prosenteissa tuoreista mitoista, jolloin saadut tulokset vastaavat ku-tistumisprosentteja. Mittaukset suoritettiin noniuksella varustetulla työntömi-talla 0.05 mm:n tarkkuudella. Saatujen tulosten perusteella tehtiin laskelmia puun vastaavasta tilavuuden kutistumisesta.

Puun lujuusominaisuuksista tutkittiin kuusen ja katajan puusyiden suun-taista puristuslujuutta tuoreessa tilassa. Puristuslujuus määritettiin murtolujuu-tena Amsler & Co:n aineenkoetuskoneella, ja saatujen tulosten sekä tilavuuspai-nojen perusteella laskettiin Jankan laatuosamäärät kuusen osalta.

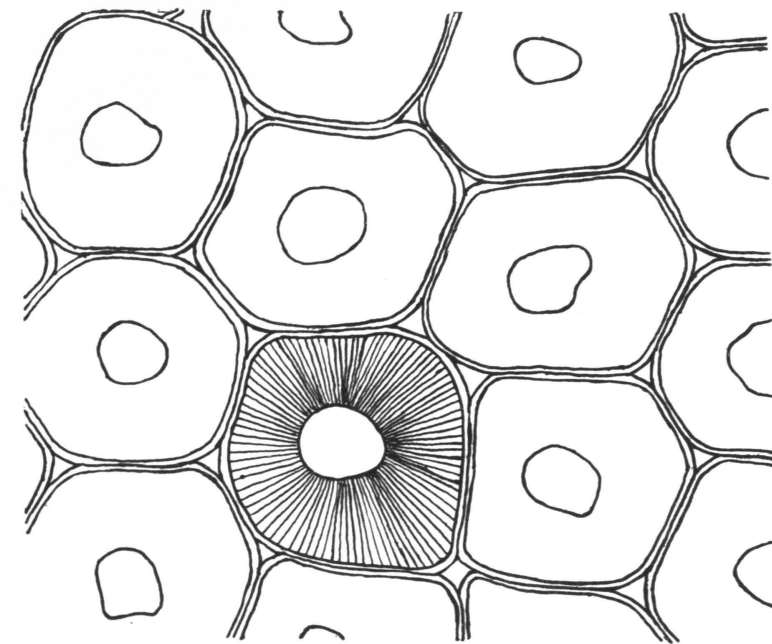
Tutkimustulokset

Nyt tutkimuskohteina olleitten puulajien reaktiipuuta sisältävän puun eksentrisestä paksuuskasvusta, reaktiupuun käyttäytymisestä tavallisissa työkoneissa ja makroskooppisista tuntomerkeistä tehtiin vastaavanlaisia havaintoja kuin näistä on aikaisemmissakin tutkimuksissa tehty ja joita on selostettu edellä ss. 7—8 ja verrattain seikkaperäisesti myös aikaisemmissa tutkimuksissani (OLLINMAA 1955 a, b, 1956). Sen vuoksi ei niiden toistaminen enää tässä yhteydessä vastaa tarkoitustaan.

Puun mikroskooppinen rakenne

Ilman mittauksia valomikroskoopissa todettavat tuntomerkit

Havupuitten lylypuulle todettiin poikkileikkauksessa olevan ominaista trakeidien paksujen seinämien ja pyöristyneen muodon. Viimeksi mainitun seurauksena niiden väliin jää varsinkin kevätpuussa runsaasti soluvälejä (kuva 1). Raja kevät- ja kesäpuun välillä on epäselvä, koska koko solukko tekee kesäpuuta muistuttavan vaikutuksen normaalipuuhun verrattuna. Katajassa soluväliden esiintyminen oli jokseenkin harvinaista tai ne olivat kovin pieniä. Lylypuutrakeidien ei todettu olevan säännöttömästi järjestyneitä normaalipuuhun verrattuna, jollaiseen tulokseen ONAKA (1949) on tullut eri puulajeista. Lylypuutrakeidien seinämästä puuttuu sekundäärinen seinämän sisäkerros eli tertiäärinen seinämä tai se on hyvin heikosti kehittynyt. Trakeidien paksussa sekundäärisessä seinämässä on runsaasti säteittäisiä viiruja, mikä tuli erittäin selvästi ilmi varsinkin kuusesta yli 1000-kertaista suurennusta käytettäessä. Näiden katsovat WARDROP ja DADSWELL (1950, ss. 4—5) väkevällä rikkihapolla käsittelyn jälkeen osoittavan ligniinin säteittäistä jakautumista soluseinämässä vastakohtana samakeskeiselle jakaantumiselle normaalitrakeideissa. ONAKA (1949) mainitsee niiden olevan viiruja, jotka lylypuun pitkittäisleikkauksessa näkyvät erittäin selvinä kierrejuovina. Molemmat selitykset viirujen olemuksesta ovat samaa tarkoittavia. Kierrejuovien lisäksi fibrillien suuntaa osoittavien halkeamien todettiin tämän tutkimuksen yhteydessä olevan lylypuutra-

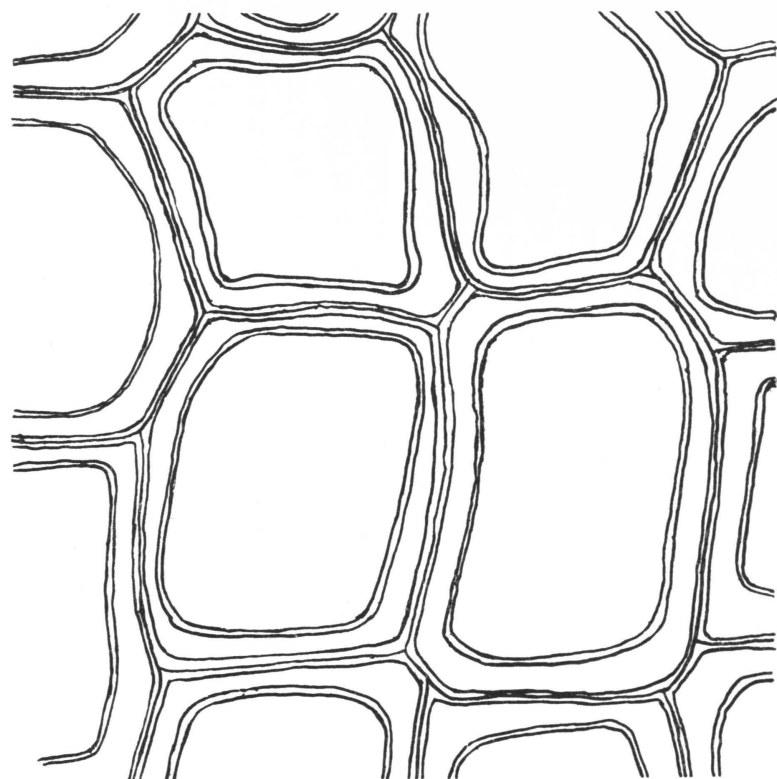


Kuva 1. Poikkileikkaus kuusen lylypuusta. Säteettäiset viirut erään trakeidin seinämään merkitty näkyviin (suurennus n. 1300 ×).

Fig. 1. *Picea excelsa*. Transverse section of compression wood. Radial striations of one tracheid marked visible (about 1300 ×).

keidien sekä tangentin että säteen suuntaisissa seinämissä puun pitkittäisleikkauksissa silmään pistävän yleisiä ja jo pienellä suurennuksella (150×) selvästi näkyviä. Männyssä olivat halkeamat vielä yleisempiä kuin kuudessa. Normaalipuussa ne ovat harvinaisia.

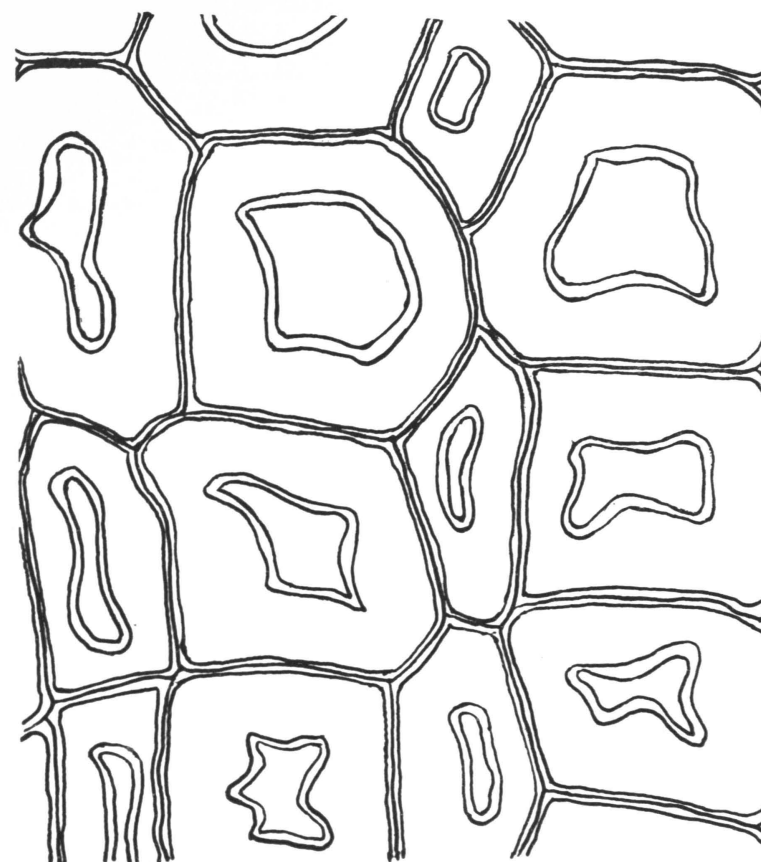
Lylypuun vastakkaiselle puolelle runkoa muodostunutta usein erittäin ohutlustoista puuta sanotaan saksalaisessa kirjallisuudessa tavallisesti valkopuuksi tai vetopuuksi (Weissholz, Zugholz) vastakohtana lylylle (Rotholz, Druckholz). Kuusesta todettiin, että puun alkaessa muodostaa lylyä sädekasvu vastakkaisella puolella aleni $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{5}$:aan alkuperäisestä lylypuun puolella tapahtuvaa kasvun lisäystä vastaavasti. Tämän kevätpuun solukko eroaa varsinaisesta normaalipuun lähinnä kuusikulmiomaisesta solukosta vesisolujensa poikkileikkaukseltaan normaalia säännöllisemmän, usein miltei suorakaiteisen muodon ja jonkin verran ohuempien soluseinämien vuoksi (kuva 2). Kesäpuussa erot ovat pienemmät, mutta trakeidien tertiäärinen seinämä vaikuttaa tavallista voimakkaammin kehittyneeltä ja omituisen poimuttuneelta lehtipuiden vetopuun tapaan (kuva 3). Tällaisia havaintoja kuusen valkopuusta teki myös jo HARTIG (1901). HARTIG sanoo kuusta koskevassa tutkimuksessaan valkopuuta muodos-



Kuva 2. Poikkileikkaus kuusen valkopuun kevätpuusta (Weissholz). Suurennus n. 1700×.
Fig. 2. *Picea excelsa*. Transverse section of spring wood in white wood («Weissholz»). About 1700×.

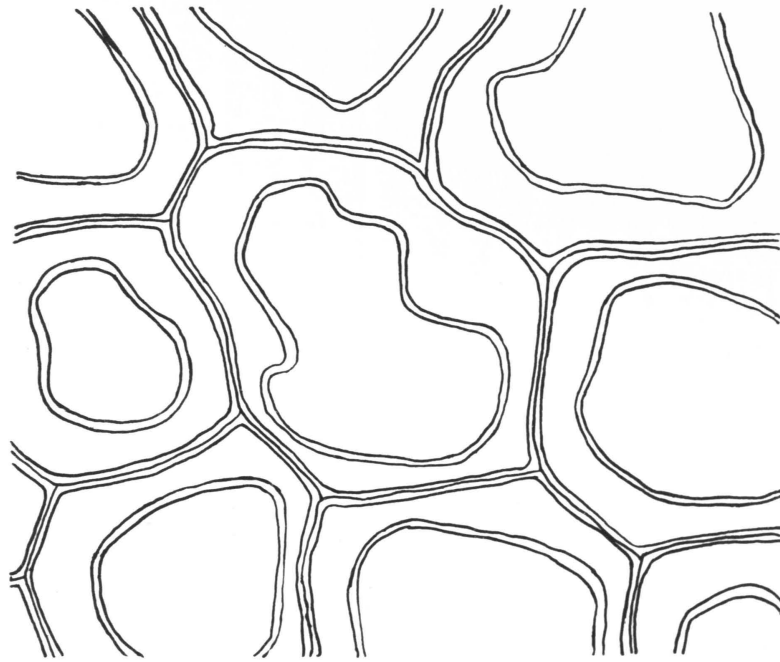
tuvan jokaisen haaran ja oksan yläpuoleen, mutta myös riittävän ohuihin runkoihin sellaisiin kohtiin, joissa mutkien ja rungon vinon asennon johdosta syntyy vetojännityksiä, jonka vuoksi hän kutsuukin sitä vetopuuksi (Zugholz). Tätä selostusta on kuitenkin pidettävä sikäli virheellisenä, että mutkat syntyvät runkoon reaktiipuun toiminnan seurauksena liittyen ns. liikakäyritysmis-ilmioon (OLLINMAA 1955 b, s. 3) ja että lylyn puun runkoa normaaliin asentoon työntävän vaikutuksen seurauksena vastapuolen puu joutuu puristuksen eikä vedon alaiseksi. Näin ollen on havupuiden vetopuu-nimitystä pidettävä harhauttavana. Valkopuu on sopivampi.

Haavan ja lepän vetopuulla todettiin mikroskooppisessa tarkastelussa olevan pääpiirteissään samat tuntomerkit kuin mm. molemmilla koivulajeillamme (OLLINMAA 1955 a). Vetopuusolukolle todettiin olevan ominaista ennen kaikkea puusyiden liivatemaisen ulkonäön («gelatinous fibers») varsinkin haavassa, pienen soluonteloiden ja niiden sekundäärisen seinämän sisäkerroksen eli tertiäri-



Kuva 3. Poikkileikkaus kuusen valkopuun kesäpuusta (Weissholz). Suurennus n. 1900×.
Fig. 3. *Picea excelsa*. Transverse section of summer wood in white wood («Weissholz»). About 1900×.

sen seinämän paksuuden ja poimuttuneisuuden, sen ollessa usein irronneena muusta seinämästä (kuva 5). Vetopuusyiden ei todettu enempää haavalla kuin lepälläkään yksittäin tai pieninä ryhminä esiintyessäänkään karttavan putkiloita tai ydinsäteitä. Nämä saattoivat olla joka puolelta vetopuusyiden ympäröimiä. Näin ollen eivät JAYMEN (1951) ja VANDEVELDEN (1957) eri poppelilajeista tekemät havainnot saaneet vahvistusta tässä tutkimuksessa. Vetopuusyiden todettiin haavan vuosilustoissa esiintyvän yhtäjaksoisesti ja samalla intensiteetillä alusta loppuun saakka lukuun ottamatta paria kolmea kesäpuun viimeistä soluriviä, joiden havaittiin tavallisesti olevan ilman vetopuusyitä. Sen sijaan lepässä näytti vetopuun muodostuminen alkukesästä olevan selvästi intensiivisempää kuin myöhemmin kesällä, kuten aikaisemmin on todettu mm. molemmista koivulajeistamme (OLLINMAA 1955 a).

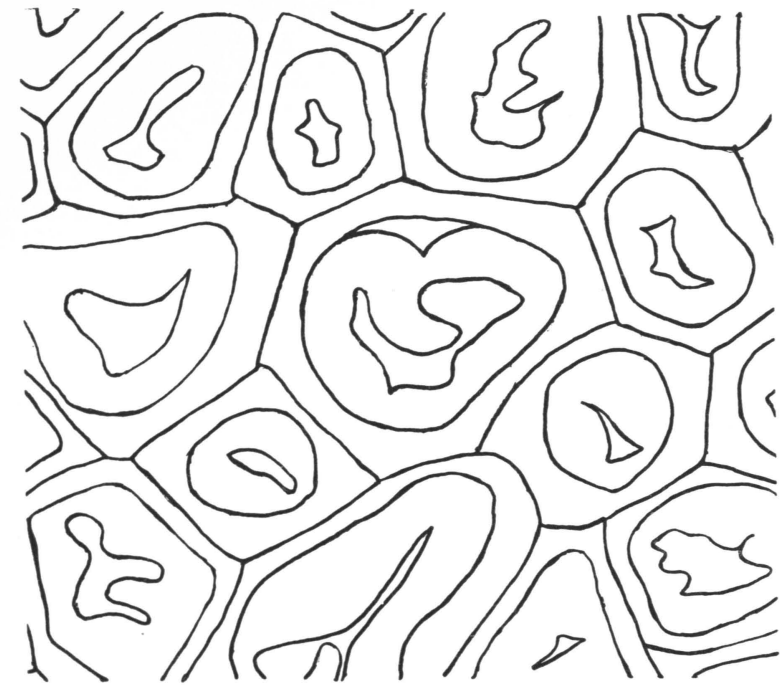


Kuva 4. Poikkileikkaus kuusen normaalipuun kevätpuusta (suurennus n. 1400×).
Fig. 4. *Picea excelsa*. Transverse section of spring wood in normal wood (about 1400×).

Mitään sellaista, että vetopuusyöt olisivat poikkileikkausmuodoltaan tai järjestäytymiseltään normaalisuista poikkeavia, jollaiseen tulokseen JACCARD (1917) ja ONAKA (1949) tulivat eri puulajeista, ei voitu todeta kummastakaan nyt tutkitusta puulajista enempää kuin koivulajeistammekaan aikaisemmin (OLLINMAA 1955 a). Sekä haavasta että lepästä todettiin vetopuun syiden sekundäärin seinämän tertiäärin kerrosta lukuun ottamatta olevan yleensä ohuemman kuin normaalipuussa, mikä käy ilmi myös verrattaessa toisiinsa kuvia 5 ja 6. Näihin ei sekundäärin seinämän ulkokerrosta ole piirretty näkyviin. Samanlaiseen tulokseen on tultu aikaisemmin monista muista puulajeista (mm. JACCARD ja FREY 1928, OLLINMAA 1955 a).

Jo silmämääräisesti puun poikkileikkauksia tarkastelemalla todettiin, että haavan ja lepän vetopuussa on keskimäärin huomattavasti vähemmän putkiloita ja sen seurauksena pienempi putkiloprosentti kuin normaalipuussa, minkä johdosta vetopuu kokonaisuudessaan liivatemaisuuden tai sarveismaisuuden ohella tekee normaalipuuta tiiviimmän yleisvaikutuksen. Tämänhän onkin todettu olevan eri puulajien vetopuun yleistuntomerkin (mm. METZGER 1908, JACCARD 1917 ja 1938, CHOW 1948, ONAKA 1949, OLLINMAA 1955 a).

Normaali- ja vetopuusta otetuissa tangentin suuntaisissa leikkauksissa ei



Kuva 5. Poikkileikkaus harmaalepän vetopuusta kloorisinkkijodilla käsiteltynä (n. 1800×).
Fig. 5. *Alnus incana*: Transverse section of tension wood, treated with chloriodide of zinc (about 1800×).

silmämääräisesti todettu mitään eroa puusyissä eikä aina ydinsäteissäkään enempää haavassa kuin lepässäkään.

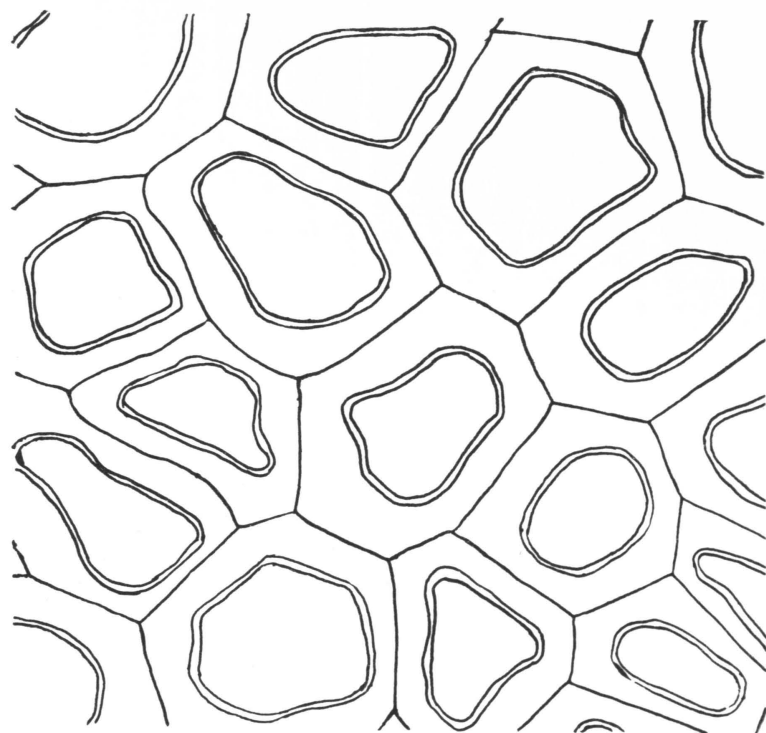
Solu- ja solukkomittaukset

Puukuituihin kohdistuneet mittaukset

Kun seuraavassa puhutaan normaali- ja reaktiipuukuiduista, vetopuusyistä tai lylypuutrakeideista, ei sillä suinkaan tarkoiteta, että tällöin olisivat aina kyseessä todella normaalit tai tyypilliset reaktiipuukuidut, vaan näillä nimityksillä tahdotaan vain ilmaista, koskeeko maininta kulloinkin normaali- vai reaktiipuun puolelta saatuja tuloksia.

Puukuitujen pituus

Puukuitujen pituusmittausten, jotka suoritettiin, kuten yleensäkin kaikki kuituja koskevat mittaukset, normaali- ja reaktiupuusta samoista vuosilustoista



Kuva 6. Poikkileikkaus harmaalepän normaalipuusta (n. 1600×).
Fig. 6. *Alnus incana*. Transverse section of normal wood (about 1600×).

ja tyviosasta toisiaan vastaavilta korkeuksilta kesäpuusta, karttamalla havupuissa kaikkein ohutlustoisinta valkokuuta, tulokset käyvät ilmi puulajeittain kuvissa 7—10 esitetyistä frekvenssimurtoviivoista. Kuusta ja mäntyä koskevista piirroksista (kuvat 7 ja 8) sekä seuraavasta asetelmasta ilmenee, että lylypuun trakeidien pituus on pienempi kuin normaalipuun.

Puulaji <i>Species of tree</i>	Normaalipuu — <i>Normal wood</i>		Lylypuu — <i>Compression wood</i>	
	Trakeidien pituus, mm <i>Length of tracheids, mm</i>	Mittausten lukumäärä, kpl. <i>Number of measurements</i>	Trakeidien pituus, mm <i>Length of tracheids, mm</i>	Mittausten lukumäärä, kpl. <i>Number of measurements</i>
Mänty — <i>Pine</i>	1.57	300	1.26	298
Kuusi — <i>Spruce</i>	2.25	300	1.82	300

Männyn trakeidien lyhyys kuuseen verrattuna johtuu ainakin osittain siitä, että mäntyä koskevat kuitunäytteet on otettu puun sisäosista, mutta kuusta

koskevat puun pintaosista. Kuitupituudenhan on todettu kasvavan ytimestä pintaan päin noin 30. vuosilustoon saakka. (TRENDELENBURG 1955, RENDLE 1958). Onpa kuusen kuitupituuden todettu kasvavan jopa 70—80 vuoden ikään saakka (SCHULTZE-DEWITZ 1959). Trakeidien on todettu olevan havupuiden kesäpuussa keskimäärin 11 % pitempiä kuin kevätpuussa (BISSET, DADSWELL ja AMOS 1950). Sen sijaan lylypuussa on kesäpuutrakeidien todettu olevan lyhempiä kuin kevätpuutrakeidien (BISSET ja DADSWELL 1950).

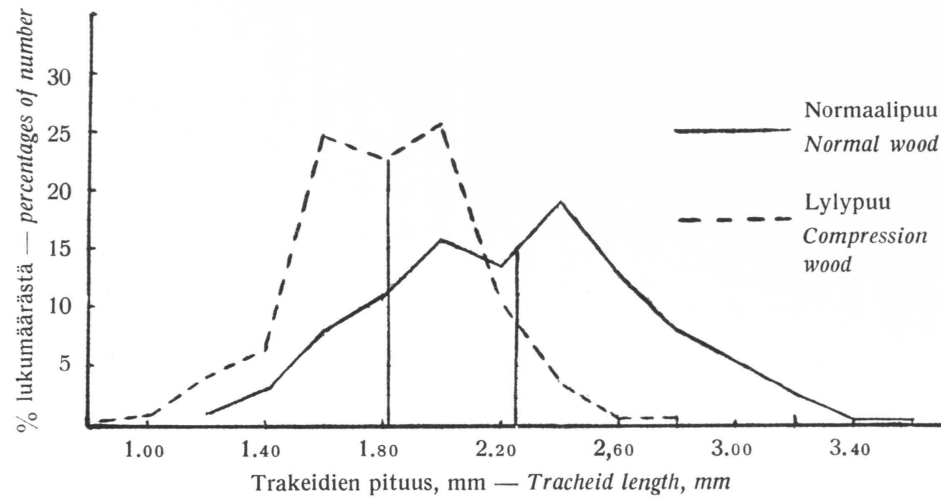
Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtiin eräästä kuusen lylypuun lustosta puun sisäosista pieni lisätutkimus, joka perustui 200:n trakeidin mittaamiseen, jotka jakautuivat tasan kevät- ja kesäpuun kesken. Kevätpuun trakeidien keskipituudeksi saatiin 1.41 mm ja kesäpuun 1.47 mm, joten jälkimmäisten pituus tuli 4.3 % suuremmaksi kuin edellisten. Näin pientä erotusta ei voida pitää merkitsevänä.

Havupuillahan on todettu trakeidien pituuden kasvavan vuosiluston ohentuessa, joten lylypuun normaalia pienempi kuitupituus lienee yhteydessä sen suureen sädekasvuun (BISSET, DADSWELL ja WARDROP 1951). Edellisen mukaan ns. valkokuun kuitupituus olisi suurempi kuin varsinaisen häiriintymättä muodostuneen, vahvempilustoisen normaalin puun. WATSON ja DADSWELL (1957) eivät kuitenkaan todenneet olevan sanottavaa eroa *Pinus radiatan* sivu- ja valkokuun trakeidien pituudessa. Häiriintymättä muodostuneen normaalipuun trakeidien he totesivat olevan sulfaattimassasta mitattuna lähes 10 % pitempiä kuin valko- tai sivupuun. Sitäpaitsi MATSUMOTO (1950) tuli sellaiseen tulokseen, ettei sääntö, kuta vahvempi vuosilusto, sitä lyhemmät trakeidit, pidä paikkaansa muutamista japanilaisista havupuista tekemiensä tutkimusten perusteella. Hän sanoo männyn (*Pinus densiflora*) trakeidien pituuden olevan pienimmän eksentrisesti kasvaneen rungon lyhimmän säteen kohdalla, jos lylypuun muodostuminen on voimakasta. Yleensä hän mainitsee trakeidien pituuden olevan suurimman keskimääräistä sädettä vastaavalla kohdalla, siis varsinaisessa normaalipuussa.

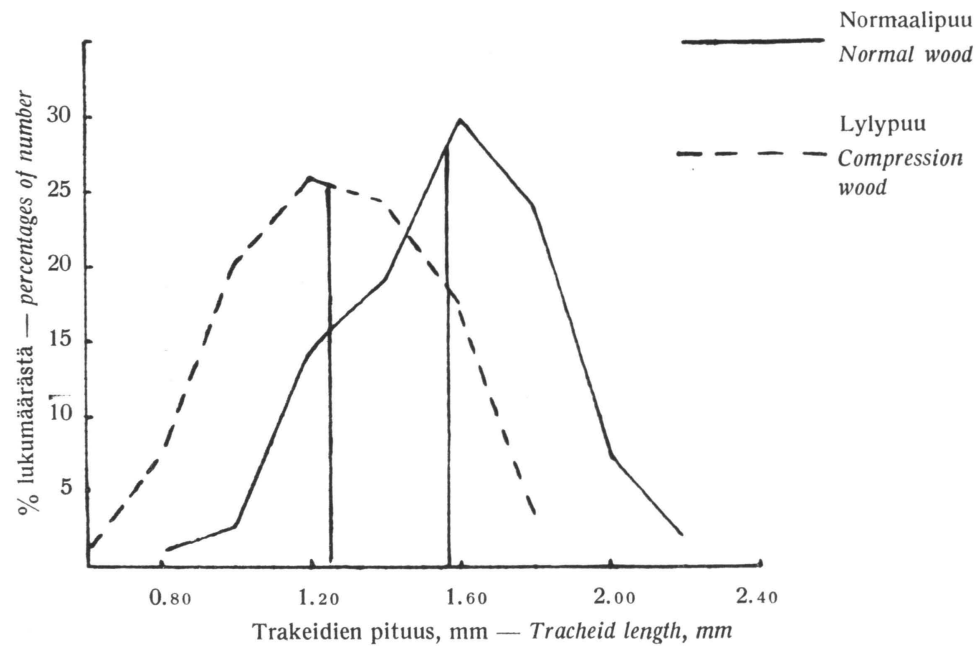
Edellisten lisäksi suoritettiin katajasta 200 solumittausta, jotka jakautuivat tasan normaalipuun ja lylyn kesken. Näissä ei tullut ilmi mitään pituuseroa, vaan normaalipuun trakeidien pituuksien keskiarvoksi tuli 0.97 mm ja lylypuun 0.98 mm.

Haavan ja lepän puusyiden pituusmittausten tulokset sekä mitattu aineisto käy ilmi seuraavasta. Myöskin kuvat 9 ja 10 valaisevat asiaa.

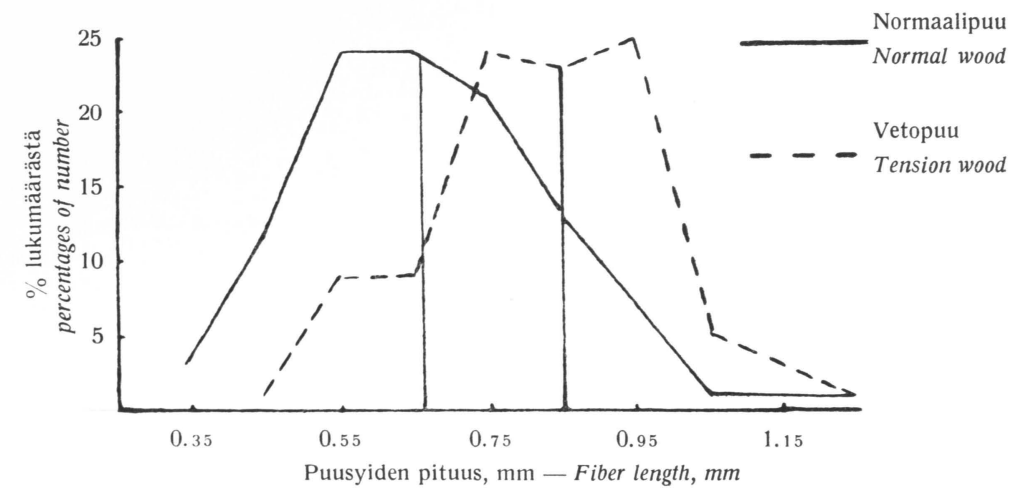
Sivupuuta koskevat kuitunäytteet otettiin keskimääräisen säteen kohdalta. Tuloksista käy selvästi ilmi vuosiluston vahvuuden vaikutus lehtipuiden puusyiden pituuteen, riippuvuuden näiden välillä ollessa positiivinen. Tällaiseen tulokseen on tultu aikaisemmin mm. hieskoivusta (OLLINMAA 1958). Mainittakoon, että JAYME (1951) samoin kuin KLAUDITZ ja STOLLEY (1955) tulivat siihen tulokseen, ettei poppelin normaali- ja vetopuun puusyiden pituudessa ole sanottavaa eroa.



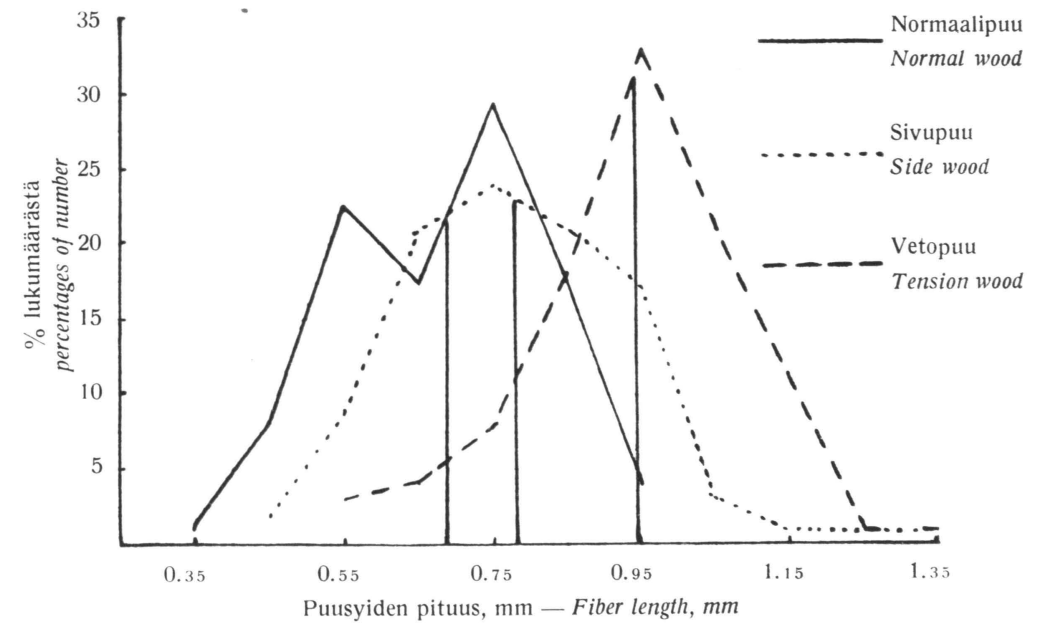
Kuva 7. Kuusen trakeidien pituus.
Fig. 7. Tracheid length of *Picea excelsa*.



Kuva 8. Männyn trakeidien pituus.
Fig. 8. Tracheid length of *Pinus silvestris*.



Kuva 9. Haavan puusyiden pituus.
Fig. 9. Fiber length of *Populus tremula*.



Kuva 10. Harmaalepän puusyiden pituus.
Fig. 10. Fiber length of *Alnus incana*.

Puun laatu Kind of wood	Haapa — <i>Aspen</i>		Harmaaleppä — <i>Alder</i>	
	Puusyiden pituus, mm <i>Length of lib- riform fibres, mm</i>	Mittausten lukumäärä, kpl. <i>Number of measurements</i>	Puusyiden pituus, mm <i>Length of lib- riform fibres, mm</i>	Mittausten lukumäärä, kpl. <i>Number of measurements</i>
Normaalipuun — <i>Normal wood</i>	0.66	100	0.69	100
Vetopuu — <i>Tension wood</i>	0.85	100	0.94	100
Sivupuu — <i>Side wood</i>	—	—	0.78	100

Puukuitujen läpimitta ja niiden seinämän paksuus

Koska puukuitujen läpimitan mittauksia ei suoritettu maseroiduista puunäytteistä, vaan poikkileikkauksista, ovat tulokseksi saadut arvot pienempiä kuin maseroiduista soluista mittauksia tehtäessä, jolloin läpimitta mitataan aina kuidun leveimmästä kohdasta. Läpimitan mittauksia suoritettiin ainoastaan männyn ja kuusen normaalipuun kevätpuusta erikseen trakeidien säteen ja tangentin suuntaisen läpimitan osalta. Männyn trakeidien läpimittojen keskiarvoksi tuli säteen suunnassa 30.6 ja tangentin suunnassa 24.7 μ (molemmat yhdessä 27.7 μ) vastaavien arvojen ollessa kuusen osalta 30.1 ja 27.5 μ (molemmat yhdessä 28.8 μ). Männyn osalta tehtiin 427 mittausta ja kuusen 183, molempien jakautuessa tasan säteen ja tangentin suuntaisten mittausten kesken.

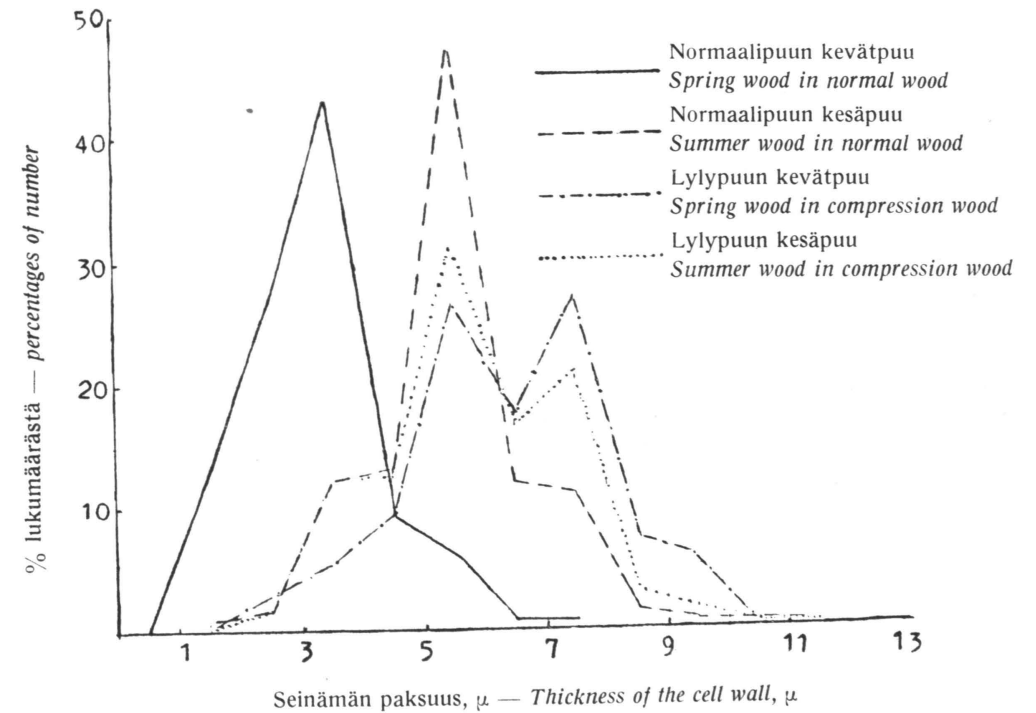
Kun laskettiin seinämän prosenttinen osuus trakeidin läpimitasta, saatiin seinämäprosentti, jonka arvoksi saatiin männyn osalta säteen suunnassa 22.0 % ja tangentin suunnassa 27.9 % (molemmat yhdessä 25.0 %) vastaavien arvojen ollessa kuusen osalta 19.3 % ja 25.6 % (molemmat yhdessä 22.5 %).

Edellisestä ilmenee, että molempien tutkittujen puulajien normaalipuun kevätpuussa on trakeidien läpimitta säteen suunnassa selvästi suurempi kuin tangentin suunnassa ja vastaavasti seinämäprosentti edellisessä pienempi kuin jälkimmäisessä. Mainituilla seikoilla on varmaankin vaikutuksensa puun suurempaan kutistumiseen tangentin kuin säteen suunnassa (myös FREY-WYSSLING 1940 a, b ja 1943).

Havupuiden trakeidien seinämän paksuutta koskevien mittausten, jotka suoritettiin soluontelosta toiseen puolittamalla tulos, lukumäärä ja tulokset esitetään taulukossa 1 sekä viimeksi mainitut männyn ja kuusen osalta myös kuvissa 11—12.

Taulukko 1. Trakeidien seinämän paksuus (mittausten lukumäärä sulkeissa).
Table 1. Thickness of the wall of the tracheids (number of measurements in brackets).

Puulaji Species of tree	Normaalipuun — <i>Normal wood</i>						Lylypuun — <i>Compression wood</i>				
	Kevät- puu <i>Spring wood</i>			Kesä- puu <i>Summer wood</i>			Kevät- puu yleensä <i>Spring wood total</i>	Kesä- puu <i>Summer wood</i>			Yleensä <i>Total</i>
	T	R	Yleensä <i>Total</i>	T	R	Yleensä <i>Total</i>		T	R	Yleensä <i>Total</i>	
Trakeidien seinämän paksuus § ja mittausten lukumäärä <i>Thickness of the wall of the tracheids § and number of measurements</i>											
Mänty <i>Pine</i>	3.36 (322)	3.44 (254)	3.40 (576)	5.06 (167)	6.21 (144)	5.68 (311)	6.69 (400)	5.79 (200)	6.17 (175)	6.00 (375)	—
Kuusi <i>Spruce</i>	2.90 (127)	3.52 (101)	3.25 (555)	4.69 (111)	6.23 (116)	5.45 (1000)	—	—	—	6.85 (385)	7.17 (1397)
Kataja <i>Juniper</i>	4.01 (335)	4.11 (260)	4.07 (595)	4.00 (287)	5.04 (275)	4.53 (562)	6.17 (666)	4.57 (108)	6.23 (105)	5.41 (213)	—



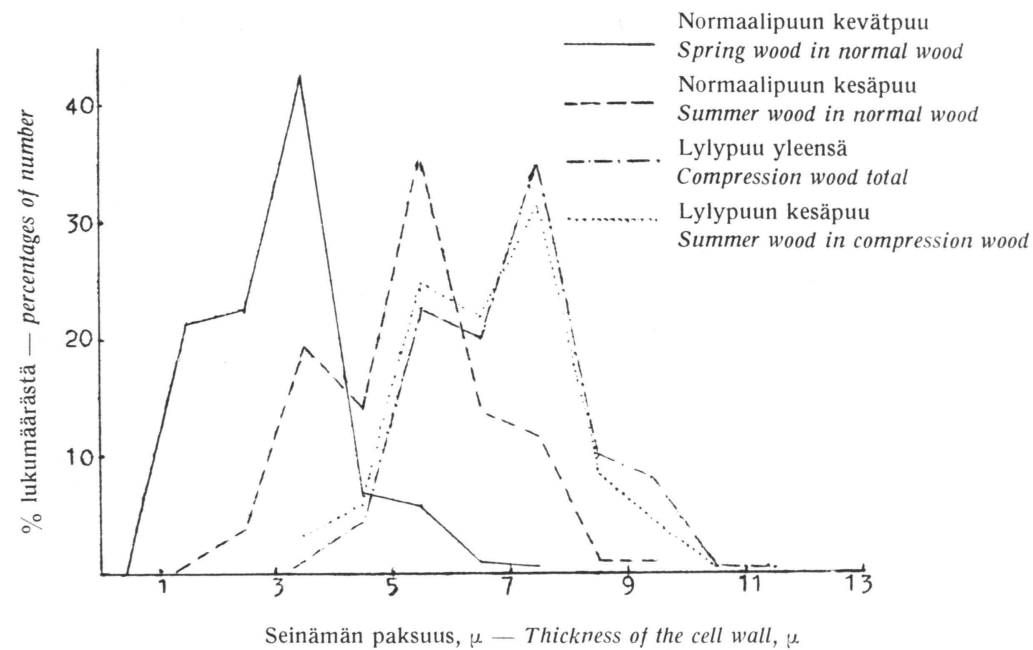
Seinämän paksuus, μ — *Thickness of the cell wall, μ*

Kuva 11. Männyn trakeidien seinämän paksuus.

Fig. 11. Thickness of the tracheid cell walls in *Pinus silvestris*.

Taulukosta ilmenee, että kaikkien kolmen puulajin trakeidien seinämän paksuus on lylypuussa suurempi kuin normaalipuussa. Se tulee kevätpuun osalta vielä selvempänä ilmi kuin kesäpuun. Tämä huomattiin jo puun poikkileikkausten silmämääräisessä tarkastelussa, kuten aikaisemmin on jo mainittu. Edelleen käy ilmi, että normaalipuussa on kesäpuutrakeidien seinämän paksuus huomattavasti suurempi kuin kevätpuun, mutta lylypuussa päinvastoin, Tämä viittaa siihen, että kasvukauden alkupuoliskon aikana lylypuun muodostuminen on intensiivisempää kuin loppupuoliskon aikana. Vielä voidaan todeta, että kesäpuun trakeidien säteen suuntaiset seinämät ovat selvästi paksummat kuin tangentin suuntaiset sekä normaali- että lylypuussa. Kuusen osalta viittaavat kevätpuutakin koskevat luvut samaan tulokseen.

Edellisen lisäksi suoritettiin vesisolukon osalta seinämäprosentin määrittäminen vesisolukon poikkileikkauspinta-alasta.



Kuva 12. Kuusen trakeidien seinämän paksuus.
Fig. 12. Thickness of the tracheid cell walls in *Picea excelsa*.

Tulokset näkyvät seuraavasta asetelmasta.

Puulaji Species of tree	Normaalipuun — Normal wood		Lylypuun — Compression wood	
	Kevätpuu Spring wood	Kesäpuu Summer wood	Kevätpuu Spring wood	Kesäpuu Summer wood
Mänty — Pine	44.2	78.0	72.2	76.1
Kuusi — Spruce	41.5	70.3	76.1	89.8
Kataja — Juniper	68.5	90.0	90.5	93.4

Seinämäprosentti — Cell wall, %

Edellisistä luvuista ilmenee, että lylyn sekä kevät- että kesäpuun seinämäprosentit, joiden välillä ei ole suurtakaan eroa, ovat yleensä verrattain lähellä normaalipuun kesäpuun vastaavia arvoja. Katajan seinämäprosentit ovat huomattavasti muita korkeammat.

Lehtipuiden puusyiden seinämän paksuutta koskevien mittausten lukumäärä ja tulokset esitetään seuraavassa asetelmassa sekä viimeksi mainitut myös graafisesti kuvissa 13—14.

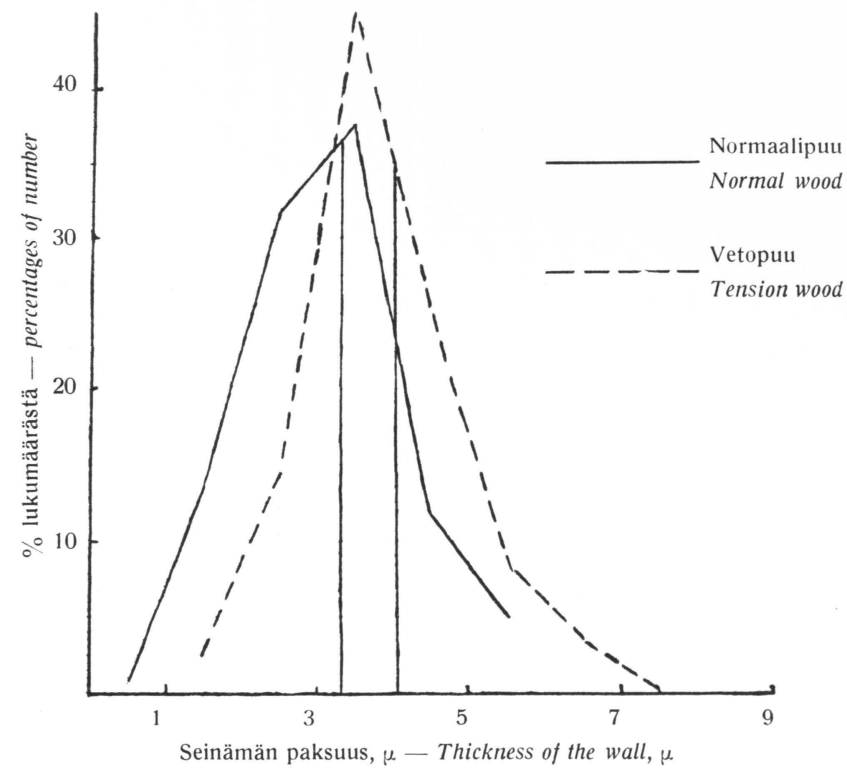
Puulaji Species of tree	Normaalipuun — Normal wood		Vetopuun — Tension wood	
	Puusyiden seinämän paksuus, μ Thickness of the wall of the fibres, μ	Mittausten lukumäärä Number of measurements	Puusyiden seinämän paksuus, μ Thickness of the wall of the fibres, μ	Mittausten lukumäärä Number of measurements
Haapa — Aspen	3.33	676	4.03	430
Leppä — Alder	2.84	270	3.57	190

Edellisestä ilmenee, että vetopuusyiden seinämän suurempi paksuus normaalipuusyihin verrattuna tuli nyt sekä haavan että harmaalepän osalta esiin yhtä selvänä kuin rauduskoivun ja selvempänä kuin hieskoivun osalta aikaisemmin (OLLINMAA 1955 a).

Puusyysolukon poikkileikkauksesta määritetyt seinämäprosentit esitetään seuraavassa.

Haapa — Aspen		Leppä — Alder	
Normaalipuun Normal wood	Vetopuun Tension wood	Normaalipuun Normal wood	Vetopuun Tension wood
Seinämäprosentti — Cell wall, %			
70.3	86.5	52.9	85.7

Harmaalepän normaalipuun seinämäprosentiksi tuli siis tässä tapauksessa huomattavasti alhaisempi luku kuin haavan.

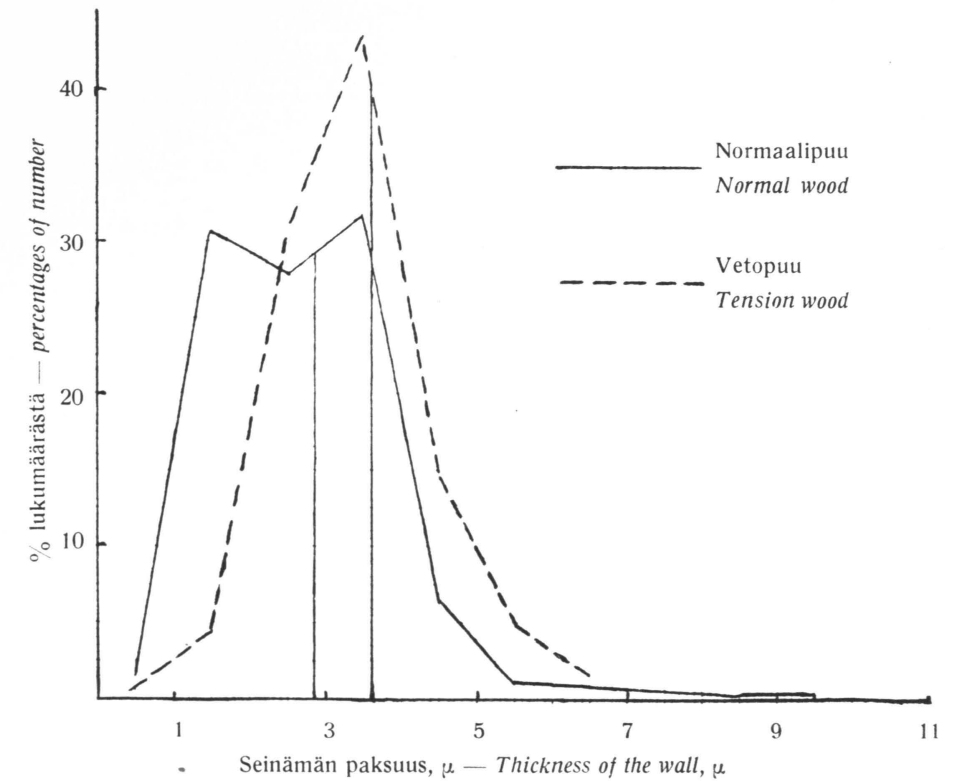


Kuva 13. Haavan puusyiden seinämän paksuus.

Fig. 13. Thickness of the wall of the libriform fibres in *Populus tremula*.

Puukuitujen seinämän rakenne

Puukuitujen seinämän rakennetutkimuksissa käytettiin apuna polarisoitua valoa ja mikrokemiallisena reagenssina kloorisinkkijodia. Polarisoidussa valossa trakeidien seinämät näkyvät poikkileikkauksessa jokseenkin vaaleina, varsinkin uloimmat kerrokset suorastaan kirkkaina, olipa sitten kyseessä normaali- tai lylypuu, samoin lehtipuiden normaalipuusyiden seinämät. Vetopuusyiden seinämien ulkokerrokset, primäärinen seinämä ja sekundäärisen seinämän ulko- ja keskikerros, näkyvät myös vaaleina, mutta mahtava tertiäärinen seinämäkerros selvästi tummempana, miltei mustana. Tämä osoittaa, että fibrillien ja misellien orientoituminen on molempien nyt tutkittujen lehtipuulajien vetopuusyiden tertiäärissä seinämäkerroksessa jyrkästi muusta seinämästä ja normaalipuusyiden sekä havupuutrakeidien seinämästä poikkeava ja lähes kuidun pituusakselin suuntainen. Yhtäläisiä havaintoja vetopuusyiden tertiäärisen seinämäkerroksen erikoisesta käyttäytymisestä polarisoidussa valossa on tehty aikaisemmin mm.



Kuva 14. Harmaalepän puusyiden seinämän paksuus.

Fig. 14. Thickness of the wall of the libriform fibres in *Alnus incana*.

molemmista koivulajeistamme (OLLINMAA 1955 a). Keskilevy näkyy aina ohuena tummana viivana.

Mikrokemialliset tutkimukset puun poikkileikkauksesta noin 1200-kertaista suurennusta käyttäen muodostuivat sängen mielenkiintoisiksi polarisoitua valoa samanaikaisesti käytettäessä. Sekä havupuiden vesisolujen että lehtipuiden puusyiden seinämän uloimmat kerrokset, primäärinen seinämä ja sekundäärisen seinämän ulko- ja keskikerrokset, antavat valtaosaltaan selvän ligniinireaktion ja värjäytyvät kloorisinkkijodilla keltaiseksi. Lylypuun paksu sekundäärisen seinämän keskikerros saa suorastaan syvän keltaisen sävyn. Kuitenkin voitiin todeta sekä puusyistä että vesisolusta, että keskilevy ja primäärinen seinämä antavat selvimmän reaktion loistaessaan suorastaan kirkkaan keltaisina. Sekundäärisen seinämän ulko- ja keskikerros näkyvät jo edellistä tummempina, jopa likaisen keltaisina, ja sisäkerros ei anna aina ligniinireaktiota lainkaan, vaan värjäytyy ainakin paikoin jopa punertavaksi tai punavioletiksi havupuillakin. normaalipuussa selvemmin kuin lylypuussa, koska lylypuutrakeidien ko. seinä-

mäkerros on kovin ohut silloinkin, kun sellainen niissä on. Tavallisestihan sen todettiin puuttuvan nytkin käsillä olevassa tutkimuksessa kaikista tutkituista havupuulajeista. Valkopuun trakeidien seinämien todettiin antavan kauttaaltaan ligniinireaktion, sekundäärisen seinämän sisäkerroksenkin värjäytyessä liikkaisen keltaiseksi. Lehtipuiden, sekä haavan että lepän, puusyiden sekundäärisen seinämän sisäkerroksen eli tertiäärin seinämän todettiin usein miltei koko soluontelon täyttävänä värjäytyvän ruskean punaiseksi, purppuranpunaiseksi, punavioleiksi, violeiksi, jopa sinivioleiksi tai siniseksi ja antavan siten enemmän tai vähemmän selvän selluloosareaktion ligniiniin määrän mukaan. Tällainen puukuitujen seinämän värjäytyminen osoittaa ligniinipitoisuuden alenemista keskilevystä seinämän sisäkerrokseen mentäessä. Samaan tulokseen puukuitujen seinämän kemiallisesta kokoomuksesta tuli mm. LANGE (1954) mikrospektrograafisissa tutkimuksissaan kuusesta ja pyökistä. Kuitenkin soluseinämän uloimmatkin kerrokset saattavat paikoin osoittaa selluloosareaktiota, mikä todettiin havupuiden sekä normaali- että lylypuutrakeideista. Primäärin seinämän ja sekundäärin seinämän ulko- ja keskikerroksen osuudeksi vetopuusyiden seinämän paksuudesta todettiin kloorisinkkijodilla käsiteltynä $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ ja tertiäärin kerroksen $\frac{2}{3}$ — $\frac{3}{4}$. Tällöin on otettava huomioon, että mainittu reagenssi turvottaa tertiäärin kerrosta enemmän kuin ulompia seinämäkerroksia. Ydinsäteet ja putkilot antoivat erittäin selvän ligniinireaktion kaikilla puulajeilla. Haavasta tehtiin sellainen mielenkiintoinen toteamus, että vetopuusyiden sekundäärin seinämän ulkokerros antoi selvemmän ligniinireaktion kuin normaalipuusyiden vastaava seinämäkerros, joka viittaa siihen, että vetopuusyiden sekundäärin seinämä sisäkerrosta lukuunottamatta voi olla ainakin joissakin tapauksissa voimakkaammin puutunut kuin normaalipuusyissä (myös JAYME ym. 1951).

Edellä kuvatut puun värjäytymisreaktiot voidaan tulkita osoitukseksi lylypuun normaalia suuremmasta ja vetopuun normaalia pienemmästä ligniinipitoisuudesta näiden normaalipuuhun verrattuna, mihin tulokseen kemiallisissa analyyseissä on yleensä tultukin. Reaktiopuun ja normaalipuun selluloosapitoisuudet suhtautuvat toisiinsa päinvastoin kuin ligniinipitoisuudet (mm. DADSWELL ja HAWLEY 1929, CHOW 1946, ONAKA 1949, HÄGGLUND 1951, JAYME ym. 1953 ja OLLINMAA 1955 a).

Puukuitujen seinämän fibrillaarista orientoitumista koskevissa optillisissa tutkimuksissa käytettiin erittäin ohuita normaali- ja reaktiopuusta samoista vuosilustoista otettuja pitkittäisleikkauksia ja tarpeen mukaan vain näiden reunaosia, joissa kuidut olivat menneet halki. Orientoitumissuunnan määrittämisessä voitiin käyttää apuna myös kuiduissa esiintyneitä fibrillien suuntaisia halkemia, jotka olivat varsinkin lylypuutrakeideissa erittäin yleisiä, sekä etupäässä lehtipuiden ollessa kyseessä puusyiden rakomaisia huokosia. Kierrejuovien hämmästyttävän suuri selvyys lylypuun trakeidien seinämissä normaalipuuhun verrattuna johtunee osaltaan tertiäärin seinämäkerroksen puuttumisesta tai hei-

kosta muodostumisesta niissä. Puukuitujen seinämän fibrillaarista orientoitumista koskevat tutkimustulokset käyvät ilmi taulukosta 2. Orientoitumiskulmat on mitattu kuidun pituusakselin suunnasta yleensä tangentin suuntaisista seinämistä. Kuusen normaalipuun 48:sta ja lylypuun 248:sta trakeidista mitattiin orientoitumiskulmat vertailun vuoksi säteen suuntaisista seinämistä. Orientoitumiskulmalla trakeidien tangentin ja säteen suuntaisissa seinämissä ei todettu olevan mainittavaa eroa. BOSSHARD (1956) sanoo mainitun eron olevan vähäisen.

Taulukko 2. Puukuitujen seinämän fibrillaarinen orientoituminen kuidun pituusakselin suhteen.

Table 2. Fibrillar orientation of fibres with regard to their long axis.

Puulaji Species of tree	Normaalipuun Normal wood		Lylypuun Compression wood		Vetopuun Tension wood	
	Kulma Angle	Kpl. Number	Kulma Angle	Kpl. Number	Kulma Angle	Kpl. Number
Mänty Pine	26° 50'	65	40° 21'	72		
Kuusi Spruce	25° 54'	117	33° 41'	380		
Kataja Juniper	23° 40'	33	36° 28'	96		
Haapa Aspen	23° 15'	22			11° 26'	41
Leppä Alder	31° 20'	38			13° 26'	67

Taulukosta ilmenee, että fibrillaarista orientoitumiskulmaa koskevia mittauksia tehtiin kaikkiaan 931 kpl., joista tuli normaalipuun osalle 275, lylypuun 548 ja vetopuun 108 kpl. Kuitujen seinämän vallitseva orientoitumiskulma, mikä koskee normaali- ja lylypuussa lähinnä sekundäärin seinämän keskikerrosta, vetopuussa sisäkerrosta, vaihtelee eri puulajeilla normaalipuun osalta 23°—31°, lylypuun 34°—40° ja vetopuun 11°—13°, mistä käy selvästi ilmi lylypuutrakeidien seinämän matalakierteinen ja vetopuusyiden seinämän jyrkkäkierteinen orientoituminen normaalipuukuituihin verrattuna.

Täten lylypuutrakeidien seinämän fibrillaarinen orientoituminen noudattaa suurin piirtein PRESTONIN (1934) lakia, jonka mukaan trakeidien pituuden ja niiden sekundäärin seinämän keskikerroksen molekyylikierteen jyrkkyyden välillä vallitsee selvä riippuvuus siten, että kuta pitempi on trakeidi, sitä pienempi on orientoitumiskulma kuidun pituusakselista mitattuna (myös DADSWELL 1958). Samantapainen riippuvuus vallitsee myös soluseinämän ulkokerroksen osalta (PRESTON ja WARDROP 1949).

Lylypuukuitujen seinämän orientoitumiskulma on tässä tapauksessa keskimäärin noin 50 % suurempi kuin normaalipuun ja vetopuun päinvastoin noin 50 % pienempi. Koivulajeja koskevassa tutkimuksessa on todettu vetopuusyiden orientoitumiskulman olevan noin kolmasosasta puoleen normaalipuusyiden vastaavasta arvosta riippuen käytetystä preparaatin valmistusmenetelmästä (OLLINMAA 1955 a).

Mielenkiintoisen vertailun trakeidien pituuden, seinämän misellaarisen orientoitumisen ja puun kemiallisen koostumuksen välillä ovat suorittaneet WARDROP ja DADSWELL (1950). He totesivat *Pinus radiata* normaalipuun toisiaan seuraavia vuosilustoja ytimeistä lähtien tutkimalla, että trakeidien pituus ja misellaarinen orientoitumiskulma seuraavat toisiaan siten, että edellisen kasvaessa ytimeistä pintaan päin mentäessä jälkimmäinen pienenee (myös PRESTON 1949) ja että lylypuun trakeidien misellaarinen orientoitumiskulma on jokseenkin sama kuin saman pituisten normaalipuun trakeidien. Tässä yhteydessä voidaan myös muistaa, että lehtipuiden vetopuusyiden pituus on puun kiihtynyttä sädekasvua vastaavasti normaalia suurempi ja sen mukaisesti seinämän orientoitumiskulma myös pieni. Kiinnostava on myös WARDROPIN (1948) toteamus *Pseudotsuga taxifoliasta*, että Cross & Bevanin selluloosapitoisuus kasvaa toisiaan seuraavissa vuosilustoissa ytimeistä lähtien, joten alhainen selluloosapitoisuus liittyi pieneen trakeidien pituuteen ja suhteellisen suureen orientoitumiskulmaan. Siten on merkittävää, että lylypuussa lyhyine trakeideineen ja siihen liittyvine suurine kierrekulmineen on myös todettu olevan vähemmän selluloosaa kuin vastaavassa normaalipuussa ja vetopuussa pitkine puusyineen ja pienine kierrekulmineen päinvastoin enemmän.

Putkiloihin kohdistuneet tutkimukset

Putkiloita koskevat tutkimukset kohdistettiin niiden lukumäärään ja osuuteen puun poikkileikkauksesta ja samalla tilavuudesta eli putkiloprosenttiin.

Haavan osalta tutkimus kohdistui 25:een uloimpaan vuosilustoon normaalipuun ja 9:ään vetopuun osalta, tutkittujen vuosilustojen määrän ollessa lepän osalta molemmissa tapauksissa 9. Tutkittu pinta-ala oli haavan normaalipuun osalta 3.6 mm² ja vetopuun 8.3 mm² vastaavien määrien ollessa lepän osalta molemmissa tapauksissa 4.2 mm². Tutkimuksen tulokset esitetään taulukossa 3 vuosilustoittain 1—4:n, tavallisimmin kolmen rinnakkaispiirroksen keskiarvoina.

Taulukko 3. Putkiloiden lukumäärä ja putkiloprosentti.

Table 3. Number of vessels and their proportion in the cross-section of the trunk.

Vuosislusto pinnasta lukien Growth ring as counted from the bark	Haapa — Aspen				Leppä — Alder			
	Putkiloita kpl./mm ² No. of vessels /mm ²		Putkilo-% Proportion of vessels, %		Putkiloita kpl./mm ² No. of vessels /mm ²		Putkilo-% Proportion of vessels, %	
	Normaali-puu Normal wood	Vetopuu Tension wood	Normaali-puu Normal wood	Vetopuu Tension wood	Normaali-puu Normal wood	Vetopuu Tension wood	Normaali-puu Normal wood	Vetopuu Tension wood
1	259	114	22.5	13.9	178	80	11.7	7.7
2	274	112	22.3	15.8	122	98	12.3	7.4
3	271	67	26.9	9.1	133	140	12.1	8.2
4	240	98	21.2	7.5	126	89	11.0	8.8
5	319	138	29.2	17.8	91	67	9.1	5.4
6	255	75	26.7	7.0	70	69	7.3	6.6
7	270	109	31.3	8.9	77	73	6.1	5.9
8	283	100	26.0	6.1	69	69	6.1	6.1
9	198	59	25.4	5.1	193	37	12.8	3.5
Keskiarvot — Averages ...	263	97	25.7	10.1	118	80	9.8	6.5

Haavan normaalipuun sisemmistä vuosilustoista saatiin seuraavat tulokset.

Putkiloita kpl./mm ² — No. of vessels/mm ²	Vuosislusto pinnasta lukien Growth ring as counted from the bark			Keskiarvot Averages
	10—15	16—20	21—25	
Putkilo-% — Proportion of vessels	283	277	226	263
	31.8	31.4	23.3	29.0

Mainitut luvut eivät osoita taulukossa 3 esitettyihin uloimpia vuosilustoja koskeviin tuloksiin verrattuna mitään eroa putkiloiden lukumäärän osalta. Sen sijaan putkiloprosentin voidaan todeta olevan rungon sisäosissa ainakin hieman suuremman kuin pintaosissa, jollaiseen tulokseen on tultu mm. koivusta (STAUFFER 1892, WALLDÉN 1934, KUJALA 1946). Eräissä puulajeissa, mm. *Eucalyptuk-sessa*, on todettu putkiloiden läpimitan suurenevan, mutta lukumäärän pienenevän ytimeistä pintaan päin mentäessä niin kauan kuin on kysymys nuoruuskauden puusta (DADSWELL 1958).

Taulukosta nähdään, että vetopuun putkiloiden lukumäärä ja putkiloprosentti on selvästi pienempi kuin normaalipuun molemmissa puulajeissa. Vuosislustoja 1.—9. koskevat keskiarvot osoittavat, että haavan osalta normaalipuun sekä putkiloiden lukumäärä että putkiloprosentti on noin 2.5-kertainen vetopuuhun verrattuna ja lepän osalta noin 1.5-kertainen. Viimeksi mainituista lu-

vuista ilmenee myös, että normaali- ja vetopuun putkiloiden koko on suunnilleen sama toisiinsa verrattuna molemmissa puulajeissa, jollaiseen tulokseen on tultu myös molemmista koivulajeistamme (OLLINMAA 1955 a). Eräissä lustoissa näyttää sekä haavassa että lepässä normaalipuun putkiloiden lukumäärä ja putkiloprosentti olevan jopa 4–5-kertainen vetopuuhun verrattuna.

Kun taulukosta 3 seurataan putkiloiden lukumäärän ja putkiloprosentin vaihtelua eri vuosilustoissa ja otetaan huomioon haavan normaalipuun 10.—25. lustoista saadut em. tulokset, ei putkilosuhteissa voida todeta varmaa suuntaa kummankaan puulajin enempää normaali- kuin vetopuunkaan osalta, joten tulos on yhtäpitävä koivusta saamiene tutkimustulosten kanssa.

Vaikka haapa ja leppä ovat hajaputkilaisia, on ilmeistä, että putkiloprosentti ja putkiloiden lukumäärä pienenee niissä kevätkuusta kesäpuuhun siirtäessä. Niinpä lepän normaalipuun 5. vuosilustosta todettiin putkiloiden lukumäärän ja putkiloprosentin luston alkupuoliskossa olevan 116 kpl./mm² ja 12.0 %, mutta loppupuoliskossa vain 58 kpl. ja 5.3 %, vastaavien lukujen ollessa 6. vuosilustossa alkupuoliskossa 106 kpl. ja 10.2 % sekä loppupuoliskossa 34 kpl. ja 4.1 %. Vetopuun 7. vuosilustosta todettiin putkiloiden lukumäärän ja putkiloprosentin luston alkupuoliskossa olevan 97 kpl./mm² ja 8.0 %, mutta loppupuoliskossa vain 53 kpl. ja 4.3 %. Edellisestä ilmenee, että vuosiluston alkupuoliskon putkiloiden lukumäärä ja putkiloprosentti ovat kaksinkertaiset loppupuoliskoon verrattuna molempien puulajien sekä normaali- että vetopuussa. Samoin käy ilmi, että vetopuuvuosiluston loppupuoliskon putkilosuhteet ovat jokseenkin samanlaiset kuin normaalipuussakin, mikä osoittaa lepän vetopuun muodostumisen heikkoutta kasvukauden lopulla.

Vuosiluston vahvuuden ja putkiloiden lukumäärän sekä putkiloprosentin välillä ei todettu riippuvuutta haavan enempää kuin lepänkään normaalipuussa, mutta vuosilustot olivat kovin ohuita molemmilla, vain 0.1—0.6 mm haavalla ja 0.2—1.1 mm. lepällä. Sen sijaan voitiin todeta, että vetopuun osalta vallitsee negatiivinen riippuvuus em. suhteissa. Se onkin täysin luonnollista, koska vetopuun muodostumiseen tavallisesti liittyy säkekasvun kiihtyminen ja koska rakenteeltaan tyypillisintä vetopuuta tavataan juuri vahvimmissa vuosilustoissa. Sanottu käy ilmi taulukosta 4, vaikka vuosiluston vahvuuden vaihteluväli onkin molemmilla puulajeilla verrattain suppea. Saavutettuja tuloksia tukevat eräiden muiden puulajien osalta aikaisemmin saadut (mm. CHOW 1946 ja OLLINMAA 1955 a).

Ydinsäteisiin kohdistuneet tutkimukset

Yleensä on tultu siihen tulokseen, ettei reaktiopuun, enempää lylyn kuin vetopuunkaan, ja normaalipuun ydinsädesuhteissa ole ainakaan huomattavaa eroa. Tällaisia mainintoja ovat lehtipuista antaneet mm. ENGLER (1918) koivusta ja lehmuksesta, CHOW (1946) ja von PECHMANN (1953) pyökistä sekä

Taulukko 4. Vuosiluston vahvuuden vaikutus vetopuun putkilosuhteisiin.

Table 4. Influence of the width of growth ring on the distribution of vessels in tension wood.

Puulaji Species of tree	Vuosiluston vahvuus, mm — Width of growth ring, mm											
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
Putkiloita kpl./mm ² — Number of vessels per mm ²												
Haapa — <i>Aspen</i>	114	112	—	—	124	75	—	—	98	—	—	—
Leppä — <i>Alder</i>	—	140	89	—	79	—	—	69	—	52	—	73
Putkiloprosentti — Proportion of vessels in the cross-section, %												
Haapa — <i>Aspen</i>	13.9	15.8	—	—	13.4	6.8	—	—	7.5	—	—	—
Leppä — <i>Alder</i>	—	8.2	7.6	—	7.7	—	—	6.1	—	4.5	—	5.9

ONAKA (1949) eräistä japanilaisista puulajeista. Sen sijaan ENGLER (1918) sanoo ydinsäteiden lukumäärän olevan eksentristen elinten yläpuolella suuremman kuin alapuolella mm. pyökissä, vaahterassa, poppelissa, saarnessa ja tammessa. OLLINMAAN (1955 a) tutkimuksesta käy ilmi, että ydinsäteiden lukumäärässä ei normaali- ja vetopuulla ole oleellista eroa enempää hies- kuin rauduskoivuissa, mutta että vetopuun ydinsädeprosentti on ainakin jonkin verran pienempi kuin normaalipuun ja että vetopuun ydinsäteet ovat ohuempia ja poikkileikkausmuodoltaan soukempia kuin normaalipuun. Havupuiden osalta sanoo ONAKA (1949), että lylypuun ydinsäteiden lukumäärä on monissa tapauksissa pienempi kuin normaalipuun.

Käsillä olevan tutkimuksen yhteydessä tehtiin ydinsäteiden lukumäärää ja ydinsädeprosenttia koskevia mittauksia kuusesta, haavasta ja lepästä. Tutkimusaineisto ja tulokset esitetään seuraavassa. Tutkimusaineisto jakautuu jokseenkin tasan normaali- ja reaktiopuun kesken.

Puulaji Species of tree	Normaalipuun Normal wood		Reaktiopuun Reaction wood		Tutkimusaineisto Material	
	Ydinsäteitä kpl./mm ² No. of medullary rays /mm ²	Ydinsäde-% Proportion of medullary rays, %	Ydinsäteitä kpl./mm ² No. of medullary rays /mm ²	Ydinsäde-% Proportion of medullary rays, %	Piirrosten lukumäärä No. of drawings	Pinta- ala Area mm ²
Kuusi — <i>Spruce</i>	40	5.68	34	5.66	104	29.9
Haapa — <i>Aspen</i>	42	7.15	33	6.73	85	24.5
Leppä — <i>Alder</i>	77	17.29	68	14.45	21	6.1

Edellisestä ilmenee, että reaktiopuun, sekä lyly- että vetopuun, ydinsäteiden lukumäärä on jonkin verran pienempi kuin normaalipuun kaikilla puulajeilla, samoin ydinsädeprosentti lehtipuiden osalta. Viimeksi mainittu tuli lepästä verrattain selvästi esille, mutta haavasta heikompana. Kuusella saatiin ydinsäde-

prosentti normaali- ja lylypuussa samansuuruiseksi. Kuusen normaali- ja lylypuuta koskevia ydinsäteiden lukumääriä ja ydinsädeprosentteja toisiinsa verrattaessa voidaan päätellä, että lylypuun ydinsäteet ovat poikkileikkaukseltaan jonkin verran suurempia kuin normaalipuun, jollaiseen tulokseen myös ONAKA (1949) on tullut eräistä japanilaisista havupuista, sanoen lylypuun ydinsäteiden solukorkeuden olevan normaalia suuremman. Sen sijaan leppää koskevat vastaavat luvut antavat viitteitä, että sen ydinsäteiden poikkileikkauspinta-ala olisi vetopuussa keskimäärin hieman pienempi kuin normaalipuussa. Samaan tulokseen on tultu myös koivua koskevassa tutkimuksessa (OLLINMAA 1955 a).

Pihkatiehyihin kohdistuneet tutkimukset

ONAKA (1949) mainitsee pystysuorien pihkatiehyiden muodostumisen lylypuussa olevan yleensä vähäisempää kuin normaalipuussa.

Tutkimus kohdistettiin männyn normaalipuun osalta 25 uloimpaan vuosilustoon ja lylypuun osalta kolmeen rungon sisäosissa olleeseen lustoon (22.—24.) sekä kuusen osalta 12 uloimpaan lustoon (lylyä lustoissa 3.—6.). Kustakin tutkitusta lustosta otettiin männyn normaalipuun osalta keskimäärin 13 koko luston leveyden käsittävää rinnakkaispiirrosta (yhteensä 335 piirrosta) ja lylypuun osalta 14 rinnakkaispiirrosta (kaikkiaan 41), vastaavien määrien ollessa kuusen normaalipuun osalta 15 (kaikkiaan 180) ja lylypuun osalta 16 (48).

Pystysuoria pihkatiehyitä koskevien tutkimusten tulokset esitetään seuraavassa. Kuusesta ei määritetty pihkatiehytprosenttia.

	Mänty — Pine		Kuusi — Spruce		
	Normaalipuun Normal wood	Lylypuu Compression wood	Normaalipuun Normal wood	Lylypuu Compression wood	
Vuosilustot pinnasta lukien — Growth rings as counted from the bark	1—26	22—24	22—24	1—12	3—6
Pihkatiehyitä kpl./mm ² — No. of vertical resin canals /mm ²	2.0	2.6	0.7	0.7	0.25
Pihkatiehyt-% — Proportion of resin canals, %	0.55	—	0.30	—	—

Edellisestä ilmenee, että pihkatiehyitten lukumäärä ja pihkatiehytprosentti on männyn lylypuussa selvästi pienempi kuin normaalipuussa. Samoin on asia laita kuudessa pihkatiehyitten lukumäärän ja uskottavasti myös vastaavan prosentin suhteen. Kuusen pihkatiehyitten todettiin olevan selvästi pienempiä kuin männyn, jonka seurauksena, ottaen huomioon tiehyitten vähälukuisuuden kuu-

ssa mäntyyn verrattuna, edellisen pihkatiehytprosentti jää paljon pienemmäksi kuin jälkimmäisen. TRENDELENBURG (1955) ilmoittaaakin kuusen pihkatiehytprosentiksi 0.04 % ja männyn 0.54 %. Vertaamalla toisiinsa mäntyä koskevia lukuja normaali- ja lylypuun osalta voidaan päätellä, että lylypuun pihkatiehyet ovat keskimäärin jonkin verran avarampia kuin normaalipuun.

Yleensä todettiin pihkatiehyitten olevan kevätpuussa paljon yleisempiä kuin kesäpuussa molemmilla puulajeilla, joskin tässä suhteessa tavataan yleensä suurta vaihtelua (TRENDELENBURG 1955).

Yleisenä sääntönä pidetään, että vahvoissa vuosilustoissa pihkatiehyet ovat lukuisimmat kuin ohuissa (TRENDELENBURG 1955). Tämän seikan selvittämiseksi suoritettiin tutkimus männyn normaalipuusta, jonka tulokset esitetään taulukossa 5. Siinä esitetään koko vuosiluston pihkatiehyitten lukumäärän vaihtelu eri vahvoissa vuosilustoissa ilmaistuna vuosiluston sekä pituusyksikköä (siis puun tangentin suunnassa) että pintayksikköä kohden. Edellinen ilmaisutapa oli helppo soveltaa, koska pihkatiehyitten todettiin tässä tapauksessa sijaitsevan yleensä verrattain kapealla kaistalla vuosiluston alussa vahvoissakin lustoissa, mikä kuvastuu myös taulukon 5 tuloksista.

Taulukko 5. Pystysuorien pihkatiehyitten lukumäärän riippuvuus vuosiluston vahvuudesta männyn normaalipuussa.

Table 5. Dependence of number of vertical resin canals upon the width of the growth ring in normal wood of pine.

Vuosiluston vahvuus, mm — Width of growth ring, mm						
0.01—0.10	0.11—0.20	0.21—0.30	0.31—0.40	0.41—0.50	1.21—1.30	1.31—2.00
Pihkatiehyitä, kpl./mm — Number of resin canals per mm						
0.17	0.45	0.37	0.59	0.46	1.73	1.70
Pihkatiehyitä, kpl./mm ² — Number of resin canals per mm ²						
1.85	2.92	1.56	1.72	1.00	1.34	0.85

Taulukosta ilmenee, että vuosiluston vahvuuden kasvaessa pihkatiehyitten lukumäärä männyn normaalipuussa kasvaa luston pituusyksikköä kohden laskettuna, mutta alenee sen pinta-alayksikköä kohden laskettuna. Viimeksi mainittu voitiin todeta myöskin kuusen osalta, joskin heikompana. Pihkatiehyitten lukumäärässä enempää kuin pihkatiehytprosenttissakaan ei voitu todeta mitään varmaa suuntaa pinnasta ytimeen päin mentäessä.

Puun fysikaaliset ominaisuudet

Puun fysikaalisia ominaisuuksia ja lujuutta koskevia tutkimuksia suoritettiin lähinnä vain pistokokeen luontoisesti, sillä aineiston pienuus ei sallinut pe-

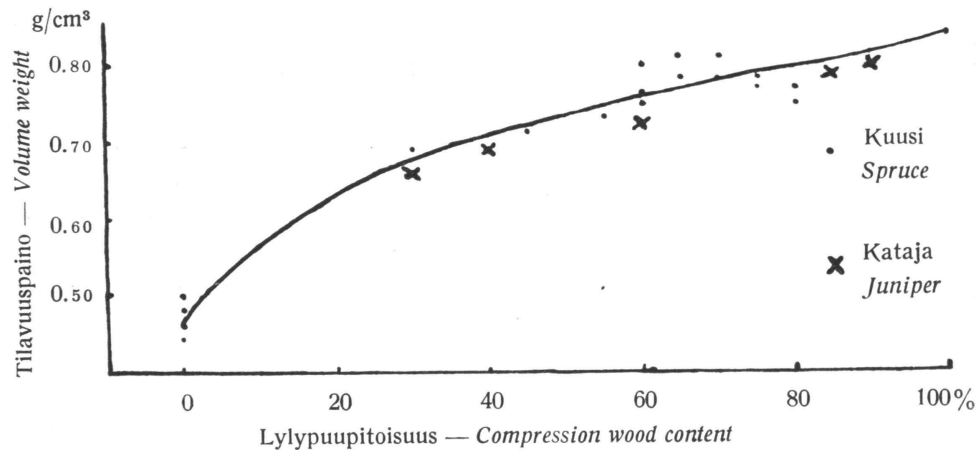
rusteellisempien tutkimusten tekoa. Kuitenkin nytkin suoritettujen kokeiden tulokset asianmukaisesti käsiteltyinä antavat verrattain hyvän kuvan reaktiipuun tähän ryhmään kuuluvista ominaisuuksista, kun täydennämme nyt saataavaa kuvaa aikaisempien tutkimusten tuomalla tietomäärällä (mm. OLLINMAA 1955 a—b).

Tilavuuspaino

Puun tilavuuspainon määrittämisä suoritettiin kaikkiaan 29 kpl., joista tuli kuusen osalle 19, katajan viisi ja leppän viisi. Kuusta koskevista kokeista kohdistui neljä puuhun, jossa ei ollut lainkaan lylyä ja loput 15 puuhun, jossa lylypitoisuus vaihteli koekappaleiden poikkileikkauksesta määritettynä 30—100 %. Katajan koekappaleet sisälsivät kaikki lylyä, 30—90 %, ja leppää koskevista kokeista kohdistui kolme puuhun, jossa ei ollut lainkaan vetopuuta, ja kaksi vetopuuta 55—80 % sisältävään puuhun.

Tutkimuksen tulokset käyvät ilmi reaktiipuun määrän mukaan järjestettynä seuraavasta asetelmasta sekä kuusen ja katajan osalta lisäksi graafisesti kuvasta 15. Kuusen puhtaan normaalipuun keskimääräiseksi tilavuuspainoksi tuli 0.47 ja lylypuuaineiston 0.77 g/cm³ sekä katajan lylypuuaineiston 0.73 g/cm³.

Puulaji <i>Species of tree</i>	0	Reaktiupuuprosentti % <i>Reaction wood content, %</i>				Kokeita kpl. <i>Number of tests</i>
		21—40	41—60	61—80	81—100	
		Tilavuuspaino abs. kuivana g/cm ³ <i>Volume weight absolut dry g/cm³</i>				
Kuusi — <i>Spruce</i> . .	0.47	0.69	0.73	0.78	0.81	19
Kataja — <i>Juniper</i>	—	0.67	0.72	—	0.80	5
Leppä — <i>Alder</i> . .	0.48	—	0.57	0.62	—	5



Kuva 15. Tilavuuspaino.

Fig. 15. Volume weight.

Asetelmasta ja kuvasta 15 käy selvästi ilmi, miten puun tilavuuspaino kohoaa reaktiupuupitoisuuden kasvaessa, havupuiden osalta alussa verrattain nopeasti, myöhemmin hitaammin, leppän osalta suoraviivaisesti. Myöskin koivulaeista on todettu tilavuuspainon suoraviivainen riippuvuus vetopuuprosentista (OLLINMAA 1955 a). Tilavuuspainon kohoaminen reaktiupuupitoisuuden mukana johtuu luonnollisesti reaktiipuun normaalia tiiviimmästä solukkorakenteesta sen soluseinämien ollessa paksuja ja -onteloiden pieniä sekä putkiloprosentin ollessa normaalipuuhun verrattuna pieni.

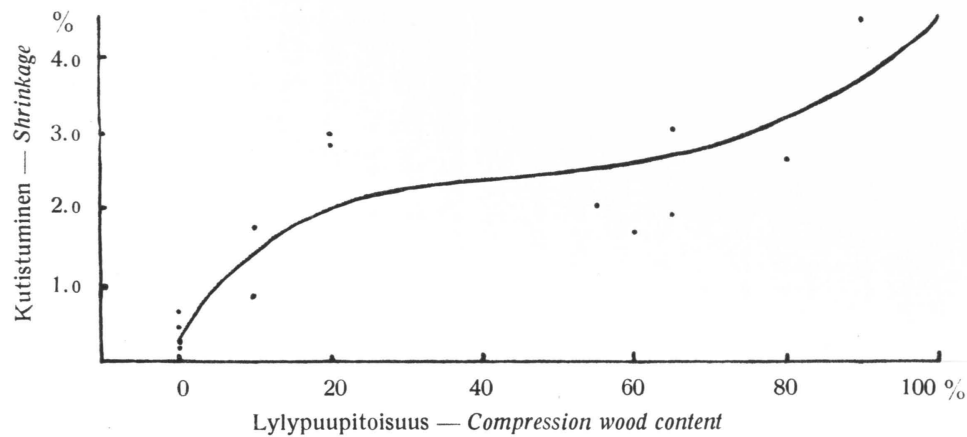
Kutistumisominaisuudet

Puun pituuden suuntaista kutistumista koskevia määrittämisä suoritettiin kaikkiaan 38 kpl., joista tuli kuusen ja haavan osalle 16, leppän viisi ja katajan vain yksi. Kuusta koskevista kokeista kohdistui kuusi puuhun, jossa ei ollut lainkaan lylyä ja loput 10 puuhun, jossa lylypuupitoisuus vaihteli 10—90 %. Haapakoekappaleista 10 oli sellaisia, joissa ei ollut lainkaan vetopuuta, ja kuuden vetopuupitoisuus vaihteli 15—60 % sekä leppäkoekappaleista vain yksi sellainen, jossa ei ollut lainkaan vetopuuta ja neljä sellaista, joissa vetopuupitoisuus vaihteli 10—30 %. Katajakoekappale sisälsi lylyä 70 %.

Tutkimuksen tulokset käyvät ilmi reaktiipuun määrän mukaan järjestettynä seuraavasta asetelmasta sekä kuusen osalta lisäksi graafisesti kuvasta 16.

Puulaji <i>Species of tree</i>	0	Reaktiupuuprosentti, % <i>Reaction wood content, %</i>				Kokeita kpl. <i>Number of test</i>
		10—30	30—50	50—70	70—90	
		Pituuden suuntainen kutistuminen, % <i>Longitudinal shrinkage, %</i>				
Kuusi — <i>Spruce</i> . .	0.32	2.12	—	2.18	3.58	16
Kataja — <i>Juniper</i>	—	—	—	1.59	—	1
Haapa — <i>Aspen</i> . .	0.28	0.80	0.69	0.76	—	16
Leppä — <i>Alder</i> . .	0.32	0.70	—	—	—	5

Näistä ilmenee, että reaktiupuupitoisuuden lisääntyessä puun pituuden suuntainen kutistuminen suurenee erittäin selvästi. Poikkeamat johtuvat aineiston pienuudesta. Kutistuminen näyttää aluksi, reaktiipuun vähäisessä määrässä ilmautuessa, kohoavan erittäin voimakkaasti, mutta myöhemmin, suurempien reaktiupuupitoisuuksien ollessa kyseessä, kutistumisen suureneminen hidastuu, jollaiseen tulokseen on tultu aikaisemminkin mm. mahongista (PILLOW 1950) ja koivusta (OLLINMAA 1955 a). Kuusen lylypuusta tavattu suurin kutistuminen oli peräti 4.50 % ja haavan vetopuusta 1.58 %. Puhtaiden normaalipuunaineistojen kutistumiskeskisarvot ovat puulajeittain kuusella 0.32, haavalla 0.27 ja lepällä 0.32 % sekä reaktiupuunaineistojen samassa järjestyksessä 2.44, 0.77 ja 0.70 %.



Kuva 16. Kuusen pituuden suuntainen kutistuminen.

Fig. 16. Longitudinal shrinkage of *Picea excelsa*.

Reaktiipuun voimakas työskentely puun kosteuspuutisuuden vaihdellessa todettiin lukuisista poikkileikkaukseltaan noin 1 cm²:n suuruisista 20–30 cm:n pituisista sauvoista, jotka sahattiin huonekuivasta puusta. Tällöin aivan suorat sauvat pantiin veteen, jossa niiden annettiin olla uppoamispisteeseen saakka, jolloin voitiin todeta, että sauvat (reaktiopuupitoisuus 5–95 %) olivat käyristyneet siten, että lylypuu jäi niiden kuperalle ja vetopuu koveralle puolelle, mikä osoittaa lylypuun työntävää ja vetopuun vetävää vaikutusta vinossa asennossa olevan rungon pystyyn nostamiseksi. Jo 10 %:n lylypuupitoisuuden todettiin olevan riittävän mainitun ilmiön osoittamiseen, joskin sauvojen käyristyminen oli yleensä selvempi reaktiopuupitoisuuden ollessa suurempi. Tuoreita lylypuuta sisältäviä sauvoja abs. kuivaksi kuivattaessa ne käyristyivät selvästi päinvastaiseen suuntaan lylyn jäädessä koveralle puolelle seurauksena lylyn suuresta pituuden suuntaisesta kutistumisesta.

Tangentin ja säteen suuntaista kutistumista tutkittiin ainoastaan kuusen osalta. Lehtipuiden osaltahan on todettu vetopuupitoisuuden vaikuttavan suhteellisesti huomattavasti vähemmän kohottavasti kutistumiseen mainituissa suunnissa, varsinkin säteen suunnassa, pituuden suuntaiseen kutistumiseen verrattuna (mm. OLLINMAA 1955 a). Eräät tutkijat eivät ole todenneet mitään eroa normaalipuun ja vetopuuta sisältävän puun säteen suuntaisessa kutistumisessa, mm. JAYME ja HARDERS-STEINHÄUSER (1953) poppelilajeista ja CLARKE (1937) pyökistä.

Kuusen tutkimusaineisto käsittää tangentin suuntaisen kutistumisen osalta 12 ja säteen suuntaisen osalta 10 koekappaletta molempien jakautuessa tasan normaali- ja lylypuun kesken. Lylypuun puhtaan aineiston lylypitoisuus oli silmävaraisesti arvosteltuna noin 100 %, kun taas koko aineiston vastaava pro-

sentti oli tangentin suuntaisessa kutistumisessa 80–100 % ja säteen suuntaisessa keskimäärin 60 %.

Erään tekeillä olevan tutkimukseni yhteydessä sain tilaisuuden suorittaa pienen vertailun männyn normaalipuun ja lylyä sisältäneen puun (lylypuupitoisuus 80–100 %) poikittaisesta kutistumisesta tuoreesta absoluuttisen kuivaan tilaan siirryttäessä. Tangentin suuntaista kutistumista koskevia kokeita tehtiin 20 kpl., joista kuusi lylyä sisältäneestä puusta, ja säteen suuntaista kutistumista koskevia 28 kpl., joista lylyä sisältäneestä puusta seitsemän. Tutkimusten tulokset esitetään molempien puulajien osalta seuraavassa.

Puulaji <i>Species of tree</i>	Normaalipuun — <i>Normal wood</i>		Lylypuun — <i>Compression wood</i>			
	Tangentin suuntainen <i>Tangential</i>	Säteen suuntainen <i>Radial</i>	Tangentin suuntainen <i>Tangential</i>		Säteen suuntainen <i>Radial</i>	
	Koko aineisto <i>All material</i>	Koko aineisto <i>All material</i>	Puhdas aineisto <i>Pure material</i>	Puhdas aineisto <i>Pure material</i>	Koko aineisto <i>All material</i>	Puhdas aineisto <i>Pure material</i>
	Kutistumis-% — <i>Shrinkage, %</i>					
Kuusi — <i>Spruce</i> ...	6.53	4.78	3.35	3.15	3.68	2.11
Mänty — <i>Pine</i> ...	6.96	3.87	5.26	—	2.12	—

Pituuden, tangentin ja säteen suuntaisen kutistumisen perusteella laskettiin kuusen puhtaan normaalipuun ja 100 %:sen lylypuun tilavuuden kutistuminen käyttämällä TRENDELENBURGIN (1939) esittämää kaavaa, jolloin normaalipuun kutistumisprosentiksi saatiin 11.28 % ja lylypuun 9.46 %. Vetopuun tilavuuden kutistuminen on sen sijaan selvästi normaalia suurempi (mm. OLLINMAA 1955 a).

Niitä syitä, jotka johtavat vetopuun normaalia suurempaan kutistumiseen eri suunnissa, varsinkin pituussuunnassa, on mm. kirjoittaja pohtinut seikka-eräisesti aikaisemmassa julkaisussaan samoin kuin sitä, mistä puun anisotrooppinen kutistuminen yleensä johtuu (OLLINMAA 1955 a, ss. 99–102, 107–109), joten näihin kysymyksiin ei ole syytä tässä yhteydessä lähemmin palata. Mainittakoon vain, että käsillä oleva tutkimus ei ole antanut tukea BAILEYN ja VESTALIN (1937) sekä PRESTONIN (1942) väitteille trakeidien tangentin ja säteen suuntaisten seinämien erilaisen fibrillaarisen orientoitumisen merkityksestä puun poikittaisessa kutistumisessa. Sen sijaan FREY-WYSSLINGIN (1940 a–b, 1943 ja 1959) havainnot havupuiden kevätpuutrakeidien suuremmasta leveydestä säteen kuin tangentin suunnassa ja kesäpuun trakeidien säteen suuntaisten seinämien suuremmasta paksuudesta tangentin suuntaisiin verrattuna sekä hänen otaksumansa näiden seikkojen merkityksestä puun poikittaisen kutistumisen suuremmuudessa tangentin suunnassa säteen suuntaiseen verrattuna saavat vahvistuksensa tämänkin tutkimuksen osalta. Nythän voitiin todeta, että aina-

kin kuusen osalta mainittu trakeidien säteen ja tangentin suuntaisten seinämien erilainen paksuus pitää paikkansa myös kevätpuun suhteen (ss. 23 ja 24).

Lylypuun normaalipuuhun verrattuna tavattoman suuri (noin 15-kertainen) pituuden suuntainen ja verrattain pieni poikittainen kutistuminen (noin puolet normaalipuun arvosta) johtuu ilmeisesti ensi sijassa lylypuutrakeidien seinämän erikoisesta fibrillaarisesta orientoitumisesta. Myöskin lylypuun erikoisella kemiallisella koostumuksella, ennen kaikkea suurella ligniinipitoisuudella, voi olla vaikutuksensa sen poikittaisen kutistumisen pienemmyyteen normaalipuuhun verrattuna, mihin myös BOSSHARDIN (1956) tutkimustulokset viittaavat. Hän totesi ligniinin poistamisen puusta kohottavan sen kutistumista sekä tangentin että säteen suunnassa, mutta varsinkin jälkimmäisessä.

Käsillä olevankin tutkimuksen yhteydessä todettiin puhtaan lylypuun poikittaisen kutistumisen olevan normaalia pienemmän suhteellisesti vielä selvemmin säteen kuin tangentin suunnassa, lylypuun kutistumisen ollessa puhtaan normaalipuun arvoista kuusella tangentin suunnassa 48.3 ja säteen suunnassa 44.1 % (41.6 %). Vastaaviksi prosentiksi em. mäntyä koskevista tutkimustuloksista saadaan tangentin suunnassa 75.6 % ja säteen suunnassa 54.8 %. Täten lylypuun kutistumisanisotropia poikittaissuunnassa on suurempi kuin normaalipuun, vaikka lylypuun kutistuminen on kokonaisuutena katsoen isotrooppisempää kuin normaalipuun, kun otetaan pituudenkin suuntainen kutistuminen huomioon. Puun tilavuuspainon kohoamisen onkin todettu yleensä vähentävän sen kutistumisen anisotrooppisuutta sekä poikittaissuunnassa että poikittaista kutistumista pituussuuntaiseen verrattaessa (mm. CLARKE 1930, MÖRATH 1932, BOSSHARD 1956, FREY-WYSSLING 1959).

WARDROP ja DADSWELL (1948) ovat vastaavasti selittäneet vetopuun tavalista suuremman pituuden suuntaisen kutistumisen yhdeksi syyksi sen pienen ligniinipitoisuuden ja tähän voi vaikuttaa myös ja käsittääkseni vielä selvemmin poikittaista kutistumista suurentavasti, kuten BOSSHARD (1956) on todennut normaalipuukuiduista.

Lylypuun kutistuminen eri suunnissa on nytkin tehtyjen havaintojen mukaan normaalipuuhun verrattuna vielä sikäli erikoinen, että sen pituuden suuntainen kutistuminen (noin 4.50—5.0 %) on suurempi kuin tangentin ja säteen suuntaiset kutistumiset (3.15 ja 2.11 %). Täysin tyydyttävää syytä edelliseen on vaikea löytää, sillä lylypuutrakeidien seinämän poikkeuksellinen fibrillaarinen orientoituminen, jolla ko. seikka usein perustellaan, riittää selittämään osaltaan ainoastaan sen, että lylyn poikittainen kutistuminen on normaalia pienempi ja pituuden suuntainen kutistuminen normaalia suurempi, mutta ei voi selittää lylypuun pituuden suuntaisen kutistumisen suuremmuutta poikittaiseen kutistumiseen verrattuna.

Kun lylypuutrakeidien seinämän omalaatuista orientoitumista täydennetään lylypuun erikoisen kemiallisen koostumuksen huomioon ottamisella, voidaan sen poikittaista kutistumista suurempi pituuden suuntainen kutistuminen paremmin

yymmärtää. Tuntuuhan luonnolliselta, että kuitujen seinämissä oleva ligniini seinämien runsauden vuoksi pituusyksikköä kohden puun poikittaissuunnassa pituussuuntaan verrattuna vaikuttaa huomattavasti enemmän poikittais- kuin pituussuuntaista kutistumista estävästi.

Puukuitujen seinämän keskikerroksen (keskilamelli + primäärinen seinämä) on ainakin normaalikuiduissa todettu olevan poikittaisen kutistumisen pääasiallisen aiheuttajan (BOSSHARD 1956). Keskikerroksen vaikutus on kuitenkin selvän puussa, jonka tilavuuspaino on pieni ja soluseinämät siis ohuet, joten sen merkitys yksinään lienee verrattain vähäinen reaktiopuussa. Kun lylypuun trakeidien seinämissä on joka tapauksessa normaalia enemmän ligniiniä, täytyy tämän ensi sijassa pienentää puun poikittaista kutistumista ja säteen suunnassa eniten, joten lylypuun pituuden suuntainen kutistuminen voi ottamalla huomioon sen omalaatuisen trakeidien seinämien fibrillaarisen orientoitumisen nousta poikittaista kutistumista suuremmaksi.

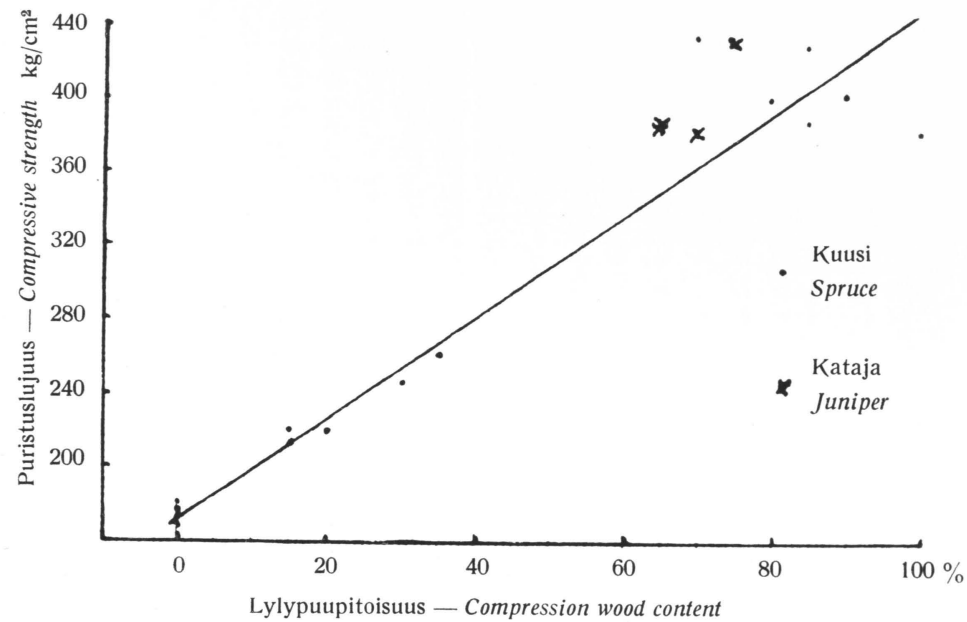
FREY-WYSSLING (1959) katsoo lylypuutrakeidien sekundäärisen seinämän puutteellisella lamellirakenteella ja vetopuukuitujen liivatemaisen seinämäkerroksen puuttuvalla lamelloitumisella olevan erinäisten lisäaineiden ohella vaikutuksensa reaktiopuun pituuden suuntaisen kutistumisen voimakkuuteen.

Puun lujuusominaisuudet

Lujuusominaisuuksista tutkittiin ainoastaan puusyiden suuntaista puristuslujuutta puun ollessa tuoreessa tilassa. Kuormitusnopeutena käytettiin noin 150—200 kg/cm² minuutissa. Puristuslujuudenhan on todettu kohoavan kuormitusnopeuden lisäytyessä 5—150 kg/cm² min., mutta sen yläpuolella nopeuden vaikutus häviää. Saksalaisten normien mukaan voidaankin kokeissa, joissa ei pyritä hienomittaukseen, lisätä kuormitusta noin 200—300 kg/cm² min. (KOLLMANN 1951). Koekappaleiden poikkileikkauksen koko vaihteli 2—4 cm², jolloin niiden korkeutena pidettiin poikkileikkauksen sivun 2.5-kertaista arvoa, siis 2.5—5 cm.

Puristuskokeita tehtiin yhteensä 20 kpl., joista tuli kuusen jokseenkin puhtaan normaalipuun osalle viisi ja lylypuun osalle, jolloin koekappaleiden lylypitoisuus vaihteli 15—100 %, 11 kpl. Katajasta, jonka lylypitoisuus vaihteli 65—75 %, suoritettiin neljä koetta. Kuusen normaalipuun puristuslujuudeksi saatiin 172 kg/cm² ja lylypuuta sisältäneen puun 325 kg/cm², katajan 395 kg/cm². Puristuslujuuden riippuvuus lylypuupitoisuudesta käy ilmi kuusen osalta seuraavasta asetelmasta ja graafisesti kuvasta 17.

0—△	Lylypuuprosentti — <i>Compression wood content, %</i>					Kokeita kpl.
	10—20	21—40	41—60	61—80	81—100	
	Puristuslujuus, kg/cm ² — <i>Compressive strength, kg/cm²</i>					No. of tests
172	217	253	—	416	399	



Kuva 17. Puusyiden suuntainen puristuslujuus (tuoreena).

Fig. 17. Compressive strength parallel to the grain (green).

Näistä ilmenee, että kuusen jokseenkin puhtaan lylypuun puristuslujuus on yli kaksinkertainen normaalipuuhun verrattuna, sen sijaan että esim. koivun vetopuun puristuslujuuden on todettu olevan tuoreena vain noin 60–70 % normaalipuun lujuudesta (OLLINMAA 1955 a). Lylypuun suuri puusyiden suuntainen puristuslujuus johtuu sen korkeasta tilavuuspainosta, suuresta ligniinipitoisuudesta ja todennäköisesti myös trakeidien seinämän suuresta fibrillaarisesta orientoitumiskulmasta kuidun pituusakselin suhteen.

Kun otetaan huomioon lylypuun normaalia suurempi tilavuuspaino, ei lylypuun paremmuus normaalipuuhun verrattuna puusyiden suuntaisessa puristuksessa ole näin selvä. Lukemalla kuvissa 15 ja 17 esitetyistä käyristä kuusen tilavuuspainot abs. kuivana ja puristuslujuudet tuoreena laskettiin puristuslujuuden ja tilavuuspainon osamääränä ns. laatuosamäärä (JANKA), jonka riippuvuus lylypuupitoisuudesta käy ilmi seuraavasta asetelmasta.

Lylypuuprosentti — Compression wood content, %										
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Jankan laatuosamäärä murtorajalla — Janka's quality quotient at limit of rupture, k_{35}/s_0										
366	349	360	372	394	419	441	464	488	510	530

Asetelmasta nähdään, että puhtasta lylypuuta edustava laatuosamäärä on lähes 50 % korkeampi kuin normaalipuun. Tilavuuspainon jyrkän kohoamisen seurauksena lylypuupitoisuuden ollessa pieni laatuosamäärä on lylypuuprosentin vaihdelta 10–20 % pienempi kuin puhtaan normaalipuun ollessa kyseessä.

Tekeillä olevan tutkimuksen yhteydessä sain tilaisuuden suorittaa pienen vertailun myös absoluuttisen kuivan männyn normaali- ja lylypuun puusyiden suuntaisesta puristuslujuudesta. Sekä normaalipuusta että lylyä vaihtelevassa määrässä sisältäneestä puusta suoritettiin kymmenen koetta. Normaalipuun lujuudeksi saatiin 693 ja lylyä sisältäneen puun 744 kg/cm², joten ero on verrattain pieni. Kun mainittuja lukuja verrataan edellä mainittuihin kuusen tuoretta puuta koskeviin lukuihin, on ilmeistä, että kuivatus vaikuttaa lylypuun puristuslujuuteen epäedullisesti normaalipuuhun verrattuna, jollaiseen tulokseen on aikaisemminkin tultu eri tutkimuksissa, kuten edellä s. 7 on mainittu.

Yhdistelmä

Tutkittujen havupuiden, männyn, kuusen ja katajan, lylypuulle on poikkileikkauksessa ominaista trakeidien paksut seinämät ja pyöristynyt muoto sekä soluvälien runsas esiintyminen. Lylypuutrakeidien seinämästä puuttuu sekundäärinen seinämän sisäkerros tai se on hyvin heikosti kehittynyt. Niiden sekundäärissä seinämässä on runsaasti säteittäisiä viiruja, jotka pitkittäisleikkauksissa näkyvät erittäin selvinä kierrejuovina fibrillien suuntaa osoittavien halkeamien ohella.

Lylypuun vastakkaiselle puolelle muodostuvan valkopuun kevätpuusolukko eroaa varsinaisesta normaalipuun solukosta vesisolujensa poikkileikkaukseltaan normaalia säännöllisemmän, usein miltei suorakaiteisen muodon ja jonkin verran ohuempien soluseinämien vuoksi. Kesäpuun trakeidien tertiäärinen seinämä vaikuttaa tavallista voimakkaammin kehittyneeltä ja omituisen poimuttuneelta lehtipuiden vetopuun tapaan.

Haavan ja harmaalepän vetopuusolukolle on ominaista ennen kaikkea puusyiden liivatemainen ulkonäkö, varsinkin haavassa, pienet soluontelot ja niiden sekundäärinen seinämän sisäkerroksen paksuus ja poimuttuneisuus sen ollessa usein irronneena muusta seinämästä. Vetopuusyiden todettiin esiintyvän haavan vuosilustoissa yhtäjaksoisesti ja samalla intensiteetillä alusta miltei viimeisiin soluriveihin saakka. Lepässä näytti vetopuun muodostuminen olevan alkukesästä intensiivisempää kuin myöhemmin kesällä koivun tapaan. Vetopuusyiden sekundäärinen seinämä on tertiääristä kerrosta lukuun ottamatta yleensä ohuempi kuin normaalipuussa.

Lylypuun trakeidit ovat keskimäärin normaalia lyhempiä, mutta vetopuusyyt normaalia pitempiä. Lepästä todettiin puusyiden pituuden positiivinen riippuvuus vuosiluston vahvuudesta.

Männyn ja kuusen normaalipuun kevätpuutrakeidit ovat säteen suunnassa leveämpiä kuin tangentin suunnassa, ja jo sen seurauksena seinämäprosentti on jälkimmäisessä suunnassa suurempi kuin edellisessä.

Lylypuun trakeidien seinämän normaalia suurempi paksuus tuli kevätpuun osalta vielä selvempänä ilmi kuin kesäpuun. Normaalipuussa on kesäpuun trakeidien seinämän paksuus suurempi kuin kevätpuun, mutta lylypuussa päinvastoin. Kesäpuun trakeidien säteen suuntaiset seinämät ovat selvästi paksummat

kuin tangentin suuntaiset sekä normaali- että lylypuussa. Kuusen osalta viittaavat kevätpuutakin koskevat mittaukset samaan tulokseen. Lylypuun sekä kevät- että kesäpuun poikkileikkauspinta-alasta lasketut seinämäprosentit, joiden välillä ei ole suurtakaan eroa, ovat yleensä verrattain lähellä normaalipuun kesäpuun vastaavia arvoja.

Vetopuusyiden seinämän suurempi paksuus normaalipuusyihin verrattuna tuli sekä haavan että lepän osalta selvästi ilmi.

Mikrokemialliset tutkimukset polarisoidun valon samanaikaisen käytön ohella osoittavat, että sekä vesisolujen että puusyiden seinämien uloimmat kerrokset antavat valtaosaltaan selvän ligniinireaktion. Sekundäärinen seinämän sisäkerros ei anna aina havupuillakaan ligniinireaktiota, vaan ainakin paikoin selluloosareaktion. Valkopuun trakeidien seinämä antaa kauttaaltaan ligniinireaktion. Vetopuusyiden sekundäärinen seinämän sisäkerros eli tertiäärinen seinämä antaa enemmän tai vähemmän selvän selluloosareaktion ligniinin määrän mukaan. Haavasta todettiin vetopuusyiden sekundäärinen seinämän ulkokerroksen antavan selvemmän ligniinireaktion kuin normaalipuusyiden vastaavan seinämäkerroksen. Suoritetut mikrokemialliset tutkimukset voidaan tulkita osoitukseksi ligniinipitoisuuden alenemisesta puusyiden ja vesisolujen ulommista seinämäkerroksista sisempiin mentäessä sekä lylypuun normaalia suuremmasta ja vetopuun normaalia pienemmästä ligniinipitoisuudesta näiden normaalipuuhun verrattuna. Reaktiopuun ja normaalipuun selluloosapitoisuudet suhtautuvat toisiinsa päinvastoin kuin ligniinipitoisuudet.

Optillisissa tutkimuksissa todettiin, että lylypuun trakeidien seinämän keskimääräinen orientoitumiskulma kuidun pituusakselin suhteen on paljon suurempi ja vetopuusyiden paljon pienempi kuin normaalikuitujen. Orientoitumiskulmassa kuusen trakeidien tangentin ja säteen suuntaisissa seinämissä ei todettu mainittavaa eroa. Polarisoitua valoa käytettäessä varmistui käsitys vetopuusyiden sekundäärinen seinämän sisäkerroksen lähes kuidun pituusakselin suuntaisesta orientoitumisesta.

Vetopuun putkiloiden lukumäärä ja putkiloprocentti on selvästi pienempi kuin normaalipuun. Putkiloiden koossa ei ole sanottavaa eroa. Mainituissa suhteissa ei todettu vaihtelua osoittavaa varmaa suuntaa enempää normaali- kuin vetopuussakaan puun pinnasta ytimeen päin mentäessä. Vuosiluston alkupuoliskon putkiloiden lukumäärän ja putkiloprosentin todettiin olevan noin kaksinkertaisen loppupuoliskoon verrattuna sekä normaali- että vetopuussa. Vetopuun osalta todettiin vallitsevan negatiivisen riippuvuuden vuosiluston vahvuuden sekä putkiloiden lukumäärän ja putkiloprosentin välillä.

Reaktiopuun ydinsäteiden lukumäärä on jonkin verran pienempi kuin normaalipuun, samoin ydinsädeprosentti vetopuun osalta. Lylypuun ydinsäteet ovat poikkileikkaukseltaan jonkin verran suurempia kuin normaalipuun, mutta vetopuun osalta asian laita on mahdollisesti päinvastoin.

Lylypuun pystysuorien pihkatiehyitten lukumäärä ja pihkatiehytprosentti on

pienempi kuin normaalipuun, mutta edellisen pihkatiehyet ovat keskimäärin jonkin verran avarampia kuin jälkimmäisen. Kuusen pihkatiehyet ovat selvästi ahtaampia ja harvalukuisampia kuin männyn. Pihkatiehyitten todettiin olevan kevätpuussa paljon yleisempiä kuin kesäpuussa. Vuosiluston vahvuuden kasvaessa pihkatiehyitten lukumäärä varsinkin männyn normaalipuussa kasvaa luston pituusyksikköä (siis tangentin suunnassa), mutta alenee pinta-alayksikköä kohden laskettuna. Pihkatiehytsuhteissa ei todettu mitään varmaa suuntaa osoittavaa vaihtelua pinnasta ytimeen päin mentäessä.

Reaktiipuun tilavuuspaino absoluuttisen kuivana on selvästi suurempi kuin normaalipuun, ja reaktiupuupitoisuuden ja tilavuuspainon välillä vallitsee positiivinen riippuvuus.

Reaktiipuun pituuden suuntainen kutistuminen on monin verroin suurempi kuin normaalipuun, varsinkin lylypuun osalta, ja reaktiupuupitoisuuden ja mainitun ominaisuuden välillä vallitsee selvä positiivinen riippuvuus. Sen sijaan lylypuun poikittainen kutistuminen on paljon normaalia pienempi, säteen suunnassa vielä selvemmin kuin tangentin. Reaktiupuuta sisältävien sauvamaisten, suorien koekappaleiden paisumiskokeissa huonekuivasta tuoreeksi, jolloin koekappaleet käyristyivät, todettiin lylypuun työntävä vaikutus pidentyessään ja vetopuun vetävä vaikutus lyhentyessään. Lylypuun tilavuuden kutistuminen on normaalia pienempi vetopuun vastakohtana.

Käsillä oleva tutkimus ei ole antanut tukea väitteille trakeidien tangentin ja säteen suuntaisten seinämien erilaisen fibrillaarisen orientoitumisen merkityksestä puun poikittaisen kutistumisen anisotrooppisuudessa. Sen sijaan havainnoilla havupuiden kevätpuutrakeidien suuremmasta leveydestä säteen kuin tangentin suunnassa ja varsinkin kesäpuutrakeidien säteen suuntaisten seinämien suuremmasta paksuudesta tangentin suuntaisiin verrattuna on ilmeisesti merkityksensä siinä, että puun tangentin suuntainen kutistuminen on säteen suuntaista suurempi. Kun mainittujen seikkojen lisäksi otetaan huomioon lylypuun normaalia suurempi ligniinipitoisuus varsinkin trakeidien säteen suuntaisissa seinämissä, seinämien omalaatuinen fibrillaarinen orientoituminen ja sekundäärin seinämän puutteellinen lamellirakenne, käy lylypuun poikkeuksellisen suuri pituuden suuntainen kutistuminen poikittaiseen kutistumiseen verrattuna paremmin ymmärrettäväksi.

Lylypuun puusyiden suuntainen puristuslujuus on tuoreena selvästi normaalia suurempi, ja lylypuupitoisuuden ja mainitun ominaisuuden välillä vallitsee positiivinen riippuvuus. Samaa voidaan sanoa JANKAN laatuosamääristä, joskaan erot eivät ole tällöin niin jyrkät lylypuun normaalia suuremman tilavuuspainon vuoksi. Sen sijaan absoluuttisen kuivan puun ollessa kyseessä ei lujuudessa ole suurta eroa normaali- ja lylypuun välillä. Jankan laatuosamäärät ovat tällöin normaalipuulla korkeammat kuin lylypuulla.

Kirjallisuusluettelo — References

- AKINS, VIRGINIA and PILLOW, MAXON Y. 1950. Occurrence of Gelatinous Fibers and Their Effect Upon Properties of Hardwood Species. — For. Prod. Res. Soc. 117. Preprint.
- APPELT, HEINZ 1950. Einführung in die mikroskopischen Untersuchungsmethoden. Potsdam.
- BAILEY, I. W. and VESTAL, M. R. 1937. The Orientation of Cellulose in the Secondary Wall of Tracheary Cells — Journ. of the Arnold Arboretum 18.
- BAUDENDISTEL, M. E. and AKINS, VIRGINIA 1946. High Longitudinal Shrinkage and Gelatinous Fibers in an Eccentric Cottonwood Log. — Journ. of For. 44.
- BISSET, I. J. W. and DADSWELL, H. E. 1950. The Variation in Cell Length within one Growth Ring of Certain Angiosperms and Gymnosperms. — Aust. For. 14.
- , DADSWELL, H. E. and AMOS, G. L. 1950. Changes in Fibre-Length within one Growth Ring of Certain Angiosperms. — Nature. Div. of For. Prod.
- , DADSWELL, H. E. and WARDROP, A. B. 1951. Factors Influencing Tracheid Length in Conifer Stems. — Australian Forestry 15.
- BOSSHARD, HANS HEINRICH 1956. Über die Anisotropie der Holzschwindung. — Holz als Roh- u. Werkstoff, Heft 8.
- BRAX, A. J. 1936. Undersökningar angående kvistens inflytande på slipmassans egenskaper. — Svenska Papperstidning 39.
- CHOW, K. Y. 1946. A Comparative Study of the Structure and Chemical Composition of Tension Wood and Normal Wood in Beech (*Fagus Sylvatica L.*). — Forestry 20.
- CLARKE, S.H. 1930. The Differential Shrinkage of Wood. — Forestry 4
- , 1936. The Influence of Cell-wall Composition on the Physical Properties of Beech Wood (*Fagus sylvatica L.*). — Forestry 10.
- , 1937. The Distribution, Structure and Properties of Tension Wood in Beech (*Fagus sylvatica L.*). — Forestry 11.
- DADSWELL, H. E. 1945. Timbers of the New Guinea Region. — Tropical Woods 83.
- , 1958. Wood Structure Variations Occurring During Tree Growth and Their Influence on Properties. — Journ. of the Inst. of Wood Science, No 1.
- , H. E. and HAWLEY, L. F. 1929. Chemical Composition of Wood in Relation to Physical Characteristics. — Journ. Ind. and Eng. Chem. 21.
- and WARDROP, A. B. 1949. What is Reaction Wood. — Australian Forestry 13.
- and WARDROP, A. B. 1954. Structure, Properties and Formation of Tension Wood. — Paper presented to subs. 13b, eighth Intern. Congress of Bot.
- and WARDROP, A. B. 1955. The Structure and Properties of Tension Wood. — Holz-forschung 4/9.
- DYER, D. 1955. Artificially Induced Tension Wood in Ash, Birch and Poplar. — Rep. from the Forest Society Journ.
- ENGLER, ARNOLD 1918. Tropismen und exzentrisches Dickenwachstum der Bäume. Zürich.
- , 1924. Heliotropismus und Geotropismus der Bäume und deren waldbauliche Bedeutung. — Mitt. der Schweiz. Centralanstalt f. das forstl. Versuchsw. 13.2.
- EWART, A. J. and MASON-JONES, A. G. 1906. The Formation of Redwood in Conifers. — Ann. of Botany 20.

- FRASER, D. A. 1952. Initiation of Cambial Activity in some Forest Trees in Ontario. — Ecology 33.
- FREY-WYSSLING, A. 1940a. Anisotropie des Schwindmasses auf dem Holzquerschnitt. — Holz als Roh- u. Werkstoff 3.
- 1940b. Die Ursache der anisotropen Schwindung des Holzes. — Holz als Roh- u. Werkstoff 3.
- 1943. Weitere Untersuchungen über die Schwindungsanisotropie des Holzes. — Holz als Roh- u. Werkstoff 6.
- 1959. Die pflanzliche Zellwand. Berlin — Göttingen — Heidelberg.
- GUSTAFSSON, CHARLEY, OLLINMAA, PAAVO J. and SAARNIO, JOUKO 1952. The Carbohydrates in Birchwood. — Acta Chemica Scandinavica 6.
- HARTIG, ROBERT 1896. Das Rotholz der Fichte. — Forstl.-Naturwiss. Zeitschr. 5.
- 1901. Holzuntersuchungen. Altes und Neues. Berlin.
- HARTMANN, FRANZ 1932. Untersuchungen über Ursachen und Gesetzmässigkeit exzentrischen Dickenwachstum bei Nadel- und Laubbäumen. — Forstwiss. Centralbl. 54.
- 1942. Das statische Wuchsgesetz bei Nadel- und Laubbäumen. Wien.
- HEISKANEN, VEIJO 1959. Puu sahateollisuuden raaka-aineena. — 100 vuotta sahateollisuutta. Helsinki.
- HERIC, P. G. 1915. Zur Anatomie excentrisch gebauter Hölzer. — Diss. d. Univers. Freiburg. Görz.
- HÄGGLUND, ERIK 1951. Chemistry of Wood. New York.
- und LJUNGGREN, S. 1933. Untersuchungen des Rotholzes von Fichte I. Die chemische Zusammensetzung des Rotholzes. — Papier - fabrikant 31. Sonderheft.
- JACCARD, PAUL 1917. Anatomische Struktur des Zug- und Druckholzes bei wagerechten Ästen von Laubhölzern. — Vierteljahrsschr. der Naturforsch. Gesell. in Zürich.
- 1919. Nouvelles recherches sur l'accroissement en épaisseur des arbres. Zürich.
- 1938. Exzentrisches Dickenwachstum und anatomisch-histologische Differenzierung des Holzes. — Ber. d. Schweiz. Bot. Gesell. 48.
- und FREY, A. 1928. Einfluss von mechanischen Beanspruchungen auf die Micellarstruktur, Verholzung und Lebensdauer der Zug- und Druckholzelemente beim Dickenwachstum der Bäume. — Jahrb. für wiss. Bot. 68.
- JANE, FRANK W. 1952. The Structure of Wood in Relation to its Properties and Uses. Abnormal Wood. — Wood 17.
- 1956. The Structure of Wood. London.
- JAYME, GEORG 1951. Über die Bedeutung des Zugholzanteils in Pappelhölzern. — Holz als Roh- u. Werkstoff 9.
- und HARDERS-STEINHÄUSER, MARIANNE 1950. Über die chemische Zusammensetzung des Zugholzes in einem Pappelholz. — Das Papier 4.
- und HARDERS-STEINHÄUSER, MARIANNE 1953. Zugholz und seine Auswirkungen in Pappel- und Weidenholz. — Holzforschung 7.
- , HARDERS-STEINHÄUSER, MARIANNE und MOHBERG, WILHELM 1951. Einfluss des Zugholzanteils auf die technologische und chemische Verwendbarkeit von Pappelhölzern. — Das Papier 5.
- , HARDERS-STEINHÄUSER, MARIANNE und MOHRBERG, WILHELM 1953. Über die Eignung verschiedener Weidenhölzer für die Gewinnung von Papierzellstoffen. — Holz als Roh- u. Werkstoff 11.
- und KOBURG, EBERHARD 1958. Über die Schnellbestimmung des Cellulosegehaltes in Pappelhölzern III. — Holzforschung, Heft 5/6.
- KLAUDITZ, WILHELM und STOLLEY, I. 1955. Über die biologisch-mechanischen und technischen Eigenschaften des Zugholzes. — Holzforschung 9.

- KOLLMANN, FRANZ 1951. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe I. Nördlingen.
- KUJALA, VILJO 1946. Koivututkimuksia. Summary: Some recent research data on birches. — Metsätiet. tutk. lait. julk. 34.1.
- LANGE, PAUL W. 1954. The Distribution of Lignin in the Cell Wall of Normal and Reaction Wood from Spruce and a Few Hardwoods. — Svenska Papperstidning 57.
- MARRA, A. A. 1942. Characteristics of Tension Wood in Hard Maple. (*Acer saccharum* Marsh). Julkaisematon. — Dept. of Wood Techn., The N.Y. State Coll. of For., Syracuse. N.Y.
- MATSUMOTO, F. 1950. Studies of Compression Wood. — J. Jap. For. Soc. 32., Morioka Coll. of Agric. and For., Iwate Univ. Bull. 26.
- MAYER-WEGELIN, H. 1951. Das Pappelholz. Eigenschaften und Verwendung. — Das Pappelbuch. Bonn.
- 1958. Die Verwenbarkeit des Pappelholzes auf Grund seines Aufbaues und seinen kennzeichnenden Eigenschaften. — Holzforschung 5/6.
- MÉR, E. 1887. De la formation du bois rouge dans le sapin et l'épicéa. — Compt. rend. Ac. sci. 104.
- 1888. Des causes qui produisent l'excentricité de la moelle dans les sapins. — Compt. rend. Ac. sci. 113.
- 1889. Recherches sur les causes d'excentricité de la moelle des sapins. — Revue des eaux et forêts 28.
- MERGEN, FRANCOIS 1958. Distribution of Reaction Wood in Eastern Hemlock as a Function of its Terminal Growth. — Forest Science, Vol. 4.
- METZGER, K. 1908. Über das Konstruktionsprinzip des sekundären Holzkörpers. — Naturwiss. Zeitschr. f. Forst- u. Landw.
- MORK, ELIAS 1928. Om tennar. — Bil. til. Tidsskr. for Skogbruk 9.
- MÜNCH, ERNST 1937. Entstehungsursachen und Wirkung des Druck- und Zugholzes der Bäume. — Forstl. Wochenschr. Silva.
- 1937—38. Statik und Dynamik des schraubigen Baues der Zellwand, besonders des Druck- und Zugholzes. — Flora oder allg. bot. Ztg., Neue Folge, 32.
- MÖRATH, E. 1932. Studien über die hygroskopischen Eigenschaften und die Härte der Hölzer. — Mitt. d. Holzforschungsanst. an der Techn. Hochschule Darmstadt 1.
- OLLINMAA, PAAVO J. 1955a. Koivun vetopuun anatomisesta rakenteesta ja ominaisuuksista. Summary: On the Anatomic Structure and Properties of the Tension Wood in Birch. — Acta Forestalia Fennica 64.3.
- 1955b. Havupuiden lylypuun rakenteesta ja ominaisuuksista. Summary: On the Structure and Properties of Coniferous Compression wood. — Erip. Paperi ja Puu n:o 11.
- 1957. Puun tilavuuspainon määrittämisestä veteenupotusmenetelmää käyttäen. Summary: Determining the Volume - weight of Wood When Using the Method of Submerging in Water. — Erip. Paperi ja Puu n:o 11.
- 1958. Vertailevia tutkimuksia puusyiden pituudesta hieskoivun kevät- ja kesäpuussa. Summary: Comparative Studies on the Length of Wood Fibres in the Spring and Summer Wood of the White Birch. — Erip. Paperi ja Puu n:o 11.
- ONAKA, FUMIHIKO 1949. Studies on Compression- and Tension Wood. — »Wood Research». Bull. of the Wood Res. Inst. Kyoto Univ. I.
- V. PECHMANN, HUBERT 1953. Untersuchungen über die Bruchschlagarbeit von Rotbuchenholz. — Holz als Roh- u. Werkstoff 11.
- PILLOW, MAXON Y. 1950. Presence of Tension Wood in Mahogany in Relation to Longitudinal Shrinkage. — U.S. Dep. of Agric., Forest Service. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
- MAXON Y. and LUXFORD, R. F. 1937. Structure, Occurrence, and Properties of Compression Wood. — U.S. Dep. Agric. Techn. Bull. 546.

- PRESTON, R. D. 1934. The Organization of the Cell wall of the Conifer Tracheid. — Philos. Trans. B. 224.
- »— 1942. Anisotropic Contraction of Wood and its Constituent Cells. — Forestry 16.
- »— 1947. The Fine Structure of the Wall of the Conifer Tracheid II. Optical Properties of Dessected Walls in *Pinus insignis*. — Proc. of the Royal Soc. B. 134.
- »— 1949. Fibre Science. Manchester.
- »— and WARDROP, A. B. 1949. — Biochem. et Biophys. Acta 3 (ref. DADSWELL 1958).
- RENDLE, B. J. 1937. Gelatinous Wood Fibres. — Tropical Woods 52.
- »— 1955. Tension Wood. A Natural Defect of Hardwoods. — Rep. from »Wood», Vol. 20.
- »— 1956. Compression Wood. A Natural Defect of Softwoods. — Rep. from »Wood», Vol. 21.
- »— 1958. A Note on Juvenile and Adult Wood. — International Association of Wood Anatomists, News Bull. No. 2.
- RÜNGER, H. G. und KLAUDITZ, W. 1953. Über Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung und den Festigkeitseigenschaften des Stammholzes von Pappeln. — Holzforschung 7.
- SANIO, G. 1863. Vergleichende Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers. — Bot. Ztg. 21.
- SCHNEIDER, F. 1896. Untersuchungen über den Zuwachsgang und den anatomischen Bau der Esche (*Fraxinus excelsior*). — Forstl. Naturwiss. Zeitschr. 5.
- SCHULTZE-DEWITZ, GÜNTER 1959. Variation und Häufigkeit der Faserlänge der Fichte. — Holz als Roh- und Werkstoff 17, Heft 8.
- SCHWAPPACH, ADAM 1897. Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume I—II. Berlin.
- SCOTT, DAVID R. M. and PRESTON, STEPHEN B. 1955. Development of Compression Wood in Eastern White Pine Through the Use of Centrifugal Force. — Forest Sci. 1.
- SIIMES, F. E. 1957. Suomen sahateollisuus. — Metsäkäsikirja II. Helsinki.
- »— 1938. Suomalaisen mäntypuun rakenteellisista ja fysikaalisista ominaisuuksista. (*Summary: On the structural and physical properties of Finnish pine wood*). — Puutekniikan Tutkimuksen Kannatusyhdistys, Julk. n:o 29.
- SINNOT, W. 1952. Reaction Wood and the Regulation of Tree Form. — Am. Jour. of Botany 39.
- SONNTAG, P. 1903. Über die mechanischen Eigenschaften des Rot- und Weissholzes der Fichte und anderer Nadelhölzer. — Jahrb. f. wiss. Bot. 39.
- STAUFFER, D. 1892. Untersuchungen über spezifisches Trockengewicht, sowie anatomischen Bau des Holzes der Birke. — Forstl. naturwiss. Zeitschr. 1.
- TRENDELENBURG, REINHARD 1932. Über die Eigenschaften des Rot- oder Druckholzes der Nadelhölzer. — Allg. Forst- u. Jagdztg. 108.
- »— 1939. Das Holz als Rohstoff. München.
- »— 1955. Das Holz als Rohstoff, 2. Aufl. Herausg. von MAYER-WEGELIN, H. München.
- WALLDÉN (VALTIALA), PAUL 1934. Tutkimuksia koivupuun anatoomisen rakenteen ja teknillisten ominaisuuksien keskinäisestä riippuvaisuudesta solumittauksien perusteella. *Referat: Untersuchungen über die Abhängigkeit der technischen Eigenschaften vom anatomischen Bau des Birkenholzes nach Zellmessungen*. — Acta Forest. Fenn. 40.
- VANDEVELDE, R. 1957. Bijdrage tot de studie van reactiehout. — Meded. Lab. Houttechnol., No. 14.
- WARDROP, A. B. 1948. Proc. 9th Annual Pulp and Paper Res. Conference, Div. of Forest Products, C.S.I.R.O.
- »— and DADSWELL, H. E. 1948, 1950 ja 1952. The Nature of Reaction Wood I—III. — Aust. Journ. of Sci. Res. Series B., Biol. Sci., Vol. 1, 3 and 5.
- »— and PRESTON, R. D. 1947. Organization of the Cell Walls of Tracheids and Wood Fibres. — Nature 160.

- WATSON, A. J. 1956. Pulping Characteristics of Eucalypt Tension Wood. — Proc. Australian Pulp and Paper Indust. Tech. Assoc. 10.
- »— and DADSWELL, H. E. 1957. Paper Making Properties of Compression Wood from *Pinus radiata*. — Rep. from Journ. of Australian Pulp and Paper Ind. Techn. Ass. Vol. 11: 3. Div. of For. Prod. Rep. No. 322.
- WEGELIUS, TH. 1939. The Presence and Properties of Knots in Finnish Spruce. — Acta Forest. Fenn. 48.1.
- WERSHING, HENRY F. and BAILEY, I. W. 1942. Seedlings as Experimental Material in the Study of »Redwood» in Conifers. — Journ. of Forestry 40.

Summary:

A STUDY ON REACTION WOOD

The compression wood (Fig. 1) of the investigated softwood species, pine (*Pinus silvestris*), spruce (*Picea excelsa*) and juniper (*Juniperus communis*) was found to be characterized in its cross section by the thick walls and rounded shape of its tracheids and the profuse occurrence of spaces. The inner layer of the secondary wall is absent or very poorly developed in the cell wall of the compression wood tracheids. Their secondary cell wall shows abundant radial striation, visible as a highly distinct spiral striation in the longitudinal section. In addition to the spiral striation, cracks indicating the orientation of the fibrils are common in the cell walls of the compression tracheids in longitudinal sections.

The spring wood tissue of the white wood that is formed on the side opposed to the compression wood (Fig. 2) differs from the tissue of actual normal wood (Fig. 4) by the cross section of its tracheids, which is more regular than normal, frequently nearly rectangular, and by its slightly thinner cell walls. The tertiary wall of the tracheids in the summer wood (Fig. 3) gives an impression of stronger development than normal and it has a peculiar buckled appearance in likeness with the tension wood of hardwood species.

The tension wood (Fig. 5) of aspen (*Populus tremula*) and alder (*Alnus incana*) was found on microscopic examination to present mainly the same characteristics as, e.g., that of our two birch species. The tension wood tissue was found to be characterized, above all, by the gelatinous appearance of the wood fibres (particularly in aspen), by its small cell cavities and by the thickness and buckling of the inner layer of the secondary wall, which was frequently detached separate from the rest of the wall. The tension wood fibres were observed to occur without interruption and with the same intensity from start to finish in the growth rings of aspen, except for the last two or three cell rows of the summer wood, which were usually found to lack tension wood fibres. In alder, the formation of tension wood seemed to be more intense in the early part of the growth ring than in its latter part, as is the case in birch. The secondary cell wall of the tension wood fibres, excepting its tertiary layer, was found to be thinner as a rule than in normal wood (Fig. 6).

The tracheids of compression wood were found to have shorter length than normal on an average (Compilation on p. 18, and Figs. 7, 8), while the tension wood fibres were found to be longer than normal on an average (Compilation on p. 22, and Figs. 9, 10). The summer wood tracheids were only slightly longer than the spring wood tracheids in the compression wood of spruce. In alder, positive correlation between the length of the wood fibres and the thickness of the growth ring was established (Compilation on p. 22, and Fig. 10).

The spring wood tracheids of the normal wood of pine and spruce were found to have greater radial than tangential width (Figs. 2 and 4), resulting in a higher cell wall percentage in the latter direction.

The thickness of the tracheid walls of compression wood in excess of normal was even more clearly manifest in the spring wood than in the summer wood (Table 1, and Figs. 11, 12). In normal wood the cell walls of the tracheids in the summer wood are thicker than those in the spring wood, while the opposite holds true for compression wood. The radially oriented walls of the tracheids in summer wood have clearly greater thickness than the tangential cell walls in normal as well as compression wood. In the case of spruce, the measurements performed on the spring wood, too, show a tendency of the same kind. In compression wood, the cell wall percentages computed from the cross section area of spring wood as well as summer wood, which are not greatly different mutually, are as a rule fairly close to the corresponding figures obtained for the summer wood in normal wood (Compilation on p. 25).

The greater thickness of the cell walls of tension wood fibres as compared to normal wood fibres was manifest in aspen as well as in alder with equal distinctness as in silver birch (*Betula verrucosa*) and more distinctly than in white birch (*Betula odorata*) in an earlier instance (Compilations on p. 25, and Figs. 13, 14).

On examining the wood cross sections with the aid of polarized light the huge inner layer of the secondary cell wall appeared as an almost black area; this constitutes proof that the orientation of the fibrils and micelles in the said layer of the tension wood cell walls is grossly different from that in normal wood fibres and in the tracheids of softwood species, that is, it is nearly parallel to the longitudinal axis of the fibre.

Microchemical studies combined with simultaneous microscopy in polarized light have shown that the outer layers of the cell walls of tracheids as well as wood fibres, i.e., their primary cell wall and the outer and middle layers of the secondary cell wall, produce predominantly a distinct lignin reaction; this is particularly notable in the instances of the middle lamella and the primary cell wall. The inner layer of the secondary cell wall was not always found to produce lignin reaction even with softwoods; on the contrary it showed cellulose reaction here and there at least. Lignin reaction was invariably obtained in the cell wall of the white wood tracheids. The inner layer of the secondary cell wall in the tension wood fibres, or the tertiary wall, produced a more or less distinct cellulose reaction according to the quantity of lignin. The foregoing is evidence of decreasing lignin content from the middle lamella towards the inner layers of the cell wall. In aspen the outer layer of the secondary cell wall of the tension wood fibres was found to produce a more distinct lignin reaction than the corresponding cell wall layer of normal wood; this can be taken to indicate that the secondary cell wall of the tension wood fibres with the exception of its inner layer may be more strongly lignified, in some cases at least, than in normal wood.

The results of the microchemical studies can be interpreted as an indication of higher than normal lignin content in compression wood and lower than normal lignin content in tension wood, as compared to corresponding normal wood. The reverse would be true for the cellulose contents of the two kinds of reaction wood in comparison with normal wood.

In the optical studies concerning the fibrillar orientation of the cell walls of the wood fibres (Table 2) the observation could be made that the average orientation angle of the tracheid cell walls in compression wood with relation to the longitudinal axis of the fibre is much greater and that in the tension wood fibres much less than the angle found for normal fibres. There was no noteworthy difference in regard to this orientation angle between the tangential and radial cell walls of the tracheids.

The number of vessels and the proportion of vessels in tension wood was found to be distinctly lower than in normal wood, as could also be noted without measurement (Table 3). There was no noteworthy difference between tension wood and normal wood with respect to the dimension of the vessels. No positive trend indicative of any change of the number or proportion of vessels from the outer surface of the trunk toward the pith could be noted either in the normal or in the tension wood in either species investigated in this instance.

(Compilation on p. 31 and Table 3). The number of vessels and proportion of vessels in the earlier half of the growth ring were found to be about twice those in its later half both in normal and in tension wood. In tension wood a negative correlation could be established between the width of the growth ring and the number and percentage of vessels (Table 4).

The number of medullary rays in compression as well as tension wood is somewhat lower than in normal wood and the same applies to the proportion of medullary rays in tension wood (Compilation on p. 33). The medullary rays in compression wood have slightly larger cross section than those in normal wood, while the opposite is possibly true for tension wood.

The number of vertical resin canals and the proportion of vertical resin canals in compression wood are lower than in normal wood but the resin canals in compression wood are slightly more wide than in normal wood on an average. The resin canals in spruce are clearly less wide and less in number than in pine (Compilation on p. 34). The canals were found to be much more common in spring wood than in summer wood. With increasing width of the growth ring, the number of resin canals per unit length (i.e., in the tangential direction) increases particularly in the normal wood of pine but their number per unit area decreases (Table 5). No clear trend of change in the number or proportion of resin canals from the surface of the trunk towards the pith could be noted.

The volume weight of reaction wood in absolutely dry condition is distinctly higher than that of normal wood and positive correlation exists between reaction wood content and volume weight (Compilation on p. 36, and Fig. 15).

The longitudinal shrinkage of reaction wood, particularly of compression wood, is several times that of normal wood and distinct positive correlation exists between the reaction wood content and the said shrinkage (Compilation on p. 37, and Fig. 16). The transversal shrinkage of compression wood, again, is much less than that of normal wood; this is even more clearly observable in the radial than in the tangential direction (Compilation on p. 39). Swelling tests with rod-shaped, straight test specimens from air-dry to green condition, resulting in curvature of the rods, revealed the pushing effect of compression wood on elongation and the pulling effect of tension wood on contraction. The volume shrinkage of compression wood is less than that of normal wood, in contrast to tension wood.

The present investigation did not furnish any corroboration of the proposed significance of the different fibrillar orientation in the tangential and radial cell walls of the tracheids with respect to the anisotropy in the transversal shrinkage of wood. On the other hand the observations of the greater radial than tangential width of the tracheids in the spring wood of the softwood species and particularly those of the greater thickness of the radial tracheid walls in the summer wood as compared with the tangential walls obviously carry significance in relation to the fact that wood displays greater shrinkage tangentially than radially. If, in addition to these circumstances, one takes into account the greater than normal lignin content of compression wood, particularly of the radial cell walls of its tracheids, the peculiar fibrillar orientation of the cell walls and the deficient lamellar structure of the secondary cell wall, the exceptionally high longitudinal shrinkage of compression wood as compared with its transversal shrinkage is more readily understandable.

The compressive strength of compression wood parallel to the grain in green condition was found to be clearly higher than normal and positive correlation could be established between this strength and the compression wood content (Compilation on p. 41, and Fig. 17). The same can be said of Janka's quality quotient (k_{35}/s_0) although the differences were not equally distinct, owing to the fact that the volume weight of compression wood is higher than normal (Compilation on p. 42).

The strength of compression wood in absolutely dry condition was found to be nearly the same as that of normal wood. The former was only a little higher than the latter. Janka's quality quotient of normal wood is in this case higher than that of compression wood.