

TUTKIMUKSIA  
KOIVUPUUN ANATOMISEN RAKENTEEEN  
JA TEKNILLISTEN OMINAISUUKSIEN  
KESKINÄISESTÄ RIIPPUVAISUUDESTA  
SOLUMITTAUKSIEN PERUSTEELLA

PAUL WALLDÉN

*UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE ABHÄNGIGKEIT DER  
TECHNISCHEN EIGENSCHAFTEN VOM ANATOMISCHEN BAU  
DES BIRKENHOLZES NACH ZELLENMESSUNGEN*

SISÄLLYSLUETTELO.

	Sivu
Johdanto .....	3
Koivupuun anatoominen rakenne .....	5
Aikaisemmat tutkimukset puun anatoomisen rakenteen ja teknillisen laadun keskinäisestä riippuvaisuudesta .....	7
Tutkimusaineisto .....	12
Solukkomittauksissa käytetyt tutkimusmenetelmät .....	13
Saavutetut tulokset .....	18
Libriform-solujen pituuden vaikutus koivupuun teknillisiin ominaisuuksiin .....	18
Putkiloiden osuuden vaikutus koivupuun teknillisiin ominaisuuksiin .....	26
Päätelmiä .....	33
Kirjallisuus, mihin on viitattu .....	34
<i>Deutsches Referat</i> .....	37

JOHDANTO.

Puun anisotroopisen rakenteen tärkein käytännöllinen ilmenemismuoto on sen erilainen suhtautuminen deformatiiviseen voimaan, kun voima suunnataan puukappaleeseen vuorotellen kultakin kolmelta pääsuunnalta. Syy tähän ilmiöön on haettava puun anatoomisesta rakenteesta. — Jos puuta tarkastellaan mikroskoopilla pääsuuntien, pitkittäisen, säteettäisen ja tangentialisen suunnan mukaisesti, nähdään, että puun muodostavat suurimmalta osalta pitkänomaiset solut, joiden seinämät ovat puutuneet, ja jos solujen tehtävä on nimenomaan puuvarren tukeminen, seinämät ovat lisäksi paksuntuneet.

Koska näiden, varsinaisten tukisolujen, rakenteen ja koon on huomattu ratkaisevasti vaikuttavan puun teknillisiin ominaisuuksiin (vrt. esim. SCHWARZ 1892 s. 101), ovat tutkimukset, joiden avulla on selvitetty näiden puun mekaanisesti tehokkaiden elementtien mittasuhteita, omiaan luomaan valaistusta puun eri teknillisten ominaisuuksien vaihtelua aiheuttaviin seikkoihin (vrt. myös JALAVA 1933 ss. 16 ja 17). Niinpä SCHWARZ pitää solurakenteessa puun lujuusominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä tärkeimpinä seuraavassa lueteltuja seikkoja:

solujen paksuseinäisyys,  
soluseinämien laatu, niiden vesipitoisuus,  
solujen muoto ja niiden keskinäinen yhteys sekä  
mekaanisesti tehokkaiden elementtien jakautuminen.

Paitsi lujuusominaisuuksiin, näiden tukisolujen l. sklerenkymien (STRASBURGER etc. 1921 s. 52) luonne vaikuttaa myös ominaispainoon. Milloin sklerenkymit ovat kapean sukkulamaisia, niitä kutsutaan

sklerenkymikuiduiksi. Ne aiheuttavat puun veto-, taivutus- ja leikkauslujuuden. Tukisolujen suhteellisesta osuudesta taas riippuu puun ominaispaino ja kovuus (ks. BÜSGEN 1897 s. 77). Mm. BAUMANN on tutkinut tukisolujen lujuusominaisuuksia ja todennut, että puusyiden vetolujuus on parhaissa tapauksissa jopa 3,843 kg/cm<sup>2</sup>, mikä vastaa likipitään valuraudan vetolujuutta (BAUMANN 1922 s. 92. alav. 1).

Kuitenkaan eivät ainoastaan lujuuskysymykset ole johtaneet panemaan toimeen puusolujen koon määräyksiä, vaan lisäksi on tullut puun käyttö paperin valmistuksessa raaka-aineena, jolloin puukuitujen pituus ja piteuden vaihtelut sekä piteuden ja paksuuden välinen suhde ovat ensiluokkaisen arvokkaita tietoja (vrt. KINMAN 1923 s. 218).

Koivulla, jota seuraava tutkimus koskee, ei ole toistaiseksi ollut sanottavaa merkitystä paperiteollisuuden raaka-aineena, mutta sitä laajemman käytännön se on saavuttanut lujuutta vaativissa mitä erilaisimmissa puukonstruktioissa. Sen tähden kiinnitetään tässä yhteydessä huomio yksinomaan koivun laatuominaisuuksien niihin puoliin, jotka tekevät sen arvokkaaksi rakennuspuuksi. Käsillä olevan tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, minkälainen riippuvaisuussuhde vallitsee koivupuun puusyiden piteuden sekä mekaanisesti tehottomien putkiloiden suhteellisen osuuden ja taivutuslujuuden sekä ominaispainon välillä.

Siinä tarkoituksessa toimitettiin kaikkiaan 4,091 puusyiden pituusmittausta ja tutkittiin putkiloiden prosenttinen osuus 40 koekappaleesta. Mittaukset toimitettiin Helsingin yliopiston metsäteknologisen laitoksen laboratoriossa. — Solujen pituusmittauksista teki suurimman osan ylioppilas EINO KIVILAHTI ja putkilomääräykset metsänhoitaja TH. WEGELIUS. Käytän tilaisuutta lausuakseni heille tarkkuutta vaativasta työstään sulimmat kiitokseni.

Erityisesti haluan kiittää opettajaani ja esimiestäni professori I. LASSILAA häneltä saamistani arvokkaista neuvoista ja opastuksista.

Tutkimus on laadultaan edeltävä, mihin viittaa käytetyn aineiston suppeuskin, mutta koska minulle tarjoutuu tässä mahdollisuus selostaa kehittämiäni, aikaisemmista poikkeavia mittausmenetelmiä, katson olevan syytä jouduttaa kertyneiden tulosten julkaisemista.

#### KOIVUPUUN ANATOOMINEN RAKENNE.

Jälempänä esitettyjen tutkimustulosten valaisemiseksi on syytä lyhyesti tutustua koivupuun sisäiseen rakenteeseen. HARTIGIN (1898 s. 32—33) mukaan koivupuun muodostunut putkiloista, libriformsoluista, tylppysäikeistä ja puutylppysoluista. Näistä ovat putkilot sekä ydinsäteissä olevat puutylppysolut johtosolukkoa, eikä niille ole jäänyt minkäänlaista lujittavaa ominaisuutta, vaan päinvastoin niiden seinämät on ennenkaikkea tarkoitettut helposti nesteitä läpäiseviksi, ja sitä tarkoittaen ne ovat ohuet ja täynnänsä huokosia. Putkiloiden vahvistava merkitys saattaa kuitenkin siinä tapauksessa olla havaittava, että ne ovat nesteen täyttämiä, ja kun nesteessä erilaisen liuosväkevyyksien johdosta osmoottinen paine kohoaa (vrt. JOST 1904 s. 85). Koivun putkilot ovat hajallaan kautta vuosirenkaan saattaen korkeintain olla vähän tiheämmässä vuosirenkaan kevät-puosassa kuin kesällä muodostuneessa puussa. Ne ovat useimmissa tapauksissa säteen suuntaisesti rivittyneinä, 2—5 putkiloa kussakin ryhmässä, ja yksittäisetkin putkilot ovat tavallisesti säteen suuntaan leveämpiä kuin tangentin suuntaan. STAUFFER (1892 s. 157) on havainnut, että tarkasteltaessa puun poikkipintoja eri korkeuksilta, yksittäiset putkilot vähenevät samalla kuin ryhmittyneet lisääntyvät siirryttäessä tyvestä latvaan, ja samalla kasvaa myöskin putkiloiden lukumäärä ryhmässä. Niinpä putkiloryhmässä 1.3 m:n korkeudella harvoin on enempää kuin 3 jäsentä, kun sen sijaan n. 8 m:n korkeudessa useimmissa ryhmässä on jäsenten lukumäärä 4—5.

Libriform-solut l. puusyyt ja tylppysäikeet ovat koivupuun varsinaisia tukisoluja (ks. HEMPEL und WILHELM 1889 s. 13), joiden seinämät lujuuden lisäämiseksi ovat puutuneet ja paksuntuneet.

Tämä on omiaan lisäämään puun taivutus- ja puristuslujuutta sekä kovuutta. Vetolujuuteen kasvikuittujen puutuminen sitä vastoin vaikuttaa vähentävästi, kuten SONNTAG (1892 s. 869) on osottanut.

Koivun vuosirenkaiden rajan muodostaa 3-4-rivinen kerros säteen suuntaan litistyneitä puusyytiä. Sitäpaitsi yhdinsäteiden soluista, jotka ovat vain pari kertaa leveyttään pitempiä, vaakasuoraan suuntautuvia soluja, ne jotka sattuvat rajavyöhykkeeseen, ovat jääneet lyhyiksi ja samalla levinneet. Milloin putkilorivi on vuosirenkaan rajalla, senkin rajavyöhykkeeseen sattuvat jäsenet ovat voimakkaasti säteen suuntaan litistyneet, mutta päinvastoin kuin yhdinsädesolut huomattavasti tangentin suuntaan kavenneet. Rajavyöhykkeen toisella puolella putkilot taas saavuttavat tavallisen laajuutensa.

Koivun libriform-solut ovat mitoiltaan kuta kuinkin samaa suuruusluokkaa, kuin muidenkin kovien lehtipuiden vaihdellen niiden keskimääräinen pituus STAUFFERIN mukaan (1892 s. 160 ja s. 161 taul. 5) 0.81—1.19 mm. WELLS ja RUE (1927 s. 53) ovat tutkineet useiden amerikkalaisten puiden kelpaavaisuutta paperipuuksi ja siinä yhteydessä ilmaisevat niiden kuitupituuden. Kahden amerikkalaisen koivulajin, *Betula papyrifera* ja *B. lutea* n kuitupituuden keskiarvoksi on tullut: edellisen 1.2 mm ja jälkimmäisen 1.5 mm. Libriform-solujen suurin läpimitta vaihtelee summittaisten mittausteni mukaan 0.01—0.025 mm. Niiden seinämien paksuus vaihtelee STAUFFERIN mukaan suuresti riippuen mittauskohdan etäisyydestä maasta puun kasvaessa. Puun tyvässä ja sisinnä puuta keskimääräinen seinämien paksuus vaihtelee 0.0026—0.0029 mm, mutta puun latvaosissa se saattaa kohota 0.0033—0.0043 mm. Tylppysäikeet ovat yleensä sekä tehtäviltään, että mitoiltaan niin libriform-solujen kaltaisia, että yllämainitut mitat pitävät suurin piirtein paikkansa niihinkin nähden. Tylppysäikeitä koivulla on yleensä niukasti, ja niiden lukuisuus vähenee vielä havaintojeni mukaan siirryttäessä puun pintaosista sydämeen päin. Samanlaisen tulokseen on tullut myöskin STAUFFER (1894 s. 161).

Koivun putkiloiden pituus on STAUFFERIN mukaan suurempi nuorena puussa kuin vanhassa, siis myöskin puun sisäosissa suurempi kuin pinnalla vaihdellen 0.42—0.60 mm (STAUFFER 1892 s. 162). Koi-

vun putkiloiden läpimitan oikea määrääminen on vaikeanlainen tehtävä, koska putkilot aivan ani harvoin ovat ympyrän muotoisia poikkileikkaukseltaan, jolloin luonnollisestikaan eri suuntiin mitattujen läpimittojen aritmeettinen punnitsematon keskiarvo ei pidä paikkaansa eikä ilmaise läpimittaa, joka vastaisi putkiloiden keskimääräistä poikkileikkauspinta-alaa ympyräksi muunnettuna. Kirjallisuudesta tavattavilla keskimääräisillä luvuilla ilmeisesti kuitenkin tarkoitetaan juuri siten saatuja arvoja. Putkiloiden, etenkin yksittäisten putkiloiden poikkipinnat näet muistuttavat eniten ellipsiä ja kuten tunnettua ellipsin pinta-ala saadaan lausekkeesta  $\pi \frac{ab}{4}$ , missä  $a$  ja  $b$  ovat ellipsin lyhin ja pisin halkaisija. Halkaisijoiden keskiarvo kelpaa ellipsin pinta-alaa vastaavan ympyrän likimääräiseksi halkaisijaksi vain, jos  $a$  ja  $b$  ovat kutakuinkin yhtäsuuret. Niin ei kuitenkaan koivun putkiloiden poikkipintojen suhteen ole laita, vaan tavallisesti ne ovat huomattavan pitkänomaisia poikkileikkaukseltaan. Oikein tapa keskimääräisen läpimitan lausumiseksi ilmeisesti siis olisi määrätä putkiloiden poikkipintojen keskimääräinen pinta-ala ja laskea siitä vastaava keskimääräinen halkaisija, t.s. ilmaista putkiloiden läpimittojen keskiarvo poikkileikkauksen pinta-alalla punnittuna. — STAUFFERIN mukaan (1892 s. 162) ja edellä sanottu huomioon ottaen putkiloiden läpimitta koivulla vaihtelee 0.056—0.086 mm. STAUFFER on lisäksi havainnut, että putkiloiden keskimääräinen läpimitta samalla korkeudella suurenee puun iän lisääntyessä mutta pienenee siirryttäessä tyvestä latvaa kohti. BÜSGEN mainitsee suunnilleen samanlaisen keskimääräisen leveyden koivun putkiloille, nim. 0.085 mm (1897 s. 77).

#### AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET PUUN ANATOOMISEN RAKENTEEN JA TEKNILLISEN LAADUN KESKINÄISESTÄ RIIPPUVAISUUDESTA.

STAUFFERIN tutkimus (1892), johon on aikaisemmin viitattu, on tietääkseni tähän asti ainoa tutkimus, jossa on selvitelty mittauksien perusteella, millainen on koivupuun sisäisen rakenteen vaikutus puun

teknillisiin laatuominaisuuksiin. Koska alottamani tutkimus joutuu täydentämään hänen saavuttamia tuloksia, katson asialliseksi tässä lyhyesti esittää tärkeimmät kohdat hänen tutkimuksistaan.

STAUFFER on tutkimukseensa käyttänyt koekappaleita 5 koe-puusta. Puut ovat vaihdelleet sekä iältään että pituudeltaan. Koekappaleiksi on sahattu kiekot joka 2.2 m:n päästä alkaen 1.3 m:n korkeudesta. Kiekkojen poikkipinta on jaettu 3 vyöhykkeeseen 1. jaksoon, joista 1. jakso, jota STAUFFER kutsuu »vanhimmaksi jaksoksi» ja joka todellisuudessa on nuorin, käsittää 10 ulointa vuosilustoa; 2. jakso, »lähinnä vanhin» käsittää seuraavat 20 lustoa; 3. jakso jäljelle jäävän kiekon sisuksen ytimeen saakka (ss. 147, 148). Eri jaksoista hän on sen jälkeen ottanut koepalaset ja määrännyt niiden ominaispainon absoluuttisesti kuivana. Jokaisesta koepalasesta on tämän jälkeen toimitettu mikroskooppisesti libriform-solujen keskimääräisen pituuden ja seinämien keskimääräisen paksuuden määräys. Lisäksi on mitattu putkiloiden keskimääräinen leveys, pituus, lukumäärä mm<sup>2</sup> kohti sekä yhteenlaskettu poikkileikkauspinta-ala mm<sup>2</sup> kohti l. siis putkiloiden %-osuus. Mittausten lukumäärää STAUFFER ei ole julkaisussaan maininnut, joten keskiarvojen kritikoiminen keskimääräisten virheiden perusteella käy mahdottomaksi.

STAUFFER esittää täydelliset tiedot ainoastaan ensimmäisestä koe-puustaan (Stamm A), joten katson riittäväksi sen, että toistan hänen saavuttamansa tulokset mainitun koepuun kohdalta, erittäinkin, koska muista koepuista saatujen lukujen tarkastelu johtaa aivan samoihin päätelmiin, kuin tästäkin. Seuraavalla sivulla olevaan taulukkoon on kerätty tärkeimmät tulokset STAUFFERIN julkaisussa (ss. 155, 161, 162) olevista taulukoista 4, 5 ja 6.

Taulukosta nähtävästä tulossarjasta käy ilmi, että täysin kuivan koivupuun ominaispaino kasvaa puun sisäosista pintaa kohti mutta pienenee tyvestä latvaan päin; samalla luonnollisesti suurenee libriformsolujen seinämien paksuus, mistä ominaispaino on suoranaisesti riippuvainen, sillä putkiloiden %-osuus ei vaihtele siinä määrin, että sen vaikutus olisi ratkaiseva. Kuitenkin on pantava merkille, että putkilo-

TAULUKKO I. — TABELLE I.

Koekiekon korkeus maasta, m Baumhöhe in m.	Jakson n:o Periode n:o	Ominaispaino absol. kuivana Spez. Trockengewicht	Librif.-solujen pituus, mm Länge d. Librif.-fasern in mm.	Putkiloiden läpimitta, mm Durchmesser d. einf. Gefässe in mm.	Putkiloiden osuus poikkipinnasta, % Anteil d. Gefässe a. d. Querfläche in %
1.3	1	0.747	1.19	0.086	21.5
	2	0.721	1.02	0.067	
	3	0.682	0.87	0.066	
3.5	1	0.705	1.11	0.072	24.1
	2	0.697	1.08	0.064	
	3	0.644	0.90	0.061	
5.7	1	0.693	1.14	0.074	24.6
	2	0.664	0.94	0.062	
7.9	1	0.687	1.08	0.071	25.2
	2	0.674	0.97	0.066	
10.1	1	0.636	0.93	0.064	26.2
12.3	1	0.558	0.88	0.056	24.2

den osuus poikkipinnasta kasvaa puun tyvestä latvaa kohti. Sitä vastoin huomataan, että putkiloiden keskimääräinen läpimitta pienenee tyvestä latvaa kohti, mutta suurenee puun sisäosista pintaa kohti.

Libriform-solujen keskimääräisen pituuden ei ilman muuta voisi otaksua tuntuvan ominaispainossa, mutta kuitenkin nähdään taulukosta, että libriform-solujen keskimääräinen pituus suurenee puun sisäosista pintaa kohti ja tyvestä latvaa kohti seuraten niin ollen ominaispainon kehitystä.

HARTIG, jonka oppilas STAUFFER on ollut, on tutkinut tämän ominaisuuksia ja siinä yhteydessä kiinnittänyt huomionsa myös puun sisäisen rakenteen merkitykseen puun teknillisiä ominaisuuksia arvosteltaessa. Koska HARTIGilla lienee suurimmat ansiot tämän tapaisissa tutkimuksissa käytettävien tutkimusmenetelmien kehittämisessä, esitän tässä myöskin hänen tutkimuksistaan sellaiset koh-

dat, joiden katson luovan valaistusta käsissä olevan tapaisiin tutkimuksiin yleensä.

HARTIG on tutkimuksissaan (1894 s. 195) tullut siihen tulokseen, että lehtipuun anatoomisen rakenne ja sitä noudattaen ominaispaino ovat riippuvaiset puusta tapahtuvan veden haihdunnan määrän ja puun kasvun välisestä suhteesta, mutta ei sinänsä vuosirenkään leveydestä. Tämän otaksunan tukena hän on käyttänyt vertailuaineistoa, josta on käynyt ilmi, että puu, jolla latvuksen alkupiste on lähinnä maanpintaa, edustaa pienempää ominaispainoa kuin puut, joiden latvus alkaa ylempää, ja että latvuksen alkupisteen siirtyessä ylemmäksi ominaispaino suurenee. Tällöin on ollut vertailtavina suunnilleen samanikäisiä ja -kokoisia sekä yhtä nopeasti kasvaneita puita. Haihdunnan määrä on lehtipuulla putkiloiden osuuden kanssa korrelatiossa, ja siitä syystä HARTIG pitääkin putkiloiden osuuden selvittämistä tärkeänä osana puun laatututkimuksista (ks. 1894 s. 180). Tätä seikkaa valaistakseen hän on määrännyt putkiloiden ja muidenkin elementtien osuuden poikkileikkaus-pinnasta eri ikäkausina. Tällöin hän on menetellyt siten, että hän on tuntien mikroskoopin näkökentän suuruuden mm<sup>2</sup>:issä laskenut 10 perättäisestä näkökentästä putkiloiden lukumäärän mm<sup>2</sup> kohti. Sen jälkeen hän on määrännyt putkiloiden keskimääräisen läpimitan mittaamalla läpimitan 30 putkilosta kutakin vuosirengasta kohti ja laskemalla niiden aritmeettisen keskiarvon. Tätä menetelmää vastaan sopii huomauttaa perustein, jotka olen aikaisemmin (s. 7) esittänyt. Mittaustensa tuloksena hän on päätenyt m.m. jälempänä olevaan taulukkoon II, josta osaltaan käy ilmi tammipuun eri elementtien %-osuuden ja ominaispainon vaihtelu eri ikäkausina (ks. HARTIG 1894 s. 195).

Taulukosta II nähdään, että iän lisääntyessä tammipuun ominaispaino vähenee, samoin, kuten ymmärrettävää onkin, tukisolukon osuus. Sen sijaan lisääntyy niin putkiloiden kuin tylppysäikeidenkin osuus.

Lisäksi HARTIG on tutkinut, millainen tammipuun libriform-solujen pituus on sekä eri ikäkausina että eri korkeuksilla maasta lukien, ja tullut siihen tulokseen, että sklerenkymisolujen pituus suurenee iän

TAULUKKO II. — TABELLE II.

Ikä, v. <i>Baumalter</i>	Putkiloiden %-osuus %-Anteil d. <i>Gefäße</i>	Tylppysäikeiden %-osuus %-Anteil d. <i>Tracheidenzüge</i>	Sklerenkymien %-osuus %-Anteil d. <i>Sclerenchymen</i>	Ominaispaino <i>Spez. Gewicht</i>
0—66	8.6	29.0	62.1	0.706
66—106	10.7	35.7	53.6	0.639
106—146	13.1	49.6	37.3	0.563
146—186	14.3	52.5	33.2	0.550
186—226	19.6	56.9	23.5	0.522
226—246	20.9	62.3	16.8	0.470

varttuessa vaihdellen (HARTIG 1894 s. 182, taul. XI) siten, että 8 vuoden iällä trakeiden pituus on keskim. 0.56 mm ja libriform-solujen 0.70 mm nousten  $\pm$  tasaisesti iän kasvaessa, niin että se 246 vuoden iässä on vastaavasti 0.77 mm ja 1.20 mm.

Korkeus maasta tuntuu siten (ibidem s. 183, taul. XII), että trakeidien pituus oltuaan 1.3 m:n korkeudessa 0.77 mm laskee 27.7 m:n korkeuteen siirryttäessä 0.54 mm:iin. Samanlaisen kehityksen havaitaan olevan libriform-soluilla, joiden pituus 1.3 m:n korkeudessa on 1.20 mm ja laskee siitä 27.7 m:n korkeuteen siirryttäessä 0.82 mm:iin.

HARTIG on sklerenkymien mittauksessa kustakin koepalasta määrännyt 20—30 solun pituuden, mutta pitää tätä tulosten tarkkuuden kannalta liian pienenä lukumääränä ja ehdottaa (1894 s. 181) kaksinkertaista määrää — 40—60 kpl.

Samoin kuin tammien tukisolut punapyökinkin libriform-solut lyhenevät HARTIGin mukaan (1891 s. 291) melko tasaisesti tyvestä latvaan päin, mutta nuoren punapyökkin libriform-solut ovat (HARTIG 1901 s. 14) miltei puolta pienemmät kuin täysi-ikäisen, mutta samalla putkiloiden keskimääräinen läpimitta samoin kuin tammellakin kohoa iän mukana ollen nuorella iällä n. 0.001 mm ja vanhana 0.0035 mm.

HARTIG on tutkinut myöskin kuusen vesisolujen pituuden vaihteluja ja havainnut, että vesisolujen pituus suurenee tasaisesti puun sydäimestä pintaa kohti. Seurattaessa trakeidien pituuden vaih-

teluja tyvestä latvaan huomataan, että pituus aluksi tasaisesti suurenee n. 9 m:n korkeuteen asti, mutta pienenee tämän jälkeen aina latvaan saakka, vaikkakin hitaasti (ks. HARTIG 1892 s. 323). Kuusta on hänen lisäkseen tutkinut mm. HELANDER joka tutkimuksensa, »Kuusen ja männyn vesisolujen pituusvaihtelut», on tullut melkolailla samanlaisiin tuloksiin kuin HARTIGkin. Hänen laajat tutkimuksensa osoittavat, että sekä kuusen että männyn iän lisääntyessä kasvupaikasta ja maanlaadusta riippumatta trakeidit tulevat yhä pitempiä, ja pitenemistä jatkuu aina 60—100 ikävuoteen saakka, jolloin pituusarvo on maksimi, trakeidit käyvät tämän jälkeen lyhemiksi (1933 s. 37). Pituuskasvu vaikuttaa tavalla, joka suuresti muistuttaa iän vaikutusta: trakeidit pitenevät tyvestä latvaa kohti saavutuksen maksimi-pituutensa korkeudessa, joka on n. 50—60 % puun koko pituudesta (s. 45). Sitäpaitsi HELANDER on tutkinut kuitujen pituutta erikseen kuusen ja männyn kevät- ja kesäpuussa ja saanut sen tuloksen, että trakeidien pituus on suurempi kesä- kuin kevätpuussa (ks. s. 41).

#### TUTKIMUSAINEISTO.

Tutkimukseni pohjana olen käyttänyt 2 koivuaineistoa, joista toinen aineisto, jolla pääasiassa olen selvittänyt libriform-solujen pituuden ja puuaineen teknillisten laatuominaisuuksien, ominaispainon ja taivutuslujuuden, välistä korrelatiota. Aineisto käsittää 20 samanikäistä (55 v.), samassa metsikössä Keski-Suomessa kasvanutta hieskoivua, joista on samalta korkeudelta (6 m) otettu koepölkkyt. Näistä on valmistettu kustakin 4 koesalkoa taivutuslujuuden määrittämistä varten. Taivutuskokeen tapahduttua on jokaisesta koesalosta sahattu kuutiomainen koekappale ominaispainon ja kosteuspitoisuuden määrittämistä varten. Lisäksi on varattu kappaleet mikroskooppista tutkimusta varten. Koesalot otettiin siten, että kustakin koepölkystä tuli 2 salkoa mahdollisimman läheltä puun ydintä, ja ne merkittiin koepuun numeron jälkeen tulevalla merkillä S I tahi N I riippuen siitä, oliko kysymyksessä pölkyn etelä- vaiko pohjoispuolesta. Toiset 2 koe-

salkoa sahattiin mahdollisimman läheltä puun pintaa ja ne saivat koepuu-numeronsa jälkeen vastaavasti merkit S II tahi N II.

Toinen aineisto käsitti 1 puun, joka käsittelyssä on saanut numeron 21. Tämä koepuu kaadettiin Etelä-Suomesta, läheltä Helsinkiä, ja se kasvoi suunnilleen saman hyvyysluokan maalla kuin edellisetkin koepuut. Tästä sahattiin 4 koepölkkyä silmällä pitäen samoin kuin aikaisemmin taivutuslujuuden määrittämiseen tarvittavien koesalkojen saantia. Koepölkkyt sahattiin siten, että ensimmäinen pölkky sahattiin 0.45 m:n korkeudelta, seuraava pölkky sahattiin 3 m:n korkeudesta, sitä seuraava 6 m:n ja viimeinen 9 m:n korkeudelta. Mainitut korkeudet osoittavat korkeutta, millä koepölkkyjen tyvipäät puun kasvaessa olivat. Näistä koepölkkyistä käytettiin vain pintaosat tässä tutkimuksessa käsiteltävien seikkojen selvittämiseen. Kustakin pölkystä näet sahattiin pohjois- ja eteläpuolelta taivutuslujuuden määrittämiseksi salot mahdollisimman läheltä puun pintaa. Pölkkyt numeroitiin tyvestä lukien roomalaisilla numeroilla I, II, III ja IV, ja etelän puoleinen salko sai numeron jälkeen merkin S pohjoispuoleisen saadessa vastaavasti merkin N, joten esim. 0.45 m:n korkeudelta peräisin oleva etelän puoleinen koesalko sai merkinnän: 21 I S. Kun koepuiden taivutuslujuus ja ominaispaino absol. kuivana oli määrätty ja lujuus muunnettu vastaamaan 15 %:n kosteuspitoisuutta, toimitettiin kustakin koesalosta irrotetusta kappaleesta mikromittaukset.

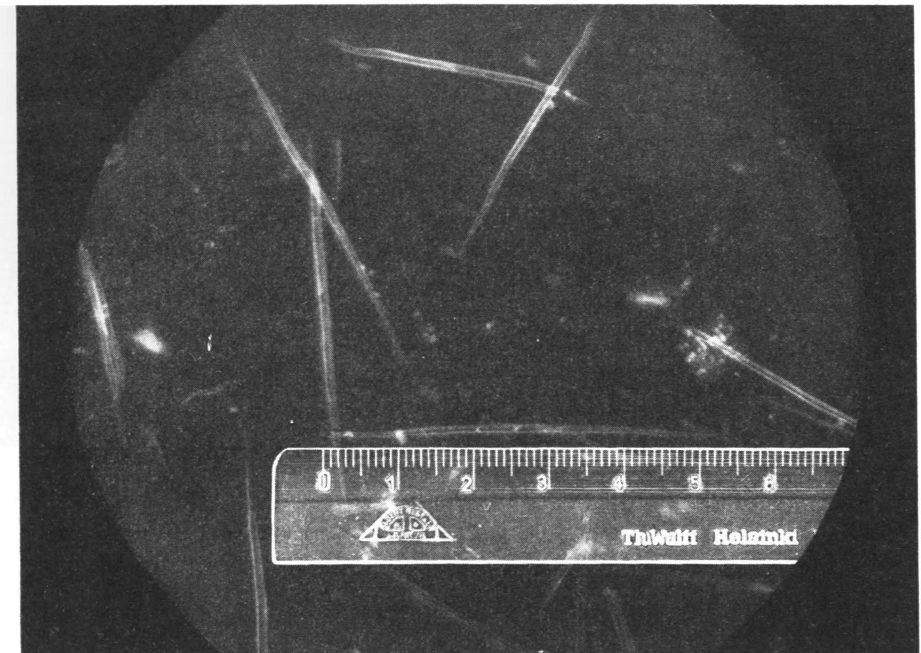
#### SOLUKKOMITTAUKSISSA KÄYTETYT TUTKIMUSMENETELMÄT.

Libriform-solujen pituuksien mittaamiseksi koesaloista irroitettut, n. 1 × 3 × 30 mm:n suuriset tikut maseroitiin tunnetulla SCHULZEN maseroimisliuoksella (ks. esim. ZIMMERMANN 1897 s. 67). Maseroitaessa otettiin varteen huomautukset, jotka HARTIG (1894 s. 181) on tehnyt. Maseroimisen jälkeen irtautuneet solut huuhdottiin vedessä, jolloin voimakas vesisuihku toimitti solujen irrottamisen niin täydellisesti, että ei juuri tarvinnut muita työvälineitä käyttää. Soluja

sisältävää nestettä nostettiin melko suuri määrä objektilasille ja annettiin veden haihtua. Tällöin tuli lasille niin suuri määrä soluja, että yhdestä ainoasta preparaatista voitiin tehdä riittävän monta mittausta, vieläpä oli soluja runsaasti ylikin sen määrän, mikä katsottiin tarpeelliseksi mitata, eikä niin ollen ollut juuri pelkoa, että mitatut solut kaiken edellä kuvatun käsittelyn jälkeen edustaisivat liian pientä osaa maseroitavasta kappaleesta. Kun preparaatti oli kuivunut, vesi korvattiin sopivan suuruisella glyseriinipisaralla, samalla kun peitinlasi asetettiin paikoilleen. Solujen värjäys mittausta varten havaittiin tarpeettomaksi — ainoastaan valokuvausta varten värjättiin solut aniliinisulfaatilla.

Solujen mittaus tapahtui projektiomikroskoopilla, jonka avulla mikrokuva voitiin projisoida alustalle ja siinä toimittaa solujen pituusmääräykset käyttäen tavallista millimetrijaotuksella varustettua mittaviivotinta. Mikroskoopin toiminta perustuu siihen, että siinä valon lähteenä on voimakasvaloinen sähkölamppu, jonka hehku-langat on koottu mahdollisimman pieneen tilaan (n.  $2 \times 2 \times 2$  mm), joten valolähde on lähimain pistemäinen. Tästä valo kulkee objektii-  
vin kautta ja preparaatin lävitse okulaariin, jonka eteen asetetulle varjostimelle objektin kuva piirtyy. Suurennuksen määrää voidaan säätää paitsi vaihtamalla objektii-  
veja ja okulaareja myöskin loitontamalla varjostinta okulaarista. Kun lisäksi mikroskoopin teline tekee mahdolliseksi suunnata kuvan suoraan alaspäin, esim. pöydällä olevalle valkealle alustalle, käy mittausten suorittaminen ilmeisen mukavaksi toimitukseksi. Menetelmä vaatii himmeän valaistuksen työhuoneessa, eikä täydellistä pimeyttä, mikä osaltaan helpottaa muis-  
tiinpanojen tekemistä.

Kun sopiva suurennus on objektiivilla ja okulaarilla saatu muodostumaan pitäen silmällä sitä, että tarkasteltavasta preparaatista sopiva määrä elementtejä kerrallaan sattuu näkökenttään, sovitaan suurennus vielä objektimikrometriä käyttäen ja säätämällä okulaarin ja alustan etäisyys sopivaksi sellaiseen mittakaavaan, kuin kulloinkin tuntuu edullisimmalta. Säätäminen tapahtuu siten, että alustalle asetetaan mittaviivotin — parasta käyttää tällöin viivotinta, jolla



Kuva 1.

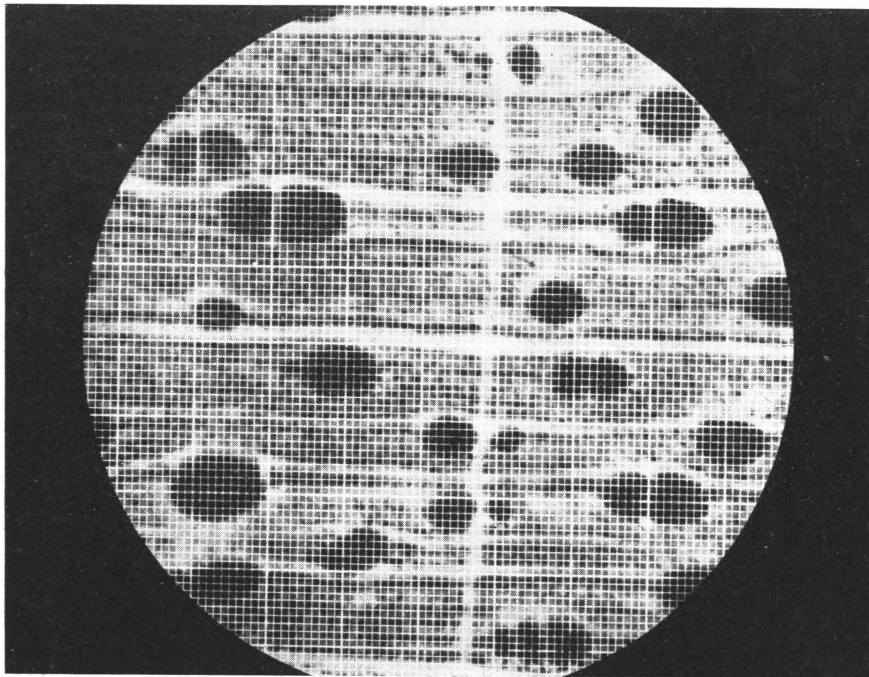
Abb. 1.

lopulliset mittaukset tapahtuvat, — ja mikroskooppia nostetaan tai lasketaan jalustassaan siksi, kunnes mikrometrin ja mittaviivotin asteikot käyvät yhteen.

Tässä tutkimuksessa esitetyt mittaukset on tehty käyttäen 50-kertaista suurennusta, joten siis mittaviivotin 5 cm vastasi 1 mm preparaatissa. Kun näkökentällä joka kerta oli kymmenkunta solua, kävi mittaaminen erittäin nopeasti vain siirtämällä mittaviivotinta solulta toiselle. Mitatut libriform-solut merkittiin lyijykynällä alustalle, jolloin välttyttiin mittaamasta samaa solua kahdesti. Mittausta esittää kuva 1, jossa nähdään osa näkökenttää sekä mittaviivotin ja muutamia soluja. Valokuvattu on selvyuden vuoksi sellainen kohta, missä soluja ei ole kovin tiheässä. Preparaattia siirreltiin mittauksen kestäessä siten, että sama kohta ei uudelleen tullut näkökenttään.

Ensimmäinen työ varsinaisessa mittaustoimituksessa oli sopivan





Kuva 2.  
Abb. 2.

luokkavälin määrittäminen. Tämä tapahtui siten, että toimitettiin kolme maseraatiota rakenteellisesti erilaisista koekappaleista, joiden solut mitattiin mahdollisimman tarkoin ja saatiin siten tietää, miten laajoissa rajoissa solujen pituus vaihteli. Tästä määrättiin luokkaväli siihen tapaan kuin CHARLIER on esittänyt (1920 s. 16). Sopivimmaksi luokkaväliksi havaittiin luonnollisessa mittakaavassa 0.1 mm, mita vastaa mittakaavassa, 50 : 1, luokkaväli 5.0 mm.

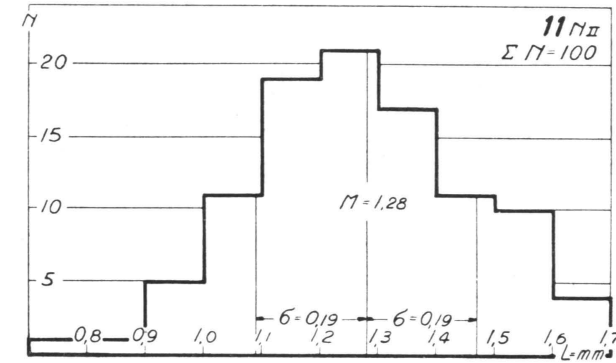
Mittaustuloksille, jotka saatiin keskimäärin 100 mittauksesta, laskettiin aritmeettinen keskiarvo, sen keskivirhe sekä dispersio ja sen keskivirhe. Dispersio  $\sigma$  korjattiin SHEPPARDIN korrektiolla, jolloin korjattu dispersio  $\sigma_h$  sai arvon.

$$\sigma_h = \sqrt{\sigma^2 - \frac{w^2}{12}}$$

) 344 (

missä  $w$  = luokkaväli (vrt. LÖNNROTH 1925 s. 101). Käytetyt matemaattis-tilastolliset menettelytavat ja kaavat lienevät siksi yleisesti tunnettuja, etten katso tarpeelliseksi niitä tässä toistaa, vaan viittaan alaa koskevaan runsaaseen kirjallisuuteen.

Piirros (kuva 3) esittää tyypillistä libriform-solujen pituuden jakautumista pituusluokkiin.



Kuva 3.  
Abb. 3.

Seuraava tehtävä, putkiloiden keskimääräisen poikkileikkauspinnan suuruuden ja putkiloiden yhteisen poikkipinnan osuuden määrääminen, tapahtui preparaateista, jotka saatiin koesaloista leikkaamalla tavalliseen tapaan ohuita lastuja poikittaissuuntaan palasista, joita oli leikkaamisen helpottamiseksi liotettu muutamia vuorokausia 40 % -glyseriin ja 96 % -alkohoolin sekoituksessa, jossa oli yhtä paljon kumpaakin liuosta (vrt. STRASBURGER 1897 s. 43). Leikkaukset värjättiin aniliinisulfaatilla ja niistä tehtiin tavalliseen tapaan glyserini-preparaatteja.

Mittaus tapahtui tässäkin tapauksessa käyttäen projektiomikroskooppia. Tällä kerralla suurennus sovitettiin objektimikrometriä käyttäen 100-kertaiseksi ja putkiloiden pinta-ala mitattiin alanlaskupoletilla, jolloin poletin 1 mm<sup>2</sup> tuli vastaamaan 0.0001 mm<sup>2</sup>:ä luonnossa l. siis preparaatissa. Poletti käsitti 1 dm<sup>2</sup>:n alan ja sitä pidettiin koe-

) 345 (

alana, josta mitattiin kaikki siihen sattuvat putkilot ja putkiloiden osat, jolloin putkiloiden %-osuus saatiin yksinkertaisesti kymmenyspilkkaa siirtämällä putkiloiden yhteenlasketun pinta-alan lukuarvosta. Jotta poletin ympärille sattuva osa projisioituvasta kuvasta ei vaikuttaisi häiritsevästi, valkea alusta peitettiin himmeällä, mustalla paperilla, johon oli leikattu  $1 \text{ dm}^2$ :n suuruinen, neliömäinen aukko, jolle poletti asetettiin. Mittausmenetelmää valaisee kuva 2, johon on kuvattu osa erästä koealasta.

Menetelmä on melko lailla aikaa vievä mutta olisi kehittynyt paljon nopeammaksi, jos käytettävissä olisi ollut planimetri, jolloin tosin olisi täytynyt konstruoida eräitä lisälaitteita riittävän tarkkuuden aikaan saamiseksi. Sellaisenaankin mittaustapa on paljon joutuisampi, kuin esim. tapa, millä SONNTAG (1892 s. 844) on määrännyt soluseinämiä osuuden kasvikuodoksesta. Hän näet on käyttänyt sellaista menettelytapaa, että kudoksesta on piirretty mikroskoopin avulla suurennettu kuva kartongille, minkä jälkeen soluonteloiden kohdat on leikattu irti ja punnitsemalla määrätty niiden osuus kokopinnasta.

Jos käyttämäni tapaa edelleen verrataan esim. HARTIGIN menetelmään (ks. s. 10), niin mielestäni on ilmeistä, että olen menetelmälläni saavuttanut huomattavasti suuremman tarkkuuden ja varmuuden.

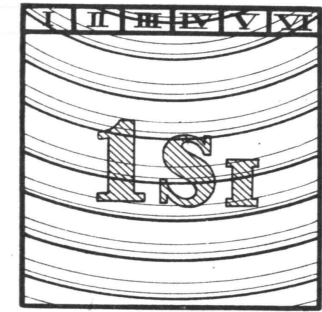
Tärkeimpänä parannuksena käyttämäni mittaustapaan esittäisin useamman kuin yhden koealan ottoa kustakin koepuusta, mikä rajoitetun käytettävissä olevan ajan takia tällä kerralla oli mahdollonta

#### SAAVUTETUT TULOKSET.

Libriform-solujen pituuden vaikutus koivupuun teknillisiin ominaisuuksiin.

Ensimmäisenä tehtävänä, ennen kuin voitiin ruveta päättämään eri anatoomisten tekijöiden merkitystä puun laadulle, oli selvittää, edustaako maseroidusta puukappaleesta saatu mittaustulos kyllin

todennäköisesti koko koekappaletta. Sen seikan selvittämiseksi irrotettiin koekappaleesta 1 S I rinnakkaiskokeiden tekemiseksi 6 maseratiopalasta siihen tapaan kuin kaaviollinen kuva 4 osoittaa. Kuvasta näkyy sitä paitsi, millaisille kohdille vuosirengasta kukin kappale on sattunut. Kuten kuvasta näkyy, palasiin on sattunut osia 3 vuosirenkaasta, vieläpä siten, että kaikki vuosirengaan kehityskaudet ovat kappaleissa edustettuina.



Kuva 4.

Abb. 4.

Saadut tulokset ovat nähtävissä taulukosta III, missä on tulokset kustakin rinnakkaiskokeesta ja sitä paitsi kaikkien rinnakkaiskokeiden keskimääräiset arvot, jolloin keskiarvoja laskettaessa painolukuina on käytetty havaintojen lukumäärää kussakin mittauksessa. Kunkin rinnakkaiskappaleen  $n$ :on kohdalle on merkitty %-luku, joka osoittaa, kuinka paljon siitä saatu solujen pituuden keskiarvo poikkeaa kokonaiskeskiarvosta. Taulukosta nähdään, että suurin poikkeus on  $+2.3\%$ , mikä vastaa  $0.02 \text{ mm}$ , mikä on sama kuin useimmin esiintyvä keskiarvojen keskivirhe. Taulukosta käy niin ollen ilmi, että libriform-solujen pituus ei sanottavasti muutu siirryttäessä vuosirengasta pitkin tangentin suuntaan.

Mitä tulee libriform-solujen pituuden vaihteluun säteittäisessä suunnassa koekappaleen edustamalla  $2 \text{ cm}$ :n matkalla, olen havainnut sekä säteen suuntaisista mikroleikkauksista että puheena olevien mittausten yhteydessä tehdyistä havainnoista, että säteen suuntaiset solurivit sisältävät näin lyhyellä matkalla kutakuinkin yhtä pitkiä soluja (vrt. myös HELANDER s. 26), joten olen olettanut, ettei sanottavaa virhettä synny, kun koekappaletta hyväksytään edustamaan yksi ainoa maseratiokappale. Tarkat tutkimukset, jotka täytyy jättää vastaisuuteen, osoittanevat, onko edellytykseni oikea. Tosin kuten tuonempana nähdään, libriform-solujen pituus ei ole sama puun sydämessä kuin pinnalla, mutta irrottamalla maseratiokappaleen joka koekappaleesta vastaavalta puolelta toivon saavuttaneeni keske-

nään verrannollisia tuloksia. Sitäpaitsi kukin koekappale edustaa niin pientä osaa puun poikkipinnan säteestä, että solupituuksien vaihtelu ei senkään takia voine olla kovin merkittävä.

TAULUKKO III — TABELLE III.

Rinnakkais- kappaleen n:o N:r d. Parallel- probestückes	Havaintojen lukumäärä Anzahl d. Messungen	Solujen keski- pituus mm Mittellänge d. Zellen in mm.	Pituuden keskivirhe mm Mittlerer Fehler d. Länge in mm	Maksimipituus mm Grösste Länge in mm	Minimipituus mm Kleinste Länge in mm	Dispersio mm Dispersion in mm	Dispersio keski- virhe mm Mittl. Fehler d. Dispersion in mm	Keski-arvojen poikkeus kokonais- keski-arvosta % Abweichung d. Mittellänge v. d. Gesamtmittel in %
I	102	0.89	± 0.01	0.55	1.25	± 0.16	± 0.01	+ 2.3
II	91	0.89	± 0.01	0.55	1.25	± 0.13	± 0.01	+ 2.3
III	104	0.87	± 0.01	0.55	1.15	± 0.12	± 0.01	± 0.0
IV	114	0.88	± 0.01	0.55	1.15	± 0.12	± 0.01	+ 1.1
V	109	0.86	± 0.01	0.55	1.15	± 0.12	± 0.01	- 1.2
VI	158	0.86	± 0.01	0.55	1.25	± 0.14	± 0.01	- 1.2
Koko aineisto Ganzes Material	678	0.87	± 0.01	0.55	1.25	± 0.13	± 0.00	± 0.0

Taulukosta IV on nähtävissä tulokset kokeesta, jolla on yhden koepuun eri korkeuksilta sahattujen koepölkkyjen avulla tahdottu selvittää, miten taivutuslujuus ja ominaispaino vaihtelevat eri korkeuksilla ja miten ne vuorostaan noudattavat libriform-solujen piteuden vaihteluja.

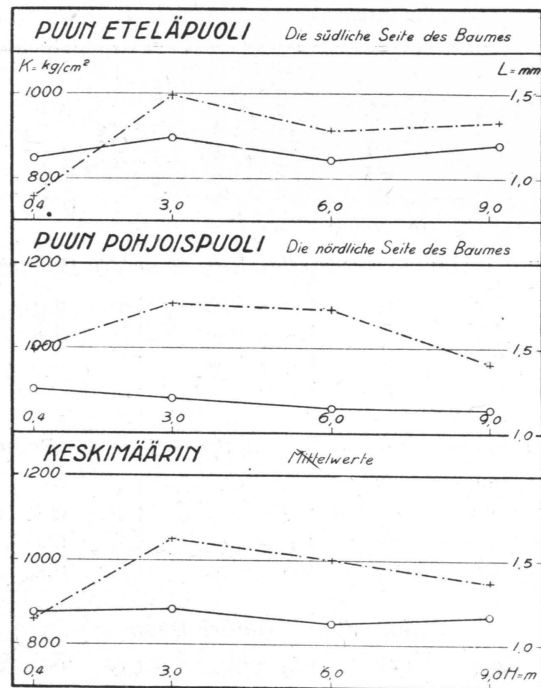
Kuten huomataan, puun eteläpuolella libriform-solujen piteusvaihtelut ja taivutuslujuuden vaihtelut seuraavat kuta kuinkin toisiaan, kun sen sijaan pohjoispuolella puuta on nähtävissä suurta horjuvaisuutta. Koko puulle kutakin korkeutta varten lasketut keskimääräiset arvot eivät nekään osoita erikoisen vakuuttavaa korrelatiota keskenään. Nämä seikat, jotka havainnollisemmin nähdään graafisesta piirroksesta (kuva 5), johtunevat puun sisäisen rakenteen muista vaikuttavista elementeistä, kuten esim. putkiloiden erilaisesta osuudesta, muodosta ja keskimääräisestä koosta (vrt. s. 3). Putkiloiden osuuden ja keskimääräisen koon mittaaminen, joka tällä keralla laimiin lyötiin, olisikin epäilemättä paljon valaissut asiaa.

TAULUKKO IV — TABELLE IV.

Koepuun ja kappaleen n:o N:r d. Probestäm- mes u. d. -stückes	Korkeus maasta m Baumhöhe in m	Taivutuslujuus kg/cm <sup>2</sup> Biegefestigkeit in kg/cm <sup>2</sup>	Havaintojen lukumäärä kpl. Anzahl d. Messungen	Solujen piteuksien keskiarvo keskivirhe mm ± Mittlere Zellenlänge ± mittl. Fehler in mm	Maksimipituus mm Grösste Länge in mm	Minimipituus mm Kleinste Länge in mm	Dispersio keskivirhe mm ± Dispersion + mittl. Fehler in mm
Puun eteläpuoli — Die Südliche Seite des Baumes							
21 I S	0.45	756	91	1.12 ± 0.02	1.45	0.65	± 0.17 ± 0.01
II S	3.0	997	96	1.22 ± 0.02	1.65	0.65	± 0.23 ± 0.02
III S	6.0	912	78	1.11 ± 0.02	1.45	0.75	± 0.22 ± 0.02
IV S	9.0	933	102	1.20 ± 0.01	1.45	0.65	± 0.14 ± 0.01
Puun pohjoispuoli — Die nördliche Seite des Baumes							
21 I S	0.45	966	87	1.26 ± 0.02	1.65	0.65	± 0.22 ± 0.02
II S	3.0	1104	102	1.21 ± 0.02	1.65	0.75	± 0.17 ± 0.01
III S	6.0	1092	90	1.15 ± 0.02	1.55	0.65	± 0.16 ± 0.01
IV S	9.0	960	104	1.14 ± 0.02	1.45	0.65	± 0.17 ± 0.01
Koko puu — Ganzer Baum							
21 I	0.45	861	178	1.19 ± 0.01	1.65	0.65	± 0.19 ± 0.01
II	3.0	1051	198	1.21 ± 0.01	1.65	0.65	± 0.20 ± 0.01
III	6.0	1002	168	1.13 ± 0.01	1.55	0.65	± 0.19 ± 0.01
IV	9.0	947	206	1.17 ± 0.01	1.45	0.65	± 0.16 ± 0.01

Piirroksen (kuva 5) antama opetus perustuukin pääasiallisesti siihen, että huomataan olevan välttämätöntä, jos halutaan verrata keskenään puun sisärakenteen sekä elementtien suuruuden ja puun teknillisten laatukarakteristikoiden vaihtelua, vertailussa käyttää sellaisia koekappaleita, jotka ovat peräisin samalta korkeudelta; tällöin on lisäksi otettava huomioon iän vaikutus kyseessä oleviin seikkoihin.

Piirroksista voidaan kuitenkin sitä paitsi todeta, että sekä taivutuslujuus että libriform-solujen piteus saavuttavat suurimman arvonsa sillä havaintokorkeudella, joka sattuu 3.0 m:n korkeuteen l. osapuulleen koivun tyvipaksuneman yläpään. Tässä tapauksessa ei tosin toimitettu mittauksia tyvipaksuneman piteuden määrittämiseksi, sillä sitä varten olisi ollut lisättävä muutenkin yksityiskohtaisten havaintojen ja mittausten määrää huomattavasti ja täytynyt k.o. seikkaa tutkia sekundäärisen runkokäyrän avulla, mutta että koivun



Kuva 5.

Abb. 5.

tyvipaksunema keskimäärin ulottuu sanotulle korkeudelle, nähdään HILDÉNIN tutkimuksesta (1926 s. 40), missä hän m. m. sanotusta syystä suosittelee 3.0 m:n korkeutta peruslöpimitan mittauskorkeudeksi koivua massataulujen avulla kuutioitaessa.

Tyvilaajeneman merkitys puun rungon lujuudessa perustuu siihen seikkaan, että puu kokonaisuudessaan on tuulen vaikuttaessa sen latvukseen ansas, joka on toisesta päästään  $\pm$  kiinteästi kiinnittynyt, ja jonka toiseen päähän vaikuttaa kuorma, jonka suuruus on riippuvainen tuulen nopeudesta. Silloin olisi, jos puu olisi tasapaksu, arka poikkileikkaus l. se kohta, mistä ansas voiman kasvaessa ohi murtumisrajan katkeaa, tarkalleen maan rajassa. Jotta puu ei turhan takia joutuisi tuhlaamaan rakennusainetta muissa osissa runkoa, runko saa sellaisen muodon, että sen jokainen poikkileikkaus-pinta on suu-

ruudeltaan mukautunut taivuttavan momentin suuruuteen sillä korkeudella, jolla asianomainen poikkipinta sijaitsee. Tarkoituksen mukaisinta tällöin luonnollisesti olisi, että kukin poikkileikkauspinta kestäisi tarkalleen saman kokonaisuormituksen, elleivät eräät muut seikat, kuten yläpuolella olevien puumassojen paino t. m. s. pakottaisi puuta erikoisesti vahvistamaan alinta tyveä puristusjännitteitä kestäämään (vrt. LASSILA 1926 s. 132) kasvattamalla siihen tätä varten laajeneman, jolloin luonnollisesti kunkin elementin kestäväksi joutuva taivuttava momentti pienenee, ja tukisolut saavat olla lyhyempiä. Tästä seikasta johtuukin, että sekä taivutus- ja vetolujuus että tukisolujen pituus ovat pienemmät heti juurenniskassa kuin jonkin matkaa ylempänä.

Edellä esitettyä seikkaa ovat omiaan vahvistamaan luonnosta otetut esimerkit. — Koivu, kuten tunnettua, kiinnittyy juurillaan hyvin lujasti maaperään, eikä koivu läheskään aina myrskytuulen vaikutuksesta kaadu juurineen vaan useinkin katkeaa, ja tällöin tuskin koskaan alempaa kuin n. 3.0 m:n korkeudelta. Mutta usein saattaa katkeama olla yläpuolella 6—7 m:nkin korkeuden, mikä alkaa olla suurin korkeus, mille tyvilaajenema ulottuu (ks. HILDÉN 1926 s. 33). Omakohtaiset havaintoni, joita tein Kehvolla Kuopion maalaiskunnassa kesällä 1932, jolloin pyörremyrskyt tuhosivat kais-taleittain metsää eri puolilla maatamme, tukevat tätä olettamustani, sillä siellä tuhoutuneista koivuista, jotka olivat rinnankorkeudelta 35—40 cm läpimitaltaan, oli n. 40 % katkennut ja jokainen 3.0 m:n korkeudelta tahi korkeammalta.

Taulukko V esittää tulokset mittaussarjasta, jolla tutkittiin 20 koepuun libriform-solujen pituuden vaikutusta ominaispainoon absoluuttisen kuivana ja taivutuslujuuteen. Sydänpuusta katsoin olevan syytä tehdä vain 7 mittaussarjaa, jolloin mitattavaksi valittiin koe-kappaleet, joiden ominaispainot hajautuivat kuta kuinkin tasaisesti eri painoluokkiin. Sydänpuu-solujen mittaamisella oli tarkoituksena selvittää, miten niiden pituudet poikkeavat pintapuun solujen pituudesta. Kuten pikainen silmäys taulukkoon jo osoittaa, s y d ä n p u u

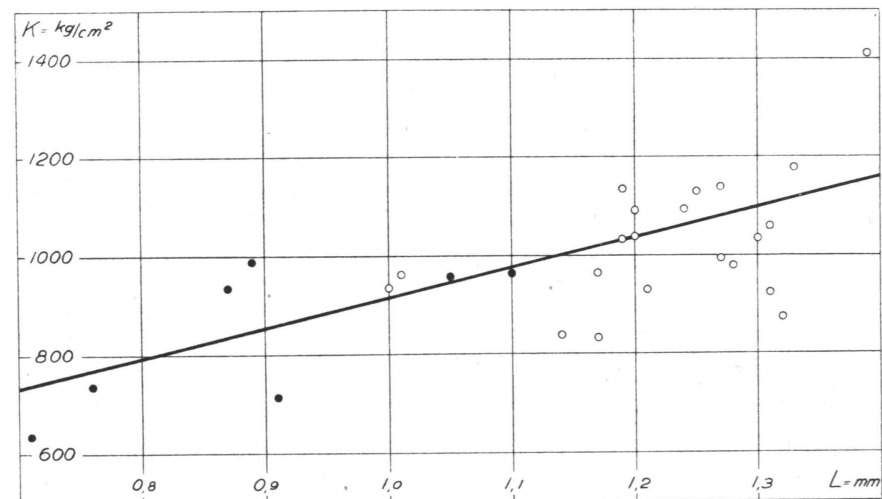
solujen pituus on huomattavasti pienempi kuin pintapuusolujen.

TAULUKKO V — TABELLE V.

Koepuun ja -kappaleen n:o N:r d. Probe- stammes u.d. -stüches	Ominaispaino absol. kuivana Absol. Trocken- gewicht	Taivutuslujuus kg/cm <sup>2</sup> Biegefestigkeit in kg/cm <sup>2</sup>	Havaintojen lukumäärä kpl. Anzahl d. Messungen	Solujen pituuden keskiarvo + keskivirhe mm Mittl. Zelllänge ± mittl. Fehler in mm	Maksimipituus mm Grösste Länge in mm	Minimipituus mm Kleinste Länge in mm	Dispersio keskivirhe mm Dispersion mittl. Fehler in mm
Sydänpuu — Kernholz							
19 S I	0.453	634	90	0.71 ± 0.01	1.35	0.55	± 0.13 ± 0.01
5 S I	0.478	734	94	0.76 ± 0.01	1.15	0.55	± 0.15 ± 0.01
12 S I	0.535	712	98	0.91 ± 0.01	1.35	0.55	± 0.13 ± 0.01
1 S I	0.551	988	102	0.89 ± 0.01	1.25	0.55	± 0.16 ± 0.01
8 S I	0.573	936	98	0.87 ± 0.01	1.15	0.55	± 0.14 ± 0.01
10 S II	0.595	966	118	1.10 ± 0.02	1.55	0.55	± 0.22 ± 0.01
13 S I	0.601	960	89	1.05 ± 0.02	1.45	0.65	± 0.16 ± 0.01
Pintapuu — Splintholz							
19 N II	0.521	840	86	1.14 ± 0.02	1.55	0.65	± 0.19 ± 0.01
5 N II	0.525	875	108	1.32 ± 0.02	1.75	0.85	± 0.16 ± 0.01
6 N II	0.544	836	90	1.17 ± 0.02	1.55	0.65	± 0.19 ± 0.01
4 N II	0.552	935	86	1.00 ± 0.02	1.45	0.65	± 0.15 ± 0.01
7 N II	0.562	962	100	1.01 ± 0.01	1.35	0.65	± 0.13 ± 0.01
10 N II	0.567	964	100	1.17 ± 0.02	1.75	0.85	± 0.19 ± 0.01
11 N II	0.570	979	100	1.28 ± 0.02	1.65	0.75	± 0.19 ± 0.01
6 S II	0.575	931	102	1.21 ± 0.02	1.65	0.85	± 0.16 ± 0.01
20 N II	0.581	924	74	1.31 ± 0.02	1.65	0.95	± 0.17 ± 0.01
1 N II	0.584	1092	145	1.20 ± 0.01	1.45	0.65	± 0.15 ± 0.01
15 N II	0.590	1035	109	1.30 ± 0.02	1.75	0.65	± 0.21 ± 0.01
2 N II	0.602	996	94	1.27 ± 0.01	1.45	0.65	± 0.14 ± 0.01
14 N II	0.616	1035	90	1.19 ± 0.02	1.65	0.85	± 0.16 ± 0.01
16 N II	0.618	1039	76	1.20 ± 0.02	1.55	0.85	± 0.21 ± 0.02
12 N II	0.622	1061	83	1.31 ± 0.02	1.65	0.85	± 0.16 ± 0.01
18 N II	0.635	1093	94	1.24 ± 0.02	1.75	0.85	± 0.16 ± 0.01
9 N II	0.648	1139	73	1.27 ± 0.03	1.75	0.75	± 0.20 ± 0.02
13 N II	0.652	1136	95	1.19 ± 0.02	1.55	0.65	± 0.17 ± 0.01
3 N II	0.654	1128	99	1.25 ± 0.02	1.75	0.75	± 0.18 ± 0.01
17 N II	0.654	1178	81	1.33 ± 0.02	1.65	0.95	± 0.17 ± 0.01
8 N II	0.743	1413	89	1.39 ± 0.02	1.75	0.85	± 0.16 ± 0.01

Yhdessä pintapuu-solujen mittaustulosten kanssa sydänpuulle saadut arvot muodostavat lukusarjan, josta ilmenee koivu-

puun ominaispainon sekä taivutuslujuuden olevan positiivisessa korrelaatiossa libriform-solujen pituuden kanssa. Kuvassa 6 lujuuden ja solupituuden välinen korrelatio on esitetty suoralla viivalla. Pyörylät ilmaisevat kunkin koepuun arvoja, ja niistä mustat pyörylät merkitsevät sydänpuukappaleiden, avonaiset pintapuukappaleiden lasketuja arvoja. Ominaispainon ja solupituuden välinen riippuvaisuus on

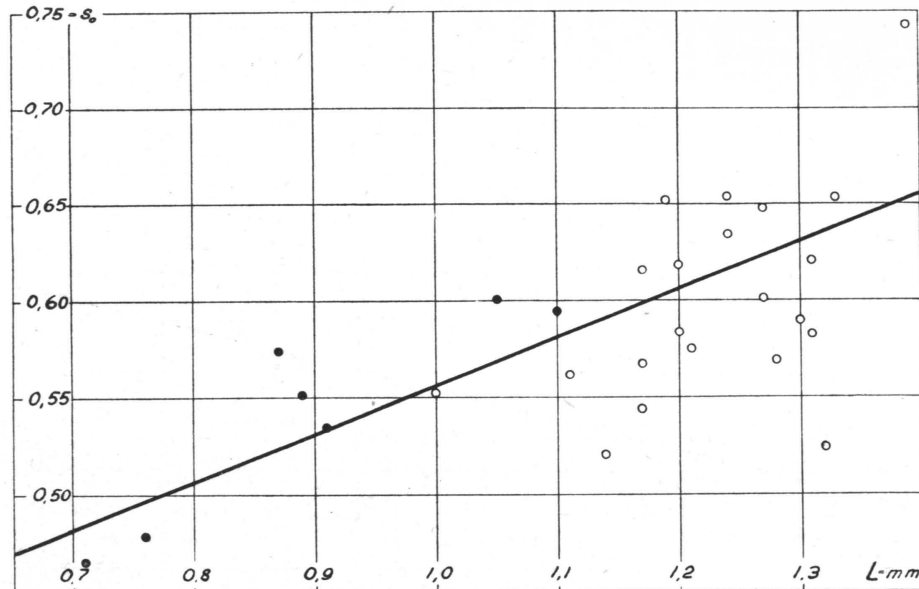


Kuva 6.

Abb. 6.

melkein tarkalleen saman kaltainen (kuva 7), mikä ilmeisesti johtuu siitä, että ominaispaino ja lujuus koivulla ovat suoraviivaisessa, positiivisessa korrelaatiossa keskenään (ks. WALLDÉN 1933 ss. 48, 49). Jos tarkastellaan edelleen taulukkoa V, huomataan, että suurin mitattu solupituus oli 1.75 cm:n luokassa ja pienin 0.55 cm:n luokassa. Vielä käy ilmi, että solujen maksimi- ja minimipituudet suurenevät ominaispainon kasvaessa, kuten luonnollista onkin, mutta kehitys ei ole niin säännönmukainen, kuin keskimääräisten pituuksien suhteen on laita. Suurin dispersio-arvo, 0.22 mm, tavataan sydänpuukappaleella 10 S I, joka lujuuskokeessa on ollut siitä merkillinen, että sen lujuus on ollut suurempi kuin saman puun pintakappaleen lujuus, samoin

on sanotun koepuun sydänpuulla ollut suurempi ominaispaine kuin pintapuulla. Pienin dispersio-arvo on 0.13 mm ja yleensä on pantava merkille, että pintapuulla on taipumusta jonkin verran suurempaan hajontaan kuin sydänpuulla. — Jos lopuksi kiinnitetään huomiota



Kuva 7.

Abb. 7.

pituus- keskiarvojen ja dispersioiden keskivirheisiin, huomataan, että 100 havaintoa käsittävä sarja on katsottava riittäväksi kyllin tarkkojen keskiarvojen määräämiseen, sillä keskiarvon suurin suhteellinen keskivirhe on ollut < 3 %.

#### PUTKILOIDEN OSUUDEN VAIKUTUS KOIVUPUUN TEKNILLISIIN OMINAISUUKSIIN.

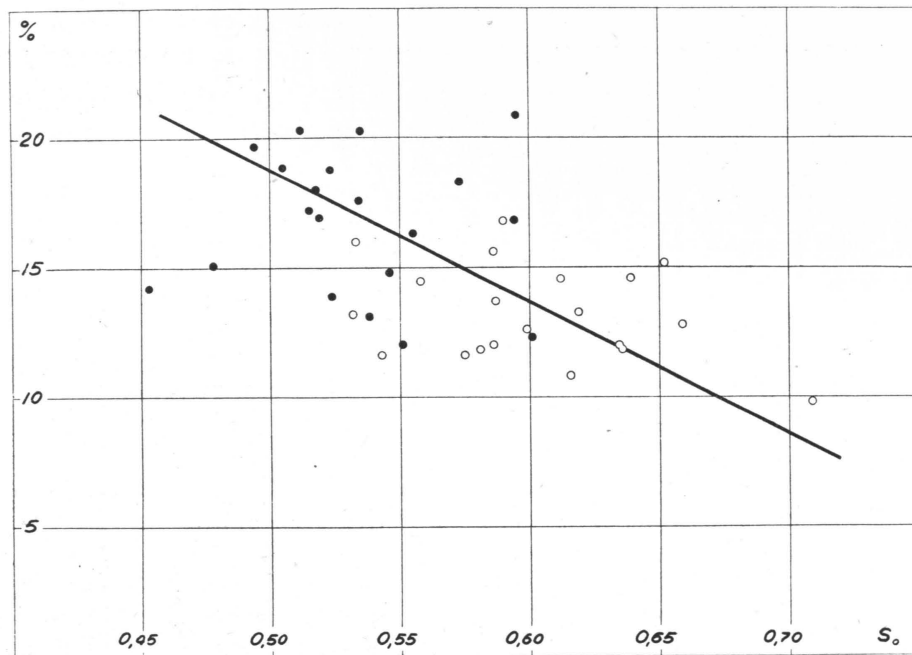
Tulokset mittauksista, jotka käsittivät aikaisemmin mainituista 20 koepuusta etelän puoleiset sekä sydän- että pintapuukappaleet, nähdään taulukossa VI.

) 354 (

TAULUKKO VI — TABELLE VI.

Koepuun ja -kappaleen n:o N:r d. Probe- stammes u.d. -stückes	Ominaispaine absol. kuivana Absol. Trockengewicht	Taivutus- lujuus kg/cm <sup>2</sup> Biegefestigkeit in kg/cm <sup>2</sup>	Putkiloita kpl./mm <sup>2</sup> Anzahl d. Gefäße pro mm <sup>2</sup>	Putkiloiden poikkipinta keskim. mm <sup>2</sup> Mittl. Quer- fläche d. Gefäße in mm	Putkiloiden osuus % %-Anteil d. Gefäße
1. S. I	0.551	988	33	0.0036	12.0
S. II	0.586	991	38	0.0032	12.0
2. S. I	0.494	802	44	0.0045	19.7
S. II	0.590	1008	32	0.0053	16.8
3. S. I	0.534	783	31	0.0058	17.6
S. II	0.652	1168	50	0.0030	15.2
4. S. I	0.512	817	41	0.0049	20.3
S. II	0.533	912	34	0.0047	16.0
5. S. I	0.478	734	29	0.0051	15.1
S. II	0.532	879	36	0.0037	13.4
6. S. I	0.515	807	41	0.0042	17.2
S. II	0.575	931	31	0.0038	11.9
7. S. I	0.505	812	43	0.0044	18.9
S. II	0.558	923	36	0.0040	14.5
8. S. I	0.573	936	39	0.0047	18.3
S. II	0.635	1140	29	0.0042	12.0
9. S. I	0.536	877	37	0.0040	14.8
S. II	0.636	1146	53	0.0022	11.8
10. S. I	0.595	966	32	0.0065	20.9
S. II	0.599	900	42	0.0030	12.6
11. S. I	0.555	930	31	0.0052	16.3
S. II	0.587	990	42	0.0032	13.7
12. S. I	0.535	712	46	0.0044	20.3
S. II	0.616	1072	28	0.0039	10.8
13. S. I	0.601	960	35	0.0035	12.3
S. II	0.659	1156	32	0.0039	12.8
14. S. I	0.519	823	39	0.0043	16.9
S. II	0.612	1065	34	0.0043	14.6
15. S. I	0.538	822	27	0.0049	13.1
S. II	0.581	973	43	0.0028	11.8
16. S. I	0.524	773	38	0.0037	13.9
S. II	0.619	961	36	0.0037	13.3
17. S. I	0.594	880	40	0.0042	16.8
S. II	0.708	1267	40	0.0025	9.8
18. S. I	0.523	777	60	0.0031	18.8
S. II	0.639	1116	33	0.0044	14.6
19. S. I	0.453	634	24	0.0059	14.2
S. II	0.543	863	39	0.0027	10.6
20. S. I	0.518	865	37	0.0049	18.0
S. II	0.586	939	47	0.0033	15.6

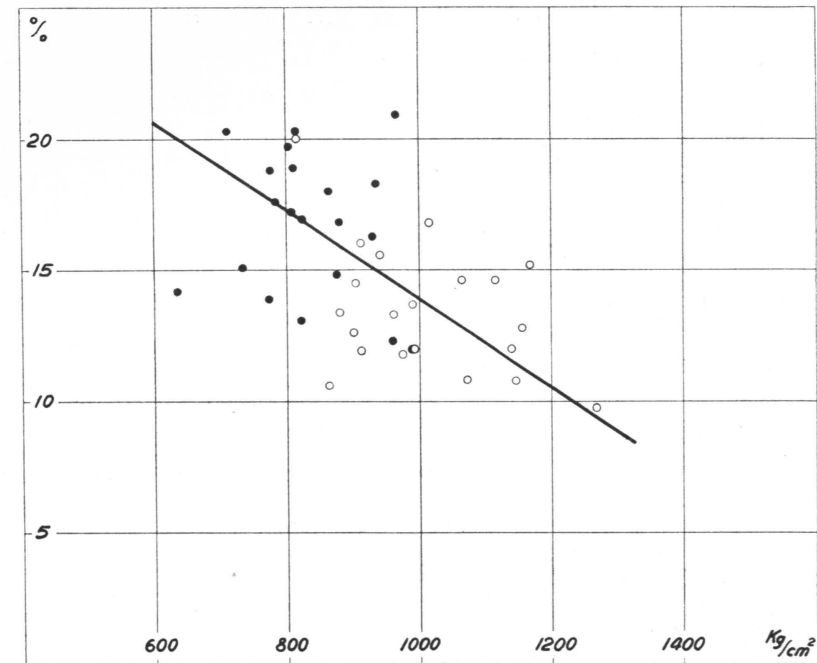
) 355 (



Kuva 8.  
Abb. 8.

Taulukosta käy ensiksikin ilman muuta selville, että koivun putkiloiden osuus on suurempi sydän- kuin pintapuussa, mikä seikka pitää yhtä HARTIGIN tutkimuksien kanssa, jotka koskevat tammipuuta (vrt. s. 10). Samaten huomataan, että koivun putkiloiden keskimääräinen poikkipinta ja niinmuodoin myöskin niiden keskimääräinen läpimitta on yleensä suurempi sydän- kuin pintapuussa, mikä huomio ei vahvista STAUFFERIN tutkimuksia (vrt. s. 9). Putkiloiden lukumäärä  $\text{mm}^2$  kohti osoittaa horjuvaisuutta ollen milloin sydän- milloin taas pintapuussa suurempi. Suurin lukumäärä 60 kpl. pinta-alayksikköä kohti tavataan koepuun 18 sydänosasta ja pienin suhteellinen lukumäärä, 24 kpl./ $\text{mm}^2$ , koepuun 19 sydänosasta. Suurin putkiloiden %-osuus ja samalla myös suurin putkiloiden keskimääräinen läpimitta on koepuun 10 sydän-

) 356 (



Kuva 9.  
Abb. 9.

puukappaleella. Pienin putkilo-osuus, 9.8 %, on lujimmalla koekappaleella, 17. S. II:lla, jolla samalla on lähinnä pienin putkiloiden keskimääräinen poikkipinta-ala. Pienin keskimääräinen putkiloiden poikkipinta,  $0,0022 \text{ mm}^2$ , on koepuun 9 pintakappaleella, jonka lujuus niinkään on suurimpia. Tämän nojalla voidaan siis jo varovasti päätellä, että putkiloiden osuudesta poikkipintaan riippuu paitsi lujuus myöskin ominaispaino; joiden jo aikaisemmin nähtiin kulkevan käsi-kädessä. Selvemmin tämä seikka käy ilmi taulukosta VII, johon on putkiloiden osuutta tarkoittavat luvut järjestetty koekappaleiden ylenevien ominaispainolukujen mukaan, erikseen pinta- ja sydänkappaleista.

Erikaisen selvä ei korrelatio vielä tämänkään taulukon perusteella ole, mutta jos tarkastellaan yht'aikaa sydän- ja pintapuun arvoja, huomataan, että koivun putkilo-%:n suuretessa omi-

) 357 (

TAULUKKO VII — TABELLE VII.

Koepuun n:o N:r d. Probestammes	Ominaispaino absol. kuivana Absol. Trochengewicht	Putkiloiden osuus % %-Anteil d. Gefässe	Koepuun n:o N:r d. Probestammes	Ominaispaino absol. kuivana Absol. Trochengewicht	Putkiloiden osuus % %-Anteil d. Gefässe
S y d ä n p u u — Kernholz					
19	0.453	14.2	3	0.534	17.6
5	0.478	15.1	12	0.535	20.3
2	0.494	19.7	15	0.538	13.1
7	0.505	18.9	9	0.546	14.8
4	0.512	20.3	1	0.551	12.0
6	0.515	17.2	11	0.555	16.3
20	0.518	18.0	8	0.573	18.3
14	0.519	16.9	17	0.594	16.8
18	0.523	18.8	10	0.595	20.9
16	0.524	13.9	13	0.601	12.3
P i n t a p u u — Splintholz					
5	0.532	13.4	10	0.599	12.6
4	0.533	16.0	14	0.612	14.6
19	0.543	10.6	12	0.616	10.8
7	0.558	14.5	16	0.619	13.3
6	0.575	11.6	8	0.635	12.0
15	0.581	11.8	9	0.636	11.8
1	0.586	12.0	18	0.639	14.6
20	0.586	15.6	3	0.652	15.2
11	0.587	13.7	13	0.659	12.8
2	0.590	16.8	17	0.708	9.8

naispaino ja taivutuslujuus pienenevät. Jos saadut arvot sijoitetaan akselistolle, kuten on tehty kuvissa 8 ja 9, joista edellinen osoittaa putkilo-%:n ja ominaispainon, jälkimmäinen putkilo-%:n ja taivutuslujuuden välistä riippuvaisuutta, huomataan korrelatio helpommin. Korrelatiota kuvastaa tasoitusasuora, joka erikoisesti siinä tapauksessa on korrelatiota hyvin edustava, että pari ääritapausta jätetään ottamatta huomioon. — Alempana tarkastellaan syitä eräitten äärivarianttien esiintymiseen.

Tulokset libriform-solujen pituuden ja putkiloiden suhteellisen osuuden mittauksista sekä ominaispaino- ja taivutuslujuusmääräyksistä voitiin yhdistää vain 7 koepuun kohdalta, koska muista koe-

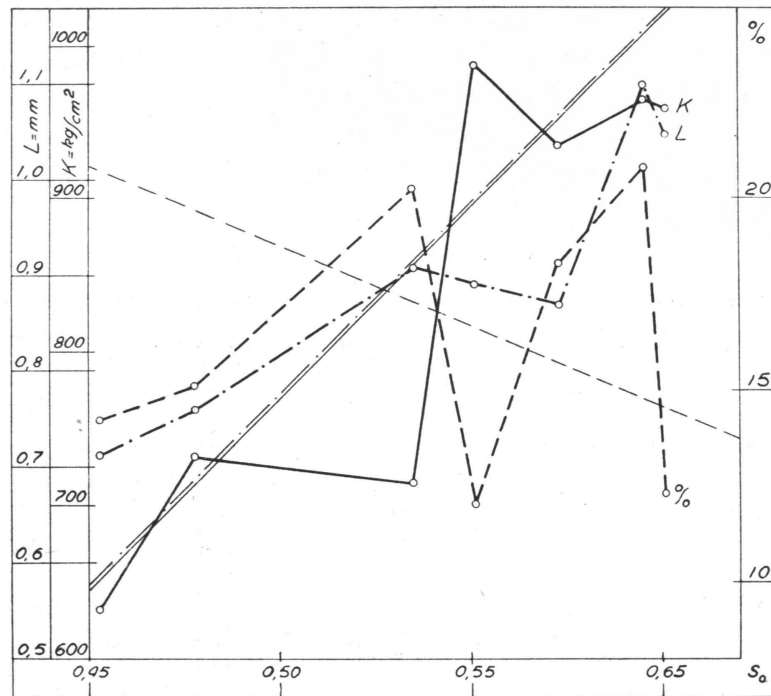
puista olivat solujen pituusmittaukseen ja putkilo-osuuden määrittämiseen käytetyt koekappaleet eri puolilta puuta. Näiden 7 koepuun eri rakenteellisten tekijöiden ja teknillisten ominaisuuksien riippuvaisuus käy ilmi taulukosta VIII, jossa koepuut ovat järjestettyinä ylenevien ominaispainolukujen mukaan.

TAULUKKO VIII — TABELLE VIII.

Koepuun ja -kappaleen n:o N:r d. Probestammes u. d. -stüches	Ominaispaino absol. kuivana Absol. Trochengewicht	Taivutuslujuus kg/cm <sup>2</sup> Biegefestigkeit in kg/cm <sup>2</sup>	Libriform-solujen pituus keski- määrin mm Mittellänge d. Librif.-zellen in mm	Putkiloiden osuus poikkipinnasta % %-Anteil d. Gefässe a. d. Querfläche
19. S. I	0.453	634	0.71	14.2
5. S. I	0.478	734	0.76	15.1
12. S. I	0.535	712	0.91	20.3
1. S. I	0.551	988	0.89	12.0
8. S. I	0.573	936	0.87	18.3
10. S. I	0.595	966	1.10	20.9
13. S. I	0.601	960	1.05	12.3

Taulukosta huomataan, että koivun putkiloiden %-osuudella on erittäin ratkaiseva merkitys lujuuden ja ominaispainon väliseen suhteeseen. Jotta tämä seikka kävisi vieläkin havainnollisemmaksi, olen sijoittanut taulukosta VIII saadut lujuus-, solupituus- ja putkilo-%-arvot koordinaatistolle, jonka vaakasuora akseli ilmoittaa ominaispainon, pisteinä, jotka sitten olen yhdistänyt ominaisuutta kuvaavilla murtoviivoilla, joiden oikeassa laidassa on ominaisuutta ilmaiseva merkki: K = taivutuslujuus, L = libriform-solujen pituus, % = putkiloiden suhteellinen osuus poikkipinnasta. Lujuuden ja solupituuden ilmaisemiseen on käytetty sellaisia mittakaavoja (kuvan vasemmassa laidassa) että sanottujen ominaisuuksien ja ominaispainon välistä riippuvaisuutta kuvaavat tasotussuorat ovat sattuneet yhteen. Nämä suorat samoin kuin putkilo-%:n ja ominaispainon korrelatiota ilmaiseva tasotussuora nähdään piirroksessa vastaavaa merkitsemistapaa käyttäen ohuella viivalla vedettyinä.





Kuva 10.

Abb. 10.

Silmiin pistävä on kuvassa esiintyvä putkilo-%:n vaikutus lujuuteen, sillä niin kuin nähdään, alhaista putkilo-%:a vastaa miltei aina suuri lujuus ja päinvastoin, ja jos putkilo-% poikkeaa erikoisen huomattavassa määrässä asianomaisesta tasotussuorasta, lujuudenkin poikkeus tavallisesti on suuri sitä vastaavasta suorasta ja miltei säännöllisesti päinvastainen. Oikeastaan ainoan ilmeisen poikkeuksen tästä säännöstä tekee koekappale 19. S. I, jonka pisterivi on äärimmäisenä vasemmalla.

Mielenkiintoista on edelleen havaita, miten libriform-solujen pituus puolestaan vaikuttaa lujuuden ja putkilo-%:n väliseen suhteeseen samassa ominaispainoluokassa, sillä siellä, missä L-käyrä poikkeaa omasta tasotussuorastaan alaspäin, tämä on omiaan vetämään

lujuuttakin tasotussuoransa alapuolelle, etenkin jos samalla putkilo-% osoittaa tasotussuora-arvoa korkeampaa lukua.

Mikä osuus mahdollisesti vielä soluseinämien paksuudella voisi olla eri ominaisuuksien keskinäiseen suhteeseen, jää tämän esityksen ulkopuolelle, koska olen katsonut ominaispainon yhdessä putkilo-%:n kanssa jo tyydyttävällä tavalla ilmaisevan soluseinämiin sisältyvän lujuutta lisäävän aineen osuutta koko puuaineesta.

### PÄÄTELMIÄ.

Edellä selostettujen tutkimusten tuloksista huomataan, että koivupuun lujuus ei ilmeisesti tarkalleen noudata libriform-solujen pituuden vaihteluja jos tulee erikseen kysymys eri korkeuksista ja puun pohjois- ja eteläpuolesta, mutta sitä vastoin yleisen, yhdenmukaisen aineiston perusteella koivupuun lujuus on mitä lähisimmässä riippuvaisuussuhteessa ensiksikin putkiloiden suhteelliseen osuuteen ja toiseksi libriform-solujen pituuteen siten, että putkilo-%:n pienetessä ja libriform-solujen pituuden kasvaessa koivupuun lujuus suurenee.

Tärkeänä tutkimuksieni tuloksena haluaisin tuoda ilmi sen, miten havainnot eri anatoomisten tekijöiden vaikutuksesta varsinaisiin lujuusominaisuuksiin ovat pystyneet luomaan valaistusta lujuustutkimusten yhteydessä ilmeneviin, puumateriaalille ominaisiin säännöttömyyksiin, mm. mitä tulee lujuuden ja ominaispainon väliseen riippuvaisuussuhteeseen.

Tutkimus lisäksi osaltaan tukee erityisesti LASSILAN (1929) puoltamaa käsitystä ominaispainon sopivaisuudesta karakterisoimaan puun laatua, varsinkin jos lisäksi on mahdollista suorittaa mikro-analyysi puun rakenteesta, mikä ei tuottanekaan useasti vaikeuksia, kun ottaa huomioon, että käytettäväksi aiotusta puukappaleesta saa laadun selville tällä tavoin mitättömän pienien koekappaleiden avulla tarvitsematta turvautua lujuuskokeisiin, joissa kokeiltava puukappale tavallisesti joudutaan murtamaan rikki.

KIRJALLISUUS,  
mihin on viitattu.

- BÜSGEN, M., 1897. Bau und Leben unserer Waldbäume. Jena.
- BAUMANN, R., 1922. Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen an der Technischen Hochschule Stuttgart. Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. Berlin.
- CHARLIER, C. V. L., 1920. Vorlesungen über die Grundzüge der mathematischen Statistik. Lund.
- HARTIG, ROBERT, 1891. Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Pflanzen unter besonderer Berücksichtigung der Forstgewächse. Berlin.
- 1892. Die Verschiedenheiten in der Qualität und im anatomischen Bau des Fichtenholzes. Forstl.-naturwissenschaftl. Zeitschr. München.
- 1894. Untersuchungen über die Entstehung und die Eigenschaften des Eichenholzes. Forstl.-naturwissenschaftl. Zeitschr. München.
- 1898. Die anatomischen Unterscheidungsmerkmale der wichtigeren in Deutschland wachsenden Hölzer. München.
- HELANDER, A. BENJ., 1933. Kuusen ja männyn vesisolujen pituusvaihtelut. (Summary: Variations in tracheid length of Pine and Spruce). Puutekniikan tutkimuksen kannatusyhdistyksen julkaisuja n:o 14. Helsinki.
- HEMPEL, GUSTAF und WILHELM, CARL, 1889. Die Bäume und Sträucher des Waldes in botanischer und forstwissenschaftlicher Beziehung. I. Wien.
- HILDÉN, N. A., 1926. Koivun kuutioimisesta massataulukoiden avulla Pohjois-Karjalasta kootun aineiston nojalla. (Referat: Über die Kubierung der Birke mittels Massentafeln basiert auf Material aus Nord-Karjala). Acta Forest. Fenn. 32. 2. Helsinki.
- JALAVA, MATTI, 1933. Suomalaisen männyn lujuusominaisuuksista. Helsinki.
- JOST, LUDWIG, 1904. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Jena.
- KINMANN, GUNNO, 1923. Kvalitetsfordringar på pappersved och skogsvårdsåtgärdernas avpassande därefter. Skogsvårdsföreningens Tidskr. Stockholm.
- LASSILA, I., 1926. Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimisesta, sen tuloksista ja tehtävistä. (Summary: The Mecanico-technical Pro-

perties of Wood, their Study and its Objects). Acta Forest. Fenn. 36. 1. Helsinki.

- LASSILA, I., 1929. Metsätyyppin vaikutuksesta puun painoon. (Summary: On Influence of Forest Type on Weight of Wood). Acta Forest. Fenn. 31. 4. Helsinki.
- LÖNNROTH, E., 1925. Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands. Acta Forest. Fenn. 30. 1. Helsinki.
- RUE, JOHN D. Ks. WELLS, SIDNEY D. ja RUE, JOHN D.
- SCHWARZ, FRANK, 1892. Forstliche Botanik. Berlin.
- SONNTAG, P., 1892. Die Beziehungen zwischen Verholzung, Festigkeit und Elasticität vegetabilischer Zellwände. Landwirtschaftl. Jahrb. XXI. Berlin.
- STAUFFER, D., 1892. Untersuchungen über spezifisches Trockengewicht, sowie anatomischen Bau des Holzes der Birke. Forstl.-naturwissenschaftl. Zeitschr. München.
- STRASBURGER, EDUARD, 1897. Das botanische Practicum. Jena.
- etc., 1921. Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Jena.
- WALDÉN, PAUL, 1933. Eräs puun laadun tunnus. (Referat: Ein Charakteristikum für die Holzqualität). Acta Forest. Fenn. 39. 5.
- WELLS, SIDNEY D. and RUE, JOHN D., 1927. The suitability of American Woods for Paper Pulp. United States Departement of Agriculture, Bulletin N:o 1485. Washington.
- WILHELM, CARL. Ks. HEMPEL, GUSTAF und WILHELM, CARL.
- ZIMMERMANN, A., 1892. Die botanische Mikrotechnik. Tübingen.

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE  
ABHÄNGIGKEIT DER TECHNISCHEN EIGENSCHAFTEN  
VOM ANATOMISCHEN BAU DES BIRKENHOLZES NACH  
ZELLENMESSUNGEN.

R E F E R A T.

Einleitung. Die Relation, die zwischen der Zellengrösse und den technischen Eigenschaften eines Holzes besteht, ist wiederholt von verschiedenen Forschern behandelt worden. So untersuchte STAUFFER (1892) den Einfluss, welchen der anatomische Bau des Birkenholzes auf das Trockengewicht des Holzes haben kann. Analoge Untersuchungen gibt es von HARTIG in bezug auf gewisse andere Holzarten. Meine vorliegende Arbeit soll das ihrige zur Lösung dieser Frage beitragen, indem in derselben die Abhängigkeit der Festigkeitseigenschaften von dem anatomischen Bau der Birke aufgedeckt werden soll. Ich habe hierbei mit einigen neuen Forschungsmethoden experimentiert.

Das Material wurde in zwei Teile geteilt, von denen der eine 20, unter gleichartigen Bedingungen herangewachsene, gleichaltrige Baumexemplare umfasst, für welche ich die allgemeingültigen, zwischen anatomischen und technischen Eigenschaften herrschenden Beziehungen untersucht habe und zwar nahm ich, zwecks Erzielung einer möglichst grossen Homogenität, die Probestücke sämtlich aus der gleichen Höhe von 6 m. Der zweite Teil des Materials besteht nur aus einem einzigen Baume, aus welchem Probestücke in 0.45, 3.0, 6.0 und 9.0 m Höhe möglichst nahe der Peripherie, sowohl aus der nach Norden als der nach Süden zugekehrten Seite des Stammes genommen wurden, um zu erfahren, in welcher Art und Weise sich die anatomischen und technischen Eigenschaften eines Holzes in verschiedener Höhe und an verschiedenen Seiten des Baumes mit einander verglichen, verhalten.

Die Untersuchungs methoden. Sämtliche Probestücke waren so gross gewählt, dass es möglich war, sie auf ihre resp. Biegefestigkeit hin zu prüfen. Nach der Biegeprobe wurde dann das resp. spezifische Gewicht eines jeden Probestücks bestimmt und ausserdem immer je ein kleines Stück

Holz in allgemein üblicher Weise mazeriert um eine genügende Menge Messungen an den Libriformzellen vornehmen zu können. Aus den im ersten Teile des Materials stammenden Probestücken wurden dann auch noch mikroskopische Präparate hergestellt, in welchen der auf die Gefässe fallende Anteil an den Querschnittflächen gemessen werden konnte. Diese Messungen wurden mit Projektionsmikroskopen ausgeführt, deren Vergrößerung mit Hilfe eines Objektmikrometers derart abgepasst war, dass an dem auf die Unterlage zurückgeworfenen Bild die Zellenlänge mit einem Millimetermass und der %-Anteil der Gefässe mit einer Quadrattafel mit Millimetreinteilung gemessen werden konnten. Nach voraufgegangener Probemessung hatten sich bei den Längenmessungen der Libriformzellen eine Klassenweite von 0.1 mm und etwa 100 Messungen als geeignet erwiesen. Die photographische Aufnahme (Abb. 1) zeigt, wie die Länge der Zellen gemessen wurde. Einer Klassenweite von 0.1 mm entsprechen 5 mm des Lineals, so dass die Vergrößerung also eine 50-fache war. In Abb. 3 haben wir eine typische Längenverteilungsreihe der Zellen. Die Photographie (Abb. 2.) wiederum gibt einen Teil einer Probefläche wieder, den die Quadrattafel bei Gefäss-%-Bestimmungen bildet. Die Vergrößerung ist eine 100-fältige, so dass 1 mm<sup>2</sup> in der Quadrattafel immer 0.0001 mm<sup>2</sup> in der Natur entspricht. Bei der Berechnung des Gefässanteils brauchte man um den Gefäss-% zu erhalten, das Dezimalkomma nur um 2 Stellen nach links zu verschieben.

Die Resultate. Um zu erfahren, inwieweit das, einem Probestück zwecks Mazeration entnommene Stückchen dem Probestück in seiner Gesamtheit entsprach, wurden 6 Parallelproben aus ein und demselben Probestück genommen, wie aus den schematischen Bilde zu erkennen ist (Abb. 4). In Tabelle III befinden sich die erhaltenen Resultate, die angeben, dass die stärkste Abweichung in der Zellenlänge eines Mazerations-Stückchens vom Gesamtdurchschnitt aller Parallelproben = 2.3% ist. — Tabelle IV und Abb. 5 enthalten die Ergebnisse diesbezüglicher, zum vorerwähnten Zweck angestellter Versuche an dem einen Probebaum. Es zeigte sich, dass die Biegefestigkeit der Birke mit den Längenschwankungen der Libriformzellen in verschiedener Höhe und an verschiedenen Seiten nicht genau gleichen Schritt hält. — In Tabelle V sind die Resultate der an 20 Probebäumen gemachten Libriformzellenmessungen zusammengestellt. Die neben der Ordnungsnummer der Probebäume stehenden Buchstaben N. und S. bezeichnen die Nord- bzw. Südseite des Baumes, die römische I bezieht sich auf ein, aus der unmittelbaren Umgebung des Kerns, die römische II wiederum auf ein der Peripherie so nahe wie möglich entnommenes Probestück. Aus vorerwählter Tabelle und Abb. 6, in denen die Zellenlänge in mm von den vertikalen

Achsen, das spez. Gewicht in absolut trockenem Zustande des betreff. Holzes von den horizontalen Achsen abgelesen werden können, sieht man, dass zwischen Länge und spez. Gewicht der Libriformzellen des Birkenholzes eine positive und einigermaßen geradlinige Korrelation besteht. Tabelle IV und Abb. 7, wo die Zellenlänge ebenfalls auf eine horizontale, die Biegefestigkeit dagegen in  $\text{kg/cm}^2$  auf eine vertikale Achse abgetragen sind, zeigen auf, dass die Biegefestigkeit des Birkenholzes in geradliniger, positiver Korrelation zur Länge der Libriformzellen steht. Aus Tabelle V. Abb. 6. und 7. geht ferner hervor, dass das Kernholz der Birke aus sehr viel kürzeren Zellen aufgebaut ist, als das Aussenholz.

Der prozentuale Anteil der Gefässe wurde je an 20 Kernholz- und an ebenso vielen peripheren Holzproben bestimmt und sind die dabei erzielten Messungsergebnisse in Tabelle VI enthalten. Die Gefäss-% der Kern- und Peripherieproben habe ich je nach steigenden spez. Gewichtswerten angeordnet, wie aus Tabelle VII ersichtlich ist. Aus dieser und aus Abb. 8, wo die vertikale Achse den Gefäss-%, die horizontale Achse das spez. Gewicht angibt, lässt sich erkennen, dass beim Birkenholz der relative Anteil der Gefässe mit steigendem spezifischem Gewicht abnimmt, wenschon diese Korrelation nicht mit gleich grosser Deutlichkeit wie zwischen spez. Gewicht und Zellenlänge zutage tritt.

In Abb. 9 sind auf einem Achsensystem, dessen vertikale Achse mit einer den Gefäss-%, die horizontale Achse mit einer, der Biegefestigkeit entsprechenden Gradeinteilung versehen sind, die aus den einzelnen Proben erhaltenen entsprechenden Werte angegeben. Man sieht hier, dass gleichwie das spez. Gewicht bei sinkendem Gefäss-% steigt, auch die Biegefestigkeit des Birkenholzes bei sinkendem Anteil der Gefässe steigt. Man kann als allgemeine Beobachtung feststellen, dass die relative Anzahl der Gefässe im Kernholz grösser als im peripheren Holz ist, woraus unmittelbar geschlossen werden kann, dass bei steigendem Alter der Birke, der auf die Gefässe entfallende Anteil im Holzmaterial abnimmt.

In Tabelle VIII befinden sich die zusammengefassten Resultate aus solchen Probestücken, an welchen sowohl die Zellenlängen als die Gefäss-% gemessen werden konnten. Die sich aus der Tabelle und insbesondere aus Abb. 10 ergebenden Festigkeits-, Zellenlängen- und Gefäss-%-Werte sind in das Koordinatensystem nach steigendem spez. Gewicht eingezeichnet und durch gebrochene Linien miteinander vereinigt, deren Bedeutung aus den

rechter Hand stehenden Zeichen: K = Biegefestigkeit, L = Zellenlänge und %-Anteil der Gefässe erhellt. Um die Festigkeit und die Zellenlänge auszudrücken, wurde ein Massstab gewählt, der es möglich machte, dass die, die zwischen der genannten Eigenschaft und dem spez. Gewicht bestehende Korrelation ausdrückenden Ausgleichsgeraden zusammenfielen — die feinen Linien. In entsprechender Weise wurde dann auch die Gerade aufgezeichnet, die die gegenseitige Abhängigkeit der Gefäss-% und des spez. Gewichts abbildet. Aus der Abbildung tritt der Einfluss des Gefäss-% auf die Festigkeit des Holzes mit gewünschter Deutlichkeit zutage, und man kann erkennen, in wie hohem Masse eine nähere Untersuchung der anatomischen Elemente des Holzes dazu geeignet sein wird, bei Qualitätsfragen eventuelle, dem Holzmaterial anhaftende Unregelmässigkeiten aufzudecken.