

KOIVUN VETOPUUN  
ANATOMISESTA RAKENTEESTA  
JA  
OMINAISUUKSISTA

PAAVO J. OLLINMAA

*ON THE ANATOMIC STRUCTURE AND  
PROPERTIES OF THE TENSION WOOD  
IN BIRCH*

*SUMMARY*

HELSINKI 1955

## Alkusanat

Kehoituksen käsillä olevan tutkimuksen aiheen selvittämiseen sain opettajaltani, professori MATTI JALAVALTA, syksyllä v. 1947 ja sen jälkeisen lukuvuoden käytinkin aihetta koskevan tai sitä sivuavan kirjallisuuden tutkimiseen. Koepuuaineisto on kerätty suurimmaksi osaksi kesällä v. 1948 ja sitä on täydennetty vielä seuraavana vuonna.

Tutkimuksista on suurin osa tehty Helsingin yliopiston Metsäteknologisen laitoksen laboratoriossa, jossa vallinneista miellyttävistä työskentelyolosuhteista olen kiitollinen sanotun laitoksen esimiehelle, professori MATTI JALAVALLE, sekä sen henkilökunnalle kokonaisuudessaan. Kiitokseni kohdistuu erikoisesti myös metsänhoitaja ALFONS LINDFORSIIN, joka on avustanut kirjoittajaa tunnollisesti monissa aikaa ja tarkkuutta vaativissa tutkimuksissa.

Tutkimukseen liittyvät röntgendiffraktiokuvat on otettu ja osittain tulkittu Teknillisen Korkeakoulun teknillisen fysiikan laboratoriossa professori MARTTI KANTOLAN toimesta, josta lausun hänelle parhaat kiitokseni.

Kemialliset analyysit ja paperikromatograafiset tutkimukset on suoritettu Oy Keskuslaboratoriossa. Työn suorittajille, dipl.ins. PAUL ÄLANDERILLE ja fil. kand. JOUKO SAARNIOLLE, olen tästä suuresti kiitollinen. Myötämielisestä suhtautumisesta tutkimustani kohtaan sekä monista arvokkaista neuvoista olen kiitollisuuden velassa myös fil. tri HANNES SIHTOLALLE.

Tutkimuksen käsikirjoituksen ovat omien erikoisalojensa osalta lukee neet professorit MATTI JALAVA, VILJO KUJALA ja MARTTI KANTOLA sekä fil. tri CHARLEY GUSTAFSSON ja dipl. ins. JAAKKO PARONEN, josta samoin kuin heiltä saamistani arvokkaista ohjeista ja kritiikistä lausun parhaat kiitokseni. Erikoisesti muistan professori VILJO KUJALAN, joka vaivojaan säästämättä on lukenut käsikirjoituksen useampaankin kertaan tehden sen johdosta monia varteen otettavia huomautuksia ja parannusehdotuksia.

Tutkimukseen liittyvät graafiset kuvat on piirtänyt veljeni, tullitarkastaja PENTTI OLLINMAA, mistä kiitän häntä.

Vaimoni SIRKKA-LIISA OLLINMAA on avustanut minua koepuuaineiston hankkimisessa ja oikoluvussa, mistä esitän hänelle sydämelliset kiitokseni.

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

Kaikille muillekin, jotka ovat tutkimukseni valmistumiseksi julkaisukuntoon tavalla tai toisella myötävaikuttaneet, esitän täten kiitokseni.

Tutkimuksen suorittamiseksi olen saanut taloudellista tukea Suomen Kulttuurirahastolta ja Suomen Metsätieteelliseltä Seuralta. Tästä samoin kuin siitä, että viimeksi mainittu on ottanut tutkimuksen julkaisusarjaansa, lausun parhaat kiitokseni.

Kaikki valokuvat, ellei kuvaajaa ole erikoisesti mainittu, ovat kirjoittajan ottamia.

Helsingissä, elokuun 1 päivänä 1955.

*Paavo J. Ollinmaa*

## Sisällysluettelo

	Sivu
Johdanto .....	7
Tutkimusmenetelmä .....	12
Koeuiden otto .....	12
Koekappaleiden ottaminen koepuista .....	13
Mittausten suoritus .....	16
Tutkimusten suoritus ja saadut tulokset .....	18
Eksentrisen paksuuskasvu .....	18
Vetopuun käyttäytyminen tavallisissa työstökoneissa ja sen makroskooppiset tuntomerkit .....	22
Puun mikroskooppinen rakenne .....	27
Ilman mittauksia tavallisessa valomikroskoopissa todettavat tuntomerkit .....	28
Solu- ja solukkomittaukset .....	35
Puusyihin kohdistuneet mittaukset .....	35
Puusyiden pituus .....	36
Puusyiden läpimitta ja niiden seinämän paksuus .....	40
Putkiloihin kohdistuneet tutkimukset .....	46
Putkiloiden lukumäärä .....	46
Putkiloiden läpimitta ja muoto .....	51
Putkiloprosentti .....	54
Ydinsäteisiin kohdistuneet tutkimukset .....	57
Ydinsäteiden lukumäärä ja ydinsädeprosentti .....	58
Ydinsäteiden poikkileikkauksen koko ja muoto .....	60
Eri solukkolaatujen osuus puussa .....	61
Soluseinämän rakenne .....	62
Puun kemiallinen kokoonpano .....	75
Värjäyskokeet puun erisuuntaisista leikkauksista ja mikrokemialliset tutkimukset .....	75
Kemiallinen analyysi .....	81
Tuhkapitoisuus .....	81
Liukoisuus asetoniin .....	82
Cross & Bevanin selluloosapitoisuus .....	83
Korjattu selluloosapitoisuus .....	84
Pentosaanipitoisuus .....	85
Ligniiniipitoisuus .....	85
Paperikromatograafiset tutkimukset .....	87
Vastustuskyky kemikalioiden vaikutusta vastaan .....	89

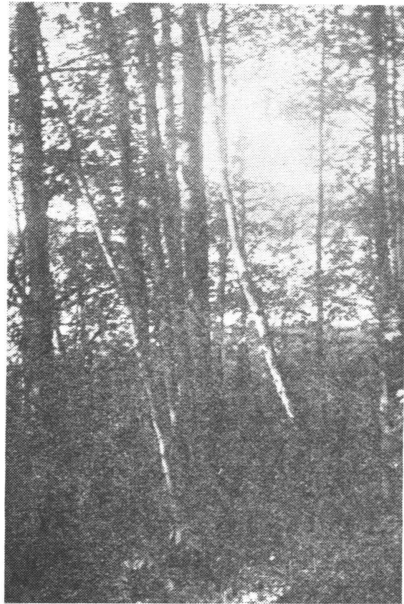
Liukenevaisuus veteen.....	89
Happojen syövyttävä vaikutus .....	90
Puun fysikaaliset ominaisuudet.....	92
Tilavuuspaino .....	92
Lämpöarvo .....	98
Hygroskooppiset ominaisuudet .....	99
Kutistuminen ja paisuminen .....	99
Pituuden suuntainen kutistuminen.....	102
Tangentin suuntainen kutistuminen .....	109
Säteen suuntainen kutistuminen .....	112
Tilavuuden kutistuminen .....	114
Muut hygroskooppiset ominaisuudet .....	116
Uppoamiseen tarvittava aika ja kosteuspitoisuus upotessa .....	116
Vettymis- ja kuivumisnopeus .....	118
Vapaan ja sidotun veden määrä sekä puuaineksen ominaispaino ..	120
Puun lujuusominaisuudet .....	122
Puristuslujuus puusyiden suuntaan .....	123
Kovuus .....	133
Muut lujuusominaisuudet .....	136
Puristuslujuus puusyitä vastaan kohtisuoraan .....	136
Vetolujuus syiden suuntaan .....	137
Taivutuslujuus .....	138
Kimmoisuus .....	140
Lohkaisu- ja halkaisulujuus sekä puusyitä vastaan kohtisuora vetolujuus .....	142
Sitkeys .....	142
Vetopuupitoisuuden merkityksestä puuta eri tarkoituksiin käytettäessä.....	146
Puun kotitarvekäyttö ja mekaaninen puunjalostusteollisuus .....	147
Paperi- ja kuitulevyteollisuus .....	149
Yhteenveto .....	154
Kirjallisuusluettelo — <i>References</i> .....	157
<i>Summary</i> .....	171
Taulukot — <i>Tables</i> .....	209
Graafiset piirroksot (kuvat 30—45) — <i>Graphic figures (fig. 30—45)</i> .....	247

## Johdanto

Nuorissa puissa, etenkin lehtipuissa ja myös vanhempien puiden ohuissa oksissa, muodostuu reaktiopuuta, joka on yleisesti käytetty yhteisnimitys lehtipuiden vetopuulle ja havupuiden lylypuulle, vaihtelevasti eri puolille runkoa ja oksia, mikä aiheutuu ilmeisesti siitä, että nämä ovat kovin herkkiä erilaisille ulkopuolisille vaikuttimille, kuten tuulelle, lumen paineelle, valolle jne. (mm. JACCARD 1917 ja CHOW 1946). Tämän johdosta mm. koivun vahvoissa rungoissa vetopuuta esiintyy yleisesti sisimmissä vuosirenkaissa ytimen lähellä, vaikka runko olisikin pystysuora ja ulommilta osiltaan täysin vetopuuton. Saman havainnon ovat tehneet mm. DADSWELL ja WARDROP (1949) australialaisista lehtipuista sekä JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG (1951) lukuisista poppelilajeista. Viimeksi mainituista kahden ensimmäisen tutkijan uusimmat tutkimukset (1954) osoittavat erittäin selvästi tuulen merkityksen vetopuun muodostumisessa nuoriin ja ohkaisiin poppelin runkoihin, jolloin he toteisivat vetopuuosuuden näissä kasvavan tyvestä latvaan päin. Erikoisesti sellaisissa hybrideissä, joiden latvus oli laajalle levittäytyvä pitkin oksineen sekä suurine ja raskaine lehtineen, todettiin rungon vetopuuosuus korkeaksi niiden erikoisen suurta tuulen vaikutuksille alttiutta vastaavasti.

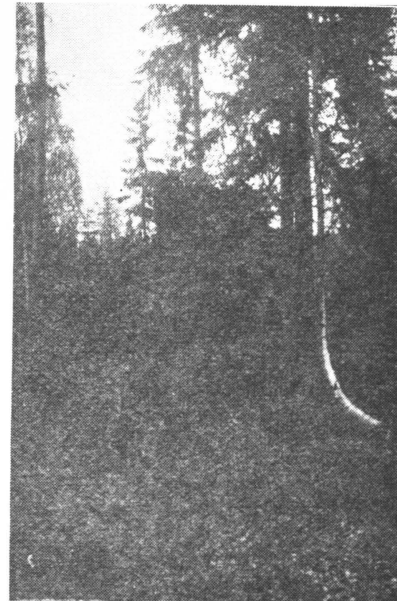
Jos em. nuoret puuyksilöt ja ohuet oksat jätetään sivuun, voidaan vetopuu luonnon oloissa esiintyvänä määritellä omalaatuiseksi puusolukoksi, jota muodostuu yleensä syystä tai toisesta vinoon asentoon joutuneiden lehtipuurunkojen tai niiden osien ja vaakasuorien tai sitä lähentelevien vahvojen oksien yläpuolelle ja jonka tehtävänä on edellisessä tapauksessa saattaa runko jälleen luotiviivan suuntaiseen asentoon tai pysyttää se siinä (kuvat 1 ja 2) sekä jälkimmäisessä tukea ja kannattaa oksaa.

Näin ollen lehtipuiden vetopuu vastaa tehtäviensä puolesta havupuiden lylyä, joka on käytännöllisessä elämässä puuta eri tarkoituksiin käytettäessä meidän maassamme edellistä paremmin tunnettu lähinnä ehkä siitä syystä, että lyly poikkeaa normaalipuusta ulkonäöltään selvemmin kuin meikäläisten lehtipuiden vetopuu. On kuitenkin huomattava, että MARRA (1942) on todennut sokerivaahterassa saattavan esiintyä veto-



Kuva 1. Rauduskoivu nousemassa pystysuoraan asentoon (Helsinki, Viikin koetila).

*Fig. 1. Silver birch returning to upright position (Helsinki, experimental farm of Viik).*



Kuva 2. Pystysuoraan asentoon noussut hieskoivu (Kuorevesi).

*Fig. 2. White birch, returned to upright position (Kuorevesi).*

puun ohella samanaikaisesti myös lylyä, joka tällöin sijoittuu aivan samoin kuin havupuissakin, siis vetopuun vastapuolelle. Jos näitä molempia reaktiipuulaatuja esiintyy samanaikaisesti, on vetopuun todettu olevan runsaamman ja sen esiintymisen korostetumman (BROWN, PANSIN ja FORSAITH 1952).

Tärkeimmät tekijät, jotka saattavat puun rungon vinoon asentoon, ovat kalteva kasvupaikka, maan vieremä ja siitä johtuva juuristotuen toispuolinen katoaminen, naapuripuiden läheisyys, etenkin lehtipuiden latvan suuntautuminen valoon metsiköiden ja niissä olevien aukkojen reunoissa ja lumen paine. Kaikissa näissä tapauksissa puun runko alkaa muodostaa reaktiipuuta jouduttuaan vinoon asentoon, lehtipuut vetopuuta yläpuolelleen ja havupuut lylyä alapuolelleen, kunnes se on päässyt jälleen normaaliin pystysuoraan asentoonsa. Lisäksi on huomattava, että myös jatkuvasti samalta suunnalta puhaltava tuuli metsikön reunassa joh-

taa usein reaktiopuun muodostumiseen. Tällöin muodostuu vetopuuta lehtipuiden tuulta vastassa olevalle puolelle ja lylyä havupuiden suoja- puolelle. Myöskin huolimattomasti suoritettu istuttaminen voi aiheuttaa taimen tai nuoren puun vinon asennon ja sen seurauksena reaktiopuun muodostumisen. Puun rungon kallistumisen suuntaan vaikuttavat usein monet tekijät samanaikaisesti, jolloin reaktiopuun sijoittuminen puuhun määräytyy näiden tekijöiden resultanttivaikutuksen mukaan. Sama ilmiö on havaittavissa oksissa.

Kysymystä reaktiopuun syntyyn vaikuttavista ja sen muodostumiseen yleensä liittyvän eksentrisen paksuuskasvun syistä ovat käsitelleet lukuisat tutkijat. Näistä varhaisemmat edustavat yleensä sitä kantaa, että reaktiopuun muodostuminen ja eksentrisen kasvu ovat seurauksia painovoimasta sekä tämän puun rungon ja oksien eri osissa aiheuttamista jännityksistä, havupuiden lylypuu ja hypotrofia puristus- sekä lehtipuiden vetopuu ja epitrofia vetojännityksistä (mm. MÉR 1887—89, GABNAY 1892, HARTIG 1901, METZGER 1908, JACCARD 1917, ENGLER 1918, BÖNING 1922, BÜSGEN 1927).

Myöhemmät tutkimukset ovat osoittaneet, että vaikkakin painovoima lienee näiden reaktioiden alkuun panija, eivät puristus ja veto sinänsä voi olla syynä reaktiopuun muodostumiseen. Niinpä ei ole onnistuttu saamaan aikaan reaktiopuuta puun piteuden suuntaisella puristuksella tai vedolla (mm. RÜNGER ja KLAUDITZ 1953). Sitä paitsi maahankin saakka kaatunut puu voi muodostaa reaktiopuuta aina tyvestä latvaan saakka, vaikkei sen runko ole minkään jännityksen alainen ja vaikka sen pystyyn nouseminen ei enää onnistuisikaan. Tällaisia havaintoja ovat tehneet havupuista mm. HARTIG (1901), BÜSGEN (1927) ja HALLER (1935) sekä kirjoittaja hieskoivusta.

Vasta viime vuosikymmeninä on todettu, että reaktiopuun muodostumisessa on kysymys lähinnä painovoiman ohjaamasta kasvuilmiöstä, joka on sekä havu- että lehtipuilla riippumaton vallitsevista puristus- ja vetojännityksistä ja että reaktiopuun toisilleen päinvastainen sijoittuminen havu- ja lehtipuissa pohjautuu lylypuun työntö- ja vetopuun vetovaikutukseen puuta tai sen osaa normaaliin asentoon saatettaessa (mm. E WART ja MASON-JONES 1906, MORK 1928, HARTMANN 1932—42, MÜNCH 1937—38, JACCARD 1938, SINNOTT 1952).

Lukuisat tutkijat korostavat sitä, että vaikka painovoima näyttää olevan välittömänä ärsykkeenä reaktiopuun muodostumisessa, myös muut tekijät, kuten lumi, tuuli ja valo, vaikuttavat epäsuorasti (mm. PRIESTLEY ja TONG 1927, WERSHING ja BAILEY 1942 sekä DADSWELL ja

WARDROP 1949). Tämä onkin luonnollista, koska nämä kaikki ovat tekijöitä, jotka voivat saada verson poikkeamaan normaalista asennostaan.

CLARKE (1939) sanoo, että on syytä uskoa kaikkien puulajien kykenevän muodostamaan reaktiipuuta ja että jo muutamien asteiden poikkeama pystysuorasta asennosta on riittävä aiheuttamaan tällaisen solukon muodostumista niiden runkoon. Oudon poikkeuksen tekee kuitenkin mm. JACCARD'in (1917) mukaan lehmus, jossa ei ole tavattu normaalia selvästi poikkeavia vetokuituja. DADSWELLIN ja WARDROPIN (1949) sekä JAYMEN ja HARDERS-STEINHÄUSERIN (1954) mukaan ovat eri puulajit samanlaisissakin olosuhteissa taipuvaisia muodostamaan eri suuressa määrässä vetopuuta.

MÜNCH (1940) koettaa selittää, miten lylypuun piteneminen ja vetopuun lyheneminen tapahtuu, samoin JALAVA (1952) lylypuun pitene-

misen. Viimeaikaiset tutkimukset osoittavat, että kasvuaineet eli -hormoonit ovat yhteydessä reaktiipuun muodostumiseen (mm. WERSHING ja BAILEY 1942, ONAKA 1949, SINNOTT 1952 ja FRASER 1952). Jo aikaisemmatkin havainnot silmujen esiintymisrungsaudesta vinossa asennossa olevan puun rungon eri puolilla viittaavat tähän suuntaan (mm. STRASBURGER 1891, JOST 1901, SWARBRICK 1927 ja SNOW 1933). WERSHING ja BAILEY (1942) saivat havupuiden taimet muodostamaan lylypuuta sivelemällä niiden pintaan kuoren alle  $\beta$ -indolytikkahappoa (heteroauksiini). Samanlaiseen tulokseen tuli ONAKA (1949) käyttämällä lisäksi naftyletikkahappoa. Lisäksi hän totesi auksiinipitoisuuden olevan vinossa asennossa olevien havupuurunkojen alapuolessa suuremman kuin yläpuolessa.

Kuten edellä olevasta ilmenee, on niitä olosuhteita ja syitä, jotka saattavat puun muodostamaan reaktiipuuta sekä sitä lain alaisuutta, joka on todettavissa reaktiipuun erilaisessa sijoittumisessa havu- ja lehtipuihin, tutkittu verrattain paljon. Ei voida myöskään väittää, että reaktiipuun anatomista rakennetta ja ominaisuuksia olisi tutkittu vähän, varsinkin lylypuun osalta. Vetopuusta tutkimuksia on tosin huomattavasti vähemmän, joskin niidenkin määrä aivan viime vuosina on paljon kasvanut. Erikoisesti näyttää vetopuun tutkimisesta tulleen suorastaan muotiasia anglosaksisissa maissa, kuten Iso-Britanniassa, Yhdysvalloissa ja Australiassa, ja samaan suuntaan kehitys kulkee ilmeisesti myös mm. Saksassa ja Japanissa. Suurimpana heikkoutena tähän saakka tehdyissä vetopuun rakennetta ja ominaisuuksia koskeissa tutkimuksissa on ilmeisesti se, että ne ovat huomattavalta osaltaan enemmän tai vähemmän pisto-

kokeen luontoisia ja perustuvat sellaisina yleensä kovin pieniin aineistoihin. Näiden luettelemiseen ei niiden lukuisuuden ja tutkimuskohteiden moninaisuuden vuoksi voida tässä yhteydessä ryhtyä, vaan ne esitetään jäljempänä kunkin eri tutkimuksen osan yhteydessä verrattain seikkaperäisesti.

Tämän tutkimuksen lähimpänä tarkoituksena on verrata toisiinsa sekä hieskoivun (*Betula pubescens*) että rauduskoivun (*B. verrucosa*) normaali- ja vetopuun anatomista rakennetta ja ominaisuuksia.

Tutkimuksen tarpeellisuus on ilmeinen, kun otetaan huomioon, että nimenomaan koivun vetopuun anatomista rakennetta ja ominaisuuksia on tutkittu ennestään varsinkin käytännön tarpeita ajatellen hyvin vähän ja vain joihinkin harvoihin kohtiin rajoittuen (mm. KNY 1882, LÄMMERMAYR 1901, JACCARD 1917 ja ENGLER 1918) tutkimustulosten ollessa osittain ristiriitaisiakin. Koska koivut ovat maamme taloudellisesti tärkeimmät lehtipuulajit, on tutkimuksen kohdistaminen niihin erikoisesti meillä paikallaan.

Edellisen perusteella päätti kirjoittaja yrittää hankkia mainittujen koivulajien vetopuun sekä mahdollisuuksien mukaan yleensäkin koivun puun anatomisesta rakenteesta ja ominaisuuksista riittävän suureen tutkimusaineistoon perustuvan selvityksen. Tutkimusten kohteiksi tuli vetopuun esiintyminen koivussa, sen muodostumiseen yleensä liittyvän eksentrisen paksuskasvun voimakkuus, puun käyttäytyminen tavallisissa työstökoneissa ja sen makroskooppiset tuntomerkit, puun mikroskooppinen rakenne puusyihin, putkiloihin, ydinsäteisiin ja soluseinämän rakenteeseen kohdistuvine tutkimuksineen, puun kemiallinen kokoonpano, puun vastustuskyky eräiden kemikalioiden vaikutusta vastaan, puun fysikaaliset ominaisuudet tilavuuspainoon ja hygroskooppisiin ominaisuuksiin kohdistuvine tutkimuksineen sekä puun lujuusominaisuudet keskittymällä erikoisesti puusyiden suuntaiseen puristuslujuuteen ja kovuuteen eri suunnissa ja tekemällä näistä saatavien tulosten perusteella päätelmiä muistakin lujuusominaisuuksista.

Tutkimukset kohdistuvat ensi sijassa runkopuuhun, mutta ne on ulotettu useassa tapauksessa myös oksapuuhun. Milloin aineiston määrä ja laatu on sen suinkin sallinut, on saatuja tutkimustuloksia käytetty hyväksi päätelmien tekemiseksi yleensäkin koivun anatomisesta rakenteesta ja ominaisuuksista sekä vertailujen tekemiseksi hies- ja rauduskoivun välillä näissä suhteissa.

## Tutkimusmenetelmä

### Koepuiden otto

Runkoon muodostuvan vetopuun tutkimiseen käytettävien koepuiden etsiminen keskitettiin erikoisesti sellaisille kasvupaikoille, joilla puut yleensä joutuvat jossakin vaiheessaan vinoon asentoon ja muodostavat sen seurauksena reaktiupuuta, kuten rinnemaille, jokien ja purojen rantapenkereille, ojien varsille sekä metsikköjen ja niissä olevien aukkojen reunamille. Runkokoepuiden jakaantuminen eri kasvupaikkojen kesken esitetään taulukossa 4.

Runkokoepuiksi pyrittiin valitsemaan varttuneita, tyvestään selvästi käyriä, aikanaan vinossa asennossa kasvaneita tai edelleenkin kasvavia koivuja, joissa vetopuun voitiin olettaa olevan hyvin muodostuneen. Niiden jakautuminen eri metsätyyppien kesken esitetään taulukossa 1. Sekä korvet että rämeet luettiin kasvullisiin metsämaihin kuuluviksi. Runkokoepuiden jakautuminen eri latvuserosten kesken esitetään taulukossa 2 ja eri ikäluokkiin jakautuminen kantoleikkauksesta määritettynä taulukossa 3.

Oksien tutkimiseksi valittiin koepuiksi vain vallitseviin latvuseroksiin kuuluneita, väljässä tilassa kasvaneita, tuuheita ja vahvaoksaisia puita, joiden oksien pintaosissa vetopuun muodostumisen voitiin odottaa noudattavan selvää säännönmukaisuutta.

Tutkimusaineisto käsittää runkopuun osalta 94 koepuuta, joista 61 hies- ja 33 rauduskoivua. Niistä otettiin 56 runkoa Kuhmosta, etupäässä valtionmetsistä, ja 32 Helsingistä Viikin koetilan metsistä. Edellisistä on 40 hies- ja 16 rauduskoivua ja jälkimmäisistä 15 hies- ja 17 rauduskoivua. Lopuista kuudesta koepuusta, jotka ovat hieskoivuja, otettiin neljä Nurmeksen ja kaksi Kuoreveden valtionmetsistä.

Oksien tutkimiseksi otettiin 14 koepuuta Viikin koetilan metsistä OMT-maalta. Ne jakautuvat tasan hies- ja rauduskoivun kesken.

Koepuiden lukumäärä nousee näin ollen kaikkiaan 108:aan.

Koepuiksi otettiin luonnollisesti vain sellaisia puita, jotka näyttivät silmävaraisesti arvosteltuina kutakuinkin terveiltä. Koska koivut pyrkivät olemaan usein vikanaisia, oli paikoin suoritettava ankaraakin valintaa ja moni puu oli hylättävä vielä kaadon jälkeenkin (myös JALAVA 1946). Tämä lisäsi huomattavasti työn määrää.

Hies- ja rauduskoivun tunteminen ei tuottanut sanottavia vaikeuksia, koska kaikki koepuut otettiin kesäaikana puiden ollessa täydessä lehdessä.

Ennen koepuun kaatamista merkittiin sen rungon tyviosaan sinillidulla suunta, jonne se oli kallellaan.

### Koekappaleiden ottaminen koepuista

MÜNCH (1937—38) ilmaisee pitävänsä puutteenä sitä, että reaktiupuuta tutkittaessa on useimmiten verrattu keskenään vain reaktiupuuta ja verson päinvastaisen puolen puuta, mutta ei reaktiupuuta ja häiriintymättä kasvaneen puun normaalipuuta. Tällä mielipiteellä onkin varmasti oikeutuksensa, mutta ottaen huomioon sen, että saman puulajin täysin samanlaisissa olosuhteissa kasvavat, samanikäiset ja samaan latvuserrokseen kuuluvat yksilötkin saattavat poiketa lujuus- ym. ominaisuuksiltaan huomattavasti toisistaan, tuntuu vertailuaineiston hankkiminen reaktiupuulle pitämällä aineiston suuruus käytännöllisten mahdollisuuksien rajoissa kokonaan toisista, häiriintymättömästi kasvaneista puista epäilyttävältä.

Sitä paitsi lukuisat tutkijat (mm. ENGLER 1918, BÖNING 1922 ja KNUCHEL 1947) sanovat, että lehtipuissa vetopuun vastakkaisella puolella oleva puu ei eroa ominaisuuksiltaan sanottavasti niiden normaaleissa olosuhteissa muodostuvasta puusta, joten sitä kutsutaankin tässä tutkimuksessa normaalipuiksi.

Sen sijaan JACCARD'in (1917) mukaan lehtipuiden vaakasuorien oksien alapuolelle muodostuu puristuskuituja, jotka ovat ohutseinäisiä ja tavallista enemmän puutuneita (vrt. MARRA 1942 sekä BROWN ym. 1952).

Koepuun kaadon jälkeen mitattiin kannon korkeus. Tämän jälkeen sahattiin koepuusta tyvestä alkaen niin pitkä kappale, että se käsitti enemmän tai vähemmän käyrän rungon osan kokonaan ja sen lisäksi jonkin verran suoraakin runkoa. Tämän pituudeksi tuli tavallisesti 0.5—1.5 m. Joistakin rungoista otettiin koekappaleita ylempääkin mutkien kohdalta ja mitattiin niiden korkeus tyvestä alkaen. Koepuiden Helsin-

kiin kuljetuksen jälkeen ne pantiin heti vesialtaaseen, jossa niiden annettiin olla upoksissa koekappaleiden sauhukseen saakka.

Eri tutkimuksiin käytettäviä koekappaleita runkopuun pätkistä otettaessa nämä sahattiin sirkkelissä 10–30 cm:n pituisiin osiin puun käyryydestä ja siitä riippuen, mitä tutkimuksia mistäkin voitiin sopivimmin tehdä, siten että mittaus aloitettiin tyvestä mitatusta mutkan keskikohdasta molempiin suuntiin. Saadut kappaleet numeroitiin sen mukaan juoksevasti.

Tällaista menetelmää oli pakko käyttää senkin vuoksi, että noustessaan pystyyn puun runko usein jopa sivuuttaa pystysuoran asennon, toisin sanoen käyristyy liikaa, jolloin reaktiupuuta alkaa muodostua päinvas-taiselle puolelle, ja näin voi mutkittelua jatkua latvaan saakka etenkin lehtipuilla (myös JALAVA 1952). Tällöin puu ilmeisesti etsii alkuperäistä sisäisen tasapainotilan edellyttämää painovoiman suhteen jännityksetöntä olotilaansa. Kirjoittaja varmistui liikkakäyrityksilmiön ja reaktiupuun vastaavan muodostumissuunnan vaihtelun keskinäisestä riippuvaisuudesta eräästä männystä ja hieskoivusta suoritetun tutkimuksen perusteella päätkimällä niiden rungon tyvestä lähtien 10 cm:n osiin niin pitkälle kuin mutkittlevaa runkoa riitti.

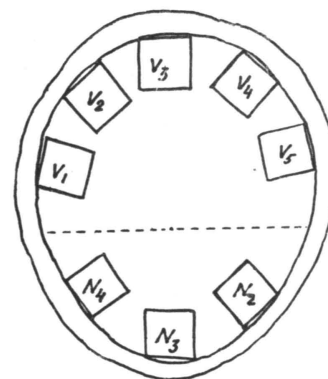
Edellisestä ilmenee, että kun reaktiupuuta sisältävästä puun rungosta otetaan koekappaleita normaali- ja reaktiupuun vertailemiseksi toisiinsa, on etenkin mutkittleva runko syytä katkoa mahdollisimman lyhyiksi pätkiksi reaktiupuun sijainnin toteamiseksi kustakin poikkileikkauksesta erikseen. Jos luotetaan vain rungon kaltevuussuuntaan tyvässä ja rungon pätkä jaetaan sen mukaan kahteen puoliskoon, joita sitten vertaillaan keskenään, voidaan saada hyvinkin harhauttavia tutkimustuloksia, jotka eivät kuvaa enempää normaali- kuin reaktiupuutakaan. Jos tutkimus rajoittuu vain aivan lyhyeen puun tyviosaan, jossa reaktiopuu tyven säännöllisestä, tasaisesta ja suunnaltaan muuttumattomasta käyryydestä päätellen sijaitsee koko matkan samalla puolella runkoa, voidaan luonnollisesti ottaa pitempiä koekappaleita. Nämä näkökohdat otettiin huomioon tässä tutkimuksessa koekappaleita eri tarkoituksiin otettaessa.

Saadut pätkät halkaistiin koepuun runkoon ennen sen kaatamista merkittyä kallellaanolosuuntaa osoittavaa merkkiä ja tarkkaa silmämääräistä tutkimusta hyväksi käyttäen siten, että normaali- ja vetopuun puoliskot pintapuuta ajatellen saatiin eroon toisistaan. Näistä otettiin tarvittavat koekappaleet tarkoin mitaten ja numeroiden siten, että oltiin kulloinkin selvillä siitä, mistä kohdasta runkoa kukin koekappale oli peräisin. Näin ollen ne saatiin normaali- ja vetopuun puolelta tarkoin samoilta

korkeuksilta ja muutenkin toisiaan vastaavilta kohdilta rinnakkaiskappaleina. Puun rakennetta koskeviin tutkimuksiin otettiin koekappaleet aina kuorellisina, jolloin niistä voitiin määrittää toisiaan vastaavat vuosirenkaat.

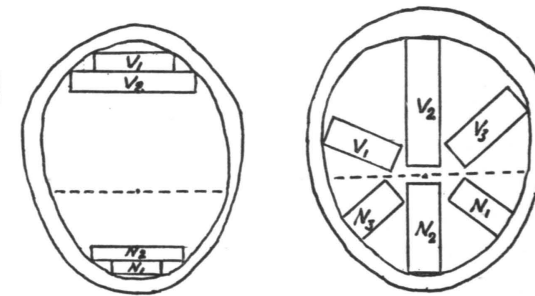
Kuva 3 osoittaa tapaa, jolla koekappaleet otettiin anatomisiin, tilavuuspainoa, lujuutta, hygroskooppisia ominaisuuksia, pituuden suuntaista kutistumista ja kemiallista kokoonpanoa koskeviin tutkimuksiin. Koepuun ollessa riittävän järeä otettiin muutamissa tapauksissa pinnasta otetun koekappalesarjan lisäksi sen sisäpuolelta toinen sarja, joka erotettiin numeroinnissa pääsarjasta.

Tangentin ja säteen suuntaisen kutistumisen määrittämiseksi otettiin koekappaleet 1 cm:n vahvuisista kiekkoista toisiaan vastaavilta kohdilta normaali- ja vetopuun puolelta kuvan 4 osoittamalla tavalla.



Kuva 3. Koekappaleiden ottaminen ja numeroiminen puun anatomista rakennetta ja lujuusominaisuuksia koskevia tutkimuksia varten.

Fig. 3. The taking and numbering of specimens for the investigation of the anatomical structure and strength characteristics of wood.



Kuva 4. Koekappaleiden ottaminen puun tangentin ja säteen suuntaista kutistumista koskeviin tutkimuksiin.

Fig. 4. The taking of specimens for the investigation of the tangential and radial shrinkage of wood.

Kunkin valmiin koekappaleen numero muodostui näin ollen seuraavista tekijöistä: koepuun numero (esim. 56), normaali- vai vetopuu (N tai V), monesko 10 cm:n pituinen pätkä alas- tai ylöspäin mitatusta mutkan keskikohdasta lukien (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub> jne.) ja merkintä, joka osoitti koekappaleen asennon puun poikkileikkauksessa latvasta päin kat-



sottuna (tämä ilmaistiin kirjaimen N tai V liitettävällä alaindeksinumerolla).

Oksatutkimuksiin valittiin koivujen vahvoja, mahdollisimman vaaka-suoria alaoksia, joiden korkeussijainti maasta luettuna mitattiin. Näiden halkaistusta tyviosasta otettiin tarvittavat koekappaleet anatomisiin, lujuus- ja pituuden suuntaista kutistumista koskeviin tutkimuksiin. Koekappaleiden sijainnin määrittelemiseksi ilmaistiin vain, monenneltä 10 cm:n osuudelta ylä- tai alapuolelta oksan tyvestä mitattuna ne otettiin. Anatomisten ominaisuuksien tutkimiseksi otettiin koekappaleet kuorellisina kuten runkopuustakin.

Runkopuun koekappaleet anatomisen rakenteen tutkimiseksi otettiin etupäässä mutkan keskikohdan seuduilta ja sen alapuolelta ja oksista aivan läheltä niiden tyveä, tangentin ja säteen suuntaista kutistumista koskeviin tutkimuksiin yleensä aivan rungon tyvestä.

Puun kemiallista kokoonpanoa sekä fysikaalisia ja lujuusominaisuuksia koskeviin tutkimuksiin käytettiin mahdollisimman oksattomia ja tutkimuksen kannalta muutenkin virheettömiä koekappaleita, joten niitä lopullisesti valmistettaessa oli useiden koepuiden osalta käytettävä ankarakin karsintaa.

Rungon ja oksien paksuuskasvun eksentrisyyden määrittämiseksi otettiin niiden tyviosasta kiekkoja rajoittumalla vain muutamia tyypillisimpiin tapauksiin.

### Mittausten suoritus

Puun eksentristä paksuuskasvua koskevissa tutkimuksissa suoritettiin mittauksia sekä suoraan poikkileikkauskiekoista että mikroskooppisesti ohuista leikkauksista.

Puun käyttäytymistä pitkittäis- ja poikittaissahauksessa sekä höyläyksessä ja niissä muodostuvien pintojen laatua tarkkailtiin silmämääräisesti. Samoin tutkittiin niitä vaikeuksia, joita esiintyy puuta turvemyllyssä jauhettaessa ja syntyneen purun laatua.

Puun mikroskooppista rakennetta tutkittaessa tehtiin ensin yleisiä havaintoja sellaisista tuntomerkeistä, jotka voitiin havaita ilman mittauksiakin. Puusyiden pituus- sekä niiden läpimitan ja seinämän paksuuden mittaukset suoritettiin maseroiduista puunäytteistä. Seinämän paksuuden mittauksiin käytettiin lisäksi myös puun poikkileikkauksia, joista myös putkiloiden lukumäärää, läpimittaa ja muotoa sekä putkiloprosenttia koskevat tutkimukset suoritettiin. Ydinsäteiden kokoa ja muotoa sekä nii-

den lukumäärää ja ydinsädeprosenttia koskevat tutkimukset suoritettiin tangentin suuntaisista leikkauksista. Saatujen tulosten perusteella tehtiin laskelmia eri solukkolaatujen osuudesta puussa.

Puusyiden seinämän rakennetta tutkittiin mikroskooppisesti erittäin ohuista sekä tangentin suuntaisista että poikkileikkauksista polarisoitua valoa käyttäen, mutta myös maseroiduista ja sen jälkeen erikoismenetelmin käsitellyistä kuitunäytteistä. Mikroskooppisia tutkimuksia täydennettiin röntgensädetutkimuksilla.

Yleispiirteisen käsityksen saamiseksi puun kemiallisesta kokoonpanosta suoritettiin värjäyskokeita puun erisuuntaisista pinnoista sekä ohuista poikkileikkauksista kloorisinkkijodiliuosta reagenssina käyttäen. Tarkempien tulosten saamiseksi suoritettiin kemiallisia analyyseja sekä erityisesti puun hiilihydraattikokoonpanon selvittämiseksi paperikromatografisia tutkimuksia. Puun vastustuskyvyn toteamiseksi kemikaloiden vaikutusta vastaan tutkittiin puun liukenevaisuutta kylmään veteen sekä rikki-, typpi- ja suolahapon syövyttävää vaikutusta.

Puun fysikaalisista ominaisuuksista määritettiin tilavuuspaino uuni-kuivana veteen upottamalla. Puun lämpöarvoa arvosteltiin sen kemiallisen kokoonpanon perusteella. Puun hygroskooppisista ominaisuuksista tutkittiin sen kutistumista pituuden, tangentin ja säteen suunnassa tuoreesta uunikuivaan tilaan siirryttäessä, ja saatujen tulosten perusteella tehtiin laskelmia puun vastaavasta tilavuuden kutistumisesta. Muista hygroskooppisista ominaisuuksista tutkittiin puun kosteuspitoisuutta upotessa ja sen ollessa vedellä kyllästetty, uppoamiseen tarvittavan ajan pituutta sekä vettymis- ja kuivumisnopeutta. Saatujen tulosten perusteella tehtiin laskelmia vapaan ja sidotun veden määrästä puussa sekä puunaineksen ominaispainosta.

Puun lujuusominaisuuksia tutkittiin sen ollessa tuoreessa tilassa. Kokeita suoritettiin puusyiden suuntaisesta puristuslujuudesta sekä kovuudesta erikseen puun poikkileikkauspintojen, tangentin ja säteen suuntaisten pintojen osalta. Puristuslujuus määritettiin murtolujuutena ja kovuuskokeissa käytettiin Brinellin—Jankan menetelmää. Saatujen tulosten ja kirjallisuudessa esiintyvien tietojen perusteella tehtiin päätelmiä puun muista lujuusominaisuuksista, kuten puristuslujuudesta puusyitä vastaan kohtisuoraan, vetolujuudesta syiden suuntaan ja niitä vastaan kohtisuoraan, taivutuslujuudesta sekä tasaisessa että iskutaivutuksessa, kimmoisuudesta, lohkaisu- ja halkaisulujuudesta sekä sitkeydestä.

Mittausten suorittamisessa käytetyistä menetelmistä on seikkaperäisemmät selostukset kunkin tutkimuksen osan yhteydessä.

## Tutkimusten suoritus ja saadut tulokset

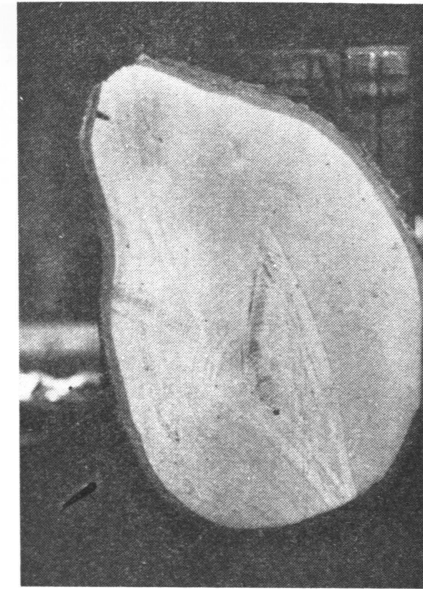
### Eksentrisen paksuuskasvu

Kallellaan olevien lehtipuurunkojen taikka oksien epitrofinen paksuuskasvu on todettu hyvin monista puulajeista, mm. koivusta, lepästä, haavasta, lukuisista poppelilajeista, raidasta, vaahterasta, jalavasta, tamesta, lehmuksesta, pyökistä, valkopyökistä, valeakaasiasta, saarnesta, pihlajasta, omenapuusta, pähkinäpensaasta ja orapihlajasta sekä lukuisista australialaisista ja japanilaisista puulajeista (mm. BARY 1877, HERING 1904, URSPRUNG 1905—06, METZGER 1908, GOEBEL 1913, HERIC 1915, JACCARD 1917, ENGLER 1918, HABERLANDT 1918, PRIESTLEY ja TONG 1927, CLARKE 1930 a ja 1937, HARTMANN 1932, HALLER 1935, MÜNCH 1937—38, BAUDENDISTEL ja AKINS 1946, DADSWELL ja WARDROP 1949 ja ONAKA 1949).

ENGLER (1918) sanoo paksuuskasvun eksentrisyyden olevan ylempänä rungossa yleensä voimakkaimman mutkan jyrkimmässä kohdassa heikentyen tästä molempiin suuntiin. ONAKA (1949) mainitsee eräiden japanilaisten lehtipuusukujen, kuten *Gardenia* ja *Buxus*, olevan taipuvaisia hypotrofiaan havupuiden tapaan. Lisäksi hän sanoo myös kuoren eksentrisen kasvun olevan ominaista sekä havu- että lehtipuulle reaktiipuun muodostumisen yhteydessä.

PRIESTLEY ja TONG (1927) sanovat oksan eksentrisyyden olevan voimakkaimmillaan yleensä tyvessä ja heikkenevän kärkeen päin varsinkin riippuvissa oksissa ja samoin myös pystyoksissa, joiden tyviosa on kutakuinkin vaakasuora. ENGLER (1918), BÜSGEN (1927) ja CLARKE (1930 a ja 1937) mainitsevat eri lehtipuulajien oksien paksuuskasvun olevan aivan tyvessä kuitenkin usein hypotrofisen.

Kuva 5 esittää kiekkoa, joka on otettu Kuhmossa MT-metsikössä aukon reunassa välipuuna kasvaneen ja vetopuuta koko ikänsä selvästi yläpuolelleen muodostaneen hieskoivun rungon käyrästä tyvestä. Vuosirenkaiden lukumäärä kiekossa on 66 ja säteiden pituudet ilman kuorta veto-



Kuva 5. Poikkileikkaus vetopuuta muodostaneen hieskoivun tyvestä.

Fig. 5. Cross-section from the butt of a white birch which has developed tension wood.

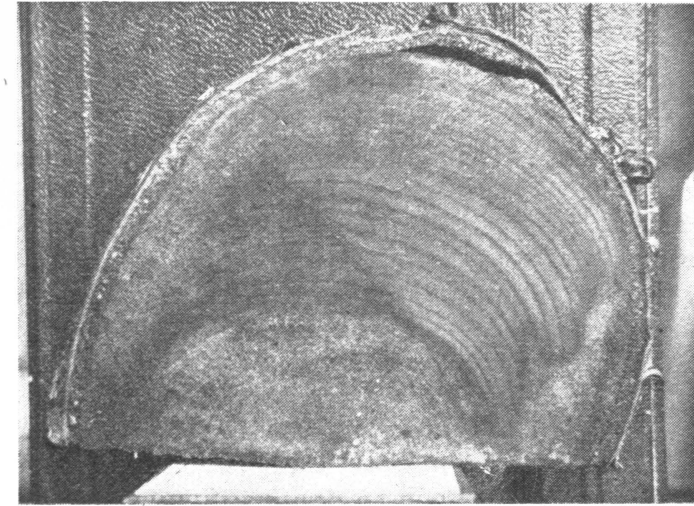
puun puolella 110 ja normaalipuun puolella 32 mm, joten edellinen on jälkimmäistä yli kolme kertaa suurempi. Vuosirenkaiden keskimääräiseksi vahvuudeksi vetopuussa tulee 1.67 ja normaalipuussa 0.48 mm. Erään toisen hieskoivun, joka kasvoi myös MT-maalla verrattain väljässä tilassa välipuuna Kuorevedellä ja jota kuva 2 esittää, tyvestä otetussa kiekossa olivat säteiden pituudet normaali- ja vetopuun puolella ilman kuorta 19 ja 73 mm ja vastaavat kuoren paksuudet 1.5 ja 4 mm. Vuosirenkaiden lukumäärän ollessa 15 tulee niiden keskimääräiseksi vahvuudeksi vetopuun puolella 4.9 ja normaalipuun puolella 1.3 mm. Vuosirenkaiden vahvuus selvimmin muodostuneessa vetopuuvyöhykkeessä yhdeksänä viime vuotena vaihteli 4.5—6.5 mm ollen normaalipuussa samoina vuosina keskimäärin vain noin 1 mm.

Vetopuuta muodostaneiden koivujen tyvessä oli yläpuoli kuitenkin verrattain harvoin niin voimakkaasti kehittynyt alapuoleen verrattuna kuin kahdessa edellä selostetussa tapauksessa, joissa puu oli muodostanut samassa suunnassa vetopuuta koko ikänsä syntymästään alkaen kaatamiseen saakka. Ainakin yhdessä hieskoivussa puun poikkileikkaus käyrästä tyvestä osoittautui jokseenkin sentriseksi ja yhdessä raudus- sekä

hieskoivussa alapuoli jopa voimakkaammin kehittyneeksi kuin yläpuoli. Vetopuu oli kuitenkin näissäkin tapauksissa muodostunut etupäässä rungon yläpuolelle. Eksentrisyyden todettiin olevan yleensä voimakkaimman rungon tyvessä ja heikkenevän ylöspäin mentäessä.

Sen toteamiseksi, tapahtuuko paksuuskasvun elpymisen koivun rungon tyviosan yläpuolella ja heikkeneminen alapuolella samanaikaisesti ja miten selvästi rungon jouduttua äkkiä vinoon asentoon, otettiin koepuiksi eräs Kuhmossa maantien varrella olevalla tielle viettävällä VT-kankaan rinteellä välipuuna kasvanut 5 m:n korkuinen ja noin 60 vuoden ikäinen hieskoivu, joka sorakuopan kaivamisen vuoksi oli juuristotuen yhtäkkiä tien puolelta kadotessa joutunut vinoon asentoon, mutta sen jälkeen jälleen vääntänyt runkonsa jokseenkin pystyyn. Tämän tyviosasta, mutkan keskikohdasta, noin 20 cm:n korkeudelta maasta otettiin sekä normaali- että vetopuun puolelta kuoresta lähtien rinnakkaiskoekappaleet, joista kuumassa vedessä sekä alkoholin ja glyseriinin liuoksessa suoritetun perusteellisen pehmennyksen jälkeen leikattiin ohuet preparaattit mikroskooppisesti okulaarimikrometrillä suoritettavaa lustojen vahvuusmittausta varten. Käytetty suurennus oli 32-kertainen ja kustakin lustosta tehtiin kolme mittausta, joiden keskiarvot esitetään taulukossa 5 tilan säästämiseksi kolmen vuosirenkaan ryhmissä.

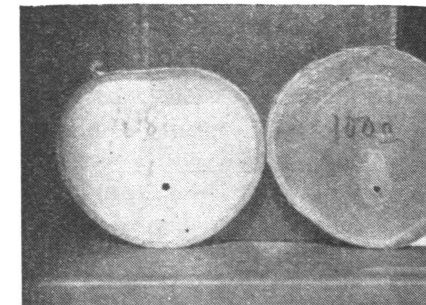
Taulukosta 5 ilmenee, että koivu on parantanut paksuuskasvuun yläpuolellaan huomattavasti 22 v. ennen kaatoa, jolloin vuosirenkaan vahvuus on noussut 0.95:stä 1.49 mm:iin. Tämä näkyy selvästi silmävaraisestikin ko. kohdasta sahattua kiekkoa tarkasteltaessa, kuten kuva 6 osoittaa. Samanaikaisesti on paksuuskasvu rungon alapuolella heikentynyt erittäin selvästi, nimittäin 0.52:sta 0.11 mm:iin. Ko. sorakuoppa, jonka reunalla koivu kasvoi, oli siis ilmeisesti kaivettu 22 vuotta ennen puun kaatamista, mikä sopikin täysin yhteen paikallisilta asukkailta saadun tiedon kanssa. Kun laskettiin 22:n viimeisen vuoden vuosirenkaan vahvuuksien keskiarvo normaalipuun puolelta, saatiin siksi 0.09 mm sen oltua seitsemänä aikaisempaa vuotena 0.61 mm. Vetopuun puolelta saatiin vastaaviksi arvoiksi 1.74 ja 1.03 mm. Muutamana viime vuotena vuosirenkaan vahvuus vetopuun puolella on ollut jopa 45-kertainen normaalipuuhun verrattuna. Näistä luvuista ilmenee, että paksuuskasvun heikkeneminen rungon alapuolella on ollut suhteellisesti monin verroin selvempi kuin sen lisääntyminen yläpuolella. Että viimeksi mainittu ei ole ollut sanottua jyrkempi, johtuu varmaankin osaltaan siitä, että ko. puu kasvoi rinnemaalla, jolla sen paksuuskasvu oli jo ennen sorakuopan kaivamista jossain määrin eksentrisen.



Kuva 6. Poikkileikkaus hieskoivusta, joka on muodostanut vetopuuta tyveensä 22 vuotena ennen kaatamista, kloorisinkkijodilla käsiteltynä.

*Fig. 6. Cross-section from a white birch which has developed tension wood in its butt during 22 years before felling, stained with chloriodide of zinc.*

Taulukossa 6 esitetään vielä mittaustuloksia viiden vetopuuta muodostaneen koepuun tyvestä. Niistä neljä oli hieskoivuja, yksi, n:o 80, rauduskoivu. Tämä alkoi muodostaa vetopuuta 12 vuotta ennen kaatamista, jolloin paksuuskasvu normaalipuun puolella aleni 2.42:sta 0.76 mm:iin.



Kuva 7. Poikkileikkaukset hies- ja rauduskoivun vaakasuorien oksien tyvestä, jälkimmäinen kloorisinkkijodilla käsiteltynä.

*Fig. 7. Cross-sections from the bases of horizontal branches of white and silver birch, the latter stained with chloriodide of zinc.*

Erään hieskoivun 4 m:n korkeudelta otetun vaakasuoran oksan tyven läheltä sahatusta kiekosta mittausta osoitti säteen pituudeksi alapuolella (normaalipuu) ilman kuorta 15 mm ja yläpuolella (vetopuu) 32 mm. Kuoren paksuudeksi saatiin vastaavasti 2.0 ja 2.5 mm. Erään rauduskoivun 2 m:n korkeudelta otetun, samoin oksan tyven läheltä sahatun kiekon säteen pituudeksi ilman kuorta saatiin alapuolella 15 mm ja yläpuolella 36 mm sekä kuoren vahvuudeksi vastaavasti 1.5 ja 2.5 mm. Molemmilla tapauksissa oli siis oksan paksuuskasvu yläpuolella enemmän kuin kaksinkertainen alapuoleen verrattuna, ja myös kuoren vahvuus noudatti samaa suuntaa, joskaan ei niin voimakkaasti. Tutkitut oksakiekot näkyvät kuvassa 7, rauduskoivun kloorisinkkijodilla käsiteltynä.

Kokonaisuutena katsoen ilmeni eksentrisyys koivun vaakasuorissa tai sitä lähentelevissä oksissa selvänä epitrofiana. Poikkeuksen teki kuitenkin usein aivan oksan tyvi, joka voi olla hypotrofinenkin. Tästä huolimatta vetopuu rajoittui pääasiassa oksan yläpuolelle. Saadut tulokset vahvistavat siis em. ENGLERIN (1918), BÜSGENIN (1927) ja CLARKE'IN (1930 a ja 1937) tekemiä havaintoja. Yleensä oksien eksentrisyyden todettiin olevan voimakkaimman lähellä niiden tyveä ja heikkenevän kärkeen päin, joten saatu tulos sopii yhteen mm. PRIESTLEYN ja TONG'IN (1927) toteamuksen kanssa.

Vetopuun muodostumiseen liittyvästä paksuuskasvun eksentrisyydestä saadut tulokset sopivat yhteen aikaisempien tutkimustulosten kanssa ja osoittavat koivun paksuuskasvun olevan vähäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta epitrofisen sekä rungossa että oksissa kuori mukaan luettuna. Samalla havaitaan, että kun koivun runko joutuu vinoon asentoon, se reagoi muuttuneeseen olotilaansa välittömästi paitsi kiihdyttämällä paksuuskasvua yläpuolellaan, myös hidastamalla sitä erittäin voimakkaasti alapuolellaan. Tämän vuoksi rungon poikkileikkausala pysyy yleensä suuruudeltaan samana kuin se olisi, jos puu kasvaisi edelleenkin pystysuorassa asennossa pelkästään normaalia puuta muodostaen, kuten jo JACCARD (1938) on huomauttanut.

#### **Vetopuun käyttäytyminen tavallisissa työstökoneissa ja sen makroskooppiset tuntomerkit**

MÜNCH (1937—38) totesi mm. poppelista, pajulajeista, vaahterasta ja lepästä, että kun sahataan geotrooppisesti taipunutta lehtipuuta ala- tai yläpuolelta alkaen, saha ei lainkaan ahdistaa, vaan sahausrako pikemmin-

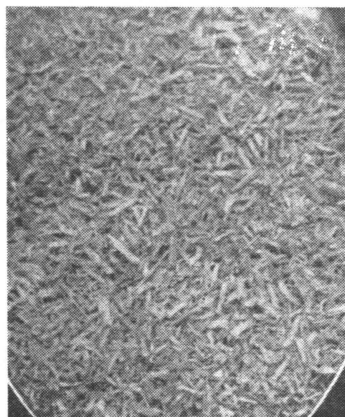
kin leviää yhä enemmän pitemmälle sahattaessa. Sen sijaan MARRA (1942) sanoo sokerivaahteran poikittaissahauksessa terän erikoisesti ahdistavan vetopuun puolella ja kuumenevan liikaa, aloitettiinpa sahaus kummalta puolelta tahansa. Terän ahdistamisen ja kuumenemisen hän totesi myös vetopuun pitkittäissahauksessa samoin kuin DADSWELL ja WARDROP (1949) lukuisista australialaisista lehtipuista.

CLARKE (1937) huomasi pyökkiä sorvattaessa vetopuun irtautuvan pitkinä, murtumattomina, jokseenkin taipuisina nauhoina vastakohtana normaalipuun lyhyille, murtuneille ja hauraille lastuille.

Kirjoittajan tuoreita koivukoepuita sirkkelissä sahatessaan esiintyneistä vaikeuksista tekemät havainnot sopivat molempien koivulajien osalta täysin yhteen MARRAN (1942) lausunnon kanssa. Vetopuun aiheuttama vastustus, mikä ilmeni terän usein yhtämittäisenä takeltelemisenä ja tavattomana kuumenemisena, oli pitkittäissahauksessa vielä suurempi kuin poikittaissaha-

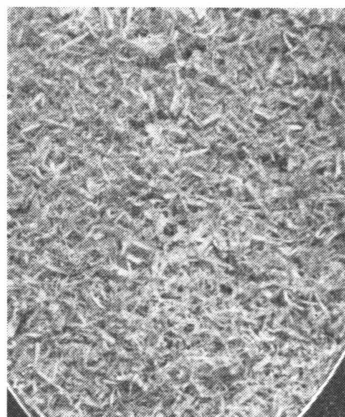
Vetopuusta lähtevä sahanpuru eroaa normaalipuusta saatavasta siinä suhteessa, että edellinen on silmään pistävän hienojakoista ja villamaista, hahtuvamaisen pehmeää ja pitkäsäikeistä säikeiden ollessa toisiinsa kiottuneita, kun taas jälkimmäinen on karkeampaa, tikkumaista ja lyhyttä. Sama ilmeni myös huonekuivia puunäytteitä vertailevien kemiallisten analyysien suorittamiseksi turve- ja kemikaliomyllyssä jauhettaessa. Edellisessä puusta lohotut tikut jauhautuivat pyörivien, uurrettujen pyörölevyjen ja jälkimmäisessä terien välissä. Vetopuuta jauhettaessa syntyi erittäin hienoa, pölymäistä jauhetta runsaasti, kun taas normaalipuusta tällaista ainesta tuli erittäin vähän. Turvemyllyssä vetopuu vastusti jauhatus huomattavasti enemmän kuin normaalipuu pysäyttäen tuon tuostakin sen sähkökäyttöisen moottorin.

Purun karkeus käy ilmi verrattaessa toisiinsa hieskoivun normaali- ja vetopuusta turvemyllyssä saatuja jauhatus tuloksia kuvissa 8 ja 9. Vetopuusta saadun purun villavuus ja kuohkeus normaalipuuhun verrattuna ilmenee siitä, että kun punnittiin analyysivaa'alla 5 g mainittujen kuvien esittämää huonekuivaa purua, vaati vetopuusta syntynyt puru paljon suuremman tilavuuden kuin normaalipuusta syntynyt. Tilavuudet määritettiin mittalasia käyttämällä. Vetopuun purulle saatiin tulokseksi 8.1 cm<sup>3</sup>/g ja normaalipuun 5.4 cm<sup>3</sup>/g. Vastaaviksi arvoiksi poppelin myllyssä jauhettaessa saadusta purusta saivat RÜNGER ja KLAUDITZ (1953) vetopuulle 17.2 cm<sup>3</sup>/g ja normaalipuulle 11.5 cm<sup>3</sup>/g. Vetopuun puru vaati siis molemmissa kokeissa 50 % suuremman tilavuuden painoyksikköä kohden kuin normaalipuu.



Kuva 8. Turvemyllyn purua hieskoivun normaalipuusta.

Fig. 8. Normal wood of white birch after grinding in the peat mill.



Kuva 9. Turvemyllyn purua hiskoivun vetopuusta.

Fig. 9. Tension wood of white birch after grinding in the peat mill.

JACCARD (1917) huomasi lepästä, että vetopuu värjäytyy ilmassa vähemmän kuin tavallinen puu. ENGLERIN (1924) mukaan ei lehtipuiden normaali- ja vetopuulla ole ulkonaisesti selvästi näkyviä eroja. CLARKE (1937) sanoo pyökin vetopuun näkyvän poikkileikkauksessa hopeanhohoisina ja kiiltävinä vöinä. HARTMANN (1942) kiinnittää huomiota saaren ja jalavan vetopuun silmään pistävän suureen valon läpäisevyyteen. ONAKA (1949) ilmoittaa useista japanilaisista lehtipuista suorittamiensa tutkimusten perusteella vetopuun olevan silkin kiiltoista, mutta normaalipuuta tummempaa. DADSWELL ja WARDROP (1949) sanovat vetopuun myös lukuisissa australialaisissa lehtipuissa esiintyvän paljon normaalia tummempina, tiiviinä ja kovina vöinä. Myös HARTMANN (1932) mainitsee kovuuden tammen, vaahteran ja jalavan vetopuun tunnusmerkiksi. PILLOW (1950) sanoo mahongin vetopuun olevan normaalia tummempaa ja poikkileikkaukseltaan nukkaista. AKINS ja PILLOW (1950) mainitsevat vetopuukuitujen esiintymisestä milloin yksittäin, milloin eristettyinä ryhminä tai leveinä nauhoina. JANE (1952) sanoo puulajia mainitsematta, että vetopuu ei ole kovin silmään pistävää, joskin se on joskus väriltään normaalipuuta tummempaa. Lisäksi hän sanoo vetopuun tuntomerkitsevän hopeisen kiillon.

Poikkileikkauksessa erottuvat vetopuuvyöhykkeet sekä hies- että rauduskoivussa selvästi ympärillä olevasta puusta vaaleampina, silkin kiilto-

sina, usein vaha- tai sarveismaisina alueina, jotka sormin koeteltaessa tuntuvat silkkimäisen sileiltä ja kynnellä tai teräaseella painettaessa sarveismaisen tiiviiltä ja leikattaessa kovilta.

Vetopuu esiintyy koivuissa milloin laajoina ytimeistä pintaan saakka ulottuvina yhtäjaksoisina sektoreina, milloin vain muutamia vuosirenkaita käsittävinä kapeina vyöhykkeinä puun pinnassa tai kapeina sirpeinä ja laajempinakin laikkuina puun sisäosissa. Toisinaan vetopuu ilmenee vain erittäin hajallisena, ikäänkuin säikeittäisenä tai kimpuittaisena, kuten AKINS ja PILLOW esittävät, jolloin poikkileikkauksen pinta tuntuu nukkaishelta tai karvaiselta ja vetopuusäikeiden päät taipuvat sahattaessa lakoon sirkkelin terää vastaan erottuen ympäristöstään kiiltävinä rihmoina. Eräissä tapauksissa vetopuuta näyttää muodostuvan kylläkin useina peräkkäisinä vuosina, mutta selvänä vain kasvukauden alkupuoliskon aikana. Tällöin kapeat, kiiltävät ja vaaleat, joskus nukkaisheltaiset vyöhykkeet vuorottelevat miltei normaalisilta näyttävien, kasvukausien loppupuolella syntyneiden vyöhykkeiden kanssa. Vetopuun vaaleus ja kiilto tulevat usein selvimiksi puun jonkin verran kuivuttua.

Oksien poikkileikkauksissa todettiin vetopuusirpejä sisäosissa kaikilla puolilla, mutta, kuten JACCARD (1917) huomauttaa, ei saman vuosirenkaan vastakkaisilla puolilla.

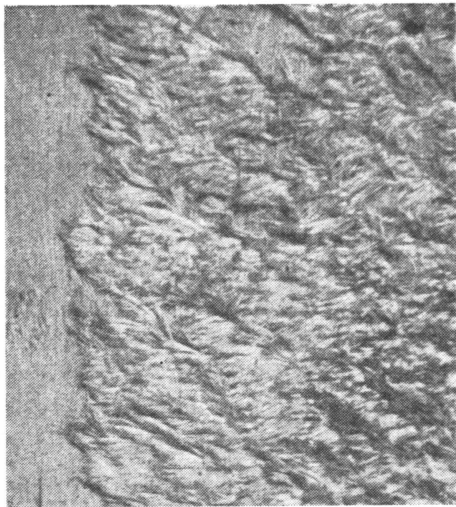
Edellisestä ilmenee, että toisilla puulajeilla vetopuun väri voi olla normaalipuuhun verrattuna sitä vaaleampi, toisilla tummempi, joten se lieenee lajiominaisuus. Sen sijaan kiilto ja tiiviys näyttävät olevan yleisiä vetopuun ominaisuuksia puulajista riippumatta. Ohuita koivun poikkileikkauksia tarkastelemalla ei sen normaali- ja vetopuun valon läpäisevyydessä voitu todeta mitään eroa.

Erittäin silmään pistävä ja teknillisesti tärkeä ilmiö on vetopuun pitkittäissahauspintojen villaisuus tai nukkaisuus vastakohtana normaalipuun sileille pinnoille. Havaintoja siitä ovat esittäneet mm. CLARKE (1937) ja JANE (1952) pyökistä, MARRA (1942) sokerivaahterasta, DADSWELL ja WARDROP (1949) lukuisista australialaisista lehtipuista, PILLOW (1950) mahongista sekä JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG (1951) lukuisista poppelilajeista. Samanlaisia havaintoja sorvauksessa muodostuvasta viilusta ovat tehneet DADSWELL ja WARDROP (1949) sekä JAYME ym. (1951) em. puulajeista, vaneriviilua leikkausmenetelmällä valmistettaessa AKINS ja PILLOW (1950) mahongista ja poppelista sekä puuta pyöriväteräisessä höyläkoneessa höylättäessä varsinkin silloin, kun terät leikkaavat syiden suuntaa vastaan, CLARKE (1937) pyökistä sekä BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1952) vaahte-

rasta ja poppelista. DADSWELL ja WARDROP sekä JAYME ym. otaksuvat tähän ilmiöön vaikuttavan mm. vetopuukuitujen normaalista poikkeavan kemiallisen kokoonpanon.

Myöskin koivun vetopuussa nämä ominaisuudet ilmenevät hyvin selvänä, jos vetopuun esiintyminen on voimakasta ja runsasta, vielä selvempinä kuin poikkileikkauksessa. Normaalipuun sahauspintojen ollessa yleensä jokseenkin sileitä vetopuun pinnat muodostuvat omituisen karkean villaisiksi tai untuvamaisen nukkaisiksi, mikä ilmenee molempien koivulajien sekä tangentin että säteen suuntaisissa pinnoissa. Todetut vaikeudet vetopuuta pituussuunnassa sahattaessa ovat ilmeisesti yhteydessä tämän seikan kanssa.

Kuva 10 esittää hieskoivusta säteen suuntaan sahattua viilua. Normaalipuun lähempänä ydintä erottuu selvästi sileänä ulkopuolella olevasta karkeapintaisesta vetopuusta. Sitä paitsi koivun vetopuu erottuu pitkitäisleikkauksissa normaalipuusta selvästi vaaleamman värinsä perusteella. Mainitusta kuvasta tämä ei käy hyvin ilmi, koska ao. pintaan on sivelty kloorisinkkijodiliuosta.



Kuva 10. Säteen suuntainen sahauspinta hieskoivun rungosta (sama kuin kuvassa 6). Normaalij- ja vetopuun välinen raja vasemmalla.

Fig. 10. Surface of a radial cut from the trunk of a white birch (same individual as in fig. 6). Boundary between normal and tension wood to the left.

Myöskin pyöriväteräisessä höyläkoneessa todettiin koivun vetopuun saavan selvästi untuvaisemman tai nukkaisemman asun kuin normaalipuun etenkin silloin, kun terät leikkaavat vinosti syiden suuntaa vastaan.

Edellisestä ilmenee, että nyt koivusta tehdyt havainnot vahvistavat lukuisien aikaisempien tutkijoiden muista puulajeista tekemiä vetopuun erilaisissa työstökoneissa muodostuvien syiden suuntaisten pintojen villaisuudesta tai nukkausuuudesta. Mahdollisesti tähän ilmiöön vaikuttaa ainakin osaltaan vetopuukuitujen normaalista poikkeava selluloosapitoisuus ja molekyyli rakenne, kuten myös DADSWELL ja WARDROP (1949) sekä JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG (1951) ovat esittäneet.

### Puun mikroskooppinen rakenne

Preparaatit vetopuun rakenteen mikroskooppista tutkimusta varten poikkileikkauksista valmistettiin siten kuin eksentristä paksuuskasvua selostettaessa on edellä jo mainittu ottamalla näytteet sekä normaali- että vetopuun puolelta kuoresta saakka, joten niistä voitiin tarvittaessa määrittää toisiaan vastaavat vuosirenkaat ja kohdistaa tutkimukset niihin.

Preparaattien valokuvaaminen ja piirtäminen suoritettiin pimeässä huoneessa projisioimalla kuva prismalla pystysuoraan puulevyyn kiinnitetylle valkoiselle paperille, josta valokuvaus ja piirtäminen oli helppo suorittaa.

Suurennus säädettiin kulloinkin sopivaksi objektiivia ja okulaaria vaihtelemalla pitämällä mikroskoopin etäisyys piirustuslevystä sen sijaan vakiona. Suurennuksen voimakkuus määritettiin objektimikrometrin, jossa oli 10  $\mu$ :n jaotus, ja millimetrijakoisen selluloidiviivottimen avulla. Suoraan okulaarimikrometrin avulla mittauksia suoritettaessa, siis ilman piirustuslevylle heijastamista, määritettiin suurennuksen voimakkuus luonnollisesti tämän ja objektimikrometrin avulla.

Preparaatin valottamiseen käytettiin tarpeen mukaan voimakasta pöytälamppua, keskitetyn valon antavaa projektorilamppua tai erikoista mikroskopointilamppua.

Mittaukset preparaateista terävää ja kovaa lyijykynää käyttämällä saaduista piirroksista ja solumittauksissa osittain suoraan piirustuslevylle langenneesta kuvasta, jättämällä pois vääristyneet ja hämärät reunaosat, suoritettiin millimetrijakoisella selluloidiviivottimella.

Valokuvaamiseen käytettiin etupäässä tavallista Zeiss Ikon Nettar-paljekameraa, valovoima 1:6.3, varustamalla se lähilinsseillä. Vain voi-

makkaiden suurennusten ollessa kyseessä oli turvaututtava erikoiskameroiniin (REINERT 1943, FREI-SULZER 1946 ja APPELT 1950).

Vetopuun normaalipuuhun vertaamiseksi otettiin myös ohuita tangentin suuntaisia leikkauksia, ja tutkittiin näiden varjostimelle heijastettuja mikrokuvia.

*Ilman mittauksia tavallisessa valomikroskoopissa todettavat tuntomerkit*

KNY (1882) ja LÄMMERMAYR (1901) sanovat putkiloiden olevan koivun ja pyökin eksentristen elinten leveällä puolella laajemmat ja lukuisimmat kuin kapealla, olipa paksuuskasvu sitten epitrofinen tai hypotrofinen. Sen sijaan METZGER (1908) totesi, että nuoriin tammen, pyökin, saarnen ja vaahteran runkoihin taivuttamalla aikaan saadussa ns. yläpuolen puussa on suhteellisesti vähemmän putkiloita ja puusyyt paljon paksumpiseinäisiä kuin päinvastaisella puolella. Samansuuntaisiin tuloksiin tuli HERIC (1915) pyökin, saarnen, lepän ja *Salix*-lajien eksentristä oksista korostaen puukuitujen vallitsevaisuutta niiden leveällä ja putkiloiden suurta osuutta kapealla puolella.

Edellä mainittuja täydentävät JACCARD'in (1917 ja 1938) havainnot mm. tammesta, pyökistä, lepästä ja poppelilajeista hänen sanoessaan vetopuulle olevan ominaista päinvastaisen puolen puuhun verrattuna puukuitujen suuremman %-osuuden, tiiviimmän kerrostumisen, poikkileikkauksen useimmiten enemmän tai vähemmän suorakulmaisen muodon ja säännöllisemmän järjestymisen säteen suuntaisiin riveihin, putkiloiden lukumäärän alenemisen ja usein voimakkaamman ydinsäteiden muodostumisen.

ENGLERIN (1918) mukaan on normaali- ja vetopuun välinen ero suurempi kehäputkiloisilla puilla, kuten tammella ja saarnella, kuin hajaputkiloisilla, kuten pyökillä, vaahteralla, lehmuksella, koivulla ja poppelilla. Hänen mukaan on oleellisena erona ylä- ja alapuolen puulla hajaputkiloisissa puissa vain edellisen suurempi paksuuskasvu, kun taas kehäputkiloisissa puissa yläpuolen puu eroaa alapuolen puusta myös siinä suhteessa, että edellisessä on leveämpi putkilovyöhyke, laajemmat putkilot ja runsaampi kesäpuun muodostuminen kuin jälkimmäisessä.

CHOW (1946) totesi pyökin vetopuun putkiloprosentin olevan pienemmän ja kuituprosentin vastaavasti suuremman kuin normaalipuun. ONAKA (1949) tuli lukuisista japanilaisista lehtipuista sellaiseen tulokseen, että vetopuu eroaa normaalipuusta edellisen puukuitujen seinämän suu-

remmassa paksuudessa, poikkileikkauksen melkein neliömäisessä muodossa ja säännöllisessä järjestymisessä säteen suunnassa sekä putkiloiden huomattavasti pienemmässä määrässä ja läpimitassa. JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG (1951) totesivat poppelilajien puun olevan vetopuun puolella monessa tapauksessa normaalia tiiviimpi-rakenteista, vaikkei varsinaista vetopuuta esiintyisikään.

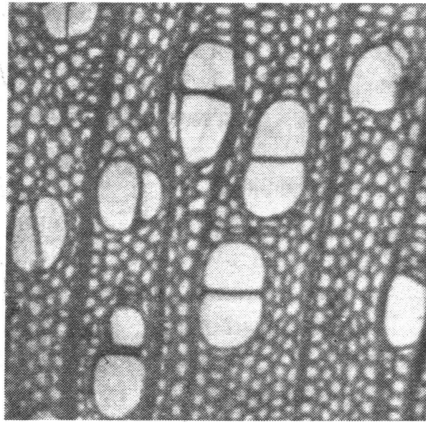
CLARKE (1937) huomasi pyökin vetopuuta tutkiessaan, että vetopuukuituja oli pääasiassa vuosirenkaiden aikaisemmissa osissa eikä koskaan vuoden kasvun viimeisten solurivien joukossa. Samansuuntaisiin tuloksiin tuli JAYME (1951 a) eräistä poppelilajeista. Sen sijaan JACCARD (1917) ilmoittaa lehtipuiden vaakasuorissa ja sitä lähentelevissä oksissa olevan vetopuuta etupäässä kesäpuussa.

JAYME (1951 a) totesi, että yksittäin esiintyvät vetopuusyyt karttavat putkiloiden ja ydinsäteiden läheisyyttä ja ilmestyvät niiden ympärille vasta runsaasti esiintyessään. Sen sijaan JANE (1952) sanoo, etteivät vetopuusyyt pyökissä karta putkiloita.

Vetopuusyiden liivatemaiseen ulkonäköön (*»gelatinous fibers»*) kiinnittävät huomiota lukuisat tutkijat, kuten CLARKE'in (1937) havainnot pyökistä, MARRAN (1942) sokerivaahterasta, DADSWELLIN (1945) Uuden-Guinean lehtipuista, DESCHIN (1947) pyökistä ja saksanpähkinästä, ONAKAN (1949) lukuisista japanilaisista lehtipuista, AKINS'in ja PILLOW'n (1950) tammesta, poppeli- ja pajulajeista, PILLOW'n (1950) mahongista, WARDROPIN ja DADSWELLIN (1950) lukuisista australialaisista lehtipuista ja JAYMEN (1951 a) lukuisista poppelilajeista osoittavat. Myöskin jo SANIO (1863), TIEMANN (1944) ja JANE (1952) mainitsevat vetopuusyiden liivatemaisesta ulkonäöstä. Sen sijaan DESCH (1947) sanoo, että tätä ominaisuutta ei ole saarnen vetopuusyillä, kun taas CLARKE (1939) mainitsee sen olevan harvinaisen mainitulla puulajilla. Samaan tulokseen on ONAKA (1949) tullut muutamista japanilaisista lehtipuuista.

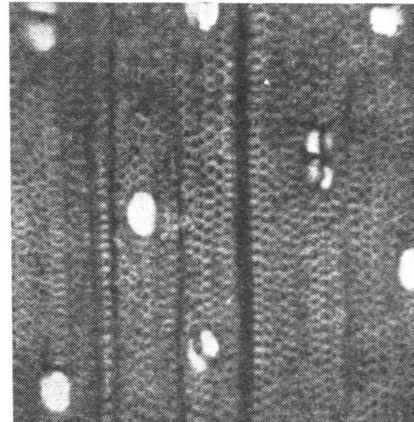
Vetopuusyiden sisimmän seinämäkerroksen poimuttumiseen ovat kiinnittäneet huomiota mm. WARDROP ja DADSWELL (1950) lukuisista australialaisista lehtipuista sekä JAYME (1951 a) poppelilajeista. JANE (1952) mainitsee Rain treen (*Enterolobium Saman*) vetopuusyissä sisimmän seinämäkerroksen olevan usein kokonaan irtautuneen muusta seinämästä ja vapaana soluontelossa.

ONAKA (1949) mainitsee, että japanilaisissa lehtipuissa voidaan vetopuusyiden liivatemaisissa seinämäkerroksissa erottaa kolme eri tyyppiä. Ensimmäinen tyyppi, jossa liivatemainen kerros käsittää vain sekundää-



Kuva 11. Normaalipuusolukkoa hieskoivun runkokuusta (n. 150×).

Fig. 11. Normal wood tissue in the trunk wood of white birch (about 150×).



Kuva 12. Vetopuusolukkoa hieskoivun runkokuusta (n. 110×).

Fig. 12. Tension wood tissue in the trunk wood of white birch (about 110×).

risen seinämän sisimmän osan, esiintyy mm. suvuissa *Pyrus*, *Cornus* ja *Ligustrum*, toinen tyyppi, jossa se valtaa koko sekundääriseen seinämän, mm. heimoissa *Myricaceae* ja *Oleaceae* ja kolmas, jossa se muodostaa erikoisen sisäkerroksen sekundäärisessä seinämässä, mm. heimoissa *Salicaceae*, *Ulmaceae*, *Moraceae*, *Lauraceae*, *Rhamnaceae* ja *Araliaceae*. Näin luokiteltuna ei ero ensimmäisen ja kolmannen tyyppin välillä vaikuta tosin täysin selvältä.

DADSWELL ja WARDROP (1955) ovat todenneet australialaisissa lehtipuissa samassakin puulajissa samantapaista vaihtelua siten, että vetopuusyiden seinämän rakenteessa voidaan erottaa kolme eri tyyppiä, joissa kaikissa on liivatemäinen tertiäärinen kerros ja sen lisäksi sekundäärisestä seinämästä 1—3 kerrosta, siis joko vain ulkokerros, ulko- ja keskikerros tai edellisten lisäksi vielä sisäkerros. Tämän he selittävät johtuvan siitä kehitysvaiheesta, jossa juuri muodostuvat solujen sekundääriset seinämät ovat vetopuuta aiheuttavan kiihokkeen ja sen seurauksena tertiäärinen seinämäkerroksen ilmaantuessa.

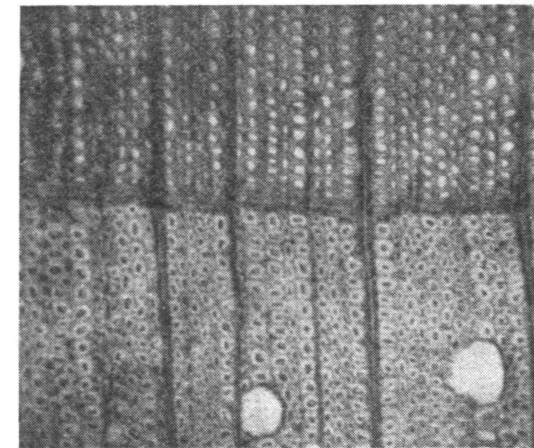
ONAKA (1949) sanoo vetopuun puoleisen kuoren sisältävän enemmän sklerenkyymisolukkoa kuin normaalipuun puoleisen.

Käyttämällä 100-kertaista suurennusta todettiin molempien koivulajien sekä rungon että oksan vetopuu poikkileikkauksessa erittäin tiivisra-

kenteiseksi normaalipuuhun verrattuna. Putkilot ovat vetopuussa selvästi harvalukuisempia ja ainakin yksittäisputkilot yleensä pienempiä ja sen seurauksena myös putkiloprosentti pienempi kuin normaalipuussa sekä puusyiden soluontelot tyypillisimmissä tapauksissa erittäin pienet. Tämä käy selvästi ilmi verrattaessa toisiinsa kuvia 11 ja 12, joista edellinen kuvaa hieskoivun rungon normaalipuusolukkoa ja jälkimmäinen saman puun vetopuusolukkoa samasta vuosirenkaasta.

Täten tulokset käyvät yksiin em. lukuisien tutkijoiden muista puulajeista tekemien havaintojen kanssa. KNYN (1882) ja LÄMMERMAYRIN (1901) koivusta ja pyökistä saamat päinvastaiset tulokset voivat johtua siitä, että tällöin ei ehkä olekaan verrattu keskenään yksinomaan normaali- ja vetopuuta, koska reaktiopuun muodostuminen ei liity läheskään aina eksentriseen paksuuskasvuun, joskin reaktiopuun muodostumiseen kuuluu yleensä myös eksentrisen paksuuskasvu. KNYN ja LÄMMERMAYRIN toteamus pitää ilmeisesti paikkansa ainakin joissakin tapauksissa koivun oksien tyvessä, jossa paksuuskasvu voi olla hypotrofinen vetopuun silti muodostuessa yläpuolelle, samoin kuin eräissä tapauksissa myös rungon vetopuuta muodostavassa tyvessä, kuten edellä mainittiin (ss. 19—20).

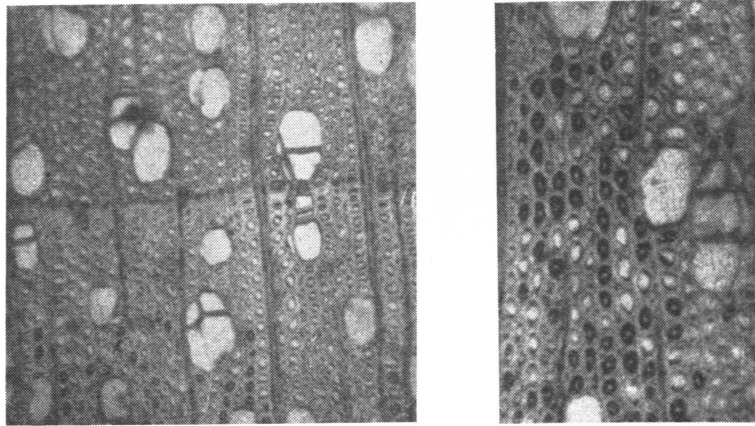
Kesäpuu todettiin molempien koivulajien sekä normaali- että vetopuussa vain kapeaksi vyöksi vuosirenkaan rajalla, kuten jo ENGLER (1918) on esittänyt.



Kuva 13. Rauduskoivun vetopuusolukkoa vuosirenkaan rajalta runkokuusta (n. 120×).

Fig. 13. Tension wood tissue in the trunk wood of silver birch from the interface of two growth rings (about 120×).





Kuvat 14 ja 15. Vetopuusyitä ryhminä ja yksittäin hieskoivun runkopuussa kloorisinkkijodilla käsiteltyinä (n. 120× ja 150×).

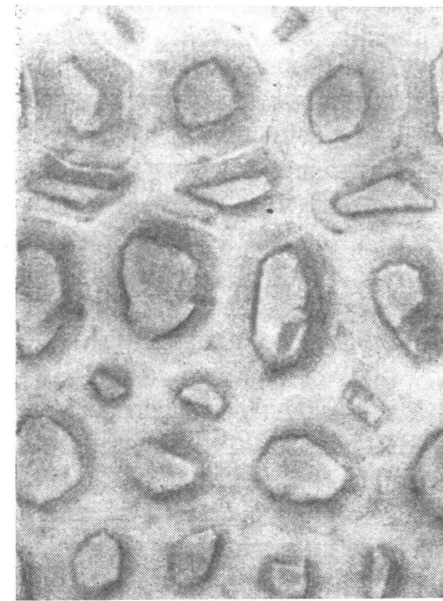
*Fig. 14 and 15. Tension wood fibres, isolated and in groups, in the trunk wood of white birch; treated with chloriodide of zinc (about 120× and 150×).*

Puun poikkileikkauksia mikroskoopissa tarkastelemalla tehtiin myös se havainto, että kasvukauden alkupuoliskolla muodostuvan vetopuun kuidut ovat molempien koivulajien sekä runko- että oksapuussa huomattavasti paksumpiseinäisiä ja soluontelot pienempiä kuin loppupuolella muodostuvan, josta voidaan päätellä, että vetopuun muodostuminen on kasvukauden ollessa parhailtaan intensiivisempää kuin myöhemmin kesällä. Kasvukauden loppupuolellakin muodostuvat kuidut ovat kuitenkin vetopuussa normaalia paksumpiseinäisiä lukuun ottamatta paria kolmea viimeistä soluriviä, jotka ovat yleensä kloorisinkkijodilla käsiteltyinäkin aivan tai ainakin melkein normaalipuusolujen kaltaisia. Kuva 13 esittää rauduskoivun rungon vetopuuta vuosirenkaan rajalta. Tehdyt havainnot siis vahvistavat CLARKE'in (1937) pyökistä ja JAYMEN (1951 a) poppelilajeista tekemiä, mutta ovat ristiriidassa JACCARD'in (1917) havaintojen kanssa.

Normaalipuusolukon seassa runkopuussa olevien hajallisten tai pieninä ryhminä esiintyvien vetopuusyiden paljastamiseksi kasteltiin preparaateja kloorisinkkijodilla. Käsitelyn tulokset näkyvät kuvista 14 ja 15, jotka on otettu hieskoivun runkopuusta. Kuvissa mustaseinäiset vetopuusyit erottuvat erittäin selvästi vaaleammista normaalipuusyistä.

Viimeksi mainituista kuvista käy ilmi, että vetopuusyitä näyttää muodostuvan putkiloiden ja ydinsäteiden välittömään läheisyyteen aivan yhtä hyvin kuin kauemmaksikin niistä, esiintyvätpä vetopuusyit yksittäin tai erikokoisina ryhminä. Sama todettiin myös rauduskoivusta, joten havainnot vahvistavat JANEN (1952) pyökistä tekemiä. Olisikin vaikea selittää, mistä se, että sanotulla tavalla esiintyvät vetopuusyit karttaisivat ydinsäteitä ja putkiloita, jollaiseen tulokseen JAYME (1951 a) tuli poppelilajeista, johtuisi.

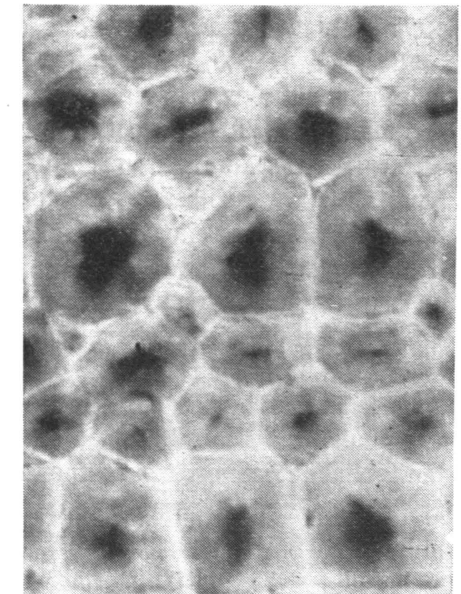
Sitä, että vetopuusyit olisivat poikkileikkausmuodoltaan tai järjestäytymiseltään normaalipuusyistä poikkeavia, jollaiseen tulokseen JACCARD (1917) ja ONAKA (1949) tulivat, ei voitu todeta varmasti kummastakaan koivulajista, eikä myöskään todettu silmämääräisesti selvää eroa normaali- ja vetopuun ydinsäteiden paksuudessa tai lukuisuudessa.



Kuva 16. Puusyysolukkoa hieskoivun normaalipuusta (n. 800×). Valok.

H. NIEMINEN.

*Fig. 16. Libriform in normal wood of white birch (about 800×). Photo H. NIEMINEN.*



Kuva 17. Puusyysolukkoa hieskoivun vetopuusta (n. 800×). Valok.

H. NIEMINEN.

*Fig. 17. Libriform in tension wood of white birch (about 800×). Photo H. NIEMINEN.*

Käyttämällä voimakkaampaa suurennusta todettiin, että molempien koivulajien vetopuusolukko tekee kokonaisuutena liivatemaisen tai sarveismaisen vaikutuksen. Liivatemaisuus näyttää olevan yleensä ominaista vetopuukuiduille, kuten edellä tehdyt lukuisat viittaukset osoittavat.

Kuvasta 17 ilmenee selvästi hieskoivun runkopuun vetopuusyiden liivatemainen tai sarveismainen ulkonäkö. Niiden seinämän sisin kerros, usein tertiääriseksi seinämäksi sanottu, näyttää valtaavan suuren osan koko seinämästä ja täyttävän joskus koko soluontelon, kun taas normaalipuusyissä se muodostaa vain ohuen kerroksen, sekundäärisen seinämän ulompien kerrosten muodostaessa seinämän pääosan, kuten kuvasta 16 ilmenee. Sitä paitsi vetopuusyiden soluontelo on muodoltaan omituisen epäsäännöllinen siihen rajoittuvan tertiäärisen seinämäkerroksen tunnusomaisen poimuttumisen johdosta vastakohtana normaalipuusyiden verrattain säännöllisen muotoisille ja vetopuusyihin verrattuna avarille soluonteloille. Tehdyt havainnot siis vahvistavat em. WARDROPIN ja DADSWELLIN (1950), JAYMEN (1951 a) sekä JANEN (1952) lukuisista muista puulajeista tekemiä.

ONAKAN (1949) em. tyypittelyssä (ss. 29—30) näyttävät meidän koivulajimme kuuluvan lähinnä kolmanteen tyyppiin, jossa vetopuusyiden liivatemainen seinämäkerros muodostaa erikoisen soluonteloon rajoittuvan sisäkerroksen sekundäärisessä seinämässä. Liivatemalaista kerrosta on tosin ilman erikoisia optillisia apukeinoja, kuten polarisoitua valoa, tai ilman kemiallisia reagensseja usein vaikea erottaa sekundäärisestä seinämästä, kuten kuvasta 17 ilmenee.

Normaali- ja vetopuusta otetuissa tangentin suuntaisissa leikkauksissa ei silmämääräisesti todettu mitään eroa puusyissä eikä aina ydinsäteissäkään kummastakaan koivulajista.

Edellisestä ilmenee, että sekä hies- että rauduskoivussa on normaali- ja vetopuulla jo ilman mittauksia selvästi todettavia rakenteellisia eroja, joten tehdyt toteamukset ovat ilmeisesti ristiriidassa ENGLERIN (1918) em. (s. 28) lausunnon kanssa. Voidaanhan pitää osoitettuna, että koivun vetopuulle on ominaista jo silmämääräisesti arvosteltuna rakenteen normaalia suurempi tiiviys, puusyiden paksuseinäisyys, liivatemaisuus ja pienet ontelot sekä putkiloiden normaalia pienempi lukumäärä ja pieni putkiloprosentti. Voitiin myös todeta, että vuosirenkaan alkupuoliskossa ovat vetopuun puusyyt huomattavasti paksumpiseinäisiä ja ahtaampionteloisia kuin loppupuoliskossa lukuun ottamatta viimeisiä solurivejä vuosirenkaan rajalla.

### *Solu- ja solukkomittaukset*

#### **Puusyihin kohdistuneet mittaukset**

Puusyihin eli libriform-soluihin, jotka muodostavat pääosan koivun solukosta, kohdistuneet mittaukset suoritettiin etupäässä maseroiduista puunäytteistä, mutta runsaasti tehtiin syiden seinämän paksuusmittauksia myös puusta otetuista ohuista poikkileikkauksista.

Puunäytteet maseroimista varten otettiin sekä normaali- että vetopuun puolelta runko- ja oksapuun uloimmista vuosirenkaista kuoren alta, jonka jälkeen ne halottiin pieniksi tikuiksi. Täten kukin näyte sisälsi sinänsä keskenään kutakuinkin samanpituisia puusyitä (mm. WALLDÉN 1934 ja KUJALA 1946). Luonnollisesti otettiin näytteitä vain sellaisista puista, joissa vetopuun muodostuminen pinnassa oli ilmeisen selvä.

Tikkujen maserointi suoritettiin menetelmällä, jolloin niitä keitettiin varovaisesti 10—20 min. vedellä 15 %:ksi laimennetussa typpihapossa, johon lisättiin hieman kalsiumfluoridia. Tällöin huomattiin vetopuun maseroituvan yleensä normaalipuuta nopeammin. Saman havainnon on tehnyt mm. CHOW (1946) pyökistä. Maseroinnin jälkeen keitos huuhdottiin voimakkaalla vesisuihkulla, joka irroitti tikuista eniten pehmenneen pintaosan, jonka jälkeen kuitunäytteet otettiin tikuista lasisauvalla ja pantiin tutkimusta varten objektilasille glyseriiniin. Täten saatiin näytteisiin riittävästi täysin eheitä ja kaikin puolin vahingoittumattomia kuituja, kun taas näytteitä vedessä huuhtomattomien tikkujen pinnasta otettaessa todettiin suuren osan kuiduista olevan katkeilleita tai muodoltaan pahoin vääristyneitä ja sellaisina mittauskelvottomia.

Puusyiden mittaaminen suoritettiin suoraan preparaattista okulaarimikrometrin avulla (FREI-SULZER 1946). Pituuden mittaamisessa käytettiin yleensä 104- ja läpimitan sekä seinämän paksuuden mittaamisessa 336- tai 480-kertaista suurennusta, mitkä huomattiin tarkoituksenmukaisimmiksi ja joita käytettäessä mitat saatiin  $\mu$ :n kymmenesosiin päättyvinä lukuina. Kustakin näytteestä tehtiin vähintään 100 pituus- ja 50 sekä kuidun että sen seinämän paksuusmittausta ja laskettiin keskiarvot. Pituudeksi otettiin kuidun suurin pituus ja läpimitaksi suurin läpimitta, jolta kohdalta myös seinämän paksuus mitattiin.

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

## Puusyiden pituus

STAUFFER (1892) totesi lajiltaan määrittelemättömän koivun puusyiden lyhenevän alhaalta ylöspäin ja pitenevän ytimestä pintaan päin. Samansuuntaisiin tuloksiin on tultu myös pyökistä ja tammesta (mm. HARTIG 1894 ja TRENDELENBURG 1939). Puukuitujen pitenemistä ei kuitenkaan näytä jatkuvan aina pintaan saakka, vaan niiden pituus pysyy vakiona maksiminsa saavutettuaan. Tällaiseen tulokseen ovat tulleet mm. TRENDELENBURG (1939) pyökistä, KUJALA (1946) hies- ja rauduskoivusta sekä BISSET ja DADSWELL (1949) *Eucalyptus regnans*'ista. Vakio-pituus saavutetaan TRENDELENBURGIN mukaan noin 60, KUJALAN 35 sekä BISSET'in ja DADSWELLIN 10 vuodessa mainituissa puulajeissa.

WALLDÉN (1934) sekä SAVINA ja PERELYGIN (1936) totesivat lajiltaan määrittelemättömän koivun puusyiden pituuden kasvavan tyvestä 3 m:n korkeuteen saakka, jossa se saavuttaa maksiminsa, ja ytimestä pintaan päin. Ensiksi mainittu tutkija (1934) sai 55-vuotiaiden samassa metsikössä Keski-Suomessa kasvaneiden hieskoivujen puusyiden pituudeksi 6 m:n korkeudella sydänpuussa 0.55—1.55 mm ja pintapuussa 0.65—1.75 mm. KUJALAN (1946) mukaan ovat hieskoivun puusyyt pitempiä ja kaikki puolin suurempia kuin rauduskoivun ja molempien puulajien puusyiden pituus kasvaa ylöspäin mentäessä noin 5 m:n korkeuteen saakka, jonka jälkeen ne jälleen lyhenevät. BOSSHARD (1951) sanoo saarnen kuitujen pituuden kasvavan 30 ensimmäisessä vuosilustossa ytimestä lähtien ja sen jälkeen pienenevän. BISSET, DADSWELL ja AMOS (1950) ilmoittavat kesäpuun kuitujen olevan *Eucalyptuksessa* noin 60 % pitempiä kuin saman vuosiluston kevätpuun ja sanovat saman pitävän suurin piirtein paikkansa myös kastanjan, tammen, saarnen, jalavan, pyökin, poppelin ym. suhteen. Siitä, onko koivun puusyiden pituudessa saman vuosirenkään eri osissa eroja ja millaisia, ei kirjoittaja ole tavannut kirjallisuudessa mitään mainintoja.

Oksien kuitujen on todettu yleensä olevan runkokuun kuituja lyhempiä sekä havu- että lehtipuilla. Tällaisia havaintoja ovat tehneet mm. SANIO (1872) ja HATA (1949) mäntylajeista sekä SCHNEIDER (1896) saarnesta. Tästä mainitsevat myös BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1949). JACCARD (1917) totesi lukuisista puulajeista oksien puusyiden olevan vetopuun puolella pitempiä kuin normaalipuun puolella, samoin KOLLMANN (1941) saarnesta. Viimeksi mainittu sanoo kuitujen olevan saarnen oksan yläpuolella keskimäärin jopa 40 % pitempiä kuin alapuolella.

ENGLER (1918) sanoo sen sijaan kuitujen olevan hajaputkiloisten lehtipuiden, kuten koivun, pyökin, vaahteran ja poppelin geotrooppisessa puussa ehkä hieman lyhempiä kuin alapuolen ohutlustoisessa puussa. CLARKE (1937) ei päässyt varmoihin tuloksiin pyökin runkokuun normaali- ja vetopuusyiden pituuksien keskinäisestä suhteesta, vaan sanoo sen olevan horjuvan. Sen sijaan HARTMANN (1942), BURNS (1942), CHOW (1946) ja ONAKA (1949) totesivat vetopuusyiden olevan mm. pyökissä, saarnessa ja lukuisissa japanilaisissa lehtipuissa runkokuussa normaalipuusyitä pitempiä. DADSWELL ja WARDROP (1949 ja 1955) eivät todenneet australialaisten lehtipuiden runkokuun normaali- ja vetopuusyiden pituudessa mitään varmaa eroa. JAYME (1951 a) suoritti kuitujen vertailevia pituusmittauksia eräiden poppelilajien oksapuun normaali- ja vetopuusta keitetystä sulfaattiselluloosasta saamatta normaali- ja vetopuukuitujen välille mitään huomattavia pituuseroja, joskin edelliset pyrkivät olemaan hieman jälkimmäisiä lyhempiä. KLAUDITZ ja STOLLEY (1955) tulivat siihen tulokseen, ettei poppelin normaali- ja vetopuun kuitujen pituudessa ole eroa.

Runkokuussa olevan normaali- ja vetopuun puusyiden pituusmittauksien jakautuminen eri paikkakunnilta ja kasvupaikoilta otettujen koepuiden sekä rungon eri korkeuksilta otettujen näytteiden kesken käy ilmi taulukosta 7. Pituusmittausten tulokset näkyvät taulukosta 8.

Myöskin oksapuusta suoritettiin puusyiden pituusmittauksia uloimista vuosirenkaista. Tutkimus kohdistui kahteen keskenään suunnilleen samanikäiseen hies- ja kahteen rauduskoivuun. Mittaustulokset ja mitausten lukumäärä esitetään taulukossa 10.

Taulukoista 8 ja 10 ilmenee, että sekä hies- että rauduskoivun vetopuusyyt ovat selvästi pitempiä kuin normaalipuusyyt niin hyvin runkokuun oksapuussakin, joten saadut tulokset ovat ristiriidassa ENGLERIN (1918) em. havaintojen kanssa, mutta sopusoinnussa lukuisien toisten tutkijoiden muista puulajeista saamien tulosten kanssa. Vetopuun puusyyt näyttävät oksissa olevan noin 25 % pitempiä kuin normaalipuun, joten ero tuli oksissa paljon selvempänä näkyviin kuin runkokuussa.

Normaali- ja vetopuun puusyiden pituuksien toisiinsa vertailemiseksi ja mittaustulosten havainnollistamiseksi laskettiin koepuiden 1 m:n pituisesta tyviosasta saatujen puusyiden pituuksien frekvenssisarjat sekä hies- että rauduskoivulle sisällyttäen samoihin sarjoihin kaikki esiintyneet kasvupaikat sekä kaiken ikäiset ja eri latvuserroksiin kuuluneet puut. Puusyiden pituudessa käytettiin 0.10 mm:n tasaavaa luokitusta. Tulokset esitetään graafisesti kuvassa 30. Hieskoivun runkokuun normaalipuulella.

syiden pituuksien keskiarvoksi saatiin  $1.00 \pm 0.004$  mm ja vetopuusyiden  $1.17 \pm 0.003$  mm. Edellisille tuli dispersion arvoksi  $0.20 \pm 0.003$  mm ja jälkimmäisille  $0.17 \pm 0.002$  mm. Rauduskoivun normaalipuusyiden pituuksien keskiarvoksi saatiin  $0.97 \pm 0.006$  mm ja vetopuusyiden  $1.14 \pm 0.006$  mm. Edellisille tuli dispersion arvoksi  $0.22 \pm 0.004$  mm ja jälkimmäisille  $0.23 \pm 0.004$  mm.

Oksien normaali- ja vetopuun puusyiden pituuksien toisiinsa vertailemiseksi laskettiin sekä hies- että rauduskoivun puusyiden pituuksien frekvenssisarjat sisällyttäen samoihin sarjoihin eri etäisyyksiltä oksan tyvestä mitatut puusyyt. Tulokset esitetään graafisesti kuvassa 31. Hieskoivun normaalipuusyiden pituuksien keskiarvoksi saatiin  $0.82 \pm 0.006$  mm ja vetopuusyiden  $1.00 \pm 0.006$  mm. Molemmille tuli dispersion arvoksi  $0.16 \pm 0.004$ . Rauduskoivun normaalipuusyiden pituuksien keskiarvoksi saatiin  $0.79 \pm 0.006$  mm ja vetopuusyiden  $1.00 \pm 0.006$  mm. Edellisille tuli dispersion arvoksi  $0.16 \pm 0.004$  mm ja jälkimmäisille  $0.17 \pm 0.004$  mm.

Koivun puusyiden pituuden riippuvaisuuden arvostelemiseksi mahdollisesti sen kasvunopeudesta esitetään taulukossa 9 puusyiden pituusmitausten tuloksia muutamista hies- ja rauduskoivuista vertailemalla pareittain toisiinsa aina kahta puuta, joiden kasvunopeus on ilmeisesti ollut verrattain erilainen, mutta kasvuolosuhteet jokseenkin samanlaiset.

Hieskoivuista koepuut n:o 1, 7 ja 42 ovat selvästi olleet nopeakasvuisempia kuin 27, 3 ja 39 sekä rauduskoivuista koepuut 5 ja 63 nopeakasvuisempia kuin 37 ja 80. Kaikissa näissä tapauksissa nopeakasvuisemman puun puusyyt ovat olleet keskimäärin pitempiä kuin hidaskasvuisen sekä normaali- että vetopuussa. Jos kaikista esitetyistä koepuista olisi mitattu viimeisten vuosien sädekasvu, se olisi vielä varmistanut asiaa. Sädekasvu mitattiin koepuiden tyven läheltä, kuten eksentrisen kasvun käsittelyn yhteydessä jo mainittiin.

Näin ollen saadut tulokset antavat aihetta lisätutkimuksiin, onko koivussa nopeakasvuinen puu pitempisyistä kuin hidaskasvuinen, siis päinvastoin kuin havupuissa (mm. HELANDER 1933, HATA 1949 ja HÄGG-LUND 1951). Joka tapauksessa näyttää epäilyksen alaiselta, onko puusyiden suurempi pituus vetopuussa normaalipuuhun verrattuna todella vetopuun luonteeseen kuuluva ominaisuus, vai liittyykö se yleensä paksuskasvun kiihtymiseen puussa sekä erityisesti eksentrisesti kasvaneessa puussa, vaikkei tämä vetopuuta muodostaisikaan. Vetopuusyiden pituushan ei käsillä olevan tutkimuksenkaan mukaan ole suinkaan ylivoimaisesti normaalipuusyiden pituutta suurempi.

Taulukosta 8 ilmenee, että hieskoivun puusyyt lienevät keskimäärin hieman pitempiä kuin rauduskoivun. Tämä käy ilmi esim. verrattaessa toisiinsa Kuhmossa VT-maalla kasvaneiden III:een latvuserrokseen kuuluneiden hies- ja rauduskoivujen puusyiden pituutta sekä normaali- että vetopuussa, joten saadut tulokset vahvistavat KUJALAN (1946) tuloksia. Sama kävi ilmi myös osapuusta normaalipuun osalta.

Puusyiden pituus koivun ainakin 2 m:n pituisessa tyviosassa kasvaa ilmeisesti sekä normaali- että vetopuussa alhaalta ylöspäin mentäessä, kuten Kuhmon MT-maalla kasvaneista hieskoivuista ja Helsingissä OMT-maalla kasvaneesta rauduskoivusta saadut mittaustulokset osoittavat. Hieskoivua koskevista tuloksista näkyy, että vetopuusyiden pituus on kuitenkin jälleen pienentynyt mentäessä 4–5 m:n korkeuteen, jossa vetopuu on ilmeisesti ollut jo verrattain heikosti muodostunutta. Sen sijaan normaalipuun puusyiden pituudeksi on tällä korkeudella saatu hieman suurempi arvo kuin 2 m:n korkeudella. Saadut tulokset vahvistavat siis lukuisien em. tutkijoiden saamia tuloksia (mm. STAUFFER 1892, WALLDÉN 1934, SAVINA ja PERELYGIN 1936, KUJALA 1946).

Koska käsillä olevassa tutkimuksessa suoritettiin solumittauksia vain koepuiden uloimmista vuosilustoista, ei voitu saada käsitystä puusyiden pituusvaihtelusta eri ikäkausina muodostuneessa puussa.

Verrattaessa sekä hies- että rauduskoivun oksien puusyiden pituuksia vastaaviin runkopuusta saatuihin arvoihin (koepuut OMT-maalla taulukossa 8) huomataan edellisten olevan selvästi lyhempiä niin hyvin normaali- kuin vetopuunkin osalta, joten tulos sopii hyvin yhteen mm. SCHNEIDERIN (1896) saarnesta tekemien havaintojen kanssa.

Sen sijaan puusyiden pituudessa eri etäisyyksillä oksan tyvestä ei tullut näkyviin mitään varmaa suuntaa kummankaan koivulajin enempää normaali- kuin vetopuussakaan.

Saadut tulokset osoittavat, että sekä hies- että rauduskoivun vetopuusyyt ovat jonkin verran pitempiä kuin normaalipuusyyt erotuksen ollessa kuitenkin runkopuussa niin pieni, että on epäilyttävää, onko tässä kyseessä todella vetopuulle luonteenomainen ominaisuus, puusyiden pituus rungon ainakin 2 m:n pituisessa tyviosassa kasvaa alhaalta ylöspäin mentäessä sekä normaali- että vetopuussa, hieskoivun puusyyt ovat keskimäärin hieman pitempiä kuin rauduskoivun ja oksien puusyyt ovat lyhempiä kuin runkopuun.

*Puusyiden läpimitta ja niiden seinämän paksuus*

JACCARD (1919) ilmoittaa rauduskoivun puusyiden keskimääräiseksi läpimitaksi rungon eri korkeuksilla 18–25  $\mu$  ja TRENDELENBURG (1939) vastaaviksi arvoiksi yleensä koivussa 14–40  $\mu$ . BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1949) sanovat oksien puukuitujen olevan yleensä ohuempia kuin runkopuun kaikilla lehtipuilla ja saman pitävän paikkansa myös havupuiden trakeidien suhteen.

STAUFFER (1892) mainitsee lajiltaan määrittelemättömän koivun puusyiden seinämän paksuudeksi rungon tyvessä ja sisäosissa 2.6–2.9  $\mu$ , mutta latvaosissa jopa 3.3–4.3  $\mu$ , jonka mukaan sen puusyyt ovat tyvessä ohuempiseinäisiä kuin ylempänä. TRENDELENBURG (1939) sanoo koivun puusyiden seinämän paksuudeksi yleensä 3–4  $\mu$  ja sen olevan eri puulajeilla yleensä ohuissa kuiduissa suuremman kuin paksuissa.

ENGLERIN (1918) mukaan koivun, poppelin, pyökin, vaahteran, lehmuksen, saarnen ja tammen puusyiden läpimitassa geotrooppisen puun ylä- ja alapuolella ei ole sanottavaa eroa, ei myöskään seinämän paksuudessa muissa luetelluista puulajeista kuin pyökissä ja tammessa, joissa hän totesi yläpuolen puusyiden olevan hieman ohuempiseinäisiä kuin alapuolen. Hän sanoo koivun puusyiden seinämän paksuuden olevan noin 10 % niiden läpimitasta. CHOW (1946) sen sijaan totesi pyökin rungon vetopuukuitujen olevan selvästi ohuempia ja paksumpiseinäisiä kuin normaalipuun saaden edellisten läpimitaksi 18.6  $\mu$  ja seinämän paksuudeksi 6.04  $\mu$  sekä jälkimmäisten vastaavasti 20.1  $\mu$  ja 5.8  $\mu$ . DADSWELL ja WARDROP (1955) sanovat, että australialaisten lehtipuiden normaali- ja vetopuukuitujen läpimitassa ei ole eroa puun ollessa tuoreessa tilassa.

Runkopuun puusyiden läpimitan ja seinämän paksuusmittausten jakautuminen eri paikkakunnilta ja kasvupaikoilta otettujen koepuiden sekä rungon eri korkeuksilta otettujen koekappaleiden kesken esitetään taulukossa 11. Puusyiden läpimitan mittausten tulokset näkyvät taulukossa 13.

Samoista oksien puusyistä, joista mitattiin pituudet, mitattiin osasta myös läpimitat ja seinämän paksuudet. Viimeksi mainittujen mittausten määrä on puolet pituusmittausten lukumäärästä. Mittausten tulokset esitetään taulukossa 12 puusyiden läpimitan osalta.

Taulukoista 12 ja 13 ilmenee, että vetopuusyyt ovat kauttaaltaan ohuempia kuin normaalipuusyyt molempien koivulajien sekä runko- että oksapuussa, joten saadut tulokset sopivat yhteen CHOW'n (1946) pyökin runkopuusta saamien kanssa, mutta ovat ristiriidassa ENGLERIN (1918)

mm. koivusta tekemien havaintojen kanssa. Ero tuli ilmi runkopuussa selvempänä kuin oksissa.

Runkopuun puusyiden läpimittojen toisiinsa vertailemiseksi laskettiin sekä hies- että rauduskoivun puusyiden läpimittojen frekvenssisarjat rungon 1 m:n pituista tyviosaa koskevana sisällyttäen samoihin sarjoihin kaikki esiintyneet kasvupaikat sekä kaiken ikäiset ja eri latvuseroksiin kuuluneet puut. Puusyiden läpimitassa käytettiin 2  $\mu$ :n tasaavaa luokitusta. Tulokset esitetään graafisesti kuvassa 32. Hieskoivun runkopuun normaalipuusyiden läpimittojen keskiarvoksi saatiin  $24.0 \pm 0.11 \mu$  ja vetopuusyiden  $20.4 \pm 0.10 \mu$ . Edellisille tuli dispersion arvoksi  $4.0 \pm 0.07 \mu$  ja jälkimmäisille  $3.6 \pm 0.07 \mu$ . Rauduskoivun normaalipuusyiden läpimittojen keskiarvoksi saatiin  $21.6 \pm 0.14 \mu$  ja vetopuusyiden  $19.4 \pm 0.13 \mu$ . Edellisille tuli dispersion arvoksi  $3.7 \pm 0.10 \mu$  ja jälkimmäisille  $3.5 \pm 0.09 \mu$ .

Oksien puusyiden jakautuminen eri läpimitaluokkiin 3  $\mu$ :n luokitusta käyttäen esitetään graafisesti kuvassa 33. Hieskoivun puusyiden läpimittojen keskiarvoksi saatiin normaalipuussa  $21.3 \pm 0.16 \mu$  ja vetopuussa  $20.4 \pm 0.17 \mu$ . Edellisille tuli dispersion arvoksi  $3.3 \pm 0.12 \mu$  ja jälkimmäisille  $3.5 \pm 0.12 \mu$ . Rauduskoivun puusyiden läpimittojen keskiarvoksi saatiin normaalipuussa  $17.8 \pm 0.12 \mu$  ja vetopuussa  $17.3 \pm 0.15 \mu$ . Edellisille tuli dispersion arvoksi  $2.4 \pm 0.09 \mu$  ja jälkimmäisille  $3.0 \pm 0.11 \mu$ .

Rauduskoivun puusyyt näyttävät olevan yleensä sen lisäksi, että niiden todettiin edellä olevan hieskoivun puusyyt lyhempiä, myös niitä ohuempia sekä normaali- että vetopuussa. Tämä käy ilmi sekä runko- että oksapuusta saaduista tuloksista.

Puusyiden läpimita koivun rungon ainakin 2 m:n pituisessa tyviosassa näyttää pienenevän normaalipuussa alhaalta ylöspäin mentäessä, kuten Kuhmossa MT-maalla kasvaneista hies- ja Helsingissä OMT-maalla kasvaneesta rauduskoivusta saadut mittaustulokset osoittavat. Vetopuusyiden läpimitassa ei tullut näkyviin sanotunlaista säännönmukaisuutta. Syiden läpimitassa eri etäisyyksillä oksan tyvestä ei näytä olevan mitään säännönmukaista eroa, jollaista ei havaittu myöskään niiden pituudessa.

Verrattaessa oksien puusyiden läpimittoja runkopuun vastaaviin arvoihin, koepuut OMT-maalta Helsingistä taulukossa 13, huomataan edellisten olevan selvästi jälkimmäisiä ohuempia molempien koivulajiemme sekä normaali- että vetopuussa, joten saatu tulos sopii yhteen BROWN'in ym. (1949) em. toteamuksen kanssa.

Runko- ja oksapuun maseroiduista näytteistä suoritettujen puusyiden seinämän paksuusmittausten määrä ja jakautuminen rungon ja oksien

eri osiin on esitetty jo edellä taulukoissa 11 ja 12. Niiden tulokset käyvät ilmi taulukoista 14 ja 17. Näissä on myös esitetty puusyiden seinämäprosentit, jotka on laskettu vertaamalla seinämän osuutta puusyiden koko läpimittaan paksuimmalta kohdaltaan. Maseroinnin johdosta nämä ovat todellisia arvoja hieman pienempiä.

Kuten jo puun ohuita poikkileikkauksia mikroskoopissa tarkasteltaessa huomattiin, vetopuusyyt osoittautuivat myös mittauksissa sekä hies- että rauduskoivussa normaalipuusyitä paksumpiseinäisiksi. Hieskoivun runkopuun osalta huomataan tästä pieni poikkeus Kuhmossa kangasrämeellä ja rauduskoivun runkopuun osalta VT-kankaalla kasvaneissa III:n latvuskerroksen puissa. Molemmista tapauksissa on kuitenkin vetopuusyiden seinämän suhteellista paksuutta osoittava seinämäprosentti normaalipuusyiden vastaavaa prosenttia korkeampi, koska vetopuusyyt olivat huomattavasti ohuempia kuin normaalipuusyyt. Saadut tulokset sopivat siis hyvin yhteen CHOW'n (1946) tutkimuksien kanssa, mutta ovat ristiriidassa ENGLERIN (1918) mm. koivusta saamien tulosten kanssa.

Runkopuun 1 m:n pituisen tyviosan maseroiduista puunäytteistä mitattujen puusyiden seinämien jakautuminen eri paksuusluokkiin esitetään graafisesti kuvassa 34 käyttäen 0.5  $\mu$ :n tasaavaa luokitusta. Eri kasvupaikoilta otetut, eri ikäiset ja eri latvuskerroksiin kuuluvat puut on yhdistetty samaan frekvenssisarjaan. Hieskoivun puusyiden seinämän paksuuden keskiarvoksi saatiin normaalipuussa  $3.50 \pm 0.015 \mu$  ja vetopuussa  $3.90 \pm 0.020 \mu$ . Edellisille tuli dispersion arvoksi  $0.56 \pm 0.011 \mu$  ja jälkimmäisille  $0.74 \pm 0.014 \mu$ . Rauduskoivun puusyiden seinämän paksuuden keskiarvoksi saatiin normaalipuussa  $3.30 \pm 0.020 \mu$  ja vetopuussa  $4.04 \pm 0.037 \mu$ . Edellisille tuli dispersion arvoksi  $0.51 \pm 0.014 \mu$  ja jälkimmäisille  $0.96 \pm 0.026 \mu$ .

Oksapuun puusyiden seinämien jakautuminen eri paksuusluokkiin ilmenee kuvasta 35. Tällöin eri etäisyyksiltä oksan tyvestä saadut mittaus-tulokset on yhdistetty samaan frekvenssisarjaan. Hieskoivun puusyiden seinämän paksuuden keskiarvoksi saatiin normaalipuussa  $3.55 \pm 0.029 \mu$  ja vetopuussa  $4.08 \pm 0.041 \mu$ . Dispersion arvoksi tuli vastaavasti normaalipuusyille  $0.58 \pm 0.021 \mu$  ja vetopuusyille  $0.83 \pm 0.029 \mu$ . Rauduskoivun oksien normaalipuusyiden seinämän paksuuden keskiarvoksi saatiin  $3.22 \pm 0.023 \mu$  ja vetopuusyiden  $3.67 \pm 0.032 \mu$ . Dispersion arvoksi tuli vastaavasti normaalipuusyille  $0.46 \pm 0.016 \mu$  ja vetopuusyille  $0.64 \pm 0.023 \mu$ .

Molempien koivulajien normaalipuusyyt näyttävät siis kasautuvan seinämiensä paksuuden puolesta enemmän keskiarvonsa ympärille kuin veto-

puusyyt, mikä onkin luonnollista, kun otetaan huomioon, että vetopuun puolella puusyyt vaihtelevat miltei normaaleista tyypillisiin, voimakkaasti muodostuneisiin vetopuusyihin saakka.

Verrattaessa toisiinsa hies- ja rauduskoivun puusyiden seinämien paksuutta näyttää siltä kuin ainakin jälkimmäisen normaalipuusyyt olisivat suhteellisesti paksumpiseinäisiä kuin edellisen, jollaiseen suhteeseen viittaavat lisäksi vetopuusyistä saadut tulokset oksapuun osalta. Sen sijaan runkopuun puusyiden seinämien absoluuttinen paksuus ei osoita mitään säännönmukaisuutta tässä suhteessa, ja oksapuusta saadut tulokset osoittavat puolestaan, että hieskoivun sekä normaali- että vetopuusyiden seinämien absoluuttinen paksuus on selvästi suurempi kuin rauduskoivun.

Molempien koivulajien runkopuun ja ainakin hieskoivun oksapuun normaalipuusyiden seinämän suhteellista paksuutta osoittava seinämäprosentti on ohuissa syissä ilmeisesti suurempi kuin paksuissa, mutta kumpunkaan koivulajin vetopuusyiden seinämän suhteellisessä enempää kuin normaali- tai vetopuusyiden seinämän absoluuttisessakaan paksuudessa, olipa sitten kyseessä runko- tai oksapu, ei ilmennyt mitään säännönmukaisuutta. Näin ollen saadut tulokset eivät vahvista TRENDLENBURGIN (1939) em. mainintaa seinämän paksuudesta erivahvuissa kuivissa.

Verrattaessa toisiinsa runkokoepuiden puusyiden seinämän paksuutta eri korkeuksilla maasta lukien huomataan sen pienenevän ylöspäin mentäessä molemmilla koivulajeillamme varsinkin vetopuussa, mikä lienee yhteydessä vetopuun muodostumisen heikkenemisen kanssa. Mittaukset ulottuivat tosin hieskoivusta vain 4–5 m:n ja rauduskoivusta 2 m:n korkeuteen saakka, joten saatujen tulosten perusteella, ottaen huomioon mitausten vähälukuisuuden 1–5 m:n korkeudelta, ei ole syytä tehdä mitään lopullisia päätelmiä varsinkaan rauduskoivun osalta.

Metsätyypin ja latvuskerroksen vaikutuksesta puusyiden seinämän paksuuteen ei voida tehdä päätelmiä, koska tutkimusaineisto on sellaiseen liian suppea ja mittaukset vähälukuiset.

Oksapuun puusyiden seinämän paksuudessa eri etäisyyksillä oksan tyvestä ei näytä olevan mitään määrätynsuuntaista eroa.

Verrattaessa oksien puusyiden seinämän paksuutta likimain vastavissa oloissa kasvaneiden puiden runkopuusta saatuihin arvoihin (Helsingissä OMT-maalla kasvaneet koivut taulukossa 14) huomataan, että vetopuusyyt ovat molempien koivulajien oksissa selvästi ohuempiseinäisiä kuin rungossa. Runko- ja oksapuun normaalipuusyiden seinämän paksuudessa ei ilmennyt täysin selvää eroa kumpaankaan suuntaan.

Paitsi maseroiduista puunäytteistä, suoritettiin runkopuun puusyiden seinämän paksuusmittauksia myös puun tyvestä otettujen poikkileikkausten varjostimelle projisioituista kuvista jäljentämällä saaduista piirroksista. Tutkimus kohdistui yhteen hies- ja yhteen rauduskoivuun, joista molemmista otettiin kolme koko vuosirenkaan vahvuuden käsittävää piirrossarjaa sekä normaali- että vetopuusta kolmesta uloimmasta vuosirenkaasta. Tällöin suoritettiin seinämän mittausta soluontelosta toiseen ja sen puolitettu arvo merkittiin seinämän paksuudeksi (TRENDELENBURG 1939 ja FREUND 1951). Suoritettujen mittausten määrä ja niiden tulokset esitetään taulukossa 15.

Puusyiden seinämän paksuusmittausten kanssa samoista poikkileikkauksista saaduista piirroksista laskettiin pinta-alapoletilla myös puusyysolukon seinämäprosentit muutamissa uloimmissa vuosirenkaissa. Laskeminen suoritettiin kunkin vuosirenkaan osalta kolmesta koko luston vahvuuden käsittävästä rinnakkaispiirrossarjasta leveiltä, poikki luston meneviltä yhtäjaksoisilta suorakaiteisilta koealoilta, jotka suurennuksen voimakkuuden vuoksi jatkuivat vetopuun puolella useassakin perättäisessä piirroksessa. Saman vuosirenkaan eri osia edustavilta koealoilta saaduista puusyysolukon seinämäprosentteista koko vuosirengasta koskevaa keskiarvoa laskettaessa käytettiin punnituksessa painolukuna kunkin koealan pätkän edustaman rengasosuuden vahvuutta säteen suunnassa. Pinta-ala ei tähän tarkoitukseen kelvannut, koska koealan leveyttä jouduttiin jonkin verran vaihtelevaan putkiloiden sijainnista riippuen.

Tällä tavoin tutkittiin hieskoivun normaalipuusta 1.10 mm<sup>2</sup> ja vetopuusta 2.60 mm<sup>2</sup> suuruinen ala vastaavien pinta-alojen ollessa rauduskoivun osalta 0.60 ja 0.50 mm<sup>2</sup>. Koealojen yhteiset pinta-alat olivat vastaavasti hieskoivusta 0.28 ja 1.34 mm<sup>2</sup> sekä rauduskoivusta 0.11 ja 0.29 mm<sup>2</sup>.

Edellisen lisäksi suoritettiin vastaavanlainen puusyysolukon seinämäprosentin määrittäminen 60-vuotiaan hieskoivukoepuun n:o 27 rungon tyvestä vetopuun puolelta kahdesta peräkkäisestä vuosirenkaasta otetuista mikrovalokuvista (kuvat 16 ja 17), joista edellinen edustaa normaalipuuta (23. vuosirengas pinnasta lukien) ja jälkimmäinen vetopuuta (22. vuosirengas). Suurenus oli tällöin n. 800-kertainen.

Mittausten tulokset esitetään taulukossa 16.

Koepuiden normaalipuussa tavattiin toisinaan tavallisen solukon ohella erikoisen suuriontelosta (*Weichholz*) ja läiskittäin myös omituisen ahdasonteloista (*Schwerholz*) puusyysolukkoa, joista edellisen puusyiden seinämien paksuus oli keskimäärin vain 2  $\mu$ :n suuruusluokkaa ja jälkimmäisen 3.8  $\mu$ :n.

Poikkileikkauksesta saatiin puusyiden seinämän paksuudeksi normaalipuun osalta jonkin verran pienempiä ja vetopuun osalta suurempia arvoja kuin maseroiduista puunäytteistä. Erotus sekä hies- että rauduskoivun normaalipuun ja rauduskoivun vetopuun osalta on kuitenkin kovin vähäinen. Sen sijaan hieskoivun vetopuun osalta se on huomattava. Joka tapauksessa taulukossa 15 esitetyt tulokset vahvistavat maseroiduista puunäytteistä tehtyä toteamusta vetopuusyiden paksuseinäisyydestä normaalipuun syihin verrattuna molemmilla koivulajeilla.

Etsittäessä syitä em. kahdella eri menetelmällä saatujen tulosten osittaiseen erilaisuuteen normaalipuun osalta on otettava huomioon, että se, onko maseroitu kuitunäyte sattunut tavanomaisen, hohkaisen vaiko tiiviin solukon kohdalle, on varmaankin vaikuttanut tulokseen. On otettava huomioon myös se mahdollisuus, että maserointi on varovaisuudestaan huolimatta keskilamellin lisäksi liuottanut jossain määrin varsinkin vetopuusyiden tertiääristä seinämäkerrosta. Tällaiseen mahdollisuuteen viittaa myös MÜNCHIN (1937—38) maininta liivatemaisen kerroksen helpeä liukenevaisuudesta.

Puusyysolukon seinämäprosentti vaihteli samankin vuosirenkaan eri piirroksissa huomattavasti. Hieskoivun normaalipuusta otetuissa eri vuosirenkaita edustavissa piirroksissa se vaihteli 45.1—89.6 % ja vetopuusta otetuissa 92.0—100 % sekä rauduskoivusta otetuissa vastaavasti normaalipuussa 57.9—88.9 % ja vetopuussa 88.2—98.8 %. Normaalipuuta koskevat maksimiarvot edustavat perin ahdasonteloista kesäpuusolukkoa vuosirenkaiden uloimmissa osissa.

Hieskoivukoepuun n:o 1 vetopuussa todettiin kunkin vuosirenkaan ensimmäisen puoliskon puusyysolukon seinämäprosentin olevan selvästi suuremman kuin toisen puoliskon, jolloin edellisen suuruus eri vuosirenkaissa vaihteli 98.1—100.0 % ja jälkimmäisen 90.1—99.5 %. Näin ollen kasvukauden alkupuolella muodostunut vetopuu on ollut tiiviimpää kuin loppupuolella muodostunut, johon viitattiin jo edellä vetopuusolukon mikroskooppista ulkonäköä kuvattaessa. Luonnollisesti niissäkin tapauksissa, joissa vetopuun puusyysolukon seinämäprosentiksi on saatu 100 %, on puusyissä ollut ontelot, mutta ne ovat olleet niin pieniä, etteivät ne ole ko. suurennusta (360 $\times$ ) käytettäessä tulleet näkyviin lainkaan tai vain kynän terävän kärjen vahvaisina pisteinä, joiden pinta-alaosuutta ei pystytty määrittämään. Se, että vetopuusolukko on paksumpiseinäistä vuosirenkaan alku- kuin loppupuoliskossa, todettiin myös rauduskoivukoepuusta, vaikka ei niin selvästi kuin hieskoivusta.

Saadut tulokset osoittavat, että puusyöt ovat sekä hies- että raudus-

koivun vetopuussa ohuempia ja paksumpiseinäisiä kuin normaalipuussa, puusyiden läpimitta rungon normaalipuussa pienenee todennäköisesti tyvestä 2 m:n korkeudelle mentäessä ja niiden seinämän paksuus mahdollisesti pienenee samassa suunnassa sekä normaali- että vetopuussa, varsinkin viimeksi mainitussa, oksien vetopuusyit ovat ohuempia ja ohuempiseinäisiä kuin rungon, rauduskoivun puusyit ovat ilmeisesti sekä normaali- että vetopuussa ohuempia ja normaalipuussa myös suhteellisesti paksumpiseinäisiä kuin hieskoivun, normaalipuusyiden seinämän suhteellinen paksuus kuidun läpimittaan verrattuna on ehkä ohuissa syissä suurempi kuin paksuissa ja puusyysolukko on vetopuun vuosirenkaan alkupuoliskossa paksumpiseinäistä kuin loppupuoliskossa.

#### Putkiloihin kohdistuneet tutkimukset

##### *Putkiloiden lukumäärä*

JACCARD (1919) ilmoittaa putkiloiden lukumääräksi rauduskoivun uloimmassa vuosirenkaassa eri korkeuksilla 24—50 kpl./mm<sup>2</sup> keskiarvon ollessa 34 kpl./mm<sup>2</sup>. Pienimmät arvot koskevat puun tyvettä ja suurimmat latvaosia tutkimuksen ulottuessa tyvestä 14 m:n korkeuteen saakka.

WALLDÉN (1934) sai hieskoivun putkiloiden lukumääräksi 6 m:n korkeudella sydänpuussa 24—60 ja pintapuussa 28—53 kpl./mm<sup>2</sup>. BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1949) sanovat oksapuun putkiloiden lukumäärän olevan eri puolajilla yleensä suuremman kuin runkopuun.

KNY (1882) ja LÄMMERMAYR (1901) ilmoittavat putkiloiden olevan mm. koivun ja saksanpähkinän eksentristen elinten leveällä puolella lukuisimmat kuin kapealla. Sen sijaan sen, että putkiloiden lukumäärä on vetopuussa pienempi kuin normaalipuussa, ovat todenneet lukuisat tutkijat, mm. METZGER (1908) tammesta, pyökistä, saarnesta ja vaahterasta, JACCARD (1917) mm. koivusta, ENGLER (1918) pyökistä ja koivusta, CHOW (1946) pyökistä, ONAKA (1949) lukuisista japanilaisista lehtipuista, DADSWELL ja WARDROP (1949) australialaisista lehtipuista sekä JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG (1951) poppelilajeista. CHOW (1946) tuli sellaiseen tulokseen pyökistä, että vahvoissa ja keskinkertaisissa vuosilustoissa ovat putkilot vetopuussa harvalukuisemmat kuin normaalipuussa, mutta ohuissa päinvastoin. Tällöin hän vertasi keskenään suunnilleen samanvahvuisia vuosirenkaita normaali- ja vetopuun

puolella. Samalla hän totesi, että putkiloiden lukumäärä on sekä normaali- että vetopuussa suurempi ohuissa kuin vahvoissa vuosilustoissa.

Jo silmämääräisesti koivun normaali- ja tyyppillisesti muodostuneesta vetopuusta otettuja poikkileikkauksia mikroskooppissa tarkasteltaessa todettiin jälkimmäisissä olevan huomattavasti vähemmän putkiloita kuin edellisissä, kuten edellä jo mainittiin.

Tämän kysymyksen tarkemmaksi selvittämiseksi luettiin putkiloita sekä normaali- että vetopuusta puun tyvestä toisiaan vastaavilta korkeuksilta ja samoista vuosirenkaista otetuista poikkileikkauksista piirtämällä saaduista heijastinkuvista käyttämällä 100-kertaista suurennusta. Yleensäkin putkiloita koskevissa mittauksissa käytettiin tätä suurennusta.

Sen selvittämiseksi, onko ja millainen ero putkiloiden lukumäärässä, koossa ja muodossa sekä putkiloprosentissa vuosirenkaan alku- ja loppupuoliskossa, suoritettiin tutkimukset kahdesta koepuusta tätä silmällä pitäen erikseen kunkin vuosirenkaan sanotuista puoliskoista. Tällöin vuosirenkas jaettiin sen muotoa tarkoin noudattaen kahteen samanvahvuiseen osaan, jotka merkittiin a- ja b-puoliskoiksi.

Kustakin vuosirenkaasta otettiin hieskoivusta 5—10 ja rauduskoivusta 5—7 koko renkaan vahvuuden käsittävää piirrosta.

Putkiloiden lukumäärää koskevien tutkimusten tulokset sekä tutkittu pinta-ala esitetään runkopuun osalta taulukossa 18.

Myöskin oksapuusta suoritettiin jonkin verran vertailevia putkiloiden lukumäärää ja kokoa sekä putkiloprosenttia koskevia tutkimuksia niiden kohdistuessa yhteen hies- ja yhteen rauduskoivuun. Tutkittu oksa on molemmissa tapauksissa 3 m:n korkeudelta, mutta koska tutkimus kohdistui näissä aivan eri vuosirenkaisiin, eivät saadut tulokset ole toisiinsa nähden vertailukelpoisia. Sitä paitsi näytteet otettiin hieskoivusta 20 cm:n ja rauduskoivusta 50 cm:n etäisyydeltä oksan tyvestä. Kustakin vuosirenkaasta otettiin hieskoivusta viisi ja rauduskoivusta neljä koko vuosirenkaan vahvuuden käsittävää piirrosta sekä normaali- että vetopuusta. Täten tultiin hieskoivun normaalipuusta tutkineeksi 14.96 mm<sup>2</sup>:n ja vetopuusta 33.18 mm<sup>2</sup>:n suuruisen ala vastaavien pinta-alojen ollessa rauduskoivun osalta 21.94 ja 48.88 mm<sup>2</sup>. Putkiloiden lukumäärää koskevat tutkimustulokset esitetään taulukossa 22.

Sen osoittamiseksi, miten koivun rungon vinoon asentoon joutuminen kuvastuu sen johtosolukossa, esitetään taulukossa 21 putkiloiden lukumäärän vaihtelu eri vuosirenkaissa rungon eri puolilla edellä jo useaan kertaan mainitussa 60-vuotiaassa hieskoivussa, joka oli joutunut voimakkaasti vinoon asentoon 22 vuotta ennen kaatamista sorakuopan kaivami-



sen vuoksi. Kustakin vuosirenkaasta otettiin yksi koko renkaan vahvuuden käsittävä piirros tutkitun pinta-alan ollessa normaalipuusta 7.23 ja vetopuusta 49.85 mm<sup>2</sup>.

Taulukosta 18 ilmenee ensiksikin, että runkopuun putkiloiden lukumäärä/mm<sup>2</sup> on sekä hies- että rauduskoivun vetopuussa tuskin puoltakaan siitä, mitä se on normaalipuussa, joissakin vuosirenkaissa jopa vain noin neljännes. Tämä koskee vuosirenkaiden sekä alku- että loppupuoliskoja. Oksapuussa ero ei ole aivan näin jyrkkä. Tulokset sopivat siis hyvin yhteen lukuisien em. tutkijoiden, mm. JACCARD'in (1917) ja ENGLERIN (1918), mutta eivät KNYN (1882) ja LÄMMERMAYRIN (1901) tulosten kanssa, minkä ei kuitenkaan tarvitse merkitä ristiriitaa viimeksi mainittujenkaan saamien tulosten kanssa, mikäli heidän tutkimuksensa on kohdistunut vaakasuorien oksien tyveen tai mahdollisesti sellaisen puun rungon tyveen, joka on kasvanut alapuolelle enemmän paksuutta kuin yläpuolelle, mutta jossa vetopuu on kuitenkin muodostunut yläpuolelle.

Verrattaessa tulokseksi saatuja runkopuun putkiloiden lukumääriä samojen koepuiden taulukossa 6 ilmoitettuihin vastaavien vuosirenkaiden vahvuuksiin todetaan, että putkiloiden lukumäärä on vetopuussa yleensä suurempi ohuissa kuin vahvoissa vuosirenkaissa molemmilla koivulajeilla. Myöskin normaalipuusta huomattiin sama suunta yksityisiä vuosirenkaita toisiinsa verrattaessa, vaikkakaan ei niin ilmeisenä kuin vetopuusta. Taulukon 6 keskiarvoluvuissa tämä ei tule selvästi ilmi. Saadut tulokset siis vahvistavat CHOW'n (1946) pyökistä tekemiä havaintoja.

Edellisen johdosta on syytä tarkastella vielä putkiloiden lukumääriä keskenään suunnilleen samanvahvuissa normaali- ja vetopuun vuosirenkaissa. Tulokset näkyvät taulukosta 19.

Taulukosta 19 ilmenee, että putkiloiden lukumäärä vetopuussa on selvästi pienempi kuin normaalipuussa, vaikka otetaan vertailtaviksi keskenään samanvahvuisetkin vuosirenkaat. Hieskoivun osalta tutkimus kohdistui normaali- ja vetopuun puolella samoihin vuosirenkaisiin, jollaista asetelmaa ei rauduskoivun osalta voitu saada sen kauttaaltan kovin voimakkaasti eksentrisen kasvun vuoksi. Kuitenkaan rauduskoivunkaan toisiinsa vertaillut vuosirenkaat eivät ole niin kaukana toisistaan, että sillä olisi sanottavaa vaikutusta. Tulokset sopivat siis tässäkin suhteessa yhteen CHOW'n (1946) havaintojen kanssa, sillä nyt tutkitut vuosirenkaat eivät olleet aivan ohuita, vaan ehkä keskinkertaisiksi katsottavia.

Taulukosta 21 ilmenee, että ko. hieskoivun jouduttua voimakkaasti vinoon asentoon tämän jälkeen muodostuvien putkiloiden lukumäärä mm<sup>2</sup>:ä kohden sen rungon yläpuolella (vetopuu) on jyrkästi vähentynyt,

mutta alapuolella (normaalipuun) päinvastoin vastaavasti lisääntynyt aikaisempiin vuosiin verrattuna. Puu on kasvaessaan viettävällä rinteellä kasvanut paksuutta eksentrisesti jo ennen sorakuopan kaivamistakin, mikä ilmenee taulukosta 5, jonka vuoksi putkiloiden lukumäärä nopeakasvuilla puolella on ollut alunperin pienempi kuin hidaskasvuilla. Erotus on tullut vain entistä selvemmäksi puun jouduttua voimakkaasti vinoon asentoon ja alettua muodostaa vetopuuta, kuten erikoisesti vuosirenkaita 16—21 koskevista luvuista ilmenee, joissa putkiloiden lukumäärä vetopuussa on vain noin kymmenesosa normaalipuun määrästä.

Rungon alapuolella ovat vuosirenkaat puun jouduttua voimakkaasti vinoon asentoon erittäin jyrkästi ohentuneet, kuten taulukosta 5 ilmenee, joten putkiloiden lukumäärän voimakas kasvu samanaikaisesti on ilmeisesti yhteydessä tämän ilmiön kanssa.

Putkiloiden mm<sup>2</sup>:ä kohden laskettu lukumäärä eri vuosilustoissa pienee hieskoivun normaalipuussa ytimestä pintaan mentäessä ainakin viimeisinä vuosikymmeninä. Tämä käy ilmi runkopuun osalta taulukosta 20, jossa vuosirenkaan vahvuuden vaikutus putkiloiden lukumäärään on osittain eliminoitu ilmaisemalla ko. lukumäärät hieskoivusta ryhmittäin kolmen vuosirenkaan keskiarvoina. Rauduskoivusta ei vastaavaa vertailua suoritettu. Putkiloiden poikkeuksellisen suureen lukumäärään 16.—18. vuosirenkaissa on ilmeisesti osittain syynä ko. vuosirenkaiden ohuus. Rauduskoivun oksan normaalipuusta tulokseksi saadut putkiloiden lukumäärät (taulukko 22) osoittavat selvästi samaa suuntaa kuin hieskoivun runkopuusta saadut.

Putkiloiden lukumäärä vuosirenkaan loppupuoliskossa näyttää olevan keskimäärin jonkin verran pienempi kuin alkupuoliskossa sekä hies- että rauduskoivussa, joskin yksityisissä vuosirenkaissa on tästä poikkeuksia. Rauduskoivun rungon vetopuusta tultiin sitä paitsi päinvastaiseen tulokseen, joskin erotus on kovin pieni kokonaiskeskiarvona eri vuosirenkaista laskettuna. Täten koivussakin hajaputkiloisena puuna on jonkin verran eroa putkiloiden jakautumisessa vuosirenkaan eri osiin.

Taulukossa 18 esitettyjen hies- ja rauduskoivukoepuiden ikä, pituus ja latvuskerros ovat samat, mutta ne ovat eri puolilta maata ja erilaisilta kasvupaikoilta, joten ne eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Edellisen sekä normaali- että vetopuusta saatiin putkiloiden lukumääräksi hie- man suuremmat arvot kuin jälkimmäisestä.

Sen, että putkiloiden lukumääräksi rauduskoivun rungon normaalipuusta saatiin mm<sup>2</sup>:ä kohden kovin huomattavasti suurempi luku kuin

JACCARD (1919) sai, voitaneen katsoa osaltaan johtuvan siitä, että veto- puuta muodostaneissa rungoissa on normaalipuun sädekasvu ollut huomattavasti tavallista vähäisempi ja vuosirenkaat siis normaalia ohuempia, joka on saanut aikaan putkiloiden lukumäärän huomattavan kohoamisen varsinaiseen häiriintymättömissä olosuhteissa kasvaneeseen normaalipuuhun verrattuna, jollaista JACCARD'in tutkimus etupäässä ilmeisesti koskee. JACCARD'in tutkimassa rauduskoivussa olikin uloimman vuosirenkään vahvuus tyvässä 1.7 mm vaihdellen eri korkeuksilla 1.7—2.0 mm ollen nyt tutkitun puun tyvässä normaalipuussa vain 0.19 mm. Sitä paitsi JACCARD'in tulokseksi saamaan pieneen putkiloiden lukumäärään voi vaikuttaa myös se, että yleensä kovin yleistä vetopuusolukkoa on ehkä ollut aineistossa mukana. Ei myöskään ole tietoa siitä, onko hän putkiloita laskiessaan pitänyt jokaista yhdistetyn putkilon pientä putkiloa omana yksilönä vai onko hän katsonut ne samaan putkiloon kuuluviksi, jollaista menetelmää käytettäessä tulokseksi saatava putkiloiden määrä luonnollisestikin huomattavasti laskee.

Oksapuusta tulokseksi saatuja putkiloiden määriä ei voida varmuudella verrata runkopuusta saatuihin, koska tutkitut oksat ovat huomattavasti ylempää kuin mihin runkopuuta koskeva tutkimus ulottui. Sitä paitsi hieskoivun osalta olivat runko- ja oksapuusta tutkimuksen alaisina kokonaan eri vuosilustot. Oksapuun putkiloiden lukumääräksi saatiin kuitenkin niin paljon runkopuusta saatuja korkeampia arvoja sekä normaali- että vetopuusta, että näyttää siltä kuin oksapuun putkiloiden määrä olisi täysin vertailukelpoisissakin olosuhteissa suurempi kuin runkopuun (myös BROWN, PANSIN ja FORSAITH 1949).

Saadut tulokset osoittavat, että molemmissa koivulajeissa putkiloiden lukumäärä mm<sup>2</sup>:ä kohden on vetopuussa selvästi pienempi kuin normaalipuussa samanvahvaisissakin vuosilustoissa ja että se on vahvoissa lustoissa yleensä pienempi kuin ohuissa, koivu reagoi nopeasti vinoon asentoon jouduttuaan vähentämällä putkiloiden muodostamista poikkileikkauksen mm<sup>2</sup>:ä kohden runkonsa yläpuolella, mutta lisäämällä sitä alapuolella, putkiloiden lukumäärä normaalipuussa mahdollisesti alenee ytimeistä pintaan päin ainakin pintapuussa, on vuosiluston loppupuoliskossa yleensä selvästi pienempi kuin alkupuoliskossa sekä normaali- että vetopuussa ja oksapuussa mahdollisesti suurempi kuin runkopuussa.

#### Putkiloiden läpimitta ja muoto

STAUFFERIN (1892) mukaan putkiloiden läpimitta koivulla vaihtelee rungon eri korkeuksilla 56—86  $\mu$  ohentuen pinnasta ytimeen ja tyvestä latvaan mentäessä ja BÜSGEN (1897) ilmoittaa niiden vahvuudeksi 85  $\mu$ . TRENDELENBURG (1939) mainitsee koivun putkiloiden tangentin suuntaisen läpimitan olevan 67  $\mu$  ja VORREITER (1949) 65  $\mu$  sekä säteen suuntaisen 40  $\mu$ .

JACCARD (1919) totesi rauduskoivun putkiloiden ohenevan tyvestä latvaan mentäessä ja olevan kesäpuussa hieman ohuempia kuin kevät- puussa. Hänen tulokseksi saamansa putkiloiden vahvuudet ovat huomattavasti suuremmat kuin muiden tutkijoiden, mikä ilmeisesti on yhteydessä sen edellä tehdyn toteamuksen kanssa, että hänen ilmoittamansa putkiloiden lukumäärä tuntuu kovin pieneltä.

Sen, että putkilot ohenevat yleensä pinnasta ytimeen ja tyvestä latvaan mentäessä, ovat todenneet myös SCHNEIDER (1896) saarnesta ja KUJALA (1946) sekä hies- että rauduskoivusta, jolloin viimeksi mainittu totesi hieskoivun putkiloiden olevan paksumpia kuin rauduskoivun. WALLDÉN (1934) sanoo putkiloiden olevan hieskoivun pintapuussa ohuempia kuin sydänpuussa. TRENDELENBURG (1939) sanoo kevät- puun putkiloiden olevan hajaputkiloisissa lehtipuissa yleensä laajempi- onteloisia kuin kesäpuun, jollaiseen tulokseen tuli myös em. JACCARD (1919) rauduskoivusta. BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1949) sanovat oksapuun putkiloiden olevan yleensä ohuempia kuin runkopuun.

KNYN (1882) ja LÄMMERMAYRIN (1901) mukaan putkilot ovat mm. koivussa ja saksanpähkinässä eksentristen elinten leveällä puolella laajempionteloisia kuin kapealla, siis päinvastoin kuin SCHNEIDERIN (1896) saarnesta saama tulos osoittaa.

ENGLER (1918) ilmoittaa putkiloiden vahvuudeksi koivun rungon yläpuolen geotrooppisen puun kevät- puussa 55 ja kesäpuussa 51  $\mu$  vastaa- vien arvojen ollessa alapuolen puussa 58 ja 53  $\mu$ , jonka mukaan vetopuun putkilot ovat hieman normaalipuun putkiloita ohuempia, joskin erotus on epäoleellisen pieni. Että yläpuolen puun putkilot ovat ehkä hieman ahtaampia kuin alapuolen, hän totesi myös pyökistä ja poppelista, mutta vuorivaahterasta, lehmuksesta, saarnesta ja tammesta hän tuli selvästi päinvastaiseen tulokseen sekä kevät- että kesäpuun osalta. CHOW (1946) sai pyökin normaalipuun putkiloiden vahvuudeksi 54.5  $\mu$  ja vetopuun 51  $\mu$ . Sitä paitsi hän totesi normaali- ja vetopuun putkiloiden poikkeavan toisistaan myös muotonsa puolesta, siten että jälkimmäisten säteen suun-

tainen läpimitta on pienempi kuin edellisten, tangentin suuntaisen läpimitan ollessa saman. Putkiloiden tangentin suuntaiseksi läpimitaksi hän sai  $47 \mu$  ja säteen suuntaiseksi normaalipuussa  $62 \mu$  ja vetopuussa  $55 \mu$ . Sen, että vetopuun putkilot ovat ohuempia kuin normaalipuun, ovat todenneet myös ONAKA (1949) lukuisista japanilaisista sekä DADSWELL ja WARDROP (1949) australialaisista lehtipuista.

Samoista piirroksista, joista suoritettiin putkiloiden lukumäärätutkimuksia, mitattiin myös niiden läpimittoja kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa, suurin ja pienin läpimitta, joiden keskiarvo merkittiin putkilon läpimitaksi. Kaikkiaan mitattiin hieskoivun runkopuun normaalipuusta 5 672 ja vetopuusta 4 553 putkiloa vastaavien määrien ollessa rauduskoivun osalta 1 991 ja 1 664 putkiloa. Mittausten tulokset esitetään taulukossa 23.

Lisäksi tehtiin erikoistutkimus yksittäisistä putkiloista mittaamalla niiden tangentin ja säteen suuntainen läpimitta ja pitämällä mittaustulokset näissä kahdessa suunnassa erossa toisistaan. Tutkimus kohdistui molemmista puulajeista vain kahteen vuosirenkaseen ja sen tulokset sekä mittausten lukumäärä esitetään taulukossa 25. Tutkimusten tulokset 22 vuotta ennen kaatamista vinoon asentoon joutuneen 60-vuotiaan hieskoivun rungon tyvestä esitetään taulukossa 24.

Oksapuuta koskevien mittausten tulokset ja mitattujen putkiloiden lukumäärä esitetään taulukossa 26.

Taulukosta 23 ilmenee, että enempää ko. hies- kuin rauduskoivussaakaan ei rungon normaali- ja vetopuun putkiloiden koolla ole todennäköisesti mitään oleellista eroa. Kokonaiskeskiarvona saatiin hieskoivun vetopuun putkiloiden läpimitaksi hieman pienempi arvo kuin normaalipuun, mutta rauduskoivun osalta on suhde päinvastainen. Sanottavaa eroa ei myöskään todettu oksapuusta hieskoivun osalta, mutta rauduskoivusta saatiin putkiloiden läpimitaksi vetopuussa suuremmat arvot kuin normaalipuussa.

Taulukosta 24 ilmenee, että ko. puun alkaessa muodostaa vetopuuta putkiloiden läpimitta on pienentynyt huomattavasti normaalipuun puolella, ja että tätä pienentymistä on jatkunut pintaan saakka. Vetopuun puolella putkiloiden läpimitta sen sijaan on pysynyt jokseenkin muuttumattomana ja samana kuin se oli jo ennen vetopuun muodostumista. Ennen vetopuun muodostumista putkiloiden koossa rungon poikkileikkauksen eri puolilla ei liene ollut sanottavaa eroa, kuten vuosirenkaita 23 ja 24 koskevistä luvuista ilmenee. Koska ko. puun paksuuskasvu on ollut vetopuun muodostumisajan normaalipuun puolella pintaan saakka kovin

heikko, kuten taulukosta 5 ilmenee, on normaalipuun putkiloiden pieni läpimitta ilmeisesti yhteydessä tämän seikan kanssa. Täten on ilmeistä, ettei normaali- ja vetopuun putkiloiden paksuudella ole yksiselitteistä eroa kummassakaan koivulajissa. Eihän ENGLERKÄÄN (1918) todennut selvää eroa koivun ylä- ja alapuolen puun välillä tässä suhteessa, kun taas KNY (1882) ja LÄMMERMAYR (1901) sanovat putkiloiden olevan koivun eksentristen elinten leveällä puolella laajempionteloisia kuin kapealla.

Sen sijaan yksittäisten putkiloiden läpimitta voi mahdollisesti olla sekä säteen että tangentin suunnassa vetopuussa pienempi kuin normaalipuussa, ellei paksuuskasvu viimeksi mainitussa ole kovin heikko, jollaiseen tulokseen varsinkin hieskoivun runkopuusta tehdyt mittaukset viittaavat. Mahdollisesti vetopuun putkilot ovat myös poikkileikkausmuodoltaan hieman soukempia kuin normaalipuun varsinkin rauduskoivusta saatujen tulosten mukaan, joten tämä viittaa päinvastaiseen tulokseen kuin mihin CHOW (1946) tuli pyökistä. Ilmeisesti yksittäisten putkiloiden läpimitan ja muodon selvittely vaatii vielä lisätutkimuksia.

Putkilot ovat ilmeisesti molempien koivulajien sekä normaali- että vetopuussa vuosirenkaan loppupuoliskossa selvästi ohuempia kuin alkupuoliskossa, joten saatu tulos vahvistaa JACCARD'in (1919) rauduskoivusta tekemää toteamusta.

Verrattaessa toisiinsa runkopuun putkiloiden vahvuuksia eri vuosirenkaissa taulukossa 23 huomataan esimerkiksi kolmen vuoden keskiarvoina laskien niiden ohenevan hieskoivun normaalipuussa yleensä pinnasta ytimeen mentäessä. Vetopuussa ja rauduskoivussa yleensä suhde on epäselvä. Täten saatu tulos sopii hieskoivun normaalipuun osalta yhteen mm. STAUFFERIN (1892) ja KUJALAN (1946) havaintojen kanssa.

Koska tutkitut hies- ja rauduskoivukoepuut taulukossa 23 eivät ole käsillä olevassa tapauksessa keskenään täysin vertailukelpoisia, ei siitä, että edellisestä saatiin sekä normaali- että vetopuussa putkiloiden läpimitaksi keskimäärin suurempia arvoja kuin jälkimmäisestä, voida tehdä lopullisia päätelmiä. Koska putkilot syntyvät solujonoista, tämä tulos on kylläkin odotettavissa, jos hieskoivun solut yleisesti ovat suurempia kuin vastaavat rauduskoivun solut, mitä KUJALA (1946) väittää. Sen sijaan taulukossa 24 esitetyn hieskoivun normaalipuun putkilot ovat kovin ohuita, mikä voi johtua ko. puun tavattoman heikosta paksuuskasvusta normaalipuun puolella.

Se, että rauduskoivun oksapuusta saatiin putkiloiden läpimitaksi huomattavasti suurempia arvoja kuin hieskoivun, johtuu ilmeisesti siitä, että

edellisen osalta tutkimus kohdistui uloimpiin vuosirenkaisiin, joissa putkiloiden on yleensä todettu olevan paksumpia kuin puun sisäosissa.

Koska runko- ja oksapuuta koskevia tutkimuksia ei tehty samoista puista eikä hieskoivun osalta edes samanlaisissa olosuhteissa kasvaneista puista, ei vertailua niiden putkiloiden läpimittojen kesken voida tehdä. Hieskoivun osalta kohdistui tutkimus runko- ja oksapuussa sitä paitsi aivan eri vuosirenkaisiin. Rauduskoivun toisessa vuosirenkaassa pinnasta lukien saatiin putkiloiden paksuudeksi runko- ja oksapuussa suunnilleen samaa suuruusluokkaa olevat arvot, kun taas uloimmassa vuosirenkaassa oksapuun putkiloiden paksuudeksi saatiin huomattavasti pienempi arvo kuin runkopuun. Tämä voi johtua siitä, että tutkittu oksa oli huomattavasti korkeammalta (3 m) kuin mihin runkopuuta koskeva tutkimus ulottui, mutta voi olla osittain myös osoituksena siitä, että oksapuun putkilot ovat ohuempia kuin runkopuun (myös BROWN ym. 1949).

Saadut tulokset osoittavat, että koivun normaali- ja vetopuun putkiloiden läpimitassa ei kokonaisuutena katsoen ilmeisesti ole yksiselitteistä eroa, koivun alkaessa muodostaa vetopuuta ja sen paksuuskasvun miltei tyrehtyessä rungon alapuolella sen putkilot pienenevät alapuolella, mutta pysyvät vetopuun puolella kooltaan jokseenkin muuttumattomina, putkilot ovat vuosirenkaan loppupuoliskossa ohuempia kuin alkupuoliskossa sekä normaali- että vetopuussa, hieskoivun putkilot ovat todennäköisesti yleensä paksumpia kuin rauduskoivun ja oksapuun mahdollisesti ohuempia kuin runkopuun.

#### *Putkiloprosentti*

STAUFFER (1892) ilmoittaa lajiltaan määrittelemättömän koivun putkiloprosentiksi rungon eri korkeuksilla 21.5—26.2 % alarajan tarkoitustaessa rinnankorkeutta ja ylärajan ylempiä osia. Hän totesi sen pienenevän ytimestä pintaan päin (myös SAVINA ja PERELYGIN 1936). JACCARD (1919) tuli putkiloprosentin vaihtelusta rauduskoivun eri korkeuksilla edelliseen nähden päinvastaiseen tulokseen mainiten sen olevan uloimmassa vuosilustossa 21—24 %. WALLDÉN (1934) totesi hieskoivun putkiloprosentin pienenevän ytimestä pintaan päin ilmoittaen sen suuruudeksi 6 m:n korkeudella sydänpuussa 12.0—20.9 % ja pintapuussa 9.8—16.8 %. HUBER ja PRÜTZ (1938) mainitsevat rauduskoivun putkiloprosentiksi keskimäärin 24.7 %. TRENDLENBURG (1939) ilmoittaa koivulajien putkiloprosentiksi 10—21 % ja JENSEN (1950) rauduskoivusta noin 18 %. KUJALA (1946) sai rauduskoivun putkiloprosentiksi

rinnankorkeudella 2.—6. uloimmassa vuosilustossa 9.4 % ja hieskoivun 3.—7. lustossa 12.5 %. Hän totesi myös sanotun prosenttien yleensä pienenevän ytimestä pintaan päin, mutta hieskoivun uloimmissa vuosirenkaissa päinvastoin kasvavan sanotussa suunnassa. BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1949) sanovat lehtipuuden putkiloprosentin olevan oksissa yleensä pienemmän kuin rungossa.

KNY (1882) ja LÄMMERMAYR (1901) totesivat mm. koivusta ja saksanpähkinästä putkiloprosentin olevan eksentristen elinten leveällä puolella suuremman kuin kapealla. Että vetopuun tai yläpuolen puun putkiloprosentti on pienempi kuin normaalipuun tai alapuolen puun, ovat todenneet mm. SCHNEIDER (1896) saarnesta, METZGER (1908) tammesta, pyökistä, saarnesta ja vaahterasta, HERIC (1915) mm. pyökin, saarnen, lepän ja pajulajien eksentrististä oksista, JACCARD (1917) ja ENGLER (1918) mm. koivusta, joskin erotus viimeksi mainitun mukaan on kovin vähäinen, CHOW (1946) pyökistä, ONAKA (1949) lukuisista japanilaisista sekä DADSWELL ja WARDROP (1949) australialaisista lehtipuista, JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG (1951) poppelilajeista ja VON PECHMANN (1953) pyökistä. CHOW (1946) sai pyökin putkiloprosentiksi normaalipuussa 32.9 % ja vetopuussa 21.8 % kaiken vahvuiset vuosilustot mukaan luettuna todeten sen olevan vahvoissa vuosilustoissa pienemmän kuin ohuissa sekä normaali- että vetopuussa.

Samoista koepuista ja samoista poikkileikkauksista, joista suoritettiin edellä selostetut putkiloita koskevat tutkimukset, laskettiin myös putkiloprosentit eri vuosirenkaissa. Putkiloiden pinta-alaosuus määritettiin poletilla ja planimetrillä poikkileikkauksista projisioiduista kuvista jäljentämällä saaduista piirroksista. Koko piirroksen pinta-ala määritettiin planimetrillä ja putkiloiden poikkileikkauksialat poletilla. Tutkimusaineisto on sama kuin edellä putkiloiden lukumäärää koskevassa luvussa on mainittu. Tutkimuksen tulokset esitetään runkokuun osalta taulukossa 27 ja oksapuun taulukossa 29.

Sen osoittamiseksi, miten puun rungon voimakkaasti vinoon asentoon joutuminen vaikuttaa sen putkiloiden jakautumiseen, esitetään vielä tutkimustulokset Kuhmossa VT-kankaan rinteellä kasvaneen hieskoivun tyvestä, joka joutui sorakuopan kaivamisen vuoksi voimakkaasti vinoon asentoon 22 vuotta ennen kaatamista, jolloin se alkoi muodostaa vetopuuta yläpuolelleen (taulukko 28).

Taulukoista 27 ja 29 ilmenee, että normaalipuun putkiloprosentit ovat sekä hies- että rauduskoivussa ylivoimaisesti vetopuun vastaavia arvoja suuremmat. Vetopuun putkiloprosentti näyttää joissakin runkopuun vuo-

sirenkaissa olevan vain neljännes normaalipuun vastaavasta arvosta. Oksapuussa erotus ei ole niin jyrkkä. Saatu tulos sopii siis suunnaltaan yhteen lukuisten em. tutkijoiden tuloksien kanssa (mm. JACCARD 1917 ja ENGLER 1918), mutta osoittaa huomattavasti jyrkempää eroa normaali- ja vetopuun välillä kuin heidän saamansa tulokset.

Sekä hies- että rauduskoivussa on vuosirenkaan loppupuoliskon putkiloprosentti huomattavasti alkupuoliskon vastaavaa prosenttia pienempi niin hyvin normaali- kuin vetopuussakin, millainen tulos olikin ainoa mahdollinen putkiloiden lukumäärän ja koon perusteella.

Verrattaessa runkopuun vetopuusta saatuja putkiloprosentteja taulukoissa 5 ja 6 ilmoitettuihin vuosirenkaiden vahvuuksiin huomataan vetopuun putkiloprosentin olevan vahvoissa vuosirenkaissa yleensä pienemmän kuin ohuissa, jollaiseen tulokseen CHOW (1946) tuli myös pyökin normaalipuusta. Normaalipuussa ei käsillä olevan tutkimuksen yhteydessä voitu havaita tällaista säännönmukaisuutta. Tämä viittaa siihen, että pieni putkiloprosentti on todella vetopuulle tunnusomainen piirre, joka esiintyy selvimpänä vetopuulle luonteenomaisissa vahvoissa vuosirenkaissa. Että vetopuun vuosirenkaan putkiloprosentti on pienempi kuin suunnilleen samanvahvuisen normaalipuun vuosirenkaan, käy ilmi vertailtaessa toisiinsa runkopuun normaali- ja vetopuun putkiloprosentteja taulukon 19 osoittamissa vuosirenkaissa.

Kun taulukosta 27 seurataan runkopuun putkiloprosentin vaihtelua eri vuosirenkaissa, ei siinä voida huomata mitään täysin varmaa suuntaa kummallakaan koivulajilla enempää normaali- kuin vetopuussakaan. Säännönmukaisuus olisi ehkä tullut ilmi, jos tutkimus olisi ulottunut sisempiin vuosirenkaisiin. Hieskoivun ikä oli 55 v. ja rauduskoivun 50 v. Hieskoivua koskevasta luvusta ilmenee, että 18:n uloimman vuosiluston matkalla normaalipuun putkiloprosentti mahdollisesti pienenee pinnasta ytimeen päin. Samansuuntaiseen tulokseen on tullut hieskoivusta KUJALA (1946). Sen sijaan rauduskoivun oksapuusta saadut tulokset osoittavat putkiloprosentin kasvua pinnasta ytimeen päin sekä normaali- että vetopuussa.

Koska käsillä olevassa tutkimuksessa rajoituttiin vain aivan rungon tyveen, ei putkiloprosentin mahdollisesta vaihtelusta eri korkeuksilla voitu saada mitään tietoa.

Vaikka tutkitut hies- ja rauduskoivu taulukossa 27 eivät kasvaneetkaan samanlaisissa olosuhteissa, joten niistä saadut tulokset eivät ole toisiinsa nähden suorastaan vertailukelpoisia, ovat varsinkin hieskoivun rungon normaalipuusta saadut putkiloprosentit niin huomattavasti raudus-

koivusta saatuja suurempia, että yleensäkin edellisen suurempi putkiloprosentti jälkimmäiseen verrattuna tuntuu tämän perusteella ilmeiseltä. Tällaiseen tulokseen on tullutkin mm. KUJALA (1946), kuten edellä mainittiin, ja sehän onkin ainoa mahdollinen mainittujen koepuidenkin putkiloiden lukumäärän ja koon perusteella.

Taulukosta 28 ilmenee, että puun rungon joutuessa voimakkaasti viinon asentoon ja alkaessa sen seurauksena muodostaa vetopuuta sen putkiloprosentti yläpuolella (vetopuu) putkiloiden vähenemisen vuoksi jyrkästi alenee. Tätä ennenkin on putkiloprosentti nopeakasvuisella puolella ollut huomattavasti pienempi kuin hidaskasvuisella, mikä käy ilmi verrattaessa em. taulukon lukuja taulukossa 5 ilmoitettuihin vastaavien vuosirenkaiden vahvuuksiin. Uloimmissa kuudessa vuosirenkaassa, jotka olivat normaalipuussa häviävän ohuita, 0.01—0.13 mm, on vetopuun putkiloprosentti suurempi kuin normaalipuun.

Taulukosta 28 ilmenee myös, että alapuolen puussa (normaalipuun) putkiloprosentti pienenee verrattain säännöllisesti ytimeä pintaan päin seurauksena putkiloiden ohenemisesta ja lukumäärän alenemisesta, joten se puolestaan vahvistaa em. lukuisien tutkijoiden saamia tuloksia.

Vaikka oksapuusta saatuja tuloksia ei voidakaan luotettavasti verrata runkopuusta saatuihin syistä, jotka on mainittu edellä putkiloiden läpimittaa koskevassa luvussa, voitaneen nyt saatujen arvojen katsoa viittaavan siihen, että oksien normaalipuun putkiloprosentti on pienempi kuin runkopuun (myös BROWN ym. 1949).

Saadut tulokset osoittavat, että molempien koivulajien vetopuun putkiloprosentti on yleensä selvästi pienempi kuin normaalipuun edellisen putkiloiden pienen lukumäärän vuoksi, mutta voi olla normaalipuun vuosirenkaiden ollessa häviävän ohuita poikkeuksellisesti sitä suurempikin, vetopuun putkiloprosentti on pienempi kuin häiriintymättä kasvaneen todellisen normaalipuun, vuosirenkaan loppupuoliskon putkiloprosentti on huomattavasti pienempi kuin alkupuoliskon sekä normaali- että vetopuussa, vetopuun putkiloprosentti on vahvoissa vuosilustoissa yleensä pienempi kuin ohuissa, hieskoivun putkiloprosentti on todennäköisesti suurempi kuin rauduskoivun ja oksapuun ehkä pienempi kuin runkopuun.

#### Ydinsäteisiin kohdistuneet tutkimukset

Sekä runko- että oksapuun ydinsädetutkimukset suoritettiin samoista koepuista kuin putkilotutkimuksetkin. Tutkimuksia varten leikattiin runkopuun ja oksien tyviosasta toisiaan vastaavilta kohdilta otetuista puun

pintaan saakka ulottuneista pehmenneistä normaali- ja vetopuukoekapaleista aivan pinnasta ohuita tangentin suuntaisia leikkauksia, joista projisioimalla saaduista kuvista otettiin lyijykynällä piirtäen jäljennökset. Suurennus oli 100-kertainen. Näistä piirroksista suoritettiin kaikki tarvittavat mittaukset. Ydinsäteiden ulottuvaisuudet mitattiin millimetrijakoisella selluloidiviivottimella ja ydinsädeprosentit määritettiin pinta-alapoletilla ja planimetrillä. Koko piirroksen pinta-alan laskemiseen käytettiin planimetriä, mutta koska tämä on epävarma soukkien kuvioiden ollessa kyseessä, määritettiin ydinsäteiden poikkileikkauspinta-alat poletilla.

*Ydinsäteiden lukumäärä ja ydinsädeprosentti*

JACCARD (1919) ilmoittaa rauduskoivun ydinsäteiden lukumääräksi runkopuussa 11–18 kpl./mm<sup>2</sup> sanoen sen vaihtelevan säännöttömästi rungon eri korkeuksilla ja oksapuussa 13–23 kpl./mm<sup>2</sup>.

HUBER ja PRÜTZ (1938) ilmoittavat rauduskoivun ydinsädeprosentiksi keskimäärin 10.5 %, TRENDELENBURG (1939) yleensä koivun 11–12 % ja JENSEN (1950) rauduskoivun vain 7 %. BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1949) ovat saaneet amerikkalaisten koivulajien ydinsädeprosentiksi 9.3–16.6 %. He mainitsevat myös ydinsäteiden lukumäärän olevan oksapuussa yleensä suuremman kuin runkopuussa, mutta ydinsädeprosentin olevan saman.

KNY (1882) ja LÄMMERMAYR (1901) sanovat ydinsäteiden lukumäärän mm<sup>2</sup>:ä kohden ja ydinsädeprosentin olevan mm. koivun ja saksanpähkinän eksentristen elinten leveällä puolella suuremman kuin kapealla. ENGLER (1918) mainitsee ydinsäteiden lukumäärän olevan koivun ja lehmuksen eksentristen elinten ylä- ja alapuolessa saman, mutta mm. pyökissä, vaahterassa, poppelissa, saarnessa ja tammessa niitä olevan yläpuolella enemmän kuin alapuolessa. Hän vetoaa myös siihen, että kuta suurempi on puun paksuuskasvu, sitä enemmän tarvitaan ydinsäteitä fysiologiselta kannalta katsottuna. CHOW (1946) ei todennut sanottavaa eroa pyökin normaali- ja vetopuun ydinsäteiden lukumäärässä eikä ydinsädeprosentissa. ONAKA (1949) tuli lukuisista japanilaisista lehtipuista siihen tulokseen, ettei normaali- ja vetopuun ydinsädesuhteissa ole yleensä eroa, samoin VON PECHMANN (1953) pyökistä.

Runkopuun ydinsäteiden lukumäärä mm<sup>2</sup>:ä kohden ja ydinsädeprosentti määritettiin ottamalla huomioon pienimmätkin näistä molempien koivulajien sekä normaali- että vetopuun osalta 21:stä rinnakkaispiirroksista, jotka edustivat todellisuudessa yhteensä 90 mm<sup>2</sup>:n alaa jakautuen tasan normaali- ja vetopuun kesken.

Oksapuusta suoritettiin vastaavat tutkimukset molempien koivulajien sekä normaali- että vetopuusta 14:stä rinnakkaispiirroksista, jotka edustivat yhteensä todellisuudessa 64 mm<sup>2</sup>:n alaa. Tämä jakautui tasan hies- ja rauduskoivun ja nämä molemmat edelleen tasan normaali- ja vetopuun kesken.

Tutkimuksen tulokset esitetään taulukossa 30.

Tästä ilmenee, että ydinsäteiden lukumäärässä ei normaali- ja vetopuulla ole nähtävästi oleellista, suunnaltaan selvää eroa kummankaan koivulajin enempää runko- kuin oksapuussakaan. Näin ollen saatu tulos sopii yhteen mm. ENGLERIN (1918) tutkimusten kanssa.

Verrattaessa toisiinsa normaali- ja vetopuun ydinsädeprosentteja näyttää siltä, että vetopuun ydinsädeprosentti on ainakin jonkin verran pienempi kuin normaalipuun molempien koivulajien sekä runko- että oksapuussa, joten saatu tulos on ristiriidassa KNYN (1882) ja LÄMMERMAYRIN (1901) tutkimusten kanssa, mikä ristiriita voi kuitenkin olla vain näennäinen syistä, jotka on jo aikaisemmin mainittu (ss. 19–20 ja 22).

JACCARD'in (1919) rauduskoivusta ilmoittamat ydinsäteiden lukumäärät ovat runkopuun osalta vain vajaa puolet tämän tutkimuksen yhteydessä samalta korkeudelta, siis tyvestä saaduista arvoista. Oksapuun osalta on ero samansuuntainen ja vielä suurempi. Tämä voi johtua siitä, että hän ehkä on ottanut huomioon vain suuret ydinsäteet, mihin viittaa se, että hän ilmoittaa paksuudenkin vain niistä.

Koska tutkitut hies- ja rauduskoivu eivät kasvaneet samanlaisissa olosuhteissa, ei vertailua ydinsäteiden lukumäärän suhteen voida niiden kesken luotettavasti tehdä. Yhdistämällä runko- ja oksapuusta tuloksiksi saadut normaalipuun ydinsäteiden määrät hies- ja rauduskoivussa erikseen yhteen huomataan niiden määrän molemmilla puulajeilla olevan keskiarvona suunnilleen saman.

Ydinsädeprosentissa ei hies- ja rauduskoivulla ole ilmeisesti myöskään sanottavaa eroa, sillä runko- ja oksapuun normaalipuussa taulukossa 30 esiintyvät eroavaisuudet tasoittavat jokseenkin toisensa. Vaikka käsillä olevan tutkimuksen yhteydessä ei oksapuuta koskevia tutkimuksia tehtykään samoista puista eikä hieskoivun osalta edes samanlaisissa olosuhteissa kasvaneesta puusta kuin runkopuusta tehtyjä, on syytä panna merkille varsinkin rauduskoivun osalta ydinsäteiden selvästi suurempi lukumäärä ja suurempi ydinsädeprosentti oksa- kuin runkopuussa, joten saatu tulos vahvistaa BROWNIN ym. (1943) edellä sanottua mainintaa ydinsäteiden lukumäärästä runko- ja oksapuussa.

Saadut tulokset osoittavat, että ydinsäteiden lukumäärässä hies- ja

rauduskoivussa ei normaali- ja vetopuulla liene sanottavaa eroa, vetopuun ydinsädeprosentti on ilmeisesti ainakin jonkin verran pienempi kuin normaalipuun molempien koivulajien sekä runko- että oksapuussa, hies- ja rauduskoivun ydinsäteiden lukumäärässä ja ydinsädeprosentissa ei liene sanottavaa eroa ja että oksapuun ydinsäteiden lukumäärä ja ydinsädeprosentti on ilmeisesti suurempi kuin runkopuun.

*Ydinsäteiden poikkileikkauksen koko ja muoto*

JACCARD (1919) ilmoittaa rauduskoivun runkopuun ydinsäteiden paksuudeksi yleensä 25–40  $\mu$  ja oksapuun 25–30  $\mu$  mainiten näiden arvojen koskevan vain suuria ydinsäteitä.

KNY (1882) ja LÄMMERMAYR (1901) sanovat ydinsäteiden olevan koivun ja saksanpähkinän eksentristen elinten leveällä puolella usein paksumpia kuin kapealla. Samansuuntaiseen tulokseen tuli JACCARD (1917) sanoessaan ydinsäteiden olevan lehtipuiden eksentristen elinten leveällä puolella usein voimakkaammin muodostuneita kuin kapealla.

Samoista tangentin suuntaisista leikkauksista, joista määritettiin ydinsäteiden lukumäärä ja ydinsädeprosentti, suoritettiin myös kaiken kokoisten ydinsäteiden poikkileikkauksen kokoon ja muotoon kohdistuneita tutkimuksia mittaamalla näiden suurin läpimitta kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa, siis leveys ja paksuus. Mittausten tulokset esitetään taulukossa 31.

Tästä ilmenee, että sekä hies- että rauduskoivun runkopuussa ovat ydinsäteet vetopuussa selvästi ohuempia kuin normaalipuussa, mutta oksapuussa ei tullut näkyviin sanottavaa eroa. Saatu tulos ei siis käy yhteen KNYN (1882), LÄMMERMAYRIN (1901) ja JACCARD'in (1917) tutkimusten kanssa. Hieskoivussa ei ydinsäteiden leveydessä ilmennyt oleellista eroa, kun taas rauduskoivussa vetopuun ydinsäteet näyttävät olevan jonkin verran kapeampia kuin normaalipuun sekä runko- että oksapuussa.

Täten vetopuun ydinsäteet ovat ilmeisesti molempien koivulajien runkopuussa poikkileikkausmuodoltaan jonkin verran soukempia kuin normaalipuun. Tämä voitiin huomata usein silmämääräisestikin runkopuun leikkauksia mikroskoopissa tarkasteltaessa. Oksapuussa tällaista eroa ei tullut näkyviin.

Rauduskoivun oksapuun ydinsäteet näyttävät olevan normaalipuussa ohuempia kuin runkopuun, joten saatu tulos sopii yhteen JACCARD'in

(1919) tuloksen kanssa. Sen sijaan hieskoivun normaalipuussa ei ilmennyt sanottavaa eroa ko. suhteessa, joskaan saadut tulokset eivät ole toisiinsa vertailukelpoisia runko- ja oksakoepuiden erilaisten kasvuolosuhteiden vuoksi.

Verrattaessa toisiinsa rauduskoivun runko- ja oksapuun ydinsäteiden leveyttä huomataan edellisen ydinsäteiden olevan huomattavasti leveämpiä kuin jälkimmäisen sekä normaali- että vetopuussa, ja sama pitää ilmeisesti myös paikkansa hieskoivun suhteen.

Runko- ja oksapuun ydinsäteet näyttävät poikkeavan toisistaan myös poikkileikkausmuodoltaan siten, että edelliset ovat yleensä jälkimmäisiä soukempia sekä normaali- että vetopuussa. Rauduskoivun normaalipuun osalta ei ilmennyt sanottavaa eroa tässä suhteessa.

Saadut tulokset osoittavat, että molempien koivulajien runkopuussa vetopuun ydinsäteet ovat todennäköisesti ohuempia ja poikkileikkausmuodoltaan soukempia kuin normaalipuun, rauduskoivun oksapuun ydinsäteet ovat normaalipuussa ohuempia kuin runkopuun, molempien koivulajien runkopuun ydinsäteet ovat ilmeisesti huomattavasti leveämpiä kuin oksapuun sekä normaali- että vetopuussa ja että runkopuun ydinsäteet ovat todennäköisesti soukempia kuin oksapuun ainakin hieskoivussa.

*Eri solukkolaatujen osuus puussa*

TRENDELENBURG (1939) ilmoittaa eri solukkolaatujen osuudeksi koivun rungon poikkileikkauksesta seuraavat arvot: puusyitä 66–76 %, putkiloita 10–21 %, ydinsäteitä 11–12 % ja tylppysolukkoa 2 %. HUBER ja PRÜTZ (1938) mainitsevat vastaaviksi arvoiksi rauduskoivun tilavuudesta: puusyitä 64.8 %, putkiloita 24.7 %, ydinsäteitä 10.5 % ja tylppysolukkoa melkein 0 %, JENSEN (1950) sai rauduskoivusta seuraavat tulokset: puusyitä 75 %, putkiloita 18 % ja ydinsäteitä 7 %. Tällöin hän määrittä putkilot poikkileikkauksesta ja ydinsäteet tangentin suuntaisesta leikkauksesta.

CHOW (1946) totesi puutylppysolujen lukumäärän olevan pyökin vetopuussa suuremman kuin normaalipuussa, mutta ONAKA (1949) tuli lukuisista japanilaisista lehtipuista päinvastaiseen tulokseen.

Edellä esitettyjen molempien koivulajien putkilo- ja ydinsädeprosenttia koskevien tutkimustulosten perusteella suoritettiin vertailu eri solukkolaatujen osuudesta puun tilavuudessa rajoittamalla vain uloimpaan vuosi-reenkaaseen. Täten vertailu normaali- ja vetopuun välillä voitiin raudus-

koivun osalta tehdä sekä runko- että oksapuusta, mutta hieskoivun osalta vain runkopuusta. Rauduskoivun oksapuusta otettiin kuitenkin kahden uloimman vuosirenkaan putkiloprosenttien keskiarvot näiden poikkeuksellisten arvojen vuoksi uloimmassa vuosirenkaassa. Putkiloprosentit on määritetty poikkileikkauksesta ja ydinsädeprosentit tangentin suuntaisesta leikkauksesta. Kun näiden summa vähennettiin sadasta, merkittiin erotus kokonaisuudessaan puusyiden osuudeksi. Puutylppysolukon esiintyminen todettiin ydinsäteitä lukuun ottamatta niin vähäiseksi, että se jätettiin huomioon ottamatta molempien koivulajien sekä normaali- että vetopuussa. Laskelman tulokset esitetään taulukossa 32.

Taulukosta käy ilmi, että vetopuun puusyyprosentti on huomattavasti suurempi, mutta putkilo- ja ydinsädeprosentit pienemmät kuin normaalipuun. Täten esitetyt luvut osoittavat selvästi vetopuun normaalipuuhun verrattuna suurempaa tiiviyyttä, varsinkin kun otetaan vielä huomioon, että vetopuun puusyyt ovat yleensä paksumpiseinäisiä kuin normaalipuun.

#### Soluseinämän rakenne

Keskilamelliin ja sen kemialliseen kokoonpanoon kohdistuvia tutkimuksia ovat suorittaneet mm. WIGAND (1850), SCHULZE (1857), KERR ja BAILEY (1934), FREY-WYSSLING (1943), JENSEN (1950) ja KLAUDITZ (1952). Näistä suurin osa korostaa keskilevyn isotrooppista rakennetta ja suurta ligniini- ym. inkrustiainepitoisuutta.

Keskilamelliin liittyvän primäärin seinämän rakennetta ja kemiallista kokoonpanoa ovat tutkineet mm. KERR ja BAILEY (1934), FREY-WYSSLING (1938 a—b), HESS, WERGIN ja KIESSIG (1942), MÜHLETHALER (1948—49), JENSEN (1950), KLAUDITZ (1952) sekä HARADA ja MIYAZAKI (1952). Tämän on todettu olevan rakenteeltaan anisotrooppisen siten, että perusfibrillit ja misellit ovat keskimäärin kuidun pituusakselia vastaan poikittain, mutta muuten jokseenkin järjestymättömiä, ja koostuvan selluloosan ohella hemiselluloosasta, pektiinistä, ligniinistä, rasvoista, vahoista yms. Otaksutaan, että tämä seinämä sisältää vain yhden lamellin (mm. HESS ym. 1942).

Primäärin seinämän sisäpuolella olevan sekundäärin seinämän rakennetta ovat tutkineet mm. KERR ja BAILEY (1934), BAILEY ja KERR (1935), KERR (1937), WERGIN (1938), PRESTON (1948), MÜHLETHALER (1949) sekä DADSWELL ja WARDROP (1949). Tällöin on todettu, että sekundäärin seinämässä voidaan yleensä erottaa aina-

kin kolme kerrosta, ulko-, keski- ja sisäkerros, joista keskikerros on tavallisesti paksuin. Kunkin kerroksen on todettu koostuvan useista säie- eli fibrillikerroksista, lamelleista, joissa fibrillien suunta kerroksesta toiseen siirryttäessä voi vaihtua vuoron perään oikealle ja vasemmalle kiertyväksi. Fibrillien järjestäytymisen kuidun pituusakseliin nähden on todettu olevan mainituissa kolmessa seinämäkerroksessa erilaisen.

Fibrillien paksuutta koskevia tutkimuksia ovat suorittaneet mm. DOLMETSCH, FRANZ ja CORRENS (1944), sekä LÜDTKE (1950), joista ensiksi mainitut ilmoittavat pyökin puukuitujen fibrillien paksuudeksi 0.35  $\mu$ . Fibrillien heterokapillaarisesta rakenteesta ja niiden välissä olevista laajoista onteloista mainitsevat mm. PRESTON (1939) ja FREY-WYSSLING (1953).

Ajatusta, että fibrillien happokäsittelyllä hajotessa muodostuvia lyhyitä pätkiä, ns. dermatosomeja, olisi pidettävä soluseinämän todellisina rakennusosasina, edustavat mm. WIESNER (1886), LÜDTKE (1932—1933), HESS (1934), KERR (1937) sekä FARR (1938 ja 1949). Sen sijaan sitä vastustavat mm. FREY-WYSSLING ja KOLLMANN (1951).

Tämän pitemmälle ei soluseinämän rakennetutkimuksissa ole valomikroskooppia käyttämällä voitu päästäkään. Sen sijaan erinäisiä epäsuoria menetelmiä käyttämällä, kuten tutkimalla soluseinämän fysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia, esim. kutistumista ja paisumista, lujuutta jne. sekä sen suhtautumista polarisoituun valoon ja röntgensäteisiin, on saatu vähitellen yhä yksityiskohtaisempi käsitys myös sen submikroskooppisesta rakenteesta, kun taas aikaisemmin jouduttiin turvautumaan useissa tapauksissa enemmän tai vähemmän epävarmoihin oletuksiin, kuten mm. COLLANDER (1953) huomauttaa.

Edellä mainitun kaltaisten epäsuorien tutkimusmenetelmien antamien tulosten perusteella ajatellaan fibrillin yleensä koostuvan alkeisosasista, joita v. NÄGELI (n. 1860) kutsui miselleiksi, ja joiden hän otaksui olevan pitkänomaisia, polyedrisiä, optillisesti anisotrooppisia kristallilittejä, joiden välissä on vettä ja muitakin aineita. Tämän mukaan miselli on ryhmä selluloosamolekyylejä, jotka ovat järjestyneet keskenään samansuuntaisesti ja ovat pysyvästi yhdessä. Tätä kantaa edustavat mm. AMBRONN (1926), HENGSTENBERG ja MARK (1928), SEIFRIZ (1929), WERGIN (1942) ja LIESER (1952).

SEIFRIZ (1929), HENGSTENBERG ja MARK (1928) käsittävät misellin sauvamaiseksi tai tiiliskiven kaltaiseksi, päistäänkin tarkoin rajoitetuksi osaseksi, jossa selluloosan ketjumolekyylit ovat keskenään samansuuntaisina misellin pituussuunnassa.



Hemiselluloosan ja ligniinin esiintyessään yhdessä selluloosan kanssa ei ole todettu muodostavan mitään määrättyjä morfologisia yksikköjä, vaan hemiselluloosa on etupäässä adsorboitunut selluloosarihmoihin ja ligniini toimii näiden toisiinsa muuraajana. Tällaisiin päätelmiin tuli RÄNBY (1953) elektronimikroskooppisissa tutkimuksissaan.

Selluloosan ns. hapsumiselliteoriaa edustavat mm. GERNGROSS, HERMANN ja ABITZ (1930), FREY-WYSSLING (1936), KRATKY ja MARK (1937) ja THIESSEN (1938), mutta myös STAUDINGER ja SIGNER (1929) ovat sitä lähinnä, joskaan STAUDINGER ei hyväksy itse selluloosan miselliluonnetta (mm. OPPENHEIMER 1933, KOLLMANN 1951 ja LIESER 1952). Hapsumiselliteorian mukaan misellit eivät ole kiinteitä ja jyrkästi rajoitettuja erillisiä osasia, vaan ne muodostuvat yhdensuuntaisesti järjestyneistä ketjumolekyyleistä, jotka työntyvät esiin kiteisistä vyöhykkeistä amorfisiin ja liittyvät jälleen miselliketjun seuraaviin järjestyneisiin vyöhykkeisiin näiden molekyyliketjujen päiden kietoutuessa toisiinsa. Sitä paitsi FREY-WYSSLING (1936) korostaa sitä, että sama ketjumolekyyli voi mennä useampienkin kiteisten piirien läpi ja että molekyylien päät eivät ole ensi sijassa amorfisissa vyöhykkeissä, vaan ovat jakautuneet säännöttömästi misellikudokseen. Hapsumiselliteorian kannattajat puolustavat kantaansa sillä, että selluloosan ketjumolekyylien on todettu olevan eri pituisia (10.000—50.000 Å, 1 Å = 10<sup>-7</sup> mm) ja paljon pitempiä kuin kiteisten vyöhykkeiden (mm. WARDROP 1954) ja että selluloosalla on kovin suuri kimmomoduli (KRATKY ja MARK 1937).

Uusimmat elektronimikroskooppiset tutkimukset, joissa valonsäteiden asemesta käytetään erittäin lyhytaaltoisia elektronisäteitä, osoittavat, että korkeampien kasvien, levien ym. selluloosan morfologiset elementit ovat ns. mikrofibrillejä, jotka ovat erittäin pitkiä lieriömäisiä nauhoja ja joiden paksuus on yllättävän samana pysyvä, 200—300 Å (mm. MARK 1953). Mikrofibrillien on todettu edelleen koostuvan keskenään samansuuntaisista ohuista langoista tai sauvoista, joita sanotaan alkeis- eli misellilangoiksi ja joiden pituus on jokseenkin vakio (mm. RÄNBY 1953 ja MARK 1953). Tästä ilmenee, että elektronimikroskooppiset tutkimukset vahvistavat käsitystä selluloosan misellirakenteesta vieläpä ehkä lähinnä siinä muodossa kuin jo v. NÄGELI sen esitti.

Misellien pituutta koskevat maininnat vaihtelevat 500—600 Å ja paksuutta koskevat kasvilajista riippuen 40—100 Å (mm. HENGSTENBERG ja MARK 1928, FREY-WYSSLING 1940 a—b, KRATKY 1951, LIESER 1952, MARK 1953, RÄNBY 1953 ja WARDROP 1954).

Sekä misellien että mikrofibrillien otaksutaan olevan poikkileikkausmuodoltaan litteitä (mm. HERMANS 1949 ja WARDROP 1954).

Erilaisia tutkimusmenetelmiä käyttäen on misellien ja mikrofibrillien välissä todettu olevan onteloita, joiden otaksutaan olevan yhteydessä toisiinsa ja siten muodostavan selluloosarankaan yhtenäisen kapillaarisysteemin, jonka tehtävänä on olla nesteiden kuljettajana ja tilana, johon selluloosarankaa lujittavat aineetkin voivat mahdollisesti kerrostua, kuten ligniini, pektiiniaineet yms. (mm. FREY 1926, KOLLMANN 1951 ja FREY-WYSSLING 1953).

FREY-WYSSLING (1953) ilmoittaa näiden sisäisten onteloiden olevan kahta suuruusluokkaa, joista kapeammat, leveydeltään noin 10 Å, esiintyvät misellien ja leveämmät, noin 100 Å, mikrofibrillien välissä. Soluseinämän paisumisilmiöt esimerkiksi edellyttävät sangen ahtaita, noin 10 Å levyisiä misellivälikköjä, joihin vesi voi tunkeutua työntäen misellijonoja kauemmas toisistaan. Mikrofibrilleillä on siis tämän mukaan enemmän tai vähemmän homokapillaarinen rakenne. Mikrofibrillien välisiin onteloihin FREY-WYSSLING sanoo kerrostuvan mm. ligniiniä, hemiselluloosaa, kutiinia, väriaineita jne. Myös MARK (1953) sanoo misellien välisten rakojen olevan paljon ahtaampia kuin mikrofibrillien välisten ja niissä olevan tilaa vain yksityisille molekyyleille, kuten mm. vesimolekyyleille.

Selluloosan makromolekylaarinen rakenne on ollut tunnettu jo viime vuosisadalla, jolloin TOLLENS (1883) esitti selluloosaketjujen muodostuvan glukoosimolekyyleistä. Näiden makromolekyylien välillä vallitsevat misellaarivoimat, joita sanotaan myös moolikohesiovoimiksi, van der Waalsin voimiksi ja kristalliittivoimiksi ja jotka saavat aikaan niiden liittymisen yhteen lujakudoksisiksi molekyylikimpuiksi (LIESER 1952).

Puuselluloosan polymerisoitumisasteeksi ilmoittaa KLAUDITZ (1941) 1900—2000 ja hemiselluloosien STAUDINGER (1941) 150—200.

Edellä vetopuun mikroskooppisia tuntomerkkejä kuvattaessa on jo mainittu vetopuukuitujen erikoispiirteeksi se, että niiden seinämässä on sekundäärisen seinämän sisäkerros, liivatemainen tertiäärinen kerros, kehittynyt voimakkaimmin, kun sen sijaan normaalipuusyissä keskikerros on yleensä ylivoimaisesti paksuin.

Erittäin mielenkiintoinen on kysymys vetopuusyiden seinämän eri kerrosten fibrillaarisesta rakenteesta, siis lähinnä fibrillien ja misellien orientoitumisesta seinämäkerroksissa, mikä voi tuoda selvitystä harkittaessa syitä, jotka vaikuttavat vetopuun erikoisiin fysikaalisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin.

JACCARD ja FREY (1928) totesivat poppelin poikittais- ja pitkittäisleikkauksista polarisoitua valoa apuna käyttäen, että vetopuusolukossa keskilamelli ja syiden puutunut seinämäkerros ovat huomattavasti surkastuneet verrattuna päinvastaiselta puolelta otettuihin leikkauksiin, josta he tekivät sen johtopäätöksen, että vetopuukuitujen ohutta puutunutta seinämäkerrosta on pidettävä homologisena normaalikuitujen koko seinämän kanssa, ja että vetopuusyiden paksussa, polarisoidussa valossa tummaksi jääneessä tertiäarisessä seinämäkerroksessa misellijonot ovat järjestyneet yhdensuuntaisesti kuidun pituusakselin kanssa, kun taas normaaleissa kuiduissa ne muodostavat noin  $60^{\circ}$ – $64^{\circ}$  nousukulman.

MÜNCH (1937–38) totesi poikkileikkauksista polarisoitua valoa käyttäen, että vaahtera-, poppeli-, leppä- ja pajulajeissa vetopuusyiden sekundäärinen ja erikoisesti primäärinen seinämä ovat huomattavasti loivemmin juovikkaat kuin tertiärinen seinämä ja pitkittäisleikkauksista, että fibrillien keskimääräinen nousukulma ulommissa seinämäkerroksissa on noin  $45^{\circ}$ , mutta tertiäarisessä seinämässä ne kulkevat melkein kuidun pituusakselin suuntaisesti.

WARDROP ja DADSWELL (1948) totesivat HERZOGIN (1939) tekstiilikuitujen rakenteen tutkimisessa käyttämää musertamistekniikkaa niin ohuihin puun pituuden suuntaisiin leikkauksiin soveltamalla, etteivät ne sisältäneet kokonaisia kuituja, että *Eucalyptus regnans*'in vetopuukuitujen seinämässä on ainakin kaksi kerrosta, joissa misellien kierrekulma on erilainen. Ulkokerroksessa he saivat tämän kulman suuruudeksi noin  $18^{\circ}$  ja sisäkerroksessa, vahvassa tertiäarisessä kerroksessa, vain noin  $5^{\circ}$  kuidun pituuden suuntaisesta akselista mitattuna (myös JANE 1952). Normaalipuun kuitujen seinämässä he totesivat vain yhden vallitsevan orientoitumissuunnan, noin  $20^{\circ}$ , ja kaksi vähemmän vallitsevaa, joissa inklinaatiokulma oli suuri. Tutkimalla ohuita pitkittäisleikkauksia optillisesti he totesivat, että fibrillien vallitseva orientoitumiskulma on vetopuukuiduissa  $5^{\circ}$ – $8^{\circ}$ , mutta normaalipuun kuiduissa  $15^{\circ}$ – $20^{\circ}$ , mikä osoittaa, että misellit ovat edellisissä järjestyneet yleensä huomattavasti enemmän pituusakselin suuntaisesti kuin jälkimmäisissä. Polarisoitua valossa poikkileikkauksia tutkiessaan he tulivat sellaiseen tulokseen, että misellit ovat orientoituneet mainitun puulajin normaalipuukuitujen sekundäärisen seinämän ulkokerroksessa noin  $49^{\circ}$  ja vetopuukuitujen noin  $40^{\circ}$  kulmaan kuidun pituusakselista mitattuna. Kun toisistaan erotettujen vetopuukuitujen annettiin kuivua, totesivat sanotut tutkijat niiden seinämiin muodostuvan pituuden suuntaisia juovia, jotka kulkivat noin  $5^{\circ}$  kulmassa

kuidun pituusakselin suhteen, minkä he katsovat kuvastavan tertiäarisen seinämän orientoitumista.

Käsillä olevan tutkimuksen yhteydessä tarkasteltiin sekä hies- että rauduskoivun normaali- ja vetopuusta otettuja ohuita poikkileikkauksia polarisatio-suotimien läpi, joista alempi, kondensoriin kiinnitetty polarisaattori, suoritti mikroskooppiin tulevan valon polarisoimisen ennen kuin se lävisti tutkittavan preparaatin. Täten voitiin puuleikkauksia tarkastella polarisoidussa valossa okulaarin taakse kiinnitetyn toisen suotimen, kierrettävän analysaattorin läpi.

Normaalipuun poikkileikkauksia polarisoidussa valossa mikroskoopissa tarkasteltaessa käyttämällä 500-kertaista suurennusta näkyivät puusyiden seinämät kauttaaltaan verrattain kirkkaan vaaleina, mutta vetopuun poikkileikkauksia tarkasteltaessa näkyivät vetopuusyiden seinämien ulkokerrokset, primäärinen ja sekundäärinen seinämä, vaaleina, joskin tummempina kuin normaalipuussa, mahtavan tertiäarisen kerroksen näkyessä erittäin selvästi tummempana. Tämä osoittaa, että fibrillien ja misellien orientoituminen on molempien koivulajien vetopuusyiden etenkin tertiäarisessä seinämäkerroksessa jyrkästi poikkeava muusta seinämästä ja normaalipuusyiden seinämästä ja lähes kuidun pituusakselin suuntainen: Tämän lisäksi ilmeni, että vetopuusyiden sekundäärinen seinämä on verrattuna normaalipuusyiden paksuun sekundääriseen seinämään heikosti kehittynyt (ks. s. 30). Samanlaiseen tulokseen ovat tulleet mm. JACCARD ja FREY (1928), kuten edellä mainittiin, sekä JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG (1951) lukuisista poppeli-lajeista.

Keskilamelli näkyi polarisoidussa valossa sekä normaali- että vetopuussa ohuena mustana viivana. Sitä, että se olisi vetopuusolukossa heikompi kuin normaalipuusolukossa, josta JACCARD ja FREY (1928) mainitsevat, ei voitu todeta.

Molempien koivulajien runkopuun sekä normaali- että vetopuusta suoritettiin puusyiden seinämän fibrillaarista orientoitumista koskevia tutkimuksia myös mahdollisimman ohuista kuitujen suuntaisista pituusleikkauksista tavallisessa valossa käyttämällä runsaasti himmennystä erikoisesti leikkauksien ohkaisimmista reunaosista, joissa puusyyt olivat usein menneet halki. Täten päästiin tarkastelemaan puusyiden yhtä seinämää toisen pääsemättä vaikuttamaan häiritsevästi. Käytetty menetelmä on siis sama, jota WARDROP ja DADSWELL (1948) myös käyttivät.

Tämän lisäksi käytettiin ZIEGENSPECKIN (1951) esittämää maserointimenetelmää, jolloin s. 35 mainitulla menetelmällä suoritettujen puunäytteen maseroinnin jälkeen suoritettiin perusteellinen huuhtelu voimakkaassa

vesisuihkussa ja pesu, joka uudistettiin 4—5 kertaa. Tämän jälkeen käsiteltiin kuituja Eau de Javelle'lla, jonka jälkeen vedessä mahdollisimman hienoksi nyhdettyä kuitusälöä pantiin ensin glyseriiniin ja sitten fenoli-seokseen, jolloin kuitujen seinämistä liukeni ligniiniä ja muita lisäaineita. Lopuksi pantiin pieni hiukkanen materiaalia objektisille pudotettuun kuparioksidiammoniakkisaraan (Schweitzerin reagenssi) ja tutkittiin mikroskooppisesti.

Fibrillien orientoitumiskulmaa kuidun pituusakselin suhteen määritettäessä käytettiin noin 700-kertaista suurennusta ja goniometrissa okulaa-ria, jonka kehältä voitiin lukea mitatut kulmat 5 minuutin tarkkuudella. Tutkimus kohdistui kolmeen raudus- ja yhteen hieskoivuun, joista kustakin otettiin yksi näyte sekä normaali- että vetopuusta samalta korkeudelta ja samoista vuosirenkaista.

Mittausten tulokset esitetään taulukossa 33. Mittausten lukumäärä tarkoittaa kuitujen lukumäärää, joista kustakin suoritettiin lukuisia mittauksia, joiden keskiarvo merkittiin kulloinkin kuidun seinämän orientoitumiskulmaksi. Taulukosta ilmenee, että molemmissa koivulajeissa ovat puusyiden seinämän fibrillit orientoituneet vetopuussa keskimäärin selvästi enemmän kuidun pituusakselin suuntaisesti kuin normaalipuussa, orientoitumiskulman kuidun pituusakselin suhteen ollessa vetopuussa keskimäärin  $5^{\circ} 25'$  ja normaalipuussa  $16^{\circ} 30'$ . Tutkimustulokset sopivat hyvin yhteen em. MÜNCHIN vetopuusyistä sekä WARDROPIN ja DADSWELLIN normaali- ja vetopuusyistä saamien tulosten kanssa,

CHOW (1946) huomauttaa, että kun selluloosakuidut paisuvat eri reagenssien, kuten mm. tässä tutkimuksessa käytetyn kuparioksidiammonia-kin vaikutuksesta, niiden läpimitta kasvaa ja pituus lyhenee, mikä johtaa fibrillien entistä jyrkempään asentoon kuidun pituusakselin suhteen ja siten mittaustuloksiin fibrillien orientoitumiskulmaa määritettäessä. Kä-sillä olevan tutkimuksen yhteydessä ei maseroidun kuituaineksen lyhyt-aikaisella Schweitzerin reagenssilla käsittelyllä huomattu olevan sanotta-vaa vaikutusta kuitujen läpimittaan enempää kuin fibrillien orientoitu-miskulmaankaan. Sitä paitsi enempää normaali- kuin vetopuusyidenkään seinämien fibrillien kuidun pituusakselin suhteen tulokseksi saadut keski-määräiset orientoitumiskulmat eivät osoita ko. reagenssilla käsittelyn vai-kuttaneen ainakaan siihen suuntaan kuin CHOW'n lausunnon mukaan olisi odotettavissa, kuten taulukosta 33 ilmenee.

Puusyiden rakomaisten huokosten todettiin asettuvan sekä normaali-että vetopuusyiden seinämissä fibrillien suuntaisesti ja osoittavan siten myös seinämän misellaarista orientoitumista (myös ONAKA 1949).

Eri muotoisia katkonaisia kierremerkkejä, joita CHOW (1946) ilmoit-taa huomanneensa pyökin, tammen, jalavan, mahongin ja koivun mase-roiduissa vetopuukuiduissa, mutta ei yleensä vetopuun pituuden suuntais-sissa leikkauksissa, ja joita hän pitää seurauksena niistä mekaanisista ve-tojännityksistä, joita esiintyy kasvavassa puussa, siis itse asiassa alkuasteella olevina vetomurtumina, todettiin tämän tutkimuksen yhteydessä myös erittäin ohuissa vetopuun pituuden suuntaisissa leikkauksissa mo-lemmissa koivulajeissa. Nämä ovat melkein poikittaisia ja usein omitui-sesti mutkittavia ulottuen joskus naapurisyynkin puolelle. Sen sijaan yhtäjaksoisia, lukuisien syiden yli ulottuvia juovia, joista WARDROP ja DADSWELL (1948) mainitsevat *Eucalyptus regnans*'in vetopuusta teke-missään tutkimuksissa, ei havaittu. Kierremerkit näkyivät selvästi käy-tettäessä polarisoitua valoa ja noin 500-kertaista suurennusta.

Edellisten lisäksi tavattiin sekä normaali- että vetopuusyiden seinä-missä selviä fibrillien suuntaisia halkeamia, jotka olivat jälkimmäisissä yleisempiä kuin edellisissä. WARDROP ja DADSWELL (1950) ilmoittavat havainneensa tällaisia lylypuutrakeideissa (myös MATSUMOTO 1950).

Lylypuutrakeidin on todettu eroavan normaalitrakeidista siten, että siitä yleensä puuttuu sekundäärinen seinämän sisäkerros tai se on kovin heikko, jonka lisäksi miselliorganisatio sen keski- ja ulkokerroksessa on matalampi, siis enemmän kuidun pituusakselin suunnasta poikkeava kuin normaalitrakeidissa. Vallitsevan orientoitumiskulman lylypuutrakeidin seinämän sisäkerroksessa, joka siis vastaa normaalitrakeidin sekundääri-sen seinämän keskikerrosta, ovat WARDROP ja DADSWELL (1950) to-denneet olevan esim. *Araucaria*'ssa noin  $45^{\circ}$  sen ollessa ulommissa kerrok-sissa tätä vielä paljon suurempi misellien kulkiessa melkein kohtisuoraan kuidun pituusakselia vastaan. Myös CLARKE (1939), RITTER (1935) sekä PILLOW ja LUXFORD (1937) ovat todenneet lylypuun trakeidien misellaarisen orientoitumisen olevan enemmän kuidun pituusakselista poikkeavan kuin normaalipuun.

Havupuissa on todettu fibrillien olevan pitkissä trakeideissa enemmän pituusakselin suuntaisesti orientoituneita kuin lyhyissä (mm. PRESTON 1949), joten fibrillikierteen suuri poikkeavaisuus kuidun pituusakselin suunnasta lylypuutrakeideissa lienee yhteydessä tämän seikan kanssa, koska nämä ovat yleensä normaalia lyhempiä, jopa niin, että lylypuu-trakeidin seinämän fibrilliorganisatio ei oleellisesti eroa samanpituista normaalipuun trakeideista (mm. WARDROP ja DADSWELL 1950). Näin ollen, mikäli lehtipuiden puusyissä, joiden tehtävät eivät tosin ole niin monipuoliset kuin trakeidien, on samanlainen korrelaatio niiden pituuden

ja seinämäorganisation välillä, voitaisiin otaksua, että vetopuusyiden fibrillien voimakas pituuden suuntainen järjestyminen olisi seuraus niiden normaalipuusyitä suuremmasta pituudesta. Ero veto- ja normaalipuusyiden pituuden välillä on kuitenkin verrattain pieni aiheuttaakseen tällaisen eron fibrillien orientoitumisessa, ja sitä paitsi vetopuusyissä on poikkeuksellisen paksu sekundäärinen seinämän sisäkerros tai normaalipuusyihin verrattuna kokonaan ylimääräinen tertiäärinen seinämäkerros, jossa pituuden suuntainen fibrillaarinen orientoituminen on juuri selvän.

Ratkaisevan tärkeitä selluloosan kidealuonteen ja myös puusyiden seinämän misellaarisen orientoitumisen selvittelyssä ovat olleet röntgensädetutkimukset, jollaisia NISHIKAWA ja ONO suorittivat jo v. 1913 hampukuiduista.

PRESTON (1947) sai röntgensädetutkimuksissaan pyökin normaalipuun misellaariseksi orientoitumiskulmaksi pituusakselin suhteen kevätpuussa  $21^\circ$  ja kesäpuussa  $15^\circ$  vastaavien kulmien ollessa vetopuussa  $14^\circ$  ja  $12^\circ$ . Hän sanoo myös, että normaalipuusta saatujen röntgensädediagrammien sivukaarien untuvaisuus vetopuusta saatuihin diagrammeihin verrattuna on kevätpuussa vielä selvempi kuin kesäpuussa. Tämä viittaa siihen, että kevätpuun puusyissä ovat selluloosamisellit järjestyneet vetopuussa suhteellisesti enemmän kuidun pituusakselin suuntaan kuin kesäpuussa normaalipuusyihin verrattuna. Tällaista tulosta voitiin odottaa tämänkin tutkimuksen perusteella, koska mikroskooppisesti todettiin vetopuun muodostumisen olevan intensiivisempää kasvukauden alku- kuin loppupuolella.

WARDROP ja DADSWELL (1948) saivat *Eucalyptus regnans*'ista normaalipuun misellien orientoitumiskulmaksi  $23^\circ$  ja vetopuun  $18^\circ$ , siis arvot, jotka sopivat verrattain hyvin yhteen PRESTONIN tutkimustulosten kanssa.

Käsillä olevan tutkimuksen yhteydessä otettiin röntgendiagrammeja molempien koivulajien runkokuun tyvestä, sekä normaali- että vetopuusta, tangentin suuntaisista, noin 1 mm vahvuisista puunäytteistä kohtisuorassa suunnassa kuituja vastaan ja mahdollisimman tarkoin säteen suuntaisesti, siis näytteen keskiosasta. Kuhunkin näytteeseen sisältyi ainakin vetopuun osalta vain yksi vuosirengas, normaalipuun puolelta mahdollisesti osa toistakin, joten tutkimukset voitiin kohdistaa verrattain tarkoin haluttuihin tai toisiinsa vastaaviin vuosirengaskaisiin. Röntgensäteet saatiin läpäisemään tutkittavat näytteet kimppuna, jonka säteet olivat keskenään samansuuntaiset ja jonka aaltopituus oli tarkoitukseen sopiva. Näytteen taakse muutaman senttimetrin päähän asetetulle valokuvaus-

filmille saatiin ns. hajaheijastusdiagrammi, jonka laatu riippui mm. siitä, miten misellit olivat puussa järjestyneet. Tutkimukset suoritettiin Teknillisen Korkeakoulun teknillisen fysiikan laboratoriossa. Selostus tutkimuksessa käytetystä menetelmästä on aikaisemmin julkaistu (KANTOLA 1954), joten sitä ei ole syytä tässä enää yksityiskohtaisesti toistaa.

LONSDALE (1948) sanoo kuituvalokuvan, joka on otettu röntgensädekimpun kulkiessa paikallaan olevien kuitujen läpi kohtisuoraan niiden pituusakselia vastaan, kuten nyt esillä olevassa tapauksessa, olevan samanlaisen kuin yksityisestä kiteestä otetun kiertovalokuvan röntgensäteiden kulkiessa sen pääakselia vastaan kohtisuoraan. Tämän hän sanoo johtuvan siitä, että kuitu sinänsä on pantu kokoon kristalliiteista eli miselleistä, joilla on yksi yhteinen akseli (tai melkein yhteinen), mutta muuten umpimähkäinen orientoituminen.

Kaikista muista koepuista tutkittavat näytteet otettiin rungon vastakkaisilta puolilta puun pintaosista toisiaan vastaavista vuosirengasta paitsi koepuusta n:o 86, josta normaalipuunäyte otettiin seitsemänneestä ja vetopuunäyte viidennestä vuosirengasta pinnasta lukien samalta puolelta runkoa. Mainittu koepuu oli nimittäin alkanut muodostaa vetopuuta kuusi vuotta ennen sen kaatamista. Osa diagrammeista esitetään kuvissa 18—21.

Normaali- ja vetopuusta saatuja röntgendiagrammeja tarkasteltaessa ilmenee, että niille ovat ominaisia sivukaaret ja näiden kanssa samalla kehällä olevat interferenssipisteet, joita yhdistävät toisiinsa ohuet viivat. Interferenssitäplien venyminen kerrosviivojen suuntaan on tuloksena selluloosaketjuista, jotka eivät kuulu kidehilaan (SAUTER 1937).

Koska interferenssipilkut ovat diagrammin ulkokehällä selvästi leveämmät kuin lähellä napaa, se todistaa, että kuiduissa hilavyöhykkeiden, misellien, läpimitat ovat paljon pienempiä kohtisuoraan kuidun pituusakselia vastaan kuin akselin suunnassa, joten niiden täytyy olla sauvamaisia (mm. LONSDALE 1948 ja FREY-WYSSLING 1953).

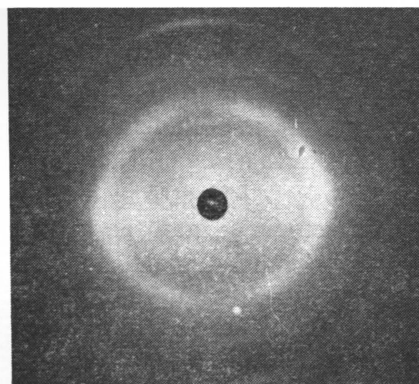
WARDROP (1954) määrittä *Eucalyptus regnans*'in normaali- ja vetopuusta saamistaan röntgendiagrammeista misellien läpimitan tullen siihen tulokseen, että se on normaalipuussa noin puolta pienempi kuin vetopuussa. Tämä viittaa siihen, että normaali- ja vetopuun rakenteellinen eroavuus toisiinsa verrattuna ulottuu kuitujen seinämän pienimpiin rakennusosasiin saakka.

Jos on kyseessä molekyylikolloidi, kuten valkuaisaine- tai kumiliuos, venyttämätön kausu tai sellofaani, syntyy tyypillinen rengasdiagrammi, ns. amorfainen rengas, joka osoittaa ko. aineen amorfista rakennetta. Ai-

noastaan siinä tapauksessa, että ketjumolekyylit ovat järjestyneet kidehilaksi, antaa röntgenanalyysi tulokseksi interferenssi-ilmioita viivoineen ja pilkkuineen. Jos esim. viskoosista valmistettua isotrooppista selluloosakuitua tai kautsunauhaa venytetään pari kertaa pituutensa verran, muuttuu siitä venyttämättömänä saatu rengasdiagrammi perusteellisesti asettain venytyksen määrän mukaan sirppi- ja lopulta kuitudiagrammiksi osoittaen selviä interferenssipisteitä ja todistaen, että kuidulla on venetyssä tilassa korkeampi sisäinen organisoitumisaste kuin venyttämättömänä (mm. LONSDALE 1948, KOLLMANN 1951, PRESTON 1952 ja FREY-WYSSLING 1953).

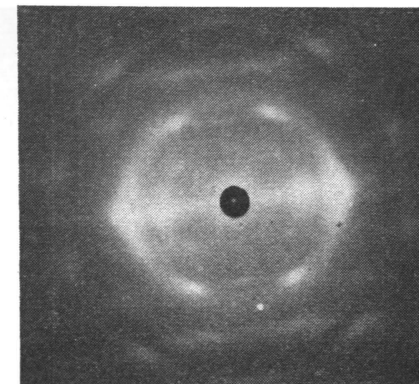
Verrattaessa toisiinsa normaali- ja vetopuusta saatuja diagrammeja kävi selvästi ilmi, että vetopuun diagrammeissa sivukaaret ovat huomattavasti lyhempiä ja jyrkemmin rajoittuvia, siis selvempiä kuin normaalipuun, joissa ne ovat epämääräisempiä ja rajoiltaan ikään kuin untuvaisia. Samanlaisen tulokseen tuli mm. PRESTON (1947) pyökistä. Tästä voidaan tehdä jo ilman mittauksia sellainen päätelmä, että vetopuusyissä selluloosamolekyylit ovat orientoituneet enemmän pituusakselin suuntaisesti kuin normaalipuusyissä. Tämä voitaisiin edellä mainituissa venytyskokeissa saatuja tuloksia vastaavasti tulkita osoitukseksi vetojännityksistä, joiden alaisena vetopuu normaaliolosuhteissa alkaa muodostua, mutta koska on todettu, että veto tai puristus eivät ole primäärisiä syitä vetopuun muodostumiseen, ei tällaisen päätelmän tekoon ole aihetta. Koepuun n:o 27 vetopuusta saatu diagrammi (kuva 19) edustaa erittäin pitkälle orientoitunutta kuiturakennetta selvine kaarineen ja pilkkuineen.

Mittaamalla röntgendiagrammista se kulma, jonka navasta sivukaarien päihin vedetyt säteet muodostavat keskenään ja puolittamalla se saatiin määritetyksi kulma, jonka selluloosan molekyyliketjut muodostavat kuidun pituusakselin kanssa (HERMANS 1949, s. 248 ja KANTOLA 1954). Sivukaarien selvän rajoittuneisuuden vuoksi tämä oli helppo suorittaa vetopuuta koskevista diagrammeista, mutta normaalipuuta kuvaavista se oli epämääräisempää sivukaarien venyneen muodon ja untuvaisen ulkoasun vuoksi. Mittaamalla se kulma, jonka ulkopuolelle mentäessä kaarien intensiteetti heikkeni nopeasti, saatiin tarvittava kulma kuitenkin määritetyksi tyydyttävästi myös normaalipuusta. LONSDALE (1948) sanoo sen, että kuitudiagrammin pilkut eivät ole kovin teräviä, johtuvan osittain siitä, että misellien orientoituminen kuidun pituusakselin suhteen ei ole täydellinen, osittain siitä, että selluloosaketjut ovat huomattavan poikittaisen lämpövibration alaisina niitä röntgenkuvattaessa ja osittain myös siitä, että miselleillä on pieni sivuläpimitta.



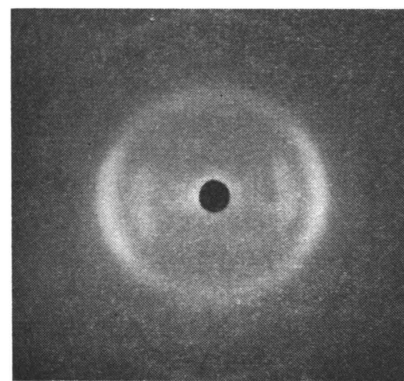
Kuva 18. Röntgendiffraktiokuva hieskoivukoepuun n:o 27 rungon normaalipuusta. Valok. M. KANTOLA.

*Fig. 18. X-ray diffraction photograph of normal wood, trunk wood of white birch sample tree No. 27. Photo M. KANTOLA.*



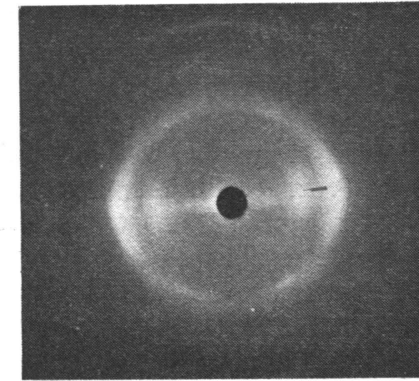
Kuva 19. Röntgendiffraktiokuva hieskoivukoepuun n:o 27 rungon vetopuusta. Valok. M. KANTOLA.

*Fig. 19. X-ray diffraction photograph of tension wood, trunk wood of white birch sample tree No. 27. Photo M. KANTOLA.*



Kuva 20. Röntgendiffraktiokuva hieskoivukoepuun n:o 86 rungon normaalipuusta (seitsemäs vuosirengas pinnasta lukien). Valok. M. KANTOLA.

*Fig. 20. X-ray diffraction photograph of normal wood, trunk wood of white birch sample tree No. 86 (7<sup>th</sup> growth ring, as counted from the bark). Photo M. KANTOLA.*



Kuva 21. Röntgendiffraktiokuva hieskoivukoepuun n:o 86 rungon vetopuusta (viides vuosirengas pinnasta lukien). Valok. M. KANTOLA.

*Fig. 21. X-ray diffraction photograph of tension wood, trunk wood of white birch sample tree No. 86 (5<sup>th</sup> growth ring, as counted from the bark). Photo M. KANTOLA.*

Taulukosta 34 ilmenee, että misellit ovat molempien koivulajien vetopuussa orientoituneet selvästi enemmän kuidun pituusakselin suuntaisesti kuin normaalipuussa. Normaalipuusta saatu orientoitumiskulma kuidun pituusakselin suhteen on keskimäärin runsaasti kaksinkertainen vetopuuhun verrattuna, rauduskoivukoevuussa kolminkertainen. Hieskoivukoevuusta n:o 86 saadut tulokset ovat mielenkiintoiset siksi, että ne osoittavat selvästi, miten puu alkaessaan muodostaa vetopuuta muuttaa välittömästi myös puusyiden seinämän misellaarista orientoitumista.

Verrattaessa röntgendiagrammeista saatuja orientoitumiskulmia taulukossa 33 ilmoitettuihin optillista tietä saatuihin kulmiin ilmenee, että edelliset ovat normaalipuun osalta runsaasti kaksinkertaiset ja vetopuun osalta runsaasti kolminkertaiset jälkimmäisiin verrattuna. Tämä eroavaisuus on kuitenkin ymmärrettävissä sen perusteella, että optilliset tutkimukset suoritettiin osaksi maseroimalla erotetuista yksityisistä puusyistä, osaksi ohuista puuleikkauksista, joihin sisältyi vain puusyyn toinen seinämä, kun sen sijaan röntgentutkimuksissa käytettyihin puunäytteisiin sisältyi keskimäärin yksi kokonainen vuosirengas puusyineen ja putkiloineen. Täten putkilotkin ovat ilmeisesti vaikuttamassa röntgendiagrammien muotoon. Putkiloissahan misellit juoksevat miltei poikittain niiden pituusakselia vastaan. Näin ollen röntgensädetutkimusten tuloksia ei ole otettava suinkaan sellaisinaan, vaan niitä voidaan pitää vain suuntaa näyttävinä. Tässä mielessä tehdyt tutkimukset täyttivät nytkin tehtävänsä ja varmistivat sen suunnan normaali- ja vetopuun puusyiden misellaarisessa orientoitumisessa, joka todettiin vielä selvempänä optillista tietä (myös PRESTON 1947).

WARDROP ja DADSWELL (1950) ilmoittavat *Pinus radiatan* normaalipuun röntgensädetutkimuksissa saaduksi misellien orientoitumiskulmaksi  $15^\circ$  ja lylypuun  $37^\circ$ , mikä osoittaa, että lylypuussa misellit poikkeavat huomattavasti enemmän kuidun pituusakselin suunnasta kuin normaalipuussa.

Puusyiden seinämän rakennetta koskevat tutkimukset osoittavat, että misellit ja fibrillit ovat järjestyneet sekä hies- että rauduskoivun vetopuusyissä paljon vähemmän kuidun pituusakselin suunnasta poikkeavasti kuin normaalipuusyissä, että tämä pitää selvimpänä paikkansa vetopuusyiden paksussa tertiäarisessä seinämäkerroksessa, että vetopuusyiden sekundäärinen seinämä on heikommin kehittynyt kuin normaalipuusyiden ja että vetopuusyiden seinämässä on havaittavissa omituisia melkein poikittaisia ja usein mutkittelevia viiruja. On syytä vielä tutkia, onko myös koivulajeissa normaali- ja vetopuun misellien läpimitassa eroa, jollaiseen tulokseen WARDROP (1954) tuli *Eucalyptus regnans*'ista.

## Puun kemiallinen kokoonpano

### Värjäyskokeet puun erisuuntaisista leikkauksista ja mikrokemialliset tutkimukset

Koska puuainne on koostunut etupäässä selluloosasta ja ligniinistä, on tarkoituksenmukaisinta käyttää puun kemiallisen kokoonpanon yleispiirteisessä selvittelyssä sellaisia reagensseja, jotka näiden kahden puun pääaineksen kanssa yhteyteen joutuessaan antavat niille selvästi erilaisen värisävyn. Tällaisia reagensseja onkin lukuisia ja niistä on seikkaperäisiä selostuksia kirjallisuudessa (mm. FREI-SULZER 1946 ja HUBER 1951).

JACCARD (1917) totesi sivellessään kloorisinkkijodiliuosta tammen, pyökin ja lepän vaakasuorien oksien poikkileikkauspinnolle vetopuun värjäytyvän violetiksi, mutta normaalipuun keltaiseksi. Samanlaisen tulokseen tuli CHOW (1946) pyökin runkopuusta todeten kloorisinkkijodin vaikutuksen kuitenkin verrattain lyhytaikaiseksi. CLARKE (1937) käytti reagenssina floroglusiinin suolahappoliuosta, jolloin pyökin rungon normaalipuu sai himmeän syvänpunaisen värin vastoin vetopuun hopeanhoh-toista ja vaaleanpunaista väriä.

Käsillä olevassa tutkimuksessa käytettiin reagenssina vain kloorisinkkijodiliuosta, joka värjää selluloosan sen kanssa yhteyteen joutuessaan sinivioletiksi ja pöutuneet osat sen sijaan kirkkaan keltaiseksi, joten värikontrasti on erittäin selvä. Varjopuoleksi tämän reagenssin käytössä todettiin se, että sen värjäytymisvaikutus osoittautui verrattain lyhytaikaiseksi (myös CHOW 1946) ollen kuitenkin niin pitkällinen, että se riittää hyvin havaintojen tekoon.

Puun poikkileikkauspinnan värjäytymisen tutkimiseksi valittiin yhdeksästä eri koevuusta, molemmista koivulajeista, sellaisia rungosta ja oksista otettuja kiekkoja, joissa vetopuu oli niin selvä, että sen muodostamat vyöhykkeet voitiin niistä paljain silminkin erottaa. Ne siveltiin toiselta puolelta kauttaaltaan kloorisinkkijodiliuoksella, jolloin tulosta voitiin verrata kiekon toiseen puoleen. Tällöin huomattiin selvästi vetopuuvyöhykkeiden värjäytyvän sinivioletiksi tai violetiksi muiden osien tullessa enemmän tai vähemmän keltaiseksi tai keltaisen ruskeaksi. Värjäytymisen todettiin noudattavan tarkoin vetopuuvyöhykkeiden rajoja (kuvat 6 ja 22—25).

Säteen ja tangentin suuntaisten pintojen värjäytymisen toteamiseksi otettiin sekä hies- että rauduskoivun rungosta normaali- ja vetopuun rajalta ohuet koekappaleet siten, että niihin sisältyi sekä normaali- että vetopuuta. Kun nämä kastettiin kloorisinkkijodiliuokseen, värjäytyivät nii-

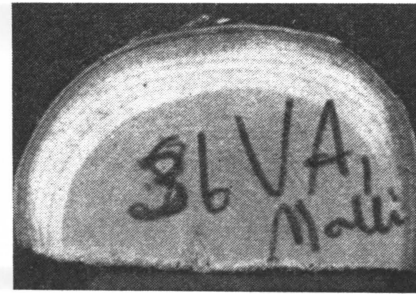
den pinnat vetopuun osalta sinivioletiksi ja normaalipuun osalta heikosti kellertäväksi.

Kloorisinkkijodilla suoritettavat kokeet osoittavat, että vetopuun selluloosapitoisuus on sekä hies- että rauduskoivussa suurempi kuin normaalipuun, joten saatu tulos soveltuu yhteen em. tutkijoiden muista puulajeista ja muitakin reagensseja käyttäen tekemien havaintojen kanssa.

Jo METZGER (1908) tutki kloorisinkkijodia reagenssina käyttäen mikrokemiallisesti tammea, pyökkiä, saarnea ja vaahteraa, HERIC (1915) mm. pyökkiä, saarnea, leppää ja pajulajeja sekä JACCARD (1917) niin ikään useita lehtipuulajeja. Näistä METZGER otaksuu vetopuukuitujen seinämän sisimmän kerroksen muodostuvan hemiselluloosasta ja JACCARD etupäässä selluloosasta, mutta sen ohella hemiselluloosasta ja pektiinistä sekä monessa tapauksessa myös ligniinistä. Viimeksi mainittu tutkija mainitsee vielä, että eroavaisuudet, jotka havaitaan eri puulajien kloorisinkkijodilla käsiteltyjen leikkausten värjäytymisessä, riippuvat todennäköisesti em. aineiden suhteellisesta osuudesta soluseinämässä, jossa milloin toinen, milloin toinen aines on vallitsevana.

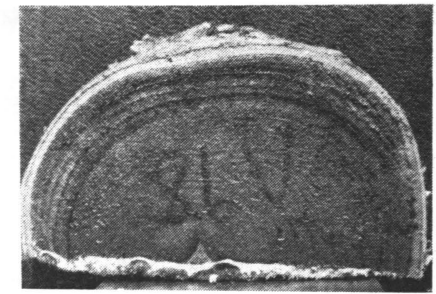
CLARKE (1936—37) ja CHOW (1946) suorittivat pyökistä mikrokemiallisia tutkimuksia, edellinen lukuisilla reagensseilla ja jälkimmäinen kloorisinkkijodiliuksella. Edellinen totesi vetopuukuitujen sekundäärisen seinämän antavan reaktioita, jotka ovat ominaisia ligniinittömälle seinämälle, vastakohtana normaalipuukuitujen vastaavalle seinämälle. Esimerkiksi floroglusiinin suolahappoliuoksen hän totesi värjäävän sekundäärisen seinämän muuten punaiseksi, mutta tertiäärisen paksunoskerroksen jäävän värittömäksi. CHOW puolestaan totesi kloorisinkkijodia reagenssina käyttäessään pyökin normaalipuukuitujen primäärisen seinämän sekä sekundäärisen seinämän ulko- ja keskikerroksen värjäytyvän keltaiseksi tai kellertäväksi, mutta sisäkerroksen vaalean punaruskeaksi vetopuukuitujen primäärisen seinämän ja sekundäärisen seinämän keskikerroksen värjäytyessä punaruskeaksi, ulkokerroksen vaalean keltaiseksi tai joskus punaruskeaksi ja sisäkerroksen tumman punaruskeaksi.

WARDROP ja DADSWELL (1948) tulivat mm. *Eucalyptus regnans*'ista siihen tulokseen, että ottaen huomioon ligniinin nähtävästi täydellinen puuttuminen sen vetopuusyiden seinämän tertiäärisestä kerroksesta, kuten värjäysreaktiot osoittivat, näyttää siltä, että normaali- ja vetopuukuitujen puutumisen määrä on likimain sama ennen tertiäärisen kerroksen muodostamista viimeksi mainittuihin. Samansuuntaiseen tulokseen tulivat RÜNGER ja KLAUDITZ (1953) lukuisista poppelilajeista. Sen sijaan VORREITER (1949, s. 89) sanoo vetopuukuitujen seinämän paksun sisä-



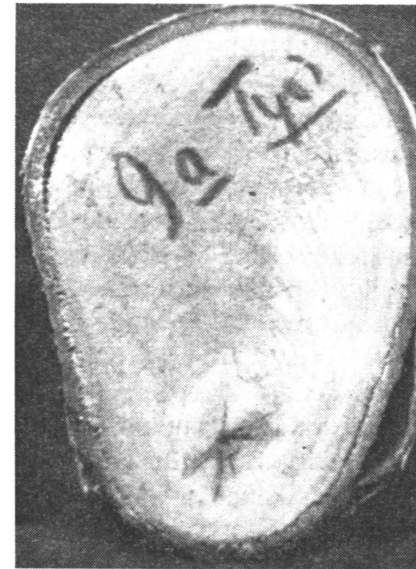
Kuva 22. Rauduskoivun rungosta otettu kiekko, jossa vetopuu näkyy uloimmat vuosirenkaat käsittävänä vaaleana vyöhykkeenä.

Fig. 22. Cross-cut of the trunk of a silver birch; showing tension wood as bright band comprising the outermost growth rings.



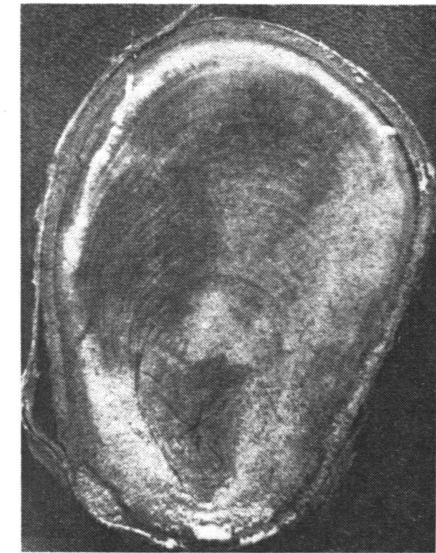
Kuva 23. Kuvan 22 esittämä kiekko kloorisinkkijodilla siveltyinä.

Fig. 23. The cross-cut of fig. 22, treated with chloriodide of zinc.



Kuva 24. Hieskoivun tyvikiekkko, jossa vetopuu keskittyy etupäässä oikeanpuoleiseen osaan ja ytimen ympärille.

Fig. 24. Cross-cut from the butt of a white birch, showing the tension wood to be concentrated mainly on the right-hand side and around the pith.



Kuva 25. Kuvan 24 esittämä kiekko päinvastaiselta puolelta kloorisinkkijodilla siveltyinä.

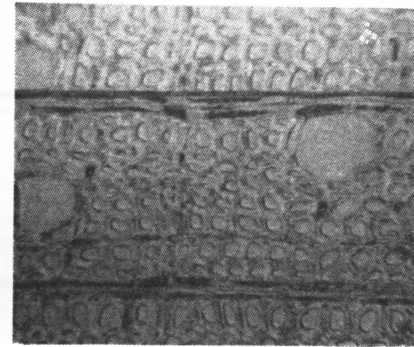
Fig. 25. The cross-cut of fig. 24, treated on its opposite face with chloriodide of zinc.

kerroksen olevan voimakkaasti puutuneen, joskin vetopuun ligniinipitoisuuden olevan kuitenkin normaalia pienemmän.

JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG (1951) suorittivat mikrokemiallisia tutkimuksia useista poppelilajeista käyttämällä reagenssina kloorisinkkijodiliuosta ja tullen siihen tulokseen, että vetopuusyiden tertiäärinen seinämäkerros on muodostunut puhtaasta polysakkaridisubstanssista ollen täysin puutumaton. Tämän lisäksi he tulivat vastoin WARDROPIN ja DADSWELLIN ym. tutkimuksia siihen tulokseen, että vetopuusyiden sekundäärinen seinämäkin on kemialliselta kokoonpanoltaan jonkin verran erilainen kuin normaalipuusyiden todeten sen sisältävän mm. enemmän ligniiniä, mutta vähemmän pentosaaneja ja helposti liukenevia hemiselluloosia kuin normaalipuusyyn vastaavan seinämän. LANGE (1954) tuli mikrospektrograafisissa tutkimuksissaan sellaiseen tulokseen, että pyökin vetopuukuittujen seinämässä on ligniiniä normaalia vähemmän ja miltei pelkästään vain keskilamellissa seinämäkerrosten ollessa käytännöllisesti katsoen ligniinittömiä. JAYME ja HARDERS-STEINHÄUSER (1953) totesivat vetopuusyiden sisimmän seinämäkerroksen mahtavuuden ja sen, että se täyttää kloorisinkkijodilla käsittelyn jälkeä koko soluontelon. Samanlaisia havaintoja ovat tehneet myös METZGER (1908) lukuisista puulajeista ja CHOW (1946) pyökistä.

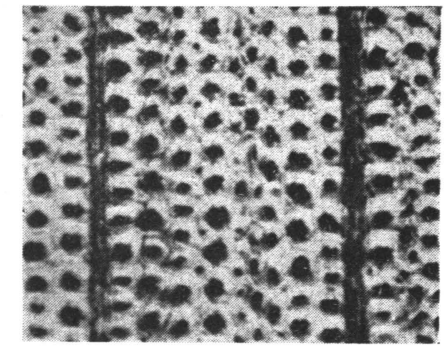
Yksityiskohtaisemman käsityksen saamiseksi koivun normaali- ja vetopuun puusyiden seinämän kemiallisesta kokoonpanosta suoritettiin mikrokemiallisia tutkimuksia ohuista molempien koivulajien sekä normaali- että vetopuusta otetuista poikkileikkauksista, jotka pistettiin objektilasille tipautettuun kloorisinkkijodiliuospisaraan ja tutkittiin mikroskooppisesti 100—1 080-kertaista suurennusta käyttäen sekä tavallisessa että polarisoidussa valossa.

Normaalipuun poikkileikkauksia 1 080-kertaisella suurennuksella tarkasteltaessa todettiin niiden värjäytyvän kauttaaltaan keltaiseksi, puusyiden ja putkiloiden seinämien vaaleiksi ja ydinsäteiden tummemmiksi (kuva 26). Puusyiden ohut sisin seinämäkerros, sekundäärinen seinämän sisäkerros, värjäytyi muuta seinämää tummemmaksi, joskus jopa vaalean punaruskeaksi. Tämä osoittaa, että normaalipuu on yleensä kauttaaltaan voimakkaasti puutunutta solukkoa, jollaiseen tulokseen tuli myös mm. JACCARD (1917). Se, että normaalipuusyiden sekundäärinen seinämän sisäkerros värjäytyi tummemmaksi kuin muu seinämä, jopa vaalean punaruskeaksikin, antaa kuitenkin aihetta epäillä, että normaalipuusyiden seinämän selluloosapitoisuus kasvaa, mutta ligniinipitoisuus pienenee primäärisestä seinämästä soluonteloon päin. Samaan suuntaan osoittavat



Kuva 26. Hieskoivun normaalipuusolukkoa runkopuusta kloorisinkkijodiliuoksessa (n. 160×). Valok. J. ITKONEN.

*Fig. 26. Normal wood tissue in the trunk wood of a white birch, treated with chloriodide of zinc (about 160×). Photo J. ITKONEN.*



Kuva 27. Hieskoivun vetopuusolukkoa runkopuusta kloorisinkkijodiliuoksessa (n. 200×). Valok. J. ITKONEN.

*Fig. 27. Tension wood tissue in the trunk wood of a white birch, treated with chloriodide of zinc (about 200×). Photo J. ITKONEN.*

mm. CHOW'n (1946) pyökistä ja WARDROPIN (1954) havupuiden trakeideista tekemät havainnot, ja siihenhän viittaavat myös JENSENIN (1950) koivusta tekemät tutkimukset.

Sen sijaan vetopuusolukkoa samaa suurennusta käyttäen tutkittaessa todettiin vuosirenkaan alkupuoliskon puusyiden seinämien värjäytyvän kloorisinkkijodin vaikutuksesta usein melkein kauttaaltaan purppuran punaiseksi, punaviolettiksi, violetiksi, siniviolettiksi tai joskus punaisen ruskeaksi vain ohuiden ulompien seinämäkerrosten värjäytyessä normaalipuun tapaan keltaiseksi. Seinämän tummaksi värjäytyneet sisin kerros näytti täyttävän miltei koko soluontelon (kuva 27) ja olevan 2—6 kertaa muiden kerrosten yhteistä vahvuutta paksumpi. Tällöin on kuitenkin huomattava, että kloorisinkkijodiliuos paisuttaa vetopuusyiden tertiääristä seinämäkerrosta ilmeisesti huomattavasti enemmän kuin muita normaalipuusyissäkin selvinä esiintyviä seinämäkerroksia, joten puusyiden seinämään kohdistuvia vertailevia paksuusmittauksia ei koskaan ole tehtävä kloorisinkkijodilla käsitellyistä leikkauksista.

Vuosirenkaan ulommissa osissa vetopuusyit eivät näytä yleensä olevan niin pienonteloisia ja paksuseinäisiä kuin sen alkupuoliskossa, ja tämä seinämän oheneminen tapahtuu ilmeisesti etupäässä sisimmän, tertiäärin seinämäkerroksen kustannuksella, kunnes lähelle vuosirenkaan rajaa tullessa tämä voimakkaasti värjäytyneet kerros muodostaa enää vain kapean



renkaan seinämässä häipyen viimeisissä soluriveissä miltei kokonaan. Tämä osoittaa vetopuun muodostumisen suurempaa intensiivisyyttä kasvukauden alkupuolella loppupuoleen verrattuna, jollaiseen tulokseen tulitiin jo aikaisemminkin muiden tutkimusten yhteydessä.

Erittäin mielenkiintoinen ja valaiseva oli se värjäytymiskoe, joka tehtiin edellä useaan kertaan mainitusta 60-vuotiaasta hieskoivusta, joka oli alkanut muodostaa vetopuuta 22 vuotta ennen kaatamista jouduttuaan vinoon asentoon sorakuopan kaivamisen vuoksi. Normaali- ja vetopuun rajalta otetussa poikkileikkauksessa ilmeni selvästi jyrkkä vastakohtaisuus pinnasta lukien 23. ja 22. vuosirenkaan värjäytymisessä kloorisinkkijodiliuoksessa edellisen normaalipuuna värjäytyessä kauttaaltaan keltaiseksi ja jälkimmäisen vetopuuna siniviolettivoittoiseksi.

Verrattaessa kloorisinkkijodiliuoksen paljastaman puusyiden sisimmän seinämäkerroksen paksuutta ja värjäytymisen voimakkuutta eri vuosirenkaissa toisiinsa 100-kertaista suurennusta käyttäen näyttää ilmeiseltä, että vetopuun muodostumisen intensiivisyys heikkenee vähitellen ulompiin vuosirenkaihin siirryttäessä oltuaan ensimmäisinä muodostumisvuosiin suurimmillaan. Tämä osoittaa, että kun puu on voittanut suurimmat vaikeutensa ja vastuksensa pystysuoran asennon saavuttaakseen ja vetopuu on tehnyt raskaimman osan tehtävästään, sen muodostuminen alkaa heikentyä.

Kun tarkastellaan kloorisinkkijodiliuoksella käsiteltyjä vetopuun poikkileikkauksia polarisoidussa valossa ja verrataan niitä poikkileikkauksiin, joita ei ole käsitelty tällä reagenssilla, näyttää ilmeiseltä, että kloorisinkkijodin aikaansaama vetopuusyiden seinämän poikkeuksellinen värjäytymisen rajoittuu juuri tertiääriseen seinämäkerrokseen ulompien, sekundäärin seinämän ulko- ja keskikerroksen sekä primäärin seinämän värjäytyessä normaaliin tapaan keltaiseksi.

Tämä viittaa siihen, että vetopuun normaalipuuhun verrattuna ilmeisesti suurempi selluloosapitoisuus johtuu juuri puusyiden tertiäärin seinämäkerroksen erikoisen suuresta selluloosa- ja todennäköisesti miltei ole mattomasta ligniinipitoisuudesta (myös WARDROP ja DADSWELL 1948, JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG 1951 ym.).

Erittäin mielenkiintoinen oli se kirjoittajan kloorisinkkijodilla käsitellyistä poikkileikkauksista 1 080-kertaista suurennusta käyttäen tekemä havainto, että vetopuusyiden seinämän sinivioletti, paisunut tertiäärin seinämäkerros saattoi yhtäkkiä revetä irti muusta seinämästä kokonaisuudessaan, jonka jälkeen se kutistui nopeasti pieneksi renkaaksi, siis koko kuitua ajatellen putkeksi johonkin soluontelon reunaan. Tämän jälkeen

puusyyn jäljelle jääneen seinämän rakennetta ja värjäytymistä tarkasteltaessa sitä ei voinut erottaa normaalipuusyystä. Tällaisia »ponnahduksia» saattoi tapahtua mikroskoopin näkökentässä lukuisia aivan lyhyen ajan kuluessa. Tämäkin viittaa siihen, että vetopuusyiden seinämän paksuudella kerros on normaalipuusyihin verrattuna aivan ylimääräinen (myös MÜNCH 1937—38 ja JANE 1952).

Mikrokemiallisten tutkimusten tulokset osoittavat, että molempien koivulajien vetopuun selluloosapitoisuus on huomattavasti suurempi kuin normaalipuun, että tämä ominaisuus johtuu ilmeisesti ensi sijassa vetopuusyiden paksun tertiäärin seinämäkerroksen omalaatuisesta kemiallisesta kokoonpanosta ja että vetopuusolukon muodostuminen on intensiivisempää kasvukauden alku- kuin loppupuolella ja samoin intensiivisempää ensimmäisinä vuosina kuin myöhemmin.

#### *Kemiallinen analyysi*

Normaali- ja vetopuun mikrokemiallisissa tutkimuksissa saatujen tulosten täydentämiseksi ja varmistamiseksi suoritettiin kahdesta hies- ja yhdestä rauduskoivusta kemiallinen analyysi erikseen normaali- ja vetopuusta. Tätä varten otettiin mainituista koepuista näytteet runkopuun tyviosasta normaali- ja vetopuun puolelta toisiaan vastaavilta korkeuksilta ja suunnilleen samoista vuosirenkaista puun pintaosista. Tämän jälkeen nämä lohottiin pieniksi tikuiksi ja jauhettiin alustavasti turvemyllyssä uurrettujen pyörölevyjen välissä sekä sekoitettiin huolellisesti kukin näyte erikseen. Kunkin näytteen paino oli ilmakuivana 50—100 g. Itse analyysit suoritettiin Oy Keskuslaboratoriossa ja niiden tulokset esitetään taulukossa 35. Kaikki painot on ilmoitettu prosenteissa absoluuttisen kuivan aineksen painosta.

Kaikki kolme koepuuta ovat Kuhmosta, n:ot 3 ja 37 kasvoivat VT- ja n:o 39 MT-kankaalla välipuina ja niiden ikä oli 65—90 v.

#### **Tuhkapitoisuus**

SCHROEDER (1913) sanoo puun tuhkapitoisuuden vaihtelevan jonkin verran eri vuodenaikoina sen ollessa talvella pienin ja oksissa suurempi kuin runkopuussa. GOTTLIEB (1883) ilmoittaa koivun tuhkapitoisuudeksi puulajia tarkemmin määrittelemättä 0.29 % sekä SCHWALBE ja BECKER (1919) rauduskoivun tuhkapitoisuudeksi 0.39 %, samoin JENSEN (1949) 0.3 %.

CHOW (1946) tuli siihen tulokseen pyökin kemiallista kokoonpanoa tutkiessaan, että vetopuun tuhkapitoisuus on suurempi kuin normaalipuun ko. arvon ollessa edellisen osalta 0.43 % ja jälkimmäisen 0.29 %, Vastavanlaiseen tulokseen tulivat myös JAYME ja HARDERS-STEINHÄUSER (1953) poppelilajien oksapuusta erotuksen normaali- ja vetopuun välillä ollessa kuitenkin kovin pieni.

Käsillä olevan tutkimuksen yhteydessä määritettiin tuhkapitoisuus erikoismyllyssä hienonnetusta puujauheesta hehkuttamalla tätä tuhkaksi polton jälkeen kvartsiupokkaassa muhveliuunissa käyttämällä 700° C lämpötilaa ja 60 min. hehkutusaikaa. Tulos laskettiin prosenteissa absoluuttisen kuivan puujauheen painosta (Oy Keskuslaboratorion työmenetelmä n:o A 4011/1941 ja SIEBER 1951, ss. 414—415). Taulukosta 35 ilmenee, että vetopuun tuhkapitoisuus on suurempi kuin normaalipuun. Erotukseksi hieskoivun osalta saatiin kovin pienet arvot, mutta rauduskoivun osalta se on huomiota herättävä. Hieskoivun normaalipuusta saatu tulos soveltuu hyvin yhteen GOTTLIEBIN (1883) ja rauduskoivun normaalipuusta saatu SCHWALBEN ja BECKERIN (1919) tutkimusten kanssa.

#### Liukoisuus asetoniin

ROUTALA (1936) mainitsee mm. koivun kuuluvan niihin puulajeihin, joissa tärkeilyn muuttuminen rasvoiksi on huomattavan runsasta etenkin talviaikana. Keväällä, rasvojen muuttuessa jälleen tärkeilykseksi, niiden määrä on vähäisempi. JENSEN (1949) sai rauduskoivun uuttautukseksi eetteriin 2.7 %.

CHOW (1946) totesi pyökin vetopuun liukenevaisuuden alkoholin ja bentseenin seokseen olevan pienemmän kuin normaalipuun.

Käsillä olevassa tutkimuksessa määritettiin puun asetoniin liukoinen osa tavalliseen tapaan käyttämällä Soxhlet-kojetta, jolloin puujauheessa olevat hartsit, rasvat, vahat ja eteeriset öljyt liukenivat asetoniin. Laitteen rakenne ja toiminta on selostettu lukuisissa käsikirjoissa (mm. LAMIRAND ja PARISSELLE 1938, s. 12 ja SIEBER 1951, ss. 53—56), joten siihen ei liene syytä tässä lähemmin puuttua. Uuttamisen päätyttyä liuotin poistettiin suodoksesta tislamalla, jonka jälkeen uute kuivatettiin ja punnittiin sekä määritettiin prosenteissa absoluuttisen kuivan uuttamattoman puujauheen painosta. Työmenetelmä on selostettu SIEBERIN (1951) teoksessa sivuilla 462—463. Taulukosta 35 ilmenee, että vetopuun asetoniute on selvästi pienempi kuin normaalipuun molemmilla koivula-

jeilla, joten edellinen sisältää pihka-aineita, rasvoja yms. ilmeisesti vähemmän kuin jälkimmäinen. Saatu tulos sopii siis yhteen CHOW'n (1946) tutkimusten kanssa.

Koska eri liuottimet liuottavat puun aineksia vaihtelevassa määrässä, muodostuvat uutepitoisuudetkin erilaisiksi eri liuottimia käytettäessä. Sitä paitsi uutepitoisuuteen on todettu vaikuttavan mm. sellaisten tekijöiden kuin puun osan, josta näyte on otettu, näytteen varastoimisajan ja lämpökäsittelyn (PELLINEN ja ROSCHIER 1952).

#### Cross & Bevanin selluloosapitoisuus

SCHWALBE ja BECKER (1919) ilmoittavat rauduskoivun pentosaanipitoiseksi selluloosaprosentiksi 64.2.

CHOW (1946) sai Cross & Bevanin selluloosapitoisuudeksi pyökin normaalipuusta 57.2 % ja vetopuusta 62.1 %, siis vetopuusta selvästi korkeamman arvon. Myöskin v. PECHMANN (1953) ilmoittaa mainitun puulajin vetopuun raakaselluloosapitoisuuden olevan suuremman kuin normaalipuun. Samansuuntaisiin tuloksiin tulivat WARDROP ja DADSWELL (1948) *Eucalyptus regnans*'in Cross & Bevanin selluloosapitoisuudesta. Normaalipuulle he saivat arvoksi 55.8 % ja vetopuulle 63.5 %.

Käsillä olevan tutkimuksen yhteydessä määritettiin Cross & Bevanin selluloosapitoisuus kloorin vaikutuksen tehostamiseksi uutetusta puujauheesta. Menetelmästä on seikkaperäiset selostukset lukuisissa alan käsikirjoissa (mm. SIEBER 1951, ss. 114—118). Menetelmän periaatteenahan on se, että puujauheen sisältämä ligniini hajoitetaan kloorikaasulla ja hajautumistuotteet saatetaan liukenemaan laimeaan alkaliin, esim. 1 %:seen natronlipeään, jolloin selluloosa jää jäljelle ja määritetään prosenteissa absoluuttisen kuivan uuttamattoman puujauheen painosta. Tässä yhteydessä mainittakoon vielä, että klooraus ja sitä seuraava pesu ligniinin poistamiseksi toistettiin viisi kertaa minimin ollessa yleensä lehtipuiden ollessa kyseessä kolme kertaa. On huomattava, että jos menetelmä toistetaan kovin usein, pyrkii selluloosakin häviämään, joten joudutaan suorittamaan valinta ligniinittömän lopputuotteen, joka ei sisällä enää kaikkea selluloosaa ja ligniiniä sisältävän tuotteen, jossa selluloosa on suunnilleen kokonaan jäljellä, välillä. Tällä menetelmällä saadaan yleensä tulokseksi korkeita selluloosapitoisuuksia, mutta nämä eivät osoita puhdasta selluloosaa, vaan niissä ovat mukana vaikuttamassa klooria kestävät hemiselluloosat, ennen kaikkea pentosaanit, sekä jäljelle jäänyt ligniini. Edellisten

lisäksi Cross & Bevanin selluloosa voi sisältää myös muita polysakkariideja, kuten mm. mannaania (HÄGGLUND 1951). Saatu tuote on siis lähellä holoselluloosaa, josta sen erottaa pienemmän hemiselluloosapitoisuuden ohella lähinnä vain sen mahdollisesti vielä sisältämä ligniini.

Taulukosta 35 ilmenee, että Cross & Bevanin selluloosapitoisuudet ovat kauttaaltaan kovin korkeat eivätkä osoita suinkaan selvää eroa normaali- ja vetopuun välillä. Hieskoivukoepuista toisena mainitusta saatiin normaalipuun selluloosapitoisuudeksi huomattavasti suurempi arvo kuin vetopuun, mutta ensimmäisenä mainitusta miltei samat arvot. Sen sijaan rauduskoivukoepuusta saatiin vetopuun selluloosapitoisuudeksi huomattavasti suurempi arvo kuin normaalipuun.

#### Korjattu selluloosapitoisuus

SCHWALBE ja BECKER (1919) saivat rauduskoivun pentosaanittomaksi selluloosapitoisuudeksi 45.3 % ja JENSEN (1949) puhtaaksi selluloosapitoisuudeksi 38.0 %.

CHOW (1946) määrittä pyökistä sekä JAYME ja HARDERS-STEINHÄUSER (1953) poppelista  $\alpha$ -selluloosapitoisuuden, jolla tarkoitetaan yleensä sitä osaa selluloosasta, joka ei liukene 17.5 %:seen NaOH:iin, jolloin edellinen sai sen arvoksi normaalipuusta 41.15 % ja vetopuusta 49.68 % sekä jälkimmäiset vastaavasti 39.0 ja 53.1 %. Samansuuntaisiin tuloksiin normaali- ja vetopuun pentosaanittomien selluloosapitoisuuksien suhteesta ovat tulleet lukuisat muut tutkijat, mm. WARDROP ja DADSWELL (1948) *Eucalyptus regnans*'ista (44.3 ja 57.2 %), JAYME ja HARDERS-STEINHÄUSER (1953) poppelin oksapuusta (40.9 ja 49.2 %) sekä RÜNGER ja KLAUDITZ (1953) sen taimista. Viimeksi mainitut tutkijat määrittivät *Populus regenerata grandiksen* kymmenestä kaksivuotisesta taimesta, jotka oli taivuttamalla saatettu muodostamaan vetopuuta yhden kasvukauden ajaksi, selluloosapitoisuuden toisen vuosirenkaan normaali- ja vetopuusta saaden sen arvoksi edellisen osalta 41.1 ja jälkimmäisen 59.7 %. Ensimmäisessä vuosirenkaassa he eivät todenneet olevan eroa sanotussa suhteessa.

Kun Cross & Bevanin selluloosasta vähennettiin sen sisältämät pentosaanit ja ligniini, saatiin ns. korjattu selluloosapitoisuus, joka ilmoitetaan myös taulukossa 35. Tämä osoittaa selvästi, että vetopuun selluloosapitoisuus on suurempi kuin normaalipuun molemmissa koivulajeissa. Saadut tulokset ovat lähinnä WARDROPIN ja DADSWELLIN (1948) em. arvoja.

#### Pentosaanipitoisuus

SCHWALBE ja BECKER (1919) saivat rauduskoivun pentosaanipitoisuudeksi 27.1 % ja SUNDMAN ym. (1949) 29.9 %. HÄGGLUND (1951) ilmoittaa koivun pentosaanipitoisuudeksi yleensä 25.9 % ja DE CHALMOT (1894) 23.4 %.

CHOW (1946) ilmoittaa pyökin normaalipuun pentosaanipitoisuudeksi 26.3 % ja vetopuun 19.0 %. Samansuuntaisiin tuloksiin tulivat JAYME ja HARDERS-STEINHÄUSER (1953) sekä RÜNGER ja KLAUDITZ (1953) poppelista.

Puunäytteiden sekä Cross & Bevanin selluloosan pentosaanipitoisuus korjattuun selluloosapitoisuuteen pääsemiseksi määritettiin Kullgren & Tydénin titrimetrisellä menetelmällä, joka on selostettu seikkaperäisesti lukuisissa alan käsikirjoissa (mm. KULLGREN ja TYDÉN 1929, O y K e s k u s l a b o r a t o r i o n menetelmä n:o A 4061/1941, SIEBER 1951, ss. 62–83 ja 453, WISE 1950, HÄGGLUND 1951, s. 143 sekä PELLINEN ja ROSCHIER 1952, s. 548), joten siihen ei liene syytä perusteellisesti puuttua. Menetelmän periaatteenahan on se, että pentosaanit keitetään keittosuolapitoisessa 13.15 % suolahapossa, jolloin ne muuttuvat furfuroliksi, joka tislataan. Määrätty tisleen osa tislataan uudelleen ja uuden tisleen furfurolipitoisuus titrataan 0.05-n kaliumbromaattiliuoksella. Furfurolia vastaava pentosaanimäärä lasketaan ja ilmaistaan prosenteissa absoluuttisen kuivan aineksen painosta.

Taulukosta 35 ilmenee, että vetopuun pentosaanipitoisuus on sängen huomattavasti pienempi kuin normaalipuun sekä hies- että rauduskoivussa. Vastaava suhde vallitsee myös normaali- ja vetopuusta valmistetun Cross & Bevanin selluloosan pentosaanipitoisuuksien välillä. Sekä normaali- että vetopuusta saadut tulokset sopivat hyvin yhteen em. lukuisien tutkimusten kanssa lukuun ottamatta DE CHALMOT'ia (1894).

#### Ligniiniipitoisuus

SCHWALBE ja BECKER (1919) ilmoittavat rauduskoivun ligniiniipitoisuudeksi 19.6 % ja samaan tulokseen tuli myös JENSEN (1949). SUNDMAN ym. (1949) saivat vastaavaksi arvoksi 20.5 %.

CHOW (1946) sai pyökin normaalipuun ligniiniipitoisuudeksi 19.6 % ja vetopuun 15.25 % sekä WARDROP ja DADSWELL (1948) *Eucalyptus regnans*'ista vastaavasti 22.2 % ja 16.0 %. Samansuuntaisiin tuloksiin normaali- ja vetopuun ligniiniipitoisuuksien suhteesta ovat tulleet myös

v. PECHMANN (1953) pyökistä, JAYME ja HARDERS-STEINHÄUSER (1953) poppelista sekä RÜNGER ja KLAUDITZ (1953) niin ikään poppelista. Kaksi viimeksi mainittua tutkijaa määrittivät ligniinipitoisuuden nuorista poppelin taimista saaden sen arvoksi normaalipuusta 25.7 % ja vetopuusta 16.9 % sanoen ligniinipitoisuuden normaalipuussa ehkä hie-man kohonneen häiriintymättä kasvaneisiin puihin verrattuna.

Puunäytteiden sekä Cross & Bevanin selluloosan ligniinipitoisuus korjattuun selluloosapitoisuuteen pääsemiseksi määritettiin Halsen menetelmää käyttäen, jolloin uutetun puujauheen tai Cross & Bevanin selluloosan sisältämä selluloosa hydrolysoidaan 38 % suolahapon ja väkevän rikkihapon seoksella jälkimmäisen tilavuuden ollessa 10 % edellisen tilavuudesta. Hapnoseokseen liukenematta jäänyt osa suodatetaan, pestään, kuivataan, punnitaan ja poltetaan tuhkaksi, jolloin liukenematta jäänyttä orgaanista osaa pidetään ligniininä. Tämä määritettiin prosenteissa absoluuttisen kuivan, puujauheen osalta uuttamattoman aineen painosta. Menetelmä on selostettu lukuisissa käsikirjoissa ja muissa julkaisuissa (mm. HALSE 1926, MÜLLER & HERRMANN 1926, SIEBER 1951, ss. 389 ja 456—457, Oy Keskuslaboratorion menetelmä n:o 4051/1941, PELLINEN ja ROSCHIER 1952, s. 546), joten sen yksityiskohtiin ei liene syytä puuttua.

Taulukosta 35 ilmenee, että vetopuun ligniinipitoisuus on hieskoivusta saatujen tulosten mukaan huomattavasti pienempi kuin normaalipuun. Sama pitää myös paikkansa Cross & Bevanin selluloosan suhteen. Sen sijaan rauduskoivun osalta saatiin normaali- ja vetopuun ligniinipitoisuuksiksi likimain samat arvot ja normaalipuuta koskevat sopivat hyvin yhteen em. tutkijoiden tulosten kanssa. Normaali- ja vetopuun ligniinipitoisuuksien suhteeksi saatiin hieskoivusta jokseenkin samat arvot kuin WARDROP ja DADSWELL (1948) *Eucalyptuksesta*.

Verrattaessa saatuja analyysituloksia mikrokemiallisten tutkimusten tuloksiin todetaan niiden olevan keskenään pääpiirteissään yhtäpitävät. Mikrokemiallisissa tutkimuksissa tultiin siihen tulokseen, että sekä hiesettä rauduskoivun vetopuu sisältää todennäköisesti enemmän selluloosaa ja vähemmän ligniiniä kuin normaalipuu. Tämä toteamus sai vahvistuksen suoritetuista analyyseistä etenkin selluloosapitoisuuden osalta, mutta myöskin ligniinipitoisuuden osalta hieskoivusta. Sen sijaan rauduskoivun normaali- ja vetopuun ligniinipitoisuuksissa ei todettu oleellista eroa. Vaikka kyseessä onkin vain yksi koepuu, suoritettiin kukin määrittäminen useaan kertaan, joten rauduskoivusta saadun tuloksen lienee kat-

sottava viittaavan siihen, että normaali- ja vetopuun ligniinipitoisuudessa ei puukudoksen kokonaisuutena ottaen tarvitse olla aina sanottavaa eroa kumpaankaan suuntaan.

Koska kuitenkin mikrokemialliset tutkimukset viittaavat siihen, että vetopuusyiden paksu tertiäärinen seinämäkerros on todennäköisesti huomattavasti selluloosapitoisempi kuin muut sekä veto- että normaalipuusyiden seinämäkerrokset ja siis vain niukasti ligniiniä sisältävä, ei nyt analyttisesti tulokseksi saatua rauduskoivun normaali- ja vetopuun ligniinipitoisuuden yhtäläisyyttä voitane selittää muuten kuin siten, että vetopuusyissä sekundäärinen seinämä voi olla ainakin joissakin tapauksissa voimakkaammin puutunut kuin normaalipuusyissä (myös JAYME ym. 1951). Koska primäärinen seinämä on yleensä kovin ohut, ei sillä voine olla merkittävää vaikutusta ko. suhteessa.

Sen, että vetopuu sisältää enemmän selluloosaa kuin normaalipuu, mutta vähemmän pentosaaneja, joista ksylaani on tärkein, ja että vetopuusta valmistettu Cross & Bevanin selluloosa sisältää paljon vähemmän pentosaaneja kuin normaalipuusta valmistettu, voidaan katsoa viittaavan siihen, että kiteisen selluloosan suhde amorfiseen ainekseen on vetopuussa korkeampi kuin normaalipuussa. Tällaiseen tulokseen tulivat mm. WARDROP ja DADSWELL (1948) *Eucalyptus regnans*'ista. Hemiselluloosienhan otaksutaan olevan kuitujen seinämässä sijoittuneena selluloosamisellien väliin ja sitovan nämä mikrofibrilleiksi (mm. RÅNBY 1953).

#### *Paperikromatografiset tutkimukset*

SUNDMAN ym. (1949) eivät todenneet rauduskoivun sisältävän arabaania, mutta menetelmät kromatogrammin kehittämiseksi olivat silloin vielä jonkin verran kehittymättömät ja eri sokerilajien määrät arvioitiin kromatogrammista silmämääräisesti värillisten läiskien voimakkuuden ja koon perusteella. JENSEN (1949) ei todennut rauduskoivun sisältävän arabaania eikä galaktaania. GUSTAFSSON ym. (1951) totesivat hieskoivun hiilihydraateista olevan glukaania 55.0 %, galaktaania 1.0 %, mannaania 2.5 %, arabaania 2.5 % ja ksylaania 39.0 % sekä rauduskoivun hiilihydraateista vastaavasti glukaania 58.5 %, galaktaania 1.5 %, mannaania 0.5 %, arabaania 0.5 % ja ksylaania 39.0 %. WARDROP ja DADSWELL (1948) totesivat *Eucalyptus regnans*'in vetopuun ksylaani-pitoisuuden olevan huomattavasti pienemmän kuin normaalipuun.

Hieskoivusta määritettiin samoista puunäytteistä, joista edellisessä

luvussa selostetut analyysitkin suoritettiin, mutta rauduskoivusta kokonaan eri rungoista myös sekä normaali- että vetopuun hiilihydraattikoonpano. Määritykset suoritettiin paperikromatograafisesti Oy Keskuslaboratoriossa.

Tutkimuksia varten puujauhe uutettiin Soxhletin kojeessa ja hydrolysoitiin 72 % rikkihapolla (HÄGGLUND 1951, s. 146). Saatu monosakkariidiliuos neutralisoitiin suodattamalla ioninvaihtajakerroksen läpi ja suodoksen happamuus säädettiin pH 4–5:een etikkahapolla, jonka jälkeen se haihdutettiin tyhjiössä pienempään tilavuuteen. Liuottimena käytettiin jäätikka-butanoli-vesiliuosta ja kromatogrammin kehittämiseen aniiniiftalaattia (SUNDMAN ym. 1949, GUSTAFSSON ym. 1951, BALSTON ja TALBOT 1952 sekä CRAMER 1953).

Monosakkariidien määrittäminen kromatogrammista suoritettiin fotometristä menetelmää käyttäen, josta on seikkaperäisiä selostuksia kirjallisuudessa (mm. GUSTAFSSON ym. 1951, SAARNIO ym. 1952 ja CRAMER 1953, s. 75), joten menetelmän teknilliseen puoleen ei liene syytä tässä lähemmin puuttua. Sitä käytettäessä on periaatteena, että kromatogrammi valokuvataan filmille, josta eri sokerilajit määritetään fotometrisesti. Tarkistuksen vuoksi käytettiin myös menetelmää, jossa kromatograafisesti eristetyt sokerilajit uutettiin suodatinpaperista vedellä ja uutteen sokeripitoisuus määritettiin Somogyin reagenssia käyttäen (mm. CRAMER 1953, s. 75). Molemmilla tavoilla saatujen tulosten todettiin sopivan hyvin yhteen. Suhteellinen pentoosien häviö otettiin huomioon korottamalla niiden arvot 10 %:lla ennen polyooseiksi laskemista, ja tulokset ilmaistiin polysakkariideina prosenteissa koko hiilihydraattien määrästä. Tutkimustulokset, jotka on aikaisemmin jo julkaistu (GUSTAFSSON, OLLINMAA ja SAARNIO 1952), esitetään taulukossa 36.

Taulukosta ilmenee, että vetopuun glukaani- ja galaktaanipitoisuus on selvästi suurempi kuin normaalipuun sekä hies- että rauduskoivussa. Erittäin selvä on ero galaktaanipitoisuudessa. Glukaanipitoisuutta osoittavat luvut ovat luonnollisesti suurimmat sekä normaali- että vetopuussa, koska puun tärkein rakennusaine, selluloosa, hydrolysoituu glukosiksi.

Sen sijaan vetopuun mannaani-, arabaani- ja ksylaaniipitoisuus näyttää olevan selvästi pienempi kuin normaalipuun molemmissa koivulajeissa, joten saadut tulokset vahvistavat em. WARDROPIN ja DADSWELLIN (1948) toteamusta.

Edellisen perusteella voidaan sanoa, että vetopuun heksosaaniipitoisuus on suurempi kuin normaalipuun, mutta pentosaaniipitoisuus päinvas-

toin pienempi, jollaiseen tulokseen tultiin edellä analyytisesti myös suoraan puusta.

Koska saman puulajin eri yksilöiden, vieläpä saman puun eri osienkin kemiallinen kokoonpano saattaa vaihdella, vaikka rajoituttaisiinkin samanlaisella kasvupaikalla ja samanlaisissa ilmastollisissa oloissa kasvaviin puihin, eivät eri tutkijoiden saamien tulosten jonkin verran toisistaan poikkeavat arvot ole mitenkään epäilyttäviä, vaan päinvastoin luonnollisia (mm. TRENDELENBURG 1939). Sitä paitsi analyysimenetelmät ovat niin vaihtelevia, että myöskään tämä ei voi olla tuloksiin ainakin jossakin määrin vaikuttamatta.

Joka tapauksessa paperikromatograafinen analyysimenetelmä on todettu käyttökelpoiseksi eristettäessä olennaisia osia monimutkaisista yhdistyksistä tai tapauksissa, joissa jokin aine peittää toisen kovin vähäisessä määrässä esiintyvän aineen olemassa olon (mm. BALSTON ja TALBOT 1952). Tätä lausuntoa vahvistavat osaltaan tämänkin tutkimuksen tulokset.

#### *Vastustuskyky kemikalioiden vaikutusta vastaan*

##### **Liukenevaisuus veteen**

CHOW (1946) totesi pyökin vetopuun liukenevan sekä kylmään että kuumaan veteen enemmän kuin normaalipuun saaden vetopuun sahajauhon liukenevaisuudeksi kylmään veteen 3.95 % ja kuumaan 5.01 % sekä normaalipuun osalta vastaavasti 2.43 % ja 3.49 %.

HÄGGLUND (1951) mainitsee SCHORGERIN (1926) tutkimuksiin perustuen *Betula lutea* liukoisuudeksi kylmään veteen 2.67 % ja kuumaan 3.97 %. Sanotut arvot ovat sydänpuun osalta 4.16 % ja 5.69 %, mutta pintapuun osalta vain 1.05 % ja 1.98 %. Koska koekappaleet käsillä olevassa tutkimuksessa otettiin pintapuusta, ovat tulokset verrattavissa em. pintapuusta saatuihin arvoihin.

Normaali- ja vetopuun liukenevaisuutta kylmään veteen tutkittiin viidestä hieskoivusta käyttämällä mahdollisimman puhtaita runkopuun tyvi-osasta toisiaan vastaavilta kohdilta pintapuusta otettuja normaali- ja vetopuukoekappaleita, joiden koko oli  $1.5 \times 1.5 \times 1.0$  cm. Näiden oltua lämpökaapissa 4 vrk. noin  $105^{\circ}\text{C}$  lämmössä ne punnittiin ja pantiin astiaan, jossa vesi oli huoneenlämpöistä ja annettiin olla siinä 62 vrk., josta ajasta ne olivat upoksissa 54–61 vrk. Viimeisinä 20 vuorokautena koekappaleet eivät enää sanottavasti imeneet vettä, mikä todettiin punnituksilla, joten ne olivat vedellä kyllästetyt. Tämän jälkeen kappaleet kuivat-

tiin uunissa jälleen ja punnittiin uudelleen, jolloin alkuperäisen ja liotuksen jälkeisen kuivapainon erotus osoitti puusta veteen liunneen määrän, joka ilmaistiin prosenteissa edellisestä kuivapainosta. Tulokset esitetään taulukossa 37.

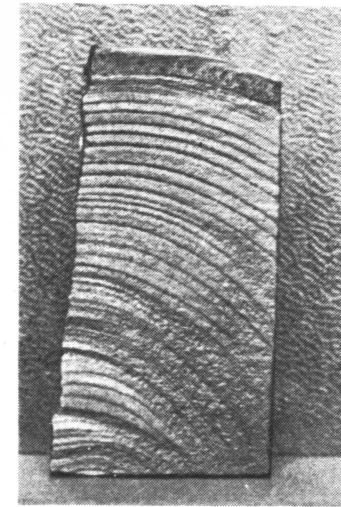
Taulukosta ilmenee, että vetopuun liukenevaisuus kylmään veteen on suurempi kuin normaalipuun, mikä piti paikkansa kaikkien koepuiden suhteen, joten saatu tulos soveltuu yhteen em. CHOW'n (1946) tutkimusten kanssa. Se, että nyt saadut liukoisuusprosentit ovat huomattavasti pienemmät kuin CHOW'n pyökistä toteamat, johtuu osaltaan siitä, että hän määritteli liukenevaisuuden sahajauhasta eikä ehyistä puukappaleista, kuten kirjoittaja. Sitä paitsi ei ole tietoa siitä, mistä osasta puuta hän suoritti tutkimuksensa.

BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1952) mainitsevat, että vesi ei kiehumispisteen alapuolella reagoi kemiallisesti puun kanssa, jonka se tekee korkeammassa lämpötilassa varsinkin lisättyä painetta käytettäessä. Tästä saa selityksensä puun liukoisuuden suuremmuus kuumaan veteen kylmään verrattuna. Kylmä vesi saa sen sijaan aikaan vain veteen liukenevien uuteainien häviämisen. Yksin tämän perusteella on kuitenkin vaikea selittää vetopuun normaalipuuhun verrattuna suurempaa liukoisuutta kylmään veteen, koska edellisen uutepitoisuuden todettiin olevan selvästi jälkimmäistä pienemmän, joskin uuteaineet näissä puulaaduissa voivat olla liukoisuudeltaan erilaisia.

#### Happojen syövyttävä vaikutus

DADSWELL ja WARDROP (1948) tutkivat australialaisten lehtipuiden normaali- ja vetopuun sekä näistä valmistetun holoselluloosan hydrolysoitumisen määrää 2:n 100° C lämpöisessä suolahapossa. Seuraamalla hydrolysoitumisen määrää hydrolyysiajan vaihdelta 15–120 min. he totesivat vetopuun ja siitä valmistetun holoselluloosan hydrolysoitumisen olevan huomattavasti vähäisemmän kuin normaalipuun ja tästä valmistetun holoselluloosan hydrolyysiajan ollessa sama. Tätä he pitivät osoituksena vetopuuselluloosan normaalipuuselluloosaan verrattuna korkeammasta kiteisyyden asteesta ja pienemmästä ksylaanipitoisuudesta, koska hemiselluloosat hydrolysoituvat happojen vaikutuksesta nopeammin kuin selluloosa.

Seurattiin 65 % rikki-, 70 % typpi- ja 38 % suolahapon vaikutusta hies- ja rauduskoivusta otettuihin sekä normaali- että vetopuuta sisältä-neisiin koekappaleisiin.



Kuva 28. Väkevän rikkihapon syövyttämä hieskoivun poikkileikkauspinta, jossa vetopuu on jäänyt koholle.

*Fig. 28. Cross-section surface of white birch, corroded by strong sulphuric acid. The tension wood stands out in the resemblance of a relief.*

Tutkittavat koekappaleet pantiin 65 % rikkihappoon kahden tunnin ajaksi, jonka jälkeen niiden poikkileikkauspintaa harjattiin kovalla harjalla perusteellisesti. Tällöin todettiin normaalipuun syöpyneen huomattavasti vetopuuvyöhykkeiden jäädessä melkein syöpymättöminä koholle korkokuvan tapaisesti (kuva 28). Vuosirenkaiden rajaviivat, jotka vastaavat ilmeisesti vuosirenkaiden uloimpia heikosti muodostunutta vetopuusolukkoa sisältäviä osia, syöpyivät kuitenkin vetopuussakin syviksi uurteiksi.

Sekä typpi- että suolahapon vaikutus todettiin paljon hitaammaksi ja heikommaksi kuin rikkihapon, joskin suolahappoa käytettiin huomattavasti laimeampana liuoksena. Vuorokauden typpihapossa oltuaan koekappaleet kuitenkin kellastuivat, pehmenivät ja syöpyivät huomattavasti, normaalipuun enemmän kuin vetopuun, mikä todettiin harjaamalla koekappaleiden poikkileikkauspintoja. Vetopuuvyöhykkeissä syöpyivät vuosirenkaiden rajat uurteiksi kuten rikkihapollakin, joskaan ei niin selvästi.

Sulahapon vaikutus oli normaali- ja vetopuuta toisiinsa verrattaessa heikoin ja epämääräisin. Koekappaleet värjäytyivät siinä tumman punertavanruskeiksi kuten rikkihapossakin. Normaalipuun vetopuuhun ver-

rattuna suurempi pehmeneminen ilmeni vasta pari vuorokautta kestäneen liotuksen jälkeen. Liotettujen sekä normaali- että vetopuukappaleiden todettiin halkeilevan erittäin runsaasti kuivuessaan.

Edellisestä ilmenee, että vetopuu on ilmeisesti kestävämpää tutkimuksessa käytettyjen kylmien happojen syövyttävää vaikutusta vastaan kuin normaalipuu, joten saatu tulos sopii yhteen mm. DADSWELLIN ja WARDROPIN (1948) kuumen suolahapon vaikutuksista normaali- ja vetopuuhun tekemien havaintojen kanssa.

### Puun fysikaaliset ominaisuudet

#### *Tilavuuspaino*

STAUFFER (1892) ilmoittaa lajiltaan määrittelemättömän koivun tilavuuspainon pienenevän rinnankorkeudelta latvaan mentäessä (myös JALAVA 1946). Että rauduskoivun tilavuuspaino on suurempi kuin hieskoivun, ovat todenneet mm. JANKA (1915) ja KUJALA (1946). LIEPINŠ (1933) ilmoittaa sekä hies- että rauduskoivun tilavuuspainoksi 0.61. WALLDÉN (1934) sekä SAVINA ja PERELYGIN (1936) sanovat koivun tilavuuspainon maksimin olevan 3 m:n korkeudella, josta se pienenee latvaan mentäessä. TRENDELENBURG (1939) kiinnittää huomiota rauduskoivun tilavuuspainon omituiseen vaihteluun eri maissa saatuja tuloksia toisiinsa verrattaessa. Koivun tilavuuspainon kasvun ytimeistä pintaan päin ovat todenneet mm. STAUFFER (1892), SAVINA ja PERELYGIN (1936) sekä JALAVA (1946) lajiltaan määrittelemättömästä koivusta, WALLDÉN (1934) hieskoivusta ja KUJALA (1946) sekä hies- että rauduskoivusta. Sen sijaan KOLLMANN (1951) sanoo lehtipuiden tilavuuspainon maksimin olevan rungon sisäosissa ja pienenevän pintaan päin tamesta ja pyökistä saatujen tulosten perusteella (myös TRENDELENBURG 1939).

Sen, että metsätyypillä on vaikutuksensa puun tilavuuspainoon, ovat meikäläisistä tutkijoista todenneet mm. LASSILA (1929) ja JALAVA (1933) männystä, jotka molemmat tulivat siihen tulokseen, että sen puu on maamme eteläpuoliskossa keveintä OMT:llä. Uunikuivan puun totesi JALAVA olevan Etelä-Suomessa raskainta VT:llä ja LASSILA pintapuun osalta CT:llä sekä sydänpuun osalta ehkä VT:llä.

ENEROTH (1922) sanoo todetun, että havumetsissä toisen ja kolmannen latvuserroksen puiden tilavuuspaino on jonkin verran suurempi kuin

ensimmäisen ja neljännen. Myöskin LASSILAN (1926) ja JALAVAN (1946) havupuita koskevat tutkimukset viittaavat siihen, että metsikön vallitsevat puut ovat keveimpiä.

Amerikkalaisesta paperikoivusta on tultu sellaiseen tulokseen, että sen tilavuuspaino kohoaa hieman vuosilustojen vahvuuden kasvaessa 1:stä 2 mm:iin, mutta sen jälkeen alenee (KOLLMANN 1951). TRENDELENBURG (1939) sanoo myös pyökin vahvojen vuosilustojen tilavuuspainon olevan suuremman kuin ohuiden. Sen sijaan lukuisat tutkijat ovat todenneet vuosilustojen vahvuuden vaikutuksen puun tilavuuspainoon olevan hajapatkiloisilla lehtipuilla yleensä säännöttömän ja sangen vähäisen (mm. TRENDELENBURG 1939, JALAVA 1946, KOLLMANN 1951 sekä BROWN, PANSHIN ja FORSAITH 1952).

SCHNEIDER (1896) totesi saarnen oksien yläpuolen vetopuun olevan raskaampaa kuin alapuolen puun ja tilavuuspainon pienenevän tyvestä kärkeen päin sekä olevan noin 6 m:n etäisyyteen saakka rungosta suuremman kuin runkopuun tilavuuspainon. Vastaavanlaiseen tulokseen vetopuun normaalia suuremmasta tilavuuspainosta runkopuussa ovat tulleet mm. CHOW (1946), joka sai pyökin normaalipuun tilavuuspainoksi tuoreen puun tilavuudesta laskettuna 0.60 ja vetopuun 0.67, DADSWELL ja WARDROP (1949), jotka ilmoittavat eräiden australialaisten lehtipuiden normaali- ja vetopuun tilavuuspainojen suhteeksi 3:4, JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG (1951, 1953, 1954), joiden mukaan mm. *Populus tremulan* normaalipuun tilavuuspaino on 0.30—0.37 ja melkein puhtaan vetopuun 0.53, *Salix alban* puhtaan normaalipuun 0.37—0.385 ja 50 % vetopuuta sisältävän puun 0.37—0.42 ja *Salix canadensiksen* puhtaan normaalipuun 0.40 ja melkein puhtaan vetopuun 0.45 sekä RÜNGER ja KLAUDITZ (1953), joiden mukaan *Populus regenerata grandiksen* normaalipuun tilavuuspaino on 0.39 ja vetopuun 0.44 sekä oksapuusta määritettynä vastaavasti 0.39 ja 0.49. Pyökin vetopuun normaalia suuremman tilavuuspainon totesi myös v. PECHMANN (1953).

Hies- ja rauduskoivun runkopuun normaali- ja vetopuun tilavuuspainon määritykset suoritettiin veteen upottamalla noin  $2 \times 2 \times 1.5$  cm suuruisilla puun pinnasta otetuilla koekappaleilla.

Koekappale kuivattiin uunikuivaksi pitämällä sitä lämpökaapissa  $105^{\circ}$ — $110^{\circ}$  C lämmössä 4—5 vrk. Kun kappaleen paino alkoi pysyä vakiona, se punnittiin 10 mg:n tarkkuudella. Tämän jälkeen koekappale kasteltiin lämpimänä kuumaan, juoksevaan parafiiniin ja mahdollinen liika parafiini pyyhittiin kevyesti pois, jonka jälkeen se punnittiin uudelleen, jolloin saatiin tietää kuluneen parafiinin paino. Tällaisia parafiinin painon

määrittämiä suoritettiin jo ennakkolta lukuisasti, jolloin saatiin tarkka käsitys siitä, missä rajoissa parafiinin kulutus koekappaletta kohden vaihteli. Tämän jälkeen punnittiin vastaavan painoisia parafiinikappaleita runsaasti kutakin painoluokkaa ja määritettiin koekappaleen vedessä punnitsemisen mahdolliseksi tekemiseksi välttämättömän lyijypainon ja eri painoisten parafiinikappaleiden yhteinen paino 20° C lämpöisessä vedessä. Saadut arvot taulutettiin käytetyn parafiinimäärän ilmassa punnitun painon mukaan 0.10 g:n luokitusta käyttäen. Viimeksi mainittuhan määritettiin jokaisesta koekappaleesta. Kun lyijypainolla kuormitetun ja parafinoidun koekappaleen painosta vedessä vähennettiin lyijypainon ja parafiinin paino vedessä, saatiin koekappaleen paino vedessä. Vähentämällä tämä koekappaleen painosta ilmassa saatiin koekappaleen painohäviö vedessä ja samalla sen tilavuus. Jakamalla uunikuivan koekappaleen paino ilmassa sen tilavuudella saatiin koekappaleen tilavuuspaino g/cm<sup>3</sup> uunikuivana. Veden tiheydessä 4° C ja 20° C lämpötiloissa on niin pieni ero, ettei se vaikuta tulokseen tyydyttäessä siihen tarkkuuteen punnitsemisessä ja tilavuuspainon määrittämisessä, jota käytettiin.

Tällaiseen menetelmään oli pakko ryhtyä, koska parafiinin kulutuksen koekappaletta kohden huomattiin suuresti vaihtelevan mm. sen koosta ja pinnan sileydestä riippuen, nimittäin 0.20—1.20 g. Jos parafiinin keskimääräiseksi kulutukseksi koekappaletta kohden otetaan 0.50 g ja sen ominaispainoksi 0.90, on sen keskimääräinen tilavuus 0.56 cm<sup>3</sup>, joten se laajentaa huomattavasti koekappaletta. Näin ollen parafinoidun koekappaleen tilavuutta ei voitu pitää samana kuin parafinoimattoman tilavuuspainoa määritettäessä, kuten tavallisesti menetellään.

Tilavuuspainotutkimusten tulokset esitetään taulukossa 38. Koska tilavuuspainossa rungon tutkimuksen alaisena olleessa lyhyessä tyviosassa, jonka pituus oli yleensä vain 2 m, poikkeustapauksissa 3 m, ei eri korkeuksilla voitu havaita mitään selvää säännönmukaista vaihtelua, ilmoitetaan tilavuuspainot kokonaiskeskiarvoina tutkitulle rungon osalle.

Koepuuaineiston ollessa näinkin rajoitettu ei eri latvuskerroksien puita ollut syytä pitää erossa toisistaan, joskin puun asemalla metsikössä voi olla vaikutuksensa sen tilavuuspainoon (mm. LASSILA 1926 ja JALAVA 1946). Käsillä olevassa tutkimuksessa otettiin melkein kaikki koepuut toisesta ja kolmannesta latvuskerroksesta, kuten taulukosta 2 ilmenee, joiden tilavuuspainojen välillä ei todettu mitään määrätyn suuntaista eroa. Tämä näkyy myös taulukosta 42.

Helsingistä otetut koepuut kasvoivat OMaT-, OMT- ja MT-mailla kolmea korvessa kasvanutta hieskoivua lukuun ottamatta. Koska eri kasvu-

paikoilla kasvaneiden koepuiden tilavuuspainossa ei voitu todeta selviä eroja, ne on esitetty yhdessä.

Taulukosta 38, jossa on esitetty myös tutkimusaineiston laajuus, ilmenee, että sekä hies- että rauduskoivun vetopuu on keskimäärin jonkin verran raskaampaa kuin normaalipuu kaikilla kasvupaikoilla, joten saatu tulos sopii yhteen lukuisien em. tutkimusten kanssa. Tällainen tulos olikin odotettavissa vetopuun normaalipuuta tiiviimmän rakenteen perusteella.

Vetopuun puhtaana normaalipuuhun verrattuna huomattavasti suuremman tilavuuspainon ei voida ajatella johtuvan suoranaisesti vuosilustojen suuremmasta vahvuudesta vetopuun puolella, koska näiden vahvuuden vaikutuksen puun tilavuuspainoon on hajaputkiloisilla lehtipuilla todettu olevan yleensä säännöttömän ja sangen vähäisen (mm. TRENDELLENBURG 1939, JALAVA 1946, KOLLMANN 1951 sekä BROWN, PANSIN ja FORSAITH 1952). Edellähän todettiin sitä paitsi, että vetopuun putkiloprosentti on pienempi kuin normaalipuun, vaikka verrataan toisiinsa samanvahvuisiakin vuosirenkaita.

Ilmeisesti vuosirenkaan loppupuoliskon puu on raskaampaa kuin alkupuoliskon ainakin normaalipuussa, johon putkiloiden lukumäärän ja putkiloprosentin vaihtelu vuosirenkaan eri osissa viittaa. Havupuiden kesäpuuhan on tunnetusti kevätpuuta raskaampaa. Vetopuun osalta ei tällaista päätelmää voida ilman muuta tehdä, koska putkiloprosentin alenemiseen liittyy siinä puusyiden seinämien oheneminen vuosirenkaan lopulla.

Koska taulukosta 38, jossa esiintyviin keskiarvoihin sisältyvät kaikki koepuut, joista tilavuuspainoja määritettiin, olipa niissä vetopuun muodostuminen voimakas tai heikko, ei normaali- ja vetopuun välinen eroavaisuus tule riittävän selvästi ilmi, esitetään taulukossa 39 vielä tilavuuspainotutkimusten tulokset muutamista sellaisista puista, joissa vetopuun muodostuminen oli erittäin voimakas.

Taulukosta ilmenee, että vetopuun muodostumisen ollessa erittäin voimakas voi sen tilavuuspaino olla jopa 35 % suurempi kuin normaalipuun ja yksityisissä rinnakkaiskoekappaleissa voi erotus nousta noin 45 %:iin saakka, jollaisia eroja havaittiin mm. rauduskoivusta n:o 80 saataessa normaalipuulle tilavuuspainoksi 0.60 ja vetopuulle 0.87.

Sen osoittamiseksi, miten koivun tilavuuspaino muuttuu sen vetopuun määrän kasvaessa, määritettiin koekappaleista, joissa vetopuu oli selvästi erotettavissa ja rajoitettavissa, sen prosenttinen osuus poikkileikkauksesta 5 %:n tarkkuudella silmämääräisesti ja tarvittaessa polettia apuna käyttäen. Tulokset esitetään taulukossa 40.



Taulukosta ilmenee, että vetopuuprosentin kasvaessa puun tilavuuspaino nousee verrattain säännöllisesti harvojen poikkeusten johtuessa ilmeisesti aineiston pienuudesta. Koko aineistolle lasketuista keskiarvoista näkyy, että silmävaraisesti arvosteltuna täydellisen vetopuun tilavuuspainoksi on saatu keskimäärin 28 % suurempi arvo kuin puhtaan normaali-puun. Täysin vetopuuttoman hieskoivun tilavuuspaino vaihteli rajoissa 0.52—0.74 ja rauduskoivun 0.54—0.79. Täydellisen vetopuun tilavuuspaino vaihteli sen sijaan hieskoivun osalta 0.69—0.91 ja rauduskoivun osalta 0.71—0.87. Tilavuuspainon vaihtelu on siis täydellisellä vetopuulla ollut jonkin verran pienempi kuin puhtaalla normaalipuulla.

Edellisen lisäksi laskettiin korrelaatiokertoimet keskivirheineen vetopuuprosentin ja tilavuuspainon välillä erikseen hies- ja rauduskoivulle ja edellisestä Kuhmon aineiston osalta erikseen eri metsä- ja suotyypeille. Vielä laskettiin korrelaatiokertoimet muutamille yksityisille koepuille, joiden koekappaleista vetopuuprosentti oli helppo määrittää. Tilavuuspainossa käytettiin luokkavälinä 0.01 g/cm<sup>3</sup> ja vetopuupitoisuudessa 5 %.

Taulukosta 41 ilmenee, että vetopuuprosentin ja tilavuuspainon välillä vallitsee sangan huomattava positiivinen korrelaatio sen ollessa joidenkin yksityisten koepuiden osalta melkein suoraviivainen. Puulajeittain ja kasvupaikoittain lasketut korrelaatiokertoimet ovat pienempiä kuin yksityisten koepuiden osalta saadut, mikä luonnollisesti johtuu suuren aineiston suhteellisesta epähomogeenisuudesta.

Tilavuuspainon riippuvuus vetopuuprosentista esitetään vielä graafisesti kuvissa 36 ja 37 pisteistönä, joissa kunkin vetopuuprosenttiluokan kohdalle on merkitty vastaava tilavuuspainojen keskiarvo, molemmille koivulajeille erikseen ja pitämällä Kuhmon ja Helsingin aineistot erossa toisistaan. Kaikki pisteistöt osoittavat verrattain suoraviivaista positiivista korrelaatiota vetopuuprosentin ja tilavuuspainon välillä, jonka vuoksi ne tasoitettiin suoraviivaisesti ryhmäkeskiarvoja hyväksi käyttäen ja pyrkien vetämään tasoitussuora siten, että siitä laskettujen keskiarvopisteiden poikkeamien summa tuli molemmin puolin samaksi ottamalla samalla huomioon kunkin pisteen painavuus, so. miten suurta havaintomäärää ne edustivat.

Vertailemalla toisiinsa hies- ja rauduskoivun tilavuuspainoja samanlaisilla kasvupaikoilla taulukoista 38 ja 40 näyttää siltä, että rauduskoivun puu on keskimäärin jonkin verran raskaampaa kuin hieskoivun (myös JANKA 1915 ja KUJALA 1946). Tämän vielä selvemmin esille tuomiseksi esitetään taulukossa 42 vertailu sellaisten hies- ja rauduskoivukoepuiden normaalipuun välillä, jotka kasvoivat mahdollisimman samanlaisissa olo-

suhteissa, samalla metsä- ja suotyypillä ja saman latvuserroksen suunnitteen samanikäisinä puina rajoittamalla puun 1 m:n pituiseen tyviosaan.

Tehdyissä pistokokeissa voitiin todeta, että molempien koivulajien tilavuuspaino kasvaa ytimeä pintaan päin (myös WALLDÉN 1934, JALAVA 1946, KUJALA 1946 ym.), mikä ilmeisesti on yhteydessä samassa suunnassa yleensä todettuun putkiloprosentin alenemiseen (mm. STAUFFER 1892, WALLDÉN 1934, SAVINA ja PERELYGIN 1936 ja KUJALA 1946). Näin ollen voi vetopuun normaalipuuhun verrattuna tulokseksi saatuun suurempaan tilavuuspainoon vaikuttaa jonkin verran myös se, että koska vetopuussa vuosilustot ovat vahvempia kuin normaalipuussa ja otettujen koekappaleiden poikkileikkaus pidettiin yleensä muuttumattomana, sisältyi vetopuukoekappaleisiin pinnasta lukien vähemmän vuosilustoja kuin normaalipuusta otettuihin.

Verrattaessa toisiinsa hieskoivun tilavuuspainoa eri metsä- ja suotyypeillä Kuhmon aineistosta pistää silmään sen pienuus korpikoepeissa ja suuruus rämekeopeissa. Eräät tutkijathan ovat todenneet rämeellä kasvavien puiden tilavuuspainon olevan pienemmän kuin kangasmetsätyypeillä, mm. JALAVA (1933) männystä maamme eteläpuoliskossa. MT-maalla näyttää hieskoivun tilavuuspaino olevan keskimäärin suurempi kuin VT-maalla. Helsingistä otetun sekä hies- että rauduskoivuaineiston, joka kasvoi enimmäkseen OMaT- ja OMT-maalla, tilavuuspaino vaikuttaa täysin vetopuuttoman tai vain vähän vetopuuta sisältävän puun osalta verrattain alhaiselta (vrt. LASSILA 1929 ja JALAVA 1933), mihin myös puusyiden seinämän paksuudet taulukossa 14 viittaavat.

Oksapuusta ei suoritettu tilavuuspainotutkimuksia, mutta ilmeisesti koivun oksissakin yläpuolen vetopuu on raskaampaa kuin alapuolen puu, mihin niiden putkiloprosenttia koskevat tutkimuksetkin (taulukko 29) viittaavat. Mahdollisesti oksapuun tilavuuspaino on suurempi kuin runkopuun, mihin otaksumaan näiden tässäkin tutkimuksessa tulokseksi saadut putkiloprosentit antavat aihetta (myös BROWN, PANSIN ja FORSAITH 1949), joskaan mitään varmoja päätelmiä ei tässä suhteessa voida tehdä suoranaisten tutkimusten koivusta puuttuessa. Edellisen kaltaisiin tuloksiin oksien ylä- ja alapuolen puun sekä oksa- ja runkopuun tilavuuspainojen suhteesta tuli kyllä mm. SCHNEIDER (1896) saarnesta, kuten edellä jo mainittiin.

Suoritettut tutkimukset osoittavat, että sekä hies- että rauduskoivun vetopuun tilavuuspaino on uunikuivana selvästi suurempi kuin normaalipuun, puun vetopuupitoisuuden ja tilavuuspainon välillä vallitsee huomattava positiivinen korrelaatio, joka pyrkii ilmeisesti olemaan suoraviiv-

vainen, rauduskoivun tilavuuspaino on ilmeisesti jonkin verran suurempi kuin hieskoivun ja kasvaa mahdollisesti molemmissa ytimeistä pintaan päin. Se, onko oksapuun tilavuuspaino suurempi kuin runkopuun, vaatii lisätutkimuksia, samoin se, mikä vaikutus on metsätyypillä koivun tilavuuspainoon.

### Lämpöarvo

Puun tärkeimmistä aineksista ilmoittaa KOLLMANN (1951) ligniinin teholliseksi eli alemmaksi lämpöarvoksi keskimäärin 6 100, hartsien 8 500—9 100 ja selluloosan vain 4 150—4 350 kcal/kg. Tästä ilmenee, että puun lämpöarvo kohoo sen ligniini- ja hartsipitoisuuden kasvaessa, jonka seurauksena se on havupuilla yleensä suurempi kuin lehtipuilla painoyksikköä kohden laskettuna. Sen sijaan sellaisten puulajien, joiden selluloosapitoisuus on erikoisen suuri, kuten poppelin ja pajujen, lämpöarvon on todettu olevan verrattain alhaisen.

Kun otetaan huomioon, että koivun, kuten yleensä muidenkin lehtipuiden, vetopuun selluloosapitoisuus on huomattavasti suurempi, mutta ligniini- ja uutepitoisuus sen sijaan yleensä selvästi pienemmät kuin normaalipuun, voitaneen tämän katsoa viittaavan siihen, että absoluuttisen kuivan vetopuun lämpöarvo olisi ainakin jonkin verran pienempi kuin normaalipuun painoyksikköä kohden laskettuna. Sanottu ero ei kuitenkaan ole ilmeisesti suuri, koska vetopuun pentosaanipitoisuus, jonka lämpöarvo lienee jokseenkin sama kuin selluloosan, on huomattavasti pienempi kuin normaalipuun.

Vertailun vuoksi laski kirjoittaja taulukossa 35 esitettyjen hieskoivujen keskimääräisen kemiallisen kokoonpanon perusteella sanotun puulajin tehollisen lämpöarvon erikseen normaali- ja vetopuusta käyttämällä edellä mainittuja puun eri aineksien lämpöarvoja, nimittäin selluloosalle ja pentosaaneille 4 250, ligniinille 6 100 ja uuteaineille 8 800 kcal/kg. Tällöin saatiin normaalipuun lämpöarvoksi 4 679 ja vetopuun 4 290 kcal/kg. Kalorimetrinen mittaus ei näin saaduilla tuloksilla voida kuitenkaan katsoa olevan täyttä todistusvoimaa, koska puun eri aineksien lämpöarvo voi olla mahdollisesti jossain määrin erilainen normaali- kuin vetopuun ollessa kyseessä.

Tilavuusyksikköä kohden laskettuna on absoluuttisen kuivan koivun vetopuun tehollinen lämpöarvo ilmeisesti jonkin verran suurempi kuin normaalipuun edellisen jälkimmäiseen verrattuna huomattavasti suurem-

man tilavuuspainon vuoksi, jonka vaikutusta ei vetopuun painoyksikköä kohden lasketun lämpöarvon mahdollinen vähäinen pienemmyys kykene eliminoimaan.

### Hygroσκοoppiset ominaisuudet

#### Kutistuminen ja paisuminen

Koska selluloosa on rakenteeltaan anisotrooppinen aine misellien muodostamien nauhojen ollessa järjestäytyneinä määrättyyn suuntaan, se myös kutistuu ja paisuu anisotrooppisesti. Paisuttavan aineen tunkeutuessa misellinauhojen väliin tai poistuessa sieltä on tilavuuden muutos suurin misellien orientoitumissuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa ja pienin niiden orientoitumissuunnassa. Paisuttava aine työntää misellinauhoja etäämmäs toisistaan, jolloin kuitu tulee paksummaksi ns. intermisellaarisen paisumisen seurauksena. Tämän poistuessa misellien välistä kuitu palautuu ennalleen, joten paisumisilmio on tässä tapauksessa palautuvaa laatua ja määrältään rajoitettu (mm. HESS 1928, STAUDINGER 1941, SIHTOLA 1944 ja FREY-WYSSLING 1953).

Koska puun pääasiallisena rakennusaineena on selluloosa ja sen rakenne vastaavasti anisotrooppinen selluloosamolekyylien ja näiden muodostamien misellien sekä näistä edelleen koostuvien fibrillien ollessa orientoituneina enemmän tai vähemmän kuidun pituusakselin suuntaisesti, on puun haitallisimpia ominaisuuksia sitä eri tarkoituksiin käytettäessä paitsi sen paisuminen kostuessaan ja kutistuminen kuivuessaan, erikoisesti se, että nämä tapahtuvat eri suunnissa eri tavalla puun pituuden suuntaisen kutistumisen ja paisumisen ollessa kovin vähäinen verrattuna vastaaviin muutoksiin tangentin ja säteen suunnassa.

FREY-WYSSLING (1943) sanoo pektiinipitoisten keskilevyn ja primäärin seinämän vaikuttavan ratkaisevasti puun anisotrooppiseen kutistumiseen, koska juuri pektiiniaineet ovat elävissä kasveissa erittäin vahvasti paisuneet ja koska rungon poikittaissuunnassa on kovin ylivoimaisesti enemmän puukuitujen seinämiä kuin pituussuunnassa samanpituisella matkalla.

Tuoreessa puussa oleva vesi esiintyy hygroskooppisena vetenä ja kapillaarisena vetenä, joista edellinen on sitoutunut soluseinämissä oleviin onteloihin ja misellien välisiin rakoihin ja jälkimmäinen soluonteloihin ja soluväleihin. Kun absoluuttisen kuiva puu imee vettä ensi sijassa johtosolukollaan, kulkeutuu vesi siitä ensin soluseinämiin, kunnes ne ovat täynnä, ja vasta tämän jälkeen vettä alkaa varastoitua pysyvästi solu-

onteloihin. Tästä ilmenee, että hygroskooppisen veden maksimaalinen määrä soluseinämässä vaihtelee ilmeisesti samansuuntaisesti puun kiinteän aineosuuden kanssa ja on siis määrätyn puulajin ollessa kyseessä korrelaatiosuhteessa puun tilavuuspainoon (mm. HARTIG 1896 ja TRENDELENBURG 1939).

Sitä kosteustilaa, jolloin soluseinämät ovat vedellä kyllästetyt, mutta soluonteloissa ei ole vielä lainkaan vettä, sanotaan puusyiden kyllästymiskosteudeksi, jolloin puun kosteuspitoisuuden on havaittu eri puulajeilla vaihtelevan noin 22–35 %:n välillä, koivulla noin 32–35 %, jopa ylikin, absoluuttisen kuivasta painosta laskettuna (mm. TRENDELENBURG 1939 ja JALAVA 1952). Puusyiden kyllästymiskosteutta vastaavan kosteuspitoisuuden on havaittu määrättyillä puulajeilla olevan verrattain vakion, mikä onkin luonnollista, kun otetaan huomioon, että puuaineksen ominaispaino, siis soluseinämien ominaispaino on kullakin puulajilla, jopa eri puulajeillakin melkein vakio, että misellien väliset raot ovat tutkimusten mukaan niin ahtaat, että niihin voi kerrostua vettä vain yhden molekyylin vahvuinen kerros ja että misellien koko ainakin saman puulajin ollessa kyseessä lienee jokseenkin vakio (myös JALAVA 1952). Koska kuitenkin on mahdollista, että misellien läpimitalla normaali- ja vetopuussa on huomattava ero, jollaiseen tulokseen WARDROP (1954) tuli *Eucalyptus regnans*'ista todeten normaalipuun misellien läpimitan olevan vain noin puolet vetopuun vastaavasta arvosta, voisi normaali- ja vetopuun puusyiden kyllästymiskosteudessa olla tämän perusteella huomattavan suuri ero sen ollessa vetopuussa alhaisempi kuin normaalipuussa. Vetopuun normaalipuuhun verrattuna tiivis rakenne ja suurempi tilavuuspaino vaikuttavat luonnollisesti päinvastaiseen suuntaan ja voivat kumota, jopa ilmeisesti voittaakin misellien koon vaikutuksen.

Kun veden kyllästävä puu alkaa kuivua, poistuu vesi ensin soluonteloista ja vasta näiden tyhjennyttyä itse puuaineesta, soluseinämistä. Kapillaarinen eli vapaa vesi siis poistuu ensin ja vasta sen jälkeen sidottu vesi.

On todettu, että puun kosteuden ollessa puusyiden kyllästymiskosteuden yläpuolella, jolloin soluseinämiin sitoutuneen veden lisäksi on vapaata vettä soluonteloissa ja solukokudoksessa olevissa soluväleissä, veden poistuminen soluonteloista tai niihin imeytyminen ei vaikuta puukuitujen tilavuuteen eikä siis saa aikaan puun kutistumista tai paisumista. Vasta sitten, kun puun kosteuspitoisuus on painunut niin alas, että vapaata vettä ei enää ole, vaan ainoastaan soluseinämiin sidottua vettä, kun on siis saavutettu puusyiden kyllästymiskosteutta vastaava kosteus-

pitoisuus, alkaa veden poistuminen soluseinämistä misellirivien painuessa lähemmäs toisiaan johtaa soluseinämien ja puun kutistumiseen; imeytyminen soluseinämiin johtaa vastaavasti paisumiseen. Tästä ilmenee myös, että puun poikittainen kutistuminen ja paisuminen on korrelaatiosuhteessa sen tilavuuspainoon (mm. HARTIG 1896, KOEHLER 1931 ja VINTILA 1939).

Siitä, mistä johtuu yleensä puun tangentin suuntaisen kutistumisen suuremmuus säteen suuntaiseen kutistumiseen verrattuna, ei olla täysin selvillä. Yleinen on se otaksuma, että tämän aiheuttavat ydinsäteet, jotka vaikuttavat ehkäisevästi säteen suuntaiseen kutistumiseen niiden solujen pituusakselin ollessa tässä suunnassa (mm. CLARKE 1930 b, BISSET 1951 sekä LINDSAY ja CHALK 1954).

MÖRATH (1932) sanoo säteen suuntaisen kutistumisen pienemmyyteen tangentin suuntaiseen verrattuna vaikuttavan paitsi ydinsäteiden myös kevät- ja kesäpuun vuorottelun ja keskinäisen runsaussuhteen puun poikileikkauksessa, koska kevätpuu osallistuu kutistumiseen vain passiivisesti. Samansuuntaisiin tuloksiin tuli PENTONEY (1954) douglaskuusen kokonaisista vuosirenkaista, mutta eristetyistä kevät- ja kesäpuuvyöhykkeistä hän tuli edellisten kanssa ristiriitaisiin tuloksiin. Koska on todettu, että ydinsädesolujen seinämien fibrillit eivät juokse solujen pituusakselin suuntaisesti, vaan melkein poikittain sitä vastaan (mm. RITTER ja MITCHELL 1939), voitaisiin tämän perusteella odottaa, että ydinsädesolut kutistuvat eniten pituusakselinsa suunnassa eivätkä siten voisi ehkäistä puun säteen suuntaista kutistumista (mm. DIETZ 1949).

On esitetty myös sellainen väite, että puusyiden seinämien fibrillikierre on tangentin suuntaisissa seinämissä jyrkempi, siis enemmän kuidun pituusakselin suuntainen kuin säteen suuntaisissa, josta on seurauksena tangentin suuntaisen kutistumisen suuremmuus säteen suuntaiseen verrattuna (mm. BAILEY ja VESTAL 1937 sekä PRESTON 1942).

FREY-WYSSLING (1940 a–b ja 1943) otaksuu tangentin suuntaisen kutistumisen suuremmuuden säteen suuntaiseen verrattuna johtuvan ydinsäteiden vaikutuksen ohella ainakin havupuilla osaksi siitä, että nopeakasvuisen puun kevätpuutrakeidit ovat säteen suunnassa leveämpiä kuin tangentin suunnassa, joten trakeidien lukumäärä edellisessä suunnassa on pienempi kuin jälkimmäisessä saman pituisella matkalla. Lisäselitykseksi hän esittää sen havainnon, että havupuiden kesäpuussa trakeidien keskilevy ja primäärinen seinämä ovat säteen suuntaisissa seinämissä jonkin verran, jopa kaksikin kertaa paksummat kuin tangentin suuntaisissa. Tämän hän sanoo usein pitävän paikkansa sekundäärisen seinämänkin

suhteen. MATSUMOTON (1950) havainnot sotivat kuitenkin FREY-WYSSLINGIN käsitystä vastaan keskilevyn merkityksestä puun poikittaisessa kutistumisessa, ja hän sanoo kutistumisen ja paisumisen tapahtuvan ensi sijassa sekundäärisessä seinämässä, mikä tuntuukin luonnolliselta jo eri seinämäkerrosten paksuuden perusteella.

#### *Pituuden suuntainen kutistuminen*

GERBER (1927) ilmoittaa NÖRDLINGERIN ym. tutkimustuloksiin nojautuen rauduskoivun pituuden suuntaiseksi kutistumiseksi 0.50 %. Yleensä koivun vastaavaksi kutistumiseksi ilmoittaa KLEM (1947) 0.50 % ja KOLLMANN (1951) 0.6 %. Eri puulajien pituuden suuntaiseksi kutistumiseksi mainitsee TRENDELENBURG (1939) 0.1—0.5 % ja VORREITER (1949) 0.05—0.7 %.

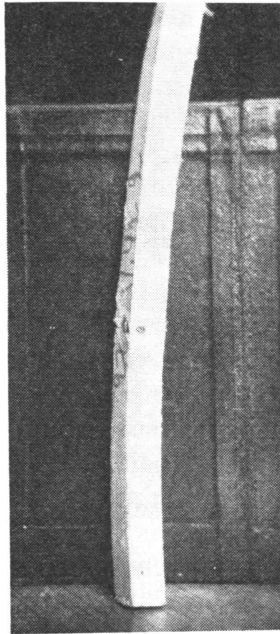
Että vetopuun pituuden suuntainen kutistuminen on suurempi kuin normaalipuun, ovat todenneet mm. ENGLER (1918) pyökistä ja lehmuksesta, CLARKE (1937) ja CHOW (1946) pyökistä, BAUDENDISTEL ja AKINS (1946) poppelista, jotka huomasivat kutistumisen olevan ytimen läheisyydessä poikkeuksellisen suuren, vaikka siinä ei ollut vetopuukuituja lainkaan tai vain kovin vähän, WARDROP ja DADSWELL (1948) *Eucalyptus regnans*'ista, ONAKA (1949) lukuisista japanilaisista lehtipuista, PILLOW (1950) mahongista sekä BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1952) sokerivaahterasta. CHOW sai pyökin normaalipuun kutistumiseksi ilmakeivasta uunikeivaksi 0.11 % ja paisumiseksi uunikeivasta tuoreeksi 0.36 % ja vetopuun vastaaviksi arvoiksi 0.28 % ja 0.76 %, jotka perustuivat tosin vain kolmeen rinnakkaismittaukseen. PILLOW sai mahongin normaalipuun kutistumiseksi tuoreesta uunikeivaksi 0.15 % ja vetopuun 0.46 %. BROWN, PANSIN ja FORSAITH ilmoittavat sokerivaahteran selvän vetopuun kutistumiseksi vastaavasti 0.73 %, puun, jossa ei ollut liivatemaisia kuituja, 0.20 % ja lylypuun 0.21 %. Sen sijaan DIETZ (1949, s. 37) sanoo vetopuun silloin tällöin vieläpä pitenevän kuivattaessa, joskin tämä pituuden suuntainen paisuminen on äärimmäisen vähäistä. Hänen lausunnostaan ei tosin saa selvää, tarkoittaako hän todella lehtipuiden vetopuuta, vaiko havupuiden lylypuun päinvastaisella puolella olevaa puuta, jota hän ehkä sanoo vetopuuksi.

BAUDENDISTEL ja AKINS (1946) saivat vetopuupitoisuuden ja pituuden suuntaisen kutistumisen välisen korrelaatiokertoimen arvoksi poppelista +0.8—0.9, ja myöskin DADSWELL ja WARDROP (1949) sanovat lukuisissa australialaisissa lehtipuissa vallitsevan suuren korrelaation ko-

suhteessa. PILLOW (1950) sai korrelaatiokertoimen arvoksi mahongista +0.844 ja epäilee, että pituuden suuntainen kutistuminen kohoaa aluksi, vetopuun vain vähäisessä määrässä ilmaantuessa, voimakkaasti, mutta kohoamisen hidastuvan vetopuun määrän lisääntyessä. Hän sai vetopuun puolelta otettujen koekappaleiden pituuden suuntaisen kutistumisen dispersioksi noin 9-kertaisen ja variatiokertoimeksi noin 3-kertaisen arvon normaalipuuhun verrattuna. Tällöin ei siis verrattu normaalipuuta täydelliseen vetopuuhun, vaan puuhun, jossa vetopuupitoisuus vaihteli sangen laajasti, mikä selittää tulokseksi saadun kovin jyrkän eron mainittujen puulaatujen kutistumisen dispersion välillä. CLARKE (1937) totesi pyökin vetopuun pituuden suuntaisen kutistumisen olevan positiivisessa korrelaatiosuhteessa sen tiheyslukuun, joka ilmaistiin uunikeivän puun painon suhteen sen tilavuuteen tuoreena, mutta normaalipuusta hän ei saanut tätä selvästi näkyviin. Kirjoittajalla ei ole tietoa siitä, vertasiko CLARKE toisiinsa saman vetopuupitoisuuden omaavien koekappaleiden kutistumista vai vaihteliko näiden vetopuupitoisuus ehkä huomattavastikin, jolloin viimeksi mainitussa tapauksessa kutistumisen ja tilavuuspainon välinen korrelaatio on luonnollinen ilman muuta, koska nämä molemmat ovat positiivisessa korrelaatiosuhteessa vetopuupitoisuuteen.

Pituuden suuntaisen kutistumisen suuruuden selvittämiseksi otettiin hies- ja rauduskoivun tuoreiden runkojen ja oksien tyviosasta sekä normaali- että vetopuun puolelta koekappaleita, joiden poikkileikkaus oli 1 × 1 cm ja pituus 10—30 cm puun käyryydestä riippuen. Koekappaleet pyrittiin nimittäin ottamaan mahdollisimman tarkoin puun pituusakselin suuntaisina. Tämän jälkeen niiden pituudet mitattiin 0.05 mm:n tarkkuudella noniuksella varustetulla työntömitalla ja kuivattiin kuivauskaapissa 4—5 vrk. 105—110° C lämmössä, jonka jälkeen suoritettiin uudet pituusmittaukset samaa tarkkuutta käyttäen ja kutistuminen laskettiin prosenteissa pituudesta tuoreena. Koekappaleiden pituudeksi otettiin aina niiden suurin pituus. Kaikkiaan suoritettiin runkopuusta 1 563 koetta, joista hieskoivun normaalipuusta 482 ja vetopuusta 645 vastaavien määrien ollessa rauduskoivun osalta 223 ja 213. Oksapuun osalta tutkimukset kohdistuivat kolmeen Helsingissä Viikin koetilalla vallitsevien latvuserrosten puina kasvaneeseen rauduskoivuun. Näistä tehtiin yhteensä 170 koetta, joista oksan alapuolelta 70 ja yläpuolelta 100. Tulokset runkopuun osalta esitetään taulukossa 43.

Sen toteamiseksi, miten koekappaleiden vetopuupitoisuus vaikuttaa niiden pituuden suuntaiseen kutistumiseen, arvioitiin sellaisten koekappaleiden päätyleikkauksista, joissa vetopuun esiintyminen oli selvästi



Kuva 29. Kuivuessaan osittain vetopuuta sisältävä hieskoivusauva kutistuu käyristyen siten, että vetopuu jää sen koveralle puolelle.

*Fig. 29. A bar of white birch partly containing tension wood bends at drying, the tension wood remaining on its concave side.*

määritettävissä, vetopuuprosentti viiden prosentin tarkkuudella ja verrattiin saatua tulosta kutistumiseen. Koepuiden lukumäärät on mainittu taulukossa 43. Tutkimuksen tulokset esitetään taulukossa 44.

Mainituista taulukoista ilmenee, että vetopuun pituuden suuntainen kutistuminen on sekä hies- että rauduskoivulla selvästi suurempi kuin normaalipuun vetopuun puolelta otettujen koekappaleiden kutistumisen ollessa normaalipuusta otettuihin verrattuna keskimäärin noin kaksinkertainen, joten saatu tulos sopii yhteen lukuisien em. tutkijoiden monista puulajeista tekemien havaintojen kanssa. Jos koekappaleessa oli toisella puolella normaali-, toisella vetopuuta, todettiin sen usein käyristyvän kuivuessaan siten, että vetopuu jäi koveralle puolelle osoittaen sen normaali-puuhun verrattuna suurempaa kutistumista (kuva 29).

Taulukosta 44 ilmenee, että molempien koivulajien pituuden suuntainen kutistumisprosentti kasvaa verrattain selvästi vetopuuprosentin kas-

vaassa. Anomaaliset arvot johtuvat ilmeisesti mittauksen lukumäärän vähäisyydestä ko. vetopuupitoisuusluokissa.

Pituuden suuntainen kutistuminen näyttää aluksi vetopuun vähäisessä määrin ilmaantuessa kohoavan erittäin voimakkaasti, mutta kohoaminen hidastuu suurempiin vetopuuprosenttiluokkiin mentäessä. Korrelaatio vetopuuprosentin ja pituuden suuntaisen kutistumisen välillä ei siis ole ilmeisesti suoraviivainen, vaan noudattaa aluksi nopeasti nousevaa käyrää, joka tasaantuu suurempiin vetopuupitoisuusluokkiin mentäessä (vrt. PILLOW 1950). Silmämääräisesti arvosteltuna puhtaan vetopuun kutistumisprosentti on kuitenkin jälleen huomattavasti suurempi kuin puun, jossa on normaalipuuta esimerkiksi vain 10 %. Puhtaan vetopuun pituuden suuntainen kutistumisprosentti on eri puuryhmissä 3–6 kertaa suurempi kuin puhtaan normaalipuun edellisestä saadun kokonaiskeskiarvon ollessa lähes nelinkertainen jälkimmäiseen verrattuna.

Pituuden suuntaisen kutistumisen riippuvuus vetopuupitoisuudesta esitetään graafisesti kuvassa 39, jossa kukin piste edustaa ko. vetopuuprosenttiluokkaan kuuluvien koekappaleiden kutistumisen keskiarvoa. Pisteistöt tasoitettiin käyräviivaisesti niitä periaatteita noudattaen, jotka mainittiin edellä tilavuuspainon yhteydessä (s. 96).

Täysin vetopuuttoman hieskoivun pituuden suuntainen kutistuminen vaihteli rajoissa 0.00–0.68 % ja rauduskoivun 0.00–0.61 %. Täydellisen vetopuun, siis 100-prosenttisen, kutistuminen vaihteli vastaavasti hieskoivun osalta rajoissa 0.21–1.67 % ja rauduskoivun 0.78–2.21 %. Tästä näkyy, että vetopuun kutistuminen vaihtelee paljon laajemmissa rajoissa kuin normaalipuun molemmilla kuivulajeilla. Samansuuntaiseen tulokseen tuli PILLOW (1950) mahongista, kuten edellä on mainittu. Tämä esitetään hieskoivusta graafisesti kuvassa 38. Rauduskoivusta ei tällaista esitystä ollut syytä laatia täydellisten vetopuukoekappaleiden pienen lukumäärän vuoksi.

Kuvasta 38 käy ilmi, että normaalipuukoekappaleiden pituuden suuntaisen kutistumisen keskimääräinen poikkeavaisuus aritmeettisesta keskiarvosta, joka oli  $0.24 \pm 0.007$  %, on huomattavasti pienempi kuin vetopuukoekappaleiden, joiden kutistumisen keskiarvo oli  $0.85 \pm 0.030$  %. Dispersion arvoksi saatiin normaalipuulle  $0.12 \pm 0.005$  % ja vetopuulle  $0.30 \pm 0.021$  % sekä variatiokertoimeksi edelliselle  $50.0 \pm 1.97$  % ja jälkimmäiselle  $35.3 \pm 2.50$  %. Puhtaiden vetopuukoekappaleiden kutistumisarvojen dispersio saatiin siis noin 2.5 kertaa suuremmaksi kuin normaalipuukoekappaleiden. Sen sijaan edellisille laskettu variaatiokertoimen arvo on huomattavasti pienempi kuin jälkimmäisille, mikä osoittaa, että

puhtaiden vetopuukappaleiden pituuden suuntaisen kutistumisen dispersio kutistumisen määrään verrattuna on suhteellisesti pienempi kuin normaalipuukappaleiden.

Vetopuuprosentin ja pituuden suuntaisen kutistumisen keskinäisen riippuvuuden osoittamiseksi laskettiin vielä kerrolaatiokertoimet keskivirheineen näiden välillä molemmille koivulajeille ja eri kasvupaikoille erikseen sekä lisäksi muutamille yksityisille koepuille. Vetopuupitoisuuden luokkavälinä käytettiin 5 % ja kutistumisen 0.05 %. Tulokset esitetään taulukossa 45. Tästä ilmenee, että vetopuupitoisuuden ja pituuden suuntaisen kutistumisen välillä vallitsee sangen huomattava positiivinen korrelaatio. Puulajeittain ja kasvupaikoittain lasketut kertoimet ovat suunnilleen samaa suuruusluokkaa kuin yksityisistä koepuista saadut.

Verrattaessa toisiinsa hies- ja rauduskoivun normaalipuun pituuden suuntaista kutistumista taulukosta 43 ei siinä ole havaittavissa sanottavaa eroa. Sen sijaan taulukosta 44 saa sen vaikutelman, että rauduskoivun kutistuminen on keskimäärin jonkin verran suurempi kuin hieskoivun, kun verrataan toisiinsa molempien koivulajien samanlaisilla kasvupaikoilla kasvaneista koepuista otettujen samaan vetopuupitoisuusluokkaan kuuluneiden koekappaleiden kutistumista. Verrattaessa taulukkojen 40 ja 44 lukuja keskenään huomataankin eri kasvupaikkoja edustavien koepuuryhmien pituuden suuntaisen kutistumisen noudattavan toisiinsa nähden pääpiirteissään samaa suuntaa kuin niiden tilavuuspainojenkin (myös CLARKE 1937). Kuhmon hieskoivuaineistosta ovat MT:llä kasvaneista puista otetut koekappaleet täysin vetopuuttomia lukuun ottamatta kutistuneet eniten ja ne Helsingin sekä hies- että rauduskoivuista otetut koekappaleet, joissa on ollut vetopuuta vähän tai ei lainkaan, osoittavat verrattain pientä kutistumista tilavuuspainojen keskinäistä suhdetta vastaavasti.

Puusyiden seinämän fibrillaarisen rakenteen ja veden misellien pitkitäissuuntaisiin väleihin kerrostumisen perusteella ei voida olettaa tilavuuspainon vaikuttavan sanottavasti puun pituuden suuntaiseen kutistumiseen, mikäli misellien, kuidun pituusakselin ja koekappaleen pituusakselin suunta ovat samat. Koska kuitenkin asian laita ei ole jokaiselta kohdaltaan yleensä näin, tilavuuspainon kohoaminen ilmeisesti johtaa myös pituuden suuntaisen kutistumisen lisääntymiseen, johon tämänkin tutkimuksen tulokset viittaavat.

Sen toteamiseksi, onko puun pituuden suuntaisessa kutistumisessa eroa rungon eri korkeuksilla, esitetään taulukossa 46 tätä koskevat tutkimustulokset. Tästä ilmenee, että pituuden suuntainen kutistuminen pienenee yleensä alhaalta ylöspäin mentäessä ilmeisesti aineiston pienuudesta aiheu-

tuvia poikkeuksia lukuun ottamatta. Vetopuun osalta tämä voidaan selittää siten, että koska vetopuun muodostuminen on selvin ja vetopuupitoisuus yleensä suurin puun käyrässä tyvessä, mutta heikkenee ylöspäin mentäessä, täytyy vetopuun sekä tilavuuspainon että pituuden suuntaisen kutistumisen pienentyä vastaavasti. Normaalipuun osalta voidaan viitata mahdollisuuteen, että koska puusyiden todettiin pitenevän ylöspäin mentäessä, voi tähän liittyä myös niiden seinämän fibrillikierteen tuleminen entistä enemmän kuidun pituusakselin suuntaiseksi, mikä on todettu havupuiden trakeideista (mm. PILLOW ja LUXFORD 1937), ja tämän seurauksena pituuden suuntaisen kutistumisen pieneminen vastaavasti. Tähän mahdollisuuteen on kuitenkin suhtauduttava suurin varauksin, koska havupuiden trakeidit ja lehtipuiden puusyyt eivät ole joka suhteessa toisiinsa rinnastettavissa.

Oksapuusta saatiin rauduskoivun osalta yläpuolen puun puusyiden suuntaiseksi kutistumisprosentiksi 0.64 % ja alapuolen 0.56 %. Koekappaleita tarkasteltaessa kuitenkin todettiin, että alapuoleltakin otetuista koekappaleista oli suurin osa sellaisia, jotka sisälsivät enemmän tai vähemmän vetopuuta. Tämän vuoksi laskettiin kutistumisprosentit uudelleen katsomalla normaalipuuksi vain sellaiset koekappaleet, joissa ei silmämääräisesti voinut havaita vetopuun tunnusmerkkejä. Tällöin saatiin vetopuun kutistumisprosentiksi 0.63 % ja normaalipuun 0.45 % mittaus-ten lukumäärän ollessa edellisen osalta 153 ja jälkimmäisen vain 17. Täten tuli vetopuun normaalipuuhun verrattuna suurempi pituuden suuntainen kutistuminen selvemmin esille.

Verrattaessa oksista saatuja arvoja rauduskoivun runkopuusta saatuihin näyttää ilmeiseltä, että oksapuu kutistuu pituussuunnassa enemmän kuin runkopuu ainakin normaalipuun osalta. Vastaavan suhteenhan on todettu vallitsevan runko- ja oksapuun tilavuuspainojen välillä jälkimmäisen tilavuuspainon ollessa suurempi kuin edellisen, kuten aikaisemmin jo mainittiin.

Tyydyttävän selityksen löytäminen siihen, miksi vetopuu kutistuu ja paisuu huomattavasti enemmän pituussuunnassa kuin normaalipuu, on osoittautunut erittäin vaikeaksi tehtäväksi. CHOW (1946) otaksuu vetopuun pituuden suuntaisen kutistumisen suuruuden johtuvan useiden puulajien vetopuukuitujen seinämissä havaituista kierremerkeistä, joita hän pitää merkkinä vähäisistä poikkittaisista halkeamista. Näiden halkeamien hän sanoo pyrkivän sulkeutumaan tuoretta puuta kuivattaessa, minkä, ottaen huomioon niiden tavattoman runsauden, hän selittää johtavan vetopuun epänormaalien suuren pituuden suuntaiseen kutistumiseen.

WARDROP ja DADSWELL (1948) polemisivat CHOW'n esittämää teoriaa vastaan sanoen hänen mainitsemiensa kierremerkkien olevan alkavia liukupintoja ja puristusvikoja, jotka ovat hyvin yleisiä niin hyvin vetopuukuiduissa kuin normaalissakin kuiduissa. FREY-WYSSLING (1936) mainitsee nurjahdusmerkkien esiintymistä tekstiilikuiduissa kuvattessaan, että puristusjännityksen kohdatessa kuitua tämän misellit pyrkivät taipumaan niiden läpimitaan verrattuna suuren piteuden vuoksi. Täten myös vetopuukuitujen kaltaisissa puutumattomissa kuiduissa taipuminen ilmenee helposti aiheuttaen liukupintojen ja puristusvikojen muodostumisen, sanovat WARDROP ja DADSWELL mainiten lisäksi, että erittäin voimakkaasti puutuneissa kuiduissa, kuten lylypuun trakeideissa, tällaisia vikoja ei ole tavattu lainkaan. Mainitut tutkijat (1955) huomauttavat myös niistä piteuden suuntaisista puristusjännityksistä, joiden alaiseksi vetopuusyöt joutuvat puun rungon noustessa vinosta asennosta pystysuoraan. Myöskin JACOBS (1945) viittaa puristusjännityksiin, joiden alaisena kasvavan puun koko runko itse asiassa on.

Torjuttuaan CHOW'n teorian WARDROP ja DADSWELL (1948) mainitsevat, että vetopuukuitujen poikkeuksellinen kemiallinen kokoonpano, nimenomaan ligniinin puuttuminen niiden tertiärisestä seinämäkerroksesta, voi olla syynä vetopuun normaalia suurempaan piteuden suuntaiseen kutistumiseen. Ligniinin ollessa vähemmän hydrofiilinen kuin selluloosa sen puuttuminen tertiärisestä seinämäkerroksesta voi helpottaa misellien liikuntaa. Tämä oletamus saa tukea vähän ligniiniä sisältävien tekstiilikuitujen suuresta piteuden suuntaisesta kutistumisesta, sanovat mainitut tutkijat.

Edellä mainittiin jo, että veden otaksutaan kerrostuvan soluseinämässä vain misellinauhojen välisiin pitkittäisrakoihin, joten veden imeytyminen soluseinämään tai poistuminen sieltä paisuttaa tämän mukaan misellien muodostamia fibrillejä vain poikittaissuunnassa (mm. MÜNCH 1937—38). Tämän seurauksena pitäisi puukuidun piteuden suuntaisen kutistumisen ja paisumisen olla sitä suurempi ja poikittaisen sitä pienempi, kuta enemmän fibrillien suunta poikkeaa kuidun piteusakselistasta, so. kuta pienempi on misellikierteen nousukulma, koska fibrillin piteusakselia vastaan kohtisuoran kutistumisen kuidun piteusakselin suuntainen komponentti on sitä suurempi ja sitä vastaan kohtisuora komponentti sitä pienempi, kuta enemmän fibrillin suunta poikkeaa kuidun piteusakselistasta.

Lylypuun epänormaalin suuri piteuden suuntainen ja pieni poikittainen kutistuminen ja paisuminen (mm. HARTIG 1896, KOEHLER 1931, TRENDELENBURG 1932, PILLOW ja LUXFORD 1937, WEGELIUS

1939, ONAKA 1949, DADSWELL ja WARDROP 1949 ja JALAVA 1952) on tämän perusteella helposti ymmärrettävissä, sillä siinä trakeidien piteusakselin suuntainen ja sitä vastaan kohtisuora kutistumis- ja paisumiskomponentti ovat suunnilleen samansuuruiset. Niinpä TIEMANN (1951) sanoo todetun tapauksia, joissa lylypuun piteuden suuntainen kutistuminen on ollut suurempi kuin tangentin suuntainen. Sen sijaan vetopuun pitäisi tämän mukaan kutistua ja paisua piteussuunnassa huomattavasti vähemmän kuin normaalipuun. VORREITER (1949, ss. 161 ja 89) sanoo tosin puun piteuden suuntaisen paisumisen huolimatta siitä, että hän mainitsee paisumisen fibrillejä vastaan kohtisuoraan olevan huomattavasti suuremman kuin niiden piteussuunnassa, olevan sitä suuremman, kuta pienempi on kulma fibrillien ja kuidun piteussuunnan välillä. Toisessa yhteydessä hän kuitenkin sanoo vetopuun piteuden suuntaisen kutistumisen ja paisumisen olevan vähäisen sen fibrillien suuren nousukulman seurauksena. Ilmeisesti tässä on siis tapahtunut jonkinlaista sekaanusta käsitteissä.

Kirjoittajan käsityksen mukaan vetopuun normaalipuuhun verrattuna suurempaa piteuden suuntaista kutistumista ei voida selittää puusyiden seinämän kierrerakenteen perusteella eikä tyydyttävästi myöskään CHOW'n ensi kertaa mainitsemiin kierremerkkeihin nojautuen. Sen sijaan WARDROPIN ja DADSWELLIN esitys, että ligniinin puuttuminen vetopuusyiden tertiärisestä seinämäkerroksesta voi olla syynä näiden normaalia suurempaan piteuden suuntaiseen kutistumiseen, ehkä edelleen kehitettynä ja jatkotutkimusten tukemana tuo valaistusta tähän vaikeasti ratkaistavaan probleemaan, joskin tällöinkin tuntuu epätodennäköiseltä, että vetopuukuidun sisimmän seinämäkerroksen suuri piteuden suuntainen kutistuminen saisi aikaan koko kuidun poikkeuksellisen suuren kutistumisen, varsinkin kun on todettu, että tämä kerros irtautuu helposti muusta seinämästä kokonaan erilleenkin. Sitä paitsi käsillä olevan tutkimuksen yhteydessä todettiin rauduskoivusta, että normaali- ja vetopuun ligniinipitoisuus voivat olla aivan samaa suuruusluokkaakin ja että vetopuukuitujen sekundäärinen seinämä ehkä sisältää ainakin joissakin tapauksissa enemmänkin ligniiniä kuin normaalipuun kuitujen vastaava seinämäkerros.

#### *Tangentin suuntainen kutistuminen*

KLEM (1947) ilmoittaa yleensä koivun tangentin suuntaiseksi kutistumiseksi tuoreesta uunikuivaksi 8.5 %, VORREITER (1949) 8.2 % ja KOLLMANN (1951) 7.8 %.

Että vetopuun tangentin suuntainen kutistuminen on suurempi kuin normaalipuun, ovat todenneet mm. CLARKE (1937) pyökistä, ONAKA (1949) lukuisista japanilaisista lehtipuista, BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1952) sokerivaahterasta sekä JAYME ja HARDERS-STEINHÄUSER (1953) poppelilajeista. DADSWELL ja WARDROP (1949) totesivat lukuisista australialaisista lehtipuista, että vetopuun tangentin suuntainen kutistuminen on pienempi kuin olisi odotettavissa yhtä tiheältä normaalipuulta. BROWN ym. ilmoittavat sokerivaahteran selvän vetopuun tangentin suuntaiseksi kutistumiseksi 7.80 %, puun, jossa ei ollut liivatemaisia kuituja, 6.10 % ja lylypuun 8.10 %. Sen sijaan JANE (1952) sanoo vetopuun tangentin suuntaisen kutistumisen olevan pyökissä normaalia pienemmän. CLARKE totesi positiivisen korrelaation vallitsevan pyökin tiheysluvun ja tangentin suuntaisen kutistumisen välillä.

Tangentin suuntaista kutistumista tutkittiin aivan koepuiden rungon tyvestä otetuista koekappaleista, joiden poikkileikkaus oli  $1 \times 1$  cm. Mittaukset suoritettiin samalla tarkkuudella kuin pituuden suuntaista kutistumista tutkittaessa. Aineiston pienuudeksi vuoksi tuloksia ei esitetä eri kasvupaikoilla kasvaneista koepuista erikseen, vaan ainoastaan pitämällä molemmat koivulajit omana ryhmänään. Tulokset ja aineiston laajuus esitetään taulukossa 47.

Selvemmän käsityksen saamiseksi normaali- ja vetopuun tangentin suuntaisen kutistumisen keskinäisestä suuruussuhteesta esitetään taulukossa 48 erikseen mittausten tulokset muutamista sellaisista koepuista, joissa vetopuun muodostuminen oli erikoisen selvä.

Taulukoista 47 ja 48 ilmenee, että vetopuun tangentin suuntainen kutistuminen on suurempi kuin normaalipuun molemmilla koivulajeilla, joten saatu tulos soveltuu yhteen em. tutkijoiden muista puulajeista tekemien havaintojen kanssa lukuun ottamatta JANE (1952).

Sen osoittamiseksi, miten vetopuun esiintymisrunsaus vaikuttaa tangentin suuntaiseen kutistumiseen, määritettiin sellaisista koekappaleista, joissa vetopuun esiintyminen voitiin selvästi rajoittaa, vetopuuprosentti puun poikkileikkauksesta 5 %:n tarkkuudella ja verrattiin tätä kutistumisen määrään. Tulokset esitetään taulukossa 49.

Vetopuuprosentin kasvaessa näyttää tangentin suuntainen kutistuminen myös kohoavan molemmilla koivulajeilla poikkeuksellisten arvojen johtuessa ilmeisesti aineiston pienuudesta ko. luokissa. Silmämääräisesti arvosteltuna täysin vetopuuttomien koekappaleiden tangentin suuntainen kutistuminen vaihteli hieskoivulla rajoissa 4.05–8.61 % ja rauduskoivulla 5.29–7.97 %. Täydellisten vetopuukoekappaleiden, joissa vetopuu-

pitoisuus oli ilmeisesti jokseenkin 100 %, kutistuminen vaihteli vastavasti hieskoivulla 5.29–10.71 % ja rauduskoivulla 6.61–7.38 %. Raja-arvot osoittavat tangentin suuntaisen kutistumisen suurta vaihtelevaisuutta sekä normaali- että vetopuussa varsinkin hieskoivun osalta. Se, että rauduskoivun puhtaan normaalipuun maksimikutistumiseksi saatiin jonkin verran suurempi arvo kuin puhtaan vetopuun, on katsottava jälkimmäistä edustavan aineiston pienuudesta johtuvaksi. Rauduskoivun suurin tangentin suuntainen kutistumisarvo, 9.43 %, todettiin vetopuupitoisuusluokkaan 65 % kuuluneesta koekappaleesta.

Tangentin suuntaisen kutistumisen riippuvuus vetopuupitoisuudesta esitetään graafisesti kahtena pisteistönä kuvassa 40, jossa kukin piste edustaa ko. vetopuupitoisuusluokkaan kuuluvien koekappaleiden kutistumisen keskiarvoa. Pisteistöt, joista varsinkin rauduskoivua edustava osoittaa suurta epävakaisuutta ilmeisesti aineiston pienuuden ja epähomogeenisuuden vuoksi, tasoitettiin niitä periaatteita noudattaen, jotka on mainittu tilavuuspainon käsittelyn yhteydessä (s. 96).

Edellisen lisäksi laskettiin vielä vetopuuprosentin ja tangentin suuntaisen kutistumisen korrelaatiokertoimet molemmille koivulajeille ja muutamille yksityisille koepuille, joissa vetopuun muodostuminen oli erikoisen selvä. Vetopuupitoisuuden luokkavälinä käytettiin 5 % ja kutistumisen 0.25 %. Tulokset esitetään taulukossa 50. Tästä ilmenee, että yksityisten koepuiden osalta voi vetopuuprosentin ja tangentin suuntaisen kutistumisen välinen positiivinen korrelaatio olla erittäin suurikin, kuten hieskoivukoepuusta n:o 3 saatu tulos osoittaa. Molemmille koivulajeille lasketut kokonaiskorrelaatiokertoimet ovat luonnollisesti paljon alhaisemmat kuin yksityisistä koepuista saadut, sillä edellisiin sisältyvät kaikilta kasvupaikoilta otetut puut, joten ne edustavat verrattain epähomogeenista aineistoa. Hieskoivua koskeva kerroin keskivirheineen osoittaa vielä verrattain huomattavaa, mutta rauduskoivua koskeva jokseenkin heikkoa korrelaatiota vetopuupitoisuuden ja tangentin suuntaisen kutistumisen välillä. Viimeksi mainittuun vaikuttanee ensi sijassa rauduskoivua edustavan aineiston pienuus. Molemmille koivulajeille saatiin tangentin suuntaisen kutistumisen riippuvuutta vetopuuprosentista kuvaavaksi korrelaatiokertoimeksi huomattavasti pienemmät arvot kuin vastaavat pituuden suuntaisesta kutistumisesta saadut. Tämän ei kuitenkaan tarvitse sinänsä todistaa mitään, sillä pituuden suuntaisen kutistumisen korrelaatiota laskettaessa oli käytettävissä paljon runsaampi ja homogeenisempi aineisto kuin nyt. Yksityisistä koepuista saatujen korrelaatiokertoimien arvot näyttävät kuitenkin viittaavan siihen, että tangentin suuntainen kutistu-



minen ei ehkä ole yleensä siinä määrin riippuvainen vetopuuprosentista kuin pituuden suuntainen.

Vetopuun normaalipuuhun verrattuna suurempi tangentin suuntainen kutistuminen johtuu ilmeisesti paitsi edellisen suuremmasta tiheydestä (mm. CLARKE 1937) myös sen puusyiden seinämän erikoislaatuisesta misellaarisesta orientoitumisesta, johon edellä jo viitattiinkin.

Rauduskoivun tangentin suuntaiseksi kutistumiseksi saatiin keskimäärin huomattavasti suuremmat arvot kuin hieskoivun, jollaista tulosta voitiin odottaakin näiden puusyiden seinämän suhteellisen paksuuden (taulukko 14) ja tilavuuspainon perusteella.

Nyt saatujen kutistumisarvojen pienuuden koivusta ulkomailla saatuihin verrattuna voitaneen selittää johtuvan mahdollisesti osittain siitä, että käsillä olevassa tutkimuksessa tehtiin kutistumismittauksia vain aivan puun tyvestä, jossa puusyyt ovat ilmeisesti lyhempiä kuin ylempänä ja niiden seinämän misellaarinen orientoituminen vastaavasti ehkä enemmän kuidun pituusakselista poikkeava kuin pitemmissä kuiduissa, jollaisen suhteen on todettu vallitsevan havupuiden trakeidien pituuden ja seinämäorganisation välillä (mm. PRESTON 1949), kuten edellä on mainittu. Sitä paitsi on otettava huomioon se, että kuivumisnopeuden on todettu myös vaikuttavan puun kutistumiseen siten, että kuta hitaammin puu kuivuu, sitä enemmän se kutistuu (TIEMANN 1921). Näin ollen, jos kuivattaminen olisi aloitettu alemmassa lämpötilassa ja tätä vähitellen kohotettu, jolloin puun kuivuminen olisi tapahtunut hitaammin, olisi kutistumisprosentteiksi voitu saada suurempia arvoja kuin nyt käytetyllä menetelmällä.

#### *Säteen suuntainen kutistuminen*

Yleensä koivun säteen suuntaiseksi kutistumiseksi ilmoittaa KLEM (1947) 5.4 % sekä VORREITER (1949) ja KOLLMANN (1951) 5.3 %.

CLARKE (1937) ei todennut pyökin normaali- ja vetopuun säteen suuntaisessa kutistumisessa mitään eroa eivätkä myöskään ONAKA (1949) japanilaisia lehtipuita sekä JAYME ja HARDERS-STEINHÄUSER (1953) poppelilajeja tutkiessaan. Sen sijaan BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1952) ilmoittavat sokerivaahteran selvän vetopuun säteen suuntaiseksi kutistumiseksi 7.30 %, puun, jossa ei ollut liivatemaisia kuituja, 6.00 % ja lylypuun 5.90 %.

Koivun säteen suuntaista kutistumista tutkittiin samoin kuin tangentin suuntaistakin aivan koepuiden rungon tyvestä otetuista koekappaleista, joiden poikkileikkaus oli  $1 \times 1$  cm. Mittaustarkkuus oli sama kuin

muissakin kutistumista koskevissa tutkimuksissa. Aineiston pienuuden vuoksi tuloksia ei laskettu eri kasvupaikoilla kasvaneista puista erikseen, vaan ainoastaan pitämällä molemmat koivulajit omana ryhmänään. Mittausten lukumäärä ja tulokset esitetään taulukossa 51.

Selvemmän käsityksen saamiseksi normaali- ja vetopuun säteen suuntaisen kutistumisen keskinäisestä suhteesta esitetään taulukossa 52 erikseen mittaustuloksia muutamista sellaisista koepuista, joissa vetopuun muodostuminen oli erittäin runsas.

Taulukoista 51 ja 52 ilmenee, että ainakin hieskoivun vetopuu kutistuu säteen suunnassa enemmän kuin normaalipuu. Kokonaiskeskiarvoissa (taulukko 51) erotus on rauduskoivun osalta epäoleellinen, mutta mittausten määrä on niin vähäinen, ettei se salli päätelmien tekoa tässä suhteessa. Erotus olisi senkin osalta todennäköisesti tullut selvempänä ilmi, jos mittauksia olisi suoritettu enemmän ja erikoisesti vetopuuta kauan aikaa voimakkaasti muodostaneista puista, jollaisista ei nyt koekappaleita otettu lainkaan.

Miten vetopuun runsaus vaikuttaa puun säteen suuntaiseen kutistumiseen, käy ilmi taulukosta 53. Koska rauduskoivusta oli vain muutamia sellaisia koekappaleita, joista vetopuuosuus oli helppo määrittää, ei niistä suoritettu tällaista vertailua.

Taulukosta ilmenee, että vetopuupitoisuuden kohotessa säteen suuntainen kutistuminen kasvaa. Lukuisat poikkeukset tästä suunnasta luokasta toiseen siirryttäessä johtuvat ilmeisesti mittausten pienestä lukumäärästä. Saatujen tulosten mukaan on hieskoivun puhtaan vetopuun säteen suuntainen kutistuminen noin 25 % suurempi kuin täysin vetopuuttoman puun, joten suhde on suunnilleen sama kuin tangentin suuntaisessakin kutistumisessa. Silmämääräisesti puhtaaksi normaalipuuksi arvostellun puun säteen suuntainen kutistuminen vaihteli rajoissa 3.10–5.97 % ja puhtaan vetopuun rajoissa 3.79–7.11 %, joten molemmat raja-arvot osoittavat verrattain suurta vaihtelua. Suhteellisesti jokseenkin samansuuruisen eron kuin nyt saadun totesivat em. BROWN ym. (1952) vallitsevan sokerivaahteran puhtaan normaali- ja selvän vetopuun säteen suuntaisen kutistumisen välillä.

Säteen suuntaisen kutistumisen riippuvuus vetopuupitoisuudesta esitetään hieskoivun osalta graafisesti kuvassa 41, jossa kunkin vetopuupitoisuusluokan kohdalle on merkitty siihen kuuluneiden koekappaleiden kutistumisen keskiarvo.

Edellisen lisäksi laskettiin vetopuuprosentin ja säteen suuntaisen kutistumisen korrelaatiokerroimet hieskoivun koko aineistosta ja muutamista

yksityisistä koepuista, joissa vetopuun esiintyminen oli erittäin selvä. Vetopuupitoisuuden luokkavälinä käytettiin 5 % ja kutistumisen 0.25 %. Tulokset esitetään taulukossa 54. Tästä ilmenee, että koko hieskoivuaineistolle laskettu vetopuupitoisuuden ja säteen suuntaisen kutistumisen välinen korrelaatiokerroin osoittaa verrattain huomattavaa positiivista riippuvuutta näiden välillä, jokseenkin samansuuruista kuin tangentin suuntaisesta kutistumisesta saatu. Samoin on asian laita yksityisten koepuiden osalta.

Vetopuun normaalipuuhun verrattuna suurempi säteen suuntainen kutistuminen voitaneen selittää edellisen suuremman tilavuuspainon ja puusyiden seinämän misellaarisen orientoitumisen perusteella, johon edellä jo viitattiinkin (mm. VINTILA 1939). CLARKE (1937) sanoo kylläkin havainneensa, että säteen suuntainen kutistuminen ei pyökissä ole suhteessa sen tiheyslukuun enempää normaali- kuin vetopuullakaan. Myöskin vetopuun normaalipuuhun verrattuna pienempi ydinsädeprosentti voi vaikuttaa edellisen kutistumiseen suurentavasti, joten saatu tulos sopii yhteen CLARKE'in (1930 b) sekä LINDSAYN ja CHALKIN (1954) em. tutkimustulosten kanssa.

Rauduskoivun todettiin kutistuvan sekä pituus- että tangentin suunnassa enemmän kuin hieskoivun, ja samanlainen suhde vallitsee ehkä myös säteen suuntaisessa kutistumisessa, johon nyt suoritettujen, rauduskoivun osalta tosin lukumääräisesti kovin niukkojen mittausten tulokset viittaavat. Tämä voidaan selittää ilmeisesti johtuvaksi rauduskoivun hieskoivuun verrattuna suuremmasta tilavuuspainosta. Nyt varsinkin normaalipuun säteen suuntaisesta kutistumisesta saatujen arvojen pienuus verrattuna ulkomaillo koivusta saatuihin tuloksiin voitaneen ainakin osittain selittää samoin kuin tangentin suuntaisen kutistumisen yhteydessä on mainittu (s. 112).

#### *Tilavuuden kutistuminen*

Yleensä koivun tilavuuden kutistumiseksi ilmoittaa KLEMM (1947) 14.5 %, VORREITER (1949) 14.0 % ja KOLLMANN (1951) 14.2 %.

CHOW (1946) totesi pyökin vetopuun tilavuuden kutistumisen ilma-kuivasta uunikuivaksi olevan pienemmän kuin normaalipuun saaden edellisen kutistumiseksi 6.54 % ja jälkimmäisen 7.60 %. Vetopuun tilavuuden paisumisen uunikuivasta tuoreeksi hän sen sijaan totesi jokseenkin samaksi kuin normaalipuun, nimittäin edellisen osalta 25.90 % ja jälkimmäisen 25.74 %. Molemmissa tapauksissa on tosin kyseessä vain kolmen

kokeen keskiarvo. BROWN, PANSIN ja FORSAITH (1952) sanovat, että vetopuun tilavuuden kutistuminen ei ole epänormaalin korkea ja että se voi olla pienempikin kuin yhtä tiheän normaalipuun. He ilmoittavat sokerivaahteran runsaasti liivatemaisia kuituja sisältävän vetopuun tilavuuden kutistumiseksi tuoreesta uunikuivaksi 13.80 %, puun, jossa ei ollut lainkaan liivatemaisia kuituja, 11.90 % ja lylypuun 13.80 %, jonka mukaan vetopuun kutistuminen on selvästi suurempi kuin normaalipuun.

Koska tilavuuden kutistumista ei käsillä olevassa tutkimuksessa määritetty suorastaan mittaamalla, se laskettiin pituuden, tangentin ja säteen suuntaisen kutistumisen perusteella seuraavaa kaavaa käyttäen (TRENDELENBURG 1939)

$$a_v = 100 \left[ 1 - \left( \frac{100 - a_t}{100} \times \frac{100 - a_r}{100} \times \frac{100 - a_l}{100} \right) \right].$$

$a_v$  = tilavuuden kutistumis-%

$a_t$  = tangentin suuntainen kutistumis-%

$a_r$  = säteen » »

$a_l$  = pituuden » »

Taulukossa 55 esitetään tällä tavoin lasketut tilavuuden kutistumisarvot molempien koivulajien sekä normaali- että vetopuulle koko aineistosta sekä erikseen puhtaasta normaalipuunaineistosta, jossa ei ollut vetopuuta lainkaan ja hieskoivun osalta myös puhtaasta vetopuunaineistosta, jossa vetopuun esiintyminen oli jokseenkin 100 %-nen. Rauduskoivun säteen suuntaisissa kutistumiskoekappaleissa ei puhtaita vetopuukappaleita ollut lainkaan.

Taulukosta 55 ilmenee, että vetopuun tilavuuden kutistuminen on sekä hies- että rauduskoivulla jonkin verran suurempi kuin normaalipuun, mikä onkin luonnollista, koska edellisen kutistuminen kaikissa tutkituissa pääsuunnissa on ilmeisesti suurempi kuin jälkimmäisen. Puhtaasta aineistosta tämä tulee luonnollisesti vielä selvemmin esille kuin koko aineistosta koskevista keskiarvoista eron normaali- ja vetopuun välillä ollessa tällöin huomattavan suuri. Saatu tulos sopii siis yhteen BROWNIN ym. (1952) tutkimusten kanssa.

Rauduskoivun tilavuuden kutistuminen on ilmeisesti sen suurempaa tilavuuspainoa vastaavasti hieskoivun kutistumista jonkin verran suurempi. Saatujen kutistumisarvojen pienuus ulkomaillo koivusta saatuihin verrattuna johtunee ainakin osittain niistä syistä, jotka on mainittu edellä tangentin suuntaista kutistumista käsiteltäessä (s. 112).

### Muut hygroskooppiset ominaisuudet

#### *Uppoamiseen tarvittava aika ja kosteuspitoisuus upotessa*

Kokeisiin käytettiin hies- ja rauduskoivun runkopuun sekä normaali- että vetopuusta otettuja noin  $2 \times 2 \times 5$  cm suuruisia koekappaleita, joiden poikkileikkauspinnasta määritettiin vetopuupitoisuus viiden prosentin tarkkuudella silmämääräisesti polettia apuna käyttäen. Nämä kuivatettiin uunikuiviksi ja pantiin huoneenlämpöiseen veteen. Kustakin koekappaleesta merkittiin muistiin veteen panoaika ja aika, jolloin se upposi selvästi painuen astian pohjaan. Täten saatiin määritetyksi uppoamiseen tarvittu aika, joka merkittiin kulloinkin muistiin puolen vuorokauden tarkkuudella.

Kaikkiaan suoritettiin uppoamiseen tarvittavan ajan osalta kokeita 15 hies- ja 3 rauduskoivusta. Edellisestä otettiin 265 ja jälkimmäisestä 31 koekappaletta eli yhteensä 296. Uppoamisajan riippuvuus vetopuupro-sentista esitetään taulukossa 56 useimpien koepuiden osalta. Samasta koepuusta otettiin koekappaleet mahdollisimman samankokoisina, mutta eri koepuiden osalta tätä ei voitu aina noudattaa, jonka vuoksi koko aineistolle ei ollut tarkoituksenmukaista laskea kutakin vetopuupitoisuusluokkaa koskevia uppoamisajan keskiarvoja. Tästä syystä ei mainitussa taulukossa ole myöskään syytä verrata eri koepuista saatuja tuloksia toisiinsa muuten kuin suuntansa puolesta.

Taulukosta 56 ilmenee, että puun vetopuupitoisuuden lisääntyessä sen uppoamiseen tarvittava aika lyhenee erittäin huomattavasti. Ainakin suurimmat poikkeukset tästä suunnasta vetopuupitoisuusluokasta toiseen siirryttäessä lienee katsottava aineiston suhteellisesta pienuudesta johtuvaksi. Silmämääräisesti arvosteltuna täydellinen vetopuu näyttää vaativan upotukseen keskimäärin vain noin 20 % siitä ajasta kuin puhdas normaalipuu vaihteluvälin ollessa 7.1—56.2 %.

Uppoamiseen tarvittavan ajan riippuvuus vetopuupitoisuudesta esitetään korrelaatiolaskelmien tuloksena muutamien koepuiden osalta, joissa vetopuun muodostuminen oli erittäin selvä, taulukossa 57. Vetopuupitoisuuden luokkavälinä käytettiin 5 % ja uppoamisajan 0.5 vrk. Taulukosta ilmenee, että vetopuupitoisuuden ja uppoamiseen tarvittavan ajan välillä vallitsee erittäin selvä negatiivinen korrelaatio.

Koepuukappaleiden kosteuspitoisuuden määrittämiseksi upotessaan ne punnittiin uunikuivina ennen veteen panoa ja uudelleen heti upotuaan. Painojen erotus laskettiin prosenteissa uunikuivasta painosta. Tulokset ja tutkimusaineiston laajuus esitetään taulukossa 58.

Taulukosta ilmenee, että sekä hies- että rauduskoivun kosteuspitoisuus upotessaan on sitä pienempi, mitä suurempi sen vetopuupitoisuus on. Silmämääräisesti arvosteltuna täydellisen vetopuun kosteuspitoisuus upotessaan on hieskoivulla keskimäärin noin 60—70 % puhtaan normaali-puun kosteuspitoisuudesta, ja rauduskoivulla on suhde ilmeisesti samantapainen. Tämä johtuu ilmeisesti vetopuun normaalipuuhun verrattuna suuremmasta tilavuuspainosta. Poikkeuksellisten arvojen vetopuupitoisuusluokasta toiseen siirryttäessä lienee katsottava johtuvan etupäässä aineiston suhteellisesta rajoittuneisuudesta. Myös ONAKA (1949) sanoo vetopuun vesipitoisuuden tuoreessa tilassa olevan pienemmän kuin normaalipuun lukuisista japanilaisista lehtipuista tekemiensä tutkimusten perusteella.

Puun kosteuspitoisuuden riippuvuus vetopuupro-sentista upotessaan esitetään vielä graafisesti kahtena pisteistönä molempia koivulajeja koskevasta koeaineistosta erikseen, mutta erottamatta eri kasvupaikkoja toisistaan, kuvassa 42. Pisteistöt, joissa kukin piste edustaa ko. vetopuupro-senttiluokkaan kuuluneiden koekappaleiden kosteuspitoisuuden keskiarvoa upotessaan, tasoitettiin suoralla viivalla niitä periaatteita noudattaen, jotka mainittiin edellä tilavuuspainon käsittelyn yhteydessä (s. 96).

Kosteuspitoisuuden riippuvuus vetopuupro-sentista puun upotessa esitetään vielä lasketuilla korrelaatiokertoimilla taulukossa 59. Molempien luokkavälinä käytettiin 5 %. Taulukosta ilmenee, että puun vetopuupro-sentin ja kosteuspitoisuuden välillä upotessaan vallitsee sangen selvä negatiivinen korrelaatio, mikä tulee luonnollisesti yksityisten koepuiden osalta vielä selvemmin ilmi kuin puulajeittain ja kasvupaikoittain lasketuissa keskiarvoissa. Ilmeisesti mainittu korrelaatio pyrkii olemaan suoraviivainen.

Verrattaessa rauduskoivusta saatuja arvoja vastaavanlaisella kasvupaikalla kasvaneiden hieskoivujen arvoihin käy selvästi ilmi, että edellisen vesipitoisuus on upotessaan huomattavasti pienempi kuin jälkimmäisen. Tällainen tulos oli odotettavissakin näiden puulajien tilavuuspainojen perusteella. Hieskoivun puhtaan normaalipuun kosteuspitoisuus upotessaan vaihteli koko aineiston huomioon ottaen 76.4—156.4 % ja täydellisen vetopuun 46.1—95.5 %. Rauduskoivun puhtaan normaalipuun osalta vaihtelu oli 74.9—118.4 %, mutta tutkimusaineistoon ei sisältynyt siitä täydellisiä vetopuukappaleita.

Se, että puun tilavuuspaino ja kosteuspitoisuus upotessaan ovat kääntäen verrannollisessa suhteessa toisiinsa, käy myös ilmi verrattaessa toisiinsa taulukoita 40 ja 58 varsinkin puhtaan normaalipuun osalta.

*Vettymis- ja kuivumisnopeus*

CHOW (1946) ilmoittaa tosin vain kolmen kokeen keskiarvona pyökin normaalipuun kosteuspitoisuudeksi huonekuivana 9.62 % ja vetopuun 10.64 %. ONAKA (1949) sanoo japanilaisista lehtipuista tekemiensä tutkimusten perusteella vetopuun veden läpäisevyyden olevan säteen suunnassa pienemmän kuin normaalipuun. Hän sanoo vetopuun olevan myös helposti kuivuvaa. NARAYANAMURTI, RANGANATHAN ja RATRA (1951) tutkivat ionien diffuusiota muutamien intialaisten puulajien läpi erilaisissa olosuhteissa ja totesivat diffuusiovakion olevan suurimman pituusakselin ja pienimmän tangentin suunnassa, suuremman pinta- kuin sydänpuussa ja kasvavan lämpötilan kohotessa.

Vettymis- ja kuivumisnopeutta koskeviin tutkimuksiin käytettiin hieskoivun runkopuusta otettuja  $2 \times 2 \times 1.5$  cm suuruisia koekappaleita, joista osa oli silmämääräisesti arvosteltuna täysin vetopuuttomia ja osa sellaisia, joissa vetopuun esiintyminen oli 80–100 %:nen, siis jokseenkin täydellinen. Nämä kuivattiin ensin uunikuiviksi ja punnittiin, jonka jälkeen ne pantiin huoneenlämpöiseen veteen ja punnittiin määräväliajoin jatkuvasti, aluksi lyhemmin välein, myöhemmin veden imeytymisnopeuden hidastuessa harvemmin, kunnes ne olivat ilmeisesti vedellä kyllästyvät ja niiden paino siis pysyi muuttumattomana. Kosteuspitoisuus laskettiin kussakin punnituksessa prosenteissa uunikuivasta painosta.

Tutkimus suoritettiin viidestä koepuusta. Kaikki koekappaleet otettiin puun tyviosasta ja rinnakkaiskoekappaleet tarkoin toisiaan vastavilta korkeuksilta puun pintaosista normaali- ja vetopuun puolelta, kuten uppoamisajaa ja sitä vastaavaa kosteusprosenttiakin määritettäessä. Kaikki koepuut kuuluivat Kuhmon aineistoon ja niistä oli kaksi VT:ltä sekä yksi MT:ltä, kangaskorvesta ja rämeeltä. Tulokset esitetään taulukossa 60 kaikista koekappaleista saatuina keskiarvoina sekä lisäksi erikseen poikkeuksellisen selvästi vetopuuta muodostaneesta koepuusta n:o 27, joka kasvoi VT:llä.

Taulukosta 60 ilmenee, että vetopuun veden imemisnopeus eli hygroskooppinen voima on huomattavasti pienempi kuin normaalipuun. Tämä piti paikkansa kaikkiin tutkittuihin koepuihin ja rinnakkaiskoekappaleisiin nähden. Tällainen tulos olikin odotettavissa, koska vetopuun putkiloprocentti on huomattavasti pienempi kuin normaalipuun ja koska vesi imeytyy puuhun suurimmaksi osaksi ja nopeimmin juuri poikkileikkauksen pinnan kautta (myös ENEROTH 1922, NARAYANAMURTI ym. 1951). Sitä paitsi saatuun tulokseen voi vaikuttaa myös se, että vetopuun ydin-

sädeprosentin todettiin olevan jonkin verran pienemmän kuin normaalipuun, mikä puolestaan voi alentaa vetopuun veden läpäisevyyttä säteen suunnassa (vrt. ONAKA 1949).

Vetopuun veden imemiskyky näyttää olevan kaikkiaan selvästi pienempi kuin normaalipuun, mikä johtuu ilmeisesti edellisen pienemmästä putkiloprocentista ja puusyiden pienemmistä soluonteloista sekä vastavasti suuremmasta seinämäprosentista ja mahdollisesti suuremmasta miksellien läpimitasta (WARDROP 1954) jälkimmäiseen verrattuna.

Hieskoivun normaali- ja vetopuun vettymisnopeus esitetään vielä graafisesti murtoviivoina koko tutkimusaineistoa koskevien keskiarvojen perusteella kuvassa 43.

Vedellä kyllästettyjen hieskoivukoekappaleiden kuivumisnopeutta tutkittiin panemalla ne lämmittämättömään kuivauskaappiin harvan rautalankaverkon päälle, jolloin ilma pääsi niihin vaikuttamaan joka puolelta. Punnitsemalla koekappaleet määräväliajoin ja laskemalla kosteuspitoisuus kulloinkin niiden uunikuivasta painosta voitiin seurata kosteuden alenemista. Tulokset esitetään taulukossa 61.

Taulukosta ilmenee, että normaalipuu kuivuu yleensä hieman nopeammin kuin vetopuu lukuun ottamatta ensimmäisiä tunteja vedestä ottamisen jälkeen, jolloin kuivumisnopeus on molemmilla jokseenkin sama tai vetopuulla ehkä vähän suurempikin kuin normaalipuulla, jollainen ilmiö todettiin selvästi voimakkaasti vetopuuta muodostaneesta koepuusta n:o 27 (vrt. ONAKA 1949).

Hieskoivun normaali- ja vetopuun kuivuminen esitetään vielä graafisesti sekä kosteusprosentin että kosteusindeksin keskimääräistä kulkua osoittavina murtoviivoina kuvassa 44.

Normaali- ja vetopuun kosteuspitoisuudessa huonekuivana ei näy olevan sanottavaa eroa, joskin jälkimmäisen kosteusprosentit ovat hieman alhaisempia kuin edellisen kysymyksen ollessa tosin usein vain prosenttien murto-osista, joten saatu tulos on päinvastainen CHOW'n (1946) tutkimuksiin verrattuna.

Tehdyt tutkimukset osoittavat, että sekä hies- että rauduskoivun vetopuu uppoaa uunikuivana veteen pantuna nopeammin ja pienemmän kosteusprosentin omaavana kuin normaalipuu, puun vetopuupitoisuuden ja uppoamiseen tarvittavan ajan sekä ensiksi mainitun ja puun kosteuspitoisuuden välillä upotessa vallitsee selvä negatiivinen korrelaatio, joka pyrkii ilmeisesti olemaan suoraviivainen, vetopuun veden imemisnopeus ja -kyky on huomattavasti pienempi kuin normaalipuun ainakin hieskoi-

vussa ja että ainakaan hieskoivun normaali- ja vetopuun kuivumisnopeudessa ei ole suurta eroa, joskin se on kokonaisuutena katsoen ehkä edellisellä hieman suurempi kuin jälkimmäisellä lukuun ottamatta lyhyttä aikaa vedestä ottamisen jälkeen, jolloin suhde voi olla päinvastainenkin. Huonekuivana lienee ainakin hieskoivun vetopuun kosteuspitoisuus yleensä hieman pienempi kuin normaalipuun.

*Vapaan ja sidotun veden määrä sekä puuaineksen ominaispaino*

ENEROTH (1922) sanoo puun kemiallisen kokoonpanon vaikuttavan jonkin verran sen ominaispainoon. TRENDELENBURG (1939) ilmoittaa puuaineksen ominaispainoksi 1.46—1.56 g/cm<sup>3</sup>. Puhtaan puuselluloosan ominaispainoksi on saatu 1.52—1.60 g/cm<sup>3</sup> (HÄGGLUND 1951) ja ligniinin 1.38—1.41 g/cm<sup>3</sup> (STAMM ja HANSEN 1937). WARDROP ja DADSWELL (1948) sanovat selluloosan, jota vetopuussa on normaalia enemmän, olevan hydrofiilisempää kuin ligniinin. ONAKA (1949) mainitsee hygroskooppisen veden määrän olevan vetopuussa vähäisen.

Osasta vettymis- ja kuivumisnopeustutkimuksiin käytettyä aineistoa määritettiin soluonteloissa vapaana olevan ja soluseinämiin sitoutuneen veden määrä sekä näiden perusteella puuaineen tilavuusprosentti eli soluseinämäprosentti ja ominaispaino.

Tätä varten ko. koekappaleiden, jotka oli punnittu sekä uunikuivina että vedellä kyllästettyinä, tilavuus määritettiin mittaamalla uunikuivana ja puusyiden kyllästymiskosteuden yläpuolella, jolloin tilavuuksien erotus ilmoitti soluseinämiin sitoutuneen eli ns. hygroskooppisen veden määrän. Kun tämä vähennettiin veden maksimimäärästä koekappaleessa sen ollessa vedellä kyllästetty, saatiin selville soluonteloihin ja -väleihin keräytyneen veden määrä ja sitä tietä onteloprocentti. Koska puusolujen seinämien hygroskooppisesti paisuessa on soluontelon todettu pysyvän kooltaan kutakuinkin muuttumattomana (mm. TRENDELENBURG 1939), voitiin ontelotilavuus laskea prosenteissa uunikuivasta tilavuudesta. Soluseinämiin sitoutuneen veden määrä laskettiin prosenteissa puun imemästä veden kokonaisuudesta kyllästymistilassaan.

Vähentämällä koekappaleen tilavuudesta puusyiden kyllästymiskosteuden yläpuolella siihen imeytyneen veden maksimimäärä puun ollessa vedellä kyllästetty, siis sekä hygroskooppisen että kapillaarisen veden määrä, saatiin selville koekappaleen puuaineksen tilavuus, joka laskettiin prosenteissa uunikuivan puun tilavuudesta. Jakamalla koekappaleen

paino uunikuivana sen puuaineksen tilavuudella saatiin vihdoin määritetyksi puuaineksen ominaispaino.

Tutkimuksen, jonka aineiston muodosti kahdesta Kuhmossa VT:llä kasvaneesta hieskoivusta otetut yhteensä 12 koekappaleita, joista puolet normaali- ja puolet vetopuusta, tulokset esitetään keskiarvoina ja erikseen poikkeuksellisen voimakkaasti vetopuuta muodostaneesta koepuusta n:o 27 taulukossa 62.

Taulukosta ilmenee, että sidotun eli hygroskooppisen veden osuus on vetopuussa huomattavasti, keskimäärin 40—50 % suurempi kuin normaalipuussa, joten tulos ei käy lainkaan yhteen ONAKAN (1949) em. ilmoituksen kanssa. Koska vetopuun putkiloprosentin todettiin edellä olevan huomattavasti pienemmän kuin normaalipuun ja koska sen puusyyt ovat myös ahtaampionteloisia ja paksumpiseinäisiä kuin normaalipuun, onkin luonnollista, että hygroskooppisen veden määrä on vetopuussa suurempi kuin normaalipuussa. Saatua tulosta tukee myös WARDROPIN ja DADSWELLIN (1948) em. lausunto. Sen sijaan se, jos koivussakin vetopuun misellien läpimitta on huomattavasti suurempi kuin normaalipuun, jollaiseen tulokseen WARDROP (1954) tuli *Eucalyptuksesta*, vaikuttaa vetopuun hygroskooppisen veden määrää pienentävästi normaalipuuhun verrattuna.

Vetopuun ontelotilavuus on selvästi pienempi kuin normaalipuun, jollaiseen tulokseen tultiin jo mikroskooppisissa tutkimuksissa. Edellisen ontelotilavuudeksi saatiin puun ollessa uunikuiva 78—83 % normaalipuun vastaavasta arvosta, mutta puun ollessa tuore vain 72—78 %, mikä osoittaa myös vetopuun normaalipuuhun verrattuna suurempaa tilavuuden hygroskooppista paisumista ja kutistumista.

Soluseinämiä puuaineksen tilavuuden osuus koko puun tilavuudesta on vetopuussa nyt saatujen tulosten mukaan noin 25—30 % suurempi kuin normaalipuussa uunikuivasta tilavuudesta laskettuna.

Laskemalla yhteen puuaineksen ja siihen sitoutuneen hygroskooppisen veden tilavuus ja vertaamalla summaa soluseinämiä kyllästymiskosteuden yläpuolella olevan puun tilavuuteen saadaan tuoreen puun soluseinämäprosentti. Täksi saatiin koepuusta n:o 27 normaalipuun osalta 51.6 % ja vetopuun osalta 65.0 % vastaavien arvojen koko aineistosta ollessa 51.1 % ja 62.0 %. Verrattaessa näitä arvoja taulukossa 16 ilmoitettuihin mikroskooppisesti puun poikkileikkauksista määritettyihin puusyysolukon seinämäprosentteihin todetaan edellisten olevan huomattavasti jälkimmäisiä pienempiä. Tämä johtuu luonnollisesti osaltaan siitä, että mikroskooppinen tutkimus koski vain puusyysolukkoa ilman putkiloita ja ydin-

säteitä, jotka alentavat koko puusolukon seinämäprosenttia huomattavasti. Sitä paitsi vetopuuta koskevat mikroskooppiset tutkimukset kohdistettiin vain muutamiin erittäin voimakkaasti vetopuusolukkoa muodostaneisiin vuosirenkaisiin, mikä todettiin ennen mittauksia poikkileikkauksia tarkastelemalla. Sen sijaan hygroskooppisissa kokeissa käytettyihin vetopuun koekappaleisiin sisältyi myös normaaleja vuosirenkaita vetopuuprosentin ollessa silmävaraisesti arvosteltuna 80–100 %, kuten edellä jo mainittiin.

Normaali- ja vetopuun puuaineksen ominaispainoja toisiinsa verrattaessa huomataan, että jälkimmäisen ominaispaino on jonkin verran suurempi kuin edellisen. Yleensä katsotaan puuaineksen ominaispainon olevan jokseenkin vakion tai vaihtelevan eri puulajeilla ja erilaisissa olosuhteissa kasvavissa puissa ahtaissa rajoissa. On ilmeistä, että vetopuun puuaineksen ominaispainon täytyykin olla jonkin verran suurempi kuin normaalipuun, koska edellisen selluloosapitoisuus on suurempi ja ligniinipitoisuus ainakin yleensä pienempi kuin jälkimmäisen. Sitä paitsi vetopuun normaalipuuhun verrattuna suurempi tuhka- mutta pienempi uute-pitoisuus vaikuttaa samaan suuntaan, joskin näiden vaikutus niiden pienen määrän vuoksi on vähäinen. Normaalipuun puuaineksen ominaispainoksi saatu arvo vaikuttaa hieman liian alhaiselta, mutta itse ligniinin käsite on vielä niin hämärä ja sen kemiallinen kokoonpano niin tuntematon, että on mahdollista viimeksi mainitun ja vastaavasti ligniinin ominaispainonkin vaihtelu erilaisissa olosuhteissa kasvaneissa puissa sekä näiden eri osissa eri puulajeista puhumattakaan.

### Puun lujuusominaisuudet

Puun lujuuden riippuvuus kosteuspitoisuudesta puusyiden kyllästymiskosteuden alapuolella on luonnollista, koska soluseinämän rakenne on tiiviimmillään ja sen misellien väliset etäisyydet pienimmillään puun ollessa absoluuttisen kuiva ja koska tämän rakenne muuttuu sitä löysemmäksi ja misellien väliset etäisyydet sitä suuremmiksi, kunta enemmän vettä imeytyy soluseinämään, kunnes lopulta saavutetaan puusyiden kyllästymiskosteus, jota enempää soluseinämiin ei enää voi vettä imeytyä. Puun kosteus-pitoisuuden noustessa tätä suuremmaksi vesi alkaa varastoitua soluonteloihin eikä vaikuta siis enää puun lujuusominaisuuksiin (mm. HESS 1928, JALAVA 1933 ja FREY-WYSSLING 1953).

Käsillä olevan tutkimuksen yhteydessä suoritettiin vain puusyiden suuntaista puristuslujuutta ja kovuutta koskevia kokeita. Koska kaikkiin

kokeisiin käytettiin vain tuoreita koekappaleita, olivat saadut tulokset korjaamattomina suoraan toisiinsa nähden vertailukelpoisia. Seuraavassa käsitellään mainittujen lujuusominaisuuksien lisäksi muitakin sikäli kuin niitä on vetopuun osalta eri maissa tutkittu tai mikäli niistä voidaan tehdä päätelmiä nyt saatujen tutkimustulosten perusteella.

### *Puristuslujuus puusyiden suuntaan*

KUJALA (1946) totesi tuoreen sekä hies- että rauduskoivun puusyiden suuntaisen puristuslujuuden kasvavan ytimeistä pintaan päin ja olevan edellisellä pienemmän kuin jälkimmäisellä. JALAVA (1946) ilmoittaa lajiltaan määrittelemättömän tuoreen valtapuuoluokan koivun ko. lujuudeksi koko maata koskevana keskiarvona 212 kg/cm<sup>2</sup> ja ilmoittaa koepuita otetun koivun tavanomaisilta kasvupaikoilta. KLEM (1947) ilmoittaa rauduskoivun lujuudeksi tuoreena 230 kg/cm<sup>2</sup>. Eri tutkijoiden tuloksia toisiinsa verrattaessa on otettava huomioon mm. se, että käytettyjen koekappaleiden korkeuden suhteella niiden poikkileikkauksen sivun pituuteen on vaikutuksensa saatuun tulokseen siten, että lyhyet koekappaleet ovat lujempia puusyiden suuntaisessa puristuksessa kuin pitemmät (BAUMANN 1922 ja KOLLMANN 1951).

CLARKE (1933) ei todennut olevan selvää korrelaatiota saarnen vuosirenkaan vahvuuden ja puusyiden suuntaisen puristuslujuuden välillä puun ollessa tuore. Sen sijaan KOLLMANN (1951) sanoo saarnen sekä tuoreen että ilmakeivän puun puristuslujuuden kasvavan vuosilustojen vahvuuden lisääntyessä määrättyyn rajaan, noin 3 mm:iin saakka. Sen, että puun puristuslujuus ja tilavuuspaino ovat toisiinsa positiiivisessa korrelaatiiosuhteessa, ovat todenneet lukuisista puulajeista, sekä havu- että lehtipuista, mm. LASSILA 1926, CLARKE 1933, YLINEN 1942, JALAVA 1946 ja 1952, MATSUMOTO 1950, KOLLMANN 1951 ja VORREITER 1954. KOLLMANN (1951) sanoo hajaputkiloisten lehtipuiden puristuslujuuden maksimin olevan puun latvassa. Samanlaiseen tulokseen ilmakeivän kuusen puristuslujuudesta sen tilavuuspainon pysyessä samanakin on tullut mm. VORREITER (1954),

Että vetopuun puusyiden suuntainen puristuslujuus on pienempi kuin normaalipuun, ovat todenneet mm. JACCARD (1919), CLARKE (1936—37) pyökistä ja jalavasta, WARDROP ja DADSWELL (1948—49) useista australialaisista ja ONAKA (1949) japanilaisista lehtipuista, AKINS ja PILLOW (1950) mahongista sekä v. PECHMANN (1953) pyökistä. JACCARD tutki rauduskoivun tuoreiden oksien puusyiden suuntaista pu-

ristuslujuutta ja sai vahvasti epitrofisen oksan lujuudeksi yläpuolella 202 ja alapuolella 250 kg/cm<sup>2</sup>. Samansuuntaisiin tuloksiin hän tuli myös tamesta, pyökistä, lehmuksesta, hevoskastanjasta ja kanadalaisesta poppelista. CLARKE sanoo vetopuusolukon muodostumisen voimakkuudella olevan pyökissä luultavasti suuremman vaikutuksen puun lujuuteen kuin tilavuuspainolla ja sekä pyökin että jalavan tuoreen vetopuun olevan puusyiden suuntaisessa puristuksessa erittäin heikkoa tilavuuspainoon katsomatta.

Vetopuukoekappaleille ominaisesta nurjahtamisesta ja lysähtämisestä puusyiden suuntaisessa puristuksessa mainitsevat mm. CLARKE (1937) pyökistä sekä DADSWELL ja WARDROP (1948) *Eucalyptus regnans*'ista tekemiensä havaintojen perusteella. Näistä ensiksi mainittu sanoo nurjahtamisen olevan yleensä ominaista puille, joiden puristuslujuus on keskitasoa pienempi tiheyteensä verrattuna, ja viimeksi mainitut arvelevat vetopuun lysähtämisen johtuvan sen kuitujen seinämän erikoisesta kokoonpanosta.

Puristuslujuuden kohoamisen puun ligniinipitoisuuden lisääntyessä on todennut mm. CLARKE (1937) lukuisista lauhkean ja troopillisen vyöhykkeen havu- ja lehtipuista. Myös KLAUDITZ (1952) totesi tutkiessaan mm. pyökin, poppelin ja rauduskoivun tavallisen puun ja sellaisen puun, josta ligniini oli poistettu kemiallisin menetelmin, ns. holoselluloosapuun, puristuslujuutta, että ligniinin poistamisen vuoksi tuoreen puun puristuslujuus painui 14.8 %:iin alkuperäisestä. Sen sijaan puun ollessa kuiva hän ei todennut yleensä sanottavaa eroa tavallisen puun ja holoselluloosapuun puristuslujuuden välillä. Puusyiden seinämän misellaarisen orientoitumisen vaikutuksesta kemiallisen kokoonpanon ohella erilaisten puristusvikojen muodostumiseen niihin ja siten myös puristuslujuuteen on mainittu jo edellä pituuden suuntaisen kutistumisen yhteydessä s. 108 (mm. FREY-WYSSLING 1936 sekä WARDROP ja DADSWELL 1948).

Puun puristuslujuuden määrittämiseen käytettiin koekappaleita, joiden poikkileikkaus oli 2 × 2 cm ja korkeus 5 cm. Poikkileikkauspinnan tarkka suuruus määritettiin kustakin koekappaleesta noniuksella varustetulla mitalla, jolla ulottuvaisuudet voitiin mitata 0.1 mm:n tarkkuudella. Koekappaleiksi hyväksyttiin silmämääräisesti arvosteltuna vain mahdollisimman virheettömät, terveet, oksattomat ja suorasyiset koekappaleet.

Koepuupölkkyt säilytettiin veteen upotettuina koekappaleiden valmistamiseen saakka ja samoin koekappaleet niiden lujuuden määrittämiseen saakka, kuten meneteltiin myös kutistumista koskevien tutkimusten yhteydessä.

Koekappaleiden lujuus määritettiin Amsler & Co:n aineenkoetuskooneella kuorman lisäyksen ollessa noin 20 kg minuutissa. Kuormitusnopeudenhan on todettu vaikuttavan saatavaan tulokseen siten, että sen kohotessa puristuslujuus myös kasvaa ainakin kuormitusnopeuden liikkua rajoissa 5–150 kg/cm<sup>2</sup> minuutissa (KOLLMANN 1951). Tässä tutkimuksessa tuli kuormitusnopeudeksi keskimäärin vain 5 kg/cm<sup>2</sup> minuutissa. Puristusta jatkettiin niin kauan, kunnes kappale murtui ja kuormituksen suuruutta osoittava osoitin alkoi lopullisesti palautua alkuasentoonsa. Täten määritettiin vain maksimikuorma 5 kg:n tarkkuudella seuraamatta yksityiskohtaisesti eri kuormituksia vastaavan painuman suuruutta ja laskettiin koekappaleen poikkileikkauksen cm<sup>2</sup> kohden.

Puristuslujuustutkimukset kohdistuivat runkopuun osalta kaikkiaan 58 hies- ja 30 rauduskoivuun, joista edellisen normaalipuusta tehtiin 542 ja vetopuusta 676 koetta vastaavien määrien ollessa jälkimmäisen osalta 221 ja 280. Yhteensä suoritettiin näin ollen 1 719 koetta.

Tutkimusten tulokset esitetään rungon 2 m:n pituista tyviosaa koskevina, josta melkein kaikki koekappaleet otettiin, taulukossa 63, erikseen niistä koekappaleista, jotka otettiin puun poikkileikkauksen kehältä keski-osasta, siis sen pystysuoran halkaisijan kohdalta (aineisto a) ja erikseen niistä, jotka otettiin poikkileikkauksen reunaosista (aineisto b).

Tyypillisten vetopuukoekappaleiden todettiin puristuksessa usein nurjahtavan omituisesti kokoon lysähtäen, lysähtämisen ollessa kuormituksen tultua riittävän suureksi äkillinen ja lopullinen, ts. koekappale jäi puristuksen lopettamisen ja kuivumisen jälkeenkin nurjahtaneen ja mutkikkaan muotoiseksi. Muodon palautumattomuus täysin ennalleen todettiin keittämällä tällaisia koekappaleita vedessä noin kahden tunnin ajan, jolloin niiden alkuperäinen muoto palautui vain osittain nurjahtamiskohtaa osoittavan mutkan säilyessä, joskin heikompana kuin ennen keittämistä. Tästä vetopuulle ominaisesta ilmiöstä ovat maininneet mm. CLARKE (1937) ym.

Puun lujuuskokeita tehtäessä vertaillaan tavallisesti toisiinsa myös saman tilavuuspainon omaavien koekappaleiden lujuutta, koska eri lujuusominaisuuksien on yleensä todettu olevan positiivisessa korrelaatiosuhteessa tilavuuspainoon. Tällaista menetelmää ei vetopuun ollessa kyseessä ole mahdollista eikä tarkoituksenmukaistakaan noudattaa, koska puhtaan vetopuun tilavuuspaino on aivan eri suuruusluokkaa kuin normaalipuun. Jos vetopuuta koskevat lujuusarvot muunnettaisiin normaalipuun tilavuuspainoja vastaaviksi laskennollista tietä, tulisi näiden eri puulaatujen puristuslujuuksien ero vielä räikeämmin esille, kuten myöhemmin esitettävistä Jankan laatuosamääräistäkin ilmenee.

Taulukosta 63 ilmenee, että tuoreen vetopuun puusyiden suuntainen puristuslujuus on sekä hies- että rauduskoivulla kaikilla kasvupaikoilla huomattavasti pienempi kuin normaalipuun edellisen puristuslujuuden ollessa 86—93 % jälkimmäisen lujuudesta, joten saatu tulos sopii yhteen lukuisien em. tutkijoiden muista puulajeista tekemien havaintojen kanssa.

Verrattaessa toisiinsa normaali- ja vetopuusta saatuja lujuusarvoja tyypillisissä normaali- ja vetopuuvyöhykkeissä (aineisto a) ja reunaosissa (aineisto b) huomataan, että reunaosista otetut koekappaleet ovat olleet keskimäärin lujempia kuin keskeltä otetut. Vetopuun osalta tämä johtuu ilmeisesti etupäässä siitä, että vetopuun muodostuminen on rungon käyrän tyviosan poikkileikkauksen ulko-osissa voimakkainta juuri yläpuolella, jota aineisto a edustaa, ja heikkenee asteittain sivuille mentäessä. Normaalipuun osalta tämän voidaan otaksua johtuvan ainakin osittain vuosilustojen erilaisesta vahvuudesta rungon alapuolella (aineisto a) ja sivuilla (aineisto b). Edellinen aineisto edustaa nimittäin huomattavasti jälkimmäistä ohuempilustoista puuainesta, jossa todettiin putkiloiden olevan yleensä huomattavasti lukuisampia kuin vahvoissa vuosilustoissa.

Kirjoittajan havainnot antavatkin aiheita epäillä, että molempien koivulajien normaalipuusta otettujen a-koekappaleiden tilavuuspaino on keskimäärin ehkä pienempi kuin b-kappaleiden (KOLLMANN 1951), joten edellisten pienempi puristuslujuus on kenties yhteydessä tämän seikan kanssa.

Sen selvittämiseksi, missä määrin puusyiden suuntainen puristuslujuus on riippuvainen puun vetopuupitoisuudesta, määritettiin sellaisista koekappaleista, joissa vetopuun esiintyminen oli selvästi rajoitettavissa, poikkileikkauksesta vetopuupitoisuus viiden prosentin tarkkuudella. Tulokset esitetään taulukossa 64.

Taulukosta ilmenee selvästi, että vetopuupitoisuuden lisääntyessä puusyiden suuntainen puristuslujuus pienenee verrattain säännöllisesti molemmilla koivulajeilla ja kaikilla kasvupaikoilla. Poikkeukselliset arvot johtuvat ilmeisesti koekappaleiden pienestä lukumäärästä a. vetopuupitoisuusluokissa. Silmämääräisesti arvosteltuna jokseenkin puhtaan vetopuun puristuslujuus näyttää olevan keskimäärin vain 60—75 % puhtaan normaalipuun puristuslujuudesta ja jo 5—10 %:n vetopuupitoisuus alentaa ko. lujuutta keskimäärin 5—10 %:lla. Tästä ilmenee, että koivun lujuustutkimuksia tehtäessä ja saatuja tuloksia ilmoitettaessa olisi yleensä kovin paikallaan samalla määrittää vetopuun esiintymisrunsaus koeaineistossa, sillä vain siten voidaan päästä toisiinsa nähden mahdollisimman vertailukelpoisiin tuloksiin. Sama pitää paikkansa myös koivun fysikaalisten

ominaisuuksien ja kemiallisen kokoonpanon selvittelyn suhteen. Puhtaan normaalipuun puusyiden suuntainen puristuslujuus vaihteli koko aineiston huomioon ottaen hieskoivun osalta 167—328 kg/cm<sup>2</sup> ja puhtaan vetopuun 118—208 kg/cm<sup>2</sup> vastaavien arvojen ollessa rauduskoivun normaalipuun osalta 188—298 kg/cm<sup>2</sup>, joten vaihteluvälit ovat laajat.

Puusyiden suuntaisen puristuslujuuden riippuvuus vetopuupitoisuudesta esitetään graafisesti molemmista koivulajeista erikseen kuvassa 45. Saadut pisteistöt, joissa kukin piste edustaa ko. vetopuupitoisuusluokkaan kuuluneiden koekappaleiden puristuslujuuden keskiarvoa, tasoitettiin suoralla viivalla noudattaen niitä periaatteita, jotka on mainittu edellä tilavuuspainon käsittelyn yhteydessä (s. 96). Rauduskoivun koekappaleista kuului vetopuupitoisuusluokkaan 85—90 % vain yksi, mikä selittää saadun lujuusarvon poikkeuksellisuuden.

Puusyiden suuntaisen puristuslujuuden riippuvuus vetopuupitoisuudesta esitetään lisäksi korrelaatiokertoimilla, joita laskettaessa käytettiin vetopuupitoisuuden luokkavälinä 5 % ja puristuslujuuden 5 kg/cm<sup>2</sup>, taulukossa 65. Tästä ilmenee, että vetopuupitoisuuden ja puristuslujuuden välillä vallitsee molemmilla koivulajeilla selvä negatiivinen korrelaatio, joka pyrkii ilmeisesti olemaan suoraviivainen. Yksityisten koepuiden osalta tämä on luonnollisesti vielä selvempi kuin puulajeittain ja metsätyypeittäin järjestetyissä ryhmissä, jotka ovat pakostakin jonkin verran epähomogeenisia.

Tuntuu todennäköiseltä, että sekä vetopuun omalaatuinen kemiallinen kokoonpano että sen puusyiden seinämän melkein kuidun pituusakselin suuntainen orientoituminen ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat suuresti vetopuun em. lysähtämiseen ja yleensäkin pieneen puusyiden suuntaiseen puristuslujuuteen. Puun kemiallisen kokoonpanon osalta on otettava huomioon, että eri puulajien vetopuu sisältää yleensä vähemmän ligniiniä kuin normaalipuu ja että juuri ligniinin tehtävänä on jäykistää soluseinää ja tukea sen fibrillejä, jonka tehtävänsä se suorittaa parhaiten täytätessään mahdollisimman täydellisesti soluseinämän ontelot (CLARKE 1937, WARDROP ja DADSWELL 1948, KLAUDITZ 1952 ym.).

Koska puun aseman metsikössä on havaittu vaikuttavan sen lujuusominaisuuksiin (mm. LASSILA 1926 ja JALAVA 1934), esitetään taulukossa 66 puusyiden suuntainen puristuslujuus molempien koivulajien sekä normaali- että vetopuusta metsätyypeittäin ja latvuserroksittain. Helsingin aineiston osalta on OMaT- ja OMT-mailla kasvaneet puut yhdistetty samoihin keskiarvoihin.

Sen osoittamiseksi onko koivulajien puusyiden suuntaisessa puristuslu-



juudessa eroa rungon tyviosan eri korkeuksilla, esitetään tutkimustulokset taulukossa 67 tätä silmällä pitäen laskettuina.

Taulukoista 63, 64, 66 ja 67 ilmenee, että rauduskoivun puusyiden suuntainen puristuslujuus on suurempi kuin hieskoivun sekä normaali- että vetopuun ollessa kyseessä. Niistä harvoista koekappaleista, jotka käsillä olevassa tutkimuksessa otettiin vertailun vuoksi puun sisemmistä osista, erikoisesti aivan ytimen läheltä, todettiin puristuslujuuden kasvavan normaalipuussa ytimeä pintaan päin. Saadut tulokset sopivat siis yhteen KUJALAN (1946) em. tutkimusten kanssa. Tämä on ilmeisesti yhteydessä puun tilavuuspainon vastaavan suurenemisen kanssa. Näin ollen olisi normaali- ja vetopuun puristuslujuuden erotus tullut puun eksentrisen kasvun vuoksi mahdollisesti vielä jonkin verran suuremmaksi kuin nyt saadut tulokset osoittavat, jos kokeet olisi voitu kohdistaa normaali- ja vetopuussa yhtä moneen vuosirenkaiseen puun pinnasta lukien. Niissä tapauksissa, joissa vetopuuvyöhyke sijaitsee puun sisäosissa tai aivan ytimen lähellä, mutta puuttui pintaosista, saatiin pintaosista otettujen koekappaleiden lujuuksi poikkeuksellisen paljon suurempia arvoja kuin sisäosista otettujen vetopuukoekappaleiden. Jos vetopuu muodosti sisäosiin ulottuvan selvän sektorin, todettiin puristuslujuuden myös siinä kasvavan ytimeä pintaan päin.

Verrattaessa hieskoivun normaalipuusta eri kasvupaikoilla saatuja tuloksia toisiinsa sekä taulukoissa 38 ja 40 ilmoitettuihin tilavuuspainoihin näyttävät puusyiden suuntainen puristuslujuus ja tilavuuspaino noudattavan pääpiirteissään yhteistä suuntaa. Niinpä Kuhmon hieskoivuista MT:llä kasvaneet ovat olleet keskimäärin selvästi lujimpia, ja rämeillä kasvaneiden suuri lujuus näiden suurta tilavuuspainoa vastaavasti herättää myös huomiota. Sen sijaan VT:llä ja korvissa kasvaneet koepuut osoittavat edellä mainittuja pienempiä lujuusarvoja. Helsingin hieskoivuaineiston puristuslujuus näyttää olevan jonkin verran pienempi kuin Kuhmon suunnilleen vastaavanlaisilla kasvupaikoilla näiden tilavuuspainojen keskinäistä suhdetta vastaavasti (taulukko 66), Helsingin korprien hieskoivuaineisto ja Kuhmon korprien rauduskoivuaineisto ovat niin pienet, ettei niistä saatujen tulosten perusteella voida tehdä mitään päätelmiä. Saadut tulokset sopivat siis yhteen lukuisien aikaisempien puun tilavuuspainon ja puristuslujuuden keskinäisen riippuvuuden todenneiden tutkimusten kanssa (mm. LASSILA 1926, YLINEN 1942 ja JALAVA 1952).

Taulukosta 66, joka edustaa tämänlaatuisiin tutkimuksiin tosin liian pientä ja hajanaista aineistoa, ilmenee, että vallitsevien latvuskerrosten puiden puusyiden suuntainen puristuslujuus on yleensä jonkin verran suu-

rempi kuin vallittujen, mutta tämä ei tule esille suinkaan poikkeuksettomasti, mikä johtunee ainakin osittain aineiston pienuudesta. Ylempien latvuskerrosten puuthan ovat yleensä nopeampikasvuisia ja niiden vuosilustot siis vahvempia kuin alempien, joten edellisten suurempi lujuus voi olla yhteydessä tämän seikan kanssa. Vetopuun osalta ei latvuskerroksen vaikutusta puun lujuuteen voida päätellä siinäkään määrin kuin normaalipuusta, koska vetopuun esiintymisrunsaus on ilmeisesti sitä vaikuttavampi tekijä. Taulukkojen 63 ja 66 lukuja ei voida suorastaan verrata toisiinsa, koska edellisessä normaali- ja vetopuu tarkoittavat puun eri puoliskoja, mutta jälkimmäisessä on sellaisia vetopuun puolelta otettuja koekappaleita, joissa ei ollut huomattavissa lainkaan vetopuuta, yhdistetty normaalipuun keskiarvoihin. Tällaisten koekappaleiden määrä oli tosin vähäinen.

Taulukosta 67 ilmenee selvästi, että molempien koivulajien sekä normaali- että vetopuun puusyiden suuntainen puristuslujuus kasvaa tyvestä ylöspäin mentäessä ainakin kahden metrin korkeuteen saakka. Sitä paitsi todettiin, että sanottu puristuslujuuden kohoaminen voi jatkua yleemmäksikin, koskapa Kuhmon rauduskoivun lujuuksi saatiin 4—5 m:n korkeudessa normaalipuun osalta 264 ja vetopuun 251 kg/cm<sup>2</sup> edellisen arvon perustuessa 9:ään ja jälkimmäisen 18:aan määritykseen. Puristuslujuuden kasvaminen rungon tyviosassa sanotussa suunnassa lienee normaalipuun osalta yhteydessä sen tilavuuspainon vastaavaan kohoamiseen (mm. WALLDÉN 1934, SAVINA ja PERELYGIN 1936). Vetopuun osalta tämä sen sijaan johtuu ilmeisesti pikemminkin siitä, että vetopuun esiintymisrunsaus puun pintaosissa vähenee samassa suunnassa (CLARKE 1936). Tämä käy selvästi ilmi verrattaessa toisiinsa normaali- ja vetopuun puristuslujuuksia eri korkeuksilla Kuhmon VT-maalta ja Helsingistä otetuissa hieskoivuaineistoissa, joissa normaali- ja vetopuun ljuuksien ero tulee sitä pienemmäksi, kuta ylemmäs mennään.

Paitsi runkopuusta, suoritettiin tosin vain pistokokeen luontoisesti muutamista Helsingissä Viikin koetilalla kasvavien sekä hies- että rauduskoivujen vahvoista 2—3 metrin korkeudella olleista vaakasuorista alaokista myös puusyiden suuntaisia puristuslujuuskokeita tuoreessa tilassa. Kaikki puut kasvoivat OMT-maalla metsikön valtapuina. Koekappaleet otettiin toisiaan vastaavilta kohdilta oksan ylä- ja alapuolelta noin puolen metrin matkalta oksan tyvestä lukien. Koska kaikkiaan suoritettiin vain 77 koetta, katsottiin parhaaksi yhdistää hies- ja rauduskoivusta saadut arvot samoihin keskiarvoihin. Oksien pienen läpimitan vuoksi oli usein pakko tyytyä runkopuusta otettuja pienempiin koekappaleisiin, mutta

kappaleen korkeuden suhde läpimittaan pidettiin aina muuttumattomana. Koska molemmista puulajeista otettiin suunnilleen saman verran koekappaleita, rauduskoivusta hieman enemmän, edustavat näin saadut lujuusarvot jokseenkin molempien koivulajien oksien puristuslujuuden keskiarvoa. Tulokset esitetään taulukossa 69.

Koska oksissa esiintyy vetopuuta vaihtelevasti sen eri puolilla, sitä oli jonkin verran myös useimmissa alapuolelta otetuissa koekappaleissa, ja koska sen paljouden tarkka määrittäminen ei ollut yleensä sen pienien yhtenäisten vyöhykkeiden ja hajallisuuden vuoksi mahdollista, tyydyttiin siihen, että koekappaleiden päätyleikkauksista arvioitiin vetopuun runsaus käyttämällä sen luonnehtimiseen mainintoja hieman, huomattavasti ja runsaasti. Taulukossa 70 esitetään vetopuun runsauden vaikutus oksien puusyiden suuntaiseen puristuslujuuteen tällaista luokitusta käyttäen.

Taulukosta 69 ilmenee, että koivun oksissa on yläpuolen puun, vetopuun, puusyiden suuntainen puristuslujuus keskimäärin jonkin verran pienempi kuin alapuolen normaalipuun ja taulukosta 70, että puun puristuslujuus on sitä pienempi, kun suurempi sen vetopuupitoisuus on. Koekappaleiden, joissa ei ollut lainkaan vetopuuta, puristuslujuus vaihteli 264–279 kg/cm<sup>2</sup> ja sellaisten, joissa sitä oli runsaasti, 174–230 kg/cm<sup>2</sup>. Saadut tulokset sopivat hyvin yhteen JACCARD'in (1909) em. tutkimusten kanssa.

Koekappaleiden jakautumisesta eri vetopuupitoisuusluokkien kesken nähdään, että silmämääräisesti arvosteltuna todella puhtaiden normaali-koekappaleiden määrä oli kovin vähäinen koekappaleiden kokonaismäärään ja oksan alapuoleltakin otettujen määrään verrattuna, viimeksi mainitustakin vain noin kymmenesosa. Tämä puolestaan osoittaa, että oksissa vetopuuta muodostuu vaihtelevasti niiden eri puolille varsinkin silloin, kun oksa on vielä ohut ja herkkä erilaisille ulkopuolisille vaikutuksille, kuten edellä jo on mainittu.

On selvää, että jos tahdotaan saada kuva itse puuaineksen puristuslujuudesta sen tilavuuspainoon verrattuna, jota voitaisiin sanoa vaikkapa sen suhteelliseksi puristuslujuudeksi, olisi sekä puristuslujuus että tilavuuspaino määritettävä absoluuttisen kuivana. Koska puu hygroskooppisena ei tavallisissa oloissa ole kuitenkaan koskaan absoluuttisen kuiva, määritetään tämä ns. laatuosamäärä tavallisesti 15 %:n kosteuspitoisuutta vastaavana, siis ns. ilmakuivana (HADEK ja JANKA 1900).

WALLDÉN (1933) tuli siihen tulokseen, että männyn laatuosamäärä on melko lähellä vakiota eri tilavuuspainoluokissa kosteuspitoisuuden pyydessä samana. Tämä on luonnollisesti seuraus siitä, että puun tilavuuspainon kasvaessa sen puristuslujuus kasvaa suunnilleen samassa suhteessa.

Taulukossa 68 esitetään Jankan laatuosamäärän vaihtelu koivun runkopuun vetopuupitoisuuden vaihdella. Laatuosamäärät laskettiin kaavasta

$$q_J = \frac{k_{35+}}{s_0},$$

jossa  $q_J$  = Jankan laatuosamäärä,  $k_{35+}$  = puusyiden suuntainen puristuslujuus kg/cm<sup>2</sup> tuoreesta aineistosta määritettynä ja  $s_0$  = tilavuuspaino g/cm<sup>3</sup> uunikuivana.

Tällaista laatuosamäärän määrittämenetelmää vastaan, jossa puun puristuslujuutta ja tilavuuspainoa ei ole määritetty samaa kosteuspitoisuutta vastaavina, voidaan tehdä lukuisiakin huomautuksia (mm. WALLDÉN 1933). Jos laatuosamäärät olisi määritetty jotakin puusyiden kyllästymiskosteuden yläpuolella olevaa määrättyä kosteuspitoisuutta vastaavina myös tilavuuspainon osalta, olisi luonnollisesti saatu laatuosamääräksi huomattavasti alhaisempia arvoja kuin nyt käytetyllä menetelmällä, mutta normaali- ja vetopuun laatuosamäärien keskinäistä suhdetta, jota tässä on tarkoitettu vertailla, se ei olisi oleellisesti muuttanut. Normaali- ja vetopuun hygroskooppinen tilavuuden kutistuminen ja paisuminen poikkeavat niin vähän toisistaan, ettei se olisi sanottavasti vaikuttanut niiden laatuosamäärien keskinäiseen suuruussuhteeseen.

Taulukkoja 64 ja 68 toisiinsa verrattaessa ilmenee, että vetopuun heikommuus normaalipuuhun verrattuna tulee laatuosamäärissä vielä selvemmin esille kuin itse puusyiden suuntaista puristuslujuutta koskevissa arvoissa. Tämä onkin luonnollista, koska vetopuun tilavuuspaino on suurempi kuin normaalipuun. Laatuosamäärien suuruuksien keskinäinen suhde eri vetopuupitoisuusluokissa on sama kuin eri vetopuupitoisuusluokkiin kuuluvien koekappaleiden puristuslujuuksien, kun nämä muunnetaan puhtaan normaalipuun tilavuuspainoja vastaaviksi, edellyttäen, että tilavuuspainon ja puristuslujuuden välillä vallitsee suoraviivainen korrelaatio. Silmämääräisesti arvosteltuna puhtaan vetopuun laatuosamäärä on ilmeisesti vain noin 55–65 % puhtaan normaalipuun laatuosamäärästä.

Eri kasvupaikoilla kasvaneiden puiden laatuosamääriä niiden puristuslujuuksiin verrattaessa pitää erikoisesti silmään Kuhmon hieskoivun korpiaineisto, josta edellisten arvoiksi on saatu suurempia lukuja kuin muilla kasvupaikoilla normaalipuusta ja puusta, jonka vetopuupitoisuus on pieni, ja tämän ollessa suurikin on korpiaineiston laatuosamäärä muiden kasvupaikkojen aineistoihin verrattuna huomattavasti edullisempi kuin puris-

tuslujuus. Täten, vaikka korpikoeuiden puusyiden suuntainen puristuslujuus osoittautui yleensä pienemmäksi kuin muilta kasvupaikoilta otettujen sekä hies- että rauduskoivujen, niiden puristuslujuus tilavuuspainonsa verrattuna ei ole suinkaan epäedullinen normaalipuun tai sitä lähentelevän puun osalta pienen tilavuuspainon vuoksi. Samasta syystä Helsingin rauduskoivuaineisto osoittautuu laatuosamäärässään normaalipuun tai vähän vetopuuta sisältävän puun osalta vielä selvemmin muita ryhmiä edullisemmaksi kuin puristuslujuudessaan. Muuten hies- ja rauduskoivun laatuosamäärät keskinäisessä suhteessaan ja eri kasvupaikoilla noudattavat yleensä samaa suuntaa kuin puristuslujuudetkin.

Siitä, vaikuttaako puun kuivuminen samassa suhteessa sekä normaali- että vetopuun puusyiden suuntaista puristuslujuutta kohottavasti ts. onko normaali- ja vetopuun puristuslujuuksien suhde kuivana sama kuin tuoreena, on kirjoittaja tavannut joitakin mainintoja kirjallisuudessa. MARRAN (1942) sokerivaahtera koskevien tutkimusten mukaan sen sekä veto- että lylypuun lujuusominaisuudet ovat yleensä huonommat kuin normaalipuun sekä tuoreena että ilmakeivana kuitenkin niin, että vetopuun lujuus kasvaa tuoreesta ilmakeivaksi suhteellisesti enemmän kuin normaali- ja lylypuun. Hänen mukaan ilmakeivan vetopuun puusyiden suuntaisen puristuslujuuden suhde normaalipuun lujuuteen on 1.02 ja lylypuun 1.12, jonka mukaan molempien lujuus olisi hieman normaalia suurempi. DADSWELL ja WARDROP (1949) sanovat eräiden australialaisten lehtipuiden vetopuun olevan tilavuuspainonsa verrattuna myös ilmakeivana heikompaa kuin normaalipuun puusyiden suuntaisessa puristuksessa eron ollessa kuitenkin paljon pienempi kuin tuoreena. Ilmeisesti myös ONAKA (1949) tuli lukuisien japanilaisten lehtipuiden ilmakeivan vetopuun puristuslujuudesta samansuuntaisiin tuloksiin kuin viimeksi mainitutkin tutkijat. Edellisen perusteella näyttää todennäköiseltä, että vetopuu ei eroa normaalipuusta puusyiden suuntaisessa puristuksessa ainakaan niin paljon epäedukseen alemmissa kosteusasteissa kuin tuoreena, mihin viittaa sekin, että useat tutkijat mainitsevat vetopuun tunnusmerkiksi sen epänormaalin pienen puristuslujuuden nimenomaan tuoreena.

Suoritetut tutkimukset osoittavat, että molempien koivulajien vetopuun puusyiden suuntainen puristuslujuus on tuoreena huomattavasti pienempi kuin normaalipuun ja että vetopuupitoisuuden ja mainitun lujuuden välinen negatiivinen korrelaatio pyrkii olemaan suoraviivainen, kuormitettaessa vetopuu nurjahtaa usein äkillisesti kokoon lysähtäen, rauduskoivun lujuus on suurempi kuin hieskoivun, puristuslujuus suurenee ilmeisesti ytimeistä pintaan päin ja tyviosassa myös tyvestä ylöspäin mentäessä,

eri kasvupaikoilla kasvavien puiden lujuus noudattaa pääpiirteissään samaa suuntaa kuin niiden tilavuuspainotkin, vallitseviin latvuserroksiin kuuluvien puiden lujuus lienee jonkin verran suurempi kuin vallittujen ja että ilmakeivan vetopuun puristuslujuus ei ehkä ole ainakaan paljoa heikompi kuin normaalipuunkaan, mikäli kuivattaminen vaikuttaa myös koivun vetopuun lujuuteen suhteellisesti edullisemmin kuin normaalipuun, jollaiseen tulokseen on tultu ulkomailla eräistä puulajeista.

### Kovuus

MÖRATH (1932) huomasi, että puun tilavuuspainon kasvaessa ero puusyiden suuntaisen ja sivuilta määritetyn kovuuden välillä suhteellisesti pienenee seurauksena soluonteloiden pienenemisestä. Hänen mukaan on rauduskoivun kovuus sekä tuoreena että kuivana pituussuunnassa huomattavasti suurempi kuin sivusuunnassa ja tangentin suuntaisen sivun kovuus hieman suurempi kuin säteen suuntaisen erotuksen viimeksi mainittujen välillä ollessa sitä pienempi, kun taas suurempi on puun kosteuspitoisuus. Hän totesi myös kaikilla puulajeilla sivukovuuden alenevan puun kosteuspitoisuuden kasvaessa suhteellisesti paljon vähemmän kuin pituuden suuntaisen. Sen, että tangentin suuntaisen pinnan kovuus on yleensä suurempi kuin säteen suuntaisen, hän arvelee johtuvan ydinsäteistä. Myös TRENDELENBURG (1933) ja YLINEN (1943) mainitsevat, että puun tilavuuspainon kasvaessa sen kapillaarisen rakenteen vaikutus kovuuteen eri suunnissa tulee vähäisemmäksi ja puun rakenne siis homogeenisemmaksi.

JALAVA (1946) sai lajiltaan määrittelemättömän tuoreen koivun kovuudeksi koko maassa puusyiden suunnassa ja säteen suuntaiselta sivulta 261 kg/cm<sup>2</sup> ja tangentin suuntaiselta sivulta 284 kg/cm<sup>2</sup>. Sen sijaan ilmakeivan koivun kovuuden hän totesi olevan suurimman puusyiden suunnassa ja pienimmän säteen suuntaisista pinnoista määritettynä, jollaisen myös havupuiden kovuuden eri suunnissa on todettu yleensä olevan kaikissa kosteusasteissa (mm. JALAVA 1946 ja KOLLMANN 1951). Eri puulajien kovuuden on todettu yleensä kasvavan jyrkästi tilavuuspainon kohotessa (mm. MÖRATH 1932, YLINEN 1943 ja MAYER-WEGELIN 1951). JANKAN (1915) mukaan rauduskoivun kovuus on suurempi kuin hieskoivun.

MARRAN (1942) tutkimusten mukaan ilmakeivan sokerivaahteran vetopuun sivukovuuden eli puusyitä vastaan kohtisuoran kovuuden suhde normaalipuun kovuuteen on 0.87 ja lylypuun 0.99.

Koivun kovuuden tutkimiseen käytettiin koekappaleita, joiden pituus oli 10 cm ja poikkileikkaus keskimäärin  $4 \times 4$  cm. Näitä otettiin molempien koivulajien rungon pintapuusta.

Kustakin koekappaleesta tehtiin tuoreena kuusi koetta, yksi molemmista päistä sekä kaksi tangentin ja säteen suuntaiselta sivulta. Kovuuden määrittämisessä käytettiin Brinellin-Jankan menetelmää, jonka mukaan poikkileikkaukseltaan  $1 \text{ cm}^2$ :n suuruinen teräskuula painettiin puuhun säteensä verran ja luettiin tähän tarvittava voima kilon tarkkuudella suoraan maksimiosoitajasta. Kuormitusnopeus oli 15 kg/min.

Vetopuun puolelta valittiin koekappaleiksi vain sellaisia, joissa vetopuu esiintyi riittävän leveinä yhtäjaksoisina vyöhykkeinä, jotta todella olisi saatu sitä edustavia lujuusarvoja, ja näille otettiin rinnakkaiskoekappaleet normaalipuun puolelta. Kaikki rinnakkaiskokeet pyrittiin kohdistamaan mahdollisuuksien mukaan toisiaan vastaaviin vuosirengasvyöhykkeisiin, mikä ei luonnollisestikaan ollut täysin mahdollista vuosilustojen erilaisen vahvuuden vuoksi normaali- ja vetopuun puolella.

Tämän kaltaisiin kovuustutkimuksiin pitäisi käyttää jonkinlaista herkkää mikrokovuuskoetinta, jota käyttämällä voitaisiin kokeet eri suunnissa sekä normaali- että vetopuun puolella kohdistaa tarkoin toisiaan vastaaviin vuosilustoihin ja miten pienialaisiin vetopuuvyöhykkeisiin tahansa. Tällöin puuhun painettava esine ei saa olla poikkileikkaukseltaan niin suuri kuin nyt käytetty, vaan mieluummin teräsneula, jota painetaan esimerkiksi vakiovoimalla puuhun ja luetaan painuman suuruus tai päinvastoin. Tämän kaltaisia laitteita onkin konstruoitu (mm. MAYER-WEGERLIN 1951 ja TRENDELENBURG 1955).

Kaikkiaan suoritettiin hieskoivun normaalipuusta 882 ja vetopuusta 978 koetta vastaavien määrien ollessa rauduskoivun osalta 240 ja 276 näiden jakautuessa tasan erisuuntaisten kovuuskokeiden kesken. Kovuuskokeiden yhteismäärä nousi näin ollen 2376:een eli 792 koetta kussakin suunnassa. Tutkimus kohdistui kaikkiaan 27 hies- ja 11 rauduskoivuun. Tulokset esitetään taulukossa 71 rungon 2 m:n pituista tyviosaa koskevinä.

Tästä ilmenee, että sekä hies- että rauduskoivun vetopuun kovuus on kaikilla kasvupaikoilla ja kaikissa suunnissa pienempi kuin normaalipuun, vaikka edellinen tuntuu poikkileikkauksessa teräaseella koeteltaessa selvästi kovemmalta kuin jälkimmäinen, kuten aikaisemmin jo mainittiin. Tuoreen vetopuun kovuutta koskevia tutkimustuloksia ei kirjoittaja ole kirjallisuudessa tavannut. Saatu tulos sopii siis yhteen MARRAN (1942) em. ilmakuivasta sokerivaahterasta tekemien havaintojen kanssa. Veto-

puun normaalia pienemmän kovuuden voitaneen ainakin osittain katsoa johtuvan sen normaalia pienemmästä ligniinipitoisuudesta, josta puristuslujuudenkin on todettu riippuvan, sekä myös vetopuusyiden seinämän misellaarisesta orientoitumisesta etenkin puusyiden suuntaisen kovuuden osalta.

Tutkimusta vetopuupitoisuuden vaikutuksesta puun kovuuteen ei luonnollisesti voitu suorittaa, koska teräskuula, jota puuhun painettiin, oli poikkileikkaukseltaan niin pieni, ettei eri vetopuupitoisuusluokkia edustavien pintojen sovittaminen kulloinkin tutkittavalle alalle ollut mahdollista.

Verrattaessa toisiinsa kovuutta eri suunnissa näyttää tangentin suuntaisten pintojen kovuus olevan sekä normaali- että vetopuussa molemmilla koivulajeilla yleensä suurin ja säteen suuntaisten pienin puusyiden suuntaisen kovuuden ollessa niiden väliltä. Normaalipuussa ei tangentin suuntaisten pintojen ja puusyiden suuntaisella kovuudella ole ilmeisesti suurta eroa, mutta vetopuussa tämä on yleensä huomattavampi. Se, että saadut kovuusarvot ovat huomattavasti alhaisemmat kuin JALAVAN (1946) tutkimukset osoittavat, voi johtua osaltaan siitä, että nyt tehtiin kokeita vain puun lyhyestä tyviosasta. Sitä paitsi JALAVAN koepuuaineisto kuului valtapuuluokkaan. Hieskoivun normaali- ja vetopuusta saadut lujuusarvot viittaavat siihen suuntaan, että tilavuuspainolla ja puun tiiviydellä on vaikutuksensa puun kovuuksien keskinäiseen suhteeseen poikittaisessa ja pituussuunnassa (mm. MÖRATH 1932, TRENDELENBURG 1932 ja YLINEN 1943), koskapa vetopuussa ero puusyiden suuntaisen sekä tangentin ja säteen suuntaisilta sivuilta määritettyjen kovuuksien keskiarvon välillä on mitätön, mutta normaalipuussa se on huomattava. Rauduskoivussa tämä ei kuitenkaan tullut näkyviin, mutta tutkimusaineisto on sen osalta paljon pienempi kuin hieskoivusta.

Kun kovuustutkimusten tulokset järjestettiin siten, että eri latvuskerrosten puut pidettiin erossa toisistaan, ei sillä, mihin latvuskerrokseen puu kuului, todettu olevan mitään suunnaltaan varmaa vaikutusta sen kovuuteen enempää hies- kuin rauduskoivullakaan.

Taulukosta 72 ilmenee, että molempien koivulajien sekä normaali- että vetopuun kovuudella on rungon tyviosassa pyrkimys kasvaa tyvestä ylöspäin mentäessä. Tällaiseen tulokseenhan tultiin vielä selvemmin puusyiden suuntaisesta puristuslujuudesta. Tämä on ilmeisesti ainakin normaalipuun osalta yhteydessä puun tilavuuspainon vastaavan kohoamisen kanssa (mm. YLINEN 1943). Vetopuun osalta kovuuden suureneminen ylöspäin mentäessä ei tule niin selvänä esille kuin puristuslujuuskokeissa, koska

kovuuskokeissa voitiin koe useimmiten kohdistaa kokonaisuudessaan vetopuuvyöhykkeeseen kuulan pienen poikkileikkauksen vuoksi, mikä oli puusyiden suuntaisessa puristuksessa verrattain harvoin mahdollista. Täten ei vetopuun heikkeneminen ja esiintymisrunsauden väheneminen ylöspäin mentäessä tule kovuuskokeiden tuloksissa näkyviin siinä määrin kuin puusyiden suuntaisessa puristuksessa.

Verrattaessa toisiinsa molempien koivulajien normaalipuun kovuuksia eri metsätyypeillä taulukoista 71 ja 72 näyttää ilmeiseltä, että ne noudattavat pääpiirteissään samaa suuntaa kuin puusyiden suuntaiset puristuslujuudetkin. Kuhmon hieskoivun MT- ja etenkin rämeaineistosta saatiin selvästi suuremmat kovuusarvot kuin VT- ja korpiaineistoista edellisten suurempaa tilavuuspainoa vastaavasti.

Verrattaessa toisiinsa hies- ja rauduskoivun kovuutta osoittaa Kuhmon VT-aineisto, jolta tyypiltä myös suurin osa rauduskoivuista otettiin, sekä normaali- että vetopuun osalta, että rauduskoivun kovuus on kaikissa suunnissa suurempi kuin hieskoivun (myös JANKA 1915). Helsingin aineisto, joka on liian niukka luotettavaan vertailuun tässä suhteessa, osoittaa päinvastaista suuntaa. Puusyiden suuntaisessa puristuksessa todettiin rauduskoivu hieskoivua lujemmaksi molemmista aineistoista.

#### *Muut lujuusominaisuudet*

##### **Puristuslujuus puusyitä vastaan kohtisuoraan**

MARRA (1942) tuli siihen tulokseen, että sokerivaahteran ilmakuivan vetopuun puusyitä vastaan kohtisuoran puristuslujuuden suhde normaalipuun vastaavaan arvoon on 0.96 ja lyllypuun 1.02, joten hän totesi vetopuun olevan hieman normaalipuuta heikompaa.

Puusyiden suuntaista puristuslujuutta ja kovuutta koskevien tutkimustulosten perusteella voidaan päätellä, että koivun vetopuun puristuslujuus myös puusyitä vastaan kohtisuoraan on pienempi kuin normaalipuun. Osoittavathan nimenomaan vetopuun sivukovuudesta saadut tulokset erikoisesti tähän suuntaan. Ilmeisesti vetopuun normaalia pienempi ligniinipitoisuus vaikuttaa samaan suuntaan olipa puristuksen suunta mikä tahansa (mm. CLARKE 1937 sekä RÜNGER ja KLAUDITZ 1953). Puhuessaan vetopuun normaalipuuhun verrattuna pienemmästä puristuslujuudesta eivät jotkut tutkijat erotakaan toisistaan syiden suuntaista ja niitä vastaan kohtisuoraan puristuslujuutta (mm. CHOW 1946 ja ONAKA 1949).

Koska vetopuulle tunnusmerkillisenä ominaisuutena mainitaan kuitenkin useimmiten vain sen heikkous puusyiden suuntaisessa puristuksessa, on ilmeistä, ettei vetopuu yleensä eroa puusyitä vastaan kohtisuorassa puristuksessa normaalipuusta epäedukseen läheskään samassa määrässä. Tämä onkin ymmärrettävissä sen perusteella, mitä FREY-WYSSLING (1936) sekä WARDROP ja DADSWELL (1948) sanovat vetopuun syiden seinämän misellaarisen orientoitumisen ja pienen ligniinipitoisuuden vaikutuksesta sen puristuslujuuteen (ss. 108 ja 124).

##### **Vetolujuus syiden suuntaan**

Että tuoreen vetopuun puusyiden suuntainen vetolujuus on vain vähän, jos lainkaan suurempi kuin normaalipuun, kun otetaan huomioon näiden tilavuuspainojen erotus, ovat todenneet CLARKE (1937) ja CHOW (1946) pyökistä. RÜNGER ja KLAUDITZ (1953) sekä KLAUDITZ ja STOLLEY (1955) totesivat lukuisista poppelilajeista, että tuoreen vetopuun vetolujuus ei ole ainakaan suurempi kuin normaalipuun, pikemminkin päinvastoin. Niinpä RÜNGER ja KLAUDITZ (1953) ilmoittavat poppelin oksan vetopuun vetolujuudeksi 544 ja normaalipuun 654 kg/cm<sup>2</sup> sekä runkokuun osalta vastaavasti 410 ja 540 kg/cm<sup>2</sup>.

METZGER (1908) sanoo mm. tammen, pyökin, saarnen, vaahteran ja koivun yläpuolen puun olevan korkealuokkaisen vetolujuutta rakennusainetta. Että vetopuun puusyiden suuntainen vetolujuus on suurempi kuin normaalipuun, ovat todenneet ilmakuivasta puusta mm. CLARKE (1937) pyökistä, ONAKA (1949) lukuisista japanilaisista lehtipuista sekä RÜNGER, KLAUDITZ ja STOLLEY (1953 ja 1955) poppelilajeista. Niinpä CLARKE sai pyökin normaalipuun vetolujuudeksi 1392 ja vetopuun 1533 kg/cm<sup>2</sup>, kun molempien tilavuuspaino oli 0.62. Mm. YLINEN (1942) ja KOLLMANN (1951) ovat todenneet puun vetolujuuden ja tilavuuspainon olevan suoraviivaisessa positiivisessa korrelaatiiosuhteessa toisiinsa, mutta CLARKE (1937) ei todennut tällaista korrelaatiota pyökin enempää normaali- kuin vetopuustakaan. RÜNGER ja KLAUDITZ (1953) sanovat vetopuun vetolujuuden olevan ilmakuivana samassa suhteessa normaalipuun vetolujuutta suuremman kuin edellisen selluloosapitoisuus on jälkimmäistä suurempi, saaden nuoren poppelin rungon normaalipuun lujuudeksi 770 ja vetopuun 1270 kg/cm<sup>2</sup>. Puun kuivattaminen vaikuttaa siis ilmeisesti paljon enemmän veto- kuin normaalipuun lujuutta kohottavasti, jonka suuntaiseen tulokseen on tultu myös puusyiden suuntaisesta puristuslujuudesta, kuten edellä mainittiin.

Koska puun rakennusaineista nimenomaan selluloosalla on todettu olevan mm. sen ketjumolekylaarisen rakenteen vuoksi suuren vetolujuuden ja koska paitsi sitä, että vetopuun selluloosapitoisuuden todettiin olevan normaalia suuremman, selluloosan molekylaarisen orientoitumisen todettiin olevan vetopuusyiden seinämissä lisäksi enemmän niiden pituusakselin suuntaisen kuin normaalipuusyissä, olisi tämän perusteella odotettavissa, että vetopuun syiden suuntainen vetolujuus on suurempi kuin normaalipuun sekä tuoreena että ilmakuivana.

KLAUDITZ ja STOLLEY (1955) totesivat, että kun poppelin tuoreesta vetopuusta otettuja ohuita pitkittäisleikkauksia vedetään kuitujen suuntaan, kunnes ne menevät poikki, vetopuusyiden tertiäriset seinämäkerrokset eivät murrukaan, vaan irroittautuvat sekundäärisestä seinämästä ja pistävät esiin murtuneesta soluseinämästä vahingoittumattomana, kuituisena muodostumana. Tämän he katsovat todistavan, että tertiäärinen kerros ei ole kiinteässä yhteydessä sekundärisen seinämän kanssa eikä osallistu vedon aiheuttaman rasituksen kantamiseen. Puun ollessa ilma-kuiva he sen sijaan totesivat vetopuusyiden tertiärisen kerroksen olevan kiinteässä yhteydessä sekundärisen seinämän kanssa ja murtuvan pitkittäisvedossa yhdessä muiden seinämäkerrosten kanssa sekä osallistuvan vedon aiheuttaman rasituksen kantamiseen tavalliseen tapaan.

KLAUDITZ (1952) totesi mm. rauduskoivun, pyökin ja poppelin vetolujuutta normaalipuusta ja holoselluloosapuusta, josta ligniini oli poistettu, määrittäessään, että holoselluloosapuun vetolujuus tuoreena oli vain 12.6 % alkuperäisestä. Tämä viittaa siihen, että vetopuun normaalipuuhun verrattuna pienemmällä ligniinipitoisuudella voi olla haitallisia vaikutuksia myös sen vetolujuuteen tuoreena. Kuivana KLAUDITZ totesi holoselluloosapuun vetolujuuden olevan vielä huomattavasti suuremman kuin normaalipuun.

Mainitut tutkimukset näyttävät siis viittaavan siihen, että vetopuun vetolujuus on vain alemmissa kosteusasteissa suurempi kuin normaalipuun, jolloin ero vetopuun hyväksi onkin erittäin selvä, mutta tuoreena päinvas- toin pienempi kuin normaalipuun, joskaan ero ei ole tällöin yhtä jyrkkä. Todennäköisesti tämä pitää paikkansa koivulajienkin suhteen.

#### Taivutuslujuus

Tasaisessa taivutuksessa koekappaleen puusyitä vastaan kohtisuoraan joutuu koekappaleen yläpuoli puristus- ja alapuoli vetojännitysten alaiseksi, joten taivutuslujuus on puristus- ja vetolujuuden yhdistelmä. Pu-

ristus- ja vetojännitysten alaisten vyöhykkeiden väliin jää ns. neutraalinen taso, jossa puu ei ole puristuneessa eikä venyneessä tilassa, joten sen pituudessa ei taivutettaessa ole tapahtunut mitään muutosta (REECE 1949). On kuitenkin todettu, että neutraalinen taso ei pysy kappaleen keskiakselin kohdalla, vaan painuu lähemmäksi venytettyä sivua (mm. DUHAMEL DU MONCEAU 1758).

On ilmeistä, että niin kauan kuin taivutettava kappale pysyy tasapainossa ja siis sen lujuutta ei ole ylitetty, yläpuolen puristus- ja alapuolen vetojännitykset ovat yhtäsuuret. Sitä paitsi on ilmeistä, että puristuminen ja venyminen ovat samalla etäisyydellä neutraalisesta akselista yhtäsuuret ja että jännitykset kasvavat tästä mitatun etäisyyden kasvaessa ollen suurimmillaan taivutetun kappaleen ylä- ja alareunassa (REECE 1949). Tästä ilmenee, että koska neutraalinen akseli sijaitsee lähempänä venytettyä ala- kuin puristettua yläreunaa, puristusjännitykset ovat jälkimmäisessä ainakin jonkin verran suuremmat kuin vetojännitykset edellisessä.

Taivutuslujuuden on, kuten yleensä muidenkin lujuuksien, todettu olevan positiivisessa korrelaatiossa puun tilavuuspainoon ja negatiivisessa sen kosteuspitoisuuteen (mm. REECE 1949, KOLLMANN 1951 ja VORREITER 1954).

KLAUDITZ (1952) tuli siihen tulokseen holoselluloosapuusta tekemiensä kokeiden perusteella, että rauduskoivun, pyökin ja poppelin tuoreen normaalipuun taivutuslujuus pienenee ligniinin poistamisen vuoksi 10.5 %:iin alkuperäisestä, mikä osoittaa ligniinin suurta merkitystä tuoreen puun puristus- ja taivutuslujuudelle. Kuivassa tilassa hän sen sijaan totesi holoselluloosapuun taivutuslujuuden olevan jopa huomattavasti normaalia suuremman.

Vetopuun taivutuslujuutta on ilmeisesti tutkittu kovin vähän, mutta niiden tutkimusten mukaan, joita on tehty, sen taivutuslujuuden on yleensä sekä tasaisessa että iskutaivutuksessa todettu olevan pienemmän kuin normaalipuun. Tällaiseen tulokseen on tullut mm. MARRA (1942) sokerivaahteran lujuudesta tasaisessa taivutuksessa sekä tuoreena että ilmakuivana. Samanlaiseen tulokseen on tultu myös muutamien australialaisten lehtipuiden iskutaivutuslujuudesta (AKINS ja PILLOW 1950). Sen sijaan v. PECHMANN (1953) sanoo pyökin vetopuun murtolujuuden olevan iskutaivutuksessa normaalia huomattavasti suuremman.

MARRAN tutkimusten mukaan sokerivaahteran vetopuun murtolujuuden suhde normaalipuun lujuuteen on staattisessa taivutuksessa tuoreena vain 0.75 ja ilmakuivana 0.84 vastaavien arvojen ollessa lylypuun osalta

0.84 ja 0.90. Lujuuden suhteellisen kohoamisen kuivatuksen johdosta tuoreesta ilmakeivaksi hän siis totesi molemmilla olevan suuremman kuin normaalipuulla, vetopuulla kuitenkin selvemmän. Jos vetopuun esiintyminen oli runsasta, totesi MARRA puun taivutuslujuuden suhteen normaalipuun taivutuslujuuteen olevan tuoreena vain 0.66 ja jos vetopuukuituja ei ollut lainkaan tai vain vähän, 0.85, joten tuoreen vetopuun, jossa oli runsaasti vetopuukuituja, taivutuslujuuden suhteeksi sellaisen vetopuun taivutuslujuuteen, jossa liivatemaisia kuituja ei ollut lainkaan tai vain vähän, tuli 0.77. Tämä osittaa selvää negatiivista korrelaatiota vetopuun runsauden ja taivutuslujuuden välillä. Sitä paitsi MARRA huomasi sekä lyly- että vetopuun taipuvan normaalipuuhun verrattuna eri suuressa määrässä ennen murtumista todeten lylypuun taipuvan vähemmän kuin normaalipuun, mutta vetopuun enemmän ollessaan tuore ja vähemmän ollessaan kuiva.

Koska puristuslujuus on sekä tuoreella että kuivalla puulla yleensä huomattavasti pienempi kuin saman kosteusasteen omaavan puun vetolujuus, on luonnollista, että juuri puristuslujuus muodostuu ratkaisevaksi ja määrääväksi myös taivutuksessa. Näin ollen on ilmeistä, että vetopuun taivutuslujuus on pienempi kuin normaalipuun, koska sen puristuslujuuden on yleensä todettu olevan sekä tuoreena että ilmakeivana normaalia pienemmän. Erotus puun ollessa tuoreessa tilassa on ilmeisesti suurempi kuin ilmakeivana, koska nimenomaan tuoreen vetopuun puristuslujuus on kovin alhainen ja vetolujuuskin lienee normaalia jonkin verran pienempi, kun taas ilmakeivana vetopuun puristuslujuuden ei ole todettu olevan yleensä paljoakaan normaalia pienemmän ja vetolujuuden on todettu olevan päinvastoin paljon normaalia suuremman. Tämä pitää ilmeisesti paikkansa myös koivulajien suhteen.

#### Kimmoisuus

Sitä kappaleen ominaisuutta, että se palaa entiseen muotoonsa ulkoisen voiman tauottua, sanotaan kimmoisuudeksi ja rajaa, jonka jälkeen näin ei enää tapahdu, kimmorajaksi. Voimaa, joka saa aikaan kimmorajaa vastaavia muodon muutoksia, sanotaan kappaleen teoreettiseksi kantovoimaksi ja sitä vastaavaa kappaleen lujuutta kantolujuudeksi. Kimmorajan on todettu olevan tavallisesti aivan lähellä ns. suhteellisuusrajaa, johon mennessä ulkoisen voiman kappaleeseen vaikuttaessa voiman ja muodon muutoksen lisäykset pysyvät suhteellisina toisiinsa verrattuna ja jonka

yläpuolella voiman lisäys saa aikaan suhteellisesti suuremman muodon muutoksen. Suhteellisuusrajaa, joka on helppo todeta graafisesti kimmoisuuskäyrän avulla, ei määritetty käsillä olevan tutkimuksen eri lujuuskoikeita suoritettaessa.

Kimmoisuuden kuvaamiseen käytetään usein kimmomodulia, jolla tarkoitetaan voimaa, joka saa aikaan poikkileikkaukseltaan pintayksikön suuruisen koekappaleen pitenemisen tai lyhenemisen pituutensa verran ja on siis vain laskennallisesti määritettävissä kimmorajan saavuttamiseksi tarvittavan voiman ja siihen mennessä tapahtuneen muodon muutoksen perusteella. Kappaleen poikkileikkauksen pinta-alayksikköä kohden vaikuttavaa teoreettista kantovoimaa sanotaan puolestaan kantomoduliksi.

MARRA (1942) totesi sokerivaahteran tuoreen vetopuun jännitteen suhteen normaalipuun jännitteeseen tasaisessa taivutuksessa olevan suhteellisuusrajalla 0.61 ja lylypuun 0.77 vastaavien suhteiden ollessa ilma-kuivana 0.77 ja 0.91. Vastaavasti hän sai tulokseksi, että tuoreen vetopuun kimmomodulin suhde normaalipuun kimmomoduliin on 0.69 ja lylypuun 0.81 vastaavien suhteiden ollessa ilmakeivana 0.85 ja 0.91. Kuivatamisen johdosta tuoreesta ilmakeivaksi hän siis totesi sekä veto- että lylypuun suhteellisuusrajaa vastaavan jännitteen ja kimmomodulin kohoavan enemmän kuin normaalipuun ja vetopuun vielä enemmän kuin lylypuun. MARRA totesi myös, että tuoreen puun, jossa oli runsaasti vetopuukuituja, jännitteen suhde normaalipuun jännitteeseen suhteellisuusrajalla oli vain 0.49 ja jos liivatemaisia kuituja ei ollut lainkaan tai vain vähän, 0.90, joten selvästi ja heikosti muodostuneen vetopuun jännitteiden suhteeksi tuli 0.54. Tuoreen puun, jossa oli runsaasti vetopuukuituja, kimmomodulin suhteeksi normaalipuun kimmomoduliin hän sai 0.57 ja jos liivatemaisia kuituja ei ollut lainkaan tai vain vähän, 0.87, joten selvästi ja heikosti muodostuneen vetopuun kimmomodulien suhteeksi tuli 0.65. Mainitut tulokset osoittavat selvästi, että vetopuun kimmoisuus on negatiivisessa korrelaatioissa sen vetopuupitoisuuteen tasaisessa taivutuksessa. Vastaväntöisiä havaintoja tehtiin käsillä olevassa tutkimuksessa tuoreen koivun puusyiden suuntaista puristuslujuutta määritettäessä, kun seurattiin kuorimitusta osoittavaa maksimosoitajaa ja painumamittaria.

Koska tuoreen vetopuun sekä puristus- että taivutuslujuuden on todettu olevan huomattavasti pienemmän kuin normaalipuun, onkin odotettavissa, että myös niitä vastaava suhteellisuusraja on vetopuulla yleensä alempana ja kimmomoduli pienempi kuin normaalipuulla varsinkin tuoreen puun ollessa kyseessä. Tämä pitää siis ilmeisesti paikkansa myös koivulajien suhteen.

### Lohkaisu- ja halkaisulujuus sekä puusyitä vastaan kohtisuora vetolujuus

Lohkaisulujuudella tarkoitetaan puun kykyä vastustaa puusyiden suuntaan vaikuttavaa voimaa, joka pyrkii lohkaisemaan siitä irti jotakin pinnanmyötäistä osaa. Sitä sanotaan usein myös leikkauslujuudeksi.

MARRA (1942) sanoo sokerivaahteran ilmakuivan vetopuun pituuden suuntaisen lohkaisulujuuden suhteen normaalipuun lujuuteen olevan 0.95 ja lyllypuun 0.91, mutta ei mainitse, oliko lohkaisupinta säteen vai tangentin suuntainen. JALAVAN (1946) tutkimusten mukaan koivun lohkaisulujuus lohkaisupinnan ollessa tangentin suuntainen on jonkin verran suurempi kuin sen ollessa säteen suuntainen. Tämä johtuu ilmeisesti ydinsäteiden vaikutuksesta (mm. BROWN, PANSIN ja FORSAITH 1952).

Samantapainen kuin lohkaisulujuudessa on vetopuun suhde normaali-puuhun ilmeisesti myös halkaisulujuudessa ja puusyitä vastaan kohtisuorassa vedossa. Halkaisulujuudellahan tarkoitetaan puun kykyä vastustaa puusyiden suuntaa vastaan kohtisuoraa yhdelle viivalle keskitettyä voimaa, joka pyrkii repimään puusyitä toisistaan erilleen pituusakselin suuntaista tasoa myöten. Tässä vaikuttava voima synnyttää ensiksi jännitteitä ensi sijassa vain koekappaleen siinä päässä, missä halkaisurako saa alkunsa ja mistä se lähtee etenemään toiseen päähän. Sen sijaan puusyitä vastaan kohtisuorassa vedossa jännite jakautuu jokseenkin tasaisesti koko sille pinnalle, mitä myöten halkeaminen tapahtuu. Tangentin suuntaisen halkaisulujuuden ja puusyitä vastaan kohtisuoran vetolujuuden suhde vastaaviin lujuuksiin säteen suunnassa on JALAVAN (1946) mukaan koivulla samantapainen kuin lohkaisulujuudessa.

Koska tässä tutkimuksessa ei tutkittu lainkaan ko. lujuusominaisuuksia ja koska niistä on vaikea tehdä päätelmiä muidenkaan lujuusominaisuuksien perusteella, ei voida saada varmaa käsitystä koivulajien normaali- ja vetopuun lujuudesta sanotuissa suhteissa, vaan se on jätettävä vastaisten tutkimusten varaan. Vetopuun normaalia pienemmällä ydinsädeprosentilla voi olla pienentävä vaikutus sen ko. lujuusominaisuuksiin yleensäkin, mutta varsinkin murtopinnan ollessa tangentin suuntainen.

### Sitkeys

Puun sitkeys määritellään yleensä sen kyvyksi kuluttaa isku- tai syäysenergiaa. Usein se määritellään myös puun ominaisuudeksi, joka tekee sen kykeneväksi taipumaan huomattavasti murtumatta.

Puun sitkeys voidaan määrittää paitsi tasaisessa taivutuksessa myös

puristuksessa ja vedossa työyksiköissä koekappaleen tilavuusyksikköä kohden kuormituksen aiheuttamaa taipumaa, puristumaa tai venymää kuvaavasta kimmoisuuskäyrästä. Tätä piirrettäessä merkitään koordinaatistoon, jonka ordinaatta osoittaa kuormitusta ja abskissa taipumaa, puristumaa tai venymää, kutakin kuormitusta vastaavat muodon muutokset. Tästä saadaan määritetyksi jännitetyn koekappaleen varastoima kokonaistyö kertomalla kimmoisuuskäyrän alapuolella oleva pinta-ala nollataipuman, -puristuman tai -venymän ja sen muodon muutoksen välillä, joka vastaa äärimmäistä kuormitusta murtorajalla, määrättyllä korjaustekijällä. Kun näin saatu kokonaistyö jaetaan koekappaleen tilavuudella, saadaan työ tilavuusyksikköä kohden (*work to ultimate load*). Taivutuksessa on koekappaleen tilavuutta määritettäessä sen pituudeksi otettava vain jänneväli eikä koko pituutta. Jos kokonaistyö ja työ tilavuusyksikköä kohden tahdotaan määrittää vain suhteellisuusrajaan saakka, otetaan kimmoisuuskäyrän alapuolella oleva työn suuruutta edustava pinta-ala huomioon vain suhteellisuusrajaa vastaavaan muodon muutokseen saakka (*work to proportional limit*).

Jos sitkeys määritellään puun kyvyksi kuluttaa isku- tai syäysenergiaa, on sen tutkimisessa käytettävä kojetta, joka on konstruoitu siten, että energia, joka vaaditaan murtamaan koekappale, voidaan suuruudeltaan määrittää. Englannissa ja Yhdysvalloissa käytetään tähän laitetta, jossa heilurin päässä oleva vasara pudotetaan läheltä päitään tuettua sauvamaista koekappaletta vasten sivusuunnassa. Käytetyn painon suuruudesta ja heilahduksen laajuudesta voidaan laskea iskuenergian suuruus (DESCH 1947 sekä BROWN, PANSIN ja FORSAITH 1952).

CLARKE (1937) sanoo saarnesta ja pyökistä tekemiensä tutkimusten perusteella, että puun sitkeys ei ilmeisesti riipu siinä määrin kuitujen sekundäärisestä seinämästä kuin puusyiden suuntainen puristuslujuus, vaan pikemminkin primäärisestä seinämästä ja keskilamellista, ja että puun kasvun aikana sen soluseinämät kokevat muutoksen, joka saa aikaan puristuslujuuden kasvun ja sitkeyden pienenemisen.

CLARKE tuli ilmeisesti viimeksi mainitulla tavalla ilmakuivan pyökin sitkeyttä määrittäessään sellaiseen tulokseen, että vetopuukuitujen esiintyminen ei vähennä ainakaan sanottavasti puun sitkeyttä. Sitkeyden riippuvuutta puun tilavuuspainosta kuvaavasta graafisesta esityksestä, jollainen sisältyy mainittuun CLARKE'in julkaisuun, ilmenee paitsi, että sekä normaalipuun että vetopuukuituja sisältävän puun sitkeys on positiivisessa korrelaatiossa tilavuuspainoon, joka on ilmaistu uunikuivan puun painon suhteena sen tilavuuteen tuoreena, että tilavuuspainon vaihdel-



lessa 0.56—0.64 vetopuun sitkeys on normaalipuuhun verrattuna hieman suurempi, mutta sen ollessa 0.64—0.70 edellisen sitkeys on päinvastoin huomattavasti pienempi kuin jälkimmäisen. Koska myöskin pyökissä on todettu vetopuun olevan yleensä normaalipuuta painavampaa ja siis korkean tilavuuspainon olevan ominaista nimenomaan vetopuulle (mm. CHOW 1946), voitaneen edellä sanottu tulkita osoitukseksi siitä, että voimakkaasti muodostuneen vetopuun sitkeys on ilmakeivana pienempi kuin normaalipuun, jos molempien tilavuuspaino on sama.

MARRA (1942) määrittä sokerivaahteran normaalipuun sekä veto- ja lylypuun tasaisessa taivutuksessa tehdyn työn suuruuden suhteellisuus- ja murtorajalla. Tällöin hän sai tulokseksi, että vetopuun taivutuksessa tehdyn työn suhde normaalipuuhun on suhteellisuusrajalla puun ollessa tuore vain 0.55 ja sen ollessa ilmakeiva 0.70 vastaavien arvojen ollessa lylypuun osalta 0.76 ja 0.93. Puun kuivattaminen tuoreesta ilmakeivaksi sai siis aikaan tämän työn suuruudessa sekä veto- että lylypuussa normaalipuuhun verrattuna huomattavasti suuremman lisäyksen. Jos puussa oli runsaasti vetopuukuituja, totesi Marra sanotun työn suhteen normaalipuuhun verrattuna olevan tuoreessa puussa vain 0.40, mutta jos liivatemaisia kuituja ei ollut lainkaan tai vain vähän, 0.82, joten ko. työn suhteeksi selvästi ja heikosti muodostuneen vetopuun välillä tuli 0.49.

Vetopuun taivutuksessa tehdyn työn suhteen normaalipuuhun verrattuna murtorajalla totesi Marra olevan tuoreena 0.91 ja ilmakeivana 0.76 vastaavien suhteiden ollessa lylypuun osalta 0.61 ja 0.80. Jos puussa oli runsaasti vetopuukuituja, hän tuli siihen tulokseen, että sanotun työn suhde normaalipuuhun verrattuna oli tuoreessa puussa 0.96, mutta jos liivatemaisia kuituja oli vain vähän tai ei lainkaan, 0.57, joten ko. työn suhteeksi selvästi ja heikosti muodostuneen vetopuun välillä tuli 1.71.

MARRAN tutkimustulokset viittaavat siihen, että vetopuun sitkeys tasaisessa taivutuksessa on suhteellisuusrajaan saakka sekä tuoreena että ilmakeivana pienempi kuin normaalipuun ja että vetopuun runsauden ja sitkeyden välillä vallitsee selvä negatiivinen korrelaatio. Vetopuun sitkeys näyttää sanottuun rajaan saakka kasvavan enemmän kuin normaalipuun kuivatuksen johdosta tuoreesta ilmakeivaksi. Kun suhteellisuusraja ylitetään ja tullaan murtorajalle, vetopuun sitkeys on ilmakeivana edelleenkin huomattavasti pienempi kuin normaalipuun, joskaan ei niin paljon kuin suhteellisuusrajalla, mutta tuoreena sen sitkeys on vain vähän pienempi kuin normaalipuun. Tällöin on vetopuun sitkeys MARRAN tutkimustulosten mukaan murtorajaan saakka suurempi sellaisen vetopuun osalta, jossa on runsaasti vetopuukuituja kuin sellaisen, jossa liivatemaisia

kuituja on vain vähän tai ei lainkaan. Näin ollen tämä osoittaa, että suhteellisuus- ja murtorajan välinen ero on vetopuulla taipuman määrän suhteen huomattavasti suurempi kuin normaalipuulla varsinkin tuoreessa tilassa ja sitä suurempi, kun enemmän puussa on vetokuituja. Tässä suhteessa vetopuu siis on ilmeisesti sitkeämpää kuin normaalipuun. Vastaavallaisia havaintoja tehtiin myös käsillä olevan tutkimuksen yhteydessä määritettäessä koivun puusyiden suuntaista puristuslujuutta, kun seurattiin kuormitusta osoittavaa maksimiosoittajaa ja painumamittaria.

KOLLMANN (1951) sanoo pääsyyn puun sitkeyteen tai haurauteen olevan sen hienorakenteessa ja sanoo iskumurtolujuuden olevan yleensä sitä suuremman, kun jyrkemmin fibrillit kuitujen seinämissä nousevat. Tämän mukaan pitäisi vetopuun sitkeyden olla suurempi kuin normaalipuun. Tällaiseen tulokseen tulikin v. PECHMANN (1953) pyökistä. Edelleen KOLLMANN sanoo olevan mitä suurimman merkityksen keskilamelin laadulla, jonka on todettu koostuvan etupäässä ligniinistä, kuten aikaisemmin on mainittu, ja omaavan sen vuoksi vähäisen dynaamisen vastustuskyvyn. Tämän mukaan ainakin erittäin vähäinen puun ligniinipitoisuus merkitsee suurta ja korkeaa pientä sitkeyttä, minkä KOLLMANN toteikin saarnesta.

Ilmeisesti myös sillä, tutkitaanko puun kykyä kestää sivuttaisia iskuja tangentin vai säteen suunnassa, on vaikutuksensa saataviin lujuusarvoihin (mm. BROWN, PANSIN ja FORSAITH 1952).

Sen sijaan, että vetopuun pitäisi sen puusyiden seinämän fibrillaarisen orientoitumisen ja pienen ligniinipitoisuuden perusteella olla KOLLMANNIN (1951) mukaan sitkeämpää kuin normaalipuun, se ainakin MARRAN (1942) tutkimusten mukaan on päinvastoin normaalia jonkin verran hauraampaa. Määritetäänpä sitkeys sitten käytetyn voiman ja vastaavan taipuman perusteella, kuten tasaisessa taivutuksessa, tai puun kykyä kestää iskuenergiaa, kuten CLARKE (1937) teki, muodostuu puun sitkeys veto- ja puristuslujuuden yhteisvaikutuksen tuloksena, kuten taivutuslujuuskin. Näin ollen tuntuu uskottavalta, että vetopuun sitkeys on yleensä pienempi kuin normaalipuun, koska sen taivutuslujuudenkin on todettu olevan sekä tasaisessa että iskutaivutuksessa normaalia pienemmän ensi sijassa sen varsinkin tuoreena pienen puusyiden suuntaisen puristuslujuuden vuoksi. Tämä pitää ilmeisesti paikkansa koivulajienkin suhteen.

### Vetopuupitoisuuden merkityksestä puuta eri tarkoituksiin käytettäessä

On ilmeistä, että koska vetopuun fysikaaliset, mekaaniset ja kemialliset ominaisuudet poikkeavat yleensä huomattavasti normaalipuusta, sillä on huomion arvoinen merkitys myös puuta eri tarkoituksiin käytettäessä sitäkin suuremmalla syyllä, koska ilmeisesti kaikki lehtipuut muodostavat vetopuuta sellaiseen tilanteeseen jouduttuaan, jossa ne sitä tarvitsevat.

Vetopuun yleistä merkitystä arvosteltaessa on myös otettava huomioon sen uskomattoman suuri yleisyys eri puuyksilöissä. Niinpä v. PECHMANN (1953) sanoo pyökkiä tutkiessaan todenneensa, että vaikka koepuuaineisto käsitti vain hyvämuotoisia ja suorarunkoisia puita, oli vetopuuta jokaisessa rungon leikkauksessa enemmän tai vähemmän. Hän totesi myös (1955), että tammessa, joka kasvoi kauniiden ja pitkien runkojensa vuoksi paljon ihailussa metsikössä, oli yllättävän paljon vetopuuta nimen omaan sen arvokkaimmassa tyviosassa.

Tapauksissa, joissa puu on muodostanut vetopuuta runkoonsa vain ensi vuosinaan, mutta ei enää varttuneena, jää vetopuun osuus puun koko tilavuudesta ja sen käytännöllinen merkitys yleensä vähäiseksi, mutta tilanne muuttuu kokonaan toiseksi, jos puu muodostaa vetopuuta pitemmän aikaa vinon asentonsa tai jatkuvasti samalta suunnalta puhaltavan tuulen seurauksena. Tällöin on vielä otettava huomioon rungon yleinen liikakäyristyminen ja tällaisen mutkittelun sekä siihen liittyvä vetopuun muodostumisen jatkuminen usein puun latvaan saakka.

Viimeksi mainituissa tapauksissa puun rungon vetopuupitoisuus voi nousta kymmeneen prosentteihin sen kokonaistilavuudesta. Niinpä JAYME (1951 a) sanoo eri poppelilajeista tavanneensa yksilöitä, joissa vetopuupitoisuus oli 21—36 %. Kirjoittaja totesi erään 8 m korkean hieskoivun 1.5 m:n pituisen tyviosan vetopuupitoisuuden olevan noin 40 % sen ollessa aivan tyvässä 40—50 % ja sanotun tyvikappaleen latvassakin vielä noin 30 % poikkileikkauksesta.

Kun otetaan huomioon edellä saadut tulokset koivun vetopuun uppoamiseen tarvittavan ajan lyhydestä ja pienestä vesipitoisuudesta upotesaan sekä se, että vetopuuta voi puun rungossa olla jopa kymmeniä prosentteja sen tilavuudesta, on ilmeistä, että koivu, joka sisältää vetopuuta, aiheuttaa suurempia uittotappioita kuin normaalipuu raaka-ainetta teollisuuslaitoksille uitettaessa, kuten esim. vaneriteollisuudessa. Täten tällaisia puueriä uitettaessa on syytä ennen uittoä huolehtia tavallista perusteellisemmin niiden kuivatuksesta rasiin kaatamisen avulla sekä sahauspintojen sivelemisestä veden puuhun imeytymistä estävillä aineilla. Puutavaran uittaminen mahdollisimman pitkänä on myös asialle eduksi.

Seuraavassa käsitellään lyhyesti niitä havaintoja, joita on tehty vetopuuta sisältävää raaka-ainetta kotitarvepuuna ja teollisuuden eri aloilla käytettäessä.

#### Puun kotitarvekäyttö ja mekaaninen puunjalostusteollisuus

Vetopuuta sisältävän puun haitallisimpia ominaisuuksia sitä kotitaloudessa ainespuuna sekä saha-, vaneri-, tulitikku-, huonekalu- ja urheiluvälineiteollisuudessa käytettäessä on sen vääntymisen ja kieroutumisen varsinkin vetopuun normaalia suuremman pituuden suuntaisen kutistumisen seurauksena.

DADSWELL ja WARDROP (1949) mainitsevat, että kun toisen maailmansodan aikana kuivattiin raitatukkeja, jotta niistä olisi saatu raaka-ainetta tulitikkuteollisuudelle, saatiin pelkkää harmia. Niissä nimittäin todettiin olevan vetopuuta, joka sai vaneriviilun ja siitä valmistetut tulitikkusälöt käyristymään niin paljon kuivauksessa, että niitä ei voitu käsitellä tyydyttävästi tulitikkujen teon eri vaiheissa.

CLARKE (1936) sanoo huomanneensa vetopuuta sisältävän kengän lestipuun halkeavan likimain normaali- ja vetopuun rajaa pitkin. Kirjoittajan havaintojen mukaan tällainen halkeaminen on koivun osittain vetopuuta sisältävässä puussa harvinaista, mutta jos normaali- ja vetopuun välinen raja on erittäin jyrkkä ja yhtyy osittain vuosirenkaan rajaan, saattaa vetopuu puuta uunissa kuivattaessa haljeta erilleen normaalipuusta mainittua rajaa pitkin. Tämä on ilmeisesti seuraus vetopuun pituuden suuntaisen kutistumisen lisäksi normaalia suuremmasta tangentin ja kentien myös säteen suuntaisesta kutistumisesta.

Vaneri- ja huonekaluteollisuudessa on puun vääntymisen ja halkeamisen ohella erittäin kiusallista se, että vetopuusta saadaan sitä koneelli-

sesti muokattaessa nukkainen pinta, joten tällainen viilu ei esimerkiksi kelpaa pintalevyksi ristivanerin valmistuksessa (JAYME ym. 1951). Niinpä AKINS ja PILLOW (1950) mainitsevat vetopuuta sisältäneitä haapapölkkyjä vaneriviiluiksi leikattaessa vetopuusta saatavan pinnaltaan nukkaisia ja säännöttömän paksuja viiluja, jotka jo tuoreina ovat heikosti käyristyneitä ja kuivuessaan käyristyvät voimakkaasti ja halkeilevat. Viilua sorvaamalla valmistettaessa tulevat täten säännöttömän paksut ja nukkaiset vyöhykkeet vaihtelevaan säännöllisen vahvuisten ja sileiden vyöhykkeiden kanssa. Samanlainen nukkainen pinta saadaan vetopuusta myös sitä pituussuuntaan sahattaessa ja höylättäessä, kuten edellä on mainittu. Niistä vaikeuksista, joita on havaittu vetopuuta sisältävän puun kaadossa ja katkaisussa sekä pitkittäissahauksessa sahan ahdistamisen ja liikakuumenemisen vuoksi, on edellä jo mainittu.

On ilmeistä, että vetopuusta saadun viilun nukkainen tai villainen pinta kuluttaa huomattavasti enemmän liimaa kuin sileä pinta ristivaneria valmistettaessa. MAYER-WEGELIN (1951) sanookin, että tällaista viilua tuskin voidaan silotella ja että liiman kulutus on jopa 60 % tavallista suurempi. Hän mainitsee kuitenkin, että sopivilla toimenpiteillä, kuten puun kosteuspitoisuuden huomioon ottamisella, pienen leikkauskulman valinnalla ja sorvausnopeutta kohottamalla tätä haittaa voidaan pienentää, joskaan ei poistaa.

MAYER-WEGELIN (1951) sanoo edelleen, että vetopuun yleinen esiintyminen poppelilajeissa ja niistä siten saatavien sahaus- ja sorvauspintojen villaisuus tekee nämä puulajit niiden pehmeästä ja tasalaatuisesta puuaineesta huolimatta sopimattomiksi lyijykynäteollisuudessa käytettäviksi ja että puunjalostusteollisuus yleensäkin ottaa vastahakoisesti vastaan poppeleita, joiden voidaan otaksua sisältävän suuressa määrässä vetopuuta.

Vetopuun normaalipuuhun verrattuna yleensä heikommilla lujuusominaisuuksilla ei liene käytännössä sanottavaa merkitystä, koska puuta esimerkiksi rakennusaineena käytettäessä sovelletaan yleensä niin suurta varmuusastetta, ettei yllätyksiä pääse tapahtumaan. Sitä paitsi sen kuivuuasteen omaavan puun lujuudessa, jollaisena puuta yleensä käytetään, ei olekaan suurta eroa normaali- ja vetopuun välillä.

On olemassa myös sellaisia puun käyttömuotoja, joihin luonnostaan käyrä puu on halutuinta. Tästä esimerkkinä voidaan mainita mm. koivun runkokuun käyrien osien käyttäminen länkien valmistukseen sekä tyvestään tasaisesti kaareutuvan puun käyttö reeniin ja keinutuoliin jalaksiksi (mm. HELANDER 1922 ja KAUPPILA 1943).

### Paperi- ja puukuitulevyteollisuus

JAYME ja HARDERS-STEINHÄUSER (1953) ilmoittavat eräästä poppelilajista (*Populus generosa*) sulfaattimenetelmää käyttäen saadun selluloosaa normaalipuusta 52.01 % ja vetopuusta 59.84 %, jonka lisäksi jälkimmäisen  $\alpha$ -selluloosapitoisuus todettiin huomattavasti edellistä suuremmaksi, vetopuuselluloosassa nimittäin 88.81 % ja normaalipuusta valmistetussa 74.91 %. Vastaavasti mainitut tutkijat totesivat vetopuusta valmistetun selluloosan sisältävän ligniiniä vain 1.57 %, mutta normaalipuusta valmistetun 3.11 %, joten edellinen oli huomattavasti jälkimmäistä vaaleampaa sen valkoisuuden ollessa lähes kaksinkertainen jälkimmäiseen verrattuna niiden ligniinipitoisuuksia vastaavasti.

JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG (1953) totesivat eräistä pajulajeista (*Salix alba* ja *S. canadensis*) selluloosaa valmistettaessaan, että saadun selluloosan määrä oli korrelaatioissa puusta määrätetyn vetopuupitoisuuden suuruuteen. Niinpä he ilmoittavat puun vetopuupitoisuuden poikkileikkauksesta mitattuna oltua 21 % massasaannoksi 51.92 % ja vetopuupitoisuuden oltua 43 % vastaavasti 56.91 %.

Eräässä toisessa tutkimuksessaan viimeksi mainitut tutkijat (1951) valmistettaessaan sulfaattiselluloosaa yhdeksästä poppelilajista keittolämpötilan ollessa 165° C totesivat täysin vetopuuttomasta puusta saatavan selluloosaa 52.89–56.91 % ja vetopuuta sisältävästä puusta 54.35–65.11 % vetopuupitoisuudesta riippuen, joka vaihteli 17–71 %. Eniten vetopuuta sisältäneestä aineistosta saatiin jopa yli 20 % normaalia enemmän selluloosaa. Mainitut tutkijat totesivat myös puun iällä olevan huomattavan vaikutuksen saatavan selluloosan määrään sen vuoksi, että puussa selluloosapitoisuus saavuttaa maksiminsa verrattain nuorella iällä, ja otaksuvat tämän ajankohdan riippuvan puun kasvun nopeudesta. Tämän vuoksi he keittivät selluloosaa kahdesta täysin samanikäisestä poppelista (*Populus generosa*), joista toisen vetopuupitoisuus oli 36.4 % ja toisen vain 3.7 % (ytimen ympärillä). Edellisestä saatiin massaa 59.84 % ja jälkimmäisestä 54.71 %.

Edellisestä ilmenee, että vetopuu on siinä suhteessa normaalipuuta edullisempää selluloosateollisuuden raaka-ainetta, että siitä saadaan huomattavasti enemmän ja puhtaampaa selluloosaa kuin normaalipuusta eron ollessa sitä selvempi, kuta suurempi on puun vetopuupitoisuus.

Vetopuusta valmistetun selluloosan suuri  $\alpha$ -selluloosapitoisuus ja normaalia pienempi hemiselluloosapitoisuus vaikuttavat ilmeisesti kuitenkin sen lujuusominaisuuksiin epäedullisesti. Niinpä JAYME (1951 a) sanookin

massan lujuutta kohottavan hemiselluloosan määrän olevan esim. *Populus robusta* vetopuusta valmistetussa sulfaattiselluloosassa paljon maksimilujuuden tuottavan optimin alapuolella. Kirjallisuudesta poimitut tutkimustulokset normaali- ja vetopuusta valmistetun sulfaattiselluloosan lujuus- ym. ominaisuuksista esitetään taulukossa 73.

Selluloosan jauhatuste määritetään massalietteen veden suotautumisnopeuden perusteella ns. Schopper-Riegler-kojeella SR-asteissa 1—100, mitä tapaa käytetään yleensä Euroopan maissa (HERZBERG 1921, ss. 203—204, PELLINEN ja ROSCHIER 1952). Kuta enemmän jauhautunutta massa on, sitä hitaammin siitä vesi erottuu ja sitä suurempi on SR-aste.

Selluloosamassan ns. valkoisuus määritetään massa-arkin valon läpäisy- ja heijastuskyvyn perusteella optisia erikoiskojeita käyttäen ja ilmaistaan tavallisesti ns. brightness-lukuna (KLEMM 1910, ss. 322—325, HERZBERG 1921, ss. 192—197, NORDMAN 1949, PELLINEN ja ROSCHIER 1952).

Katkeamispituudella tarkoitetaan tutkittavan massaliuskan ajateltua tarpeellista pituutta, jotta se toisesta päästään vapaasti ripustettuna katkeaisi omasta painostaan. Tämän määrittäminen tapahtuu tavallisesti Schopper-vetolujuuskojeella kuormittamalla liuskaa kunnes se katkeaa. Tunteamalla tähän tarvittava voima kg:ssa, liuskan leveys ja m<sup>2</sup>-paino voidaan katkeamispituus laskea, joka on erittäin käytännöllinen massan vetolujuuden mitta, koska siinä koeliuskan leveys, paksuus ja paino eliminoiduivat pois. Tutkittavan liuskan venymisen perusteella katkeamispisteessä määritetään venymis-% alkuperäisestä pituudesta.

Taittolujuus ilmaistaan 15 mm leveän massasuikaleen kestämien kaksoistaittojen lukumäärän perusteella esimerkiksi Schopperin taittokojeella (KLEMM 1910, ss. 308—310 ja HERZBERG 1921, ss. 44—50).

Puhkaisupaine määritetään massa-arkin pinta-alayksikköä kohden kestäjän paineen perusteella ja tähän käytetään yleisesti ns. Mullen-kojetta. Tämän ja koearkin m<sup>2</sup>-painon perusteella voidaan laskea myös ns. puhkeamispinta, joka edellisten osamääränä eliminoi m<sup>2</sup>-painon vaikutuksen ja tekee mahdolliseksi verrata toisiinsa pinta-alayksikköä kohden eripainoisten massa-arkkien puhkaisulujuutta. Puhkeamispinta voidaan likimäärin laskea myös katkeamispituudesta korottamalla tämä kilometreissä lausuttuna toiseen potenssiin, jolloin saadaan puhkeamispinta m<sup>2</sup>:ssä. Taulukkoon 72 on kirjoittaja laskenut puhkeamispinnat tällä tavoin.

Taulukosta 73 ilmenee, että poppelilajien vetopuusta valmistettu sulfaattiselluloosa on kaikilta lujuusominaisuuksiltaan huomattavasti hei-

kompaa kuin normaalipuusta valmistettu. Erikoisesti taittolujuudessa tämä tulee yllättävän räikeästi esille, mutta sängen selvästi myös katkeamispituuden, venymis-%:n, puhkaisupaineen ja puhkeamispinnan suuruudessa.

Vetopuusta valmistetun selluloosan tilavuuspaino on selvästi pienempi kuin normaalipuusta valmistetun. Tämän ko. tutkijat sanovat viittaavan siihen, että vetopuuselluloosalla on normaalia vähäisempi paisumiskyky, jonka seurauksena se jauhautuu vaikeammin vaatien pitemmän jauhatustajan ja kerrostuu löysemmäksi sekä lujuudeltaan heikommaksi arkiksi.

Keittolämpötilan kohottaminen 155°:sta 165° C:een näyttää vaikuttavan normaalipuusta valmistetun selluloosan sekä määrään että laatuun vähemmän alentavasti kuin vetopuun ollessa kyseessä, mikä viittaa siihen, että vetopuusyiden tertiäärinen seinämäkerros hajooa keitossa normaalia helpommin, joka luonnollisesti tulee keittolämpötilan kohotessa yhä selvemmin esille.

Jauhatustajan ja -asteen kohotessa sekä normaali- että vetopuusta valmistetun selluloosan tilavuuspaino kohoaa ja lujuusominaisuudet paranevat, mikä onkin luonnollista.

JENSEN (1950) mainitsee sulfaattiselluloosan valmistuksella koivusta olevan mäntyyn verrattuna etuna, että keittotilavuus tulee paremmin hyväksi käytetyksi koivun mäntyyn verrattuna suuremman tilavuuspainon vuoksi, keittoaika on lyhempi, massasaanto painoyksikköä kohden puuta suurempi ja kemikaalien kulutus keitossa pienempi, mikä johtuu ensi sijassa koivun mäntyyn verrattuna pienemmästä ligniinipitoisuudesta. Edellisen perusteella on ilmeistä, että koivun vetopuulla on normaalipuuhun verrattuna myös mainitut edut sulfaattiselluloosan raaka-aineena. Koivun edut ja varjopuolet mäntyyn verrattuna sulfaattiselluloosan valmistuksessa käyvät ilmi taulukosta 74, joka perustuu JENSENIN (1951) tutkimuksiin lajiltaan määrittelemättömästä koivusta (O y K e s k u s l a b o r a t o r i o n menetelmä n:o A 1011/1939). Tästä näkyy, että koivusta valmistetulla selluloosalla on mäntyyn verrattuna haittana sen pienemmät lujuusarvot, varsinkin taittolujuus.

Kun verrataan toisiinsa taulukkoja 73 ja 74 lujuusominaisuuksien osalta, huomataan, että koivun normaalipuusta valmistetun selluloosan taittolujuus on mahdollisesti vielä pienempi kuin popelin normaalipuusta valmistetun. Sen sijaan katkeamispituudessa ei näytä olevan sanottavaa eroa. Mikäli näistä puulajeista valmistetun vetopuuselluloosan lujuusominaisuudet noudattavat toisiinsa verrattuna samaa suuntaa, painuu erikoisesti koivun vetopuuselluloosan taittolujuus epäilyttävän alas sen ollessa

kovin pieni ja poppelinkin vetopuun ollessa kyseessä. Tutkimusmenetelmät, joita käyttäen mainituissa taulukoissa esitetyt tulokset on saatu, eivät kuitenkaan ole joka suhteessa keskenään yhtäpitäviä. Saksalaisten tutkijoiden käyttämät menetelmät on selostettu SIEBERIN (1951) teoksessa ss. 510—513 (Deutsche Einheitsmethode 1933). Erikoisesti selluloosa-arkin puristusaineessa ja kuivatusajassa on huomattavia eroja, jonka lisäksi on otettava huomioon se, että eri laitteilla jauhettujen massojen nimellisesti samatkaan jauhatusasteet eivät vastaa laadullisesti tarkoin toisiaan (mm. SIEBER 1951).

Joka tapauksessa on ilmeistä, että sellaisesta koivusta, joka sisältää vetopuuta, valmistetun sulfaattimassan sekoittaminen mäntymassaan alentaa tämän lujuusominaisuuksia huomattavasti ja luonnollisesti sitä enemmän, mitä suurempi on koivun vetopuupitoisuus ja sekoitusprosentti. JENSEN (1951) tuli männyn ja koivun massaa tai lastuja toisiinsa sekoitettaessa sellaiseen tulokseen, että koivumassaa voidaan sekoittaa mäntymassaan noin 20 % saadun massan lujuusominaisuuksien sanottavasti huonontumatta 10 %:n sekoituksen jopa vain parantaessa massan laatua.

Lisäksi on vetopuumassan sekä männyn ja koivun normaalipuunmassan yhtäaikaisessa keitossa se hankaluus, että vetopuu ei kestä niin korkeaa keittolämpötilaa kuin normaalipuun, kuten edellä poppelista puheen ollen mainittiin. Vetopuuta on siis pidettävä liikakeitettynä samoissa olosuhteissa, joissa normaalipuusta saadaan hyvää selluloosaa, joten edellistä olisi keitettävä varovaisemmin ja ehkä myös miedommassa alkaaleissa kuin jälkimmäistä, jotta selluloosalle saataisiin parhaat mahdolliset lujuusominaisuudet (myös JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG 1951).

Edellisestä ilmenee, että pienen koivun ja vaneriteollisuuden jätteen käytössä sulfaattiselluloosan raaka-aineeksi on huomattavia vaikeuksia jo normaalipuun ollessa kyseessä ja että nämä vaikeudet vielä kasvavat, kun otetaan huomioon vetopuun yleisyys molemmissa koivulajeissamme. Jos koivua käytetään puhtaana selluloosan valmistukseen, voidaan saatua massaa käyttää vain sellaisten paperilaatujen valmistukseen, joille ei aseteta suuria lujuusvaatimuksia. Tämä pitää paikkansa sitäkin suuremmalla syyllä, jos raaka-aineessa on huomattavasti vetopuuta mukana, jolloin koivuselluloosan käyttäminen ilman havupuuselluloosasekoitusta paperin valmistukseen tulee tuskin lainkaan kysymykseen.

Jos koivua käytetään selluloosan raaka-aineena sen sijaan havupuihin sekoitettuna, olisi koivu keitettävä erikseen ja jos koivuaineistossa on huomattavasti vetopuuta sisältäviä eriä, nämä vielä erillään muusta koivuai-

neistosta. Näin saatuja selluloosamassoja voidaan sitten sekoittaa keskenään eri suhteissa sen mukaan, millaisia vaatimuksia valmistettavalle selluloosalle tai peperille asetetaan. Sanottu pitää luonnollisesti paikkansa myös muista lehtipuista selluloosaa valmistettaessa.

Koska kirjoittaja ei ole tavannut kirjallisuudessa mainintoja lehtipuiden vetopuun sulfiittiselluloosan ominaisuuksista, rajoitetaan tarkastelu sulfaattiselluloosaan. Mainittakoon vain, että PERILÄ ja SEPPÄLÄ (1952) saivat rauduskoivusta sulfiittimenetelmällä massaa, jonka lujuusominaisuudet, varsinkin taittolujuus, olivat huomattavasti korkeammat kuin JENSENIN (1951) em. koivun sulfaattiselluloosasta toteamat. Tämä johtunee kuitenkin ainakin osaksi edellisten käyttämästä alhaisesta keittolämpötilasta, 140° C, eikä heidän aineistonsa pienuuskaan liene ilman vaikutuksia.

Koivun sekä muiden lehtipuiden kuituainesta käytetään eri maissa myös kuitulevyn sekä jossain määrin puuhiokkeen valmistukseen. Koska näiden valmistusmenetelmä on täysin mekaaninen, muodostuu teoreettisesti miltei 100 %:nen massasaanto. Massasaanto on kuitenkin lehtipuista niiden havupuihin verrattuna suuremman tilavuuspainon vuoksi puun tilavuusyksikköä kohden yleensä suurempi kuin havupuista ja vetopuusta luonnollisesti vielä suurempi kuin normaalipuusta, mutta tämä etu saavutetaan laadun kustannuksella. On nimittäin ilmeistä, että lehtipuut, mm. koivu, lyhytkuituisina puulajeina tuottavat lujuusominaisuuksiltaan heikompa kuitulevyä ja hioketta kuin havupuut ja että vetopuuta sisältävän raaka-aineen mukana olo ilmeisesti vain pahentaa tätä epäkohtaa. Näin ollen lehtipuusta valmistettuun kuitumassaan on sekoitettava tarpeellisen lujuuden saavuttamiseksi havupuumassaa (ASPLUND 1945 ja CAMPBELL 1951) ja sitä enemmän, mitä suurempi käytetyn puuaineksen vetopuupitoisuus on.

## Yhteenveto

Tutkimusten päätuloksista esitetään seuraavassa tutkittuja koivulajeja koskeva lyhyt yhteenveto.

Vetopuun muodostumiseen liittyy sekä hies- että rauduskoivussa yleensä eksentrisen paksuskasvu tämän tapahtuessa vähäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta epitrofisesti kuori mukaan luettuna. Sen sijaan, että vetopuu muodostuu varttuneissa, vinossa asennossa olevissa rungoissa ja vahvoissa, vaakasuorissa tai sitä lähentelevissä oksissa niiden yläpuolelle, sitä muodostuu nuorissa, hennoissa rungoissa ja oksissa vaihtelevasti niiden eri puolille.

Vetopuulle on tuoreena ominaista sekä pitkittäis- että poikittaissahaussessa se, että terä ahdistaa tavallista voimakkaammin ja kuumenee liikaa. Poikittaissa sahauspinnoissa erottuu koivun vetopuu ympäristöstään vaalean ja silkin kiiltoisen värinsä sekä sormin koeteltuna sarveismaisen kovuutensa, tiiviytensä ja silytensä perusteella. Pitkittäissahaussessa muodostuvassa pinnassa vetopuu ilmaisee itsensä erittäin selvästi nukkaisuutensa tai karkean villaisuutensa perusteella.

Silmämääräisesti mikroskoopissa tarkastelemalla todetaan vetopuulle olevan ominaista rakenteen normaalia suuremman tiiviyn, puusuiden paksuseinäisyyden, liivatemaisuuden ja pienten onteloiden sekä putkiloiden normaalia pienemmän lukumäärän ja pienen putkiloprosentin. Vuosirenkaan alkupuoliskossa ovat vetopuun puusuyt huomattavasti paksumpiseinäisiä ja ahtaampionteloisia kuin loppupuoliskossa lukuun ottamatta viimeisiä solurivejä vuosirenkaan rajalla.

Vetopuun puusuyt näyttävät olevan keskimäärin jonkin verran pitempiä kuin normaalipuun sekä niitä selvästi ohuempia ja paksumpiseinäisiä molempien koivulajien sekä runko- että oksapuussa, minkä seurauksena vetopuun puusuytolukon seinämäprosentti on normaalia suurempi.

Putkiloiden lukumäärä ja putkiloprosentti ovat vetopuussa yleensä yllättävän paljon pienempiä kuin normaalipuussa, mutta putkiloiden läpimitassa ja muodossa ei ole selvää eroa.

Vetopuun ydinsäteet ovat ilmeisesti poikkileikkaukseltaan jonkin ver-

ran pienempiä kuin normaalipuun, jonka seurauksena edellisen ydinsäteeprocentti on pienempi kuin jälkimmäisen. Ydinsäteiden lukumäärässä ei todettu eroa normaali- ja vetopuun välillä.

Vetopuun puusuytprocentti on huomattavasti suurempi kuin normaalipuun.

Vetopuusuiden seinämille on erikoisesti ominaista fibrillien ja misellien melkein kuidun pituusakselin suuntainen orientoituminen, mikä näyttää koskevan varsinkin puusuiden paksua, sisintä seinämäkerrosta, ns. tertiäristä seinämää. Tämä tertiäärinen seinämä on vetopuusyille ominainen kerros, jonka erottaa poikkileikkauksessa normaalipuusuiden seinämästä liivatemaisen ja poimuttuneen ulkonäkönsä perusteella. Sen kemiallinen kokoonpano on myös poikkeuksellinen, sillä sen selluloosapitoisuus on huomattavasti suurempi ja ligniinipitoisuus pienempi kuin muiden seinämäkerrosten tai normaalipuusuiden seinämän.

Vetopuun kemiallinen kokoonpano eroaa kokonaisuutena huomattavasti normaalipuusta, siten että edellinen sisältää enemmän selluloosaa ja tuhka-aineita, mutta yleensä vähemmän ligniiniä, pentosaaneja ja uuteaineita, kuten rasvoja, pihkaa yms. kuin jälkimmäinen. Saatujen tulosten voidaan katsoa viittaavan siihen, että kiteisen selluloosan suhde amorfiseen ainekseen on vetopuussa ilmeisesti korkeampi kuin normaalipuussa. Vetopuun glukaani- ja galaktaanipitoisuus on selvästi suurempi, mutta mannaani-, arabaani- ja ksylaaniipitoisuus pienempi kuin normaalipuun.

Vetopuun liukenevaisuus kylmään veteen on ilmeisesti suurempi kuin normaalipuun, mutta kylmien happojen, kuten rikki-, typpi- ja suolahapon syövyttävää vaikutusta edellinen kestää paremmin kuin jälkimmäinen.

Vetopuun tilavuuspaino uunikuivana on selvästi suurempi kuin normaalipuun, ja vetopuupitoisuuden ja tilavuuspainon välillä vallitsee huomattava positiivinen korrelaatio, joka pyrkii olemaan suoraviivainen.

Vetopuun lämpöarvo on yleensä painoyksikköä kohden ilmeisesti jonkin verran pienempi kuin normaalipuun, mutta tilavuusyksikköä kohden laskettuna suhde todennäköisesti kääntyy päinvastaiseksi.

Vetopuun kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi on ilmeisesti kaikissa kolmessa pääsuunnassa yleensä suurempi kuin normaalipuun eron ollessa selvin pituuden suuntaisessa ja pienin säteen suuntaisessa kutistumisessa. Vetopuun määrän ja kutistumisen välillä kaikissa mainituissa suunnissa vallitsee positiivinen korrelaatio, joka on varsinkin pituuden suuntaisen kutistumisen ollessa kyseessä erittäin selvä. Saatuja tuloksia vastaavasti

on vetopuun tilavuuden kutistuminen jonkin verran suurempi kuin normaalipuun.

Molempien koivulajien vetopuu uppoaa uunikuivana veteen pantuna nopeammin ja pienemmän kosteuspitoisuuden omaavana kuin normaalipuun. Puun vetopuupitoisuuden ja uppoamiseen tarvittavan ajan sekä ensiksi mainitun ja kosteuspitoisuuden välillä upotessa vallitsee selvä negatiivinen korrelaatio, joka pyrkii olemaan suoraviivainen. Vetopuun veden imemisnopeus ja -kyky on huomattavasti pienempi kuin normaalipuun ainakin hieskoivulla, kun taas sanotun puulajin normaali- ja vetopuun kuivumisnopeudessa ei ole suurta eroa.

Hygroskooppisen veden määrä on vetopuussa huomattavasti suurempi kuin normaalipuussa, mutta ontelotilavuutta kuvaava kapillaarisen veden määrä päinvastoin pienempi. Vetopuun soluseinäprosentti on huomattavasti suurempi kuin normaalipuun ja edellisen puuaineksen ominaispaino jonkin verran suurempi kuin jälkimmäisen. Tämän ryhmän tutkimuksia tehtiin vain hieskoivusta.

Tuoreen vetopuun puusyiden suuntainen puristuslujuus on yllättävän paljon pienempi kuin normaalipuun, ja vetopuupitoisuuden ja mainitun lujuuden välillä vallitsee selvä negatiivinen korrelaatio, joka pyrkii olemaan suoraviivainen. Vetopuun heikkous normaalipuuhun verrattuna tulee vielä selvempänä esille laatuosamäärissä, jolloin otetaan huomioon edellisen normaalia suurempi tilavuuspaino. Todennäköisesti vetopuu ei eroa normaalipuusta puusyiden suuntaisessa puristuksessa läheskään niin paljon epäedukseen ilmakeivana kuin tuoreena. Myöskin kovuus on tuoreella vetopuulla kaikissa pääsuunnissa pienempi kuin normaalipuulla, ja samoin lienee asian laita ilmakeivän puun suhteen.

Vetopuu lienee muiltakin lujuusominaisuuksiltaan yleensä normaali-puuta jonkin verran heikompaa varsinkin tuoreena, mutta ilmakeivana erotus on usein jokseenkin pieni. Puusyiden suuntaisessa vedossa on eri puulajien vetopuun todettu olevan ilmakeivana jopa selvästi normaali-puuta lujempaa.

Vetopuun erikoisella käyttäytymisellä tavallisissa työstökoneissa ja niissä muodostuvien pintojen laadulla, sen normaalia suuremmalla kutistumisella varsinkin puusyiden suunnassa ja sen tavallisuudesta poikkeavalla kemiallisella kokoonpanolla on vaikutuksensa vetopuuta sisältävän puun käyttömahdollisuuksiin kotitarvepuuna sekä mekaanisen ja kemiallisen puunjalostusteollisuuden raaka-aineena. Vetopuuta runsaasti sisältävän koivun uittomahdollisuudet ovat paljon tavallista huonommat, ellei niitä pyritä parantamaan käytettävissä olevin teknillisin keinoin.

## Kirjallisuusluettelo — References

- ABITZ, W. 1930. Katso HERMANN, K., GERNGROSS, O. und ABITZ, W. 1930.
- AKINS, VIRGINIA 1946. Katso BAUDENDISTEL, M. E. and AKINS, VIRGINIA 1946.
- »— and PILLOW, MAXON Y. 1950. Occurrence of Gelatinous Fibers and Their Effect Upon Properties of Hardwood Species. — For. Prod. Res. Soc. 117. Preprint.
- AMBRONN, H. ind FREY, A. 1926. Polarisationsmikroskop. Leipzig.
- AMOS, G. L. 1950. Katso BISSET, I. J. W., DADSWELL, H. E. and AMOS, G. L. 1950.
- ANDERSON, E. A. 1951. Tracheid Length Variation in Conifers as Related to Distance from Pith. — Journ. of For. 49.
- ANTONOFF, M. 1943. Katso KOLLMANN, F. und ANTONOFF, M. 1943.
- APPELT, HEINZ 1950. Einführung in die mikroskopischen Untersuchungsmethoden. Potsdam.
- ASPLUND, ARNE 1945. Puukuitulevyteollisuuden kehitys, valmistusmenetelmät ja tuotteet. — Suomen Paperi- ja Puutavaralehti 27.
- BAILEY, I. W. 1934. Katso KERR, TH. and BAILEY, I. W. 1934.
- »— and KERR, TH. 1935. The Visible Structure of the Secondary Wall and its Significance in Physical and Chemical Investigations of Tracheary Cells and Fibers. — Journ. of the Arnold Arboretum 16.
- »— and VESTAL, M. R. 1937. The Orientation of Cellulose in the Secondary Wall of Tracheary Cells. — Journ. of the Arnold Arboretum 18.
- »— 1942. Katso WERSHING, HENRY F. and BAILEY, I. W. 1942.
- BALSTON, J. N. and TALBOT, B. E. 1952. A Guide to Filter Paper and Cellulose Powder Chromatography. London.
- BARANETZKY, J. 1901. Über die Ursachen, welche die Richtung der Äste der Baum- und Straucharten bedingen. — Flora.
- DE BARY, A. 1877. Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne. — Hofmeisters Handb. d. phys. Bot. III. Leipzig.
- BAUDENDISTEL, M. E. and AKINS, VIRGINIA 1946. High Longitudinal Shrinkage and Gelatinous Fibers in an Eccentric Cottonwood Log. — Journ. of For. 44.
- BAUMANN, R. 1922. Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart. Berlin.
- BECKER, ERNST 1919. Katso SCHWALBE, CARL G. und BECKER, ERNST 1919.
- BISSET, I. J. W. 1951. Why does Wood shrink? — Holz als Roh- u. Werkstoff 9.
- »— and DADSWELL, H. E. 1948. The Variation of Fibre Length within one Tree of *Eucalyptus regnans*. — Australian Forestry 13.
- »— DADSWELL, H. E. and AMOS, G. L. 1950. Changes in Fibre-Length within one Growth Ring of Certain Angiosperms. — Nature. Div. of For. Prod.

- BOSSHARD, H.H. 1951. Variabilität der Elemente des Eschenholzes in Funktion von der Kambiumtätigkeit. — Schweiz. Zeitschr. f. Forstw. 102.
- BOULTON, E. H. B. and JAY, B. ALWYN 1947. British Timbers. Their Properties, Uses and Identification. London.
- BROWN, H. P., PANSHIN, A. J. and FORSAITH, C. C. 1949 ja 1952. Textbook of Wood Technology I—II. New York.
- BURNS, G. P. 1942. Eccentric Growth in the Main Stem of Young White Ash Trees. — University of Vermont and State Agricultural College. Bull. 492.
- BÜSGEN, M. 1917 ja 1927. Bau und Leben unserer Waldbäume. Jena.  
—»— and MÜNCH, E. 1929. The Structure and Life of Forest Trees. Translation by Thomas Thomson. London.
- BÖNING, KARL 1922. Über den inneren Bau horizontaler und geneigter Sprosse und seine Ursachen. — Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 40.
- CAMPBELL, BOYD 1951. Pulp, Paper and Related Products. — Canadian Woods, their Properties and Uses. Ottawa.
- CHALK, L. 1953. Variation of Density in Stems of Douglas Fir. — Forestry 26.  
—»— 1954. Katso LINDAY, F. W. and CHALK, L. 1954.
- DE CHALMOT, 1894. Am. Chem. soc. 16. — HÄGGLUND, E. 1951.
- CHARLIER, C. V. L. 1920. Vorlesungen über die Grundzüge der Mathematischen Statistik. Hamburg.
- 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.
- CIESLAR, A. 1896. Das Rotholz der Fichte. — Centralbl. f. d. gesamte Forstw. 1.
- CLARKE, S. H. 1930 a. Home-Grown Timbers. Their Anatomical Structure and its Relation to Physical Properties. Elm. — For. Prod. Res. Bull. 7.  
—»— 1930 b. The Differential Shrinkage of Wood. — Forestry 4.  
—»— 1933. On Estimating the Mechanical Strength of the Wood of Ash. — Forestry 7.  
—»— 1935. Recent Work on the Relation between Anatomical Structure and Mechanical Strength in English Ash (*Fraxinus excelsior L.*). — Forestry 9.  
—»— 1936. The Influence of Cell-wall Composition on the Physical Properties of Beech Wood (*Fagus silvatica L.*). — Forestry 10.  
—»— 1937. The Distribution, Structure and Properties of Tension Wood in Beech (*Fagus silvatica L.*). — Forestry 11.  
—»— 1939. Stresses and Strains in Growing Timber. — Forestry 13.
- COLLANDER, RUNAR. 1947. Kasvifysiologian perusteet II. Helsinki.  
—»— 1953. Elektronimikroskooppi kasvien hienorakenteen paljastajana. — Luonnon Tutkija 57.
- CORRENS, E. 1944. Katso DOLMETSCH, H., FRANZ, E. und CORRENS, E. 1944.
- CRAMER, FRIEDRICH 1953. Papierchromatographie. Weinheim.
- DADSWELL, H. E. 1945. Timbers of the New Guinea Region. — Tropical Woods 83.  
—»— and WARDROP, A. B. 1949. What is Reaction Wood. — Australian Forestry 13.  
—»— and WARDROP, A. B. 1955. The Structure and Properties of Tension Wood. — Holzforschung 4/9.  
—»— 1948, 1950 ja 1952. Katso WARDROP, A. B. and DADSWELL, H. E. 1948, 1950 ja 1952.

- DADSWELL, H. E. 1949. Katso BISSET, I. J. W. and DADSWELL, H. E. 1949.  
—»— 1950. Katso BISSET, I. J. W., DADSWELL, H. E. and AMOS, G. L. 1950.
- DESCH, H. E. 1947. Timber. Its Structure and Properties. London.
- DIETZ, ALBERT G. H. 1949. Materials of Construction. Wood, Plastics, Fabrics. New York.
- DOLMETSCH, H., FRANZ, E. und CORDENS, E. 1944. Zusammenhänge zwischen morphologischer Struktur und Kettenlänge bei nativen Zellulosefasern. — Kolloid Zeitschr. 106.
- DUHAMEL DU MONCEAU, HENRI LOUIS 1758. La physique des arbres I—II. Paris.
- ENEROTH, O. 1922. Vedens tyngd, vattenhalt, krympning och svällning, torkning och vattenuptagning. — Handbok i skogsteknologi. Stockholm.
- 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
- ESAU, KATHERINE 1953. Plant Anatomy. New York.
- EWART, A. J. and MASON-JONES, A. G. 1906. The Formation of Redwood in Conifers. — Anm. of Botany 20.
- FARR, WANDA K. 1938. The Microscopic Structure of Plant Cell Membranes in Relation to the Mice lar Hypothesis. — Journ. of Phys. Chem. 42.  
—»— 1949. The Tertiary Membrane of the Plant Cell Wall. — Journ. Phys. and Colloid. Chem. 53.
- FORSAITH, C. C. 1949 ja 1952. Katso BROWN, H. P., PANSHIN, A. J. and FORSAITH, C. C. 1949 ja 1952.
- FRANZ, E. 1944. Katso DOLMETSCH, H., FRANZ, E. und CORRENS, E. 1944.
- FRASER, D. A. 1952. Initiativ of Cambial Activity in some Forest Trees in Ontario. — Ecology 33.
- FREI-SULZER, MAX 1946. Mikroskopische Bibliothek 1—3. Zürich.
- FREUND, HUGO 1951. Hanfbuch der Mikroskopie in der Technik V, 1—2. Mikroskopie des Holzes und des Papiers. Frankfurt a. M.
- FREY, ALB. 1926. Der heutige Stand der Micellartheorie. — Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 44.  
—»— 1926. Katso AMBRONN, H. und FREY, A. 1926.  
—»— 1928. Katso JACCARD, PAUL und FREY, A. 1928.
- FREY-WYSSLING, A. 1936. Der Aufbau der pflanzlichen Zellwände. — Protoplasma 25.  
—»— 1938 a. Submikroskopische Struktur und Mazerationsbilder nativer Zellulosefasern. — Papier-Fabrikant 36.  
—»— 1938 b. Submikroskopische Morphologie des Protoplasms und seiner Derivate. Berlin.  
—»— 1940 a. Anisotropie des Schwindmasses auf dem Holzquerschnitt. — Holz als Roh- u. Werkstoff 3.  
—»— 1940 b. Die Ursache der anisotropen Schwindung des Holzes. — Holz als Roh- u. Werkstoff 3.



- FREY-WYSSLING, A. 1943. Weitere Untersuchungen über die Schwindungsanisotropie des Holzes. — Holz als Roh- u. Werkstoff 6.
- »— 1951. Über verbänderte Cellulosemikrofibrillen in Zellwänden. — Holz als Roh- u. Werkstoff 9.
- »— 1953. Submicroscopic Morphology of Protoplasm. Amsterdam.
- GABNAY, F. 1892. A fák excentricitása. — Bot. Centralbl. 51.
- GERBER, KONRAD 1927. Fachkunde für das Holzgewerbe I. Köln.
- GERNGROSS, O. 1930. Katso HERMANN, K., GERNGROSS, O. und ABITZ, W. 1930. GOEBEL, K. 1913. Organographie der Pflanzen. Jena.
- GOTTLIEB, EMIL 1883. Untersuchungen über die elementare Zusammensetzung einiger Holzarten in Verbindung mit calorimetrischen Versuchen über ihre Verbrennungsfähigkeit. — Journ. f. Prakt. Chemie 28.
- GRIMSEHL, E. 1952. Lehrbuch der Physik III. Optik. Herausg. von W. SCHALLREUTER. Leipzig.
- GUSTAFSSON, CHARLEY 1949. Katso SUNDMAN, JACOBUS, SAARNIO, JOUKO och GUSTAFSSON, CHARLEY. 1949.
- »— OLLINMAA, PAAVO J. and SAARNIO, JOUKO 1952. The Carbohydrates in Birchwood. — Acta Chemica Scandinavica 6.
- »— SUNDMAN, JACOBUS and LINDH, THORSTEN 1951. Quantitative Method for Determination of Carbohydrates by Means of Paper Partition Chromatography. — Papperi ja Puu (B) 33.
- »— SUNDMAN, JACOBUS, PETTERSSON, STIG and LINDH, THORSTEN 1951. The Carbohydrates in Some Species of Wood. — Papperi ja Puu (B) 33.
- »— 1952. Katso SAARNIO, JOUKO, NISKASAARI, ERKKI and GUSTAFSSON, CHARLEY 1952.
- HABERLANDT, G. 1918. Physiologische Pflanzenanatomie. Leipzig.
- HADÉK, ANTON und JANKA, GABRIEL 1900. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der österreichischen Bauhölzer I. Fichte Südtirols. — Mitt. aus dem Forstl. Versuchsw. Österreichs 25.
- HALLER, BERNHARD 1935. Uurimusi okaspuude ekstsentrilisest jämedusekasvust. *Referat: Untersuchungen über das exzentrische Dickenwachstum der Nadelholzstämmen.* — Tartu Ülik. Metsaosak. Toimet. 24.
- HALSE, O. M. 1926. Bestemmelse av cellulose och trämasse i papper. — Papperjourn.
- HANSEN, L. A. 1937. Katso STAMM, ALFRED J. and HANSEN, L. A. 1937.
- HARADA, H. and MIYAZAKI, H. 1952. Electron-Microscope Study of Compression Wood. — Bull. For. Exp. Station Meguro 54.
- HARDERS-STEINHÄUSER, MALIANNE 1950. Katso JAYME, GEORG und HARDERS-STEINHÄUSER, MARIANNE 1950.
- »— 1950. Katso JAYME, GEORG, HARDERS-STEINHÄUSER, MARIANNE und MOHRBERG, WILHELM 1951.
- »— 1953. Katso JAYME, GEORG und HARDERS-STEINHÄUSER, MARIANNE 1953.
- »— 1953. Katso JAYME, GEORG, HARDERS-STEINHÄUSER, MARIANNE und MOHRBERG, WILHELM 1953.
- »— 1954. Katso JAYME, GEORG und HARDERS-STEINHÄUSER, MARIANNE 1954.

- HARTIG, ROBERT 1894. Untersuchungen über die Entstehung und die Eigenschaften des Eichenholzes. — Forstl.-Naturwiss. Zeitschr. 3.
- »— 1896. Das Rothholz der Fichte. — Forstl.-Naturwiss. Zeitschr. 5.
- »— 1901. Holzuntersuchungen. Altes und Neues. Berlin.
- HARTMANN, FRANZ 1932. Untersuchungen über Ursachen und Gesetzmässigkeit exzentrischen Dickenwachstums bei Nadel- und Laubbäumen. — Forstwiss. Centralbl. 54.
- »— 1942. Das statische Wuchsgesetz bei Nadel- und Laubbäumen. Wien.
- HATA, K. 1949. Studies on the Pulp of Akamatsu (*Pinus densiflora*) I. On the Length, Diameter, and Length-Diameter Ratio of Tracheids in Akamatsu Wood. — Tech. Bull. Kawaga-Ken agric. Coll. 1.
- HELANDER, A. BENJ. 1922. Metsänkäyttöoppi. Porvoo.
- »— 1933. Kuusen ja männyn vesisolujen pituusvaihtelut. *Summary: Variations in Tracheid Length of Pine and Spruce.* — Puutekn. tutk. Kannatusyh. julk. 14.
- HENGSTENBERG, J. und MARK, H. 1928. Über Form und Grösse der Mizelle von Zellulose und Kautschuk. — Zeitschr. für Kristallogr. 69.
- HERIC, P. G. 1915. Zur Anatomie excentrisch gebauter Hölzer. Diss. d. Univers. Freiburg. Görz.
- HERING, G. 1904. Untersuchungen über das Wachstum invers. gestellter Pflanzenorgane. — Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 40.
- HERMANN, K., GERNGROSS, O. und ABITZ, W. 1930. Zur röntgenographischen Strukturermorschung des Gelatinemicells. — Zeitschr. für Phys. Chem. Abt. B. 10.
- HERMANS, P. H. 1949. Physics and Chemistry of Cellulose Fibres. Amsterdam.
- HERRMANN, W. 1926. Katso MÜLLER, W. J. und HERRMANN, W. 1926.
- HERZBERG, WILHELM 1921. Papierprüfung. Berlin.
- HERZOG, ALOIS 1939. Hervorheben der Struktur von Pflanzenfasern durch Quetschen. — Wochenbl. für Papierfabrikation.
- HESS, K. 1928. Die Chemie der Cellulose. Leipzig.
- »— 1934. Kinematographische Quellungsanalyse. — Papier-Fabrikant 32.
- »— WERGIN, W. und KIESSIG, H. 1942. Zur Frage des Aufbaues der Primärwand der Baumwollhaare. — Planta, Archiv für wiss. Bot. 33.
- HUBER, BRUNO 1951. Mikroskopische Untersuchung von Hölzern. — Handb. der Mikroskopie in der Technik V. 1. Frankfurt a. M.
- »— und PRÜTZ, GERHARD 1938. Über den Anteil von Fasern, Gefässen und Parenchym am Aufbau verschiedener Hölzer. — Holz als Roh- u. Werkstoff 1.
- HÄGGLUND, ERIK 1951. Chemistry of Wood. New York.
- JACCARD, PAUL 1917. Anatomische Struktur des Zug- und Druckholzes bei wagrechten 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.

- JACOBS, M. R. 1936. The Effect of Wind on Trees. — Australian Forestry 1.  
 —»— 1938. The Fibre Tension of Woody Stems, with Special Reference to the Genus *Eucalyptus*. — Commonw. Forestry Bureau. Bull. 22.
- JALAVA, MATTI 1933. Suomalaisen männyn lujuusominaisuuksista. — Metsätiet. tutk. lait. julk. 18.7.  
 —»— 1934. Havaintoja puun aseman vaikutuksesta puun ominaisuuksiin. *Summary: Investigation into the influence of the position of a tree in the stand upon the properties of the wood.* — Acta Forest. Fenn. 40.  
 —»— 1946. Puu. — Puurakennustaito. Helsinki.  
 —»— 1946. Suomalaisen männyn, kuusen, koivun ja haavan lujuusominaisuuksista. *Summary: Strength properties of Finnish pine, spruce, birch and aspen.* — Metsätiet. tutk. lait. julk. 33.3.  
 —»— 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki.
- JANE, FRANK W. 1952. The Structure of Wood in Relation to its Properties and Uses. Abnormal Wood. — Wood 17.
- JANKA, GABRIEL 1900. Katso HADEK, ANTON und JANKA, GABRIEL 1900.  
 —»— 1915. Die Härte der Hölzer. — Mitt. aus dem Forstl. Versuchsw. Österreichs 39.
- JAY, B. ALWYN 1947. Katso BOULTON, E. H. B. and JAY, B. ALWYN 1947.
- JAYME, GEORG 1951 a. Über die Bedeutung des Zugholzanteils in Pappelhölzern. — Holz als Roh- u. Werkstoff 9.  
 —»— 1951 b. Pappelholz als Faserrohstoff. — Das Pappelbuch. Bonn.  
 —»— 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.  
 —»— und HARDERS-STEINHÄUSER, MARIANNE 1954. Durch Unterdrückung im engen Wachstumsverband hervorgerufene Eigenschaftsänderungen junger Pappelhölzer. — Holz als Roh- u. Werkstoff 12.  
 —»—, HARDERS-STEINHÄUSER, MARIANNE und MOHRBERG, 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.
- JENSEN, WALDEMAR 1949. The Chemical Composition of Wood of White Birch. — Suomen Paperi- ja Puutavaralehti 31.  
 —»— 1950. Studium av björkens anatomi. — Paperi ja Puu (B) 32.  
 —»— 1950—51. Björk som råmaterial för massaframställning I—III. — Paperi ja Puu (B) 32—33.
- JOST, LUDVIG 1901. Über einige Eigentümlichkeiten des Kambiums der Bäume. — Bot. Ztg. 59.  
 —»— 1908. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Jena.
- KANTOLA, MARTTI 1954. Selluloosan röntgendiffraktiotutkimuksesta. — Eripainos Paperi ja Puu, n:o 10.
- KAUPPILA, LAURI 1943. Tuuloksen ajokaluteollisuus. — Hämeen Heimoliiton julkaisu 15. Hämeenlinna.

- KENDALL, M. G. 1950. Katso YULE, G. UDNY and KENDALL, M. G. 1950.
- KERR, TH. 1937. The Structure of Growth Rings in the Secondary Wall of the Cotton Hair. — Protoplasma 27.  
 —»— and BAILEY, I. W. 1934. The Cambium and its Derivate Tissues. Structure, Optical Properties and Chemical Composition of the so-called Middle Lamella. — Journ. of the Arnold Arbor. 15.  
 —»— 1935. Katso BAILEY, I. W. and KERR, TH. 1935.
- Keskuslaboratorio Oy. 1939. Selluloosan lujuus- ym. paperiteknillisten ominaisuuksien määrittäminen käytettäessä Valley-hollanteria jauhamisvälineenä. — Analyysi- ja tutkimusmenetelmiä A 1011.  
 —»— 1941. Selluloosan tuhkapitoisuuden määrittäminen. — Analyysi- ja tutkimusmenetelmiä A 4011.  
 —»— 1941. Selluloosan ligniinipitoisuuden määrittäminen Halsen menetelmän mukaan. — Analyysi- ja tutkimusmenetelmiä A 4051.  
 —»— 1941. Selluloosan pentosaanipitoisuuden määrittäminen Kullgrenin ja Tydénin menetelmän mukaan. — Analyysi- ja tutkimusmenetelmiä A 4061.
- KIESSIG, H. 1942. Katso HESS, K., WERGIN, W. and KIESSIG, H. 1942.
- KISSER, J. und LEHNERT, I. 1951. Ein neues Verfahren zur Bestimmung des Früh- und Spätholzanteils bei Nadelhölzern. — Intern. Holzmarkt. 42.
- KLAUDITZ, WILHELM 1941. Zur Kenntnis der Cellulose in der Zellwand der Laubhölzer. — Papier-Fabrikant 39.  
 —»— 1951. Über die mechanischen Eigenschaften und chemische Zusammensetzung des Stammholzes zweier Pappelhybriden. — Holz als Roh- u. Werkstoff 9.  
 —»— 1952. Zur biologisch-mechanischen Wirkung des Lignins im Stammholz der Nadel- und Laubhölzer. — Holzforschung 6.  
 —»— 1953. Katso RÜNGER, H. G. und KLAUDITZ, W. 1953.  
 —»— und STOLLEY, I. 1955. Über die biologisch-mechanischen und technischen Eigenschaften des Zugholzes. — Holzforschung 9.
- KLEM, GUSTAV G. 1947. En kort orientering om våre skogstrær. Oslo.
- KLEMM, PAUL 1910. Handbuch der Papierkunde. Leipzig.
- KNUCHEL, HERMANN 1947. Holzfehler. Zürich.
- KNY, L. 1882. Über das Dickenwachstum des Holzkörpers in seiner Abhängigkeit von äusseren Einflüssen. Berlin.
- KOEHLER, ARTHUR 1931. The Longitudinal Shrinkage of Wood. — Transact. Am. Soc. of Mechan. Eng.
- KOERNICKE, MAX 1950. Katso STRASBURGER, EDUARD und KOERNICKE, MAX 1950.
- KOHLRAUSCH, F. 1950. Praktische Physik I. Leipzig.
- KOLLMANN, FRANZ 1941. Die Esche und ihr Holz. Berlin.  
 —»— 1951. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe I. Nördlingen.  
 —»— und ANTONOFF, M. 1943. Beitrag zur Erforschung des submikroskopischen Feinbaus von Holz. — Holz als Roh- u. Werkstoff 6.
- KRATKY, O. und MARK, H. 1937. Zur Frage der individuellen Cellulosemicellen. — Zeitschr. f. Phys. Chemie, Abt. B., 36.
- KUJALA, VILJO 1946. Koivututkimuksia. *Summary: Some recent research data on birches.* — Metsätiet. tutk. lait. julk. 34.1.

- KULLGREN, C. und TYDÉN, H. 1929. Ueber die Bestimmung von Pentosanen. — Ingeniörsvetenskapsakad. handl. 94.
- LAMIRAND, J. et PARISELLE, H. 1938. Cours de Chimie III. Chimie organique. Paris.
- 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.
- LASSILA, I. 1926. Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimuksesta, sen tuloksista ja tehtävistä. *Summary: The mechanico-technical properties of wood, their study and its objects.* — Acta Forest. Fenn. 31.4.
- »— 1929. Metsätyypin vaikutuksesta puun painoon. *Summary: On influence of forest type on weight of wood.* — Acta Forest. Fenn. 36.1.
- LEHNERT, I. 1951. Katso KISSER, J. und LEHNERT, I. 1951.
- LIEPINŠ, ROB. 1933. Die technischen Eigenschaften der Birke Lettlands. — Comm. Forest. 6.
- LIESER, TH. 1952. Makromolekulare und micellare Natur der Cellulose. — Holzfor-schung 6.
- LINDH, THORSTEN 1951. Katso GUSTAFSSON, CHARLEY, SUNDMAN, JACOBUS and LINDH, THORSTEN 1951.
- »— 1951. Katso GUSTAFSSON, CHARLEY, SUNDMAN, JACOBUS, PETTERSSON, STIG and LINDH, THORSTEN 1951.
- LINDSAY, F. W. and CHALK, L. 1954. The Influence of Rays on the Shrinkage of Wood. — Forestry 27.
- LONSDALE, K. 1948. Crystals and X-rays. London.
- LUXFORD, R. F. 1937. Katso PILLOW, M. Y. and LUXFORD, R. F. 1937.
- LÜDTKE, MAX 1932—33. Ueber die Organisation der pflanzlichen Zellmembran. — Cellulosechemie 13—14.
- »— 1950. Zur Morphologie und Chemie der pflanzlichen Faserzellwand. — Holzfor-schung 4.
- LÄMMERMAYR, L. 1901. Beiträge zur Kenntnis der Heterotrophie von Holz und Rinde. — Sitzber. d. Akad. d. Wiss. zu Wien 110, Abt. I.
- MARK, HERMANN 1928. Katso HENGSTENBERG, J. und MARK, H. 1928.
- »— 1930. Katso MEYER, K. H. und MARK, H. 1930.
- »— 1937. Katso KRATKY, O. und MARK, H. 1937.
- »— 1953. Einige Fortschritte in der Chemie der Cellulose. — Holz als Roh- u. Werkstoff 11.
- 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.
- MASON-JONES, A. G. 1906. Katso EWART, A. J. and MASON-JONES, A. G. 1906.
- MATSUMOTO, F. 1950. The Anisotropic Shrinkage of Wood. — Morioka Coll. of Agric. and For., Iwate Univ. Bull. 26.
- »— 1950. Studies on Compression Wood. — J. Jap. For. Soc. 32., Morioka Coll. of Agric. and For., Iwate Univ. Bull. 26.
- MAYER—WEGELIN, H. 1950. Die Härtetaster. Ein neues Gerät zur Untersuchung von Jahrringbau und Holzgefüge. — Allg. Forst- u. Jagdztg. 122.

- MAYER—WEGELIN, H. 1951. Das Pappelholz. Eigenschaften und Verwendung. — Das Pappelbuch. Bonn.
- »— 1952. Furniereichen-Standorte. — Holz-Zentralbl. 129.
- 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.
- METZGER, K. 1893. Der Wind als massgebender Faktor für das Wachstum der Bäume. — Münden. forstl. Hefte 3.
- »— 1908. Über das Konstruktionsprinzip des sekundären Holzkörpers. — Naturwiss. Zeitschr. f. Forst- u. Landw.
- MEYER, KURT H. und MARK, H. 1930. Der Aufbau der hochpolymeren organischen Naturstoffe. Leipzig.
- »— et MISCH, LORE 1937. Positions des atomes dans le nouveau modèle spatial de la cellulose. — Helv. Chim. Acta 20.
- MISCH, LORE 1937. Katso MEYER, KURT H. et MISCH, LORE 1937.
- MITCHELL, R. 1939. Katso RITTER, G. J. and MITCHELL, R. 1939.
- MIYAZAKI, Y. 1952. Katso HARADA, H. and MIYAZAKI, Y. 1952.
- MOHRBERG, WILHELM 1951 ja 1953. Katso JAYME, GEORG, HARDERS-STEIN-HÄUSER, MARIANNE und MOHRBERG, WILHELM 1951 ja 1953.
- MORK, ELIAS 1928. On tennar. — Bil. til Tidsskr. for Skogbruk 9.
- »— 1946. Vedanatomi. Oslo.
- MÜHLETHALER, KURT 1949. Electron Micrographs of Plant Fibres. — Biochim. et Biophys. Acta 3.
- MÜLLER, W. J. und HERRMANN, W. 1926. Zur Ligninbestimmung in Holz und Holz-zellstoffen. — Der Papierfabrikant 24.
- MÜNCH, ERNST 1929. Katso BÜSGEN, M. and MÜNCH, E. 1929.
- »— 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.
- »— 1940. Weitere Untersuchungen über Druckholz und Zugholz. — Flora oder allg. bot. Ztg., Neue Folge, 34.
- MÖRATH, E. 1932. Studien über die hygroskopischen Eigenschaften und die Härte der Hölzer. — Mitt. d. Holzforschungst. an der Techn. Hochschule Darmstadt 1.
- NARAYANAMURTI, D., RANGANATHAN, V. and RATRA, R. S. 1951. Diffusion in Wood. 1. Diffusion of Ions through some Indian Timbers. — Indian Forester 77.
- NISHIKAWA, S. and ONO, S. 1913. Transmission of X-Rays through Fibrous, Lamellar and Granular Substances. — Proc. Math. Physic. Soc. 7.
- NISKASAARI, ERKKI 1952. Katso SAARNIO, JOUKO, NISKASAARI, ERKKI and GUSTAFSSON, CHARLEY 1952.
- NORDMAN, L. 1949. Paperin opasiteetti ja siihen vaikuttavia tekijöitä. — Suomen Paperi- ja Puutav. lehti 31.

- V. NÄGELI, C. 1858. Die Stärkekörner. Pflanzenphysiologische Untersuchungen. Zürich.
- »— 1928. Die Micellartheorie. Herausg. von A. FREY, Leipzig.
- OLLINMAA, PAAVO J. 1952. Katso GUSTAFSSON, CHARLEY, OLLINMAA, PAAVO J. and SAARNIO, JOUKO 1952.
- ONAKA, FUMIHIKO 1949. Studies on Compression- and Tension-Wood. — »Wood Research«. Bull. of the Wood Res. Inst. Kyoto Univ. 1.
- ONO, S. 1913. Katso NISHIKAWA, S. and ONO, S. 1913.
- OPPENHEIMER, CARL 1933. Chemische Grundlagen der Lebensvorgänge. Leipzig.
- PANSHIN, A. J. 1949 ja 1952. Katso BROWN, H. P., PANSIN, A. J. and FORSAITH, C. C. 1949 ja 1952.
- PARISELLE, H. 1938. Katso LAMIRAND, J. et PARISELLE, H. 1938.
- V. PECHMANN, HUBERT 1953. Untersuchungen über die Bruchschlagnarbeit von Rotbuchenholz. — Holz als Roh- u. Werkstoff 11.
- »— 1955. Aktuelle Probleme der forstlichen und holztechnischen Forschung. Schw. Zschr. f. Forstw. 106.
- PELLINEN, H. ja ROSCHIER, R. H. 1952. Hiokkeen ja selluloosan valmistus. Helsinki.
- PENTONEY, R. E. 1953. Mechanisms Affecting Tangential vs. Radial Shrinkage. — J. For. Prod. Res. Soc. 3.
- PERELYGIN, L. M. 1936. Katso SAVINA, A. V. und PERELYGIN, L. M. 1936.
- PERILÄ, OLAVI ja SEPPÄLÄ, EINO 1952. Pakurikäävän vaikutuksesta koivupuuhun sekä tästä valmistetun sulfiittiselluloosan paperiteknillisiin ominaisuuksiin. Paperi ja Puu 34.
- PETTERSSON, STIG 1951. Katso GUSTAFSSON, CHARLEY, SUNDMAN, JACOBUS, PETTERSSON, STIG and LINDH, THORSTEN 1951.
- 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.
- »— 1950. Katso AKINS, VIRGINIA and PILLOW, MAXON, Y. 1950.
- »— and LUXFORD, R. F. 1937. Structure, Occurrence, and Properties of Compression Wood. — U.S. Dep. Agric. Techn. Bull. 546.
- PRESTON, R. D. 1939. The molecular Chain Structure of Cellulose and its Botanical Significance. — Biol. Rev. of the Cambridge Phil. Soc. 14.
- »— 1942. Anisotropic Contraction of Wood and of 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.
- »— 1947. Katso WARDROP, A. B. and PRESTON, R. D. 1947.
- »— 1948. The Fine Structure of the Wall of the Conifer Tracheid. — Biochim. et Biophys. Acta 2.
- »— 1949. Fibre Science. Manchester.
- »— 1951. Katso WARDROP, A. B. and PRESTON, R. D. 1951.
- »— 1952. The Molecular Architecture of Plant Cell Walls. London.
- »— and RANGANATHAN, V. 1947. The Fine Structure of the Fibres of Normal and Tension Wood in Beech (*Fagus Sylvatica* L.) as revealed by X-Rays. — Forestry 21.

- PRIESTLEY, J. H. and TONG, D. 1927. The Effect of Gravity upon Gambial Activity in Trees. — Proc. of the Leeds Phil. and Lit. Soc., Scient. Sec. 1, Part 5.
- PRÜTZ, GERHARD 1938. Katso HUBER, BRUNO und PRÜTZ, GERHARD 1938.
- RANGANATHAN, V. 1947. Katso PRESTON, R. D. and RANGANATHAN, V. 1947.
- »— 1951. Katso NARAYANAMURTI, D., RANGANATHAN, V. and RATRA, R. S. 1951.
- RATRA, R. S. 1951. Katso NARAYANAMURTI, D., RANGANATHAN, V. and RATRA, R. S. 1951.
- REECE, PHILLIP O. 1949. An Introduction to the Design of Timber Structures. London.
- REINERT, GUIDO G. 1943. Praktische Mikrofotografie. Halle.
- RENDLE, B. J. 1937. Gelatinous Wood Fibres. — Tropical Woods 52.
- RITTER, GEORGE J. 1935. The Morphology of Cellulose Fibers as Related to the Manufacture of Paper. — Paper Trade Journ.
- »— and MITCHELL, R. 1939. Crystal Arrangement and Swelling Properties of Fibers and Ray Cells in Basswood. — Paper Trade Journ.
- ROSCHIER, R. H. 1952. Katso PELLINEN, H. ja ROSCHIER, R. H. 1952.
- ROUTALA, OSKARI 1936. Puukemia ja puukemiallinen teollisuus. Porvoo.
- RÜNGER, H. G. und KLAUDITZ, W. 1953. Über Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung und den Festigkeitseigenschaften des Stammholzes von Pappeln. — Holzforschung 7.
- RÄNBY, BENGT G. 1953. Elektronenmikroskopie von Cellulose, Hemicellulose und Lignin. — Holzforschung 7.
- SAARNIO, JOUKO 1949. Katso SUNDMAN, JACOBUS, SAARNIO, JOUKO och GUSTAFSSON, CHARLEY 1949.
- »— NISKASAARI, ERKKI and GUSTAFSSON, CHARLEY 1952. Quantitative Paper Chromatography of Monosaccharides and some Aromatic Compounds. — Suomen Kemistilehti B. 25.
- »— 1952. Katso GUSTAFSSON, CHARLEY, OLLINMAA, PAAVO J. and SAARNIO, JOUKO 1952.
- SANIO, G. 1863. Vergleichende Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers. — Bot. Ztg. 21.
- »— 1872. Über die Grösse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer. — Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 8.
- SAUTER, ERWIN 1937. Über die Kristallstruktur der Cellulose. — Zeitschr. für phys. Chem., Abt. B. 36.
- SAVINA, A. V. und PERELYGIN, L. M. 1936. Der anatomische Bau des Birkenholzes und dessen Zusammenhang mit den physikalisch mechanischen Eigenschaften. — Journ. bot. de l'URSS 21.
- SCHNEIDER, F. 1896. Untersuchungen über den Zuwachsgang und den anatomischen Bau der Esche (*Fraxinus excelsior*). — Forstl. Naturwiss. Zeitschr. 5.
- SCHORGER, A. W. 1926. The Chemistry of Cellulose and Wood. New York.
- SCHROEDER, H. 1913. Biochemie der Pflanzen II. Jena.
- SCHULZE, F. 1857. Chem. Zentralbl. 28. — KOLLMANN 1951.
- SCHWALBE, CARL G. und BECKER, ERNST 1919. Zur Kenntnis der Zellstoffleime I. — Zeitschr. f. angew. Chemie 32, Bd. 1.

- SCHWARZ, F. 1899. Physiologische Untersuchungen über Dickenwachstum und Holzqualität von *Pinus silvestris*. Berlin.
- SEIFRIZ, WILLIAM 1929. The Contractility of Protoplasm. — The American Naturalist 63.
- SEPPÄLÄ, EINO 1952. Katso PERILÄ, OLAVI ja SEPPÄLÄ, EINO 1952.
- SIEBER, RUDOLF 1951. Die Chemisch-Technischen Untersuchungs-Methoden der Zellstoff- und Papier-Industrie. Berlin.
- SIGNER, R. 1929. Katso STAUDINGER, H. und SIGNER, R. 1929.
- SIHTOLA, HANNES 1944. Eine Untersuchung über die Hydrolyse der Cellulose in konzentrierten  $ZnCl_2$ -Lösungen. Akad. Abhandl. Helsinki.
- SIMONS, LENNART 1946. Fysiikka korkeakouluja varten. Porvoo.
- SINNOTT, W. 1952. Reaction Wood and the Regulation of Tree Form. — Am. Journ. of Botany 39.
- SNOW, R. 1933. The Nature of the Cambial Stimulus. — The New Phytologist 32.
- SOMERVILLE, WILLIAM 1927. How a Tree grows. London.
- STAMM, ALFRED J. and HANSEN, L. A. 1937. The Bonding Force of Cellulosic Materials for Water (from Specific Volume and Thermal Data). — Journ. of Phys. Chem. 41.
- STAUDINGER, H. 1941. Organische Kolloidchemie. Braunschweig.
- und SIGNER, R. 1929. Über den Kristallbau hochmolekularer Verbindungen. — Zeitschr. f. Kristallogr. 70.
- STAUFFER, D. 1892. Untersuchungen über spezifisches Trockengewicht, sowie anatomischen Bau des Holzes der Birke. — Forstl.-naturwiss. Zeitschr. 1.
- STOCKER, OTTO 1952. Grundriss der Botanik. Berlin.
- STOLLEY, I. 1955. Katso KLAUDITZ, WILHELM und STOLLEY, I. 1955.
- STRASBURGER, E. 1891. Bau und Verrichtungen der Leitungsbahnen in den Pflanzen. Jena.
- 1947. Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Bearbeitet von FITTING, HANS, HARDER, RICHARD, SCHUMACHER, WALTER und FIRBAS, FRANZ. Jena.
- und KOERNICKE, MAX 1950. Das kleine botanische Praktikum. Jena.
- SUNDMAN, JACOBUS, SAARNIO, JOUKO och GUSTAFSSON, CHARLEY 1949. Papperskromatografisk undersökning av kolhydratsammansättningarna i några trädslag. — Pappers- och Trävarutidskr. för Finland 31.
- 1951. Katso GUSTAFSSON, CHARLEY, SUNDMAN, JACOBUS and LINDH, THORSTEN 1951.
- 1951. Katso GUSTAFSSON, CHARLEY, SUNDMAN, JACOBUS, PETTERSSON, STIG and LINDH, THORSTEN 1951.
- SWARBRICK, T. 1927. Studies in the Physiology of Fruit Trees I. The Seasonal Starch Content and Cambial Activity in One- to Five-year-old Apple Branches. — Journ. of Pomology and Hort. Sci. 6.
- THIESSEN, P. A. 1938. Von neuen Ergebnissen und Fragestellungen der Kolloidforschung. — Angewandte Chemie 51.
- THUNELL, BERTIL 1945. Trä, dess byggnad och felaktigheter. Stockholm.
- TIEMANN, HARRY DONALD 1921. The Kiln Drying of Lumber. Philadelphia.
- 1944 ja 1951. Wood Technology. Constitution. Properties and Uses. London.
- TONG, D. 1927. Katso PRIESTLEY, J. H. and TONG, D. 1927.

- TRENDELENBURG, REINHARD 1932. Über die Eigenschaften des Rot- oder Druckholzes der Nadelhölzer. — Allg. Forst- u. Jagdztg. 108.
- 1933. Die Härteprüfung der Hölzer. — Forstarchiv 9.
- 1939. Das Holz als Rohstoff. München.
- 1955. Das Holz als Rohstoff, 2. Aufl. Herausg. von MAYER-WEGELIN, H. München.
- TYDÉN, H. 1929. Katso KULLGREN, C. und TYDÉN, H. 1929.
- URSPRUNG, A. 1905 a. Untersuchungen über die Festigkeitsverhältnisse an exzentrischen Organen und ihre Bedeutung für die Erklärung des exzentrischen Dickenwachstums. — Beih. z. Bot. Centralbl. 19, Abt. I.
- 1905 b. Untersuchungen über das exzentrische Dickenwachstum an Stämmen und Ästen. — Beih. z. Bot. Centralbl. 19, Abt. I.
- 1906. Die Erklärungsversuche des exzentrischen Dickenwachstums. — Biol. Centralbl. 26.
- WALLDÉN (VALTIALA), PAUL 1933. Eräs puun laadun tunnus. *Referat: Ein Charakteristikum für die Holzqualität.* — Acta Forest. Fenn. 39.5.
- 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.
- WALTER, HEINRICH 1950. Grundlagen des Pflanzenlebens und ihre Bedeutung für den Menschen. Stuttgart.
- WANGAARD, FREDERICK F. 1950. The Mechanical Properties of Wood. New York.
- WARDROP, A. B. 1949. Katso DADSWELL, H. E. and WARDROP, A. B. 1949.
- 1954. The Fine Structure of the Conifer Tracheid. — Holzforschung 8.
- 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.
- 1951. The Submicroscopic Organization of the Cell Wall in Conifer Tracheids and Wood Fibres. — Journ. exp. Bot. 2.
- WEGELIUS, TH. 1939. The Presence and Properties of Knots in Finnish Spruce. — Acta Forest. Fenn. 48.1.
- WERGIN, W. 1938. Über den Aufbau der pflanzlichen Zellwand. — Ber. der Deutsch. Bot. Ges. 56, s. 448.
- 1942. Welche Aussagen gestattet die Elektronenmikroskopie über den Aufbau der Zellulosefasern? — Kolloid Zeitschr. 98.
- 1942. Katso HESS, K., WERGIN, W. und KIESSIG, H. 1942.
- WERSHING, HENRY F. and BAILEY, I. W. 1942. Seedlings as Experimental Material in the Study of »Redwood» in Conifers. — Journ. of Forestry 40.
- VESTAL, M. R. 1937. Katso BAILEY, I. W. and VESTAL, M. R. 1937.
- WIESNER, J. 1886. Untersuchungen über die Organisation der vegetabilischen Zellhaut. — Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. zu Wien, math.-naturwiss. Classe, 93, Abth. I.
- WIGAND, ALBERT 1854. Der Baum. Braunschweig.

- VINTILA, EUGEN 1939. Untersuchungen über Raumgewicht und Schwindmass von Früh- und Spätholz bei Nadelhölzern. — Holz als Roh- u. Werkstoff 2.
- WISE, LOUIS E. 1950. Wood Chemistry. Ann Arbor.
- VORREITER, LEOPOLD 1949. Holztechnologisches Handbuch I. Wien.
- »— 1954. Stammform und Holzeigenschaften der Bayernwald-Fichte. — Holz als Roh- u. Werkstoff 12.
- YLINEN, ARVO 1942. Über den Einfluss des Spätholzanteils und der Rohwichte auf die Festigkeits- und elastischen Eigenschaften des Nadelholzes. — Acta Forest. Fenn. 50.5.
- »— 1943. Über den Einfluss der Rohwichte und des Spätholzanteils auf die Brinellhärte des Holzes. — Holz als Roh- u. Werkstoff 6.
- »— 1951. Über den Einfluss des Spätholzanteils und der Jahrringbreite auf die Rohwichte beim finnischen Kiefernholz. — Holz als Roh- u. Werkstoff 9.
- YULE, G. UDNY and KENDALL, M. G. 1950. An Introduction to the Theory of Statistics. London.
- ZIEGENSPECK, HERMANN 1951. Der submikroskopische Bau des Holzes im Vergleich mit dem der Fasern im allgemeinen. — Handbuch der Mikroskopie in der Technik V. 1. Frankfurt a.M.

## On the anatomic structure and properties of the tension wood in birch

### Summary

### Introduction

Among others JACCARD (1917), CHOW (1946), DADSWELL and WARDROP, (1949) and JAYME and HARDERS-STEINHÄUSER (1951, 1954) have made mention of the formation of tension wood in young broad-leaved trees and also in the branches of older trees in varying occurrence on different sides of the stem or the branch, as well as of the general occurrence of tension wood even in the innermost growth rings of completely vertical stems. Similar observations were made in connection with the present investigation in the case of birch species (*Betula pubescens* and *B. verrucosa*). Causes giving rise to this phenomenon are obviously the wind, the snow pressure, the incidence of light, etc.

If we exclude young individuals of trees and young branches, to which reference was made above, it is possible to define the tension wood in its occurrence under natural conditions as a peculiar type of cellular tissue which is formed on the upper side of broad-leaved stems or parts thereof, which have assumed a leaning position owing to one cause or another, as well as on the upper side of horizontal or nearly horizontal branches; its purpose being, in the first-mentioned case, to restore or maintain the vertical position of the stem (fig. 1 and 2) and in the second to strengthen and to support the branch.

The purpose of the tension wood is thus, as a rule, identical with that of the compression wood in conifers. Consequently, the common name reaction wood is used to include both types of wood. MARRA (1942) has observed that also compression wood may occur in addition to tension wood in sugar maple. The most important factors which may result in a leaning position of the tree stem are: inclined site, nearness of adjoining trees, orientation of the crown toward the light particularly in the case of broad-leaved trees, and snow pressure. In addition to these also a wind blowing constantly from one direction at the edge of a tree stand often gives rise to the formation of reaction wood. Tension wood will then be found on the side of broad-leaved trees facing the wind, and compression wood on the leeward side of conifers. Frequently a number of factors are acting simultaneously, and the place where reaction wood is formed will be determined by their resultant influence. This can also be observed in the case of the branches.

The problems concerning the factors of influence upon the formation of reaction wood and upon the generally attendant eccentric diameter growth have been discussed by numerous authors. The earliest of them mostly subscribe to the opinion that the

formation of reaction wood and the eccentric growth result from the influence of gravity and from the stresses it causes in the various parts of the stem and of the branches, the compression wood and hypotrophy in conifers resulting from compressive stresses and the tension wood and epitrophy in broad-leaved trees from tensile stresses (e.g., MÉR 1887—89, GABNAY 1892, HARTIG 1901, METZGER 1908, JACCARD 1917, ENGLER 1918, BÖNING 1922, BÜSGEN 1927).

HARTIG (1901), BÜSGEN (1927), HALLER (1935) and RÜNGER and KLAUDITZ (1953), among others, have established that reaction wood cannot be made to appear by means of artificial compression or tension applied in the longitudinal direction of the stem and that reaction wood can also appear in a trunk which has fallen right down to the ground and thus cannot be subject to any stresses. This latter fact was also noted by the author of the present work in the case of birch.

It has been realized only during the recent few decades that the formation of reaction wood is primarily a growth phenomenon governed by gravity and independent of the prevailing compressive and tensile stresses, and that the contrasting location of the reaction wood in conifers on one hand and broad-leaved trees on the other hand is due to the trust action of compression wood and the pulling action of the tension wood by which the normal position of the tree or some part thereof is restored (e.g., EWART and MASON-JONES 1906, MORK 1928, HARTMANN 1932—42, MÜNCH 1937—38, JACCARD 1938, SINNOTT 1952). The significance of external factors of influence such as snow, wind, light, etc. in addition to gravity is emphasized, e.g., by PRIESTLEY and TONG (1927), WERSHING and BAILEY (1942) and by DADSWELL and WARDROP (1949).

CLARKE (1930 a) says that obviously all species of trees are capable of forming reaction wood, but LÄMMERMAYR (1901) and JACCARD (1917) state that no distinct tension fibres have been encountered in the lime-tree. According to DADSWELL and WARDROP (1949) and JAYME and HARDERS-STEINHÄUSER (1954), different species of trees differ in their tendency to form tension wood.

MÜNCH (1940) has made an attempt to explain the mechanism of lengthening of the compression wood and shortening of tension wood; JALAVA (1952) similarly for the compression wood.

Recent investigations show that growth substances or hormones are concerned in the formation of reaction wood (STRASBURGER 1891, JOST 1901, SWARBRICK 1927, SNOW 1933, WERSHING and BAILEY 1942, ONAKA 1949, SINNOTT 1952, FRASER 1952).

The conditions and causes which make a tree grow reaction wood and the regularity which is observable in its location in conifers and broad-leaved trees have thus received a considerable amount of study. Also, it would not be correct to say that the anatomical structure and properties of reaction wood, and particularly of compression wood, had been investigated only in an insignificant degree. Similarly the number of investigations concerned with tension wood has considerably increased during the recent years. However, their greatest weakness seems to be that their major part has more or less the character of sample tests or is based upon observation series which have to be considered very small as such.

The objective of the present work is, in the first place, to institute a comparison between the anatomical structure and properties of normal and tension wood of white birch (*Betula pubescens*) as well as silver birch (*B. verrucosa*), primarily with regard

to stem wood but in many cases also branch wood. As far as possible, inferences have been drawn from the material in regard to birch in general, and a comparison has been made between the said species of birch in the respects mentioned above.

The need for an investigation of this kind is evident if the scarcity and, as a rule, one-sided treatment characteristic of the publications dealing with the tension wood of birch in the said respects is taken into account (e.g., KNY 1882, LÄMMERMAYR 1901, JACCARD 1917, ENGLER 1918), in addition to which their results are partly contradictory. Since birches constitute the most important broad-leaved tree species in Finland from an economical point of view, an investigation on this subject is particularly indicated.

On the basis of what has been said above, the author of this work decided to exercise his best efforts to achieve a fairly many-sided analysis, which should be based on an adequate material, of the anatomical structure and of certain properties of the tension wood in the said birch species and, as far as possible, of birch wood in general. This investigation was planned to be concerned with the strength of the eccentric growth generally accompanying the formation of tension wood, the behaviour of wood in wood-working machines and its macroscopic characteristics, its microscopic and submicroscopic structure, chemical composition, resistance against certain chemicals, physical properties including investigations concerning volume-weight and hygroscopic properties, and the strength characteristics of wood with particular attention to compressive strength in the direction of the grain and to hardness in various directions, as well as the drawing of inferences with regard to other strength characteristics from the results obtained in this way.

## The method of investigation

### The tree samples

The search for stem samples was centered especially on such sites where the trees usually assume a leaning position in some phase of their growth and consequently will develop reaction wood (Table 4). The distribution of the stem sample trees between the different forest types is given in Table 1, between the crown layer classes in Table 2, and between the age classes in Table 3.

For the investigation of branches only thick-branched trees with a dense foliage, which had grown in an open space and belonged to the dominant crown layers, were chosen as sample trees.

In addition to the stem sample trees, 14 trees were taken as samples for the investigation of branches. Their number was equally divided between white and silver birches. Thus, the total number of sample trees was 108.

### The cutting of samples from the sample trees

Sample pieces were taken from the stems as well as the branches from two opposite sides which shall be referred to as normal and tension wood, respectively. Before the sample tree was felled, a mark was made on its butt end to indicate the direction towards which the tree was inclined.

After the felling, the height of the stump was measured and a piece of such length was cut from the butt end of the stem that it contained the whole of the more or less curved part of the stem and also some of its straight part. Sample pieces were also taken at bends higher up along the stem in the case of some trees.

When sample pieces were taken for the various investigations from such lengths of stem wood, they were cut into pieces 10–30 cm in length with the circular saw, the length depending on the curvature of the stem and on the type of investigation for which each piece was suitable. These pieces were marked with consecutive numbers. This procedure was necessary when the tree stem returned to the vertical after general excessive curvature, in which case the direction of formation of tension wood could be determined exactly from each cross-cut surface.

The pieces of the samples were split so that it was possible to separate the normal wood and tension wood halves. Specimens were taken from them, which were accurately measured and numbered; in this way they could be arranged in pairs of specimens from equal heights on both sides and even otherwise of comparable location. For the investigation relating to the structure of the wood the sample specimens were taken with their bark; a satisfactory numbering of the corresponding growth rings was thus made possible. Fig. 3 and 4 show the way in which the test specimens were taken for the various investigations.

For the investigation of branches, strong birch branches as horizontal of direction as possible were chosen and their height from the ground was measured. The location of the specimens was defined merely by stating from which 10 cm section they were taken, as measured from the base of the branch, and whether they were from the upper or lower side.

In the case of stem wood the samples for the study of the anatomical structure were mostly taken from around the point of highest curvature of a bend or below it and in the case of branches from the vicinity of their base. The samples for the investigation relating to tangential and radial shrinkage were usually taken from the very base of the stem.

In the investigations on the chemical composition and the physical and strength characteristics of the wood only specimens completely free from knots and faultless even in other respects concerned in this investigation were used. Consequently a very rigorous elimination was necessary in the case of some sample trees in the final preparation of these specimens.

In order to establish the eccentricity of the growth in diameter of stem and branches, cuts were taken from their basal section. This sampling was limited to a few of the most typical instances only.

### The measurements

In the investigations concerning the eccentric diameter growth measurements were made directly from the cross-cut sections as well as microscopically from thin slices.

The behaviour of the wood at sawing and planing and the quality of the surfaces thus obtained was assessed by the eye. A study was also made of the difficulties encountered when the wood is ground in the peat mill and of the quality of the dust obtained.

In the microscopic study of the structure, at first, general observations were made which did not necessitate any measurement. Of the cell measurements proper, those relating to the wood fibres were made from macerated wood specimens; wall thickness measurements were also made from cross-cut sections of the tree. The latter also formed the basis for the investigations relating to the number, diameter and shape of the pores and to the pore percentage. The investigations on the medullary ray relations were made from tangential cuts. From the obtained results calculations were made concerning the relative share of the different types of tissue in the wood.

The structure of the walls of the wood fibres was studied microscopically from thin slices of the wood, both tangential and cross-cuts, with the aid of polarized light, but also from macerated fibre samples which had been afterwards subjected to a special treatment. The microscopical investigations were completed by X-ray investigations,

The chemical composition of the wood was studied with the aid of staining tests and by means of microchemical investigations with chloridide of zinc as reagent, and for more accurate results by means of analyses and paper partition chromatography. The solubility of the wood in cold water and the corrosive effect of sulphuric, nitric and hydrochloric acid was also studied.

Of the physical properties of the wood the volume-weight was determined in the oven-dried state by immersion in water. The calorific value was assessed on the basis of the chemical composition. Of the hygroscopic properties of the wood its longitudinal, tangential and radial shrinkage from the green state to the oven-dried state was investigated and calculations were made on the basis of these results concerning the corresponding shrinkage in volume. Other hygroscopic properties which were studied were the moisture content of the wood at the moment of sinking and in the saturated state, the length of the time required for sinking and the rate of water uptake and drying. On the basis of these results calculations were made concerning the amount of free and hygroscopic water in the wood and the specific gravity of the wood substance.

The strength of the wood was investigated in the green state. Tests were made concerning the compressive strength in the direction of the grain and the hardness in various directions. The compressive strength was determined as resistance to rupture, and in the hardness tests the Brinell-Janka method was employed. On the basis of the results obtained and of data from the literature inferences were drawn in regard to other strength characteristics of the wood, e.g., its compressive strength perpendicular to the grain, tensile strength in the direction of and across the grain, bending strength at uniform load, as well as impact flexure, elasticity, cleaving and splitting strength, and toughness.

Finally, conclusions were drawn concerning the significance of the tension wood content in timber with a view to its use as wood for household use and as a raw material for the mechanical woodworking industry and for the paper and fibre-board industries.

The methods employed in the measurements are described in detail in connection with each particular investigation.



## The investigations and their results

### The eccentric diameter growth

The highest eccentricity was generally observed at the base of a stem growing in an inclined position. Upward from the base it usually diminished and it was frequently also evident in the growth of the bark. In extreme cases the pith could be quite close to the lower edge of the cross-cut section; the diameter growth above the pith was many times stronger in such cases than below the pith (fig. 5).

Table 5 shows the development in diameter of a white birch which had assumed a strongly leaning position 22 years prior to its falling over. It is seen that at the incipient formation of tension wood the diameter growth is accelerated on the upper side of the stem (v. also fig. 6) and is very much slowed down on the lower side. Table 6 gives similarly the results from microscopical measurements of the thickness of growth rings from the base of some other trees where tension wood had been formed.

According to ocular observations of bends higher up along the stem the eccentricity of the diameter growth is generally strongest at the point of highest curvature of the bend and abates in both directions from this point (cf. also ENGLER 1918).

In fig. 7 two cross-cut sections from the base of horizontal branches of white and silver birches are shown, where the obvious eccentricity of the diameter growth can be noticed both in the wood and in the bark.

### The behaviour of tension wood in the common wood-working machines and its macroscopic appearance

At the cutting of green sample trees with the circular saw the observation was made that the saw was choked particularly when the tension wood side was cut and that it was likely to be over-heated independent of the side from which the cutting was begun (cf. also MARRA 1942).

The tension wood regions are clearly distinguishable from their surroundings in the cross-cut section, both in the case of white and silver birches, as lighter areas of a silky sheen and often with a character resemblant of wax or horn. When touched with the finger, they appear to have a silky smoothness and to the finger-nail and to sharp-edged tools they appear dense and hard as horn. In accordance with its time of formation and the length of the formation period the tension wood may occur as extensive, continuous sectors from the pith to the outer surface of the stem or only as narrow zones comprising a few growth rings at the surface of the stem, or again as narrow crescents or even larger spots in the interior. Sometimes the tension wood appears only in a discontinuous distribution in a resemblance of filaments and fascicles. It is true that in some cases tension wood seems to be formed during several consecutive years, but its formation is distinct only in the first half of the growth period. The light shade and lustre of the tension wood often increases in distinctness after the wood has slightly dried.

Even more distinctly than in the cross-cut, the tension wood is evident at the longitudinal cutting of the wood and in the surface obtained. At the cutting of green

tension wood in the direction of the grain, both in the case of white and silver birches, the saw blade shows a particular tendency towards jamming and it is heated in an extraordinary degree. The sawdust from the cutting of tension wood in comparison with that from normal wood is remarkably finely divided and of a woolly, downy softness with long intertwined fibres. This was also observed when room-dried wood specimens were ground in the peat or chemical mill (fig. 8 and 9), 8,1 cm<sup>3</sup> of dust obtained from the tension wood of white birch were required to make up the weight of 1 g, against only 5,4 cm<sup>3</sup> of dust from normal wood.

The longitudinal cut of tension wood has a surface of peculiar, coarse woolliness or of downy fluffiness in contrast with the smooth surface of normal wood (fig. 10). This phenomenon is also observable at the planing of tension wood particularly when the bits cut across the grain.

At the making of veneer by rotary cutting as well as by sawing the obtained veneer is distinctly woolly or fluffy in the region of tension wood (e.g. CLARKE 1937, DADSWELL and WARDROP 1949, AKINS and PILLOW 1950, JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER and MOHRBERG 1951).

### The microscopic structure of the wood

#### *Characteristics observable with the common light microscope without measurements*

With a magnification of 100× the tension wood of the stem as well as of the branches was found to be of a very dense structure in comparison with normal wood in the cross-cut sections of both birch species. The number of pores is clearly smaller in tension wood and the isolated pores at least are generally smaller, in consequence of which also the pore percentage is lower than in normal wood, and the cell lumina in the wood fibres are nearly non-existent in the most typical cases (fig. 11 and 12).

It was also noticed that the tension wood fibres which have been formed during the first half of the growth period have considerably thicker walls in the stem wood as well as in the branch wood of both birch species and that the cell lumina are smaller than in the tension wood formed in the later half. From this the inference can be drawn that the formation of tension wood is more intense at the high point of the growth period than later in the summer. It is true that even the fibres which are formed towards the end of the growth period have thicker walls than normal in the tension wood, with the exception of the two or three last rows of cells, which are generally quite or almost similar to normal wood fibres even when treated with chloriodide of zinc (fig. 13).

In order to detect the tension wood fibres which occur dispersedly or in small groups among the normal cellular tissue in the stem wood, the slices were wetted with chloriodide of zinc (fig. 14 and 15).

Even tension wood fibres of solitary occurrence could not be noticed to avoid the vicinity of pores or medullary rays, which was the result obtained by JAYME (1951 a) in the case of poplar species. JANE (1952) did not either observe any avoiding of the pores by the tension wood fibres in beech.

A higher magnification revealed that the tension wood tissue of both birch species, as a whole, gives the impression of a gelatinous or horny substance, whence the frequently used term »gelatinous fibres» in the English literature.

The innermost layer of the wall of the tension wood fibres, often referred to as the tertiary layer, seems to occupy a large proportion of the entire wall and sometimes to fill up the entire cell lumen (fig. 17), whereas in normal wood fibres it constitutes only a thin layer, the main part of the wall being made up by the outer layers of the secondary wall (fig. 16). Moreover, the cell lumen of tension wood fibres is of a peculiar irregular shape owing to the characteristic folding of the adjacent tertiary layer, in contrast with the spacious cell lumina of comparatively regular shape in normal wood fibres.

### *The cell and tissue measurements*

#### **Measurements concerning the wood fibres**

The measurements concerning the wood fibres, which constitute the main part of the tissue in birch wood, were primarily carried out on macerated wood samples, but a considerable number of measurements of the wall thickness of wood fibres was also made on thin cross-cuts taken from the wood.

The wood samples for maceration were taken from the outermost growth rings under the bark, in consequence of which each sample contained wood fibres of mutually approximately equal length (e.g. WALLDÉN 1934 and KUJALA 1946). Naturally, samples were taken only from such trees where the formation of tension wood on the surface was clearly evident.

The maceration of the splinters was carried out using 15 % nitric acid and calcium fluoride. It was noticed that tension wood was generally macerated more easily than normal wood.

The wood fibres were measured from a microscopic slice with the aid of an eyepiece micrometer. Not less than 100 measurements of length and 50 diameter and wall thickness measurements were made from each specimen, and the mean values were calculated. For the length values the greatest length of each fibre was recorded, and the diameter and wall thickness were measured at the point of greatest diameter.

### *The length of the wood fibres*

For a comparison of the length of the wood fibres of normal and tension wood in the stem wood, 10 021 measurements of length were performed. Their distribution in accordance with the geographical and biological location of the sample tree and with the height along the stem from which the specimen was taken is shown in Table 7.

The results from the measurements of length of the wood fibres in the stem wood are seen in Table 8. The table reveals that the length of the tension wood fibres is throughout the series clearly greater than that of the normal wood fibres, both in white and silver birches.

The results of measurement given in Table 9 indicate the need of further investigation in order to determine whether in birch fast-growing wood generally is of greater

fibre length than slow-growing wood. If such was the case, then the greater length of the tension wood fibres as compared with normal wood fibres would be naturally associated with the accelerated diameter growth, particularly in an eccentrically grown tree, even if no tension wood would be formed.

Obviously the wood fibres of white birch are slightly longer, on an average, than those of silver birch (fig. 30).

In the base part of at least 2 m length of the birch the length of the wood fibres obviously increases from the base upwards in normal as well as in tension wood. According to WALLDÉN (1934) the wood fibres of the sapwood achieve their maximum length at the height of 3 m, and according to KUJALA (1946) at the height of 5 m.

The mean value of the length of the wood fibres in the normal wood of white birch was found to be  $1,00 \pm 0,004$  mm and in the tension wood  $1,17 \pm 0,003$  mm; correspondingly in the case of silver birch  $0,97 \pm 0,006$  mm for the normal and  $1,14 \pm 0,006$  mm for the tension wood (butt bolt of 1 m length).

Measurements of the length of wood fibres were also made of branch wood from the outermost growth rings, and a comparison was made between the upper and lower sides of strong, horizontal or nearly horizontal branches of birch trees. This investigation had as its objects two individuals of white birch and two of silver birch of approximately the same age, which had grown on soil of the *Oxalis-Myrtillus* type. The results are given in Table 10.

The wood fibres in the branches, too, seem to be considerably longer in tension wood than in normal wood, the difference being even more distinct than in stem wood.

At least in the normal wood the wood fibres of white birch are slightly longer than those of silver birch (fig. 31).

The wood fibres in the branches are obviously shorter than those of the stem wood both in normal and tension wood.

The length of the wood fibres at varying distances from the base of the branch did not reveal any definite tendency in the normal, nor in the tension wood of either birch species.

The mean value of the length of the wood fibres in the branches of white birch was found to be  $0,82 \pm 0,006$  mm and  $1,00 \pm 0,006$  mm for the normal wood and tension wood, respectively, the corresponding figures being, in the case of silver birch,  $0,79 \pm 0,006$  mm and  $1,00 \pm 0,006$  mm for normal and tension wood, respectively.

### *Diameter and wall thickness of the wood fibres*

For a comparison between the diameters and wall thicknesses of normal and tension wood fibres in the stem wood, 5 300 wood fibres were measured. Their distribution in accordance with the geographical and biological location of the sample trees and with the height along the stem from which the specimen was taken is shown in Table 11.

The results from the measurements of the wood fibre diameter in the stem wood are seen in Table 13. The table reveals that the tension wood fibres are throughout clearly thinner than normal wood fibres, both in white and silver birches.

The wood fibres of silver birch seem to be thinner, as a rule, than those of white birch both in the normal and tension wood (fig. 32).

The diameter of the wood fibres in a butt bolt of birch of at least 2 m length seems to diminish in normal wood upward along the stem. In the tension wood fibres no such regularity was observable.

The mean value of the diameter of normal wood fibres in white birch was found to be  $24,0 \pm 0,11 \mu$  and in the tension wood  $20,4 \pm 0,10 \mu$ , the corresponding figures being, in the case of silver birch,  $21,6 \pm 0,14 \mu$  and  $19,4 \pm 0,13 \mu$ , respectively. These values apply to the butt end of the stem of 1 m length.

The results in regard to the fibre diameter from branches are given in Table 12.

Even in the branches the tension wood fibres are obviously somewhat thinner than those of normal wood in both species of birch. No regular difference seems to exist as to the diameter of the wood fibres at varying distance from the base of the branch.

The wood fibres in the branches of silver birch are obviously not only shorter than those in the branches of white birch but also thinner both in the normal and tension wood (fig. 33).

The wood fibres in the branches are not only shorter but also thinner than the wood fibres in the stem wood, both the normal and tension wood, of both birch species.

The mean values of the diameter of wood fibres in white birch were found to be  $21,3 \pm 0,16 \mu$  and  $20,4 \pm 0,17 \mu$  for normal and tension wood, respectively, the corresponding figures for silver birch being  $17,8 \pm 0,12 \mu$  and  $17,3 \pm 0,15 \mu$ .

The number of the measurements of the wall thickness of wood fibres made from macerated samples of stem wood and their distribution according to the varying parts of the stem is seen in Table 11. The results are shown in Table 14. This table also gives the wall percentage figures of the wood fibres, which have been calculated as a ratio of the contribution of the wall and the overall diameter at the thickest point of each fibre.

Similarly as was noticed already at the microscopic study of thin cross-cuts of the wood, the tension wood fibres were found also in the measurements to have a greater wall thickness than normal wood fibres in the stem wood of white as well as silver birches.

It is possible that the normal wood fibres of silver birch have relatively thicker walls than those of white birch. On the other hand the absolute thickness of the fibre walls of normal wood shows no such regularity, nor does the absolute or even the relative thickness of the fibres of tension wood.

TRENDELENBURG (1939) states that in different species of trees, as a rule, the wall of the fibres is thicker in thin fibres than in thick ones. Such a relation could not be noticed in the case of either birch species in connection with the investigation on the absolute wall thickness of the wood fibres of normal wood, but it was observable in the wall percentage figures representing the relative wall thickness. In the case of tension wood fibres no such regularity could be established either in regard to the absolute or the relative wall thickness.

The wall thickness of the wood fibres seems to diminish upward along the stem in both of our birch species, particularly in the tension wood. This fact is probably associated with the decline in the formation of tension wood.

In addition to the measurements from macerated wood samples the wall thickness of wood fibres of the stem wood was also measured in the outermost growth rings from drawings traced after images projected on a screen, of cross-cut sections taken from the base of the tree. This investigation concerned one individual each of white and

silver birches, from both of which three series of drawings comprising the entire width of the growth ring were made of the outermost three growth rings both in the normal and tension wood. The wall thickness was measured as from one cell lumen to another, half of this value being recorded as the wall thickness. The number of these measurements and their results are seen in Table 15.

From the cross-cuts somewhat smaller values of the wall thickness of the wood fibres were obtained in the case of the normal wood, and larger values in the case of the tension wood, than from the macerated wood samples. The difference is, however, very insignificant in the normal wood of both birch species and in the tension wood of silver birch, whereas it is of remarkable magnitude in the tension wood of white birch. At all events the results support the observation made on the basis of the macerated wood samples in regard to the greater wall thickness of the tension wood fibres as compared with the normal wood fibres in both birch species.

From the identical drawings of cross-cuts, from which the wall thickness of wood fibres was measured, also an evaluation of the wall percentage of the wood fibre tissue was made with the aid of a graduated glass plate from a few outermost growth rings. In the case of each growth ring this measurement was made from three series of parallel drawings comprising the entire width of the growth ring, over broad and continuous, rectangular areas extending across the growth ring. In the calculation of a mean value for the entire growth ring, from the wall percentage figures found from the sample areas representative of different parts of the growth ring, these individual values were weighted with the radial width of the growth ring portion corresponding to each test area strip. The area could not be used to this purpose, since it was necessary to vary the width of the test area in some degree in accordance with the location of the pores.

Another similar determination of the wall percentage of the wood fibre tissue was performed from the microphotographs (fig. 16 and 17) taken from two consecutive growth rings on the tension wood side of the base of the stem of white birch sample tree No. 27, the first of these growth rings representing normal wood (the 23rd growth ring from the bark), the second one representing tension wood (the 22nd growth ring).

The results of these measurements are seen in Table 16. Even in the drawings representing one and the same growth ring there was a considerable variation of the wall percentage of the wood fibre tissue. In tension wood the wall percentage of the wood fibre tissue in the first half of each growth ring was found to be distinctly greater than that of the second half. This implies that the tension wood formed during the first part of the growth period has been more dense than that formed towards its end, a fact which was mentioned already at the description of the microscopic appearance of the tension wood tissue.

The mean value of the wall thickness of normal wood fibres of white birch was found from the macerated samples to be  $3,50 \pm 0,015 \mu$  and that of tension wood fibres  $3,90 \pm 0,020 \mu$ , the corresponding values being, in the case of silver birch,  $3,30 \pm 0,020 \mu$  and  $4,04 \pm 0,037 \mu$ , respectively (fig. 34). These figures apply to a butt bolt of 1 m length.

The normal wood fibres of both birch species seem to be more closely gathered around their mean value of wall thickness than the tension wood fibres, which is quite natural indeed, considering that the wood fibres on the tension wood side vary from almost normal fibres to typical, strongly developed tension wood fibres.

The tension wood fibres of the branches are similarly of greater wall thickness than

the normal wood fibres in both birch species, the difference being of the same order of magnitude as in the stem wood.

For the wall thickness of both the normal and tension wood fibres of white birch considerably higher values were found than for silver birch, but at a comparison of the wall percentage figures, which represent the relative thickness of the walls, this relation was reversed.

No definite correlation of a determined direction was established between the diameter of the wood fibres and the absolute thickness of their walls in the normal nor in the tension wood of the branches of either birch species. The wall percentage, on the other hand, seems to grow as a rule with decreasing fibre diameter in the normal wood of white birch, and this was also found to be true in regard to the stem wood of both birch species. The tension wood fibres could not be observed to follow any such regularity in the branch wood nor in the stem wood of either birch species.

The wall thickness of the wood fibres in the branch wood does not seem to present differences in any direction in accordance with the distance from the base of the branch.

The tension wood fibres have obviously thinner walls in the branches than in the stem wood in the case of both birch species. With regard to the wall thickness of the normal wood fibres of branch and stem wood no quite distinct difference in either direction could be detected.

The mean value of the wall thickness of the wood fibres in the branch wood of white birch was found to be  $3,55 \pm 0,029 \mu$  and  $4,08 \pm 0,041 \mu$  in the normal and tension wood, respectively, the corresponding figures for silver birch being  $3,22 \pm 0,023 \mu$  and  $3,67 \pm 0,032 \mu$  (fig. 35).

### Investigations concerning the pores

#### *The number of pores*

The pores were counted from the tracings of projected images of cross-cuts taken from corresponding heights, as measured from the base of the stem, and from the same growth rings, both from the region of normal and tension wood. In order to establish whether there is any difference in the number, size and shape of the pores and in the pore percentage between the first and second half of the growth ring and if so, to determine its direction and magnitude, investigations were made on two sample trees. The first and second half of each growth ring were treated separately, the growth rings having been divided into two parts of equal width in strict observance of their shape and these two parts being denoted with a and b, respectively.

The part of the results of the investigations concerning the number of pores which refers to stem wood is presented in Table 18.

Of each growth ring 5–10 drawings comprising the entire width of the growth ring were prepared in the case of white birch, and 5–7 in that of silver birch.

In the tension wood of both birch species the number of pores per  $\text{mm}^2$  is scarcely half of that in normal wood, in certain growth rings indeed only about one fourth. This is true of the first as well as of the second half of the growth ring.

In narrow growth rings the number of pores is generally greater than in broad ones in both species of birch; this is even more marked in tension wood.

On account of the foregoing an additional study was made of the number of pores in growth rings of normal and tension wood of approximately equal widths (Table 19).

It was evident that the number of pores is even here distinctly less in tension wood than in normal wood.

The number of pores in the second half of the growth ring seems to be somewhat smaller on an average than in the first half in both birch species. In the tension wood of silver birch no definite regularity was established in this respect.

In the normal wood of white birch the number of pores in the different growth rings diminishes from the pith towards the surface, at least during the last decades (Table 20). This comparison was not performed in the case of silver birch.

In order to show in which way the assuming of a leaning position is reflected also in the vascular tissue of a birch, Table 21 gives the variation of the number of pores in the different growth rings in the white birch individual already mentioned, which had assumed a strongly inclined position 22 years prior to its felling, owing to the digging of a gravel-pit. One drawing comprising the entire width of the growth ring was taken of each growth ring and the investigated area of normal wood amounted to  $7,23$  and that of tension wood to  $49,85 \text{ mm}^2$ .

After this tree had assumed its strongly leaning position, the number of pores on the upper side of its stem (tension wood) seems to have diminished abruptly, whereas it has increased correspondingly on the lower side (normal wood). In its growth on an inclined slope the tree had displayed eccentric diameter growth even before the opening of the gravel-pit (Table 5); thus the number of pores was even originally lower on the fast-growing upper side than on the slow-growing lower side.

The growth rings have become narrower very abruptly on the lower side of the stem after the tree assumed its leaning position (Table 5), and the simultaneous strong increase of the number of pores is obviously associated with this fact.

Comparative investigations on the number of pores were also carried out in some extent on wood from the branches, the objects of this investigation being one individual each of white and silver birch, which both grew in Helsinki on soil of the *Oxalis-Myrtillus* type. In both cases the investigated branch had a height of 3 m from the ground. Five drawings comprising the entire width of the growth ring were prepared from each growth ring both from the normal and tension wood in the case of the white birch individual, and four in that of the silver birch. Thus, in the first case an area of  $14,96 \text{ mm}^2$  of the normal and  $33,18 \text{ mm}^2$  of tension wood was studied, against  $21,94$  and  $48,88 \text{ mm}^2$ , respectively, in the latter case. The results are given in Table 22.

The number of pores in the branch wood of both birch species is considerably smaller in the tension wood than in normal wood. Similarly it seems to be lower in the second half of the growth ring than in the first half. The figures obtained from the normal wood of silver birch also clearly indicate an increase of the number of pores from the bark towards the pith, thus supporting the result obtained from the normal stem wood of white birch (Table 20).

It seems evident that the number of pores in the branch wood exceeds that in stem wood even under fully comparable conditions.

#### *Diameter and shape of the pores*

From the identical cross-cut sections, which were used in the studies on the number of pores, also their diameters were measured in two perpendicular directions. These measurements yielded the largest and smallest diameter of each pore, the mean of

which was recorded as the diameter, and they were carried out separately for the first and second half of the growth ring. Altogether 5 672 pores were measured from the normal wood in the stem wood of white birch and 4 553 pores from its tension wood, the corresponding figures for silver birch being 1 991 and 1 664. The results are given in Table 23.

Obviously there is no essential difference in the size of the pores of the normal and tension wood in either birch species.

In both birch species the pores seem to be distinctly smaller in the second half of the growth ring both in the normal and tension wood than in the first half.

As a rule the pores diminish in diameter from the surface towards the pith in the normal wood of both birch species. In tension wood this relation is not clearly established.

It is possible that the pores are larger in diameter in white birch than in silver birch (cf. also KUJALA 1946).

Table 25 presents the results of the special investigations concerning simple pores. It is seen that their diameter is considerably smaller both tangentially and radially in the tension wood than in the normal wood at least in the case of white birch. In silver birch this difference was not clearly established.

It is seen from Table 24 that the diameter of the pores in the normal wood may still be considerably smaller than in the tension wood, when the tree assumes a strongly leaning position and consequently its diameter growth is slowed down strongly on its lower side (Table 5).

The simple pores of the tension wood are possibly of a slightly more oval cross-section than those in the normal wood, their larger diameter having the direction of the radius. This was more distinctly observable in silver birch than in white birch.

The results of the investigations relating to the diameter of the pores in the branch wood are presented in Table 26.

When the results from the measurements of thickness of the pores are combined with those concerning the stem wood which were given above, it is evident that there is no unequivocal difference between the diameters of the pores of the normal and tension wood in either birch species.

The pores in the second half of the growth ring are obviously remarkably smaller than those of the first half in the normal and tension wood of both birch species.

The condition that considerably larger values were obtained for the diameter of the pores from the branch wood of silver birch than in the case of white birch is probably attributable to the fact that the investigation in the first case concerned the outermost growth rings where the pores have been found to be of larger size generally than in the interior of the wood.

It is possible that the pores of the branch wood are of slightly smaller diameter than those of the stem wood (cf. also BROWN, PANSHIN and FORSAITH 1949).

#### *The pore percentage*

The pore percentage figures were determined with the aid of a graduated glass plate, and with the planimeter, from drawings traced after the projected images of cross-cut sections of the wood. The entire area of the drawing was measured with the planimeter and that of the pores with the graduated glass plate. The series of inves-

tigated cross-cuts is the same one as above in the study of the number of pores. The results relating to stem wood are given in Table 27.

The pore percentage values of the normal wood are far in excess of the corresponding figures for the tension wood in the case of both birch species. In some growth rings the pore percentage of the tension wood seems to be only one quarter of the corresponding value of normal wood.

In both birch species the pore percentage of the second half of the growth ring is considerably lower than that of the first half both in the normal and tension wood.

The pore percentage figures of tension wood are generally lower in broad growth rings than in narrow ones. In normal wood no such regularity could be observed. The pore percentage is smaller in tension wood than in normal wood even when growth rings of equal width are compared (Table 19).

In the normal wood of white birch the pore percentage seems to diminish from the bark towards the pith in the outermost growth rings (cf. also KUJALA 1946). No distinct trend was revealed in this respect in the tension wood of white birch nor in the normal or tension wood of silver birch.

White birch obviously has a higher pore percentage than silver birch, particularly in the normal wood (cf. also KUJALA 1946).

Table 28 shows the influence of the suddenly assumed strongly leaning position of the stem of a white birch individual, 22 years prior to its felling, upon the distribution of pores.

When the tree assumes a strongly inclined position and begins to form tension wood, its pore percentage on the upper side (tension wood) goes down very strongly. As the tree in question had grown eccentrically in diameter even previously, the pore percentage on the fast-growing side has been smaller than on the slow-growing side (Table 5). In the six outermost growth rings, which were of quite insignificant thickness in the normal wood, the pore percentage of the tension wood was higher than that of the normal wood.

It is also seen from Table 28 that the pore percentage of the normal wood diminishes fairly regularly from the pith towards the surface, which is in support of the results of numerous other authors, (e.g., STAUFFER 1892, WALLDÉN 1934, SAVINA and PERELYGIN 1936 and KUJALA 1946).

The results of the pore percentage determinations from branch wood are given in Table 29.

Even in the branch wood the pore percentage of the tension wood is lower than the corresponding values of normal wood.

The pore percentage in the first half of the growth ring may be many times in excess of that of the second half both in the normal and tension wood.

The pore percentage of the branch wood is obviously smaller than that of the stem wood at least in the normal wood (cf. also BROWN, PANSHIN and FORSAITH 1949).

The values obtained from the normal as well as the tension wood of silver birch reveal an increase of the pore percentage from the bark towards the pith.

#### **Investigations concerning the medullary rays**

The investigations relating to the medullary rays were made from the same sample trees as the pore investigations. To this purpose, tangential cuts were taken quite close to the surface of softened normal and tension wood specimens extending to the outer

surface of the tree and taken from mutually corresponding points of the base section of stem or branches. The appearance of the cuts was traced after their projected images and all the required measurements were made from these drawings.

#### *Number of medullary rays and medullary ray percentage*

The number of the medullary rays and the medullary ray percentage was determined taking into account even the most minute medullary rays on an area of 90 mm<sup>2</sup>, this area being equally distributed between normal and tension wood of both birch species.

The corresponding study of the branch wood was made from a total area of 64 mm<sup>2</sup> which was equally distributed between both birch species as well as between normal and tension wood in either case.

The results of the investigation are given in Table 30. Obviously there is no noteworthy difference in the number of medullary rays between normal and tension wood in the stem wood nor in the branch wood in the case of either birch species.

Obviously there is at least no considerable difference in the number of medullary rays and in the medullary ray percentage between white and silver birch.

The number of medullary rays and the medullary ray percentage of the branch wood appear higher than the values of the stem wood, both normal and tension wood, in both birch species.

Obviously the medullary ray percentage of tension wood is at least somewhat smaller than that of normal wood in the stem wood as well as the branch wood of both birch species.

#### *Size and shape of the medullary rays*

In order to determine the size and shape of the cross section of the medullary rays, their largest diameter was measured in two perpendicular directions, i.e., their width and thickness. The results are given in Table 31.

Obviously the medullary rays of tension wood are thinner than those of normal wood in the stem wood of both birch species. In white birch no essential difference was noticeable in their width, whereas in silver birch the medullary rays seem to be of somewhat smaller width in the tension wood than in normal wood, in the stem wood as well as in the branch wood. No considerable difference was evident in the thickness of the medullary rays between normal and tension wood in the branch wood of either birch species.

The medullary rays of the tension wood have obviously a somewhat more linear shape of cross section than those of normal wood in the stem wood of both birch species, whereas no such difference was observed in the branch wood.

It appears likely that the medullary rays of normal wood are thinner in the branches of silver birch than in the stem (cf. also JACCARD 1919). In white birch, on the other hand, no noteworthy difference was established in this respect.

Obviously the medullary rays of the branch wood are of considerably smaller width in the normal as well as the tension wood of both birch species than in the stem wood.

The medullary rays of stem wood and branch wood seem to differ in that the cross sections of first-mentioned are generally more linear both in the normal and tension wood than the latter. In the case of the normal wood of silver birch no considerable difference was established in this respect.

#### **The proportion of various tissues in the wood**

The contribution of the various types of tissue to the volume of the stem wood of both birch species was determined from normal as well as tension wood from the outermost growth ring only, and from the branch wood of silver birch as the mean of the outermost two growth rings. The pore percentages were determined from a cross-cut section and the medullary ray percentages from a tangential cut. The entire remainder was recorded as the share of the wood fibres. The results are given in Table 32.

In both birch species the wood fibre percentage in the tension wood is remarkably higher, but the pore and medullary ray percentages are remarkably lower than in normal wood. The occurrence of wood parenchyma was found to be so insignificant in both birch species that no numerically expressible volume percentage could be obtained either in the normal or in the tension wood.

The figures in Table 32 clearly indicate a higher density of the tension wood, as compared with normal wood, particularly if attention is also paid to the fact that the wood fibres of the tension wood as a rule have greater wall thickness than those of normal wood.

#### **The structure of the cell wall**

The wall structure of the wood fibres of tension wood of broad-leaved trees in particular has received attention from a number of investigators. It has been found to be a special characteristic of tension wood that the wall of the wood fibres has a more strongly developed inner layer of the secondary wall, often referred to as the tertiary layer, in contrast with the normal wood fibres where as a rule the middle layer of the secondary wall is by far the strongest (e.g., ONAKA 1949, WARDROP and DADSWELL 1950, JAYME 1951 a and JANE 1952). MÜNCH (1937—38) states that the tertiary layer is not organically coalescent with the secondary wall, which is evident from its ready solubility.

In their investigations of the tension wood fibres of various species of trees by means of different methods, e.g., with the aid of polarized light, numerous authors have arrived at the result that a nearly longitudinal fibrillar and micellar orientation is characteristic of the tertiary layer, in contrast with the other wall layers and the wall of normal wood fibres where the fibrils are oriented at a considerably greater angle to the longitudinal fibre axis (e.g., JACCARD and FREY 1928, MÜNCH 1937—38, PRESTON and RANGANATHAN 1947, WARDROP and DADSWELL 1948).

In connection with the present investigation, thin cross-cut slices from the normal and tension wood of white birch as well as silver birch were studied in the polarized light. At an examination of cross-cuts of normal wood at the magnification 500× the walls of the wood fibres appear fairly bright throughout, but in the cross-cut of tension wood the outer layers of the walls of the wood fibres, the primary and secondary

wall, appear bright, although darker than in normal wood, whereas the huge tertiary layer is very clearly darker. This shows that the orientation of the fibrils and micelles is grossly different, particularly in the tertiary wall layer of the tension wood fibres of both birch species, from the other parts of the wall and from the wall of normal wood fibres, the orientation actually being nearly that of the longitudinal axis of the fibre. Moreover it was found that the secondary wall of the tension wood fibres is poorly developed in comparison with normal wood fibres (cf. also JACCARD and FREY 1928 and JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER and MOHRBERG 1951).

The result of JACCARD and FREY (1928), according to which the middle layer should be thinner in tension wood tissue than in normal wood, could not be substantiated in this investigation.

Investigations relating to the fibrillar orientation of the wall of the wood fibres were also carried out with normal and tension wood from the stem wood of both birch species, employing as thin slices as possible which had been cut in the longitudinal direction of the fibres and giving particular attention to their thinner edges where frequently wood fibres had been cloven. In this way it was possible to study one wall of the wood fibres without disturbing effects from the other wall (cf. also WARDROP and DADSWELL 1948). In addition, the maceration method described by ZIEGENSPECK (1951) was used. A small particle of the matter was placed in a drop of copper hydroxyde solved in ammonia water (Schweitzer's reagent) on a microscopic slide and it was studied microscopically.

A magnification of about  $700\times$  was used to determine the angle of orientation of the fibrils to the longitudinal axis of the fibre, and the angle was measured with the aid of a goniometric eyepiece. Objects of this investigation were three individuals of silver birch and one of white birch, one sample piece being taken from the normal as well as the tension wood from equal heights along the stem and correspondingly from the same growth rings in each case.

The results of the measurements are given in Table 33. The stated number of measurements refers to the number of fibres, from each of which numerous measurements were made, their mean value being recorded as the angle of orientation of the wall of the fibre in question.

In both birch species the fibrils in the walls of the wood fibres of tension wood are more distinctly oriented, on an average, in the direction of the longitudinal axis of the fibre than in the normal wood, the average angle of orientation to the longitudinal axis being  $5^{\circ} 25'$  in the first and  $16^{\circ} 30'$  in the second case.

The slit-like pores of the wood fibres were found to be oriented in the direction of the fibrils in the normal as well as the tension wood fibres, which is also indicative of the micellar orientation of the wall (cf. also ONAKA 1949).

In the walls of the tension wood fibres of both birch species nearly transversal spiral markings, frequently of a peculiarly twisting course, were observed, and sometimes they even extended into the region of the adjacent fibre (cf. also CHOW 1946). On the other hand no continuous striations extending over a number of fibres, as reported in the tension wood of *Eucalyptus regnans* by DADSWELL and WARDROP (1948), were observed in this case.

Furthermore, distinct cracks in the direction of the fibrils were encountered in the walls of the normal as well as the tension wood fibres, their occurrence being more common in the latter.

In connection with the present investigation X-ray diffraction diagrams were made from tangential wood specimens of about 1 mm thickness taken from the base of the stem of both birch species, both from the normal and tension wood. The radiation was perpendicular to the fibres and as exactly radial as possible, so that the diagrams represent the central part of the specimens. Each specimen contained, at least in regard to tension wood, one growth ring only, while there could be part of a second growth ring with respect to the normal wood. It was thus possible to aim the investigation fairly accurately at certain desired growth rings, or at corresponding growth rings in different cases. The roentgenographic work was carried out in the laboratory of technical physics in the Finnish Institute of Technology.

A scrutiny of the diffraction diagrams obtained from normal and tension wood (fig. 18–21) reveals that they are characterized by lateral arcs and interference dots which are located on the same circles as these arcs and joined together by faint lines.

At a comparison of the diagrams from normal and tension wood it is clearly evident that the lateral arcs are considerably shorter and more distinctly outlined in the diagrams of the tension wood than in those of normal wood, the latter being less sharply defined and having blurred edges (cf. also PRESTON 1947). Without further measurements this already permits the conclusion that the cellulose molecules are more strongly oriented in relation to the longitudinal axis in the tension wood fibres than in normal wood fibres.

Measuring the angle between the radii drawn from the centre of the diffraction diagram to the ends of the lateral arcs and bisecting this angle yields the so-called angle of orientation, i.e., the angle enclosed by the molecular chains of cellulose and the longitudinal axis of the fibre. Obviously the measurement of this angle was much easier in the case of tension wood than from the diagrams of normal wood. The results are given in Table 34.

From all the other sample trees the specimens for this investigation were taken from opposite sides of the stem, from the surface region of the wood and from corresponding growth rings except in the case of sample tree No. 86, where the tension wood specimen was taken from the fifth, and the normal wood specimen from the seventh growth ring, as counted from the bark, and from the same side of the stem. This tree had begun to form tension wood six years prior to its felling. The results from this sample tree are particularly interesting as they show how the tree immediately also changes the orientation of the micelles in the walls of the wood fibres when it starts to develop tension wood.

The X-ray investigation supports the fact borne out by the optical investigation that the micelles are clearly oriented more strongly in accordance with the longitudinal axis of the fibres in the tension wood of both birch species than in the normal wood. It is true that the angles of orientation found from the diffraction diagrams are more than twice those observed optically, in the case of normal wood, and more than three times in the tension wood, but this is readily explained by the circumstance that the optical study was made, in part, of single wood fibres separated by means of maceration and in part of thin cuts of the wood which contained only one wall of the wood fibre, whereas the specimens used in the X-ray investigation included on the average one entire growth ring with its wood fibres and vessels. Consequently also the vessels, where the micelles are nearly at right angles to the longitudinal axis, contribute to the shape of the diffraction pattern (cf. also PRESTON 1947).

PRESTON (1947) noticed at the examination of X-ray diffraction patterns of beech that the cellulose micelles are relatively more strongly oriented in accordance with the longitudinal axis of the fibre in the wood fibres of the tension wood in the spring wood, as compared with the normal wood, than in the summer wood. Such a result could indeed be expected also on the basis of the present investigation, since it had been found microscopically that the formation of tension wood is more intense during the first half of the growth period than in its latter half.

## The chemical composition of the wood

### *Staining tests with cuts of varying direction and microchemical investigations*

In the present investigation exclusively chloriodide of zinc solution was used as a reagent. In contact with cellulose this reagent produces a blue-violet stain and in contact with lignified parts a bright yellow, thus yielding a very clear contrast in colour.

For the investigation of the staining of the cross-cut surface of the wood, such sections from the stem and branches of both birch species were chosen, in which the tension wood was distinct enough so that its zones could be discerned with the unaided eye. The cuts were brushed with a solution of chloriodide of zinc on one side. It was found that the tension wood zones turned distinctly blue-violet or violet while the remaining parts were stained more or less yellow or yellowish brown. It was noticed that the staining followed accurately the contours of the tension wood zones (fig. 22–25).

Similar results were obtained at the staining of the tangential and radial surfaces of the specimens.

The tests with chloriodide of zinc have shown that the tension wood has a higher cellulose content in both birch species than the normal wood.

At a study of the cross-cuts of normal wood in chloriodide of zinc under a magnification of 1080× it was found that they were stained yellow throughout, which indicates that normal wood represents a tissue which is strongly lignified throughout.

On the other hand the examination of the tension wood tissue under the same magnification revealed that the walls of the wood fibres in the first half of the growth ring were frequently stained nearly throughout purple, red-violet, violet, blue-violet or sometimes reddish brown, only the outer thin layers of the wall acquiring a yellow stain in the way of normal wood. The dark-stained innermost layer of the wall appeared to fill nearly the entire cell lumen and it seemed to exceed the combined thickness of the other layers many times over. It is true that this is obviously partly a result of a stronger swelling of the tertiary layer in the tension wood fibres under the influence of chloriodide of zinc in comparison with the other layers which appear distinctly even in the normal wood (cf. also METZGER 1908 and CHOW 1946). The conditions described above are illustrated by fig. 26 and 27.

In the outermost parts of the growth ring the walls of the tension wood fibres become thinner and the cell lumina increase in size, the decrease in wall thickness obviously taking place at the expense of the tertiary layer, until this strongly stained layer

constitutes only a narrow ring in the vicinity of the edge of the growth ring and ultimately vanishes almost completely in the last rows of cells. This is indicative of the more intense formation of tension wood during the first half of the growth period as compared with its latter part.

It could also be noticed in the staining tests that the intensity of the formation of tension wood is at its highest during the first years since its beginning and abates gradually in later years when the tree has already performed the heaviest work in the restoring of its vertical position.

When the cross-cuts of tension wood treated with chloriodide of zinc were examined in the polarized light and compared with the sections which had not received this treatment, it appeared evident that the exceptional staining produced by this reagent is indeed restricted to the tertiary wall layer, whereas the outer layers acquire a yellow stain in similarity with the normal behaviour.

This circumstance suggests that the obvious higher cellulose content of the tension wood as compared with normal wood is probably due to the particularly high cellulose content and probably nearly non-existent lignin content of the tertiary wall layer.

Of special interest is the observation made by the author at the examination of wood cross-cuts treated with chloriodide of zinc under a magnification of 1080× that the blue-violet, swollen tertiary layer could be torn off suddenly from the rest of the wall altogether, after which it shrunk to a small ring, that is, in view of the entire fibre it would then represent a tube somewhere on the edge of the cell lumen. At the examination of the structure and the staining of the wood fibre wall remaining after such an occurrence nothing could be observed to distinguish it from a normal wood fibre. Numerous such »jumps» could occur in the field of vision of the microscope within a very short time.

### *The chemical analysis*

In order to complement and corroborate the results obtained in the microchemical investigations of normal and tension wood, a chemical analysis was carried out in the case of two individuals of white birch and one of silver birch, separately of the normal and tension wood. To this purpose specimens were taken of the stem wood of the base section from the normal and tension wood side from equal heights and from approximately equivalent growth rings in the surface region of the trees.

The results of the analyses, which were carried out in the laboratories of Oy. Keskuslaboratorio, are given in Table 35. All weights have been given in per cent of the weight of the absolute dry matter.

The ash content was determined according to the standard procedure of Oy. Keskuslaboratorio (SIEBER 1951, p. 414–415). Obviously the tension wood has a higher ash content than the normal wood in both birch species.

The degree of extraction of the wood in acetone was determined according to a method described in the work of SIEBER (1951), on p. 53–56 and 462–364. The degree of extraction by acetone is clearly smaller in the case of the tension wood than of the normal wood in both birch species. Consequently the tension wood contains less resinous substances, fats, etc.



The *cellulose content* was determined from extracted wood dust by means of the well-known method of Cross and Bevan (e.g. SIEBER 1951, p. 114—118). The chlorination and the succeeding washing for the removal of lignin was repeated five times. The cellulose contents according to Cross and Bevan are high in both birch species and display no distinct difference between normal and tension wood.

By subtracting from the Cross and Bevan cellulose the pentosans and lignin contained therein, the so-called *corrected cellulose content* was obtained, which indicates clearly that the tension wood has a higher cellulose content than the normal wood in both birch species.

The *pentosan content* of the wood specimens and of the Cross and Bevan cellulose which was required for the calculation of the corrected cellulose content, was determined by means of the titrimetric method of Kullgren and Tydén (e.g. KULLGREN and TYDÉN 1929, SIEBER 1951, p. 62—83 and 453, WISE 1950, and HÄGGLUND 1951, p. 143). The tension wood has a rather remarkably lower pentosan content in both birch species than the normal wood, and a similar relation also applies to the Cross and Bevan cellulose prepared from normal and tension wood.

The *lignin content* of the wood specimens and of the Cross and Bevan cellulose was determined according to the method of Halse (e.g. HALSE 1926, SIEBER 1951, p. 389 and 456—457). According to the results from white birch the lignin content of tension wood is considerably lower than that of normal wood, and this also applies to the Cross and Bevan cellulose, but in the case of silver birch approximately equal figures were obtained for the lignin contents of normal and tension wood.

The results concerning the lignin content of silver birch suggest that there is not necessarily any noteworthy difference in either direction between the lignin contents of normal and tension wood with regard to the wood tissue as a whole. If the results of the microchemical investigations indicating an almost exclusive cellulose composition of the tertiary wall layer in the tension wood fibres as compared with the other wall layers of normal as well as tension wood fibres are taken into account, there can scarcely be any other explanation than that the secondary wall in the tension wood fibres may be more strongly lignified than in normal wood fibres at least in some cases. Such a result has indeed been obtained, e.g., by JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER and MOHRBERG (1951) in the case of poplar species.

The circumstance that tension wood contains more cellulose but less pentosan than normal wood and that the Cross and Bevan cellulose prepared from tension wood has a much lower pentosan content than that made from normal wood can be considered to indicate that possibly the ratio of crystalline cellulose to amorphous matter is higher in tension wood than in normal wood (cf. also WARDROP and DADSWELL 1948).

#### *Investigations with the aid of paper partition chromatography*

The carbohydrate composition of normal and tension wood was also determined, the wood specimens for this investigation being the same as for the analytical determinations in the case of white birch, whereas completely different sample trees of silver birch were used. The determinations were carried out according to the paper partition chromatographic method in the laboratories of Oy. Keskuslaboratorio.

This method has been described, e.g., in the publications of SUNDMAN (1949) and GUSTAFSSON (1951) etc. In the determination of the sugars mainly the photometric method was employed (e.g. GUSTAFSSON et al. 1951, SAARNIO et al. 1952, CRAMER 1953).

The results of investigation are given in Table 35 (cf. also GUSTAFSSON, SAARNIO and OLLINMAA 1952).

Tension wood has clearly a higher glucosan and galactan content than normal wood in both birch species. The difference in galactan content is very distinct. The figures indicating the glucosan content are naturally largest both in the normal and tension wood, since cellulose, the principal constituent of wood, is hydrolyzed to glucose.

On the other hand the tension wood seems to have a distinctly lower mannan, araban and xylan content than normal wood in both birch species.

Tension wood has thus a higher hexosan content than normal wood, but its pentosan content is lower, which was the result obtained analytically also directly from the wood.

#### *Resistance against chemicals*

##### **Solubility in water**

The solubility in cold water of normal and tension wood was investigated in the case of five white birch individuals, using as pure normal and tension wood specimens as possible, of the size 1,5 by 1,5 by 1,0 cm, which were taken from corresponding points at the base of the stem.

The specimens were oven-dried and placed in water of room temperature, where they were left for 62 days, of which time they were submerged for 54—61 days. During the last 20 days the specimens did not take up water in any considerable degree, but were saturated with water. The specimens were then oven-dried again and the difference of the dry weights was expressed in per cent of the original dry weight. The results are presented in Table 37.

Tension wood is obviously of greater solubility in cold water than normal wood; this applied to all sample trees investigated in this respect. If the solubility had been determined with sawdust and with hot water as solvent, naturally higher values would have been obtained.

##### **The corrosive effect of acids**

The effect of 65 % sulphuric, 70 % nitric and 38 % hydrochloric acid on specimens from white and silver birches containing both normal and tension wood was observed.

Tension wood was found to have a greater resistance against the corrosive effect of all these cold acids than normal wood. Sulphuric acid produced the fastest effect. When the specimens had been kept in sulphuric acid for two hours, after which their cross-cut surface was thoroughly brushed with a coarse brush, it was found that the normal wood had been corroded considerably, the tension wood zones remaining almost uncorroded in resemblance of a relief (fig. 28). However, the boundary lines of the growth rings, which obviously represent the outermost parts of the growth rings containing poorly developed tension wood tissue, were worn down to deep grooves even in the tension wood.

The higher rate of corrosion of normal wood as compared with tension wood, under the influence of nitric acid, was not observed before the specimens had been kept in the acid for about one day, and in the case of hydrochloric acid this could be established only after a soaking of two days.

The lower solubility of tension wood in these acids in comparison with normal wood can probably be considered an indication of the higher degree of crystallization of the tension wood cellulose as against the cellulose of normal wood (cf. DADSWELL and WARDROP 1948).

## The physical properties of wood

### Volume-weight

The determination of the volume-weight of the normal and tension wood in the stem wood of white and silver birches were performed with oven-dried specimens of size 2 by 2 by 1,5 cm. The parallel specimens in each case were taken from equivalent heights from the surface of the stem. The results are given in Table 38.

In both birch species the tension wood is slightly heavier on the average than normal wood on all sites.

Since the investigation only concerned a short butt bolt of the stem, generally of 2 m length and in exceptional cases 3 m, no distinct regularity could be observed with regard to volume-weight at different heights.

Nearly all sample trees are from the second or third crown layer (Table 2), and no difference of definite direction could be noticed between their volume-weights (Table 42).

The sample trees from Helsinki had grown on soils of the *Oxalis-Majanthemum*, *Oxalis-Myrtillus* and *Myrtillus* types, with the exception of three white birch individuals from a wet spruce-hardwoods peat-moor. Since no definite differences could be noticed between the volume-weights of the trees from different sites, they have been presented as one group.

Table 39 gives the results of the volume-weight investigations in the case of some trees where the formation of tension wood was of particular strength.

Table 40 reveals how the volume-weight of birch wood increases fairly regularly with its tension wood content. The tension wood content of the specimens was determined ocularly and in case of need with the aid of a graduated glass plate with an accuracy of 5 % from the cross-cut surface.

The trend toward a linear correlation between tension wood percentage and volume-weight is evident from the correlation coefficients and their mean errors in Table 41.

The relation between volume-weight and tension wood content is also represented graphically in fig. 36 and 37.

The wood of silver birch is obviously somewhat heavier on the average than that of white birch (Tables 38, 40 and 42), if trees from similar sites are compared, which moreover belong to the same crown class and are of approximately equal age.

It was found by means of sample tests that the volume-weight was higher in the sapwood than in the heartwood in both birch species (cf. also STAUFFER 1892, WALLDÉN 1934, SAVINA and PERELYGIN 1936, KUJALA 1946 and JALAVA 1946).

At an examination of the volume-weight in the case of white birch individuals from various forest and bog types in the series from Kuhmo the attention is drawn to the low volume-weight of trees from wet spruce-hardwoods peat-moors and the high volume-weight of trees from wet pine peat-moors. On *Myrtillus*-type soil the volume-weight appears to be higher than on soil of the *Vaccinium* type. The volume-weight of the material of both birch species from Helsinki, which had grown on soil of the *Oxalis-Majanthemum* and *Oxalis-Myrtillus* types for the most part, seems to be fairly low in the case of wood containing no or little tension wood.

Obviously also in the branches the tension wood on the upper side is heavier than the wood of the lower side, as suggested by the pore percentage figures (Table 29).

It is possible that in the case of birch as well, the volume-weight of the branch wood is higher than that of the stem wood (e.g. SCHNEIDER 1896), as suggested by the results of the investigations concerning the pore percentage.

### The calorific value

Since the tension wood of both birch species was found to contain more cellulose and as a rule less lignin than normal wood and lignin has been established to have a considerably higher calorific value than cellulose (e.g. KOLLMANN 1951), it seems possible that the calorific value of tension wood may be generally at least somewhat less than that of the normal wood, as calculated per unit weight.

### Hygroscopic properties

#### Shrinkage and swelling

Cellulose being the main constituent of wood and its structure being correspondingly anisotropic, one of the most harmful characteristics of wood with a view to its use for various purposes, in addition to its swelling at moistening and shrinkage at drying, is particularly the fact that these changes are different in different directions. The longitudinal shrinkage or swelling is small in comparison with the corresponding tangential and radial changes, and it is thus true that wood displays a highly anisotropic behaviour with regard to moisture.

The causes of the generally higher tangential shrinkage in comparison to the radial shrinkage are not fully understood, and numerous different hypotheses have been presented (e.g. CLARKE 1930, BISSET 1951, LINDSAY and CHALK 1954, RITTER and MITCHELL 1939, DIETZ 1949, MÖRATH 1932, PENTONEY 1953, BAILEY and VESTAL 1937, PRESTON 1942, FREY-WYSSLING 1940 a-b and 1943, and MATSUMOTO 1950).

#### Longitudinal shrinkage

In order to determine the magnitude of the longitudinal shrinkage, test specimens were taken from the normal and tension wood side of green stems and branches of white as well as silver birches, their cross section being 1 by 1 cm and their length 10—

30 cm according to the curvature of the tree, inasmuch as it was attempted to make the specimens as accurately parallel to the longitudinal axis of the tree as possible. Their length was measured with an accuracy of 0,05 mm, and these measurements were repeated after the samples had been dried in the oven. The shrinkage was calculated as per cent of the length in the green state. In each case the greatest observed length of the specimen was recorded. The results which pertain to stem wood are shown in Table 43.

In both birch species the longitudinal shrinkage of the tension wood is clearly higher than that of normal wood, the observed shrinkages of the specimens taken from tension wood being on the average twice that of the normal wood specimens.

If a specimen had normal wood on one side and tension wood on the other side, it was frequently found to acquire a curved shape at drying, the tension wood being on the concave side, which indicates the greater shrinkage of tension wood (fig. 29).

The influence of the tension wood content of the specimen upon its longitudinal shrinkage is seen from Table 44. This table reveals that the percentage of longitudinal shrinkage increases fairly distinctly with tension wood content. At first, when tension wood begins to be present in a small amount, the shrinkage seems to increase very strongly; towards the higher classes of tension wood content its rate of increase is lessened. Also PILLOW (1950) suspects this to be the case with regard to mahogany. Consequently the correlation between tension wood content and longitudinal shrinkage is obviously not a linear one. Instead, it follows a curve with rapid initial rise and levelling out later, to attain another steeper rise in the highest classes of tension wood content (fig. 39).

The percentage of shrinkage of pure tension wood was found to vary in much wider limits than that of pure normal wood in both birch species (fig. 38). Thus, the dispersion of the shrinkage figures of pure tension wood specimens from white birch was found to be  $0,30 \pm 0,021$  % against only  $0,12 \pm 0,005$  % for the normal wood specimens. On the other hand the variation coefficient was found to be  $50,0 \pm 1,97$  % for normal wood and  $35,3 \pm 2,50$  % for tension wood, which indicates that the dispersion of the longitudinal shrinkage is relatively smaller in comparison with the amount of shrinkage in the case of pure tension wood specimens than in that of normal wood.

The correlation coefficients characterizing the relation between tension wood content and longitudinal shrinkage, which are remarkably high, are given together with their mean errors in Table 45.

It appears that the longitudinal shrinkage of the wood of silver birch is slightly higher on the average than that of white birch in correspondence with the ratio of their volume-weights (Table 44).

The longitudinal shrinkage values of trees from different sites are also found to display the same trend in their mutual order of magnitude as their volume-weights (Tables 40 and 44).

As a rule the longitudinal shrinkage diminishes upward along the stem in the normal as well as the tension wood of both birch species (Table 46).

In the case of silver birch, measurements of the longitudinal shrinkage were carried out also with regard to the branch wood. 100 measurements were made of the tension wood side and 70 of the side of the normal wood and the percentage of shrinkage was found to be 0,64 % and 0,56 %, respectively. Since, however, the major part of the specimens taken from the lower side of the branches also contained more or less tension

wood, the calculation of the average percentage of shrinkage was repeated considering only such specimens as representative of normal wood in which no signs of tension wood whatsoever could be observed. In this way the percentage of shrinkage for the tension wood was found to be 0,63 % and for the normal wood 0,45 %.

Obviously branch wood displays a higher shrinkage than stem wood, at least in the case of normal wood, in accordance with their volume-weights.

It has proved very difficult to find a satisfactory theory to account for the considerably higher longitudinal shrinkage and swelling of the tension wood in comparison with normal wood (cf. e.g. CHOW 1946, WARDROP and DADSWELL 1948).

#### *Tangential shrinkage*

The tangential shrinkage was studied with the aid of specimens taken from the very base of the stems of the sample trees, of the cross section 1 by 1 cm and of a length according to the size of the tree. The results are presented in Table 47.

For a better conception of the mutual relation in magnitude of the tangential shrinkage of normal and tension wood, the results of measurements in a few cases of such sample trees where the formation of tension wood was particularly distinct are given separately in Table 48.

In both birch species the tangential shrinkage of tension wood is higher than that of normal wood.

The tangential shrinkage, too, seems to increase fairly clearly with increasing tension wood content in both birch species (Table 49 and fig. 40).

The correlation coefficients describing the relation between the tension wood content of the wood and its tangential shrinkage are given together with their mean errors in Table 50. Obviously the tangential shrinkage is not governed by the tension wood content to such an extent as is the longitudinal shrinkage, although comparisons in this respect are impeded by the fact that the series relating to the tangential shrinkage is rather small and inhomogeneous in comparison with the material available for the study of the longitudinal shrinkage.

Obviously the tangential shrinkage is higher on an average in silver birch than in white birch in accordance with their difference in volume-weight.

Since the rate of drying has been found to be of influence upon the shrinkage of wood insofar as slower drying produces a greater shrinkage (e.g. TIEMANN 1921), higher values of the percentage of shrinkage might perhaps have been obtained if the drying had been started at a lower temperature and the temperature had been raised slowly instead of the actually used procedure which was to raise the temperature rapidly to its maximum.

#### *Radial shrinkage*

The radial shrinkage was studied with the aid of similar test specimens as the tangential shrinkage. The results are presented in Table 51.

For a better conception of the shrinkage of normal and tension wood in this particular direction, the results of some such sample trees are given separately in Table 52, where the formation of tension wood was very strongly evident.

Obviously the tension wood of both birch species has a higher shrinkage than normal wood also in the direction of the radius.

The increase of the radial shrinkage with increasing tension wood content of the wood is seen from Table 53 and from fig. 41 with regard to white birch.

The correlation coefficients and their mean errors in Table 54 show that there is a rather strong correlation between the tension wood content and the radial shrinkage in the case of white birch. Obviously the correlation is of the same order of strength as in the case of the tangential shrinkage.

The greater tangential and radial shrinkage of tension wood in comparison to normal wood can probably be attributed to its higher volume-weight and to the micellar orientation of the wall of its wood fibres. The lower medullary ray percentage of the tension wood may also contribute to the increase of its radial shrinkage.

It is possible that the shrinkage of the wood of silver birch is greater than that of white birch also in the radial direction, in accordance with their respective volume-weights.

#### *Volume shrinkage*

The shrinkage in volume was not determined by direct measurement, but it was calculated from the longitudinal, tangential and radial percentages of shrinkage (TRENDELENBURG 1939, p. 202).

The calculated values are given in Table 55 for the normal and tension wood of both birch species as calculated from the entire series as well as separately from the pure normal wood series which did not contain any tension wood, and in the case of white birch also for the pure tension wood, its occurrence there being nearly 100 % pure. The series for the tests on radial shrinkage of silver birch did not include one single specimen of pure tension wood.

The volume shrinkage of tension wood is somewhat higher than that of normal wood in both birch species. Naturally this is much more clearly evident in the pure material than in the mean values relating to the entire series.

The volume shrinkage of silver birch is obviously somewhat higher than that of white birch in accordance with the volume-weight.

The low shrinkage values obtained in this instance are at least partly attributable to the circumstance mentioned in connection with the tangential shrinkage.

#### **Other hygroscopic properties**

##### *Time required for the sinking, and moisture content at the moment of sinking*

For the tests, specimens of size 2 by 2 by 5 cm taken from the normal as well as the tension wood in the stem wood of white and silver birches were used and their tension wood content was determined ocularly from their cross-cut surface with the aid of the graduated glass plate. The specimens were dried in the oven and placed in water of room temperature.

With regard to the time required for the sinking of the test specimen, tests were made with altogether 15 individuals of white birch and 3 of silver birch. The relation between the said time interval and the tension wood percentage for most of the sample trees is shown in Table 56. The specimen was considered sunken when it settled clearly down on the bottom of the receptacle. The time required to reach this stage was recorded with an accuracy of 12 hours.

The specimens from each sample tree were made as equal in size as possible, but between different sample trees this could not always be done. Consequently it was not expedient to compute mean values for the entire series.

With increasing tension wood content the time required for the sinking of the specimen goes down very remarkably.

The correlation coefficients which have been given in Table 57 together with their mean errors show that a distinct negative correlation exists between the tension wood content of wood and the time required to make it sink.

For the determination of the moisture content of the test specimens at the moment of their sinking they were weighed in the oven-dried state before their immersion in water and once more immediately after they had sunk. The difference of the weights was expressed in per cent of the oven-dried weight. The results are given in Table 58.

In the case of both birch species the moisture content at the moment of sinking is smaller for higher tension wood percentages. This effect is obviously due to the higher volume-weight of the tension wood as compared with normal wood.

Between the tension wood content and the moisture percentage at the moment of sinking there exists a distinct negative correlation, as will be seen from the correlation coefficients given in Table 59 together with their mean errors. There is obviously a tendency towards a linear correlation (fig. 42).

The moisture content at the moment of sinking is considerably lower in the wood of silver birch than in that of white birch. This result could be predicted on the account of the volume-weights.

#### *Rate of water uptake and drying*

To the investigations relating to the rate of water uptake and drying, test specimens of size 2 by 2 by 1,5 cm taken from the stem wood of white birch were used, part of which were completely free of tension wood, according to ocular assessment, while in the remaining part the occurrence of tension wood was 80–100 %. The specimens were dried in the oven and weighed, after which they were placed in water of room temperature and weighed at regular intervals until they were saturated with water. From each weighing the moisture content was calculated and expressed in per cent of the oven-dried weight.

Five sample trees were used in this investigation. The results are given in Table 60.

The rate of water uptake, or the hygroscopic force, is considerably less in the tension wood than in the normal wood. This could actually be predicted, since the tension wood has a considerably lower pore percentage than normal wood and water is absorbed mainly and most rapidly through the cross-cut surface (cf. also ENEROTH 1922). ONAKA (1949) states furthermore that tension wood is of lower permeability to water in the direction of the radius, which is also suggested by the present results concerning the medullary ray percentage of normal and tension wood.

Even the total water absorption capacity seems to be clearly smaller in tension wood than in normal wood. This is obviously attributable to the smaller cell lumina and lower pore percentage and the correspondingly higher wall percentage of the tension wood (fig. 43).

The rate of drying of water-saturated specimens of the wood of white birch was studied by placing them in an unheated drying chamber, supported by wide-meshed wire netting so that the air had access to all faces of the specimens. The decrease of their moisture content was followed by means of regular weighings. The results are shown in Table 61 (also fig. 44).

As a rule, normal wood dries somewhat more rapidly than tension wood, with the exception of the first few hours after the specimen has been taken out of the water, during which the drying rates are fairly equal; or that of the tension wood may perhaps be even somewhat higher than that of the normal wood. ONAKA (1949) mentions rapid drying as one of the characteristics of tension wood.

There seems to be no noteworthy difference in the moisture content of normal and tension wood in the room-dried state, although the latter shows slightly lower percentage figures.

*The amount of free and hygroscopic water and the specific weight  
of the wood substance*

From part of the series employed in the investigation of the rate of water uptake and of drying, the amount of the water existing in the free state in the cell lumina and of that bound in the cell walls was determined. On the basis of these determinations the percentage in volume of the wood substance, or the cell wall percentage, and the specific weight of the wood substance was calculated.

The series for this investigation consisted of two white birch individuals which had grown on soil of the *Vaccinium* type in Kuhmo. Altogether 12 test specimens were taken, half of them from normal and half from tension wood. The results are to be seen in Table 62. The contribution of the hygroscopic, or bound, water is considerably, 49–50 %, higher in the tension wood than in the normal wood, which is readily understood from the more dense structure of the tension wood. Furthermore, WARDROP and DADSWELL (1948) state that cellulose, which is more abundant than normal in tension wood, is more hydrophilous than lignin.

The volume of the lumina and cavities in tension wood is distinctly smaller than in normal wood.

The contribution of the wood substance in the cell walls to the total volume is 25–30 % higher in the tension wood than in the normal wood, according to the results of the present work, as calculated from the oven-dried volume.

The wood substance of tension wood is of slightly higher specific weight than that in the normal wood, which fact is attributable to the higher cellulose content and the generally lower lignin content of the tension wood. Furthermore the higher ash content and lower content of extractable substances of the tension wood act in the same direction, although their effect is very small owing to the insignificant amount of these substances.

**The strength characteristics  
of the wood**

In addition to the compressive strength in the direction of the grain and the hardness, on which questions investigations were made, also other strength characteristics of the wood will be discussed in the following insofar as they have been investigated in the case of tension wood in different countries, or inferences with regard to them can be drawn from the results obtained in the present work.

*The compressive strength in the direction of the grain*

For the determination of the compressive strength test, specimens of 2 by 2 cm cross-section and of 5 cm height were used. They were taken from the normal and tension wood sides from exactly corresponding heights from the surface region of the stems. As far as possible only faultless specimens, according to ocular judgement, were accepted for the test.

Quite fresh, green test specimens were used in all measurements, and thus the strength values are mutually comparable without any corrections, which also is the case with regard to the investigations on the hardness.

The strength of the specimens was determined with a material testing machine of Amsler & Co, the load increment being about 20 kg, or about 5 kg/cm<sup>2</sup> per minute. The compression was increased until rupture occurred and the indicator hand for the load magnitude began to return finally to its initial position. In this way only the maximum load was determined with an accuracy of 5 kg and the load per cm<sup>2</sup> of the cross-section was calculated from this.

The results of this investigation are given in Table 63 separately for the specimens which were taken from the centre part of the circumference of the cross-cut, i.e., from the vicinity of the ends of its vertical diameter (series a) and separately for specimens taken from the lateral parts of the cross-cut (series b).

The compressive strength in the direction of the grain is considerably smaller in the tension wood than in the normal wood in both birch species.

Typical specimens of tension wood were frequently observed to buckle under compression in a peculiar kind of collapse which was sudden and final, or irreversible, when the load became great enough (cf. also CLARKE 1937 and DADSWELL and WARDROP 1948).

The lower than normal compressive strength of the tension wood in the direction of the grain is probably attributable to the peculiar fibrillar orientation and chemical composition of the wall of its wood fibres (e.g. CLARKE 1937, FREY-WYSSLING 1936, WARDROP and DADSWELL 1948 and KLAUDITZ 1952).

The test specimens taken from the lateral parts of the cross-cut (series b) have been of higher strength on the average than the specimens from its centre part (series a), both in the normal and the tension wood. In the case of the tension wood this is obviously due to the fact that series a represents the typical, most strongly developed tension wood zone and in the case of the normal wood possibly to the fact that the

series in question represents the material of the narrowest growth rings and highest abundance in pores.

The fairly regular decrease of the compressive strength in the direction of the grain with increasing tension wood content in the case of both birch species and all sites is evident from Table 64.

The correlation coefficients given in Table 65 together with their mean errors and the graphical representation in fig. 45 reveal the distinct negative correlation of tension wood content and compressive strength in the direction of the grain with an obvious trend towards linearity.

It is seen from Tables 63, 64, 66 and 67 that the compressive strength in the direction of the grain is higher in silver birch in the normal as well as the tension wood than in white birch.

Obviously the compressive strength increases from the pith toward the surface, which fact is probably associated with the similar trend of the volume-weight of the wood (cf. also KUJALA 1946).

The compressive strength values of the normal wood of sample trees from different sites seem to vary mainly in accordance with their volume-weights.

Table 66 reveals that the compressive strength in the direction of the grain is generally somewhat higher in trees of the dominant crown classes than in the dominated classes, which fact is probably associated with their different rate of growth.

In both birch species the compressive strength in the direction of the grain increases upward along the stem both in the case of the normal and the tension wood (Table 67). This is probably associated with the similar increase of the volume-weight (e.g. WALLDÉN 1934, SAVINA and PERELYGIN 1936, CLARKE 1936, KOLLMANN 1951 and VORREITER 1954) and in the case of the tension wood particularly with its less abundant formation in the higher regions of the stem.

Table 68 shows the variation of the quality quotient according to Janka in relation to the tension wood content, the compressive strength in the direction of the grain having been determined from the green material and the volume-weight in the oven-dried state. Since the tension wood is of higher volume-weight than normal wood, the inferiority of tension wood to normal wood is even more obvious in the values of the quality quotient than in the values of the compressive strength proper.

Table 69 shows that even in the branches the tension wood on the upper side is of lower compressive strength in the direction of the grain than the normal wood on the lower side. The values in this table are mean values from both species of birch. The branch wood sample trees were grown on soil of the *Oxalis-Myrtillus* type in Helsinki as dominant trees of the stand.

From Table 70 it is evident that also in the case of branch wood higher tension wood content is accompanied by lower compressive strength in the direction of the grain.

At lower moisture contents than in the green state there is obviously at least no such striking difference in the compressive strength in the direction of the grain between the tension wood and the normal wood to the disadvantage of the first-mentioned, which is also indicated by the fact that several authors mention as a characteristic of tension wood its abnormally low compressive strength in the green state (e.g. MARRA 1942, DADSWELL and WARDROP 1949 and ONAKA 1949).

### Hardness

In the investigation of hardness, test specimens of 10 cm length and of an average cross section of 4 by 4 cm were used.

Six tests were made with each specimen in the green state, one at each end and two on its tangential and radial face. The hardness was determined according to the Brinell-Janka method, i.e., a steel ball of 1 cm<sup>2</sup> cross section was pressed into the wood to the depth of its radius and the required force was read with the accuracy of 1 kg directly from the maximum pointer of the gauge. The loading rate was 15 kg/min.

On the tension wood side only such test specimens have been accepted in which the tension wood appears as a continuous zone of adequate width, and parallel specimens to these have been taken from the opposite side of the normal wood. As far as possible it was attempted to take all pairs of parallel specimens from corresponding growth ring zones.

The total number of the tests was 2 376, or 792 tests in each direction. The results are given in Table 71; they refer to a butt bolt of 2 m length.

In both birch species the hardness in all the tested directions of the tension wood of the trees from all sites is smaller than that of the normal wood, which can be attributed, partly at least, to the lower than normal lignin content of the tension wood and to the peculiar micellar arrangement in the wall of the wood fibres, the latter particularly in the case of the hardness in the direction of the grain.

The hardness of the tangential faces seems to be highest as a rule and that of the radial faces lowest, in both birch species and in the normal as well as the tension wood, the hardness in the direction of the grain being intermediate between the other two.

No definite trend was observed in either birch species in the variations of the hardness according to the crown class to which the trees belong.

Obviously the hardness in all directions of the normal as well as the tension wood of both birch species has a trend to increase upward along the stem similarly as the compressive strength in the direction of the grain, and obviously also for the same reason (Table 72).

The hardness values of the normal wood of both birch species vary between the different forest types roughly in analogy with its compressive strength in the direction of the grain and with its volume-weight.

The series from Kuhmo shows that the normal as well as the tension wood of silver birch is of higher hardness in all directions than that of white birch. The series from Helsinki, which is too small to permit of reliable comparisons in this respect, indicates an opposite behaviour.

Obviously the hardness of the tension wood of birch is lower than that of normal wood even at lower degrees of moisture content. Such a result has been obtained, e.g., by MARRA (1942) in the case of sugar maple.

### Other strength characteristics

It can be concluded on the strength of the investigations relating to the compressive strength in the direction of the grain and to the hardness that the tension wood of birch is of lower compressive strength than normal wood even in the direction per-

pendicular to the grain. This condition is obviously due to the generally lower than normal lignin content of the tension wood (e.g. CLARKE 1937, CHOW 1946, ONAKA 1949 and RÜNGER and KLAUDITZ 1953). According to the results of investigation of MARRA (1942) also the compressive strength perpendicular to the grain of the tension wood of air-dried sugar maple is lower than that of the normal wood, although the difference obviously is not nearly as great as in the case of the compressive strength in the direction of the grain.

In the case of different species of wood, as a rule, the result has been that the tensile strength of tension wood in the direction of the grain at lower moisture content is considerably higher than that of normal wood, but in the green state on the contrary lower, even though the difference is not so striking in the latter instance (e.g. CLARKE 1937, ONAKA 1949 and RÜNGER and KLAUDITZ 1953).

Since the compressive strength is considerably lower, both in the case of green and dried wood, than the tensile strength of wood of the same degree of moisture, it is natural that the compressive strength will also be decisive and determining in the case of bending. It is thus obvious that tension wood is of lower bending strength than normal wood both in the green and the air-dried state. The difference is obviously greater when the wood is in the green state than in the air-dried state. Such results indicating a lower than normal strength of tension wood against uniform bending as well as impact bending have been obtained in the case of different species of wood, e.g., by MARRA (1942), and by AKINS and PILLOW (1950). Moreover, MARRA (1942) has found that a distinct negative correlation exists between the bending strength of green tension wood and the abundance of tension wood in sugar maple.

Since tension wood has been established to have considerably lower compressive and bending strength than normal wood, it can be expected that also the corresponding proportional limit and the modulus of elasticity are lower than in normal wood. Such a result has indeed been obtained, e.g., by MARRA (1942) in his determinations of the static bending strength of sugar maple. He found that through the drying from the green to the air-dried state the proportional limit, the corresponding stress and the modulus of elasticity of tension wood increased in a considerably stronger degree than in the case of normal wood, but that even in air-dried tension wood these characteristics were still lower than in normal wood. He also established a distinct negative correlation between the elasticity of green tension wood and its tension wood content in the case of static bending. Similar observations were made in the present investigation at the determination of the compressive strength in the direction of the grain in green birch wood, when the maximum indicator of the load gauge and the strain indicator were followed.

Obviously the strength against cleaving and splitting and the tensile strength perpendicular to the grain are not much smaller, at least in the air-dried state, in tension wood than in normal wood. Such a result with regard to the cleaving strength has been obtained, e.g., by MARRA (1942) in the case of air-dried sugar maple.

The results of investigation of MARRA (1942) on sugar maple suggest that the toughness of tension wood in static bending is lower than that of normal wood up to the proportional limit, both in the green and the air-dried state, and that a distinct negative correlation exists between the abundance of tension wood and toughness. Up to the said limit the toughness of tension wood seems to increase at the drying from the green state to the air-dried state in a higher degree than in normal wood. When

the proportional limit is passed and the breaking limit is attained, the toughness of tension wood in the air-dried state is still considerably lower than that of normal wood, although not in such a degree as at the proportional limit, but in the green state its toughness is only slightly lower than that of normal wood. According to MARRA the toughness of tension wood is higher up to the breaking limit in such tension wood which contains an abundance of tension wood fibres than in tension wood with few or no such fibres. This tends to indicate that the difference between proportional and breaking limit, as related to the magnitude of the deflection, is considerably higher in the tension wood than in the normal wood, particularly in the green state. Moreover it is higher in accordance with the abundance of tension fibres in the wood. In this respect, thus, tension wood is obviously of higher toughness than normal wood. Similar observations have been made also in connection with the present investigation at the determination of the compressive strength in the direction of the grain.

Using in his determinations of the toughness a machine which allowed of the measuring of the impact-absorbing capacity of the wood in the lateral direction, Clarke arrived at such a result that the occurrence of tension wood fibres in air-dried beech does not reduce its toughness in any significant degree. He also noticed that the toughness of tension wood is slightly higher than normal at a low volume-weight of the wood, whereas a high volume-weight is accompanied by a toughness considerably below that of normal wood. Since in beech, too, the tension wood has been found to be heavier than normal wood as a rule, and thus high volume-weight is particularly characteristic of tension wood (e.g. CHOW 1946), the reflections presented above can be said to imply that strongly developed tension wood is of lower toughness in the air-dried state than normal wood.

Independent of whether the toughness of wood is defined on the basis of the force employed and the corresponding deflection, as in static bending, or as the impact-absorbing capacity of the wood, the toughness will in any case be the result of a combined action of tensile and compressive strength similarly as the strength against bending. Consequently it seems very likely that tension wood is generally of lower toughness than normal wood.

#### On the significance of the tension wood content with regard to the different uses of wood

Since the physical, mechanical and chemical properties of tension wood are generally considerably different from those of normal wood, it is evident that tension wood has a significance worthy of consideration even in the different uses of wood. Its importance is even enhanced by the fact that obviously all broad-leaved trees tend to form tension wood when they have incurred a position in which they are in need of this type of tissue. At a judgement of the general significance of tension wood in the first place its unbelievable commonness in different tree individuals should be considered, even in such trees where its existence cannot be expected in any way on the strength of their general appearance. Obviously individuals of broad-leaved trees, which should not once have formed tension wood in their stem during their entire period of development, are great rarities, if they exist at all (cf. v. PECHMANN 1953). JAYME (1951 a)

states that he has encountered individuals in different poplar species with a tension wood content of 21–36 %. In regard to the transport of timber by floating attention should be paid to the fact that the presence of tension wood reduces the buoyancy of the wood in accordance with the tension wood content.

### The home use of wood and the mechanical wood-working industry

If tension wood is used, for instance, for purposes in the domestic field or in the sawmill, plywood, furniture, sporting goods and match industries, its most detrimental properties are high longitudinal shrinkage, warping, twisting and even checking. Attention was paid to the disadvantages mentioned above, e.g., by CLARKE (1936) and DADSWELL and WARDROP (1949).

The woolliness of the cut, planed and turned surfaces resulting from the presence of tension wood is extremely annoying, e.g., in the plywood, furniture and pencil-making industries, which have been mentioned, e.g., by AKINS and PILLOW (1950), JAYME (1951 a) and MAYER-WEGELIN (1951). The last-mentioned author says that it is scarcely possible to smooth the fuzzy plywood veneer obtained from tension wood and that its glue consumption is as much as 60 % above normal.

There are even such modes of use of wood where naturally curved wood is desirable. Instances of this kind are, e.g., the use of the curved portion of birch stems for the manufacture of the yoke-like part in a horse's harness and the use of a stem of smooth curvature for the runners of sleds and the rockers of rocking-chairs (e.g. HELANDER 1922 and KAUPPILA 1943).

### Paper and fibre board industry

Tension wood is a better raw-material for the pulp industry than normal wood in that it yields considerably more and purer cellulose than normal wood (e.g. JAYME and HARDERS-STEINHÄUSER 1953 and JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER and MOHRBERG 1953). This result is quite obvious on the strength of the chemical analyses carried out in connection with the present work.

However, the high cellulose and lower than normal hemi-cellulose content of the pulp produced from tension wood are obviously of unfavourable influence upon its strength properties as the figures in Table 73 show (e.g. JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER and MOHRBERG 1951, 1953).

It is seen from Table 73 that sulphate pulp manufactured of the tension wood of poplar is considerably inferior to pulp made from normal wood in all its strength characteristics, particularly in regard to folding strength.

The volume-weight and swelling capacity of pulp made from tension wood are lower than normal, in consequence of which it is more difficult to grind, thus requiring a longer grinding time, and it is deposited in a less compact sheet of lower strength than pulp made of normal wood. It should also be noted that the strong tertiary layer in the wall of the tension wood fibres is strongly damaged at the processing which is also

of harmful influence upon the strength of the pulp obtained (JAYME et al. 1951 and 1953).

Raising the processing temperature from 155° to 165° C seems to have a stronger detrimental effect upon the amount as well as the quality of the pulp obtained from tension wood than in the case of normal wood.

The tension wood of birch is obviously of advantage in comparison with normal wood in the manufacturing of sulphate pulp in that the cooking capacity is utilized in a better way owing to the high volume-weight of the tension wood; the processing time is shorter, the yield of pulp per tree higher, as was said above, and the consumption of chemicals is lower owing to the generally lower than normal lignin content of tension wood (cf. also JENSEN 1951).

Obviously the folding strength of pulp made from tension wood of birch is disturbingly low, as can be concluded on the basis of the properties of pulp made of normal wood of birch (JENSEN 1951, Table 74) when these are compared with the properties of the pulp made from the poplar species (Table 73). It is thus evident that if birch is used alone for the manufacturing of pulp, the resulting pulp can be used only for the manufacturing of paper qualities of which no high strength is required. This is even more true if the raw-material contains a considerable amount of tension wood, in which case the use of birch pulp without the admixture of pulp from conifers is hardly conceivable in the manufacturing of paper. JENSEN (1951) arrived at a result, according to which birch pulp can be admixed to pine pulp up to 20 % without any noteworthy influence upon the strength characteristics and that an admixture of 10 % actually improves the quality of the pulp.

One should also remember that tension wood has to be considered excessively processed under such conditions which yield good pulp from normal wood. Tension wood should thus be cooked more conservatively and possibly also in weaker alkalies than normal wood (e.g. JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER and MOHRBERG 1951). A similar relation applies in the case of the manufacturing of pulp from normal wood of the birch and from pine wood.

As to mechanical wood pulp, ground wood pulp and fibre boards, the yield from tension wood is greater per unit volume than in the case of normal wood, owing to the higher volume-weight of the tension wood, but the strength properties of the resulting pulp are obviously inferior.



**Taulukot — Tables**

Taulukko 1. Runkokoeputien jakautuminen eri metsätyyppien kesken.

Table 1. Distribution of the trunk sample trees between the different forest types.

Paikkakunta ja puulaji Place and species of tree	Metsätyyppi – Forest type						Yhteensä Total
	OMaT	OMT	MT	VT	Korvet <sup>1)</sup>	Rämeet Pine bogs	
Runkokoeputia, kpl. – Number of trunk sample trees							
Helsinki							
Hieskoivu ..... White birch	5	6	1	—	3	—	15
Rauduskoivu ... Silver birch	6	5	6	—	—	—	17
Kuhmo							
Hieskoivu ..... White birch	—	—	10	15	7	8	40
Rauduskoivu ... Silver birch	—	—	—	14	2	—	16
Kuorevesi							
Hieskoivu ..... White birch	—	—	2	—	—	—	2
Nurmes							
Hieskoivu ..... White birch	—	—	—	—	1	3	4
<b>Yhteensä – Total</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>19</b>	<b>29</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>94</b>

<sup>1)</sup> spruce-broadleaved tree swamps

Taulukko 2. Runkokoeputien jakautuminen eri latvuskerrosten kesken.

Table 2. Distribution of the trunk sample trees between the different crown classes.

Paikkakunta Place	Hieskoivu – White birch				Rauduskoivu – Silver birch				Yhteensä Total
	Latvuskerros – Crown class								
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Runkokoeputia, kpl. – Number of trunk sample trees									
Helsinki .....	1	7	5	2	—	10	5	2	32
Kuhmo .....	—	10	26	4	3	8	5	—	56
Kuorevesi .....	—	—	2	—	—	—	—	—	2
Nurmes .....	—	3	1	—	—	—	—	—	4
<b>Yhteensä – Total</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>34</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>94</b>

Taulukko 3. Runkokoeputien jakautuminen eri ikäluokkiin.

Table 3. Distribution of the trunk sample trees between the different age classes.

Paikkakunta Place	Hieskoivu – White birch				Rauduskoivu – Silver birch				Yhteensä Total
	Ikäluokka – Age class								
	21–40	41–60	61–80	81–100	21–40	41–60	61–80	81–100	
Runkokoeputia, kpl. – Number of trunk sample trees									
Helsinki .....	2	9	2	2	3	14	—	—	32
Kuhmo .....	3	13	12	12	—	3	11	2	56
Kuorevesi .....	1	1	—	—	—	—	—	—	2
Nurmes .....	—	2	2	—	—	—	—	—	4
<b>Yhteensä – Total</b>	<b>6</b>	<b>25</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>17</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>94</b>

Taulukko 4. Runkokoeputien jakautuminen eri kasvupaikkojen kesken.

Table 4. Distribution of the trunk sample trees between the different localities.

Paikkakunta ja puulaji Place and species of tree	Rinnemaat Slopes	Jokien, purojen ja ojien varret Banks of streams, brooks, and ditches	Metsikköjen ja aukkojen reunat Edges of woods, and gaps	Muut Others	Yhteensä Total
Helsinki					
Hieskoivu . . . . .	1	—	14	—	15
White birch					
Rauduskoivu . . . . .	2	—	11	4	17
Silver birch					
Kuhmo					
Hieskoivu . . . . .	10	4	21	5	40
White birch					
Rauduskoivu . . . . .	8	1	6	1	16
Silver birch					
Kuorevesi					
Hieskoivu . . . . .	1	—	—	1	2
White birch					
Nurmes					
Hieskoivu . . . . .	—	—	3	1	4
White birch					
Yhteensä - Total	22	5	55	12	94

Taulukko 5. Vinon asentoon joutumisen vaikutus rungon paksuuskasvuun.

Table 5. Effect of leaning position upon diameter growth of the trunk.

Hieskoivu, Kuhmo VT, 60 v., välipuu

White birch, Kuhmo VT, 60 years, intermediate tree

	Vuosirengas kuoresta alkaen - Growth ring, as counted from the bark											
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22	23	24-26	27-29	
	Yhden vuosirenkaan keskimääräinen vahvuus, mm Average width of one growth ring, mm											
Yläpuoli . . . . . Upper side	1.42	1.61	1.05	1.65	2.04	2.40	2.07	1.49	0.95	0.87	1.22	
Alapuoli . . . . . Lower side	0.04	0.09	0.12	0.09	0.14	0.09	0.07	0.11	0.52	0.51	0.75	

Taulukko 6. Vetopuun muodostumiseen liittyvä rungon eksentrisen paksuuskasvu.

Table 6. Eccentric diameter growth of the trunk associated with the formation of tension wood.

Koe-puun n:o No. of sample tree	Puun laatu Type of wood	Vuosirengas kuoresta alkaen - Growth ring, as counted from the bark									
		1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24	25-27	
		Yhden vuosirenkaan keskimääräinen vahvuus, mm Average width of one growth ring, mm									
1	Normaalipuu Normal wood	0.90	1.39	0.91	0.98	0.84	0.38	0.08	—	—	
	Vetopuu . . . . . Tension wood	1.57	1.49	1.09	1.36	1.21	1.58	1.79	—	—	
10	Normaalipuu Normal wood	0.75	0.44	0.17	0.56	0.42	0.40	0.53	0.41	0.32	
	Vetopuu . . . . . Tension wood	0.92	0.53	0.30	0.49	0.80	0.54	0.73	0.63	0.55	
39	Normaalipuu Normal wood	0.06	0.08	0.11	0.23	0.15	0.16	0.33	0.12	0.20	
	Vetopuu . . . . . Tension wood	0.63	0.76	0.70	0.89	0.56	—	—	—	—	
42	Normaalipuu Normal wood	0.19	0.24	0.20	0.36	0.22	0.20	0.17	0.19	0.90	
	Vetopuu . . . . . Tension wood	0.42	0.56	0.56	1.13	0.85	0.40	0.80	0.99	1.85	
80	Normaalipuu Normal wood	0.20	0.41	0.60	0.73	2.05	1.72	1.80	—	—	
	Vetopuu . . . . . Tension wood	0.74	1.05	2.01	2.11	—	—	—	—	—	

Taulukko 7. Puusyiden pituusmittauksien määrä, runkopuu.

Table 7. Number of length measurements of libriform fibres, stem wood.

Hieskoivu - White birch						Rauduskoivu - Silver birch					
Paikka-kunta ja metsä-tyyppi Place and forest type	Puun laatu Type of wood	Korkeus maasta, m Height above ground, m			Yht. Total	Paikka-kunta ja metsä-tyyppi Place and forest type	Puun laatu Type of wood	Korkeus maasta, m Height above ground, m		Yht. Total	
		0-1	1-2	4-5				0-1	1-2		
		kpl. - Number						kpl. - Number			
Kuhmo VT	Norm.	1 520	—	—	1 520	Kuhmo VT	Norm.	300	100	400	
	Norm. Vetop. Tens.	1 520	—	—	1 520		Norm. Vetop. Tens.	300	100	400	
Kuhmo MT	Norm.	320	480	160	960	Helsinki OMT	Norm.	600	100	700	
	Norm. Vetop. Tens.	320	480	200	1 000		Norm. Vetop. Tens.	600	100	700	
Kuhmo KgR	Norm.	600	—	—	600	Helsinki OMaT	Norm.	480	—	480	
	Norm. Vetop. Tens.	580	—	—	580		Norm. Vetop. Tens.	461	—	461	
Helsinki OMT	Norm.	350	—	—	350		Norm.	350	—	350	
	Norm. Vetop. Tens.	350	—	—	350		Norm. Vetop. Tens.	350	—	350	
Yhteensä Total	Norm.	2 790	480	160	3 430	Yhteensä Total	Norm.	1 380	200	1 580	
	Norm. Vetop. Tens.	2 770	480	200	3 450		Norm. Vetop. Tens.	1 361	200	1 561	

Taulukko 8. Puusyiden pituus, rungon pintapuun.

Table 8. Length of libriform fibres, sapwood of the trunk.

Paikkakunta ja metsätyyppi Place and forest type	Koe-puita, kpl. No. of sample trees	Latvus-kerros Crown class	Ikä, v. Age, years	Puun laatu Type of wood	Korkeus maasta, m Height above ground, m			Keski-arvot Averages
					0-1	1-2	4-5	
					Puusyiden pituus, mm Length of libriform fibres, mm			
Hieskoivu – White birch								
Kuhmo VT	4	III	50-65	Normaalipuu Normal wood	1.00	—	—	1.00
				Vetopuu... Tension wood	1.17	—	—	1.17
» MT	3	III	65-100	Normaalipuu Normal wood	1.00	1.07	1.10	1.05
				Vetopuu... Tension wood	1.30	1.37	1.18	1.31
» KgR	1	II	100	Normaalipuu Normal wood	1.02	—	—	1.02
				Vetopuu... Tension wood	1.14	—	—	1.14
» »	1	III	90	Normaalipuu Normal wood	1.00	—	—	1.00
				Vetopuu... Tension wood	1.14	—	—	1.14
Helsinki OMT	1	II	60	Normaalipuu Normal wood	1.00	—	—	1.00
				Vetopuu... Tension wood	1.10	—	—	1.10
Keskiarvot Averages				Normaalipuu Normal wood	1.00	1.07	1.10	1.02
				Vetopuu... Tension wood	1.17	1.37	1.18	1.20
Rauduskoivu – Silver birch								
Kuhmo VT	1	II	45	Normaalipuu Normal wood	1.04	—	—	1.04
				Vetopuu... Tension wood	1.12	—	—	1.12
» »	1	II	80	Normaalipuu Normal wood	—	0.82	—	0.82
				Vetopuu... Tension wood	—	1.11	—	1.11
» »	1	III	75	Normaalipuu Normal wood	0.96	—	—	0.96
				Vetopuu... Tension wood	1.11	—	—	1.11
Helsinki OMT	1	III	50	Normaalipuu Normal wood	0.87	0.97	—	0.89
				Vetopuu... Tension wood	1.06	1.24	—	1.08
» OMaT	1	II	50	Normaalipuu Normal wood	1.17	—	—	1.17
				Vetopuu... Tension wood	1.39	—	—	1.39
» »	1	IV	30	Normaalipuu Normal wood	0.86	—	—	0.86
				Vetopuu... Tension wood	1.01	—	—	1.01
Keskiarvot Averages				Normaalipuu Normal wood	0.97	0.90	—	0.96
				Vetopuu... Tension wood	1.14	1.18	—	1.15

Taulukko 9. Runkopuun puusyiden pituus 1 m:n pituisessa tyviosassa pintapuussa.

Table 9. Length of libriform fibres in butt bolt of 1 m height; sapwood.

Koe-puun n:o No. of sample tree	Ikä, v. Age, years	Latvus-kerros Crown class	Pituus, m Height, m	12 viimeisen vuosiluston yht. vahvuus, mm Combined width of last 12 growth rings, mm		Puusyiden pituus, mm Length of libriform fibres, mm		Mittausten lukumäärä Number of measurements
				Normaalipuu Normal wood	Vetopuu Tension wood	Normaalipuu Normal wood	Vetopuu Tension wood	
				Hieskoivu VT, Kuhmo – White birch VT, Kuhmo				
1	55	III	8.5	12.54	16.53	1.10	1.18	780
27	60	»	5.0	1.02	17.19	0.92	1.20	600
7	50	»	8.5	—	—	1.12	1.18	240
3	65	»	5.0	—	—	0.96	1.15	1 420
Hieskoivu MT, Kuhmo – White birch MT, Kuhmo								
42	70	III	9.0	2.97	8.01	1.05	1.24	160
39	90	»	7.0	1.44	8.94	1.00	1.30	640
Rauduskoivu VT, Kuhmo – Silver birch VT, Kuhmo								
5	45	II	9.0	—	—	1.04	1.12	200
37	75	III	9.5	—	—	0.96	1.11	400
Rauduskoivu OMT ja OMaT, Helsinki – Silver birch OMT and OMaT, Helsinki								
63	50	II	10.5	—	—	1.17	1.39	631
80	50	III	8.0	5.82	17.73	0.87	1.06	1 200

Taulukko 10. Oksapuun puusyiden pituus pinnassa.

Table 10. Length of libriform fibres in branch wood; sapwood.

Korkeus maasta, m Height above ground, m	Etäisyys oksan tyvestä, cm Distance from the base of the branch, cm	Normaalipuu – Normal wood		Vetopuu – Tension wood	
		Puusyiden pituus, mm Length of libriform fibres, mm	Mittausten lukumäärä, kpl. Number of measurements	Puusyiden pituus, mm Length of libriform fibres, mm	Mittausten lukumäärä, kpl. Number of measurements
Hieskoivu – White birch					
4	0-10	0.80	200	1.01	200
	10-20	0.80	200	0.94	200
	20-30	0.87	100	1.05	100
	30-40	0.85	200	1.05	200
	40-50	0.78	100	0.98	100
Yhteensä – Keskiarvot Total – Averages		0.82	800	1.00	800
Rauduskoivu – Silver birch					
3	0-10	0.76	200	0.98	200
	10-20	0.79	200	0.95	185
	20-30	0.86	200	1.01	215
	30-40	0.76	200	1.07	200
Yhteensä – Keskiarvot Total – Averages		0.79	800	1.00	800

Taulukko 11. Puusyiden läpimitan ja seinämän paksuusmittausten määrä, runkopuu.

Table 11. Number of measurements relating to the diameter of the libriform fibres and the thickness of their cell walls, stem wood.

Hieskoivu – White birch						Rauduskoivu – Silver birch					
Paikkakunta ja metsätyyppi Place and forest type	Puun laatu Type of wood	Korkeus maasta, m Height above ground, m			Yht. Total	Paikkakunta ja metsätyyppi Place and forest type	Puun laatu Type of wood	Korkeus maasta, m Height above ground, m		Yht. Total	
		0–1	1–2	4–5				0–1	1–2		
		kpl. – Number									
Kuhmo VT	Norm.	730	—	—	730	Kuhmo VT	Norm.	150	50	200	
	Vetop. Tens.	732	—	—	732		Vetop. Tens.	150	50	200	
Kuhmo MT	Norm.	320	370	80	770	Helsinki OMT	Norm.	300	50	350	
	Vetop. Tens.	320	370	80	770		Vetop. Tens.	300	50	350	
Kuhmo KgR	Norm.	300	—	—	300	Helsinki OMaT	Norm.	222	—	222	
	Vetop. Tens.	300	—	—	300		Vetop. Tens.	240	—	240	
Helsinki OMT	Norm.	68	—	—	68						
	Vetop. Tens.	68	—	—	68						
Yhteensä Total	Norm.	1 418	370	80	1 868	Yhteensä Total	Norm.	672	100	772	
	Vetop. Tens.	1 420	370	80	1 870		Vetop. Tens.	690	100	790	

Taulukko 12. Oksapuun puusyiden läpimitta pinnassa.

Table 12. Diameter of the libriform fibres in branch wood, sapwood.

Korkeus maasta, m Height above ground, m	Etäisyys oksan tyvestä, cm Distance from the base of the branch, cm	Normaalipuu – Normal wood		Vetopuu – Tension wood	
		Puusyiden läpimitta, $\mu$ Diameter of the libriform fibres, $\mu$	Mittausten lukumäärä, kpl. Number of measurements	Puusyiden läpimitta, $\mu$ Diameter of the libriform fibres, $\mu$	Mittausten lukumäärä, kpl. Number of measurements
Hieskoivu – White birch					
4	0–10	22.3	100	21.9	100
	10–20	21.5	100	19.9	100
	20–30	20.4	50	18.5	50
	30–40	21.0	100	20.7	100
	40–50	20.5	50	19.3	50
Yhteensä – Keskiarvot Total – Averages		21.3	400	20.4	400
Rauduskoivu – Silver birch					
3	0–10	17.5	100	17.2	100
	10–20	17.7	100	16.7	100
	20–30	18.2	100	17.3	100
	30–40	18.0	100	18.1	100
	Yhteensä – Keskiarvot Total – Averages		17.8	400	17.3

Taulukko 13. Puusyiden läpimitta, rungon pintapuu.

Table 13. Diameter of the libriform fibres, sapwood of the trunk,

Paikkakunta ja metsätyyppi Place and forest type	Koe-puita, kpl. No. of sample trees	Latvuskerros Crown class	Ikä, v. Age, years	Puun laatu Type of wood	Korkeus maasta, m Height above ground, m			Keskiarvot Averages
					0–1	1–2	4–5	
					Puusyiden läpimitta, $\mu$ Diameter of the libriform fibres, $\mu$			
Hieskoivu – White birch								
Kuhmo VT	4	III	50–65	Normaalipuu Normal wood	23.7	—	—	23.7
					Vetopuu . . . Tension wood	19.8	—	—
, MT	3	III	65–100	Normaalipuu Normal wood	24.6	23.8	24.1	24.2
					Vetopuu . . . Tension wood	22.4	22.7	21.3
, KgR	1	II	100	Normaalipuu Normal wood	23.7	—	—	23.7
					Vetopuu . . . Tension wood	19.6	—	—
, ,	1	III	90	Normaalipuu Normal wood	26.4	—	—	26.4
					Vetopuu . . . Tension wood	19.4	—	—
Helsinki OMT	1	II	60	Normaalipuu Normal wood	24.7	—	—	24.7
					Vetopuu . . . Tension wood	22.1	—	—
Keskiarvot Averages				Normaalipuu Normal wood	24.0	23.8	24.1	24.0
				Vetopuu . . . Tension wood	20.4	22.7	21.3	20.9
Rauduskoivu – Silver birch								
Kuhmo VT	1	II	45	Normaalipuu Normal wood	22.3	—	—	22.3
					Vetopuu . . . Tension wood	20.6	—	—
, ,	1	II	80	Normaalipuu Normal wood	—	19.8	—	19.8
					Vetopuu . . . Tension wood	—	18.4	—
, ,	1	III	75	Normaalipuu Normal wood	21.5	—	—	21.5
					Vetopuu . . . Tension wood	19.9	—	—
Helsinki OMT	1	III	50	Normaalipuu Normal wood	21.2	19.4	—	21.0
					Vetopuu . . . Tension wood	18.5	18.9	—
, OMaT	1	II	50	Normaalipuu Normal wood	23.3	—	—	23.3
					Vetopuu . . . Tension wood	21.6	—	—
, ,	1	IV	30	Normaalipuu Normal wood	20.2	—	—	20.2
					Vetopuu . . . Tension wood	18.0	—	—
Keskiarvot Averages				Normaalipuu Normal wood	21.6	19.6	—	21.3
				Vetopuu . . . Tension wood	19.4	18.6	—	19.3

Taulukko 14. Puusyiden seinämän paksuus, rungon pintapuu.

Table 14. Thickness of the wall of the libriform fibres, sapwood of the trunk.

Paikkakunta ja metsätyyppi Place and forest type	Koe-puita, kpl. No. of sample trees	Latvuskerros Crown class	Ikä, v. Age, years	Puun laatu Type of wood	Korkeus maasta, m Height above ground, m			Keskiarvot Averages
					0-1	1-2	4-5	
					Seinämän paksuus, $\mu$ ja seinämäprosentti Thickness of the cell wall, $\mu$ , and its contribution to the diameter of the fibre, %			
Hieskoivu – White birch								
Kuhmo VT	4	III	50-65	Norm. Norm. Vetop.	3.38/28.5	—	—	3.38/28.5
» MT	3	III	65-100	Norm. Norm. Vetop.	3.77/38.1	—	—	3.77/38.1
» KgR	1	II	100	Norm. Norm. Vetop.	3.82/31.1	3.77/31.7	3.54/29.4	3.76/31.1
» »	1	III	90	Norm. Norm. Vetop.	4.24/37.9	4.20/37.0	3.58/33.6	4.15/36.9
Helsinki OMT	1	II	60	Norm. Norm. Vetop.	3.46/29.2	—	—	3.46/29.2
» »	1	III	90	Norm. Norm. Vetop.	3.63/37.0	—	—	3.63/37.0
» »	1	III	90	Norm. Norm. Vetop.	3.55/26.9	—	—	3.55/26.9
» »	1	III	90	Norm. Norm. Vetop.	3.52/36.3	—	—	3.52/36.3
Helsinki OMT	1	II	60	Norm. Norm. Vetop.	3.41/27.6	—	—	3.41/27.6
» »	1	II	60	Norm. Norm. Vetop.	5.07/45.9	—	—	5.07/45.9
Keskiarvot Averages				Norm. Norm. Vetop.	3.50/29.2	3.77/31.7	3.54/29.4	3.56/29.7
				Norm. Norm. Vetop.	3.90/38.2	4.20/37.0	3.58/33.6	3.95/37.8
Rauduskoivu – Silver birch								
Kuhmo VT	1	II	45	Norm. Norm. Vetop.	3.48/31.2	—	—	3.48/31.2
» »	1	II	80	Norm. Norm. Vetop.	4.23/41.1	—	—	4.23/41.1
» »	1	II	80	Norm. Norm. Vetop.	—	3.28/33.1	—	3.28/33.1
» »	1	III	75	Norm. Norm. Vetop.	—	3.95/42.9	—	3.95/42.9
Helsinki OMT	1	III	50	Norm. Norm. Vetop.	3.57/33.3	—	—	3.57/33.3
» OMaT	1	II	50	Norm. Norm. Vetop.	3.53/35.5	—	—	3.53/35.5
» »	1	III	50	Norm. Norm. Vetop.	3.19/30.1	3.18/32.8	—	3.19/30.4
» »	1	II	50	Norm. Norm. Vetop.	4.43/47.9	4.14/43.8	—	4.39/47.2
» »	1	IV	30	Norm. Norm. Vetop.	3.33/28.6	—	—	3.33/28.6
» »	1	IV	30	Norm. Norm. Vetop.	3.80/35.2	—	—	3.80/35.2
» »	1	IV	30	Norm. Norm. Vetop.	3.22/31.9	—	—	3.22/31.9
» »	1	IV	30	Norm. Norm. Vetop.	3.62/40.2	—	—	3.62/40.2
Keskiarvot Averages				Norm. Norm. Vetop.	3.30/30.6	3.23/33.0	—	3.29/30.9
				Norm. Norm. Vetop.	4.04/41.6	4.04/43.4	—	4.04/41.9

Taulukko 15. Puusyiden seinämän paksuus rungon tyvestä otetuista poikkileikkauksista määritettynä.

Table 15. Thickness of the wall of the libriform fibres measured from cross-sections taken from the butt of a tree.

Koepuun n:o ja puulaji No. of sample tree and species of tree	Paikkakunta ja metsätyyppi Place and forest type	Puun laatu Type of wood	Vuosi- ja kasvuvuosi pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark						Keskiarvot Averages	
			1		2		3		Yhteensä Total	
			$\mu$	kpl. No.	$\mu$	kpl. No.	$\mu$	kpl. No.	$\mu$	kpl. No.
Seinämän paksuus ja mittauksen lukumäärä Thickness of the wall and No. of measurements										
1. Hieskoivu White birch	Kuhmo VT	Normaalipuu Normal wood	2.9	1 489	3.0	560	3.2	476	3.0	2 525
		Vetopuu... Tension wood	4.9	440	5.1	530	5.4	501	5.1	1 471
80. Rauduskoivu Silver birch	Helsinki OMT	Normaalipuu Normal wood	3.1	390	3.2	530	3.1	480	3.1	1 400
		Vetopuu... Tension wood	4.6	315	4.6	290	4.7	270	4.6	875

Taulukko 16. Puusyysolukon seinämäprosentti rungon tyvestä otetuista poikkileikkauksista määritettynä.

Table 16. Proportion of cell walls measured from cross-sections of libriform fibre tissue taken from the butt of a tree.

Koepuun n:o ja puulaji No. of sample tree and species of tree	Paikkakunta ja metsätyyppi Place and forest type	Puun laatu Type of wood	Vuosi- ja kasvuvuosi pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark						Keskiarvot Averages
			1	2	3	4	22	23	
			Seinämäprosentti – Cell wall, %						
1. Hieskoivu White birch	Kuhmo VT	Normaalipuu Normal wood	58.6	65.5	72.0	—	—	—	65.4
		Vetopuu... Tension wood	95.9	99.0	98.7	—	—	—	97.9
27. »	» »	Normaalipuu Normal wood	—	—	—	—	—	80.5	80.5
		Vetopuu... Tension wood	—	—	—	—	94.8	—	94.8
80. Rauduskoivu Silver birch	Helsinki OMT	Normaalipuu Normal wood	74.8	76.3	74.0	70.3	—	—	73.8
		Vetopuu... Tension wood	92.5	94.9	93.5	92.7	—	—	93.4

Taulukko 17. Oksapuun puusyiden seinämän paksuus, pintapu.

Table 17. Thickness of the wall of the libriform fibres, sapwood of the branch.

Korkeus maasta, m Height above ground, m	Etäisyys oksan tyvestä, cm Distance from the base of the branch, cm	Normaalipuu – Normal wood		Vetopuu – Tension wood	
		Seinämän paksuus, $\mu$ Thickness of the cell wall, $\mu$	Seinämä-prosentti Contribution of the cell wall to the diameter of the fibre, %	Seinämän paksuus, $\mu$ Thickness of the cell wall, $\mu$	Seinämä-prosentti Contribution of the cell wall to the diameter of the fibre, %
Hieskoivu – White birch					
4	10	3.40	30.5	3.99	36.4
	20	3.67	34.1	4.39	43.8
	30	3.60	35.3	3.68	39.8
	40	3.66	34.9	4.06	39.2
	50	3.36	32.8	4.13	42.8
Keskiarvot Averages		3.55	33.4	4.08	40.2
Rauduskoivu – Silver birch					
3	10	3.12	35.8	3.59	42.1
	20	3.21	36.2	3.71	44.8
	30	3.44	37.7	3.46	39.9
	40	3.12	34.6	3.93	43.3
Keskiarvot Averages		3.22	36.1	3.67	42.5

Taulukko 18. Putkiloiden lukumäärä rungon tyviosassa.

Table 18. Number of vessels in a butt bolt of the trunk.

Vuosi- renkas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Normaalipuu – Normal wood			Tutkittu pinta-ala Examined area, mm <sup>2</sup>	Vetopuu – Tension wood			Tutkittu pinta-ala Examined area, mm <sup>2</sup>
	Putkiloita, kpl./mm <sup>2</sup> No. of vessels/mm <sup>2</sup>				Putkiloita, kpl./mm <sup>2</sup> No. of vessels/mm <sup>2</sup>			
	a	b	Koko vuosi- renkas Entire growth ring		a	b	Koko vuosi- renkas Entire growth ring	
Hieskoivu (koeppu n:o 1, Kuhmo VT, 55 v., välipuu) White birch (sample tree No. 1, Kuhmo VT, 55 years, intermediate tree)								
1	71	56	64	4.84	25	20	23	12.65
2	68	61	64	14.71	25	23	24	12.26
3	58	64	61	10.86	28	18	23	12.73
4	61	64	63	9.08	26	14	20	11.11
5	68	70	69	9.22	24	12	18	13.84
6	69	58	63	4.96	38	33	35	6.83
7	65	55	60	6.32	39	32	36	6.81
8	66	54	60	7.79	40	45	43	6.33
9	83	72	78	5.67	44	46	45	7.24
Keskiarvot Averages	68	62	65	73.45	32	27	30	89.80
10–18	90	69	80	53.83	36	22	29	75.17
Rauduskoivu (koeppu n:o 80, Helsinki OMT, 50 v., välipuu) Silver birch* (sample tree No. 80, Helsinki OMT, 50 years, intermediate tree)								
1	69	50	60	1.46	20	29	24	4.17
2	81	55	68	1.38	21	27	24	7.04
3	62	59	60	2.34	25	31	28	8.63
4	48	50	49	2.65	23	29	26	9.50
5	53	48	51	2.16	24	32	28	9.11
6	54	65	60	5.59	20	24	22	12.41
7	69	41	55	4.56	20	17	19	11.27
8	59	59	59	5.25	24	17	20	8.79
9	83	59	71	4.53	33	14	23	4.10
Keskiarvot Averages	64	54	59	29.92	23	24	24	75.01

Taulukko 19. Putkiloiden lukumäärä samanvahvaisissa vuosirenkaissa normaali- ja vetopuun puolella runkopuussa.

Table 19. Number of vessels in growth rings with of equal width in normal and tension wood; sapwood of the trunk.

Koepuun n:o Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Normaalipuu – Normal wood			Vetopuu – Tension wood		
		Vuosirengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Vuosirengaan vahvuus, mm Width of the growth ring, mm	Putkiloita, kpl./mm <sup>2</sup> No. of vessels per mm <sup>2</sup>	Vuosirengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Vuosirengaan vahvuus, mm Width of the growth ring, mm	Putkiloita, kpl./mm <sup>2</sup> No. of vessels per mm <sup>2</sup>
1	Hieskoivu White birch	5	1.67	69	5	1.63	18
		7	1.31	60	7	1.28	36
		9	0.56	78	9	0.70	45
80	Rauduskoivu Silver birch	6	0.58	60	2	0.55	24
		7	0.61	55	1	0.66	24

Taulukko 20. Putkiloiden lukumäärä rungon normaalipuun eri vuosirenkaissa.

Table 20. Number of vessels in the different growth rings of normal wood in a butt of the trunk.

Koepuun n:o Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Vuosirengas pinnasta lukien – Growth ring, as counted from the bark					
		1–3	4–6	7–9	10–12	13–15	16–18
1	Hieskoivu White birch	Putkiloita, kpl./mm <sup>2</sup> – Number of vessels per mm <sup>2</sup>					
		63	65	66	71	72	97
Luston vahvuus, mm .. Width of growth ring, mm		0.90	1.39	0.91	0.98	0.84	0.38

Taulukko 21. Vinon asentoon joutumisen vaikutus rungon putkilojärjestelyyn.

Table 21. Influence of leaning position of the trunk on the distribution of vessels.

Hieskoivu VT, Kuhmo, 60 v., välipuu  
White birch VT, Kuhmo, 60 years, intermediate tree

	Putkiloiden lukumäärä, kpl./mm <sup>2</sup> – Number of vessels per mm <sup>2</sup>										
	Vuosirengas pinnasta lukien – Growth ring, as counted from the bark										
	1–3	4–6	7–9	10–12	13–15	16–18	19–21	22	23	24–26	27–29
Yläpuoli .....	12	18	20	14	13	10	14	23	36	45	45
Alapuoli .....	34	38	97	54	113	101	148	123	86	73	80
Upper side											
Lower side											

Taulukko 22. Oksapuun putkiloiden lukumäärä tyviosassa.

Table 22. Number of vessels in the base of the branch.

Vuosirengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Hieskoivu – White birch		Vuosirengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Rauduskoivu – Silver birch	
	Putkiloita, kpl./mm <sup>2</sup> Number of vessels/mm <sup>2</sup>			Putkiloita, kpl./mm <sup>2</sup> Number of vessels/mm <sup>2</sup>	
	Normaalipuu Normal wood	Vetopuu Tension wood		Normaalipuu Normal wood	Vetopuu Tension wood
25	114	68	1	65	44
26	101	65	2a	78	37
27	106	40	2b	63	18
28	113	57	2	70	27
29	105	60	3	84	65
30	94	63	4	87	59
			5	98	83
			6	107	64
			7	118	64
Keskiarvot Averages	105	59	Keskiarvot Averages	90	58

Taulukko 23. Putkiloiden läpimitta rungon tyviosassa.

Table 23. Diameter of the vessels in the butt of the trunk.

Vuosirengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Hieskoivu – White birch						Vuosirengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Rauduskoivu – Silver birch					
	Putkiloiden läpimitta, μ Diameter of the vessels, μ							Putkiloiden läpimitta, μ Diameter of the vessels, μ					
	Normaalipuu Normal wood			Vetopuu Tension wood				Normaalipuu Normal wood			Vetopuu Tension wood		
	a	b	ε	a	b	ε		a	b	ε	a	b	ε
1	60	54	58	66	52	60	1	54	35	47	62	46	53
2	63	52	58	58	47	54	2	48	37	44	55	46	49
3	69	49	57	57	44	52	3	50	37	44	55	45	49
4	60	52	55	55	47	52	4	59	46	52	57	49	52
5	59	43	50	51	45	49	5	54	43	50	58	42	50
6	57	48	53	56	46	51	6	58	45	51	57	48	52
7	62	46	55	57	44	51	7	50	45	48	53	46	50
8	58	51	55	54	42	48	8	55	47	51	47	45	46
9	56	47	52	55	46	50	9	48	44	47	—	—	40
10	52	48	50	48	41	45	10	44	40	41	—	—	—
11	59	52	56	52	49	50							
12	64	48	55	60	54	58							
13	67	51	58	55	46	52							
14	53	45	50	53	47	51							
15	50	40	47	55	43	52							
16	51	46	49	55	41	51							
17	48	36	43	46	37	41							
Keskiarvot Averages	58	48	53	55	45	51	Keskiarvot Averages	52	42	48	56	46	50



Taulukko 24. Vinoon asentoon joutumisen vaikutus rungon putkiloiden läpimittaan.

Table 24. Influence of leaning position of the trunk on the diameter of the vessels.

Hieskoivu VT, Kuhmo, 60 v., välipuu  
White birch VT, Kuhmo, 60 years, intermediate tree

	Vuosi- rengas pinnasta lukien – Growth ring, as counted from the bark										Mitta- auk- sia, kpl. No. of meas- ure- ments
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22	23	24	
	Putkiloiden läpimittojen keskiarvot, $\mu$ Averages of the vessel diameters, $\mu$										
Yläpuoli . . . . . Upper side	45.7	49.7	50.4	41.3	45.6	41.4	39.6	41.0	42.7	45.3	668
Alapuoli . . . . . Lower side	18.8	26.8	28.0	31.9	33.2	35.8	31.1	36.2	46.0	41.1	340

Taulukko 25. Runkopuun yksinkertaisten putkiloiden läpimitta ja muoto.

Table 25. Diameter and shape of single vessels in trunk wood.

Vuosi- rengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Normaalipuu – Normal wood				Vetopuu – Tension wood			
	Läpimitta säteen suunnassa Radial diameter ( $D_r$ ), $\mu$	Läpimitta tangentin suunnassa Tangential diameter ( $D_t$ ), $\mu$	$D_r/D_t$	Kpl. No.	Läpimitta säteen suunnassa Radial diameter ( $D_r$ ), $\mu$	Läpimitta tangentin suunnassa Tangential diameter ( $D_t$ ), $\mu$	$D_r/D_t$	Kpl. No.
	Hieskoivu – White birch							
2	75	57	1.32	241	65	48	1.35	173
3	72	56	1.29	208	62	47	1.32	174
Keskiarvot Averages	74	57	1.31	449	63	47	1.33	347
Rauduskoivu – Silver birch								
6	67	54	1.24	159	66	50	1.32	176
7	62	51	1.22	115	62	47	1.32	123
Keskiarvot Averages	65	53	1.23	274	64	49	1.32	299

Taulukko 26. Oksapuun putkiloiden läpimitta, lähellä tyveä.

Table 26. Diameter of vessels in branch wood, near to the base.

Normaalipuu – Normal wood				Vetopuu – Tension wood					
Vuosi- rengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark				Mittausten lukumäärä, kpl. No. of meas- ure- ments	Vuosi- rengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark				Mittausten lukumäärä, kpl. No. of meas- ure- ments
27	28				27	28			
Putkiloiden läpimitta, $\mu$ Diameter of the vessels, $\mu$					Putkiloiden läpimitta, $\mu$ Diameter of the vessels, $\mu$				
Hieskoivu – White birch									
33.2	38.4			425	37.3	31.7			560
Rauduskoivu – Silver birch									
Vuosi- rengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark				Mittausten lukumäärä, kpl. No. of meas- ure- ments	Vuosi- rengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark				Mittausten lukumäärä, kpl. No. of meas- ure- ments
1	2a	2b	2		1	2a	2b	2	
Putkiloiden läpimitta, $\mu$ Diameter of the vessels, $\mu$					Putkiloiden läpimitta, $\mu$ Diameter of the vessels, $\mu$				
36.8	47.1	34.0	41.1	414	42.0	52.7	38.2	47.9	654

Taulukko 27. Putkiloprosentti rungon tyviosassa.

Table 27. Proportion of vessels in the cross-section of a butt bolt of the trunk.

Vuosi- rengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Hieskoivu – White birch						Vuosi- rengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Rauduskoivu – Silver birch					
	Normaalipuu Normal wood			Vetopuu Tension wood				Normaalipuu Normal wood			Vetopuu Tension wood		
	a	b	$\epsilon$	a	b	$\epsilon$		a	b	$\epsilon$	a	b	$\epsilon$
Putkilo- % Proportion of vessels, %													
1	20.4	14.0	17.2	7.8	3.5	5.6	1	16.2	5.0	10.6	5.2	4.6	4.9
2	20.0	13.8	16.9	7.2	4.3	5.7	2	15.6	6.0	10.8	4.8	4.2	4.5
3	18.1	12.7	15.4	6.9	2.9	4.9	3	12.4	6.5	9.5	5.3	4.6	5.0
4	18.4	14.6	16.5	5.8	2.7	4.2	4	12.9	8.3	10.6	5.7	5.3	5.5
5	18.6	11.6	15.1	4.4	2.5	3.4	5	12.0	7.6	9.8	6.3	4.4	5.4
6	18.4	10.6	14.5	9.1	4.5	6.8	6	14.5	10.5	12.5	5.8	4.4	5.1
7	17.7	9.3	13.5	9.3	4.4	6.8	7	14.0	6.9	10.5	4.2	2.9	3.6
8	15.9	10.8	13.4	8.8	6.0	7.4	8	14.2	10.2	12.2	3.7	2.4	3.0
9	20.4	11.4	15.9	10.9	7.3	9.1	9	14.7	9.3	12.0	3.8	1.7	2.8
10	17.8	10.9	14.4	8.3	5.7	7.0	10	9.4	8.3	8.9	—	—	—
11	17.9	11.8	14.8	6.5	4.3	5.4							
12	16.4	12.8	14.6	8.9	2.3	5.6							
13	21.7	13.5	17.6	11.2	5.2	8.2							
14	15.1	8.6	11.9	7.9	2.2	5.0							
15	18.7	6.8	12.8	10.0	2.4	6.2							
16	19.1	8.5	13.8	7.4	1.6	4.5							
17	19.2	8.0	13.6	4.4	2.6	3.5							
18	18.7	9.6	14.1	3.1	2.7	2.9							
Keskiarvot Averages	18.5	11.1	14.8	7.7	3.7	5.7	Keskiarvot Averages	13.6	7.9	10.7	5.0	3.8	4.4

Taulukko 28. Vinoon asentoon joutumisen vaikutus rungon putkiloprosenttiin.

Table 28. Influence of leaning position on the proportion of vessels in a butt of the trunk. Hieskoivu, Kuhmo VT, 60 v., välipuu  
White birch, Kuhmo VT, 60 years, intermediate tree

	Vuosirengas pinnasta lukien – Growth ring, as counted from the bark												
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22	23	24-26	27-29	30-32	33-34
	Putkilo-% – Proportion of vessels, %												
Yläpuoli . . . . . Upper side	2.1	3.5	4.1	1.8	1.9	1.3	1.6	2.9	5.1	6.4	7.2	—	—
Alapuoli . . . . . Lower side	1.2	1.8	4.7	3.2	8.4	8.8	9.5	10.7	14.1	9.7	10.1	7.4	8.9

Taulukko 29. Putkiloprosentti lähellä oksan tyveä.

Table 29. Proportion of vessels near to the base of the branch.

Vuosirengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Hieskoivu – White birch		Vuosirengas pinnasta lukien Growth ring, as counted from the bark	Rauduskoivu – Silver birch	
	Normaalipuu Normal wood	Vetopuu Tension wood		Normaalipuu Normal wood	Vetopuu Tension wood
	Putkilo-% Proportion of vessels, %			Putkilo-% Proportion of vessels, %	
25	12.1	8.4	1	6.4	5.9
26	9.3	6.3	2a	12.8	7.9
27	9.1	4.3	2b	5.1	1.9
28	12.6	4.5	2	8.9	4.9
29	10.2	4.7	3	10.8	7.8
30	6.1	3.7	4	9.3	7.7
			5	11.0	8.0
			6	9.6	9.8
			7	11.9	9.6
Keskiarvot Averages	9.9	5.3	Keskiarvot Averages	9.7	7.7

Taulukko 30. Ydinsäteiden lukumäärä ja ydinsädeprosentti.

Table 30. Number of medullary rays and their proportion in the tangential section of the wood.

Hieskoivu – White birch				Rauduskoivu – Silver birch			
Ydinsäteitä, kpl./mm <sup>2</sup> No. of medullary rays per mm <sup>2</sup>		Ydinsäde-% Proportion of medullary rays, %		Ydinsäteitä, kpl./mm <sup>2</sup> No. of medullary rays per mm <sup>2</sup>		Ydinsäde-% Proportion of medullary rays, %	
Normaalipuu Normal-wood	Vetopuu Tension-wood	Normaalipuu Normal-wood	Vetopuu Tension-wood	Normaalipuu Normal-wood	Vetopuu Tension-wood	Normaalipuu Normal-wood	Vetopuu Tension-wood
Runkopuu – Trunk wood							
51	52	14.1	12.1	44	51	15.2	10.8
Oksapuu – Branch wood							
61	52	17.1	15.9	72	68	16.4	13.4

Taulukko 31. Ydinsäteiden poikkileikkauksen koko ja muoto.

Table 31. Diameter and shape of the cross-section of the medullary rays.

Puulaji Species of tree	Normaalipuu – Normal wood				Vetopuu – Tension wood			
	Leveys Width (D), μ	Paksuus Thickness (d), μ	D/d	Mittauk- sia, kpl. No. of mea- surements	Leveys Width (D), μ	Paksuus Thickness (d), μ	D/d	Mittauk- sia, kpl. No. of mea- surements
Runkopuu – Trunk wood								
Hieskoivu . . . . . White birch	194	21	9.24	450	196	17	11.53	450
Rauduskoivu . . . . . Silver birch	209	24	8.71	450	188	18	10.44	510
Oksapuu – Branch wood								
Hieskoivu . . . . . White birch	178	23	7.73	602	179	24	7.46	500
Rauduskoivu . . . . . Silver birch	170	19	8.95	1 083	154	18	8.56	1 048

Taulukko 32. Eri solukkolaatujen osuus puun tilavuudesta uloimmassa vuosirenkaassa.

Table 32. Contribution of different types of tissue to the volume of the wood in the outermost growth ring.

Normaalipuu – Normal wood				Vetopuu – Tension wood			
%							
Puusyitä Libriform fibres	Putkiloita Vessels	Ydinsäteitä Medullary rays	Tylppysolukkoa Paren- chyma	Puusyitä Libriform fibres	Putkiloita Vessels	Ydinsäteitä Medullary rays	Tylppysolukkoa Paren- chyma
Hieskoivun runkopuu – Trunk wood of white birch							
68.7	17.2	14.1	△	82.3	5.6	12.1	△
Rauduskoivun runkopuu – Trunk wood of silver birch							
74.2	10.6	15.2	△	84.3	4.9	10.8	△
Rauduskoivun oksapuu – Branch wood of silver birch							
75.9 <sup>1</sup>	7.7 <sup>1</sup>	16.4	△	81.2 <sup>1</sup>	5.4 <sup>1</sup>	13.4	△

<sup>1</sup> kahden uloimman vuosirenkaan keskiarvoja – averages of the two outermost growth rings

Taulukko 33. Normaali- ja vetopuun puusyiden seinämän fibrillaarinen orientoituminen kuidun pituusakselin suhteen rungon tyviosassa.

Table 33. Fibrillar orientation of normal and tension wood fibres with regard to their long axis in a butt bolt of the trunk.

Koe-puun n:o Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Vuosiringaspinnastalukien Growth ring, as counted from the bark	Näytteen valmistusmenetelmä Preparation of the specimen	Normaalipuun Normal wood		Vetopuun Tension wood	
				Orientoitumiskulma Angle of orientation	Mittauslukumäärä, kpl. No. of measurements	Orientoitumiskulma Angle of orientation	Mittauslukumäärä, kpl. No. of measurements
1	Hieskoivu White birch	1	Pituusleikkaus Longitudinal section	18° 30'	10	3° 25'	10
			Maserointi Maceration	14° 30'	10	4° 20'	17
63	Rauduskoivu Silver birch	33	»	15° 00'	31	6° 35'	30
80	»	1	Pituusleikkaus Longitudinal section	21° 25'	15	6° 00'	15
92	»	45	Maserointi Maceration	13° 40'	10	5° 10'	13
Yhteensä — Keskiarvot Total — Averages				16° 30'	76	5° 25'	85

Taulukko 34. Röntgensädediagrammeista määritetty misellien orientoitumiskulma kuitujen pituusakselin-suhteen, rungon tyviosassa.

Table 34. Micellar angle of orientation with regard to the longitudinal axis of the fibres, as measured from X-ray diagrams; butt bolt of the trunk.

Koepuun numero Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Orientoitumiskulman suuruus Magnitude of the angle of orientation	
		Normaalipuun Normal wood	Vetopuun Tension wood
1	Hieskoivu White birch	34°	16° 30'
27	»	33°	21°
86	»	52°	25°
36	Rauduskoivu Silver birch	40°	13°
Keskiarvot Averages		40°	18° 50'

Taulukko 35. Kemiällisen analyysin tulokset runkopuusta.

Table 35. Results of chemical analysis, trunk wood.

Koe-puun n:o Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Puun laatu Type of wood	Tuhka Ash, %	Asetoni- niute Acetone ex- tract, %	Sellu- loosa Cellu- lose (Cross & Bevan) %	Pentosaani, % Pentosan, % (Kullgren & Tydén)		Ligniini, % Lignin, % (Halse)		Korj. sellu- loosa- pitoi- suus Cor- rect cellu- lose, %
						Alkupe- räisestä näyt- teestä Original specimen	Cross & Bevanin selluloosa- sta Cross & Bevan cellulose	Alkupe- räisestä näyt- teestä Original specimen	Cross & Bevanin selluloosa- sta Cross & Bevan cellulose	
3	Hieskoivu White birch	Norm. Norm.	0.33	2.77	74.9	27.1	29.3	22.2	10.7	44.9
		Vetop. Tens.	0.40	1.25	74.7	15.3	14.6	16.2	4.6	60.4
39	»	Norm. Norm.	0.29	2.70	87.6	26.1	29.7	22.5	17.1	46.6
		Vetop. Tens.	0.30	1.80	73.2	16.9	17.9	16.8	6.1	55.6
37	Rauduskoivu Silver birch	Norm. Norm.	0.42	3.09	65.8	28.1	20.4	19.3	4.5	49.4
		Vetop. Tens.	0.92	2.53	70.4	20.5	14.6	19.7	4.3	57.1

Taulukko 36. Runkopuun hiilihydraattikokoonpano.

Table 36. Carbohydrate composition of trunk wood.

Koe-puun n:o Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Puun laatu Type of wood	Glukaani Glucan	Galaktaani Galactan	Mannaani Mannan	Arabaani Araban	Ksylaani Xylan
			% hiilihydraateista — % of carbohydrates				
3	Hieskoivu White birch	Normaalipuun Normal wood	55.2	2.5	3.0	1.0	38.3
		Vetopuu... Tension wood	73.5	11.6	0.4	△	14.5
39	»	Normaalipuun Normal wood	54.1	2.5	2.5	0.9	40.0
		Vetopuu... Tension wood	71.6	9.6	0.5	△	18.3
5	Rauduskoivu Silver birch	Normaalipuun Normal wood	56.7	2.3	1.5	0.9	38.6
7	»	Vetopuu... Tension wood	69.0	8.0	0.7	0.2	22.1

Taulukko 37. Runkopuun liukenevaisuus kylmään veteen.

Table 37. Solubility in cold water, trunk wood.

Normaalipuun — Normal wood		Vetopuun — Tension wood	
Liukene- mis- % Solubility, %	Kokeiden lukumäärä, kpl. No. of experiments	Liukene- mis- % Solubility, %	Kokeiden lukumäärä, kpl. No. of experiments
1.51 0.87—2.75	27	1.86 1.06—3.49	27

Taulukko 38. Runkopuun tilavuuspaino uunikuivana.  
Table 38. Volume weight of trunk wood, oven-dried.

Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä Place, forest type, and No. of sample trees	Hieskoivu – White birch				Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä Place, forest type, and No. of sample trees	Rauduskoivu – Silver birch			
	Normaalipuut		Vetopuu			Normaalipuut		Vetopuu	
	g/cm <sup>3</sup>	kpl. No.	g/cm <sup>3</sup>	kpl. No.		g/cm <sup>3</sup>	kpl. No.	g/cm <sup>3</sup>	kpl. No.
Kuhmo MT (10) ..	0.66	81	0.71	63	Kuhmo VT (10) ..	0.66	68	0.68	87
» VT (15) ..	0.63	104	0.72	78	» KgK ( 2) ..	0.63	18	0.66	20
» Kp ( 7) <sup>1</sup> ..	0.61	62	0.64	67	Helsinki (14) ..	0.62	112	0.69	71
» RÄ (11) <sup>1</sup> ..	0.65	107	0.69	95					
Helsinki (15) ..	0.63	101	0.68	139					
Yhteensä (58) Total		455		442	Yhteensä (26) Total		198		178

<sup>1</sup> Kp = spruce-broadleaved tree swamps  
Rä = pine bogs

Taulukko 39. Runkopuun tilavuuspaino uunikuivana, 1 m:n pituinen tyviosa.

Table 39. Volume weight of oven-dried trunk wood, butt bolt of 1 m height.

Hieskoivu – White birch					Rauduskoivu – Silver birch						
Koe-puu, n:o Sample tree No.	Paikkakunta ja metsätyyppi Place and forest type	Normaalipuut		Vetopuu		Koe-puu, n:o Sample tree No.	Paikkakunta ja metsätyyppi Place and forest type	Normaalipuut		Vetopuu	
		g/cm <sup>3</sup>	kpl. No.	g/cm <sup>3</sup>	kpl. No.			g/cm <sup>3</sup>	kpl. No.	g/cm <sup>3</sup>	kpl. No.
1	Kuhmo VT	0.61	4	0.77	7	80	Helsinki	0.60	4	0.81	9
3	»	0.62	9	0.75	13	92	OMT				
27	»	0.66	7	0.81	7		Helsinki				
10	Kuhmo MT	0.70	10	0.80	10		MT	0.64	11	0.74	11
39	»	0.66	9	0.74	6						

Taulukko 40. Runkopuun tilavuuspainon riippuvuus vetopuuprosentista.  
Table 40. Dependence of volume weight of the trunk wood upon its tension wood content.

Puulaji Species of tree	Kasvupaikka ja koepuiden määrä Place, forest type, and No. of sample trees	Tilavuuspaino uunikuivana – Volume weight, oven-dried g/cm <sup>3</sup>												Kpl. No.
		Vetopuuprosentti – Tension wood content, %												
		0-5	10-15	20-25	30-35	40-45	50-55	60-65	70-75	80-85	90-95	100		
Hieskoivu White birch	Kuhmo MT (10)	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.72	0.77	0.80	0.77	—	0.81	138	
	» VT (14)	0.63	0.63	0.65	0.68	0.74	0.75	0.75	0.76	0.81	0.80	0.80	165	
	» Kp ( 8)	0.61	0.57	0.64	0.64	0.69	0.63	0.71	0.71	—	—	—	113	
	» RÄ (10)	0.66	0.69	0.69	0.70	0.70	0.71	0.74	0.74	0.74	0.78	—	162	
	Helsinki (15)	0.63	0.66	0.69	0.69	0.73	0.74	0.70	0.71	0.79	—	—	172	
Rauduskoivu Silver birch	Kuhmo VT (14)	0.66	0.68	0.68	0.70	0.70	0.64	0.72	0.69	0.78	0.71	—	176	
	Helsinki (11)	0.62	0.67	0.74	0.69	0.72	—	0.79	0.75	0.81	0.82	0.84	131	
Keskiarvot – Averages		0.64	0.65	0.68	0.68	0.71	0.70	0.74	0.74	0.78	0.78	0.82	1057	
Suhdeluvut – Ratios		100	102	106	106	111	109	116	116	122	122	128		

Taulukko 41. Runkopuun vetopuuprosentin ja tilavuuspainon välinen korrelaatio.

Table 41. Correlation between tension wood content and volume weight in trunk wood.

Koe-puu, n:o Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Korrelaatio-kerroin Correlation coefficient	Kpl. No.	Puulaji Species of tree	Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä Place, forest type, and No. of sample trees	Korrelaatio-kerroin Correlation coefficient	Kpl. No.
1	Hies-	+0.958 ± 0.018	21	Hies-	Kuhmo MT (10)	+0.734 ± 0.039	138
3	koivu	+0.905 ± 0.039	22	koivu	» VT (14)	+0.814 ± 0.026	165
4	White	+0.956 ± 0.020	18	White	» Kp ( 8)	+0.380 ± 0.081	113
27	birch	+0.852 ± 0.073	14	birch	» RÄ (10)	+0.693 ± 0.041	162
39	»	+0.848 ± 0.051	30	»	Helsinki (15)	+0.635 ± 0.046	172
54	»	+0.916 ± 0.028	32	Raudus-			
80	koivu	+0.991 ± 0.005	12	Silver	Kuhmo VT (14)	+0.358 ± 0.066	176
	Silver			birch	Helsinki (11)	+0.811 ± 0.030	131
	birch						

Taulukko 42. Rungon normaalipuun tilavuuspaino uunikuivana, 1 m:n pituinen tyviosa.

Table 42. Volume weight of oven-dried normal wood, butt bolt of 1 m height.

Hieskoivu – White birch					Rauduskoivu – Silver birch				
Koe-puu, n:o Sample tree No.	Kasvupaikka Place and forest type	Ikä, v. Age, years	Latvuskerros Crown class	g/cm <sup>3</sup>	Koe-puu, n:o Sample tree No.	Kasvupaikka Place and forest type	Ikä, v. Age, years	Latvuskerros Crown class	g/cm <sup>3</sup>
13	»	80	II	0.59	34	»	85	II	0.68
35	»	75	II	0.61	31	»	80	II	0.68
27	»	60	III	0.66	37	»	75	III	0.67
7	»	60	II	0.63	38	»	70	II	0.66
4	»	50	II	0.69	5	»	45	II	0.64
8	»	50	II	0.62	25	»	70	II	0.65
14	»	55	II	0.62	26	»	70	II	0.71
18	»	60	I	0.62	20	»	70	I	0.66
2	»	60	III	0.63	32	»	70	III	0.66
17	Kuhmo Kp	85	III	0.59	44	Kuhmo Kp	60	III	0.67
22	»	80	II	0.63	15	»	60	II	0.64
89	Helsinki MT	60	II	0.63	88	Helsinki MT	50	II	0.66
69	» OMT	60	II	0.65	79	» OMT	60	II	0.61
72	»	50	III	0.58	80	»	50	III	0.60
84	»	55	III	0.53	83	»	60	III	0.65
74	» OMaT	35	III	0.57	61	» OMaT	30	III	0.64
75	»	60	II	0.64	64	»	60	II	0.66

Taulukko 43. Runkopuun pituuden suuntainen kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi.

Table 43. Longitudinal shrinkage of trunk wood from green to oven-dried condition.

Hieskoivu – White birch					Rauduskoivu – Silver birch				
Paikkakunta ja metsätyyppi Place and forest type	Koe-puita, kpl. No. of sample trees	Kutistuminen Shrinkage %		Mittauk-sia, kpl. No. of measurements	Paikkakunta ja metsätyyppi Place and forest type	Koe-puita, kpl. No. of sample trees	Kutistuminen Shrinkage %		Mittauk-sia, kpl. No. of measurements
		Nor-maali-puu Nor-mal wood	Veto-puu Ten-sion wood				Nor-maali-puu Nor-mal wood	Veto-puu Ten-sion wood	
Kuhmo MT	7	0.33	0.66	210	Kuhmo VT	14	0.31	0.74	270
» VT	13	0.32	0.59	319	Helsinki	12	0.28	0.52	166
» Kp	7	0.34	0.55	144					
» Rā	11	0.31	0.64	276					
Helsinki	10	0.26	0.73	178					
Keskiarvot – Yht. Averages – Total		0.31	0.63	1 127	Keskiarvot – Yht. Averages – Total		0.30	0.66	436

Taulukko 44. Runkopuun pituuden suuntaisen kutistumisen riippuvuus vetopuuprosentista.

Table 44. Dependence of the longitudinal shrinkage of trunk wood upon its tension wood content.

Puulaji Species of tree	Kasvu-paikka Place and forest type	Kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi Shrinkage from green to oven-dried condition %											Kpl. No.
		Vetopuuprosentti – Tension wood, %											
		0	5–10	15–20	25–30	35–40	45–50	55–60	65–70	75–80	85–90	95–100	
Hieskoivu White birch	Kuhmo MT	0.25	0.40	0.61	0.54	0.59	0.63	0.83	0.86	0.69	0.75	0.88	138
	» VT	0.25	0.38	0.40	0.50	0.92	0.51	0.65	0.75	0.68	0.64	0.77	195
	Kuhmo Kp + Rā	0.25	0.41	0.54	0.56	0.64	0.62	0.51	0.37	0.53	0.65	0.67	198
	Helsinki	0.18	0.35	0.14	0.95	0.47	0.87	0.92	—	1.01	—	1.08	107
Keskiarvot Averages		0.24	0.39	0.51	0.56	0.63	0.61	0.69	0.73	0.67	0.69	0.85	638
Rauduskoivu Silver birch	Kuhmo VT	0.25	0.45	0.66	0.74	0.83	0.55	0.88	—	1.07	0.88	1.34	155
	Helsinki	0.21	0.39	—	0.81	—	0.89	—	—	—	—	1.08	82
	Keskiarvot Averages		0.23	0.44	0.66	0.75	0.83	0.68	0.88	—	1.07	0.88	1.30
Kaikki – All Suhdeluvut – Ratios		0.24	0.41	0.54	0.60	0.64	0.63	0.70	0.73	0.71	0.73	0.90	875
		100	171	225	250	267	263	292	304	296	304	375	

Taulukko 45. Runkopuun vetopuuprosentin ja pituuden suuntaisen kutistumisen välinen korrelaatio.

Table 45. Correlation between tension wood content and longitudinal shrinkage of trunk wood.

Koe-puu, n:o Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Korrelaatio-kerroin Correlation coefficient	Kpl. No.	Puulaji Species of tree	Kasvu-paikka ja koe-puiden lukumäärä Place, forest type, and No. of sample trees	Korrelaatio-kerroin Correlation coefficient	Kpl. No.
10	Hies-koivu	+0.898 ± 0.034	33	Hies-koivu	Kuhmo MT ( 7 )	+0.830 ± 0.026	138
27	White birch	+0.734 ± 0.070	44	White birch	» VT (12)	+0.693 ± 0.037	195
39	White birch	+0.773 ± 0.053	58	White birch	Kuhmo Kp + Rā (15)	+0.574 ± 0.048	198
70	White birch	+0.782 ± 0.079	24	White birch	Helsinki ( 8 )	+0.917 ± 0.015	107
36	Raudus-koivu Silver birch	+0.844 ± 0.058	25	Raudus-koivu Silver birch	Kuhmo VT (11) Helsinki (11)	+0.845 ± 0.023 +0.887 ± 0.024	155 82

Taulukko 46. Pituuden suuntainen kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi rungon eri korkeuksilla.

Table 46. Longitudinal shrinkage from green to oven-dried condition at different heights above ground, trunk wood.

Hieskoivu – White birch					Rauduskoivu – Silver birch					Kpl. No.
Korkeus maasta, m – Height above ground, m										
0.0–0.5	0.5–1.0	1.0–1.5	1.5–2.0	0.0–0.5	0.5–1.0	1.0–1.5	1.5–2.0	2.0–3.0		
Kutistumis-% – Shrinkage, %										
Normaalipuu – Normal wood										
0.34	0.29	0.28	0.21	0.34	0.27	0.29	0.26	0.27	705	
Vetopuu – Tension wood										
0.67	0.56	0.59	0.36	0.72	0.48	0.53	0.51	0.55	858	
Mittauksien lukumäärä – Number of measurements										
646	344	68	69	225	67	80	49	15	1 563	

Taulukko 47. Runkopuun tangentin suuntainen kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi.

Table 47. Tangential shrinkage of trunk wood from green to oven-dried condition.

Puulaji Species of tree	Koe-puita, kpl. No. of sample trees	Normaalipuu – Normal wood		Vetopuu – Tension wood	
		Kutistuminen Shrinkage, %	Mittauksien lukumäärä No. of measurements	Kutistuminen Shrinkage, %	Mittauksien lukumäärä No. of measurements
Hieskoivu . . . . . White birch	33	6.14	179	6.73	271
Rauduskoivu . . . . . Silver birch	15	6.92	42	7.18	59

Taulukko 48. Runkopuun tangentin suuntainen kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi.

Table 48. Tangential shrinkage of trunk wood from green to oven-dried condition.

Koepuun n:o Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Kutistumis-% - Shrinkage, %	
		Normaalipuu Normal wood	Vetopuu Tension wood
3	Hieskoivu .....	6.41	9.43
10	White birch	7.19	9.65
24	» .....	5.38	8.18
27	» .....	6.38	9.02
39	» .....	6.76	7.70
45	» .....	5.79	6.76
34	Rauduskoivu .....	6.84	7.83
63	Silver birch	6.19	6.40
92	» .....	6.85	9.14

Taulukko 49. Runkopuun tangentin suuntaisen kutistumisen riippuvuus vetopuuprosentista.

Table 49. Dependence of the tangential shrinkage of trunk wood upon its tension wood content.

Puulaji ja koepuiden lukumäärä Species of tree and No. of sample trees	Kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi Shrinkage from green to oven-dried condition %											Kpl. No.
	Vetopuuprosentti - Tension wood, %											
	0	5-10	15-20	25-30	35-40	45-50	55-60	65-70	75-80	85-90	95-100	
Hieskoivu (32) White birch	6.15	6.22	6.65	6.74	6.44	6.95	6.51	6.75	7.51	7.90	7.92	258
Rauduskoivu (12) Silver birch	6.42	6.42	6.19	7.15	6.66	6.48	—	7.20	—	7.29	7.05	56
Keskiarvot Averages	6.20	6.27	6.51	6.87	6.52	6.91	6.51	6.82	7.51	7.83	7.80	314

Taulukko 50. Runkopuun vetopuuprosentin ja tangentin suuntaisen kutistumisen välinen korrelaatio.

Table 50. Correlation between tension wood content and tangential shrinkage of trunk wood.

Koepuun n:o ja puulaji Sample tree No. and species of tree	Korrelaatio-kerroin Correlation coefficient	Koekappaleiden lukumäärä No. of specimens	Puulaji Species of tree	Koepuiden lukumäärä No. of sample trees	Korrelaatio-kerroin Correlation coefficient	Koekappaleiden lukumäärä No. of specimens
3. Hieskoivu	+0.926 ± 0.041	12	Hieskoivu	32	+0.477 ± 0.048	258
29. White birch	+0.608 ± 0.158	16	White birch			
39. »	+0.378 ± 0.187	21	Rauduskoivu	12	+0.278 ± 0.123	56
45. »	+0.574 ± 0.194	12	Silver birch			
51. »	+0.746 ± 0.114	15				

Taulukko 51. Runkopuun säteen suuntainen kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi.

Table 51. Radial shrinkage of trunk wood from green to oven-dried condition.

Puulaji Species of tree	Koepuiden lukumäärä Number of sample trees	Normaalipuu - Normal wood		Vetopuu - Tension wood	
		Kutistuminen Shrinkage, %	Mittauksien lukumäärä Number of measurements	Kutistuminen Shrinkage, %	Mittauksien lukumäärä Number of measurements
Hieskoivu .....	24	4.28	87	4.42	123
White birch					
Rauduskoivu ..	4	4.69	8	4.72	11
Silver birch					

Taulukko 52. Runkopuun säteen suuntainen kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi.

Table 52. Radial shrinkage of trunk wood from green to oven-dried condition.

Koepuun n:o Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Kutistuminen - Shrinkage, %	
		Normaalipuu Normal wood	Vetopuu Tension wood
3	Hieskoivu .....	4.23	6.50
24	White birch	3.47	4.54
27	» .....	3.51	5.26
39	» .....	5.23	5.33
45	» .....	4.06	4.79
75	» .....	4.45	4.94
76	» .....	3.65	3.98
Keskiarvot - Averages		4.22	5.01

Taulukko 53. Runkopuun säteen suuntaisen kutistumisen riippuvuus vetopuuprosentista.

Table 53. Dependence of radial shrinkage of trunk wood upon its tension wood content.

Puulaji ja koepuiden lukumäärä Species of tree and No. of sample trees	Kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi Shrinkage from green to oven-dried condition %											Kpl. No.
	Vetopuuprosentti - Tension wood, %											
	0	5-10	15-20	25-30	35-40	45-50	55-60	65-70	75-80	85-90	95-100	
Hieskoivu (22) White birch	4.09	—	4.96	4.52	4.08	5.01	4.87	5.28	4.39	5.17	5.18	109

Taulukko 54. Runkopuun vetopuuprosentin ja säteen suuntaisen kutistumisen välinen korrelaatio.

Table 54. Correlation between tension wood content and radial shrinkage of trunk wood.

Koepuun numero Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Korrelaatio-kerroin Correlation coefficient	Kpl. No.	Puulaji Species of tree	Koepuiden lukumäärä No. of sample trees	Korrelaatio-kerroin Correlation coefficient	Kpl. No.
47	Hieskoivu	+0.492 ± 0.219	12	Hieskoivu	22	+0.481 ± 0.072	109
85	White birch	+0.597 ± 0.186	12	White birch			

Taulukko 55. Runkopuun tilavuuden kutistuminen tuoreesta uuni-kuivaksi.

Table 55. Volume shrinkage of trunk wood from green to oven-dried condition.

Puulaji Species of tree	Normaalipuun – Normal wood				Vetopuu – Tension wood			
	Kutistuminen – Shrinkage, %							
	a <sub>l</sub>	a <sub>t</sub>	a <sub>r</sub>	a <sub>v</sub>	a <sub>l</sub>	a <sub>t</sub>	a <sub>r</sub>	a <sub>v</sub>
Koko aineisto – Entire material								
Hieskoivu White birch	0.31	6.14	4.28	10.44	0.63	6.73	4.42	11.42
Rauduskoivu Silver birch	0.30	6.92	4.69	11.55	0.66	7.18	4.72	12.15
Puhdas aineisto – Pure material								
Hieskoivu White birch	0.24	6.15	4.09	10.20	0.85	7.92	5.18	13.43
Rauduskoivu Silver birch	0.23	6.42	5.01	11.31	—	—	—	—

Taulukko 56. Runkopuun veteen uppoamiseen tarvittavan ajan pituuden riippuvuus vetopuuprosentista.

Table 56. Dependence of the time required for the sinking of trunk wood in water upon its tension wood content.

Koe- no Sam- ple tree No.	Puulaji Species of tree	Vetopuuprosentti – Tension wood, %											Kpl. No.
		0	5–10	15–20	25–30	35–40	45–50	55–60	65–70	75–80	85–90	95–100	
		Upoamiseen tarvittava aika, vrk. Time needed for sinking, days											
1	Hieskoivu	27.0	20.0	—	—	—	8.0	—	—	3.0	6.5	4.0	12
3	White birch	15.0	11.5	6.0	6.5	—	4.5	2.5	2.0	1.0	3.0	—	24
4	»	5.0	4.0	—	—	2.0	—	0.5	—	0.5	1.0	1.0	12
24	»	10.0	—	—	—	—	—	2.5	4.0	2.0	—	—	11
27	»	7.0	6.0	—	4.0	—	—	1.0	—	0.5	0.5	13	
39	»	12.0	—	7.0	—	5.5	—	3.5	5.0	2.5	6.0	5.0	27
45	»	8.0	9.5	—	7.0	—	4.5	—	4.0	6.0	3.0	4.5	22
47	»	16.5	14.0	—	9.0	—	—	5.5	1.5	7.0	2.5	2.0	17
54	»	12.0	7.0	2.5	—	—	2.5	3.0	2.0	2.0	1.5	2.5	37
75	»	35.5	—	—	10.5	9.5	—	13.0	—	6.0	9.0	4.0	26
76	»	11.0	13.5	5.0	—	—	2.5	4.0	1.5	—	—	—	13
37	Rauduskoivu	14.0	12.5	10.5	—	—	8.5	5.5	—	—	—	—	6
63	Silver birch	21.5	11.5	—	5.5	—	5.0	5.5	5.5	—	—	—	13
92	»	13.5	11.5	3.0	4.5	—	—	—	0.5	0.5	—	—	12

Taulukko 57. Runkopuun vetopuuprosentin ja veteen uppoamiseen tarvittavan ajan pituuden välinen korrelaatio.

Table 57. Correlation between tension wood content and time required for the sinking of trunk wood in water.

Koepuun numero Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Korrelaatiokerroin Correlation coefficient	Mittausten lukumäärä Number of measurements
3	Hieskoivu	−0.774 ± 0.082	24
27	White birch	−0.927 ± 0.039	13
54	»	−0.694 ± 0.085	37
92	Rauduskoivu Silver birch	−0.813 ± 0.098	12

Taulukko 58. Runkopuun vesipitoisuus upotessaan.

Table 58. Water content of trunk wood when sinking.

Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä Place, forest type, and No. of sample trees	Vetopuuprosentti – Tension wood, %											Kpl. No.
	0	5–10	15–20	25–30	35–40	45–50	55–60	65–70	75–80	85–90	95–100	
	Vesipitoisuus upotessa – Water content when sinking, %											
Hieskoivu – White birch												
Kuhmo MT (4) . . . .	92.5	—	89.4	94.0	73.2	—	64.1	79.6	69.4	77.8	77.9	55
» VT (5) . . . .	104.5	93.7	108.9	88.1	58.4	86.1	68.4	67.0	71.4	64.4	55.4	78
» Kp (3) . . . .	120.9	119.4	121.5	100.3	121.0	109.6	92.8	88.4	84.4	90.2	92.5	45
» Rä (4) . . . .	92.8	85.8	74.5	—	—	72.2	69.5	77.9	61.1	59.4	64.6	70
Helsinki OMT (5) . .	107.1	104.9	107.5	95.6	82.3	88.0	86.4	79.4	69.6	80.1	68.2	61
Rauduskoivu – Silver birch												
Kuhmo VT (2) . . . .	88.2	83.8	85.8	82.6	—	84.4	72.1	—	—	—	—	17
Helsinki OMT (3) . .	100.3	88.1	72.0	76.6	80.1	75.2	79.6	72.1	69.2	61.7	—	30
Keskiarvot Averages	101.8	94.0	92.9	90.9	80.2	89.5	74.4	76.8	67.0	72.0	69.1	356

Taulukko 59. Runkopuun vetopuu- ja vesipitoisuuden välinen korrelaatio upotessaan.

Table 59. Correlation between tension wood content and water content of trunk wood when sinking.

Koe-puu, n:o Sample tree No.	Puulaji Species of tree	Korrelaatio-kerroin Correlation coefficient	Kpl. No.	Puulaji Species of tree	Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä Place, forest type, and No. of sample trees	Korrelaatio-kerroin Correlation coefficient	Kpl. No.
3	White birch	-0.906 ± 0.037	24	White birch	» VT (5)	-0.822 ± 0.037	78
27	White birch	-0.958 ± 0.023	13	White birch	» Kp (3)	-0.485 ± 0.114	45
39	White birch	-0.710 ± 0.092	30	White birch	» Rā (4)	-0.769 ± 0.049	70
47	»	-0.917 ± 0.039	17	»	Helsinki		
54	»	-0.867 ± 0.041	37	»	OMT (5)	-0.872 ± 0.031	61
75	»	-0.897 ± 0.038	26	Raudus-koivu	Kuhmo VT (2)	-0.417 ± 0.200	17
76	»	-0.936 ± 0.034	13	Raudus-koivu	Helsinki		
63	Raudus-koivu	-0.809 ± 0.089	15	Silver birch	OMT (3)	-0.781 ± 0.071	30
92	Silver birch	-0.831 ± 0.086	13	Silver birch			

Taulukko 60. Hieskoivun runkopuun vettymisnopeus.

Table 60. Rate of water uptake, trunk wood of white birch.

Aineisto Material	Vesipitoisuus tuntia tai vrk. veteen panon jälkeen, % Water content hours or days after immersion in water, %												Kokeiden lukumäärä No. of experiments
	2 ½	5	7 ½	1	2	8	14	20	36	43	57	62	
Normaalipuu – Normal wood													
N:o 27 ..	43	54	61	78	86	110	119	123	128	130	130	131	4
Kaikki ..	41	53	58	75	85	111	121	127	133	135	136	136	24
All													
Vetopuu – Tension wood													
N:o 27 ..	26	37	43	59	67	82	85	86	88	89	89	89	4
Kaikki ..	34	44	49	63	72	94	101	104	108	109	110	110	24
All													

Taulukko 61. Hieskoivun runkopuun kuivumisnopeus.

Table 61. Rate of drying, trunk wood of white birch.

Aineisto Material	Vesipitoisuus tuntia vedestä otion jälkeen Water content hours after removal from water																Kok. lukum. Number of experiments		
	0	3	5	7	9	23	25	27	29	31	33	47	51	53	55	71		143	167
Normaalipuu – Normal wood																			
N:o 27 ..	128.9	118.3	111.9	101.8	94.3	37.3	33.2	26.2	23.2	19.7	17.9	11.1	10.7	10.6	10.6	10.3	10.0	10.0	4
Kaikki ..	133.8	118.7	111.6	103.2	95.5	39.7	34.7	29.1	25.1	21.5	20.1	11.9	11.3	11.1	11.0	10.5	10.2	10.2	28
All																			
Vetopuu – Tension wood																			
N:o 27 ..	89.0	80.2	74.6	68.6	61.9	27.4	24.6	21.7	19.8	17.3	16.2	10.5	10.2	10.1	9.9	9.3	8.9	8.9	4
Kaikki ..	108.7	96.4	90.1	83.5	77.1	35.1	31.3	27.1	24.2	21.1	19.8	11.7	11.1	10.9	10.6	10.0	9.4	9.4	28
All																			
Indeksiluvut (koko aineisto) – Indices (Entire material)																			
Normaalipuu ..	100.0	88.9	83.6	77.3	71.5	29.8	26.1	21.9	18.9	16.2	15.1	8.9	8.5	8.4	8.2	7.9	7.6	7.6	28
Normal wood																			
Vetopuu ..	100.0	88.5	82.6	76.6	70.7	32.2	28.7	24.9	22.3	19.4	18.3	10.9	10.2	10.1	9.8	9.2	8.7	8.7	28
Tension wood																			

Taulukko 62. Hieskoivun runkopuun sidotun veden määrä ja ontelotilavuus sekä puuaineksen tilavuusprosentti ja ominaispaino.

Table 62. Amount of hygroscopic water, lumen volume, and relative volume and specific gravity of wood substance; trunk wood of white birch.

Normaalipuu – Normal wood				Vetopuu – Tension wood			
Sidottua vettä Hygroscopic water, %	Ontelotilavuus Lumen volume, %	Puuaineksen Wood substance		Sidottua vettä Hygroscopic water, %	Ontelotilavuus Lumen volume, %	Puuaineksen Wood substance	
		Tilavuus Volume, %	Ominaispaino Specific gravity, g/cm <sup>3</sup>			Tilavuus Volume, %	Ominaispaino Specific gravity, g/cm <sup>3</sup>
Koko aineisto – Entire material							
24.7	58.3	41.7	1.40	35.9	48.1	51.9	1.56
Koeppuu n:o 27 – Sample tree No. 27							
25.3	57.9	42.1	1.41	39.1	45.2	54.8	1.52



Taulukko 63. Runkopuun puusyiden suuntainen puristuslujuus murto-  
rajalla, 2 metrin pituinen tyviosa.Table 63. Compressive strength of trunk wood parallel to the grain at limit of rupture, butt  
bolt of 2 m height.

Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä <i>Place, forest type, and No. of sample trees</i>	Normaalipuu – Normal wood				Vetopuu – Tension wood			
	Puristuslujuus Compressive strength, kg/cm <sup>2</sup>			Kokeiden lukumäärä No. of tests	Puristuslujuus Compressive strength, kg/cm <sup>2</sup>			Kokeiden lukumäärä No. of tests
	a	b	Keskiarvot Averages		a	b	Keskiarvot Averages	
Hieskoivu – White birch								
Kuhmo MT (10)	234	242	237	78	203	212	207	92
» VT (15)	214	221	217	121	186	200	192	146
» Kp ( 8)	215	222	217	87	193	202	196	98
» Rā (11)	224	236	229	96	196	220	205	140
Helsinki (14)	235	239	237	145	195	210	203	188
Rauduskoivu – Silver birch								
Kuhmo (16)	225	233	230	112	205	209	206	151
Helsinki (14)	242	261	248	96	224	246	230	107

Taulukko 64. Runkopuun puusyiden suuntaisen puristuslujuuden riippu-  
vuus vetopuuprosentista.Table 64. Dependence of the compressive strength of trunk wood parallel to the grain upon  
its tension wood content.

Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä <i>Place, forest type, and No. of sample trees</i>	Vetopuuprosentti – Tension wood, %											Kpl. No.
	0	5–10	15–20	25–30	35–40	45–50	55–60	65–70	75–80	85–90	95–100	
	Puristuslujuus – Compressive strength, kg/cm <sup>2</sup>											
Hieskoivu – White birch												
Kuhmo MT (10)	239	215	240	211	218	204	201	189	188	170	157	185
» VT (14)	223	208	209	200	207	183	184	182	182	166	157	236
» Kp ( 7)	233	206	202	195	188	153	152	166	171	154	136	138
» Rā (11)	238	223	215	206	214	194	192	181	206	186	179	187
Helsinki (14)	241	220	197	222	201	196	190	186	173	175	162	216
Keskiarvot Averages	235	214	213	207	206	186	184	181	184	170	158	962
Rauduskoivu – Silver birch												
Kuhmo VT (13)	238	216	204	205	197	194	192	178	199	156	—	168
Helsinki (13)	253	248	239	246	225	244	209	205	188	—	—	136
Keskiarvot Averages	245	232	221	225	211	219	200	192	193	156	—	304

Taulukko 65. Runkopuun vetopuuprosentin ja puusyiden suuntaisen pu-  
ristuslujuuden välinen korrelaatio murto-rajalla.Table 65. Correlation between tension wood content and compressive strength parallel to  
the grain at limit of rupture.

Koe- puu n:o <i>Sample tree No.</i>	Puulaji <i>Species of tree</i>	Korrelaatio- kerroin <i>Correlation coefficient</i>	Kpl. <i>No.</i>	Puulaji <i>Species of tree</i>	Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä <i>Place, forest type, and No. of sample trees</i>	Korrelaatio- kerroin <i>Correlation coefficient</i>	Kpl. <i>No.</i>
1	Hies-	-0.935 ± 0.022	34	Hies-	Kuhmo MT (10)	-0.664 ± 0.041	185
3	koivu	-0.729 ± 0.083	32	koivu	» VT (14)	-0.680 ± 0.035	236
21	White	-0.726 ± 0.122	15	White	» Kp ( 7)	-0.595 ± 0.055	138
39	birch	-0.931 ± 0.022	37	birch	» Rā (11)	-0.605 ± 0.047	187
45	»	-0.907 ± 0.032	31	»	Helsinki (14)	-0.702 ± 0.034	216
48	»	-0.810 ± 0.057	37	Raudus-	Kuhmo VT (13)	-0.576 ± 0.052	168
75	»	-0.757 ± 0.071	36	koivu	Helsinki (13)	-0.404 ± 0.072	136
78	»	-0.899 ± 0.045	18	Silver			
34	Raudus-	-0.914 ± 0.041	16	birch			
63	koivu	-0.829 ± 0.049	41	Silver			
	birch						

Taulukko 66. Runkopuun puusyiden suuntainen puristuslujuus latvus-  
kerroksittain (koepuiden lukumäärä on ilmoitettu sulkeissa).Table 66. Compressive strength of trunk wood parallel to the grain according to the crown  
classes (number of sample trees in brackets).

Kasvupaikka <i>Place and forest type</i>	Normaalipuu – Normal wood				Vetopuu – Tension wood			
	Latvuskerros – Crown class							
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Puristuslujuus – Compressive strength, kg/cm <sup>2</sup>								
Hieskoivu – White birch								
Kuhmo MT ..	—	244 (1)	235 (9)	—	—	200 (1)	203 (9)	—
» VT ..	—	220 (7)	217 (7)	233 (1)	—	199 (7)	183 (7)	193 (1)
» Kp ..	—	258 (1)	221 (6)	140 (1)	—	205 (1)	185 (6)	140 (1)
» Rā ..	—	252 (3)	230 (3)	218 (2)	—	197 (4)	196 (5)	215 (2)
Helsinki OMaT + OMT	—	237 (5)	205 (4)	194 (1)	—	194 (5)	185 (4)	165 (1)
Helsinki MT ..	—	235 (1)	—	—	—	207 (1)	—	—
» Kp .	248 (1)	226 (1)	246 (1)	—	238 (1)	202 (1)	224 (1)	—
Rauduskoivu – Silver birch								
Kuhmo VT ..	243 (3)	227 (7)	225 (4)	—	210 (3)	204 (7)	188 (4)	—
» Kp ..	—	241 (1)	269 (1)	—	—	220 (1)	243 (1)	—
Helsinki OMaT + OMT	—	248 (6)	239 (1)	—	—	224 (6)	206 (2)	—
Helsinki MT ..	—	249 (4)	244 (2)	—	—	230 (4)	207 (1)	—

Taulukko 67. Puusyiden suuntainen puristuslujuus murtorajalla rungon eri korkeuksilla.

Table 67. Compressive strength of trunk wood parallel to the grain at limit of rupture at different heights above ground.

Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä Place, forest type, and number of sample trees	Koekappaleiden lukumäärä Number of specimens	Normaalipuu – Normal wood				Vetopuu – Tension wood			
		Korkeus maasta, m – Height above ground, m							
		0–0.5	0.5–1	1–1.5	1.5–2	0–0.5	0.5–1	1–1.5	1.5–2
Puristuslujuus – Compressive strength, kg/cm <sup>2</sup>									
Hieskoivu – White birch									
Kuhmo MT (10)	170	231	241	236	248	203	194	217	217
» VT (14)	267	214	219	223	232	186	195	205	225
» Kp (8)	177	202	227	258	—	179	203	241	—
» Rä (11)	236	219	240	—	—	195	216	—	—
Helsinki (14)	333	234	241	261	—	193	222	250	—
Rauduskoivu – Silver birch									
Kuhmo (16) ...	263	218	225	240	243	193	213	219	214
Helsinki (14) ..	203	241	264	272	—	221	251	254	—

Taulukko 68. Runkopuun Jankan laatuosamäärän riippuvuus vetopuuprosentista puusyiden suuntaisessa puristuksessa murtorajalla.

Table 68. Dependence of Janka's quality quotient upon the tension wood content in trunk wood; compression parallel to the grain at limit of rupture.

Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä Place and forest type	Jankan laatuosamäärä – Janka's quality quotient, k35/s <sub>0</sub>										
	Vetopuuprosentti – Tension wood, %										
	0	5–10	15–20	25–30	35–40	45–50	55–60	65–70	75–80	85–90	95–100
Hieskoivu – White birch											
Kuhmo MT ....	362	321	348	306	316	283	264	241	244	—	194
» VT ....	354	325	332	305	280	249	245	253	230	205	196
» Kp ....	376	349	342	305	272	243	225	243	—	—	—
» Rä ....	361	343	312	288	310	273	259	245	282	240	—
Helsinki .....	383	338	286	324	287	258	271	274	219	227	—
Keskiarvot Averages	367	335	324	306	293	261	253	249	244	224	195
Rauduskoivu – Silver birch											
Kuhmo VT ....	366	322	300	297	281	303	—	252	255	220	—
Helsinki .....	408	388	332	330	321	—	265	273	232	—	—
Keskiarvot Averages	387	355	316	313	301	303	265	262	243	220	—

Taulukko 69. Oksapuun puusyiden suuntainen puristuslujuus murtorajalla.

Table 69. Compressive strength of branch wood parallel to the grain at limit of rupture.

Normaalipuu – Normal wood		Vetopuu – Tension wood	
Puristuslujuus Compressive strength, kg/cm <sup>2</sup>	Kokeita, kpl. No. of tests	Puristuslujuus Compressive strength, kg/cm <sup>2</sup>	Kokeita, kpl. No. of tests
245	31	218	46

Taulukko 70. Oksapuun puusyiden suuntaisen puristuslujuuden riippuvuus vetopuun määrästä murtorajalla.

Table 70. Dependence of the compressive strength of branch wood parallel to the grain at the limit of rupture upon its tension wood content.

Vetopuun määrä – Amount of tension wood							
Ei lainkaan None		Hieman Slight		Huomattavasti Considerable		Runsaasti Abundant	
Puristuslujuus Compressive strength kg/cm <sup>2</sup>	Kokeita, kpl. No. of tests	Puristuslujuus Compressive strength kg/cm <sup>2</sup>	Kokeita, kpl. No. of tests	Puristuslujuus Compressive strength kg/cm <sup>2</sup>	Kokeita, kpl. No. of tests	Puristuslujuus Compressive strength kg/cm <sup>2</sup>	Kokeita, kpl. No. of tests
269	3	243	30	220	32	204	12

Taulukko 71. Runkopuun kovuus.

Table 71. Hardness of trunk wood.

Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä Place, forest type and number of sample trees	Normaalipuu – Normal wood			Vetopuu – Tension wood				
	Kovuus – Hardness, kg/cm <sup>2</sup>			Kokeita, kpl. No. of tests	Kovuus – Hardness, kg/cm <sup>2</sup>			Kokeita, kpl. No. of tests
	R Radial	T Tangent- ial	Päät End faces		R Radial	T Tangent- ial	Päät End faces	
Hieskoivu – White birch								
Kuhmo MT (3)	176	201	216	174	155	174	175	186
» VT (9)	187	198	192	192	171	184	179	228
» Kp (5)	183	192	191	168	147	170	157	168
» Rä (6)	199	223	224	180	186	207	198	222
Helsinki (4)	216	236	225	132	191	228	203	132
Keskiarvot Averages	191	209	209	846	170	191	182	936
Rauduskoivu – Silver birch								
Kuhmo (8)	210	227	222	156	189	210	207	186
Helsinki (3)	191	218	215	60	185	206	196	66
Keskiarvot Averages	205	225	220	216	188	209	204	252

Taulukko 72. Kovuus rungon eri korkeuksilla.

Table 72. Hardness at different heights of the trunk.

Kasvupaikka ja koepuiden lukumäärä <i>Place, forest type, and number of sample trees</i>	Puun laatu <i>Type of wood</i>	Korkeus maasta, m – Height above ground, m											
		0–0.5			0.5–1			1–1.5			1.5–2		
		Kovuus – Hardness, kg/cm <sup>2</sup>											
		R	T	Päät End faces	R	T	Päät End faces	R	T	Päät End faces	R	T	Päät End faces
<b>Hieskoivu – White birch</b>													
Kuhmo MT (3)	Normaalipuu <i>Normal wood</i>	180	193	208	178	207	230	153	180	156	185	223	254
	Vetopuu . . . <i>Tension wood</i>	165	178	178	156	173	178	138	156	146	150	180	181
VT (9)	Normaalipuu <i>Normal wood</i>	200	208	201	175	187	182	166	195	193	—	—	—
	Vetopuu . . . <i>Tension wood</i>	178	193	182	163	174	174	175	186	186	—	—	—
Kp (5)	Normaalipuu <i>Normal wood</i>	191	199	194	172	183	185	215	215	213	—	—	—
	Vetopuu . . . <i>Tension wood</i>	147	165	156	143	172	155	188	203	186	—	—	—
Rä (6)	Normaalipuu <i>Normal wood</i>	178	190	198	209	240	237	—	—	—	—	—	—
	Vetopuu . . . <i>Tension wood</i>	163	175	176	196	220	208	—	—	—	—	—	—
Helsinki (4)	Normaalipuu <i>Normal wood</i>	217	239	227	213	229	218	—	—	—	—	—	—
	Vetopuu . . . <i>Tension wood</i>	191	229	205	191	225	198	—	—	—	—	—	—
<b>Räuskoivu – Silver birch</b>													
Kuhmo (8)	Normaalipuu <i>Normal wood</i>	199	227	212	194	216	212	217	230	224	230	235	245
	Vetopuu . . . <i>Tension wood</i>	182	207	197	175	201	202	194	213	211	217	223	221
Helsinki (3)	Normaalipuu <i>Normal wood</i>	187	217	215	209	220	216	—	—	—	—	—	—
	Vetopuu . . . <i>Tension wood</i>	181	208	197	201	199	194	—	—	—	—	—	—

Taulukko 73. Normaali- ja vetopuusta valmistetun sulfaattiselluloosan ominaisuudet (JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER ja MOHRBERG 1951 ja 1953).

Table 73. Properties of sulphate pulp made of normal and tension wood (JAYME, HARDERS-STEINHÄUSER, and MOHRBERG 1951 and 1953).

	Keittolämpötilä – Processing temperature			
	155°C		165°C	
	Normaalipuu <i>Normal wood</i>	Vetopuu <i>Tension wood</i>	Normaalipuu <i>Normal wood</i>	Vetopuu <i>Tension wood</i>
<i>Populus Charkowiensis</i>				
Massasaanto, %	56.87	66.63	52.51	59.69
Pulp yield				
Jauhatusaste, °SR	50 (65)	50 (65)	50 (65)	50 (65)
Fineness of grinding				
Jauhatusaika, min.	38 (53)	45 (59)	45 (64)	38 (60)
Grinding time				
Tilavuuspaino, g/cm <sup>3</sup>	0.834 (0.870)	0.792 (0.808)	0.914 (0.940)	0.782 (0.825)
Volume-weight				
Valkoisuus	17	27	20	32
Whiteness				
Katkeamispuiteus, m	8550 (9400)	7100 (7450)	8550 (9100)	6270 (6900)
Breaking length				
Kaksoistaittoluku	2650 (3300)	600 (900)	1525 (2100)	300 (600)
Double folding number				
Puhkaisupaine, kg/cm <sup>2</sup>	40 (41)	30 (32)	40 (45)	25 (28)
Bursting pressure				
Puhkeamispuite, m <sup>2</sup>	73.1 (88.4)	50.4 (55.5)	73.1 (82.8)	39.3 (47.6)
Bursting area				
<i>Populus generosa</i>				
Massasaanto, %	—	—	52.01	59.84
Pulp yield				
Jauhatusaste, °SR	—	—	50	50
Fineness of grinding				
Jauhatusaika, min.	—	—	45	52
Grinding time				
Tilavuuspaino, g/cm <sup>3</sup>	—	—	0.858	0.642
Volume-weight				
Valkoisuus	—	—	22	41
Whiteness				
Katkeamispuiteus, m	—	—	8630	5549
Breaking length				
Venyminen, %	—	—	4.03	2.31
Stretching				
Kaksoistaittoluku	—	—	2450	46
Double folding number				
Puhkaisupaine, kg/cm <sup>2</sup>	—	—	45.5	26
Bursting pressure				
Puhkeamispuite, m <sup>2</sup>	—	—	74.5	30.8
Bursting area				

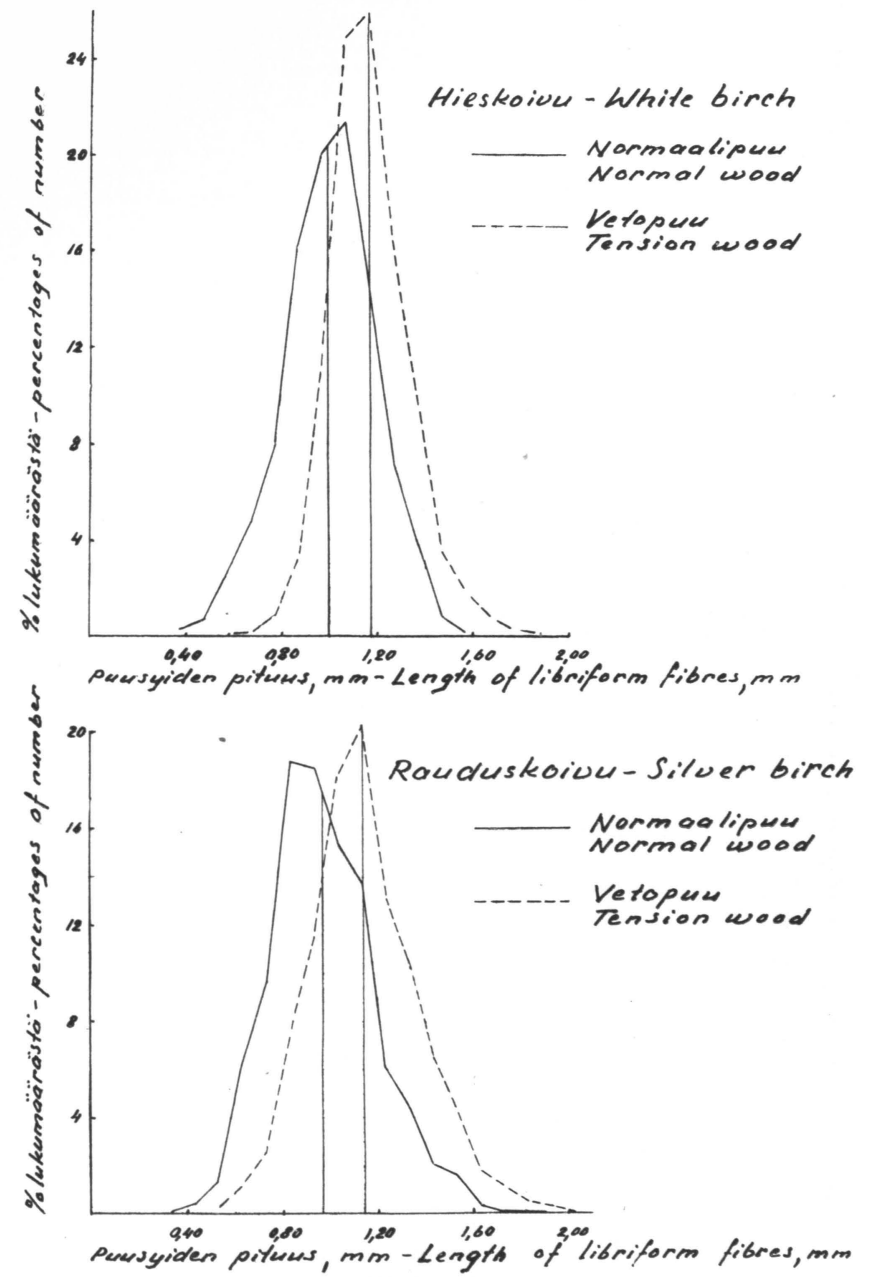
Taulukko 74. Männystä ja koivusta valmistetun sulfaattiselluloosan ominaisuudet (JENSEN 1951).

Table 74. Properties of sulphate pulp made of Scotch pine and birch (JENSEN 1951).

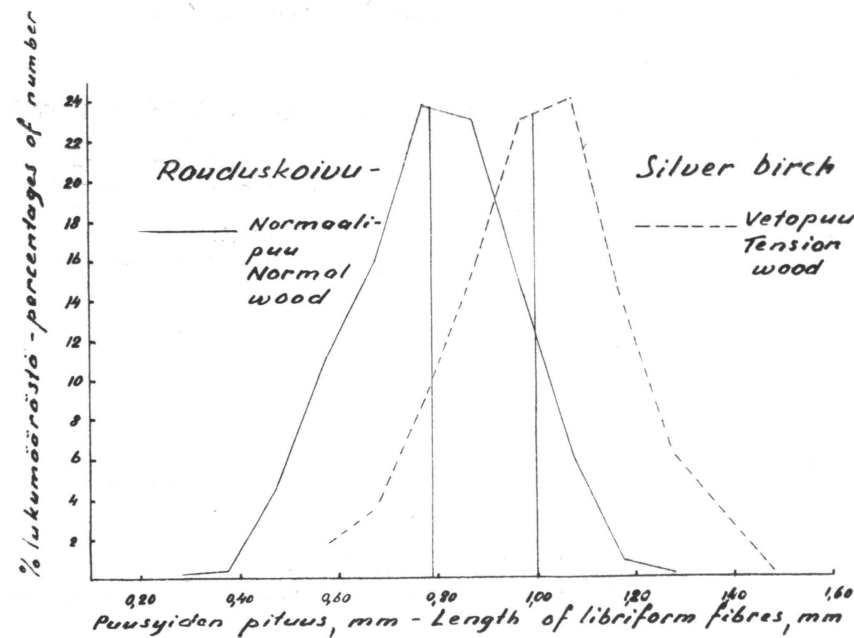
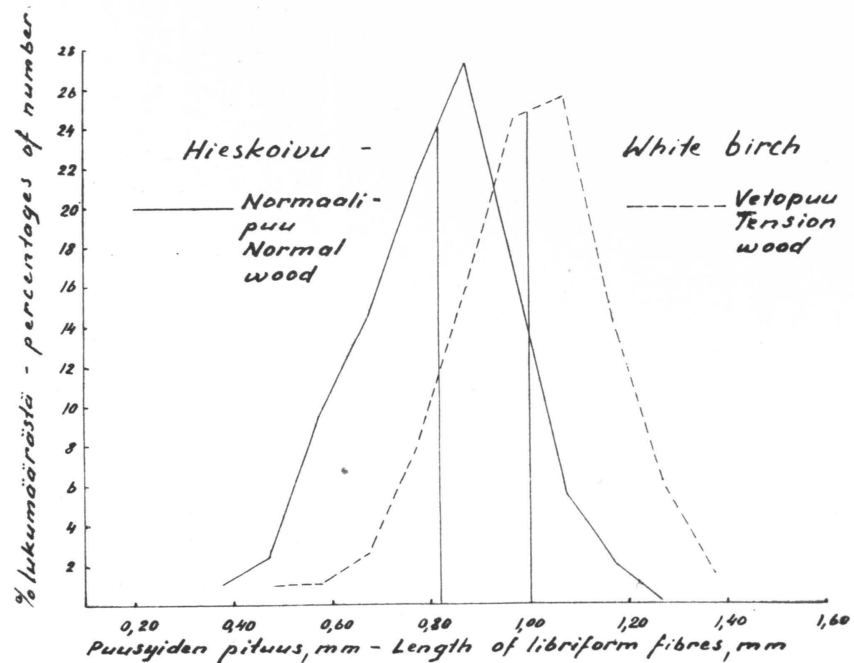
	Mänty - Pine	Koivu - Birch
Keittolämpötila, °C.....	160	160
<i>Processing temperature</i>		
Massasaanto, % .....	47.03	51.4
<i>Pulp yield</i>		
Jauhatusaste, °SR .....	50	50
<i>Fineness of grinding</i>		
Jauhatusaika, min. ....	112.5	56.6
<i>Grinding time</i>		
Tilavuuspaino, g/cm <sup>3</sup> .....	0.683	0.756
<i>Volume-weight</i>		
Katkeamis pituus, m .....	9685	8895
<i>Breaking length</i>		
Venyminen, % .....	4.4	4.6
<i>Stretching</i>		
Kaksoistaittoluku .....	3905	1270
<i>Double folding number</i>		
Puhkeamis pinta, m <sup>2</sup> .....	86.3	63.1
<i>Bursting area</i>		

Graafiset piirrokset (kuvat 30—45)

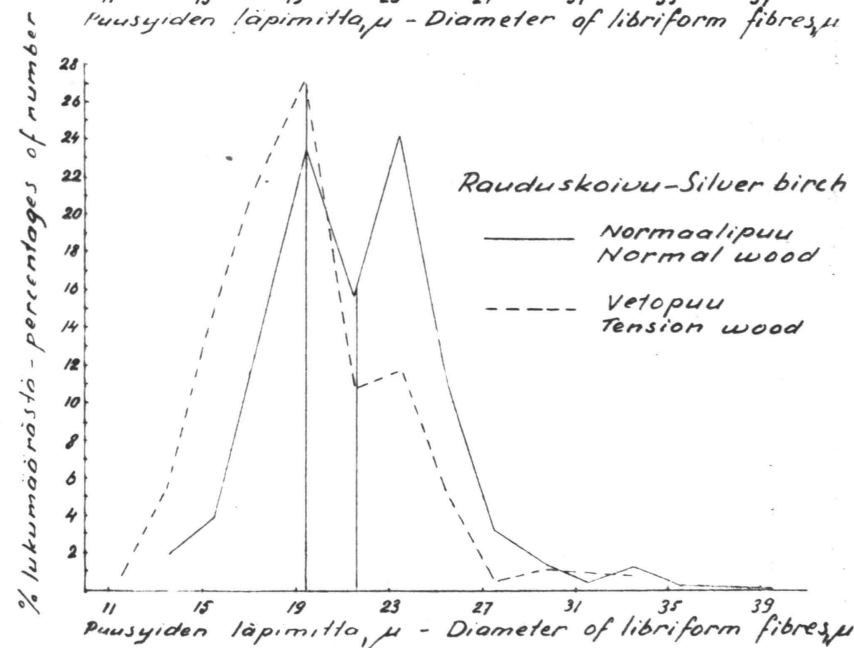
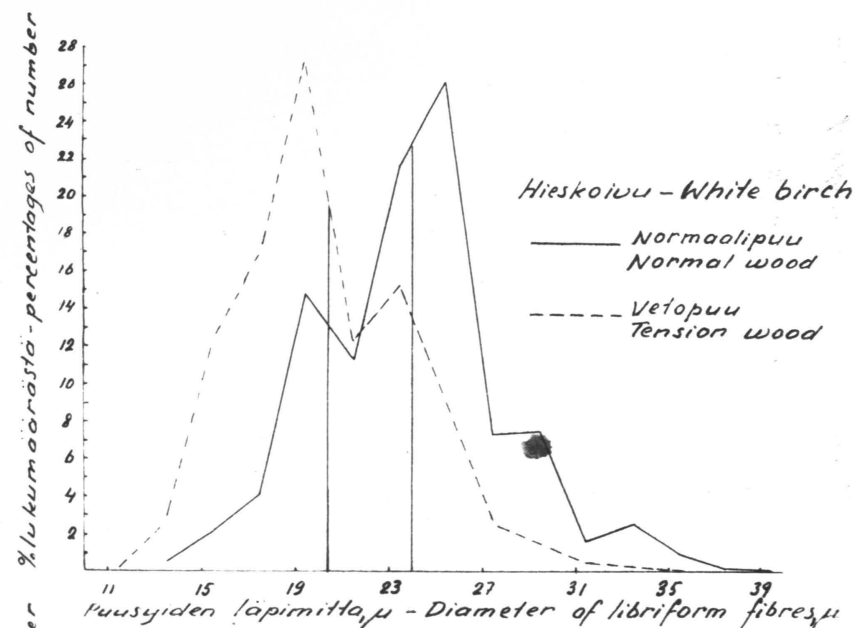
Graphic figures (fig. 30—45)



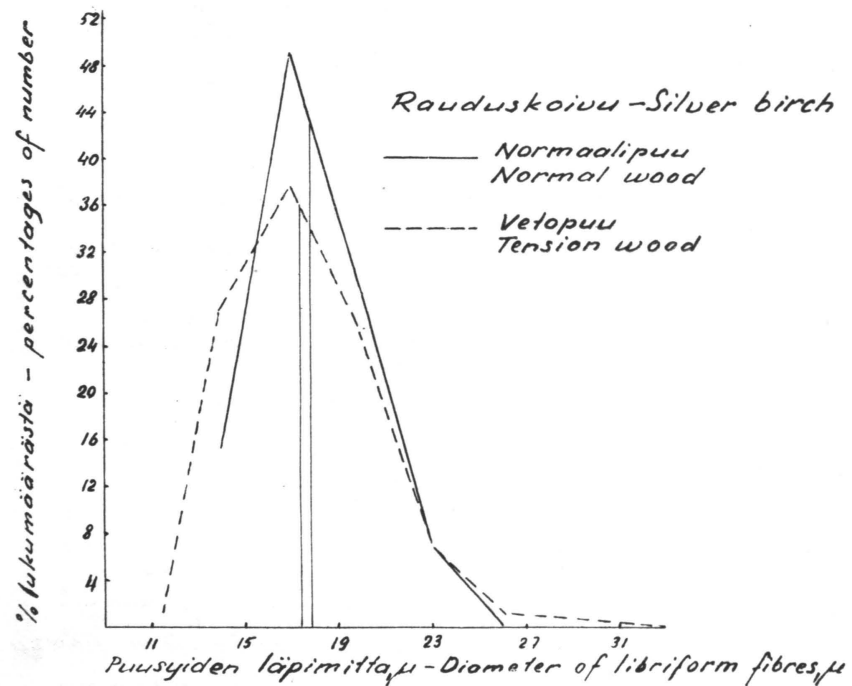
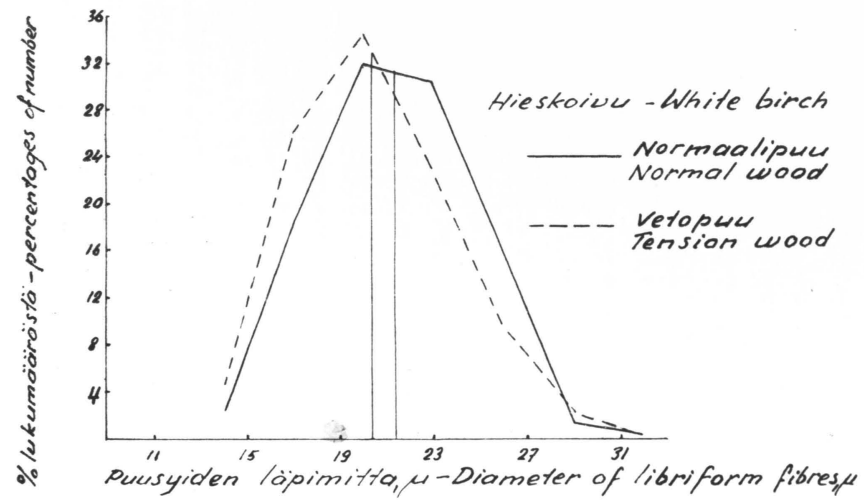
Kuva 30. Runkopuun puusyiden pituus 1 m:n pituisessa tyviosassa.  
Fig.30. Length of the libriform fibres in trunk wood; butt bolt of 1 m height.



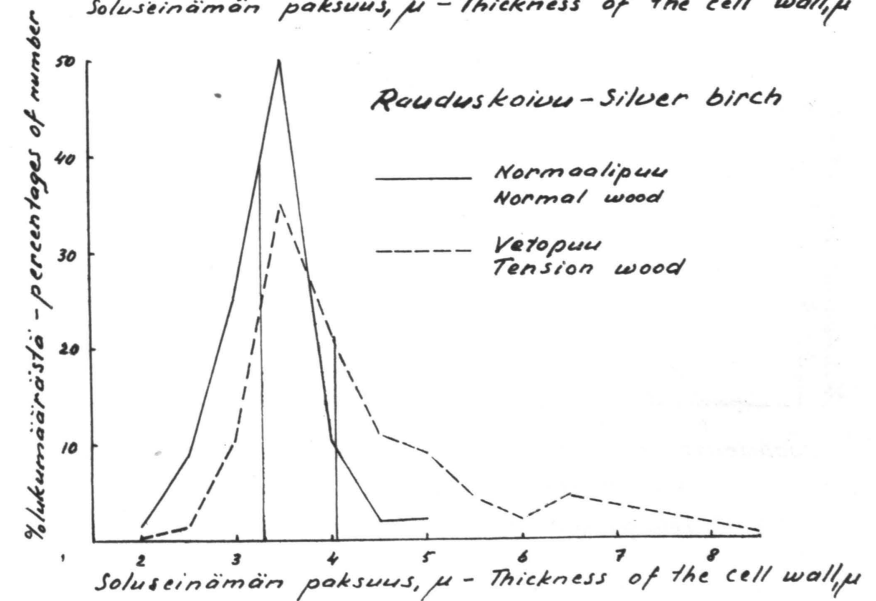
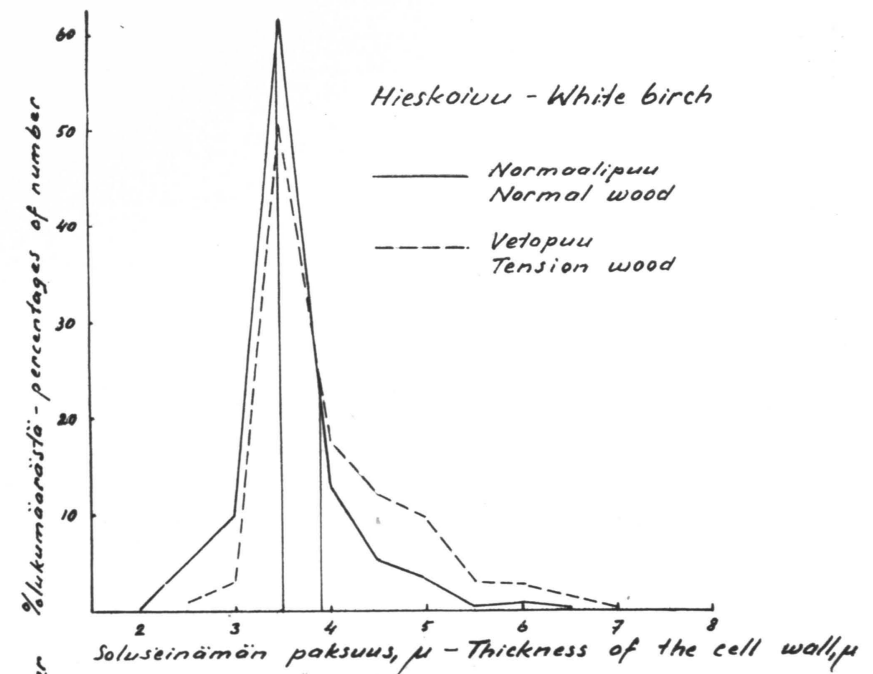
Kuva 31. Oksapuun puusyiden pituus.  
Fig. 31. Length of the libriform fibres in branch wood.



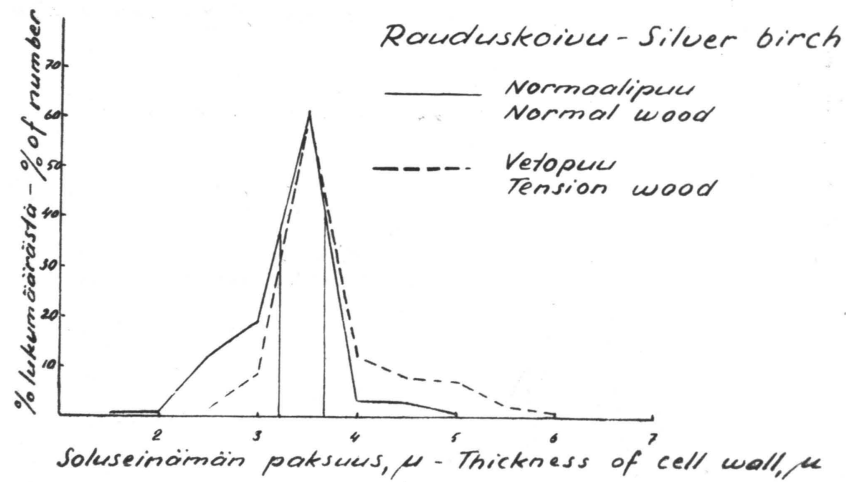
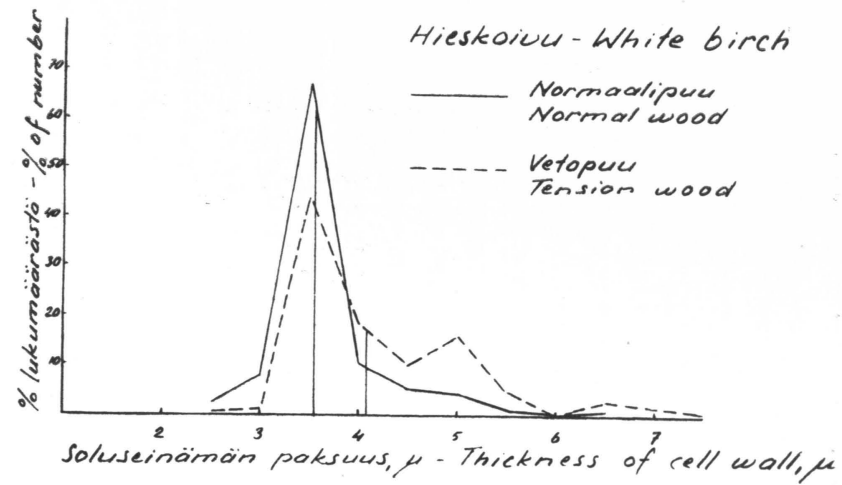
Kuva 32. Runkopuun puusyiden läpimitta 1 m:n pituisessa tyviosassa.  
Fig. 32. Diameter of the libriform fibres in trunk wood; butt bolt of 1 m height.



Kuva 33. Oksapuun puusyiden läpimitta.  
Fig. 33. Diameter of libriform fibres in branch wood.

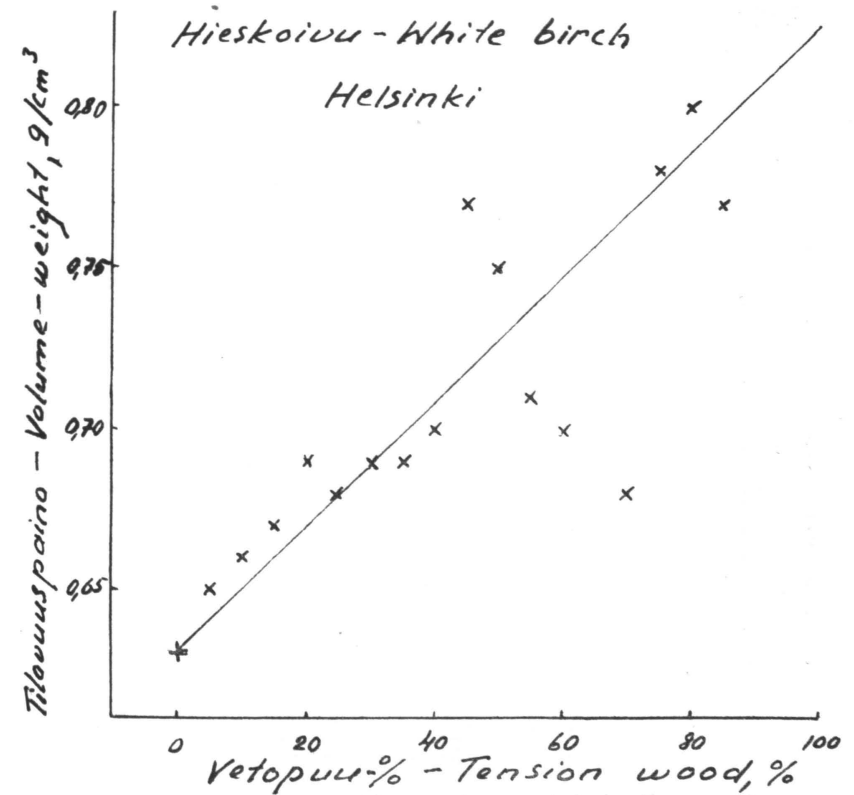
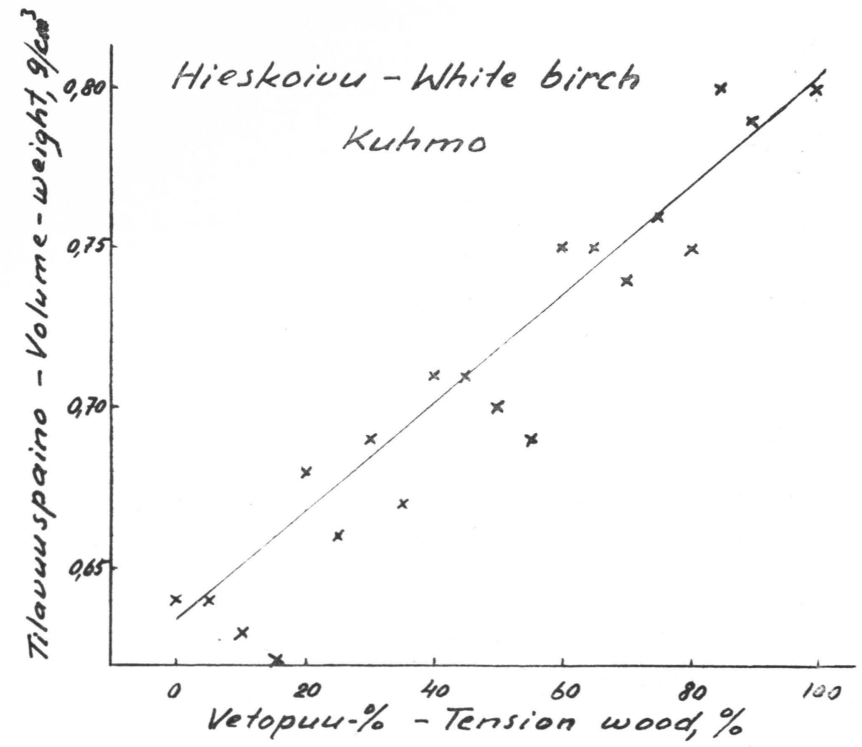


Kuva 34. Runkopuun puusyiden seinämän paksuus 1 m:n pituisessa tyviosassa.  
Fig. 34. Thickness of the wall of the libriform fibres in trunk wood; butt bolt of 1 m height.



Kuva 35. Oksapuun puusyiden seinämän paksuus.

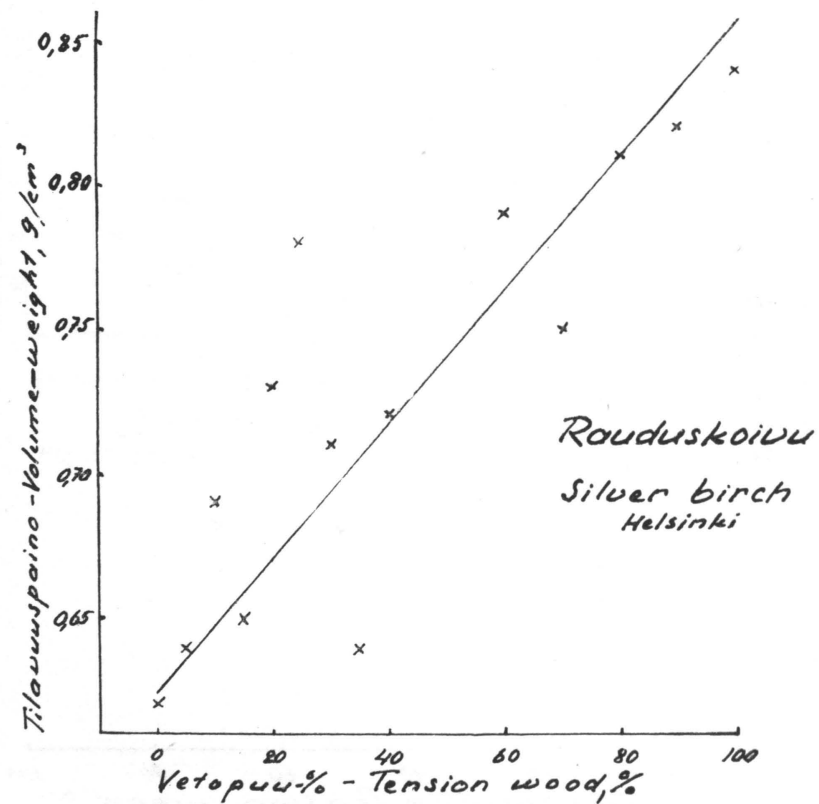
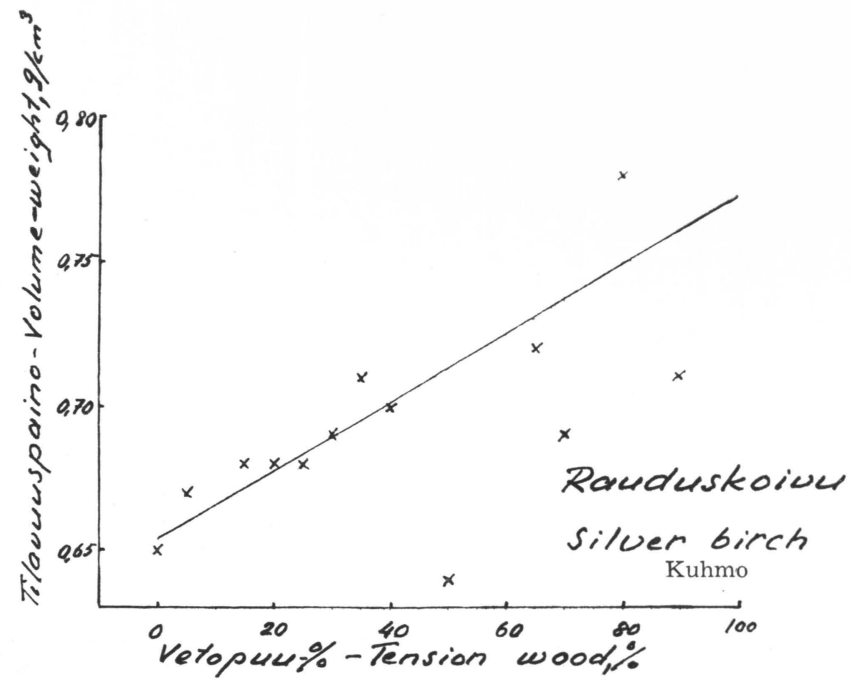
Fig. 35. Thickness of the cell wall of the libriform fibres in branch wood.



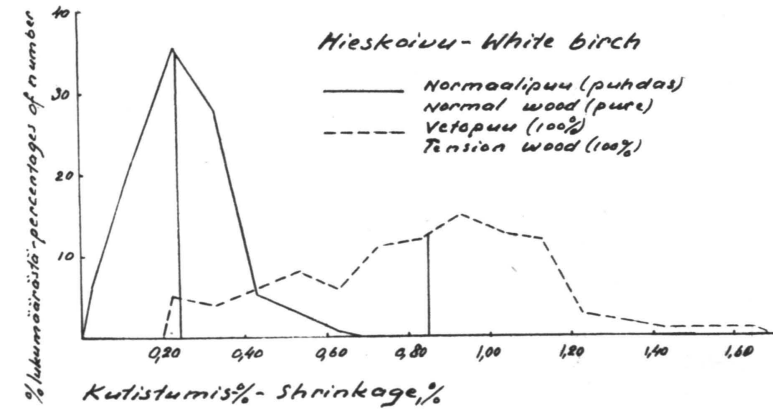
Kuva 36. Hieskoivun runkokuun tilavuuspaino uunikuivana.

Fig. 36. Volume-weight of the trunk wood of oven-dried white birch.

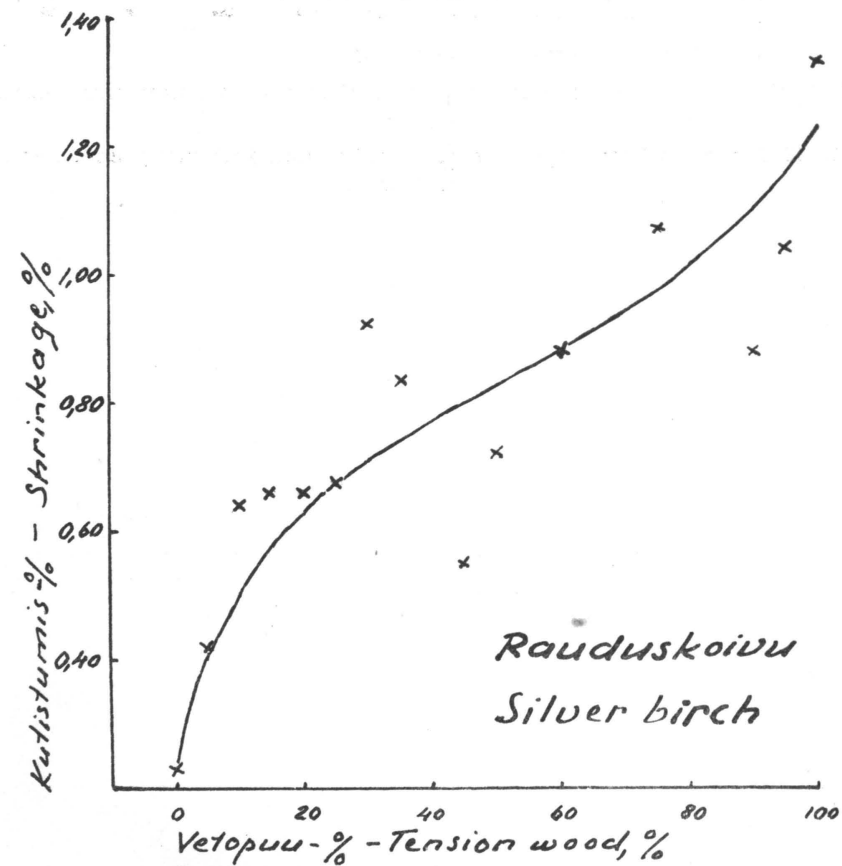
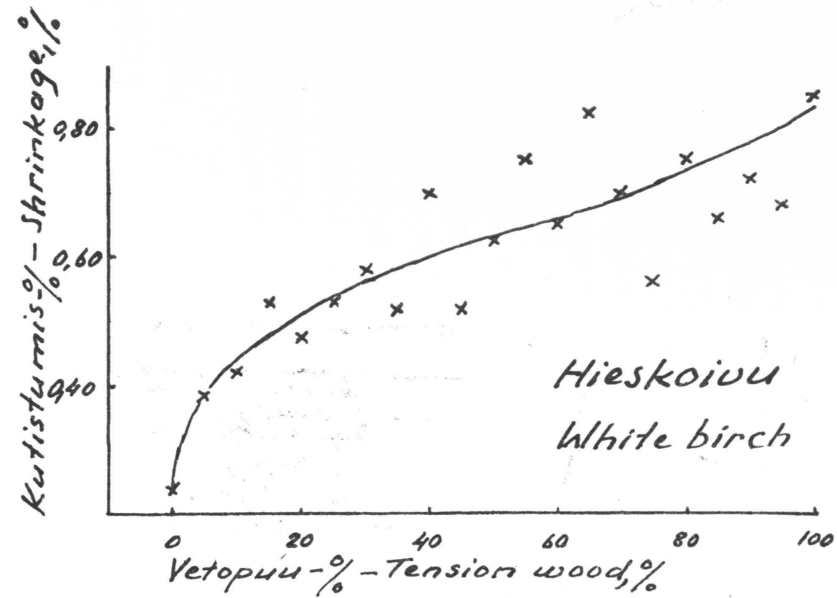




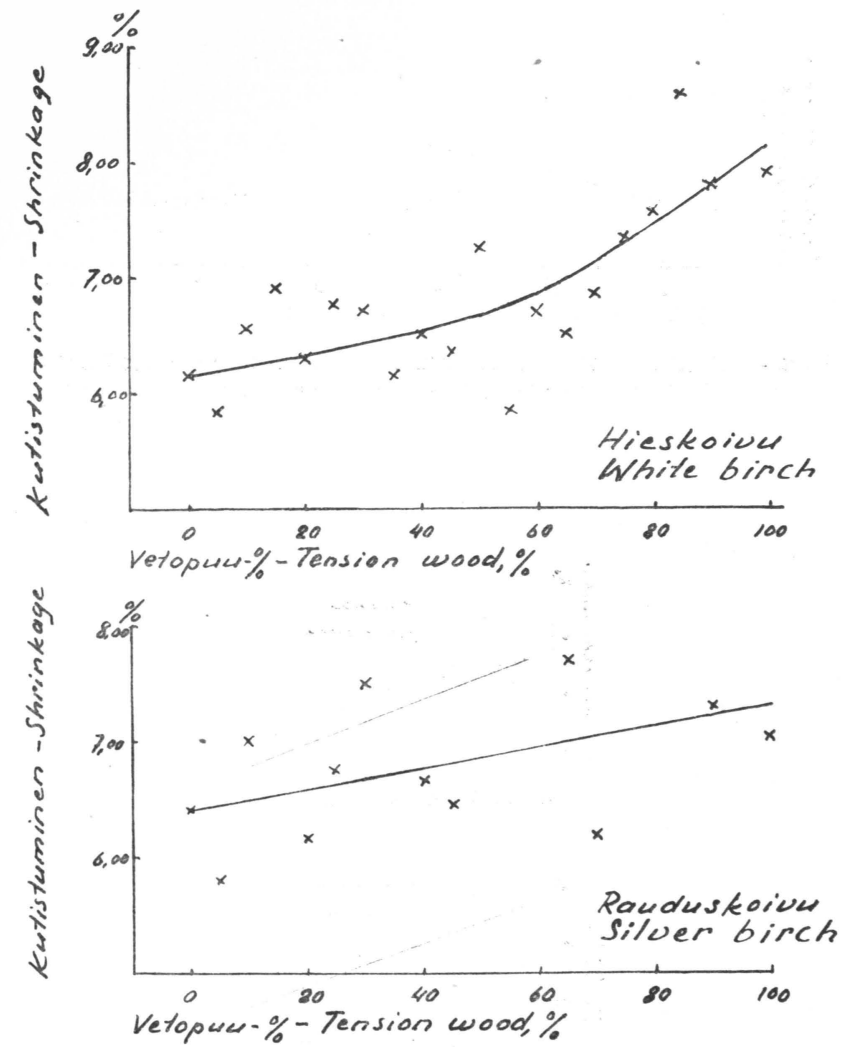
Kuva 37. Rauduskoivun runkopuun tilavuuspaino uunikuivana.  
Fig. 37. Volume-weight of the trunk wood of oven-dried silver birch.



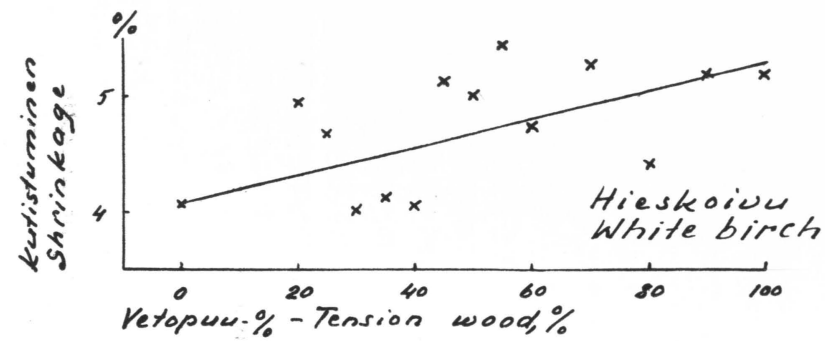
Kuva 38. Hieskoivun runkopuun pituuden suuntainen kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi.  
Fig. 38. Longitudinal shrinkage of the trunk wood of white birch from green to oven-dried condition.



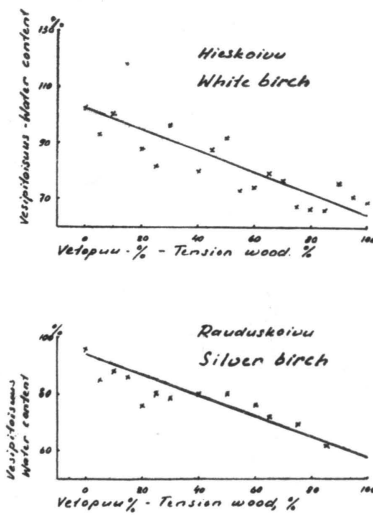
Kuva 39. Runkopuun pituuden suuntainen kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi.  
Fig. 39. Longitudinal shrinkage of trunk wood from green to oven-dried condition.



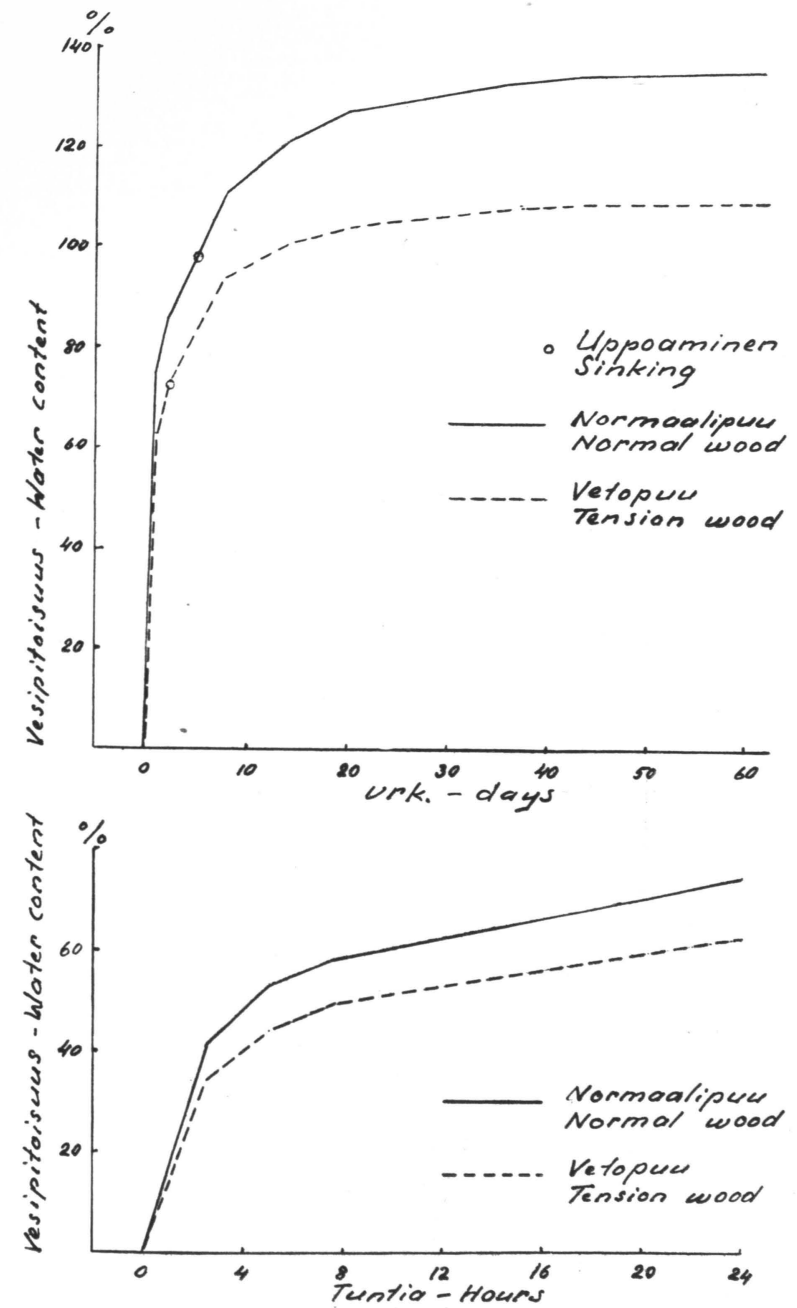
Kuva 40. Runkopuun tangentin suuntainen kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi.  
Fig. 40. Tangential shrinkage of trunk wood from green to oven-dried condition.



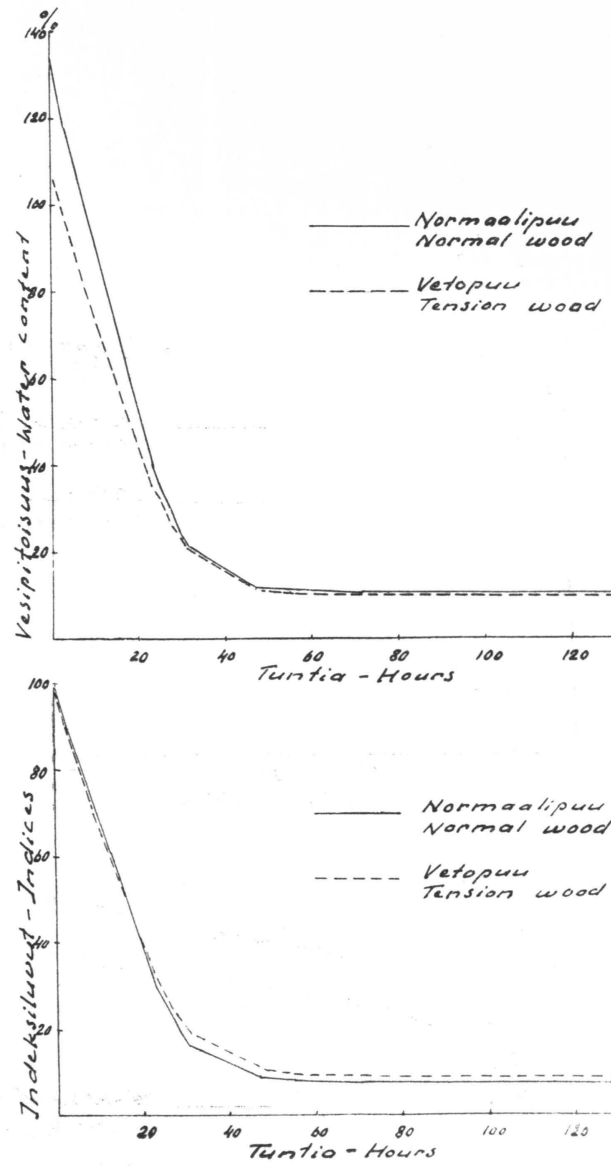
Kuva 41. Runkopuun säteen suuntainen kutistuminen tuoreesta uunikuivaksi.  
Fig. 41. Radial shrinkage of trunk wood from green to oven-dried condition.



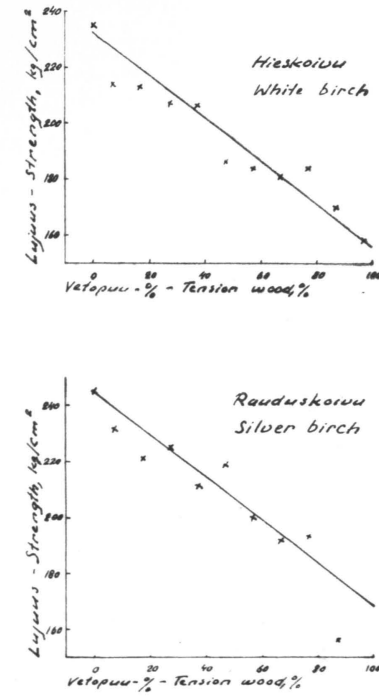
Kuva 42. Runkopuun vesipitoisuus upotessaan.  
Fig. 42. Water content of trunk wood when sinking.



Kuva 43. Hieskoivun runkopuun vettymisnopeus.  
Fig. 43. Rate of water uptake, trunk wood of white birch.



Kuva 44. Hieskoivun runkopuun kuivumisnopeus.  
Fig. 44. Rate of drying, trunk wood of white birch.



Kuva 45. Runkopuun puusyiden suuntainen puristuslujuus murtorajalla tuoreena.  
Fig. 45. Compressive strength of trunk wood parallel to the grain at limit of rupture in green condition.

### **Publications of the Society of Forestry in Finland:**

ACTA FORESTALIA FENNICA. Contains scientific treatises dealing mainly with forestry in Finland and its foundations. The volumes, which appear at irregular intervals, generally contain several treatises.

SILVA FENNICA. Contains essays and short investigations mainly on forestry in Finland. Published at irregular intervals.

### **Die Veröffentlichungsreihen der Forstwissenschaftlichen Gesellschaft in Finnland:**

ACTA FORESTALIA FENNICA. Enthalten wissenschaftliche Untersuchungen vorwiegend über die finnische Waldwirtschaft und ihre Grundlagen. Sie erscheinen in unregelmässigen Abständen in Bänden, von denen jeder im allgemeinen mehrere Untersuchungen enthält.

SILVA FENNICA. Diese Veröffentlichungsreihe enthält Aufsätze und kleinere Untersuchungen vorwiegend zur Waldwirtschaft Finnlands. Sie erscheint in zwangloser Folge.

### **Publications de la Société forestière de Finlande:**

ACTA FORESTALIA FENNICA. Contient des études scientifiques principalement sur l'économie forestière en Finlande et sur ses bases. Paraît à intervalles irréguliers en volumes dont chacun contient en général plusieurs études.

SILVA FENNICA. Contient des articles et de petites études principalement sur l'économie forestière de Finlande. Paraît à intervalles irréguliers.