

ERÄS  
PUUN LAADUN TUNNUS

PAUL WALLDÉN

*EIN CHARAKTERISTIKUM FÜR DIE  
HOLZQUALITÄT*

*REFERAT*

HELSINKI 1933

## Sisällysluettelo.

	Siv.
Alkulause .....	4
Johdanto .....	5
Puun laadun karakteristikat: paino, lujuus ja suhteellinen laatuosamäärä .....	7
Laatuosamäärä puun puristus- ja taivutuslujuuden karakteristikana .....	13
Hyödyllinen puristuslujuus ja sen määrittäminen .....	13
Hyödyllinen taivutuslujuus ja sen määrittäminen .....	17
Ominaispainon ja taivutuslujuuden korrelatio sekä hyödyllinen taivutuslujuus eri tutkimusten mukaan .....	26
JANKAN tutkimukset .....	27
Kuusi .....	27
Lehtikuusi .....	30
Saarni .....	31
BAUMANNIN tutkimukset .....	34
Mänty .....	35
Kuusi .....	35
Saarni .....	36
WIJKANDERIN tutkimukset .....	37
Mänty ja kuusi .....	38
Koivu .....	40
WIJKANDERIN »laatuosamäärä» .....	41
SCHLYTERIN ja WINBERGIN tutkimukset .....	42
Tekijän omat tutkimukset .....	46
Tulosten tarkastelu .....	54
Kirjallisuutta .....	59
<i>Deutsches Referat</i> .....	61

HELSINKI 1933

SUOMALAISEN KIRJALLISUUDEN SEURAN KIRJAPAINON OY.

## Alkulause.

Ryhtyessäni tässä julkaisussa esittämiäni ajatuksia kehittämään, ei tarkoitukseni alkujaan ollut käyttää niitä aiheena millekään itsenäiselle tutkimukselle, mutta halu soveltaa niitä käytäntöön johti siihen, että aluksi omat lujuuskokeeni ja sen jälkeen eräiden muiden julkisuuteen saatettujen tutkimusten tulokset aineistona syntyi joukko päätelmiä ja lukusarjoja, joiden esittäminen erillisenä julkaisuna tuntui sovelialta siitä huolimatta, että perusajatukseni läheisesti liittyvätkin varsinaisiin puun lujuuskysymyksiin.

Työtäni on ollut omiaan eläyttämään vilkas harrastus, jota esimieheni prof. I. LASSILA on sitä kohtaan osoittanut. Siitä samoin kuin saamistani arvokkaista neuvoista on minun häntä lämpimästi kiittäminen. — Saksalaiselle ystävälleni metsänhoitaja HEINRICH LAMBYLLE, joka on suosiollisesti tarkastanut saksankielisen selostuksen, olen vilpittömästi kiitollinen samoin kuin Suomen Metsätieteelliselle Seuralle, jonka suoma apuraha on tehnyt mahdolliseksi tutkimukseni valmistumisen.

Helsingissä lokakuussa 1933.

*Tekijä.*

## Johdanto.

Kun tekijä pari vuotta sitten ryhtyi tutkimaan suomalaisen hieskoivun teknillisiä ominaisuuksia, erityisesti taivutuslujuusominaisuuksia, ja sitä varten suoritti joukon lujuus- ja ominaispainomääräyksiä, tuli myöskin esille kysymys koivupuun ja muiden puulajien lujuusominaisuuksien vertailemisesta kysymykseen tulevista keinoista.

Tätä vertailua varten on tietävästi käytettävissä lukuisia kokeellisesti määrättäviä lukuja, joista käyttökelpoisimpia luonnollisesti ovat suhteelliset luvut, jotka kuvastavat määrättyjä puuaineen ominaisuuksia yleispätevästi. — Sellaisia ovat esim. lujuus — s.o. jännitys pinta-alayksikköä kohti, kun puusauvaa kuormitetaan siksi, kunnes se murtuu — ja ominaispaino — s.o. puun paino tilavuusyksikköä kohti —, jotka ovatkin samalla suosituimpia puun laadun karakteristikoista.

Koska näistä kummastakaan ei kuitenkaan voida päätellä, kumpi kahdesta puukappaleesta on edullisin käytettäväksi, s.o. kestää ominaispainoonsa nähden suuremman jännityksen, ja tekijälle kävivät selville ne edut, jotka seuraavat sellaista puun laadun tunnusta, joka voidaan ilmoittaa luvulla ja jonka avulla tämä seikka voidaan ratkaista, tekijä ryhtyi pohtimaan, miten taivutusmurtojännityksen, s.o. taivutuslujuus-luvun, ja ominaispainon lausekkeista voisi johtaa uuden lausekkeen sillä tavoin, että se karakterisoi puun laatua täydellisemmin kuin kumpikaan niistä erikseen. — Että uusi lauseke olisi oleva suhdeluku, sekin, oli ilmeistä.

Tällainen suhteellinen lujuusluku, jossa ominaispaino on otettu asianmukaisesti huomioon, ei suinkaan ole vieras lujuustutkimuksia käsittelevälle kirjallisuudelle, vaan on JANKA sen jo esittänyt matemaattiseksi lausekkeeksi muodostettuna suhteellisella »laatuosamäärällään» (der spezifische Qualitätsquotient) (JANKA 1900 s. 37.). JALAVA (1933 ss. 30, 31.) mainitsee saman suhteen nimenä käytettävän nimitystä »ominaislujuus.» — Nämä edellämainitut suhdeluvut vain koskevat yksinomaan puristuslujuutta, mutta eivät taivutuslujuuden suhteen kelpaa käytettäväksi, mikä olisi erikoisen suotavaa, kun ottaa huomioon taivutuslujuuden tunnustetun

aseman määriteltäessä yleensä puuaineen ja erikoisesti eri puulajien kelpaavaisuutta rakennusaineeksi.

Seuraavassa on tarkoituksena selvittää suhteellisen laatuosamäärän 1. ominaislujuuden käsitettä sekä johtaa sellainen muoto laatuosamäärän lausekkeelle, että sillä voisi karakterisoida puun laatua myöskin taivutuslujuusominaisuuksia silmällä pitäen, jotta siten entistä paremmin voitaisiin suorittaa vertailuja eri puulajien ja saman puulajin ominaispainoltaan ja lujuudeltaan eriarvoisten yksilöiden teknillisten ominaisuuksien välillä.

### **Puun laadun karakteristikat:**

#### **paino, lujuus ja suhteellinen laatuosamäärä.**

Sitä myöten kuin ihminen oppi käyttämään puuta tarpeisiinsa, hän myöskin pian oppi valitsemaan kuhunkin tarkoitukseen parhaiten soveltuvaa puuta. Ensiksi hän tietenkään oppi tietämään, mikä puulaji soveltuisi parhaiten hänen tarkoituksiinsa ja lopuksi käytäntö opetti erottamaan samankin puulajin eri yksilöiden eri arvoisen puun, vieläpä saman yksilönkin eri osien kelvollisuuden. — Tämä kävi tarpeelliseksi ennen kaikkea valittaessa puuta työ- ja sota-aseiksi sekä muiksi tarvekaluiksi, jolloin esiin käyttötapa määräsi, oliko puuaineen oltava lujaa, sitkeää, kestävä j.n.e.

Ammoin lienee jo opittu tuntemaan eräs puun ominaisuus, josta etukäteen, ennenkuin puuta oli käytännössä kokeiltu, voitiin päätellä puun lujuusominaisuuksia jonkinlaisella varmuudella, ja tämä ominaisuus on puun p a i n o. Havaittiin, että painavilta tuntuvat puut tavallisesti myös kestivät hyvin taivuttelua ja kulutusta eivätkä helposti pirstoutuneet. Mutta kun puuta ruvettiin käyttämään rakennusaineena, ei paino yksinään enää riittänytkaan ratkaisemaan puun sopivaisuutta tarkoitukseensa, sillä rakennuskonstruktioihin on kevyt puu luonnollisesti edullisinta, mutta puun keveys ei yksinään ole ratkaiseva, vaan sen tulee sitä paitsi olla lujaa. L u j u u d e s t a tulikin toinen tärkeä puun laadun ilmaisija, niin pian kuin lujuus opittiin kokeellisesti tutkimaan.

Milloin puuta joudutaan käyttämään rakenteisiin, missä mahdollisimman suuren lujuuden tulee liittyä mahdollisimman pieneen painoon, kuten esim. lentokoneissa, missä koneen koko paino koetetaan saada mahdollisimman pieneksi, käy välttämättömäksi tietää, millä puulajilla ja millaisella puulla on painoonsa nähden suurin kantokyky. On toisinsanoen saatava selville, millaisesta puusta rakenne on valmistettava, jotta se tulisi mahdollisimman keveä, kun tiedetään, kuinka suuri jännitys sen on kestävä murtumatta.

Sitä puun ominaisuutta, joka ilmaisee, onko jokin puukappale painoonsa nähden lujempaa kuin jokin toinen puukappale, ehdottaa tekijä nimittettäväksi puun h y ö d y l l i s e k s i l. s u h t e e l l i s e k s i l u j u u-

deksi. Milloin puun murtojännitystä merkitsevän lujuuden sijasta tunnetaan puun kantojännitys, voi vastaavasti käyttää nimitystä *hyödylinen kantojännitys*.

Puun hyödyllisen lujuuden on SCHWAPPACH (1897—98) määritellyt siten, että sen ilmoittaa määrättyä puun painoa vastaava lujuusluku. — JANKA (1900 s. 37.) on lausunut saman ajatuksen matemaattisesti *suhteellisella laatuosamäärällä*  $n$ , jolla tarkoitetaan puun puristuslujuuden ja ominaispainon suhdetta

$$\frac{k_{15}}{s_{15}}$$

missä  $k$  = puristuslujuus puun sisältäessä vettä 15 % painostaan ja  $s$  = puun ominaispaino saman vesipitoisuuden vallitessa. — Tällöin on otettava huomioon, että lujuusluku ja ominaispaino ovat aina määrättävät samaa vesipitoisuutta vastaavina. — JANKA on tosin itse määrännyt laatuosamäärän myöskin puun sisältäessä vettä 15 % vettä painostaan absoluuttisesti kuivana sekä puun ollessa täysin kuivaa, siis vesipitoisuusprosentin ollessa  $v = 0$ . Tämän lisäksi hän on eräissä tapauksissa (vert. JANKA 1900 ss. 39, 41.) määrännyt laatuosamäärän  $\frac{k_{15}}{s_0}$ . Tällä osamäärällä ei kuitenkaan ole sanottavaa käytännöllistä merkitystä yhtä vähän kuin osamäärällä  $\frac{k_0}{s_0}$ , JANKA onkin käyttänyt niitä yksinomaan eräiden puun lujuustutkimuksissa kysymykseen tulevien peruskäsitteiden selvittelyssä.

Käytännölliseltä kannalta asianmukainen, siis määrättyä vesipitoisuusastetta edustava laatuosamäärä sitävastoin on mukava käytettäväksi silloin, kun halutaan tietää, mitä puuta on valittava tahdottaessa saada konstruktiokappaleen paino mahdollisimman pieneksi, sillä sellaisesta puusta, jolla on suuri laatuosamäärä, voidaan tehdä kevyempi rakenne, joka silti kestää vaaditun kuormituksen, kuin sellaisesta, jonka laatuosamäärä on pienempi (vrt. BORGMAN 1913 s. 299.) — Vielä suurempi säästö kuin painossa voidaan tehdä käytetyn raaka-aineen tilavuusmäärässä, kun tunnetaan puun hyödyllinen lujuus ja valitaan sellaista puuta, jolla se on suuri. — Tämä säästö on ymmärrettävistä syistä tärkeä sen tähden, että puusta maksetaan hinta ja kuljetuskustannukset etupäässä kuutiosisällön mukaan. Miten suuri tällainen säästö saattaa olla, ilmenee alla olevasta JANKAN selostamasta esimerkistä (JANKA 1904 ss. 62, 63.).

»Poikkileikkaukseltaan neliömäisen patsaan, jonka korkeus on 1 m,

on kannettava 30 000 kg:n suuruinen kuormitus; kuinka suuri poikkileikkauspinta-ala on patsaalla oleva laadultaan eriarvoista puuta käytettäessä?

Jos tähän tarkoitukseen käytetään kuusipuuta, jonka ominaispaino täysin kuivana on 0,34, mikä vastaa normaali-ilmakuivan puun ominaispainoa 0,37 (0,3685), jolloin puun puristuslujuus on 15 % vesipitoisuusasteessa 299 kg/cm<sup>2</sup>, tällä patsaalla täytyy huomioon ottaen 10-kertaisen varmuusvaran olla  $30\,000 : 29,9 = 1003$  cm<sup>2</sup> suuruinen poikkileikkauspinta-ala. Poikkileikkausneliön sivun pituus on silloin = 31,7 cm ja patsaan paino  $1003 \times 100 \times 0,3685$  gr = 36,96 kg.

Jos näin keveän puun sijasta käytetään puuta, jonka ominaispaino täysin kuivana on 0,50 vastaten normaali-ilmakuivan puun ominaispainoa 0,53 (0,5299), ja jonka puristuslujuus silloin on 448 kg/cm<sup>2</sup>, tämän patsaan poikkileikkauspinta-alan täytyisi saman kuormituksen varalle olla  $30\,000 : 44,8 = 670$  cm<sup>2</sup>. Poikkileikkausneliön sivun pituus on silloin 25,9 cm ja paino, jos pituus tässäkin tapauksessa on 1 m, on  $670 \times 100 \times 0,5399$  gr = 35,50 kg. Käytettäessä painavaa, siis myöskin lujaa puuta kevyemmän, heikomman sijasta — sama suorituskyky huomioon ottaen — syntyy esimerkin mukaan patsaan painossa säästöä 36,96—35,50 kg eli pyöreän luvuin 4 %; aineen säästöä muodostuu samalla kertaa 33 %.

Kahden ilmakuivan kuusipuun patsaan absoluuttiset painot suhtautuvat, jos niiden pituus on sama ja niiltä vaaditaan sama suorituskyky, kääntäen niiden suhteellisiin laatuosamääriin. Käsillä olevassa esimerkissä on niinollen  $G : G' = Qq' : Qq$ , eli  $36,96 : 35,50 = 8,45 : 8,11$  ( $G$  ja  $G'$  = patsaiden painot;  $Qq$  ja  $Qq'$  = patsaiden suhteelliset laatuosamäärät — die relativen Qualitätsquotienten (Tekijän huom.). Siten

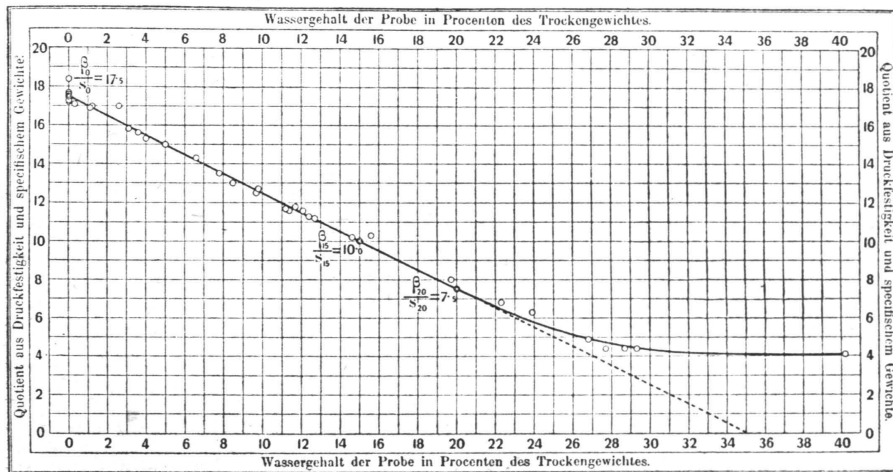
$$G' = \frac{G \cdot Qq}{Qq'}$$

Yhtälö ilmaisee, miten sellaisen kuusipuun painosta, jonka lujuus tunnetaan, voidaan suhteellisen laatuosamäärän avulla määrätä sellaisen kuusipuun paino, joka omaa saman suorituskyvyn, mutta jonka ominaispaino ja lujuus ovat toisen suuruiset (Tekijän suom.).

Täysin yleispäteviä laatuosamääriä l. hyödyllisiä lujuuslukuja ei eri puulajeille luonnollisestikaan voida määrätä, sillä niihin vaikuttavat tiettävästi kaikki ne biologiset seikat, jotka tuntuvat niin lujuusarvoissa kuin ominaispainoissakin, ja joiden vaikutusta on osittain selvitetty monissa tutkimuksissa meillä ja muualla. Mutta kun kaikki nämä seikat ovat saaneet asianmukaisen huomion osakseen, päästään lopulta sellaisiin hyödyllisiin lujuus-

lukuihin, jotka määriteltävissä olevalla todennäköisyydellä ilmoittavat, miltä taholta on löydettävissä painoensa nähden lujinta puuta, siis mistä puulajista, mistä rungon osasta, millaiselta paikkakunnalta, millaiselta kasvupaikalta ja mistä ominaispainoluokasta.

Paitsi yllä esitetystä seikoista laatuosamäärän suuruus riippuu vielä puun vesipitoisuudesta. Tämän riippuvaisuuden on JANKA tutkimuksessa, joka koskee kuusta, tieteellisesti selvittänyt, ja se käy ilmi alla olevasta piirroksesta (kuv.1.) joka liittyy hänen tutkimukseensa: »Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der Österreichischen Bauhölzer. I. Fichte Südtirols» (JANKA 1900 s. 63.).

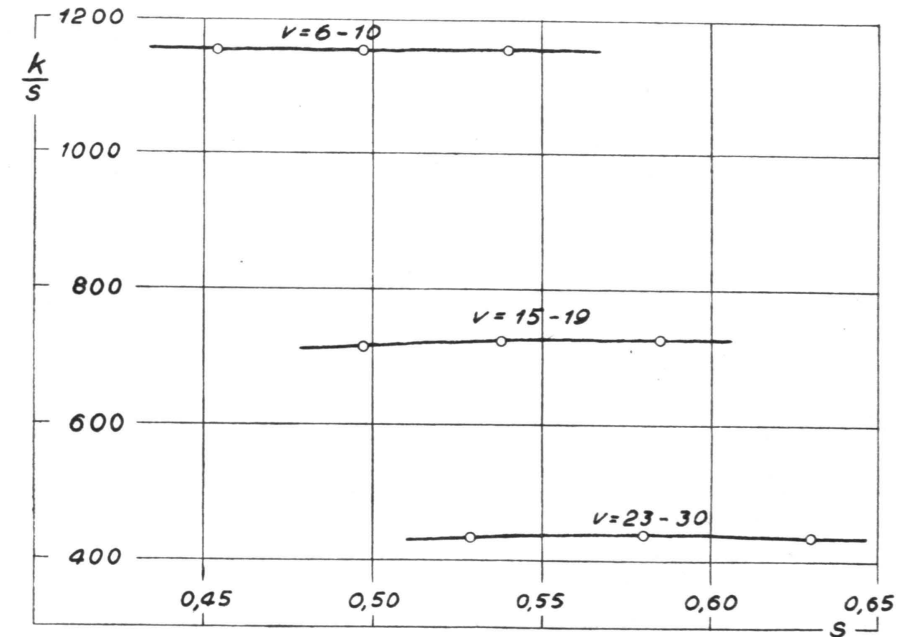


Kuv. 1. Kuusen suhteellisen laatuosamäärän riippuvaisuus puun vesipitoisuudesta (JANKAN mukaan);  $\beta$  = puristuslujuus;  $s$  = ominaispaino. — Abb. 1. Abhängigkeit des relativen Qualitätsquotienten vom Wassergehalt des Fichtenholzes (nach JANKA);  $\beta$  = Druckfestigkeit;  $s$  = spezifisches Gewicht.

Piirroksesta selviää, että laatuosamäärä noudattaa hyvin saman tapaista riippuvaisuutta vesipitoisuudesta kuin lujuskin. — Koska hyödyllinen lujuus suurenee vesipitoisuuden pienetessä, on ilmeistä, että puu on painoensa nähden sitä lujempaa, kun kuivempaa se on. Tosin se kuivessaan menettää sitkeyttään, joten puu, jota joudutaan käytettäessä paljon deformaamaan, ei saa olla kovin kuivaa.

Sama seikka ilmenee SCHLYTERIN ja WINBERGIN tutkimuksesta — »Svenskt furuvirkes hålfasthetsegenskaper och deras beroende av fuktighetshalt och volymvikt» — saaduista laatuosamääristä, joiden riippuvai-

suutta ominaispainosta esittää kuv. 2. Osamäärät on laskettu taulukosta 14., joka esitetään mainitussa teoksessa s. 76. ja josta ilmenee männyn puristuslujuuden riippuvaisuus puun ominaispainosta ilmakuvana 1. samassa vesipitoisuusasteessa, missä sen lujuus on määrätty. Piirroksesta ilmenee, että männyn laatuosamäärä suurenee puun vesipitoisuuden pienetessä ja lisäksi, että samassa vesipitoisuusasteessa puun hyödyllinen lujuus on melko lähellä konstanttia eri ominaispainoluokissa.

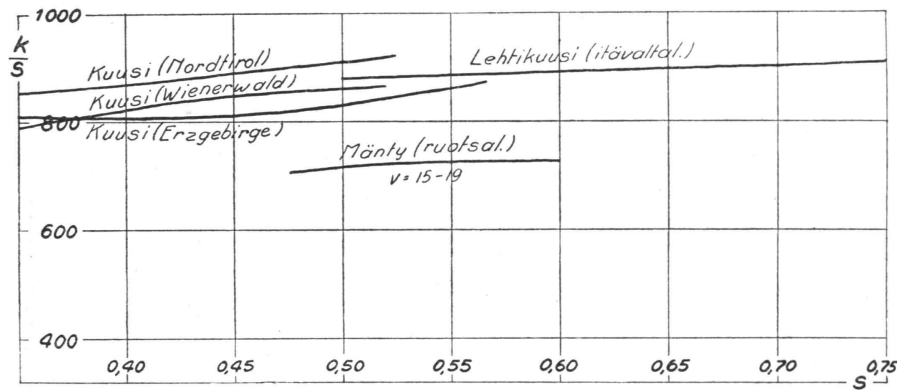


Kuv. 2. Männyn hyödyllinen puristuslujuus eri vesipitoisuusasteissa SCHLYTERIN ja WINBERGIN tutkimusten nojalla;  $k$  = puristuslujuus,  $s$  = ominaispainon lujuskokeen aikana,  $v$  = vesipitoisuus-% lujuskokeen aikana. — Abb. 2. Abhängigkeit des relativen Qualitätsquotienten vom Wassergehalt und spez. Gewicht des Kiefernholzes nach Untersuchungen von SCHLYTER und WINBERG;  $k$  = Druckfestigkeit,  $s$  = spez. Gewicht bei Druckproben,  $v$  = Wassergehalt-% bei Druckproben.

Laatuosamäärän riippuvaisuutta ominaispainosta selvittää kuv. 3., missä on paitsi SCHLYTERIN ja WINBERGIN mäntyä koskevasta tutkimuksesta saaduista käyristä se, joka kuvastaa laatuosamäärän vaihtelua vesipitoisuuden ollessa 15—19 %, lisäksi JANKAN kuusta koskevasta tutkimuksesta (1900 taul. III b) sekä lehtikuusta koskevasta tutkimuksesta (1913 s. 25 taul. 8.) saatujen 15 % vesipitoisuutta vastaavien lujuus-

arvojen nojalla piirretyt käyrät, jotka kuvaavat kuusen ja lehtikuusen laatu-osamäärän riippuvaisuutta ominaispainosta.

Piirroksista selviää, että kuusen hyödyllinen lujuus lisääntyy jonkin verran ominaispainon kasvaessa, samoin lehtikuusen ja männyn, vaikka nousu on hitaampaa näillä. Lisäksi huomataan piirroksista, että näiden kolmen puulajin laatuosamäärät poikkeavat suuruudeltaan odottamattoman vähän toisistaan, kun otetaan huomioon, että mäntykoekappaleiden kosteus-%,  $v = 15 - 19$ , on suurempi kuin muiden:  $v = 15$  %.



Kuv. 3. Männyn, kuusen ja lehtikuusen hyödyllinen puristuslujuus eri tutkimusten perusteella  $k$ ,  $s$ , ja  $v$  samat kuin kuv. 2. — Abb. 3. Effektive Druckfestigkeit der Kiefer, Fichte und Lärche nach verschiedenen Untersuchungen. (Fichte (kuusi) aus Nordtirol, dem Wienerwald und dem Erzgebirge; Lärche (lehtikuusi) aus Österreich; Kiefer (mänty) aus Schweden).

Laatuosamäärän riippuvaisuutta paikkakunnasta, jolla puu on kasvanut, selvittelee piirros 3. myöskin. Siitä selviää, että pohjois-tirolilainen kuusi on edullisempaa käytettäväksi konstruktiioihin kuin wienerwaldilainen ja wienerwaldilainen vuorostaan edullisempaa kuin erzgebirgeläinen kuusipuu.

Edelläesitetystä selviää, että jos puukonstruktio joutuu puristusjännityksen alaiseksi ja paino on ratkaiseva tekijä puuta rakennusaineeksi valittaessa, niin kuusi on edullisinta käyttää silloin, kun sen ominaispaino on mahdollisimman suuri, kun taas männyn ja lehtikuusen paino ei ole niin ratkaiseva tekijä. Mutta jos lisäksi halutaan tehdä rajoituksia rakennuspuun mittojen suhteen, sellainen puu on aina edullisempaa käyttää, jonka paino kuutiokeskittä on mahdollisimman suuri.

## Laatuosamäärä puristus- ja taivutuslujuuden karakteristikkana.

### Hyödyllinen puristuslujuus ja sen määrittäminen.

Laatuosamäärä  $\frac{k}{s}$ , joka ilmaisee puun hyödyllistä lujuutta sen joutuessa puristusjännityksen alaiseksi, ja jossa  $k$  ilmaisee puun puristuslujuutta ja ominaispainoa vesipitoisuusprosentin ollessa määrätty, voidaan johtaa suorastaan puristusjännitystä osoittavasta kaavasta:

$$(1) \quad k = \frac{p}{a^2} \text{ sekä}$$

$$(2) \quad p = k \cdot a^2,$$

missä  $k$  merkitsee puristusjännitystä  $\text{kg/cm}^2$ ,  $p$  kuormitusta ja  $a$  voiman vaikutuspinnan sivua  $\text{cm}$ , jos mainittu pinta on neliömäinen. Seuraavassa käsitellään yksinkertaisuuden vuoksi neliömäisiä prismoja. Itse asiassa on asia sama, olipa kappale poikkileikkaukseltaan minkä muotoinen hyvänsä, jolloin tarvitsee vain  $a^2$ :n asemesta merkitä poikkileikkauspinta-ala.

Laatuosamäärää johdettaessa on lähdettävä siitä, että konstruktio vaatii määrätyn painoista kappaletta, jonka lisäksi on kyettävä kestämään määrätyn suuruinen jännitys. Olkoon jännityksen aiheuttava kuormitus  $P$  ja kuormitettavan kappaleen paino  $p$ . Verrataan keskenään kahta särmiötä, joiden lujuudet ovat  $k_1$  ja  $k_2$  sekä niiden poikkileikkauksien sivut  $a_1$  ja  $a_2$ .

Silloin on olettamuksen mukaan, kun  $k_1$  ja  $k_2$  sekä  $a_1$  ja  $a_2$  sijoitetaan yhtälöön (2),

$$(3) \quad k_1 \cdot a_1^2 = k_2 \cdot a_2^2.$$

Jos kummallakin kuormitettavalla särmiöllä oletetaan olevan yksikköpituus, voidaan kummankin tilavuuden sijasta käyttää pohjapinta-aloja  $a_1^2$  ja  $a_2^2$  ja sen mukaisesti lausua niiden ominaispainot  $s_1$  ja  $s_2$ :

$$s_1 = \frac{p_2}{a_1} \text{ ja}$$

$$s_2 = \frac{p_2}{a_2}$$

Jos näistä kahdesta yhtälöstä määrätään  $a_1$ :n ja  $a_2$ :n arvot ja ne sijoitetaan yhtälöön (3), on

$$\frac{k_1 \cdot p}{s_1} = \frac{k_2 \cdot p}{s_2} \text{ ja edelleen}$$

$$(4) \quad \frac{k_1}{s_1} = \frac{k_2}{s_2} = h_p \text{ (hyödyllinen puristuslujuus).}$$

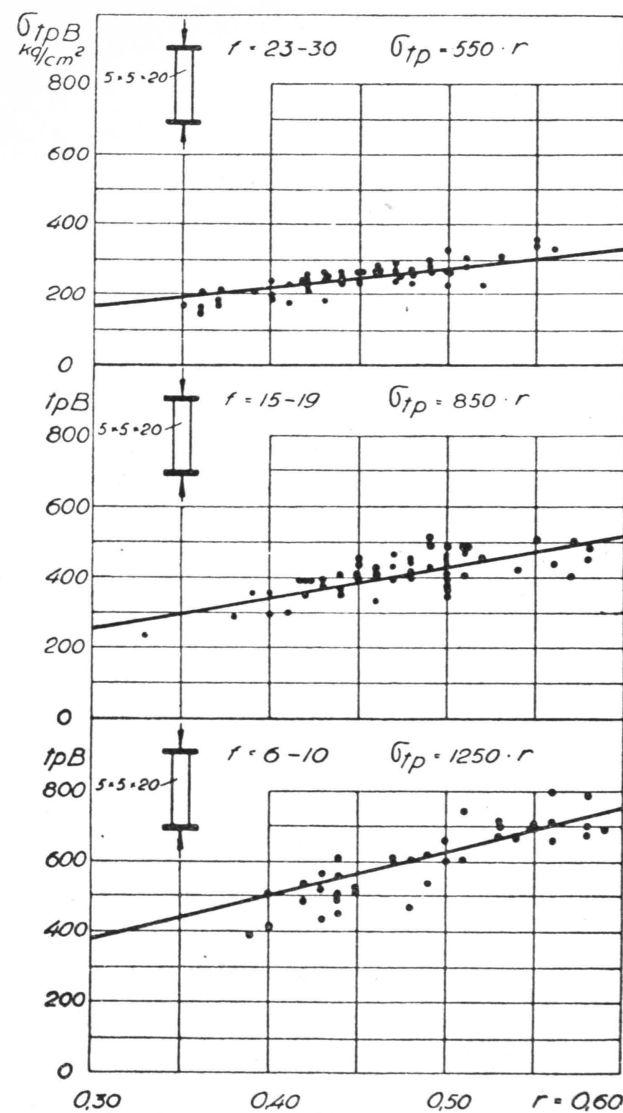
Tämä merkitsee siis sitä, että jos kahdella samanpainoisella puupris-malla on yhtä suuri ominaispaino ja ne kestävät kumpikin yhtä suurta puristusjännitystä, niillä on sama hyödyllinen lujuus l. yhtä suuret laatu-osamäärät. Kääntäen: jos kahdella puukappaleella on yhtäsuuri hyödyllinen lujuus, niistä voidaan valmistaa särmiöt, jotka ovat samanpainoiset ja kestävät yhtä suurta puristusjännitystä. Toisaalta, jos toisen pylvään paino on suurempi, mutta sen lujuus samalla on niin suuri, että suhde  $\frac{k}{s}$  pysyy ennallaan, se painaa yhtä paljon kuin edellämainitut prismat ja kestää yhtä suuren kuormituksen. Lisävaatimuksena on se, että puristuskappaleilla on sama pituus, mikä käytännössäkin on luonnollista, sillä rakennuspalkkien pituushan etupäässä on tarkoin määrätty eikä paksuus.

Yhtälöstä (4) selviää edelleen, että jos jommalla kummalla puolella lujuus  $k$  kasvaa (pienenee) muiden jäsenten jäädessä ennalleen, sen edustaman puun hyödyllinen lujuus eli konstantti  $\frac{k}{s}$  suurenee (pienenee); jos taas  $s$  samoin edellytyksin kasvaa (pienenee), konstantti  $\frac{k}{s}$  kasvaa (pienenee).<sup>1</sup>

Jos yhtä suuria ominaispainon lisäyksiä vastaavat yhtä suuret lujuuden lisäykset, voidaan ominaispainon ja lujuuden korrelatio kuvata suoralla viivalla. — Eräät tutkijat, kuten esim. SCHLYTER ja WINBERG, ovatkin tasoittaneet ominaispainon ja lujuuden keskinäisen riippuvaisuuden suora-viivaisesti, kuten näkyy piirroksesta 4.

Tälle tasoitus-suoralle voidaan luonnollisesti rakentaa yhtälö suoran yhtälön yleisen muodon mukaisesti:

$$(5) \quad k = m \cdot s + b.$$



Kuv. 4. Mäntypuun puristuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta (SCHLYTERIN ja WINBERGIN mukaan);  $\sigma_{tp} B$  = puristuslujuus,  $r$  = ominaispaino. — Abb. 4. Abhängigkeit der Druckfestigkeit vom spez. Gewicht des Kiefernholzes (nach SCHLYTER und WINBERG);  $\sigma_{tp} B$  = Druckfestigkeit,  $r$  = spez. Gewicht.



Jos tämän jälkeen halutaan tutkia laatuosamäärän  $\frac{k}{s}$  riippuvaisuutta ominaispainosta  $s$ , saadaan tätä riippuvaisuutta kuvaavan käyrän yhtälöksi kaavasta (5) johtuen

$$\frac{k}{s} = \frac{m \cdot s + b}{s} \text{ ja edelleen}$$

$$(6) \quad \frac{k}{s} = m + \frac{b}{s}.$$

Tätä yhtälöä tarkasteltaessa huomataan ensiksikin, että jos  $b = 0$ , s. o. jos suora  $k = m \cdot s + b$  kulkee origon kautta, suhde  $\frac{k}{s}$  saa vakiarvon  $m$ , ja niinollen sen graafinen kuvaaja on suoraviivainen ja kulkee  $s$ -akselin suuntaisena niiden välimatkan ollessa  $m$ .

Jos taas  $b$  saa arvon, joka on suurempi tai pienempi kuin 0, suhdetta  $\frac{k}{s}$  edustava käyrä on muodoltaan hyperbeli, jonka toisena asymptootina on  $k$ -akseli ja toisena  $s$ -akselin suuntainen suora, jonka etäisyys  $s$ -akselilta on  $m$ . Jos  $b$  on positiivinen, hyperbeli lähenee  $s$ :n kasvaessa  $s$ -akselia, ja niinollen puun hyödyllinen lujuus pienenee ominaispainon kasvaessa, mutta jos  $b$  on negatiivinen, käyrä  $s$ :n kasvaessa loittonee  $s$ -akselista, ja siis hyödyllinen lujuus suurenee ominaispainon kasvaessa.

Tällä tarkastelulla on luonnollisesti pääasiassa teoreettista merkitystä, sillä ilmeisestihän ominaispainon ja lujuuden riippuvaisuussuhdetta osoittavan käyrän täytyy teoreettisesti ajatellen aina kulkea origon kautta, ja toisaalta ei minkään puunlajin ominaispaino lähesty rajattomasti 0:a. Jos siis jollakin puulajilla ominaispainon ja lujuuden korrelaatio suora leikkaa jatkettuna  $k$ -akselin jossakin muussa pisteessä kuin akseleitten leikkauspisteessä, viiva onkin luonteeltaan käyrä, joka saavuttaa origon, jos ominaispainon ajatellaan pienenevän lähelle 0:aa. Merkitystä sillä on vain sikäli, että sen mukaan voi siinä tapauksessa, että sillä alalla, jolle ominaispainoluvut hajautuvat, ominaispaino ja puristuslujuus ovat keskenään suoraviivaisessa korrelaatioissa, tämän suoran yhtälöstä, sekä siitä, leikkaako se jatkettuna  $k$ -akselin origossa vai sen ylä- tai alapuolella, päätellä, onko kyseessä olevan puulajin hyödyllinen lujuus vakio, vai kasvaako se tai pienenee ominaispainon suuretessa edellyttäen luonnollisesti tässäkin, kuten yleensä edellä sanotussa, että verrataan puukappaleita, joilla on sama vesipitoisuus.

Sen että tasoitussuora ei kaikissa tapauksissa leikkaa origoa, ei silti tarvitse merkitä sitä, ettei olisi oikeutettua tasoittaa kyseessä olevaa korre-

latiota suoralla, sillä on usein esiintynyt tapauksia, jolloin sillä alalla, jolle eri tapaukset ominaispainojensa mukaisesti jakautuvat, korrelatio saattaa olla niin ilmeisen suoraviivainen, ettei missään tapauksessa tule suurta virhettä, jos se tasoitetaan suoraviivaisesti.

### Hyödyllinen taivutuslujuus ja sen määrittäminen.

Laatuosamäärä  $\frac{k}{s}$ , joka karakterisoi puristuslujuutta, ei tietenkään sovellu käytettäväksi taivutuslujuutta karakterisoitaessa, vaikkakin mm. JANKA (1900 s. 93.) on laskenut laatuosamäärän taivutuslujuudesta samalla tavalla kuin puristuslujuudestaan. Kun näet ottaa huomioon, että kaavat, joista taivutuslujuus lasketaan, eivät sisällä puun tilavuutta osoittavia elementtejä, joista luonnollisestikin rakennepalkin paino on riippuvainen, sellaisinaan, vaan niissä on palkin korkeus korotettuna neliöön, havaitsee, että taivutuslujuudelle soveltuva laatuosamäärä on rakennettava toisin perustein, joissa mainittu korkeampiasteisuus on asianmukaisesti otettu huomioon.

Tekijä on taivutuslujuutta varten johtanut tunnetusta NAVIERIN taivutusjännitystä osoittavasta kaavasta laatuosamäärän, joka muistuttaen JANKAN hyödyllistä puristuslujuutta karakterisoivaa osamäärää ja on seuraavanlainen:

$$h_t = \frac{k^2}{s^3},$$

missä  $h_t$  = hyödyllinen taivutuslujuus,  
 $k$  = taivutusjännitys,  
 $s$  = ominaispaino.

Lisäedellytyksenä on, samaten kuin hyödyllinen puristuslujuuden määrittämisessä, että sekä taivutuslujuus että ominaispaino ovat määrättyt saman vesipitoisuuden vallitessa.

Tätä osamäärää johtaessaan tekijä on lähtenyt samoista perusedellytyksistä kuin edellä selvitellessään puristuslujuutta karakterisoivan laatuosamäärän teknillistä merkitystä.

Aivan samassa mielessä kuin hyödyllisestä taivutuslujuudesta voidaan puhua hyödyllisestä kantojännityksestä taivutuslujuusominaisuuksista puhuttaessa, jolloin lausekkeessa vain  $k$  merkitsee kantojännitystä taivutuslujuuden sijasta.

Sellaiset rakennuspalkit, jotka joutuvat puristusjännityksien alaisiksi ovat yleensä kooltaan suhteellisen pieniä, kun sen sijaan taivutusjännityksiä kestävänsä tavallisesti tarvitaan kookkaita ansaita. Poikkeuksen tekevät kannatuspilarit ja paalut, jotka ovat yleensä suurikokoisia, mutta niinpä niissä paitsi puristusjännityksiä tavallisesti esiintyy myös taivutusjännityksiä ja komplementtijännitystä nimitetään nurjahdusjännitykseksi (LASSILA 1926). — Ottaen huomioon taivutettavien rakennepalkkien suuremman koon, on ilmeistä, että hyödyllisen taivutuslujuuden tunteminen on käytännössä vielä tärkeämpää kuin hyödyllisen puristusjännityksen tuntemus, sillä siten aiheutuvat painon ja rakennusaineen säästöt ovat vastaavasti suuremmat — — — — —.

Jos siis jälleen lähdetään siitä edellytyksestä, että määrätyn painoisen ansaan on kestävä määrätty taivutusjännitys, s.o. määrätty kuormitus, pitää voida määrätä kaikkien nämä ehdot täyttävien puupalkkien mitat, kun tunnetaan toiselta puolen niiden ominaispainoluvut ja toiselta puolen niiden yhteinen hyödyllinen lujuus. — Lähtökohtana on tunnettu NAVIERIN taivutusjännityskaava:

$$(7) \quad k = \frac{3}{2} \cdot \frac{p \cdot l}{b \cdot h^2}$$

missä

$k$  = taivutusjännitys,

$p$  = taivutusjännityksen aiheuttava kuormitus,

$l$  = taivutettavan palkin tukipisteiden etäisyys,

$b$  = palkin poikkileikkauksen leveys,

$h$  = » » korkeus.

Huomautettakoon, että ylläoleva kaava tarkoittaa taivutusjännitystä silloin, kun taivutettavan ansaan päät ovat vapaina kahden tuen varassa ja ansasta kuormitetaan siten, että taivutettava voima suuntautuu ansaan keskelle, s.o. tukien keskivälille! Pieniä, virheettömiä koekappaleita sekä tavallisimmin myös n.s. normaalikoekappaleita on tapana koettaa juuri edellä sanotuilla tavalla, ja seuraavassa esitetyt tulokset on saatu täten tutkituista aineistoista.

Yksinkertaisuuden vuoksi otetaan tässä, kuten hyödyllistä puristuslujuuttakin tarkastettaessa, käsiteltäväksi vain se tapaus, jolloin ansaan poikkileikkauspinta on neliön muotoinen. Kaava (7) saa silloin muodon:

$$(8) \quad k = \frac{3}{2} \cdot \frac{p \cdot l}{a^3}$$

missä  $a$  on poikkileikkausneliön sivu.

Tästä voidaan, jos tunnetaan puuaineen taivutus-lujuus  $k$ , kuten edellytyksissä oletettiin, määrätä  $p$ :n arvo:

$$(9) \quad p = \frac{2}{3} \cdot \frac{k \cdot a^3}{l}$$

Jos siis kahden yhtä painavan ansaan on kestävä yhtä suuri kuormitus  $p$ , niiden suhteen vallitsee, kun niiden taivutuslujuudet ovat  $k_1$  ja  $k_2$ , yhtälöt:

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_1 \cdot a_1^3}{l} \text{ ja}$$

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_2 \cdot a_2^3}{l}$$

Perusteluista johtuu suorastaan, että tukien välimatka  $l$  on kummassakin tapauksessa sama, silloin

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{k_1 \cdot a_1^3}{l} = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_2 \cdot a_2^3}{l},$$

$$(10) \quad k_1 \cdot a_1^3 = k_2 \cdot a_2^3.$$

Perusedellytysten mukaan palkkien paino on sama; merkitään sitä  $p$ :llä. Hyödyllisen lujouden selville saamiseksi on kummankin palkin ominaispaino tunnettava. Merkitään ominaispainolukuja vastaavasti  $s_1$ :llä ja  $s_2$ :llä. Palkkien tilavuudet ovat, jos kummankin pituus on  $= 1$ ,  $a_1^2$  ja  $a_2^2$ . Näiden kesken vallitsevat yhtälöt:

$$a_1^2 = \frac{p}{s_1} \text{ ja}$$

$$a_2^2 = \frac{p}{s_2}.$$

Niistä voidaan määrätä  $a_1$  ja  $a_2$  suuruudelleen:

$$a_1 = \sqrt{\frac{p}{s_1}} \text{ ja}$$

$$a_2 = \sqrt{\frac{p}{s_2}}.$$

Sijoittamalla nämä  $a_1$ :n ja  $a_2$ :n arvot yhtälöön (10) muodostuu yhtälö:

$$k_1 \cdot \sqrt{\frac{p}{s_1}} = k_2 \cdot \sqrt{\frac{p}{s_2}} \text{ ja siitä}$$

$$(11) \quad \frac{k_1}{s_1^3} = \frac{k_2}{s_2^3},$$

$$\frac{k_1^2}{s_1^3} = \frac{k_2^2}{s_2^3} = h_t.$$

Jos siis kahdella puulajilla on yhtä suuri taivutuslujuus ja sama ominaispaino, niiden hyödyllinen taivutuslujuus on yhtä suuri, ja niinollen on yhdentekevää, kummasta puulajista kannatuspalkki tehdään, ellei jokin muu puun ominaisuus — kestävyys, pihkapitoisuus t.m.s. — tule ratkaisevaksi. Samaten, jos toisella puulajilla on suurempi taivutuslujuus ja ominaispaino kuin toisella, mutta kummallakin on yhtä suuri hyödyllinen taivutuslujuus, s.o. yhtä suuri taivutuslaatuosamäärä, kumpikin kestää yhtä suuren kuormituksen, jos niistä tehdyillä palkeilla on sama paino, ja on siis samantekevää kummasta ansas tehdään, ellei ole rajoituksia ansaan paksuusmittojen suhteen. Ansaiden tilavuusmitoissa sitävastoin saattaa olla huomattavia eroja, ja jos halutaan säästää puukuutiomäärissä, sellainen puuaine on edullisinta, jolla suureen ominaispainoon liittyy niin suuri taivutuslujuus, että hyödyllinen taivutuslujuus täyttää vaatimukset. Jos lopuksi tavataan puulaji, jolla on suurempi hyödyllinen taivutuslujuus kuin muilla käytettävissä olevilla, voidaan ensiksikin tehdä volyymissäästöä, mutta sitäpaitsi aiheutuu säästöä ansaan painossa, sillä mitä suurempi  $h_t$  palkilla on, sitä keveämpi se on ja silti kantaa määrätyn kuormituksen.

Seuraavat esimerkit tekevät havainnolliseksi hyödyllisen taivutuslujuuden käytännöllisen merkityksen.

Esillä on sellainen tapaus, että rakennuspalkiksi on valittavissa kaksi puusalkoa, joista toisen ominaispaino  $s_1 = 0,50$  ja toisen ominaispaino  $s_2 = 0,70$  ja molemmilla on yhtä suuri hyödyllinen taivutuslujuus. Jos edellisen taivutuslujuus on  $700 \text{ kg/cm}^2$  ja salkojen hyödyllinen taivutuslujuus  $\frac{k^2}{s^3} = h_t = 3\,920\,000$  tahi  $h_t/1000 = 3\,920$ , täytyy sen mukaisesti jälkimmäisen salon taivutuslujuuden olla  $1\,160 \text{ kg/cm}^2$ . Jos rakenne vaatii poikkileikkaukseltaan neliömäistä palkkia, jonka pituuden tulee olla  $100 \text{ cm}$  ja painon  $1\,800 \text{ gr.}$ , ja jonka on kestettävä ennen murtumistaan  $1000 \text{ kg}$  kuormitus, tämän palkin poikkileikkauksen sivu on  $5,98 (\approx 6,0) \text{ cm}$ , kun palkki tehdään puusta, jonka ominaispaino on  $0,50$  ja taivutuslujuus  $700 \text{ kg/cm}^2$ , ja  $5,08 (\approx 5,1) \text{ cm}$ , kun palkki tehdään puusta, jonka ominaispaino on  $0,70$  ja taivutuslujuus  $1\,160 \text{ kg/cm}^2$ . Jos edelleen oletetaan, että palkin pituus on

sama kuin tukipisteiden etäisyys, siis  $100 \text{ cm}$ , on edellisessä tapauksessa palkin tilavuus  $v_1 = 3\,600 \text{ cm}^3$  ja jälkimmäisessä tapauksessa  $v_2 = 2\,600 \text{ cm}^3$ . Eroa on niinollen  $1000 \text{ cm}^3$ , mikä prosentteina  $v_1$ :stä on

$$\frac{v_1 - v_2}{v_1} \cdot 100 = 27,7 \text{ \%}.$$

Puun säästö on siis kuutiomitoissa mitaten huomattava.

Toinen tapaus on sellainen, jossa tiedetään, että toisella puokappaleella on suurempi hyödyllinen taivutuslujuus kuin toisella. Silloin ei tietenkään voida molemmista valmistaa sellaista palkkia, joka ollen ennakolta määrätyn painoinen, kestäisi määrätyn suuruisen kuormituksen, vaan se palkki, jonka hyödyllinen taivutuslujuus on suurempi, kestää suuremman murtokuormituksen kuin se, jolla on pienempi hyödyllinen taivutuslujuus.

Jos toisella palkilla on samat ominaispaino- ja taivutuslujuusluvut kuin edellisessä esimerkissä ensiksi mainitulla puulla, siis  $s_1 = s_3 = 0,50$  ja  $K_1 = K_3 = 700 \text{ kg/cm}^2$ , mutta toisella palkilla tosin sama ominaispaino kuin edellisen esimerkin jälkimmäisellä puulla, siis  $s_1 = s_3 = 0,70$ , mutta tähän ominaispainoon tässä tapauksessa liittyy suurempi taivutuslujuus kuin  $K_2 = 1160 \text{ kg/cm}^2$ , esim.  $K_3 = 1\,200 \text{ kg/cm}^2$ , niin silloin tämän palkin hyödyllinen taivutuslujuus on suurempi kuin mainittujen kahden muun. Edellisessä tapauksessa oli kummallakin sama hyödyllinen taivutuslujuus  $h_t/1000 = 3\,920$ , tässä esimerkissä on edellisen puun hyödyllinen taivutuslujuus sama  $h_{t1}/1000 = 3920$  ja jälkimmäisen  $h_{t3}/1000 = 4\,169$ . Edellisen palkin poikkileikkauksen sivu  $a_1$  on niinikään sama kuin äskeisessä esimerkissä, nim.  $a_1 = 5,98 (\approx 6,0) \text{ cm}$ , jälkimmäisen palkin sivu  $a_3 = 5,0 \text{ cm}$ ; vastaavat volyymit ovat  $v_1 = 3\,600 \text{ cm}^3$  ja  $v_3 = 2\,500 \text{ cm}^3$ . Volyymissäästöä aiheutuu siis tässä tapauksessa painavampaa puuta käytettäessä:

$$\frac{v_1 - v_3}{v_1} \cdot 100 = 30,6 \text{ \%}.$$

Tässä tapauksessa saavutetaan painavampaa puuta käytettäessä paitsi volyymissäästöä myöskin painon säästöä, sillä palkin paino  $p_1$  on edellisen esimerkin mukaan  $1\,800 \text{ gr.}$ , mutta käytettäessä puuta, jonka hyödyllinen taivutuslujuus on  $h_t = 4\,169$ , palkin paino  $p_3 = 1\,750 \text{ gr.}$  Säästö on absoluuttisesti laskien  $50 \text{ gr.}$  ja prosentteina:

$$\frac{p_1 - p_3}{p_1} \cdot 100 = 2,8 \text{ \%}.$$

Volyyimisäästö on siis, kuten edellä olevista esimerkeistä käy ilmi, sangen huomattava kun yleensä käytetään painavaa ja samalla kertaa lujaa puuta. Kun taas rakennetaan puusta, jonka hyödyllinen paino on suurempi kuin toinen, voidaan samaa kuormitusta varten tyytyä keveämpään palkkiin. Suhteellinen painosäästö ei ole niin suuri kuin volyyimisäästö ollen edelläolevassa esimerkissä 2,8 % (oletettu ero hyödyllisten taivutuslujuuksien välillä on erikoisen pieni, kuten tuonnempana huomataan verrattaessa keskenään eri puulajien k.o. ominaisuuksia, ja todellisuudessa esiintyy samankin puulajin ollessa kyseessä eroja, jotka voivat olla 200 kertaa niin suuria kuin esimerkissä oleva (vrt. ss. 35, 36.)), mutta tällainenkin säästö on jo varteenotettava tekijä, milloin rakenteen keveys on erikoisen tavoiteltava päämäärä, kuten esimerkiksi lentokonerakennusteollisuudessa, missä »tapellaan grammoista», jos niin voi sanoa. Sitäpaitsi aiheutuu hyödyllisesti lujempaa puuta käytettäessä vielä luonnollisesti volyyimisäästöäkin, vaikka käytettäisiin ominaispainoltaan samanarvoista puuta. Niinpä esimerkkien mukaan palkin tilavuudeksi tulee, kun ominaispaino on  $0,70$ ,  $v_2 = 2\,600\text{ cm}^3$ , jos  $h_{11} = 3\,920$ , ja  $v_3 = 2\,500\text{ cm}^3$ , jos  $h_{13} = 4\,169$ , joten eroa on  $100\text{ cm}^3$ , eli n. 4 %.

Kuten ymmärrettävää, hyödyllinen taivutuslujuus on käsitettävä sellaiseksi suureeksi, jota ei voi suorastaan soveltaa käytäntöön lausumalla eri puulajeille eksaktisia arvoja. Sensijaan hyödyllisen taivutuslujuuden merkitys ilmenee siinä, että jos tunnetaan kahden puulajin taivutuslujuus ja ominaispaino, voidaan suhteen  $\frac{k^2}{s^3}$  avulla tutkia kumpi on edullisempi käytettäväksi rakenteessa, t. s. kummasta saa kevyemmän palkin, joka kestää määrätyn kuormituksen. Tämä ei ole muiden käytännössä olevien karakteristikoiden avulla ollut mahdollista.

Jos jonkin aineiston antamien ominaispaino- ja lujuuslukujen perusteella määrätään joukko hyödyllisiä taivutuslujuusarvoja, nämä todennäköisesti puumateriaalille ominaiseen tapaan hajautuvat liian suuressa määrässä antamatta kylliksi pohjaa graafiselle esitykselle, korkeintaan niiden mukaan voitane todeta jonkinlaista korrelatiota kyseessä olevan suhdeluvun ja esim. ominaispainolukujen kanssa (vrt. tässä JANKA 1900 s. 93.). Mutta jos lähdetään siitä, että taivutuslujuuden ja ominaispainon välistä riippuvaisuussuhdetta esitetään suoralla tahi käyrällä, kuten useitten tutkijoiden on nähty tekevän, astuu hyödyllisen lujoudenkin käytännöllinen

merkitys toisellakin tavalla esille. Jos näet hyödyllisen lujouden laskemiseksi lujuus- ja ominaispainoluvut otetaan niiden keskinäistä riippuvaisuutta esittävästä graafisesta kuvaajasta, jolloin saadaan jonkinlaisia keskimääräisiä ominaispaino- ja lujuuslukuja, sensijaan, että ne otettaisiin vastaavista aineistoista, saadaan hyödyllisten lujuuslukujen vaihtelua osoittavan käyrän luonne ilmenemään selvemmin, kuin siinä tapauksessa, että käyrät jouduttaisiin piirtämään uuden pistejoukon nojalla. Jos näet käyrän arvot lasketaan korrelatiosuorasta tai käyrästä, käyrä voidaan piirtää suorastaan saatujen pisteiden kautta ilman tasoitusta, jolloin luonnollisesti vältetään toiseen tasoittamiseen liittyvät epäkohdat.

Lisäksi näin saadut pisteet ja niiden muodostama käyrä ovat suoranaudessa riippuvaisuudessa lujuus- ja ominaispaino-keskiarvoihin ja antavat niinollen yleispätevän kuvan asianomaisen puulajin hyödyllisen lujouden vaihteluista. Käytännössä sangen merkittävää on, että näiden käyrien perusteella voidaan eri puulajeille määrätä hyödyllisen lujouden maksimiarvot, mikä merkitsee sitä, että käyrästä voidaan nähdä, mitä ominaispaino- tahi lujuusluku vastaa suurin hyödyllinen lujuus. Tätä ei ole aikaisempien karakteristikoiden nojalla voitu taivutuslujuuden suhteen selvittää (vrt. LASSILA 1929 s. 33.). JANKA (1900 s. 93. vrt. myös ibidem s. 97.) on suhteesta  $\frac{k_{15}}{s_{15}}$ , missä  $k$  = taivutuslujuus ja  $s$  = ominaispaino 15 % vesipitoisuusasteessa, saanut joukon lukuja, joista hän on varovasti päätellyt, että mainittu osamäärä pysyy ominaispainon vaihdellessa kuta kuinkin vakiona, mikä päätelmä pitää vain sangen suurin piirtein paikkansa.

Lähdettäessä hyödyllisen lujouden vaihteluja kuvastavasta käyrästä tekemään ylläolevanlaisia päätelmiä ja määräämään käytäntöä varten lukuja, on oltava selvillä siitä, että käyrä edustaa sitä parempia keskiarvolukuja, kuta täydellisempi lujouden ja ominaispainon korrelatio on ja siis kuta suurempi on mainittujen ominaisuuksien korrelatiokertoimen. Suoranainen seuraus siitä, että lujouden ja ominaispainon korrelatiokertoimen on suuri, on se, että mainitut päätelmät hyödyllisen lujouden maksimikohdista ja eri puulajeille käytäntöä varten saadut luvut silloin edustavat suurta todennäköisyyttä, mikä puolestaan tekee ne käytäntöön soveltuviksi.

Eri tutkijat ovat tulleet sangen erilaisiin tuloksiin tutkiessaan jonkin puulajin ominaispainon ja lujouden korrelatiota. Tämä koskee erikoisesti taivutuslujuutta. Yleensä on sanottava, että lehtipuiden suhteen on tulos useimmiten ollut positiivinen, kun sen sijaan havupuita koskevat tutkimukset osoittavat suurempaa horjuvaisuutta (vrt. esim. KALNINŠ

1930 ja SCHLYTER & WINBERG 1929). On vaikeata tietää, mikä tähän on ollut syynä. Mahdollista on, että havupuiden suhteen korrelatiota horjuttavat sellaiset seikat, kuten pihka- ja väriainepitoisuus, sillä nämä aineet vaikuttavat huomattavalla tavalla ominaispainoon, mutta eivät ainakaan sanottavasti muuta lujusominaisuuksia. Huomattavimpana syynä lienee kuitenkin se, että lujusutkimuksissa, joita useimmissa tapauksissa insinöörimiehet ovat suorittaneet, on saattanut jäädä moni lujusominaisuuksiin ja ominaispainoon vaikuttava biologinen seikka varteenottamatta. — Tällaisista on mainittava puulajin maantieteellinen leveneminen ja koepuiden kasvupaikan suhde siihen, kuten mm. uusimmat Japanissa suoritetut tutkimukset osoittavat. Samoin on kasvupaikan hyvyysluokalla ratkaiseva merkitys lujuteen ja ominaispainoon, kuten mm. LASSILA on osoittanut (1929 ja 1931). Huomattavasti vaikuttaa niinkään kasvunopeus, joka kuvastuu vuosilustojen leveydestä, sekä syyspuuprosentti, mihin puolestaan voi vaikuttaa jokainen edelläluetelluista, sekä lisäksi valaistus- ja kosteussuhteet ja paikan tuulisuus, mitkä taas voivat riippua puun kasvupaikasta tai sen asemasta metsikössä. Puun ikä, sekä se, miten vanhoista puun osista koekappaleet on otettu, ovat nekin vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi vaikuttavat puun oksaisuus, kaatoaika ja säilytys- sekä käsittelytapa ennen kokeita.

On itsestään selvää, että jos yllä luetelluille seikoille ei suoda tarpeellista huomiota, saattaa tutkittava aineisto heterogeenisuutensa takia antaa tulossarjan, josta päätelmien tekeminen on sangen vaikeata. Saattaapa käydä niinkin, että juuri tämän takia eräitä puuaineen osoittamia lakimääräisyyksiä jää ilmenemättä, tahi tutkija leimaa puun lujusominaisuudet sekä niiden keskinäisen riippuvaisuuden vaihtelevimmaksi kuin ne ansaitsevat.

Ollen selvillä näistä seikoista tekijä on tutkinut koivupuun taivutuslujuutta aineistosta, joka on kerätty samasta tasaikäisestä metsiköstä, ja jonka puut ovat kaikki samasta puuluokasta ja samankokoisia. Koekappaleet on sitäpaitsi otettu samalta korkeudelta ja puut kaadettu samana päivänä. Tuonnempana seuraa (ss. 46—53.) selostus aineistosta sekä siitä saaduista hyödyllistä taivutuslujuutta valaisevista tuloksista. Mainittakoon tässä vain, että koivun suhteen saatiin näillä edellytyksillä taivutuslujuudelle ja ominaispainolle sangen selvä suoraviivainen korrelatio ollen korrelatiokertoimen koko koivuaineistolla  $r = 0,945$ , siis sangen lähellä täydellistä korrelatiota,  $r = 1.0$ ! Pintapuulle erikseen tuli vielä suurempi korrelatio  $r = 0,961$ . Sydäntä lähellä oleville kerroksille tuli  $r = 0,823$ , mikä sekin on huomattavan korkea luku.

Jos siis käsitelystä koemateriaalista saadaan sellainen pistejoukko kuvastamaan ominaispainon ja taivutuslujuuden korrelatiota, että sen voi tasoittaa käyrällä, joka antaa käytäntöön soveltuvia lujus- ja ominaiskeskiarvoja, voi teoreettista tarkastelua edelleen jatkaa tutkimalla, millainen korrelatiokäyrän tulee luonteeltaan olla, jotta hyödyllinen taivutuslujuus asianomaisella puulajilla pysyisi vakiona. Sitä varten on vain tarkasteltava millaista käyrää vakio

$$h_t = \frac{k^2}{s^3}$$

edustaa. Tämä käyrä on paraabeli, joka on alaspäin kupera ja jonka akselina on k-akseli.

BAUMANN (1922 ss. 97—99.) on kuitenkin tasoittanut taivutuslujuuden ja ominaispainon keskinäistä riippuvaisuutta osoittavan käyrän ylöspäin kuperaksi tutkimansa aineiston perusteella. — Jos korrelatiokäyrä on, kuten BAUMANNilla, ylöspäin kupera, on selvää, että hyödyllisen taivutuslujuuden ja ominaispainon välistä riippuvaisuutta kuvastava käyrä tulee olemaan samoin ylöspäin kuperana. Jos ominaispainon ja taivutuslujuuden korrelatio on suoraviivainen jollakin välillä, kuten tekijän tutkimuksen mukaan on laita koivun suhteen (vrt. kuv. 10. s. 48.), hyödyllistä taivutuslujuutta saattaa kuvastaa niinkään ylöspäin kuperana käyrä, joka kuitenkin ei kulje niin käyräviivaisena kuin BAUMANNIN tuloksista saatu. Mistään tutkimuksesta, joita tätä varten on tarkasteltu, ei ole löytynyt sellaista ominaispainon ja taivutuslujuuden korrelatiota, jota edustavalla käyrällä olisi ollut alaspäin kuperan paraabelin luonne, ja voidaan niinollen päätellä, ettei niillä puulajeilla, joita p.o. tutkimukset ovat koskeneet, hyödyllinen taivutuslujuus pysy vakiona ominaispainon kasvaessa, vaan on jostakin ominaispainoluokasta löydettävissä taivutuslujuusoptimi, joka sijaitsee kullekin puulajille ominaisessa painoluokassa, kuten myöhemmin yksityiskohtaisesta tarkastelusta käy ilmi. Samoin voidaan pätevin syin olettaa olevan laita kaikkien muidenkin puulajien suhteen. Tämän ominaispainoluokan tuntemisella on ilmeinen käytännöllinen merkitys esim. lentokoneiteollisuutta varten puuta valittaessa.

## Ominaispainon ja taivutuslujuuden korrelatio sekä hyödyllinen taivutuslujuus eri tutkimusten mukaan.

Puiden teknillisiä ominaisuuksia koskevat tutkimukset vastaavat kysymykseen puun ominaispainon ja lujuuden keskinäisestä riippuvaisuudesta eri tavoilla. Useimmat tutkijat ovat yleensä havainneet mikä selvemmän mikä vaillinaisemman riippuvaisuussuhteen olemassaolon, mutta on sellaisiakin tutkimuksia, joiden perusteella sitä ei ole näkyvissä.

Myönteiseen tulokseen ovat tulleet m.m. JANKA, BAUMANN, BERZINA SCHLYTER & WINBERG sekä tekijä, vieläpä on joidenkin tässä mainittujen tutkijoiden mukaan korrelatio suoraviivainen sillä välillä, jolle ominaispainoluvut hajautuvat. Käyräviivaisen korrelatation on todennut esim. BAUMANN m ä n n y n , k u u s e n j a s a a r n e n suhteen.

Edellämainituista tutkimuksista koskevat JANKAN tutkimukset (1900, 1904, 1909, 1911, 1913) kuusta, l e h t i k u u s t a j a s a a r n e a ; BAUMANNIN (1922), kuten mainittiin, m m. m ä n t y ä , k u u s t a j a s a a r n e a ; BERZINAN (1928) m ä n t y ä , SCHLYTERIN & WINBERGIN (1929) m ä n t y ä sekä tekijän k o i v u a . Kielteiseen tulokseen, siis siihen, ettei puun lujuus ole suoranaisesti riippuvainen puun ominaispainosta, on tullut m.m. KALNINŠ ja osaksi WIJKANDER, joista viimeksimainittu on tutkinut tärkeimpien ruotsalaisten metsäpuiden lujuus- ja elastisuusominaisuuksia ja on tosin eräissä tapauksissa huomannut selvän positiivisen korrelatation eräitten puulajien ominaispainon ja lujuuden välillä, mutta useissa tapauksissa yleensä on päätynyt kielteiseen tulokseen. KALNINŠ on tutkinut m ä n n y n lujuusominaisuuksia huomaamatta ominaispainon ja lujuuden välillä minkäänlaista korrelatiota (vrt. 1930 ss. 131, 132.).

Seuraavassa esitetään yllämainituista JANKAN, BAUMANNIN, WIJKANDERIN, SCHLYTERIN ja WINBERGIN sekä tekijän omista tutkimuksista saatujen lujuus- ja ominaispainolukujen perusteella eri puulajien hyödyllisiä jujuuksia. Esityksen pohjalla käy mahdolliseksi tarkata, miten hyödyllinen lujuus vaihtelee ominaispainon mukaan, jos lujuus yleensä seuraa ominaispainon muutoksia. Samassa yhteydessä selviää, missä ominais-

painoluokassa kunkin puulajin hyödyllinen lujuus todennäköisesti on suurin. Samoin voidaan tehdä vertailuja eri puulajien keskimääräisten hyödyllisten lujuuslukujen välillä.

### JANKAN tutkimukset.

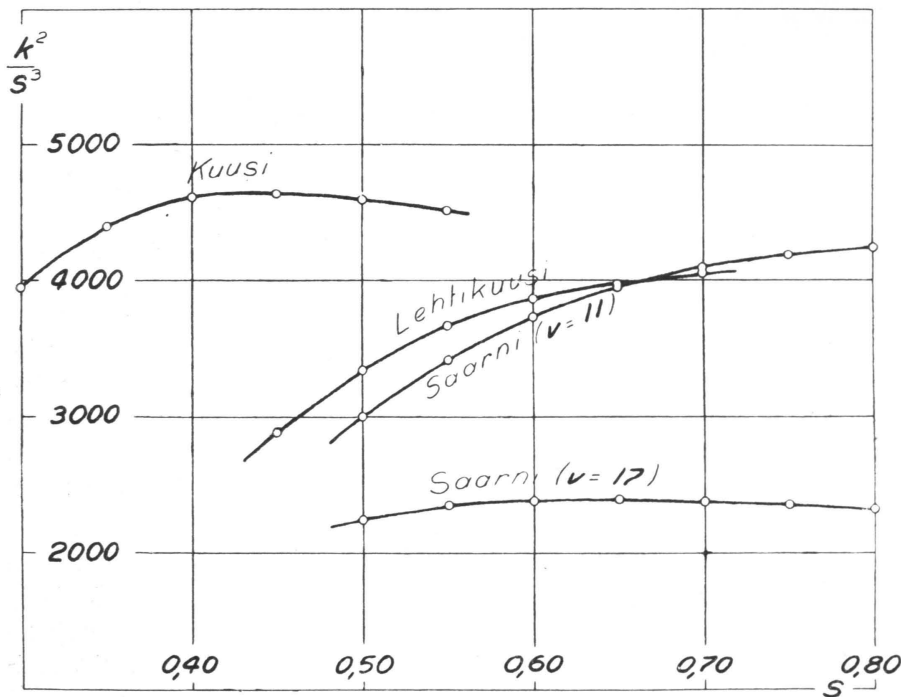
JANKA on tutkinut m.m. kuusen, lehtikuusen ja saarnen lujuusominaisuuksia sekä niiden riippuvaisuutta ominaispainosta tullen yleensä siihen tulokseen, että ominaispainon ja (puristus- ja taivutus-) lujuuden välillä vallitsee positiivinen ja melko selvä korrelatio, joten siis ominaispainon on omiaan antamaan jonkinlaisen kuvan näiden puulajien lujuusominaisuuksista. JANKA ei kuitenkaan ole ryhtynyt kuvaamaan graafisesti taivutuslujuuden riippuvaisuutta vesipitoisuudesta. Tekijä on sentähden ottaen arvot JANKAN tutkimuksiin liittyvistä tulostaulukoista merkinnyt keskimääräisiä ominaispainolukuja ja niitä vastaavia taivutuslujuuksia edustavat pisteet koordinaatistoille, joiden abskissat ilmaisevat ominaispainoja ja ordinaatat taivutuslujuuksia kg/cm<sup>2</sup>. Kunkin puulajin piste-ryhmät asettuivat lähelle suoraa, joka loittonee abskissa-akselista ominaispainojen kasvaessa. Tämä suora edustaa eri ominaispainoja vastaavia lujuuskeskiarvoja ja on erilainen eri puulajeilla. Ottamalla tältä suoralta lujuusarvot voitiin laskea kutakin ominaispainolukua vastaava keskimääräinen hyödyllinen lujuus.

Nämä hyödyllisen lujuuden arvot merkittiin vuorostaan pisteillä koordinaatistolle, jonka abskissa-arvot edelleen ilmaisevat ominaispainoja ja ordinaatta-arvot tällä kertaa niitä vastaavia hyödyllisiä taivutuslujuuslukuja, jotka kuitenkin lyhennettiin merkitsemään täysiä tuhansia. Näiden pisteiden kautta piirretty käyrä kuvastaa hyödyllisen lujuuden vaihtelua ominaispainon mukaan ja sen avulla voi päätellä, mistä ominaispainoluokasta on löydettävissä kunkin puulajin hyödyllisen lujuuden maksimi.

### Kuusi.

JANKAN (1900, 1904 ja 1909) tutkima aineisto käsitti 81 koeputta eri osista Itävaltaa. Laskemalla edellä esitetyllä tavalla niiden mukaan saaduista keskiarvoluvuista hyödylliset taivutuslujuudet tuli eri ominaispainoluokkia vastaamaan hyödylliset lujuudet seuraavasti:

Ominaispainon ollessa 0,30	hyödyllinen taivutuslujuus on	3 960	tuhatta
» » 0,35	» »	4 400	»
» » 0,40	» »	4 620	»
» » 0,45	» »	4 600	»
» » 0,50	» »	4 600	»
» » 0,55	» »	4 520	»



Kuv. 5. JANKAN tutkimien kuusten, lehtikuusten ja saarnien hyödyllisen taivutuslujuuden  $\frac{k^2}{s^3}$  riippuvaisuus ominaispainosta ilma-kuivana. Pyörylät merkitsevät laskettuja arvoja,  $k$  = lujuus,  $s$  = ominaispaino kokeen aikana,  $v$  = vesipitoisuus-%. — Abb. 5. Abhängigkeit der eff. Biegezugfestigkeit  $\frac{k^2}{s^3}$  vom spez. Gewicht im lufttrockenen Zustand nach JANKAS Untersuchungen an Fichte (kuusi), Lärche (lehtikuusi) und Esche (saarni). Die Kreise bezeichnen die berechneten Werte,  $k$  = Festigkeit,  $s$  = spez. Gewicht bei der Probe,  $v$  = Wassergehalt in %.

Piirroksessa kuv. 5. näkyy graafisesti kuusen hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta ilma-kuivana, s.o. siinä vesipitoisuusasteessa, joka puulla on ollut lujutta määrättäessä.

Piirroksesta voi päätellä, että kuusipuun on vähiten soveliaista käytettäväksi, jos se on kevyttä. Hyödyllisen lujuuden maksimi sijaitsee ominaispainoluokassa 0,40—0,45. Siirryttäessä tästä suurempiin ominaispainoluokkiin hyödyllinen lujuus pienenee, tosin hitaasti. JANKAN lujuusmääräysten nojalla voi siis lausua kuusipuusta, että sen ominaispainon tulee olla vähintään 0,38, jotta se kelpaisi käytettäväksi sellaisiin rakenteisiin, missä mahdollisimman suuren lujuuden täytyy yhtyä mahdollisimman suureen keveyteen.

Amerikassa on asetettu viralliset vaatimukset eri puulajien laadulle, jotta ne kelpaisivat käytettäväksi lentokoneiden rakentamiseen (ks. MOORE 1924). Niinpä on määrätty, miten suuri täytyy kunkin puulajin ominaispainon vähintään olla uunikuivassa tilassa, jotta se hyväksyttäisiin.

Amerikkalaisista kuusensukuisista puulajeista tulevat lentokoneiden rakentamisessa kysymykseen etupäässä *Picea rubens*, *P. canadensis* ja *P. sitchensis*. Näille määrätty alin ominaispainoraja on 0,36, joka siis on koko joukon alapuolella JANKAN luvuista saadun, äsken mainitun hyödyllisen lujuusmaksimin. Tosin koskee, kuten mainittiin, amerikkalainen määräys ominaispainoa uunikuivana, ja kun se muunnetaan ominaispainoksi, joka vastaa 15 % vesipitoisuutta olettaen, että uunikuivalla puulla tarkoitetaan puuta, joka sisältää vettä 6—10 %, ominaispainoksi tulee juuri 0,37—0,38. Muuntamiseen on käytetty silloin JANKAN (1904 s. 37.) kuuselle määräämää muuntamiskaavaa:

$$s_{15} = s_v - 0,2v + 3,$$

missä  $s_{15}$  = ominaispaino vesipitoisuuden ollessa 15 % painosta absoluuttisesti kuivana,  $s_v$  = ominaispaino vesipitoisuusasteessa  $v$  % ja  $v$  = vesipitoisuus-%.

Jos tarkastellaan kuusen käyrää kuviossa 5., huomataan, että yllämainittu amerikkalaisten määräämä kuusen ominaispainon alin sallittu raja on melko hyvin valittu katsoen siihen, että se on kokeellisesti määrätty, sillä jos seurataan kuusen hyödyllisen lujuuden kehitystä ominaispainon kasvaessa, huomataan, että ominaispainoluokassa 0,55 hyödyllinen lujuus on 15 % vesipitoisuusasteessa jälleen sama kuin luokassa 0,37—0,38. Silloin ei ole otettu huomioon sitä seikkaa, että hyödyllisen lujuuden kehitys saattaa olla erilainen eri vesipitoisuusasteissa, kuten nähdään myöhemmin JANKAN saarniaineistoa käsiteltäessä. — Saarnelle on ominaista, että puun kuivuessa sen suuremmat ominaispainoluokat edustavat suhteellisesti edullisempaa rakennusainetta. Tämän huomioon ottaminen ei tässä yhteydessä kuitenkaan ole välttämätöntä, sillä useimpien puukonstruktioiden käyttö-

tapa esim. kattorakenteina ja lentokoneiden osina, tekee mahdolliseksi säilyttää puussa uunikuivuusastetta, vaan juuri n. 15 %:n vesipitoisuus tulee tällöin etupäässä kysymykseen (vrt. SCHLYTER ja WINBERG 1929 s. 23., missä puun vesipitoisuusasteet on jaettu 5 luokkaan, joista luokka »rumstorr» (zimmer trocken, roomdry) virke vastaa  $v = 10-15$  % ja »lufttorr» (luft trocken, airdry) virke vastaa  $v = 15-17$  % vesipitoisuusastetta).

### Lehtikuusi.

Lehtikuusen lujuus- ja elastisuusominaisuuksia on JANKA (1913) tutkinut 37 koepuuta käsittävän aineiston perusteella, joka on kerätty lehtikuusen tärkeimmiltä itävaltalaisilta kasvualueilta: Wienerwaldilta, Schlesiasta sekä Pohjois- ja Etelä-Tirolista.

Hänen tutkimuksensa tulosten nojalla laskettiin lehtikuusen hyödylliset lujuusarvot samalla tavalla kuin kuusenkin. Siten tuli ilmakuivan puun eri ominaispainoluokkia vastaamaan hyödylliset taivutuslujuudet seuraavasti:

Ominaispainon ollessa 0,45	hyödyllinen taivutuslujuus on 2 890	tuhatta
» » 0,50	» » »	3 350 »
» » 0,55	» » »	3 670 »
» » 0,60	» » »	3 870 »
» » 0,65	» » »	3 980 »
» » 0,70	» » »	4 050 »

Näin saatujen lehtikuusen hyödyllisten taivutuslujuuslukujen riippuvaisuus ominaispainosta ilmenee kuviosta 5.

Jos tarkastellaan lehtikuuselle piirretyn käyrän kulkua, huomataan, että se nousee ominaispainon kasvaessa jatkuvasti niissä rajoissa, joiden välillä se yleensä vaihtelee, ja voidaan siis päätellä, että lehtikuusi on sitä edullisempää käytettäväksi, kun painavampaa se on.

Sen lisäksi huomataan, että lehtikuusen ominaispainon vaihteluihin ei puun erilainen pihkapitoisuus todennäköisesti vaikuta niin paljoa, kuin yleensä on oltu taipuvaisia uskomaan. Yleensähan ollaan sitä mieltä, että suuri pihkapitoisuus lisää ominaispainoa vaikuttamatta lainkaan lujuutta lisäävästi niihin elementteihin, joista lujuus on riippuvainen. Suuresta ominaispainosta on niinmuodoin oltu taipuvaisia kaikkien havupuiden kysymyksessä ollessa siirtämään huomattava osuus suuren pihkapitoisuuden tilille.

### Saarni.

Saarnen lujuusominaisuuksista esittää JANKA selvittelyn kirjoituksessaan »E s c h e n h o l z z u S k i» (Centralblatt f.d. ges. Forstwesen 1911). Lujuuskokeisiin hän käytti 49 saarnisalkoa, jotka oli sahattu 21 saarnirungosta. Saarnien alkuperä on ollut sangen kirjava, mutta siitä huolimatta on tuloksista selvästi havaittavissa, että saarnen taivutuslujuus ja ominaispainon ovat korrelaatiossa keskenään ja voitiin riippuvaisuus kuvata suoralla viivalla. Yhdistelmä saaduista tuloksista on nähtävissä kirjoituksessa taulukossa I sivulla 563.

Taulukosta näkyy kahdessa vesipitoisuusasteessa — 11 % ja 17,3 % vesipitoisuudessa — tehtyjen lujuuskokeiden tulokset. Tekijä on laskenut hyödyllisen taivutuslujuuden sekä 11 % että 17,3 % ( $\approx 17$  %) vesipitoisuutta silmällä pitäen. Hyödylliset taivutuslujuudet ovat ominaispainoluokittain kummassakin vesipitoisuusasteessa seuraavat:

#### Vesipitoisuusprosentin ollessa $v = 11$ ja

ominaispainon ollessa 0,50	hyödyllinen taivutuslujuus on 2 980	tuhatta
» » 0,55	» » »	3 420 »
» » 0,60	» » »	3 730 »
» » 0,65	» » »	3 950 »
» » 0,70	» » »	4 100 »
» » 0,75	» » »	4 190 »
» » 0,80	» » »	4 240 »

#### Vesipitoisuusprosentin ollessa $= 17$ ja

ominaispainon ollessa 0,50	hyödyllinen taivutuslujuus on 2 250	tuhatta
» » 0,55	» » »	2 350 »
» » 0,60	» » »	2 390 »
» » 0,65	» » »	2 400 »
» » 0,70	» » »	2 390 »
» » 0,75	» » »	2 370 »
» » 0,80	» » »	2 340 »

Ylläesitetyt tulokset on esitetty niinkään graafisesti kumpikin vesipitoisuusryhmä käyrällään kuviosta 5.

Käyrät osoittavat ensiksikin, että hyödyllinen taivutuslujuus on suurempi alhaisemmassa vesipitoisuusasteessa, ja toiseksi, että hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta on luonteeltaan erilainen



eri vesipitoisuusasteissa. Niinpä vesipitoisuusasteessa  $v = 11$  hyödyllinen lujuus kasvaa jatkuvasti ominaispainon kasvaessa saarnelle ominaisissa rajoissa, kun taas vesipitoisuusprosentin ollessa  $v = 17$  hyödyllisen taivutuslujuuden maksimi on löydettävissä näiden rajojen sisäpuolelta, nim. ominaispainoluokasta  $0,60$ , ja ominaispainon kohotessa siitä suuremmaksi hyödyllinen taivutuslujuus pienenee. Mikä tämän ilmiön aiheuttaa, on vaikeata sanoa. Teoreettisesti asiaa ajateltaessa huomaa, ettei syy voi olla puun kuiva-aineessa olevan veden absoluuttisessa määrässä, sillä jos lasketaan eri ominaispainoluokkien vesipitoisuuden suhteellinen määrä puun kuiva-aineen volyymistä (edellyttäen, että puun kuiva-aineen ominaispaino on  $1,56$ ), saadaan eri ominaispainoille samassa vesipitoisuusasteessa samat veden volyympisprosentit. Niinpä  $17$  paino-% vettä sisältävässä puussa on, olipa ominaispaino mikä tahansa,  $26,5$  volyymi-% vettä soluseinämiä volyymistä;  $11$  paino-% vettä sisältävässä puussa on vastaava volyymi-%  $17,2$ ;  $15$  % vesipitoisuutta vastaa  $23,4$  volyymi-%. Tekijä on katsonut olevan syytä lyhyesti selvittää ylläolevan seikan, joka ei ensi näkemältä ole niinkään selvä, mutta jonka selittää se tosiasia, että kaikilla puulajeilla on puuaineen ominaispainoista riippumatta soluseinämiä, siis täyteen, absol. kuivan puun ominaispaino yhtä suuri —  $1,56$  —. Veden volyymistä osuutta osoittava %-luku saadaan veden paino-%:n ilmoittavasta luvusta kaavan

$$(12) \quad v_l = 1,56 v_p$$

mukaan, missä  $v_l$  = veden tilavuus-% ja  $v_p$  = veden paino-%.

Selitys ilmiölle on siis haettava muualta, ja voisi siksi ajatella sitä, ettei mahdollisesti sittenkään kaikki puussa oleva vesi kyllästymisrajan —  $v = n. 25$  % — alapuolella ole imeytyneenä solujen seinämiin, kuten yleensä otaksutaan, vaan osa on höyrystyneenä tahi nestemäisenä soluonteloissa ja seinämien pinnoilla, jolloin se luonnollisestikaan ei vaikuta puun lujuusominaisuuksiin, ellei sitä ole saatettu soluun niin paljon, että vedessä syntyy sisäinen jännitys, joka saattaa lisätä puun lujuutta. Jos silloin puun ominaispaino on suuri, sen soluontelot ovat vastaavasti pienemmät kuin samassa vesipitoisuusasteessa olevan, alhaisemman ominaispainon omaavan puun soluontelot. Pienempiin soluonteloihin mahtuu ymmärrettävästi vähemmän vapaata vettä kuin suurempiin, mikä merkitsee sitä, että ahdasonteloisten solujen seinämiin joutuu enemmän vettä, mikä vähentää suuren ominaispainon omaavan puun lujuutta. Edelleen voisi otaksua, että tämän soluonteloihin pysähtyvän veden volyyminen osuus koko imeytyneestä vesimäärästä ei ole suhteellinen vesipitoisuusasteeseen eikä soluseinämiä paksuuteen, s.o. tässä tapauksessa ominaispainoon, vaan

lisäytyisi suurionteloisissa soluissa vesipitoisuuden kasvaessa enemmän kuin ahdasonteloisissa soluissa. Tämä merkitsisi sitä, että kevyt saarnipuu ei menetä hyödyllistä lujuuttaan niin paljoa kuin painava vesipitoisuuden kasvaessa.

Mahdollisesti voisi selitystä hakea myöskin saarnipuun rakenteesta. Saarnihan on kehäputkiloinen puu, jossa lisäksi on huomattavan avarat putkilot. Koska putkilot huomattavasti vaikuttavat ominaispainoon, kuten JANKA (1911 s. 573.) on huomauttanut, voisi ajatella, että putkiloiden vedenimemiskyky on erilainen kuin muiden, varsinaisten vahvikesolujen. Kun yleensä kevyt saarnipuu sisältää lukuisemmin putkiloita kuin painava, voisi edelliseen kappaleeseen viitaten pitää tätä seikkaa jonkinlaisena syynä mainittuun ilmiöön.

Yksinkertaisin selitys on kuitenkin löydettävissä siitä mahdollisuudesta, että paksuseinämaisten ja ohutseinämäisten solujen misellit eivät ime vettä itseensä yhtä suuressa määrässä. Tähän viittaa sekin seikka, että kyllästymisraja esim. eri puulajeilla saattaa olla eri vesipitoisuuden %-luvulla (vrt. JALAVA 1932 s. 9.), mikä nähtävästi riippuu juuri puun erilaisesta tiiviyydestä s.o. ominaispainosta. Seurauksena tästä on luonnollisesti erilainen hyödyllisen lujuuden kehitys eri ominaispainoluokissa vesipitoisuuden vaihdellessa.

Että ylläolevat selvittelyt eivät pidä paikkaansa kaikkiin puulajeihin nähden, huomataan tuonnempana (ss. 42—46.) selostettaessa männyn hyödyllistä lujuutta SCHLYTERIN ja WINBERGIN tutkimuksien pohjalla.

Tekijä on vielä saadakseen mahdollisuuden vertailla eri puulajien hyödyllisiä lujuuksia konstruoinut saarnelle käyrän, joka vastaa  $15$  % vesipitoisuutta. Hyödyllisten lujuusarvojen laskeminen tapahtui siten, että ensin piirrettiin taivutuslujuuden ja ominaispainon korrelatiota kuvaava suora pisteiden mukaan, jotka saatiin muuntamalla JANKAN tutkimuksista saadut ominaispaino- ja lujuusluvut vastaamaan  $15$  % vesipitoisuutta. Muuntaminen tapahtui tekijän koivupuulle määräämien muuntamiskäyrien mukaan, jotka esitetään tuonnempana, koivun hyödyllistä lujuutta koskevassa osassa. — Muunnettujen lukujen perusteella piirretystä suorasta otettiin sen jälkeen arvot hyödyllisten taivutuslujuusarvojen laske- miseksi.

Saarnen hyödyllistä taivutuslujuutta  $15$  % vesipitoisuusasteessa kuvaava käyrä on nähtävissä kuviossa 14 (s. 58.). Siitä nähdään, että saarnipuu, jossa on  $15$  % vettä, on sitä edullisempää käytettäväksi, kuta suurempi ominaispaino sillä on. Hyödyllisen lujuuden nousu ominaispainon kasvaessa ei kuitenkaan ole läheskään niin huomattava kuin vesipitoisuus-

asteessa  $v = 17$ . Huomattavin hyödyllisen lujuuden nousu tapahtuu ennen  $0,60$ -ominaispainoluokkaa, joten tekijä olisi tämän nojalla taipuvainen asettamaan mainitun ominaispainon ilmakeiulle saarnipuulle rajaksi, jonka alapuolella olevaa puuta ei olisi hyväksyttävä esim. lentokonerakenteisiin. Mielenkiintoista on todeta, että amerikkalaisten aikaisemmin mainituissa määräyksissä on täksi rajaksi amerikkalaisille saarnilajeille — *Fraxinus americana*, *F. lanceolata* ja *F. quadrangulata* — määrätty  $0,56$ , mikä siis tuntuu hiukan liian alhaiselta siinä tapauksessa, että amerikkalaisten saarnilajien lujuusominaisuudet ja anatoominen rakenne osapuulleen vastaavat eurooppalaisen saarnen vastaavia ominaisuuksia. Neljännelle saarnilajilleen — *Fraxinus nigralle* — amerikkalaiset ovat asettaneet ominaispainon minimirajan  $0,48$ , mistä päättäen sekä tekijän käytettävissä olevien näytteiden mukaan tämän puuaine on löyhempää eikä siis sovellu vertailtavaksi muihin saarnilajeihin.

#### BAUMANNIN tutkimukset.

BAUMANN on tutkinut 8 eri havupuulajin, 26 lehtipuulajin ja 2 yksisirkkaisen, puuvartisen kasvin — bambun ja raffiapalmun — puuaineen lujuusominaisuuksia. Tutkimusten tulokset hän on julkaissut teoksessa: »Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart» (BAUMANN 1922). Tekijä on tutkituista puulajeista ottanut käsiteltäväkseen männyn, kuusen ja saarnen hyödylliset taivutuslujuusominaisuudet, koska BAUMANN on teoksessaan esittänyt niiden taivutuslujuuden ja ominaispainon korrelatiota kuvaavat piirroksat, joista on käynyt päinsä suorastaan ottaa eri ominaispainoluokkia vastaavat taivutuslujuusarvot ja niiden nojalla laskea hyödylliset lujuudet. Piirroksat (ibidem ss. 97—99.) osoittavat, että BAUMANN ei ole katsonut voivansa tasoittaa näiden kahden ominaisuuden riippuvaisuutta suoraviivaisesti, vaan on päätenyt ylöspäin kuperiin viivoihin. Tekijä ei ole ryhtynyt tässä yhteydessä pohtimaan, missä määrin käyräviivainen tasoitus esitettyjen pistejoukkojen perusteella olisi voitu korvata suoraviivaisella, vaan viitataan tässä yhteydessä vain siihen, mitä aikaisemmin (ss. 9. ja 24.) on puhuttu biologisten y. m. tekijöiden tarpeellisesta huomioon ottamisesta lujuustutkimusten yhteydessä.

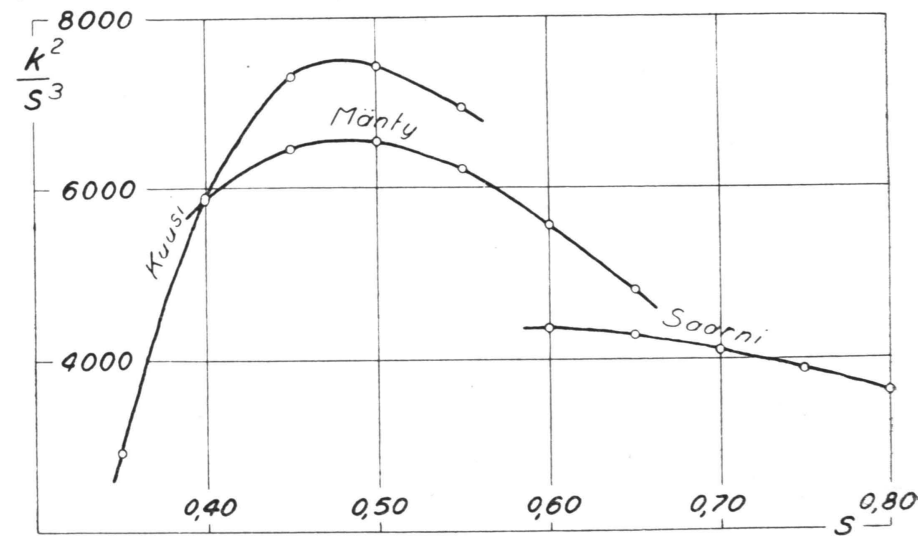
Seuraavassa esitetään männyn, kuusen ja saarnen hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta BAUMANNIN lujuus- ja ominaispainokeskiarvojen perusteella.

#### Mänty.

Hyödyllisen taivutuslujuuden vaihtelu näkyy seuraavasta asetelmasta. Ominaispainon ollessa  $0,40$  hyödyllinen taivutuslujuus on 5 873 tuhatta

»	»	$0,45$	»	»	»	6 460	»
»	»	$0,50$	»	»	»	6 550	»
»	»	$0,55$	»	»	»	6 223	»
»	»	$0,60$	»	»	»	5 587	»
»	»	$0,65$	»	»	»	4 815	»

Sama vaihtelu on nähtävissä piirroksesta kuv. 5., josta nähdään, että männyn hyödyllinen taivutuslujuus saavuttaa maksiminsa ominaispainoluokassa  $0,45$ — $0,50$  painuen sen jälkeen melko jyrkästi alaspäin. Mäntypuu ei siis BAUMANNIN mukaan ole edullista rakennuspuuta ollessaan painavaa.



Kuv. 6. Männyn ja saarnen hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta BAUMANNIN tutkimusten nojalla;  $k$  = taivutuslujuus,  $s$  = ominaispaino. — Abb. 6 Abhängigkeit der eff. Biegefestigkeit der Kiefer (mänty) und Esche (isaarni) vom spez. Gewicht nach Untersuchungen von BAUMANN;  $k$  = Biegefestigkeit,  $s$  = spez. Gewicht.

#### Kuusi.

Kuusi asettuu hyödyllisen taivutuslujuutensa puolesta männyn yläpuolelle, kuten kuv. 6. edelleen nähdään. Kuusen käyrä ei kuitenkaan ole

joka kohdaltaan männyn käyrän yläpuolella, vaan käyrät menevät ristiin ominaispainoluokan  $s = 0,40$  kohdalla. Kuusen hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuutta ominaispainosta kuvastaa allaoleva asetelma.

Ominaispainon ollessa	$0,35$	hyödyllinen taivutuslujuus on	3 136	tuhatta
»	»	$0,40$	»	» 5 914 »
»	»	$0,45$	»	» 7 321 »
»	»	$0,50$	»	» 7 423 »
»	»	$0,55$	»	» 6 941 »

Kuten ylläolevasta asetelmasta ja kuv. 6. nähdään, kuusen hyödyllisellä taivutuslujuudella on maksimi arvonsa samassa ominaispainoluokassa kuin männylläkin BAUMANNIN mukaan, nim. luokassa  $s = 0,45-0,50$ . Ennen maksimikohtaa on käyrällä jyrkästi nouseva suunta ja siirryttäessä ominaispainoluokasta, jota tämä maksimi arvo vastaa, suurempia ominaispainoja kohti käyrä taas laskee melkein yhtä jyrkästi. BAUMANNIN tutkimusten nojalla voi siis sanoa, että keveä kuusipuu ei ole edullista rakennepuuta, ja että ominaispainon alimpana rajana on pidettävä  $s = 0,42$ , jos halutaan vakuuttautua siitä, että rakenne kestää painoonsa nähden kyllin suuren jännitteen. BAUMANNIN tulosten nojalla raja siis on huomattavasti korkeammalla kuin amerikkalaisten asettama alin sallittu raja,  $s = 0,37-0,38$ . Kuten nähtiin aikaisemmin (s. 29.), JANKAN tutkimusten tulokset johtivat osittain samansuuntaiseen päätelmään. Tässä yhteydessä tosin on viitattava siihen, että BAUMANNIN sekä mäntyä että kuusta koskevat käyrät yleensä liikkuvat sangen korkealla. BAUMANN näet mainitsee kirjassaan, tosin ekstreemitapauksina, erikoisen korkeita lujuuslukuja, jotka hän on saanut kokeilemalla vain muutamia millimetrejä paksuilla, paria cm korkeilla rimoilla, joita on kokeen aikana täytynyt tukea molemmilta puolilta kaatumisen estämiseksi, mutta hän ei myöhemmin tee kyllin selväksi, onko nämä tapaukset otettu huomioon korrelatiokäyriä piirrettäessä. Lisäksi saattaa vesipitoisuuden määräämistavassa olla sellaisia seikkoja, jotka tekevät BAUMANNIN määräämät männyn ja kuusen lujuusluvut painoon nähden huomattavan paljon suuremmiksi kuin millään muulla tutkijalla.

#### Saarni.

Saarni osoittaa BAUMANNIN samoin kuin JANKANKIN mukaan huomattavasti huonompia lujuusominaisuuksia ominaispainoonsa nähden kuin esim. mänty ja kuusi. BAUMANNIN saarnelle piirtämä taivutuslujuuden ja omi-

naispainon keskinäistä riippuvaisuutta kuvastava käyrä ei paljoa poikkea suorasta, ja sen mukaisesti on hyödyllisen taivutuslujuuden vaihteluja kuvaava käyrä tullut vähemmän kupera kuin männyn ja kuusen vastaavat käyrät.

Eri ominaispainoluokkia tuli vastaamaan seuraavat lasketut hyödylliset taivutuslujuusluvut:

Ominaispainon ollessa	$0,60$	hyödyllinen taivutuslujuus on	4 370	tuhatta
»	»	$0,65$	»	» 4 292 »
»	»	$0,70$	»	» 4 109 »
»	»	$0,75$	»	» 3 895 »
»	»	$0,80$	»	» 3 644 »

Saarni on, niin kuin yllä olevasta asetelmasta sekä piirroksista kuv. 6. huomataan painoonsa nähden sitä lujempaa, kuta keveämpää se on, vaikakaan hyödyllisen lujisuuden pieneneminen ominaispainon kasvaessa ei ole erittäin jyrkkää (vert. JANKAN tutkimuksista saatuja tuloksia s. 32.).

#### WIJKANDERIN tutkimukset.

WIJKANDERIN (1897) tutkimukset ovat erikoisesti siinä mielessä mielenkiintoiset nimenomaan meikäläisiä oloja silmälläpitäen, että ne käsittävät sellaiset puulajit, jotka meillä esiintyvät taloudellisesti tärkeinä, ja lisäksi koeaineiston, joka on peräisin Suomen oloja vastaavilta kasvupaikoilta. Tutkimuksiinsa hän on käyttänyt osapuilleen seuraavat määrät koepuita: 115 mäntyä, 74 kuusta ja 28 koivua. Koepuiden lukumäärästä ei WIJKANDERIN julkaisusta pääse tarkasti perille, sillä hän ei mainitse lukuja missään yhteydessä, ja koepölkkyjen numerointi ei ole täysin johdonmukaista, joten siitäkään ei voi vetää tarkkoja johtopäätöksiä. Kustakin koepuusta on otettu 2—3 m pituisia koepölkkyjä joko tyvestä tai n. 10 m:n korkeudelta, tahi kuten useissa tapauksissa on ollut laita, kummaltakin korkeudelta. Koepuut ovat olleet kotoisin neljästä eri osasta maata, millä on tahdottu tehdä tutkimukset käytäntöä varten yleispäteviksi, mutta mikä samalla on varmaan ollut omiaan hajoittamaan tuloksia, etenkin koska samalla ei ole kiinnitetty tarpeellista huomiota kasvupaikan ja monien muiden biologisten tekijöiden vaikutukselle, vaan tulokset on ilman muuta yhdistetty.

Tässä yhteydessä on otettu tarkasteltavaksi WIJKANDERIN tutkimukset niiltä osilta, jotka koskevat meidän tärkeimpiä puulajejamme: mäntyä, kuusta ja koivua. WIJKANDERIN tutkimusta vaivaa se, ettei

siinä ole perusteltuja keskimääräisiä lukuja osoittamassa eri puulajien ominaisuuksia; niinpä esitettyjen keskiarvojen yhteydessä ei ole puhuttu mitään vesipitoisuus-prosentteista, joita sanotut arvot vastaavat. Jää niinollen hämäräksi se, onko mahdollisesti keskiarvot laskettu kokeissa saaduista luvuista sellaisinaan, siis vastaten vesipitoisuus-prosentteja, jotka kyseessä olevissa koekappaleissa ovat vaihdelleet sangen laajoissa rajoissa — männyllä 6—20 %, kuusella 8—16 % ja koivulla 9—13 % —, vai onko mahdollisesti lujuus- ja ominaispainoarvot keskiarvojen määrittämiseksi ensin muunnettu johonkin määrättyyn vesipitoisuusasteeseen.

Seuraavassa esitetyt hyödylliset lujuudet on saatu siten, että WILKANDERIN mainitsemien keskiarvojen nojalla on piirretty korrelatiosuorat, milloin tutkimuksessa on esitetty sellaisia lukusarjoja, joiden mukaan on voinut vakuuttautua lujuuden ja ominaispainon välisestä suhteellisuudesta. Kuusen ja männyn suhteen onkin siten laita, ja WILKANDER sanoo itsekin (ibidem s. 87.) »dass bei der Fichte die Festigkeit und die Elasticitäts-Koefficienten bei Druck, Zug, Biegen und Abscheren sowie die Biegsarbeit — unter sonst gleichen Verhältnissen — dem specifischen Gewichte proportional sind», ja edelleen (ibidem s. 147.): »Mit recht guter Annäherung kann man also auch bei der Kiefer die Festigkeits-Zalen als proportional mit dem specifischen Gewichte betrachten». Erikoisesti männyn suhteen ilmenee suhteellisuus selvänä ja keskiarvoja vastaavat tapaukset sattuvat lähelle korrelatiosuoraa. Koivun suhteen hän ei ole päätenyt selvään korrelatioon, mistä myöhemmin.

#### Mänty ja kuusi.

Männyn ja kuusen keskiarvot edustivat huomioonottaen ylläolevat huomautukset sellaisia lujuus- ja ominaispainolukuja, jotka vastaavat keskimäärin 11—12 vesipitoisuusprosenttia laskettuna painosta ilmakuivana. Kun tämä muunnetaan sellaiseksi prosenttiluvuksi, joka on laskettu painosta absoluuttisesti kuivana, kaavalla

$$v = 100 \frac{v'}{100 - v'}$$

missä  $v$  = vesipitoisuus-% laskettuna absoluuttisesti kuivan puun painosta ja  $v'$  = vesipitoisuus-% laskettuna puun painosta vettä sisältävänä, saadaan keskimääräiseksi vesipitoisuudeksi WILKANDERIN koekappaleille n. 13 % painosta absoluuttisesti kuivana (vrt. SCHLYTER ja WINBERG 1929.). Tämä vesipitoisuus-% lähtökohtana tekijä on muuntanut WIL-

KANDERIN luettelemat ominaispaino- ja lujuusluvut vastaamaan yleisesti käytettyä vesipitoisuusprosenttia  $v = 15$  painosta absoluuttisesti kuivana. Kuusen ominaispainon muuntamiseen käytettiin kaavaa

$$s_{15} = s_v - 0,2 v + 3 \text{ (vrt. s. 29.)}$$

ja männyn ominaispainon muuntamiseen kaavaa

$$s_{15} = s_v (1 - 0,0055 (v - 15)) \text{ (vrt. s. 46.)}$$

Molempien taivutuslujuudet muunnettiin kaavalla

$$k_{15} = k_v (1 + 0,04 (v - 15)) \text{ (vrt. s. 45.)}$$

joka tosin on laskettu mäntyä varten, mutta ei aiheuttane sanottavaa virhettä kuuseen sovellettuna, sillä kuten huomataan vertailtaessa keskenään tutkimuksia vesipitoisuuden vaikutuksesta lujuuteen, eivät eri puulajit eroa huomattavalla tavalla toisistaan, etenkin niiden ollessa havupuita.

Täten saatujen muunnettujen lukujen nojalla on piirretty ominaispainon ja taivutuslujuuden keskinäistä riippuvaisuutta kuvaavat suorat, jotka vastaavat 15 % vesipitoisuutta, ja näistä suorista määrättiin eri ilmakuivan puun ominaispainoja vastaavat taivutuslujuusluvut, joiden nojalla hyödylliset lujuudet saatiin lasketuksi.

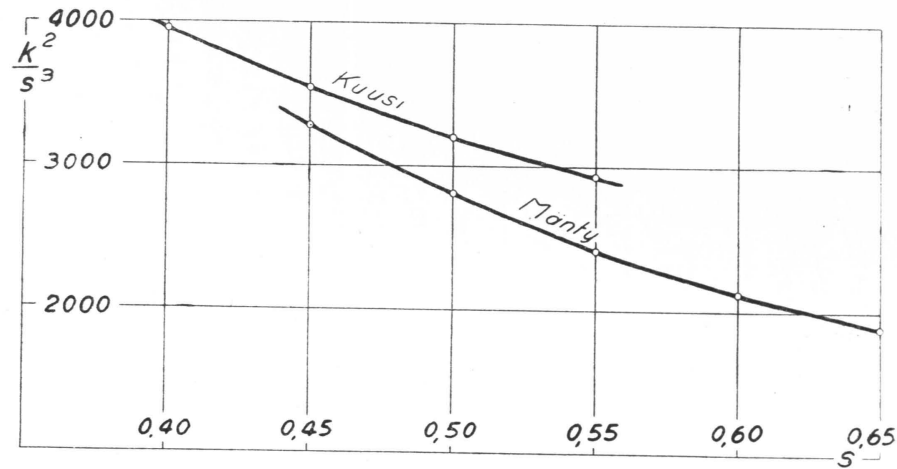
Männyn hyödyllisen taivutuslujuuden vaihtelu ominaispainon mukaan nähdään seuraavasta asetelmasta.

Ominaispainon ollessa	0,45	hyödyllinen taivutuslujuus on	3 285	tuhatta
»	»	0,50	»	» 2 805 »
»	»	0,55	»	» 2 412 »
»	»	0,60	»	» 2 120 »

Vastaavat vaihtelut kuusella esiintyvät seuraavassa asetelmassa.

Ominaispainon ollessa	0,40	hyödyllinen taivutuslujuus on	3 853	tuhatta
»	»	0,45	»	» 3 555 »
»	»	0,50	»	» 3 206 »
»	»	0,55	»	» 2 926 »

Hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta on nähtävissä kuv. 7.



Kuv. 7. WIJKANDERIN tutkimien kuusten ja mäntyjen hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta vesipitoisuuden ollessa  $v = 15$ ;  $k$  = taivutuslujuus,  $s$  = ominaispaino. — Abb. 7. Abhängigkeit der eff. Biegezugfestigkeit der Fichte (kuusi) und Kiefer (mänty) vom spez. Gewicht bei einem Wassergehalt von 15% nach Untersuchungen von WIJKANDER.

Piirrokselta käy ilmi, että WIJKANDERIN tutkimuksien perusteella tullaan siihen johtopäätökseen, että sekä mänty- että kuusipuu on sitä edullisempaa rakennuspuuta, mitä keveämpää se on, ja hyödyllinen lujuus laskee jyrkänlaisesti ominaispainon lisääntyessä. Kuusen suhteen tämä on hieman odottamatonta katsoen JANKAN ja BAUMANNIN erilaisiin tuloksiin, mutta mäntyyn nähden tulos on siihen sijaan sellainen kuin odottaa sopiikin, sillä männyllä lujuus- ja ominaispainolukuja arvosteltaessa esiintyy suuremmissa määrässä kuin kuusella vaikuttavana ominaisuutena pihkaisuus, joka saattaa lisätä ominaispainoa vaikuttamatta millään tavalla lujuutta lisäävästi. Yhteistä BAUMANNIN ja WIJKANDERIN tutkimuksien tuloksille on se, että kummallakin edustaa kuusi yleensä suurempaa hyödyllistä taivutuslujuutta kuin mänty.

#### Koivu.

Koivun suhteen WIJKANDER on tullut tutkimuksissaan siihen tulokseen, että sen taivutuslujuus ja ominaispaino eivät ole suhteellisia keskenään. Tämä nähdään asetelmasta, joka on hänen teoksensa (WIJKANDER 1897) sivulla 44. Sen mukaan eri ominaispainoja vastaavat seuraavanlaiset taivutuslujuusarvot:

Ominaispainon ollessa 0,72 taivutuslujuus on 935 kg/cm<sup>2</sup>

»	»	0,67	»	»	739	»
»	»	0,64	»	»	720	»
»	»	0,61	»	»	742	»
»	»	0,57	»	»	766	»

Ylläolevaan asetelmaan on luvut otettu sellaisinaan muuntamatta niitä 15 %:n vesipitoisuutta vastaaviksi. Luvut ovat suuria keskiarvoja, joissa ei ole otettu huomioon maantieteellisen aseman enempää kuin kasvupaikankaan vaikutusta lujuusominaisuuksiin, ja juuri siitä lienee haettavissa syy siihen, että korrelatio ominaispainon ja taivutuslujuuden välillä on melko pieni, eikä proportionaalisuutta juuri ole havaittavissa. Keskimääräisiä lujuus- ja ominaispainolukuja vastaavista vesipitoisuusasteista on sanottava samaa koivun kuin männyn ja kuusenkin suhteen.

#### WIJKANDERIN »laatuosamäärä».

Tässä yhteydessä ei voi sivuuttaa WIJKANDERIN käyttämää tapaa verrata eri ominaispainoluokkiin kuuluvien koekappaleiden lujuusominaisuuksia keskenään. Hän nim. on myöskin käyttänyt eräänlaista laatuosamäärää puun laadun karakteristikana. M.m. männyn ja kuusen lujuusluvut hän on, kuten hän ilmoittaa (1897 ss. 86 ja 145), muuntanut ominaispainoluokkaa  $s = 0,5$  vastaaviksi siten, että hän on saadut lujuusluvut jakanut 2 s:llä. Laatuosamäärä saa niinollen WIJKANDERIN tutkimuksessa muodon  $\frac{k}{2s}$ , missä  $k$  = lujuusominaisuutta osoittava luku;  $s$  = ominaispaino vesipitoisuusasteessa, joka on vallinnut lujuuskokeen aikana. — WIJKANDERIN laatuosamäärä kuten ymmärrettävää, on jo hyvän joukon lähempänä oikeata kuin JANKAN käyttämä  $\frac{k}{s}$ , kun on kysymyksessä taivutuslujuus.

WIJKANDERIN laatuosamäärää havainnollistaa seuraavalla sivulla oleva taulukko I, missä on männyn ja kuusen kutakin ominaispainoluokkaa vastaavat taivutuslujuusarvot sekä lisäksi muunnetut arvot  $\frac{k_b}{2s}$ .

Mäntyä koskevassa taulukossa ilmenee tekijän  $\frac{k_b}{2s}$  alenemista ominaispainon pienetessä, mutta samansuuntaista kehitystä ei tapaa kuusen taulukosta.

Taul. I.

## Mänty:

Ominaispaino	Taivutuslujuus kg/cm <sup>2</sup>	Muunnettu taivutuslujuus
s 0,6	755	602
s = 0,55—0,599	691	608
s = 0,5—0,549	659	629
s < 0,5	608	640

## Kuusi:

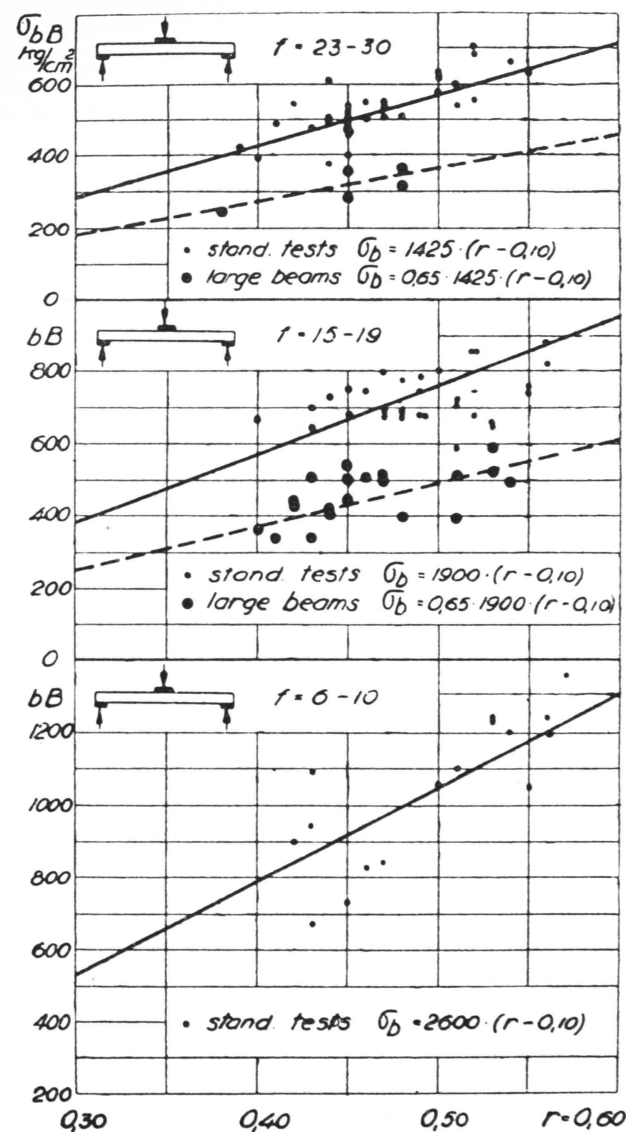
Ominaispaino	Taivutuslujuus kg/cm <sup>2</sup>	Muunnettu taivutuslujuus
s 0,5	691	660
s = 0,46—0,499	665	690
s = 0,42—0,452	589	665
s < 0,42	546	673

Tämän johdosta voidaan vain huomauttaa, että WIJKANDERINKAAN laatuosamäärä ei tyydyttävällä tavalla pysty antamaan vastausta kysymykseen, mistä ominaispainoluokasta on löydettävissä kunkin puulajin painoonsa nähden lujin puuaines.

## SCHLYTERIN ja WINBERGIN tutkimukset.

SCHLYTERIN ja WINBERGIN tutkimukset koskevat ruotsalaisen mäntypuun lujuusominaisuuksia (SCHLYTER ja WINBERG 1927). Koeaineisto käsitti 8 tukkipuurunkoa sekä 16 lankkua ja 12 parrua, joista lankut ja parrut oli saatu eri sahoilta. Kokonaisista rungoista sahattiin kustakin ainakin yksi parru ja yksi lankku. Lankut, yhteensä 24 kpl., käytettiin kaikki taivutuskokeisiin ja koetettiin kokonaisina. Parrut käytettiin puristus- ja nurjahduslujuuden koettamiseen ja niistä sahattiin kokeen jälkeen  $5 \times 5 \times 75$  cm suuria taivutuskappaleita yhteensä 90 kappaletta, joten taivutuskokeita tehtiin kaikkiaan 114.

Kuten näkyy kuvista 8., joka on julkaistuna SCHLYTERIN ja WINBERGIN tutkimuksessa (1927 s. 100.), mäntypuun ominaispainon ja taivutuslujuu-



Kuv. 8. Mäntypuun taivutuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta (SCHLYTERIN ja WINBERGIN mukaan);  $\sigma_b B$  = taivutuslujuus,  $r$  = ominaispaino. — Abb. 8. Abhängigkeit der Biegefestigkeit vom spez. Gewicht des Kiefernholzes (nach SCHLYTER und WINBERG);  $\sigma_b B$  = Biegefestigkeit,  $r$  = spez. Gewicht.

den välillä vallitsee kuta kuinkin selvä positiivinen korrelatio. Niin ollen kävi mahdolliseksi muuntamalla ominaispainot kulloinkin kysymyksessä olevaa vesipitoisuutta vastaaviksi laskea männylle keskimääräiset hyödylliset taivutuslujuusarvot, jolloin lujuusluvut otettiin suoraan korrelatio-suoralta.

Täten saatiin lukusarjat, jotka edustavat hyödyllistä taivutuslujuutta kolmessa vesipitoisuusasteessa:  $v = 6-10$ ,  $v = 15-19$  ja  $v = 23-30$ . Huomioon otettiin tällöin ainoastaan pienillä »normaalikoekappaleilla» saadut arvot.

Hyödylliset lujuusluvut jakautuvat eri vesipitoisuusryhmiin ja ominaispainoluokkiin seuraavasti:

$$v = 6-10$$

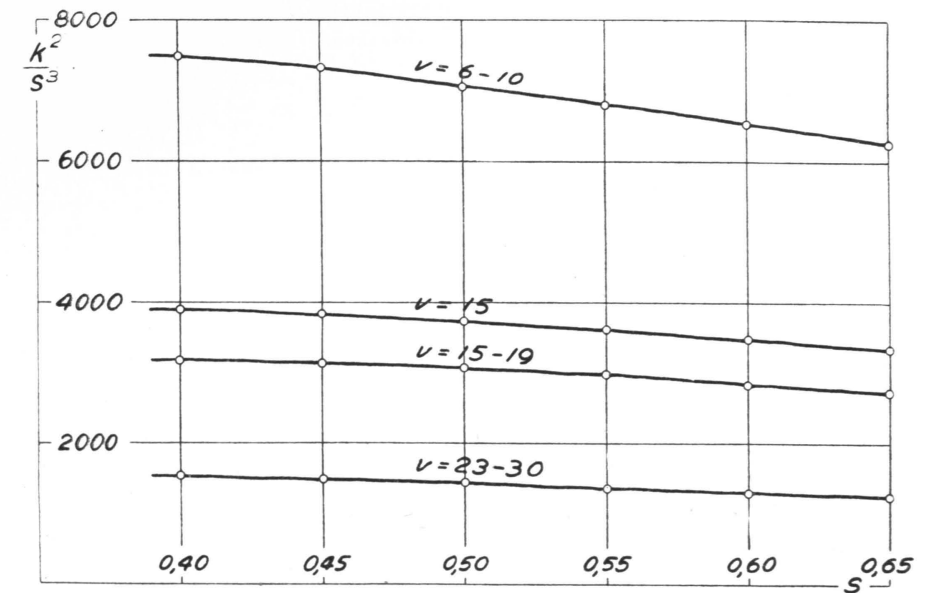
Ominaispainon ollessa	$0,30$	hyödyllinen taivutuslujuus on	$10\ 010$	tuhatta
»	»	$0,35$	»	»
»	»	$0,40$	»	»
»	»	$0,45$	»	»
»	»	$0,50$	»	»
»	»	$0,55$	»	»
»	»	$0,60$	»	»

$$v = 15-19$$

Ominaispainon ollessa	$0,30$	hyödyllinen taivutuslujuus on	$5\ 490$	tuhatta
»	»	$0,35$	»	»
»	»	$0,40$	»	»
»	»	$0,45$	»	»
»	»	$0,50$	»	»
»	»	$0,55$	»	»
»	»	$0,60$	»	»

$$v = 23-30$$

Ominaispainon ollessa	$0,30$	hyödyllinen taivutuslujuus on	$3\ 010$	tuhatta
»	»	$0,35$	»	»
»	»	$0,40$	»	»
»	»	$0,45$	»	»
»	»	$0,50$	»	»
»	»	$0,55$	»	»
»	»	$0,60$	»	»



Kuv. 9. Männyn hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta eri vesipitoisuusasteissa SCHLYTERIN & WINBERGIN tutkimusten nojalla;  $k$  = taivutuslujuus,  $s$  = ominaispaino. — Abb. 9. Abhängigkeit der eff. Biegezugfestigkeit vom spez. Gewicht bei verschiedenen Wassergehaltstadien nach Untersuchungen von SCHLYTER u. WINBERG;  $k$  = Biegezugfestigkeit,  $s$  = spez. Gewicht.

Kuv. 9. nähdään graafisesti esitettynä, miten männyn hyödyllinen taivutuslujuus vaihtelee ominaispainon kasvaessa. Siinä on käyrät, jotka kuvaavat tätä vaihtelua niissä vesipitoisuusasteissa, joita yllä mainitut asetelmät koskivat, mutta lisäksi on tekijä määrännyt hyödyllisen taivutuslujuuden arvot nimenomaan 15 %:n vesipitoisuutta silmälläpitäen, ja neljäs käyrä kuviossa 9. kuvastaa näitten arvojen vastaavanlaisia vaihteluja. Nämä hyödylliset taivutuslujuudet saatiin muuntamalla toiselta puolen taivutuslujuusarvot ja toiselta ominaispainot vesipitoisuutta  $v = 15$  vastaaviksi.

Taivutuslujuuden muuntamiseen käytettiin KALNINŠIN (1930 s. 9.) latvialaiselle männylle soveltuvaksi rakentamaa kaavaa:

$$k_{15} = k_v (1 + 0.04 (v-15)),$$

missä  $k_{15}$  = taivutuslujuus vesipitoisuuden ollessa 15 %,  
 $k_v$  = » » » »  $v$  %,  
 $v$  = vesipitoisuus-%.

Ominaispainon muuntamiseen 15 % vesipitoisuutta vastaavaksi käytettiin allaolevaa, niinkään KALNINŠIN (1930 s. 11.) latvialaiselle männylle soveltamaa kaavaa:

$$s_{15} = s_v (1 - 0.0055 (v - 15)),$$

missä  $s_{15}$  = ominaispaino vesipitoisuuden ollessa 15 %,

$s_v$  = » » » »  $v$  %,

$v$  = vesipitoisuus- %.

Kuten piirroksesta kuv. 9. nähdään, ruotsalaisen kevyen männyn hyödyllinen taivutuslujuus on kaikissa vesipitoisuusasteissa suurempi kuin painavan. Lisäksi on havaittavissa sama ilmiö kuin JANKAN saarniaineistolla, nim. että hyödyllisen taivutuslujuuden vaihtelut eri ominaispainoluokissa käyvät vähäisemmiksi, kun puun vesipitoisuus kohoaa. Kuvioista käy sitäpaitsi erikoisen selvästi ilmi, miten hyödyllinen taivutuslujuus kasvaa puun kuivuessa.

Äsken mainittu mäntypuun ominaisuus, että keveä puu on edullisempaa laadultaan kuin painava, poikkeaa hämmästyttävällä tavalla esim. saarnen osoittamista ominaisuuksista. Tähän mäntypuussa havaittavaan ilmiöön lienee selitys löydettävissä siitä mahdollisuudesta, että suuri osuus raskaan männyn painosta on luettava pihkapitoisuuden tilille aikaisemmin mainituista syistä. Siis itse asiassa saattavat painavan puun soluseinämät olla keskimäärin yhtä paksuja kuin keveänkin, jos pihkapitoisuus on suuri.

Jos ero männyn ja saarnen välillä on ollut odottamaton, on sellaiseksi ennen kaikkea katsottava samansuuntainen luonteen eroavaisuus, joka vallitsee männyn ja lehtikuusen välillä, sillä onhan lehtikuusi pihkaisuudessa asetettava männyn rinnalle, ellei edellekin. Tämän seikan selvittäminen vaatisi sarjan kokeita, joilla näytettäisiin millainen osuus on pihkalla männyn ja lehtikuusen ominaispainosta.

Mitä männyn yhteydessä tulee ominaispainon alimpaan rajaan, jota puu ei saisi alittaa kelvatakseen esim. lentokoneteollisuudessa käytettäväksi, ei sellaisella tässä selostetun tutkimuksen antamien tulosten nojalla ole merkitystä. Mainittakoon vain, että tällaisena rajana amerikkalaisilla on  $s = 0,36$ , milloin on kysymyksessä *Pinus strobus* ja  $s = 0,40$  *P. monticola* puun ollessa uunikuivaa.

#### Tekijän omat tutkimukset.

Tekijä on tutkinut hyödyllisen taivutuslujuuden vaihteluja aineistosta, joka käsittää 20 koivupuun lujuus- ja ominaispainoluvut. Aineisto on kerätty varsinaisesti taivutuslujuusominaisuuksien tutkimiseksi, mutta

koska aineistoa koottaessa pidettiin erikoisesti silmällä sitä seikkaa, että sen nojalla voitaisiin nimenomaan selvittää koivupuunaineelle ominaisia lakimääräisyyksiä ja sen vuoksi on mikäli mahdollista koetettu välttää sellaisia biologisia tekijöitä, jotka olisivat omiaan hajoittamaan saatavia tuloksia, on tekijä katsonut mainitusta tutkimuksesta saatujen tulosten hyvin sopivan selvittämään nyt käsillä olevia seikkoja. Jotta sanottu aineisto saavuttaisi mahdollisimman suuren homogeneisuuden, kaikki koepuut on kerätty samasta metsiköstä, joten sellaisten tekijöiden kuin metsätyypin, maaperäkokoomuksen ja kasvupaikan maantieteellisen sijainnin y.m. vaikutus on saatu eliminoiduksi pois; lisäksi koepuiksi on valittu yksinomaan vallitsevan latvuskerroksen virheettömiä puita (ks. L. ILVESSALO 1929.), joiden koko oli kutakuinkin yhtä suuri, millä puolestaan on poistettu se vaikutus, mikä puun asemalla metsikössä saattaisi olla teknillisiin ominaisuuksiin; puun iän vaikutus voidaan niinkään sivuuttaa, sillä metsikkö on entiselle kaskialalle syntynyt tasaikäinen koivikko, ollen iältään n. 55 v., siis lähestymässä hakkuukypsyyttä; kun lopuksi mainitaan, että koekappaleet on otettu kaikista koepuista samalta korkeudelta, voidaan katsoa aineiston täyttävän ne vaatimukset, jotka sille voidaan asettaa, jotta saatuja tuloksia voitaisiin pitää keskenään vertailukelpoisina. Koepuut kaadettiin kaikki samana päivänä ja lujuusominaisuudet tutkittiin niin lyhyen ajan kuluessa, ettei kaatoajalla eikä koekappaleiden säilyttämisellä ja käsittelylläkään voi katsoa olevan vaikutusta saatuihin lujuuslukuihin.

Päähuomio lujuuskokeissa kiinnitettiin taivutusmurtojännityksen s.o. taivutuslujuuden määrittämiseen ja sen seikan selvittämiseen, onko ominaispainolla ja taivutuslujuudella sellaista keskinäistä korrelatiota, että ominaispainoa voitaisiin pitää koivupuun laadun karakteristikana. Että sellainen yhteys koivupuun ominaispainon ja taivutuslujuuden välillä vallitsee, käy eittämättömästi ilmi seuraavasta taulukosta (taul. II), jossa on eri ominaispainoja vastaavat taivutuslujuusluvut. Taulukkoon on ominaispainojen suuruuden mukaan sijoitettu erikseen kunkin koepuun sydän- ja pintapuukappaleiden<sup>1</sup> keskimääräiset luvut<sup>2</sup>, jolloin ominaispaino-

<sup>1</sup> Koivulla ei tosin ole rakenteellisesti erilaista ja jyrkkärajaisesti toisistaan erottuvaa sydän- ja pintapuuta, vaan se kuuluu n.k. »mantopuihin», mutta koska tässä selostetusta tutkimuksesta käy ilmi, että mm. lujuus- ja ominaispainoluvut puun sisäosilla ja pintapuulla ovat selvästi erilaiset, katsoo tekijä käytetyt nimitykset »sydän- ja pintapuu» oikeutetuiksi.

<sup>2</sup> Kustakin koepölkystä sahattiin 4 koesalkoa: 2 mahdollisimman läheltä puun pintaa ja 2 mahdollisimman läheltä ydintä, kuitenkin niin, ettei ydintä sisältynyt salkoon. Keskiarvoluvut ovat siten kukin saadut kahdesta tapauksesta.



T a u l. I I. Koivun taivutuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta.  
Tab. II. Abhängigkeit der Biegunsfestigkeit vom spezifischen Gewicht des Birkenholzes.

(Ominaispaino vastaa vesipitoisuutta  $v = 0$ ; taivutuslujuus vesipitoisuutta  $v = 15$   
Spezifisches Gewicht bei  $H_2O = 0\%$ ; Biegunsfestigkeit bei  $H_2O = 15\%$ .)

Ominaispaino Spezifisches Gewicht	Taivutuslujuus kg/cm <sup>2</sup> Biegunsfestigkeit	Ominaispaino Spezifisches Gewicht	Taivutuslujuus kg/cm <sup>2</sup> Biegunsfestigkeit
0.473	681	0.560	942
0.478	752	0.573	936
0.496	792	0.583	860
0.500	772	0.583	932
0.500	787	0.585	1 004
0.507	798	0.585	1 041
0.518	760	0.589	943
0.520	793	0.591	1 019
0.521	736	0.593	989
0.522	821	0.596	1 002
0.528	877	0.603	931
0.530	806	0.614	1 050
0.531	851	0.618	1 000
0.537	850	0.618	1 066
0.539	856	0.637	1 104
0.542	923	0.642	1 142
0.551	881	0.653	1 148
0.554	883	0.655	1 148
0.555	931	0.681	1 222
0.556	959	0.689	1 271

luvut tarkoittavat ominaispainoa absoluuttisesti kuivana ja taivutuslujuusluvut lukuja, jotka vastaavat puun lujuutta vesipitoisuusasteessa  $v = 15$ . — Taivutuslujuusluvut, jotka on saatu koekappaleista, joiden vesipitoisuus vaihteli rajoissa  $v = 7,7-11,9$ , on muunnettu 15 % vesipitoisuutta vastaaviksi BAUSCHINGERIN (1883) tunnetun kaavan

$$(13) \quad k_{15} = k_v (1 + c (v-15)),$$

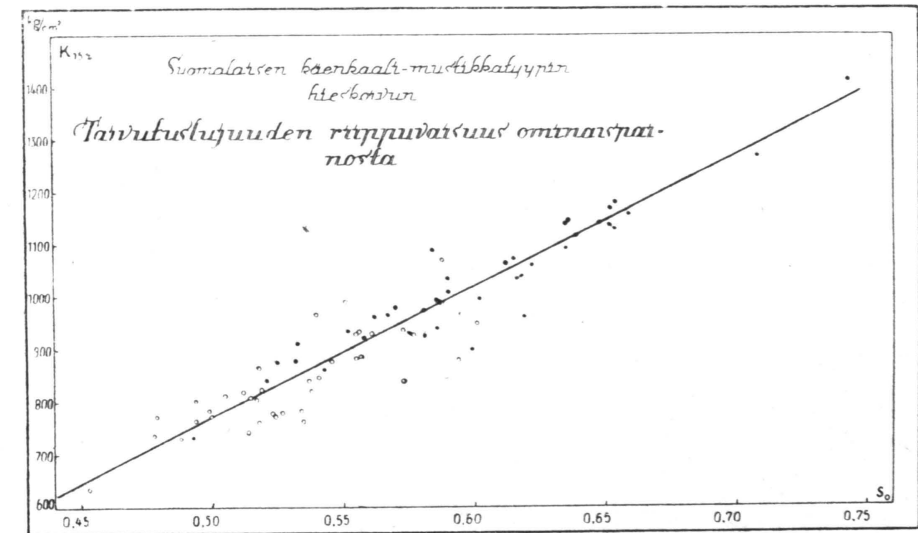
avulla, jossa  $k_{15}$  = lujuus vesipitoisuusasteessa 15 %,  $k_v$  = lujuus vesipitoisuusasteessa  $v$  ja

$c$  = kullekin puulajille ominainen vakio, jonka suuruus koivulla on tekijän suorittamien määräysten mukaan 0,038. BAUSCHINGERIN kaava saa siis koivun suhteen muodon:

$$k_{15} = k_v (1 + 0,038 (v-15)).$$

Sama seikka on vielä havainnollisemmin nähtävissä piirroksesta kuv. 10., josta näkyy myös, että kaikki pisteet, joilla havainnot, tässä tapauksessa kaikista koekappaleista, on merkitty, ryhmittyvät lähelle tasoitussuoraa, joten ominaispainon ja taivutuslujuuden välillä vallitsee koivun ollessa kysymyksessä ilmeinen suoraviivainen korrelatio. Korrelatiokertoimeksi tuli, kuten aikaisemmin (s. 24.) on mainittu koko aineistolle  $r = 0,945$ ; pelkkien pintapuukappaleiden ollessa kysymyksessä korrelatio on vielä täydellisempi —  $r = 0,961$  —, mikä johtunee siitä, että pintapuu on oksattomampaa ja niin muodoin säännöllisempisyistä kuin sydänpuu, jossa oksien läheisyyskin tuntuu lujuusominaisuuksissa, vaikka koekappaleet valittiinkin näköjään virheettömät; sydänpuun korrelatiokertoimen jäi sentähden alhaisemmaksi kuin pintapuun ollen  $r = 0,823$ , mikä sekini silti ilmaisee sangen selvän korrelation.

Piirroksesta kuv. 10. on laskettu koivupuun eri ominaispainoluokkia vastaavia hyödyllisen taivutuslujuuden arvoja siten, että taivutuslujuusarvot, jotka piirroksessa jo vastaavat vesipitoisuusastetta  $v = 15$ , on otettu sellaisinaan suoralta, kun siihen sijaan ominaispainoluvut, jotka



Kuv. 10. Täydet pyörölat merkitsevät, »pintapuu», avonaiset »sydänpuu» arvoja.  $K_{15}$  = taivutuslujuus vesipitoisuusasteessa  $v = 15$ ,  $s_0$  = ominaispaino absol. kuivana. Abb. 10. Abhängigkeit der Biegunsfestigkeit der finnischen Moorbirke (*Betula odorata*) vom spez. Gewicht. Die gefüllten Kreise bezeichnen die Werte des »Splintholzes», die ungefüllten die Werte des »Kernholzes».  $K_{15}$  = Biegunsfestigkeit bei einem Wassergehalt  $v = 15$ ,  $s_0$  = spez. Gew. von absolut trockenem Holz.

piirroksessa merkitsevät ominaispainoa absoluuttisesti kuivan, on ennen hyödyllisen taivutuslujuuden laskemista täytynyt muuntaa vesipitoisuus-astetta  $v = 15$  vastaaviksi. — Muuntamista varten oli tarpeen määrätä koivulle soveltuva muoto yleiselle muuntamiskaavalle:

$$(14) \quad s_{15} = s_v (1 - c (v - 15)).$$

jossa  $s_{15}$  = ominaispaino puun sisältäessä vettä 15 % painostaan absol. kuivana,

$s_v$  = » puun sisältäessä vettä  $v$  % painostaan absol. kuivana,

$v$  = vesipitoisuus-%,

$c$  = kullekin puulajille ominainen vakio.

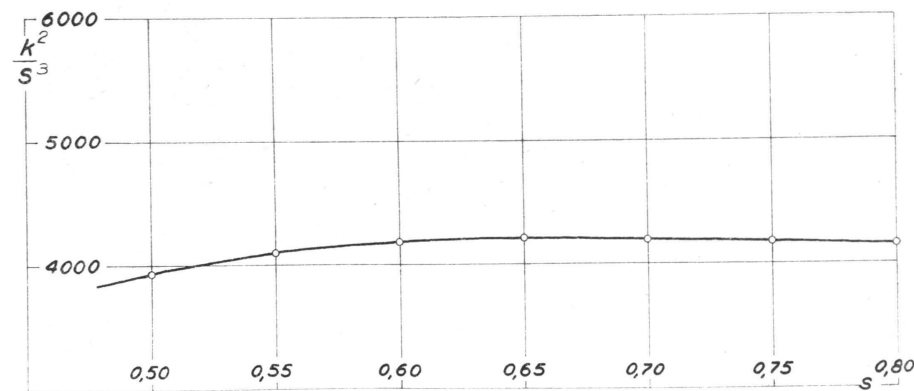
Kun koivun suhteen mainitulle vakiolle tuli arvoksi 0,0035, sai ylläoleva kaava muodon:

$$s_{15} = s_v (1 - 0,0035 (v - 15)).$$

Kun täten saadut luvut järjestettiin kohoavien ominaispainoarvojen mukaan, muodostui alla oleva lukusarja.

Ominaispainon ollessa 0,50 hyödyllinen taivutuslujuus on 3 925 tuhatta

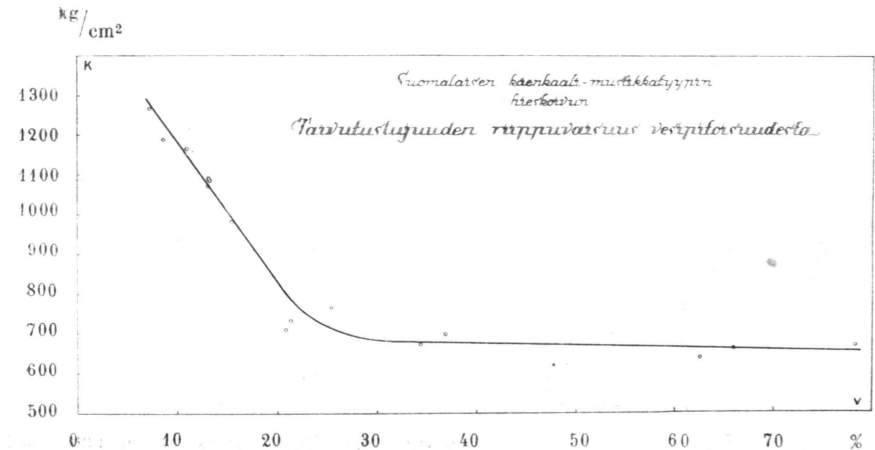
»	»	0,55	»	»	»	4 094	»
»	»	0,60	»	»	»	4 182	»
»	»	0,65	»	»	»	4 208	»
»	»	0,70	»	»	»	4 195	»
»	»	0,75	»	»	»	4 177	»
»	»	0,80	»	»	»	4 159	»



Kuv. 11. Koivun hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta;  $k$  = taivutuslujuus,  $s$  = ominaispaino. — Abb. 11. Abhängigkeit der effektiven Biegefestigkeit vom spez. Gew.;  $k$  = Biegefestigkeit,  $s$  = spez. Gew.

Ominaispainon vaikutus koivupuun hyödylliseen taivutuslujuuteen nähdään niinkään piirroksesta kuv. 11. Ylläolevasta asetelmasta samoin kuin piirroksestakin näkyy, että hyödyllinen taivutuslujuus ei vaihtele koivulla niin suurella määrällä kuin useilla muilla puulajeilla on nähty vaihtelevan. Selvästi on kuitenkin havaittavissa, että koivun hyödyllinen taivutuslujuus saavuttaa maksiminsa lähellä ominaispainoluokkaa  $s = 0,65$  aleten siitä edelleen siirryttäessä loivasti kohottuaan sitä ennen jonkin verran jyrkemmin korkeimpaan arvoonsa. Tämän johdosta voidaan pitää ominaispainoa  $s = 0,57$  sellaisena rajana, jonka alapuolella koivupuun ei enää ole teknillisesti täysiarvoista. Mielenkiintoista lienee havaita, että amerikkalaiset aikaisemmin mainittujen lähteiden mukaan ovat asettaneet koivulajinsa, *Betula lutea* ja *B. lenta*, alimmaksi sallituksi rajaksi  $s = 0,58$  uunikuivana, jotta ne voitaisiin hyväksyä lentokonekonstruktioihin. Jos tämä luku muunnetaan vastaamaan ominaispainoa vesipitoisuusasteessa  $v = 15$ , kun uunikuivaksi katsotaan puu, joka sisältää vettä keskimäärin 8 % kuivapainosta, käyttämällä yllämainittua muunnoskaavaa, saadaan ominaispainorajaksi  $s = 0,57$ , eli melkein tarkalleen sama kuin tekijän mainitsema.

Lopuksi on syytä tarkastella, miten koivupuun hyödyllinen taivutuslujuus suhtautuu vesipitoisuuden vaihteluihin puussa. Käyrästä kuv. 12. nähdään, miten taivutuslujuus vaihtelee vesipitoisuuden mukaan. Käyrä edustaa puuta, jonka ominaispaino absoluuttisesti kuivana on 0,59, mutta kuten tunnettua, puu noudattaa samanlaisia sääntöjä kaikissa ominais-

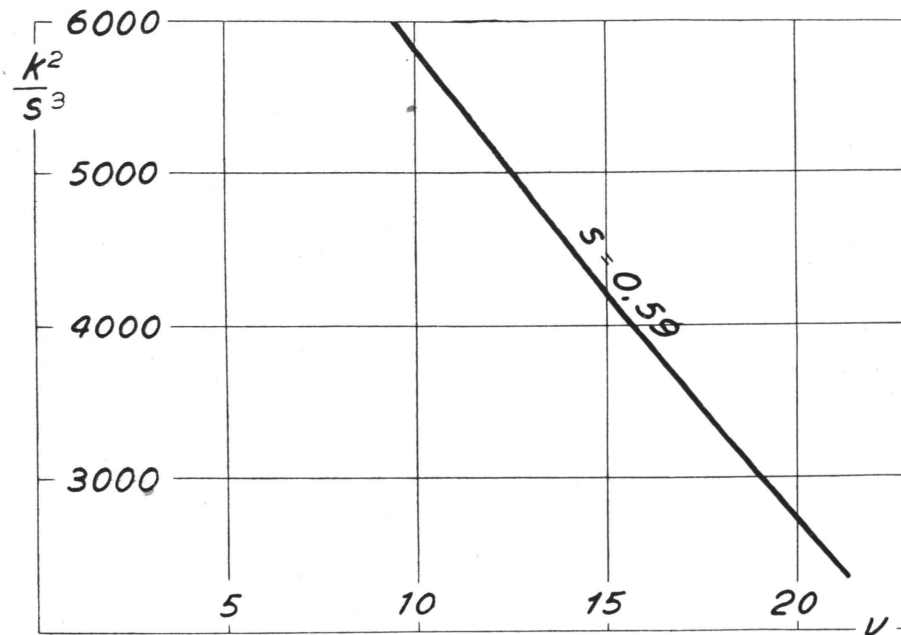


Kuv. 12.  $k$  = taivutuslujuus,  $s$  = ominaispaino. — Abb. 12. Abhängigkeit der Biegefestigkeit der finnischen Moorbirke (*Betula odorata*) vom Wassergehalt;  $k$  = Biegefestigkeit,  $s$  = spez. Gew.

painoluokissa. Käyrästä on saatu eri vesipitoisuusprosentteja vastaavat taivutuslujuusluvut, ja ominaispainoluvut on muunnettu kulloinkin kysymyksessä olevaan vesipitoisuusasteeseen soveltuviksi muuttamalla kaavaa

Taul. III. — Tab. III.

Vesipitoisuus-% Feuchtigkeits-%	10	15	20
Ominaispaino Spezifisches Gewicht	0,62	0,62	0,63
Taivutuslujuus kg/cm <sup>2</sup> Biegungsfestigkeit »	1 175	1 000	825
Hyödyllinen taivutuslujuus Effektive Biegungsfestigkeit	5 880 { tuhatta tausend	4 200 { tuhatta tausend	2 720 { tuhatta tausend



Kuv. 13. Koivun hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuus vesipitoisuudesta ominaispainoluokassa  $s_0 = 0,59$ ;  $v$  = vesipitoisuus-%,  $k$  = taivutuslujuus. — Abb. 13. Abhängigkeit der eff. Biegungsfestigkeit der Birke vom Wassergehalt in der spez. Gewichtsklasse  $s_0 = 0,59$ ;  $v$  = Wassergehalt-%,  $k$  = Biegungsfestigkeit.

(14) siten, että siihen asetetaan  $s_{15}$ :n tilalle  $s_v$  ja  $s_v$ :n tilalle  $s'_v$ ; 15:n tilalle tulee vastaavasti  $v$  ja  $v$ :n tilalle  $v'$ . Kaava saa tällöin muodon:

$$(15) \quad s_v = s_v (1 - c(v' - v)).$$

Vakio  $c$  tunnetaan koivun suhteen ja on kuten aikaisemmin mainittiin 0,0035. Koska tässä lähtökohtana on  $v = 0$  ja niinollen  $s_v = s_0$ , kaavan muodoksi tulee:

$$s_v = s_0 (1 - 0,0035 v).$$

Tällä kaavalla muunnetuista ominaispaino- ja taivutuslujuusluvuista laskettiin hyödylliset taivutuslujuusluvut vastaamaan vesipitoisuusasteita: 10 %, 15 % ja 20 %.

Saadut luvut nähdään edellisellä sivulla olevasta taulukosta.

Taulukosta käy selvästi ilmi se seikka, että koivulla samoin kuin männylläkin, kuten näkyy luvuista, jotka koskevat SCHLYTERIN ja WINBERGIN tutkimuksia, hyödyllinen taivutuslujuus laskee jyrkästi vesipitoisuuden kasvaessa. Tämä seikka selviää edelleen piirroksista kuv. 13., jossa edelläolevasta taulukosta otettujen lukujen mukaan piirretty käyrä kuvastaa hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuutta ominaispainosta.

## Tulosten tarkastelu.

Edellä esitetyn tutkimuksen tulokset on yhdistetty hyödyllistä taivutuslujuutta koskevalta osalta, joka on tutkimuksen päätarkoitus, kuvioon 14., jossa on samassa akselistossa edellä esitetyistä puulajeista hyödyllisten taivutuslujuuksien käyrät, jotka vastaavat ilmakeivän (n. 15 % vettä sisältävän) puuaineen lujuus- ja ominaispainolukuja.

Kuten käyristä huomaa, tulokset vaihtelevat laajoissa rajoissa. Vaihtelua huomataan ei ainoastaan muodossa vaan myöskin siinä tasossa, jolla käyrien ordinaata-arvot liikkuvat. Samoin on huomattava ero kunkin puulajin hyödyllisen taivutuslujuuden optimiarvon sijainnissa.

Mitä tulee ensinnäkin käyrien muotoon, niin yleisin on ylöspäin kupera muoto, joka on kaikilla muilla tutkituilla aineistoilla paitsi WIJKANDERIN kuusi- ja mäntyaineistoilla. Viimeksimainitut aineistot esiintyvät alaspäin kuperin käyrin.

Ordinaatta-arvoja tarkasteltaessa huomataan, että BAUMANNIN mänty- ja kuusiaineistoista saadut käyrät ovat niiden suuruuden puolesta omaa luokkaansa ollen niiden muotokin suuresti muista poikkeava, mikä johtuu pääasiassa siitä, että BAUMANNIN tutkimuksien mukaan lujuuden ja ominaispainon korrelatiota ei esittäisikään suora vaan ylöspäin kupera viiva. BAUMANNIN tutkimuksien antamat huomattavan korkeat hyödyllisten lujuuksien arvot panevat pakostakin ajattelemaan, että hänen lujuuskokeissa käyttämänsä menetelmät sangen todennäköisesti ovat olleet jossain suhteissa poikkeavat muiden tutkijoiden käyttämistä. BAUMANN ei julkaisussaan täysin valaisevasti selosta niitä tutkimustapoja, joilla on tutkittu aineisto, jonka mukaan ominaispainon ja taivutuslujuuden korrelatio on selvitetty, vaan jää mahdollisuus, että hän mahdollisesti on hyväksynyt tässä yhteydessä rajatapauksia, jotka hän on saanut kokeillessaan taivutuslujuuksia hyvin ohuilla ja pitkillä taivutuskoekappaleilla. Myöskään ei teoksessa ole mainittu täsmällisiä vesipitoisuuslukuja kyseessä olevalle aineistolle, joten aineiston rinnastaminen muihin tässä yhteydessä tutkituihin aineistoihin on johtunut yksinomaan olettamuksesta, että hänen

mainitsemansa ilmakeivyyssaste todella vastaisi suunnilleen vesipitoisuutta  $v = 15 \%$ .

Päinvastaisena äärimmäisyytenä esiintyy tutkimuksessa WIJKANDERIN esittämä aineisto, jonka graafiset edustajat jäävät huomattavasti alemmaksi kuin vastaavat JANKAN sekä SCHLYTERIN ja WINBERGIN samoja puulajeja koskevista aineistoista määrättyt käyrät. On huomattavaa, että WIJKANDER on käyttänyt kokeissaan pääasiassa 1.5 m pitkiä koekappaleita, mikä selittää osaksi sen seikan, että lujuus on jäänyt ominaispainoon nähden alhaiseksi, sillä jo niinkin suuria koekappaleita kuin hänen käyttämänsä on vaikeata saada täysin virheettömiä, s.o. oksattomia ja suorasuisia, mikä seikka olisi erikoisen tärkeätä sellaisessa tapauksessa kuin käsillä oleva, jolloin ei ole niin paljon kysymys keskimääräisten lujuuslukujen määrittämisestä kuin vertailevasta tutkimuksesta, jolla halutaan tutkia puuaineen ominaisuuksien keskinäistä riippuvaisuutta, ja jolloin keskiarvoja käyttökelpoisempia olisivat maksimiarvot, jotka tavallaan ilmaisten puuaineen suurimman teknillisen suorituskäyvyn, ovat lukuja, joista on eliminoitu kaikki epänormaalisten seikkojen aiheuttamat muutokset, mitkä sivumennen sanoen johdonmukaisesti ajatellen ovat aina muutoksia negatiiviseen suuntaan. Onhan näet sangen todennäköistä, että milloin puuainetta eivät vaivaa mitkään rakennesäännöttömyydet, sen lujuus on suurin mahdollinen.

Vaikka näin on esim. kahdesta maamme pääpuulajista saatu huomattavasti erilainen kuva eri tutkijoiden aineistojen nojalla, on silti huomattavissa eräitä yhteisiäkin piirteitä eri tutkimusten tuloksilla. Niinpä on kaikilla mainituilla tutkimuksilla — BAUMANNIN, WIJKANDERIN, JANKAN sekä SCHLYTERIN & WINBERGIN — se yhteinen lopputulos, että kuusi on hyödyllisen taivutuslujuutensa puolesta edullisemmassa asemassa kuin mänty. Tulos ei ole millään tavoin yllättävä, vaan päinvastoin on omiaan tieteellisesti vahvistamaan käytännön miesten ja tutkijoidenkin käsitystä, että kuusi on painoonsa nähden lujempaa puuta kuin mänty, mille seikalle riittänee selitykseksi aikaisemmin joitakin kertoja mainittu piirre, että mänty on pihkaisempaa puuta kuin kuusi.

Yhtäläisyyttä on tuloksissa vielä siinä suhteessa, että kaikkien edellä mainittujen tutkimusten mukaan saavuttaa männyn ja kuusen hyödyllinen taivutuslujuus suurimman arvonsa ominaispainoluokkien  $s = 0,40$  ja  $s = 0,50$  välillä poiketen siinä suhteessa huomattavasti muista tutkituista puulajeista.

Mitä tulee yleensä hyödyllisen taivutuslujuuden maksimin sijaintiin, niin siinä suhteessa on huomattavissa kolme päätapausta: 1:o hyödyllinen

lujuus on sitä suurempi, kun keveämpää puu on; 2:o hyödyllinen lujuus suurenee ominaispainon kasvaessa, saavuttaa jossakin ominaispainoluokassa suurimman arvonsa, mutta pienenee sen jälkeen siirryttäessä edelleen suurimpiin ominaispainoluokkiin; 3:o hyödyllinen taivutuslujuus on sitä suurempi, kun painavampaa puu on. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat piirroksen mukaan mänty (SCHLYTER & WINBERG ja WIJKANDER), kuusi (WIJKANDER) sekä saarni (BAUMANN). Toiseen luokkaan, joka on yhtä yleinen kuin edellinenkin, kuuluvat mänty (BAUMANN), kuusi (JANKA ja BAUMANN) sekä koivu (Tekijä). Kolmanteen ryhmään kuuluvat lehtikuusi ja saarni (JANKA).

Kaikesta edelläesitetystä siis huomataan, ettei ole lainkaan yhden-tekevää, valitaanko painavaa vai keveää puuta, kun halutaan aikaansaada puurakenne, jossa pieneen omaan painoon liittyy mahdollisimman suuri lujuus. Myöskään ei pidä paikkaansa se usein kuultu väite, että lujuusominaisuksiltaan edullisin puuaine olisi löydettävissä kaikkein suurimmista ominaispainoluokista, kun toiselta puolen se yksipuolisuus, jolla esim. lentokonetekniikan alkuajoina on koetettu hakea mahdollisimman keveitä puita ja puulajeja lentokoneiden rakennusaineiksi, ilmeisesti on johtanut toisenlaisiin tuloksiin, kuin on toivottu. Niinpä huomataan, jos verrataan keskenään Suomen ja sen läheisen naapuri Ruotsin, pääpuulajien männyn, kuusen ja koivun ominaisuuksia tässä suhteessa, että koivupuusta vastoin olettamuksia pystyy esittämään korkeimmat hyödyllisen taivutuslujuuden arvot ja on siis painoonsa nähden lujinta näistä kolmesta. Koivun ja siis myös pohjoismaisen kuusen tosin ylittää itävaltalainen kuusipuusta, mikä tulos sopeutuu hyvin yhteen sen yleisen käsityksen kanssa, että keskieuropalainen kuusi kasvaen lähempänä kuusen esiintymisoptimia kasvattaa jonkin verran kaunismuotoisemman rungon kuin pohjoismaalainen ja sen seikan suoranaisten seurauksena todennäköisesti suhteellisesti lujempaa puuainetta.

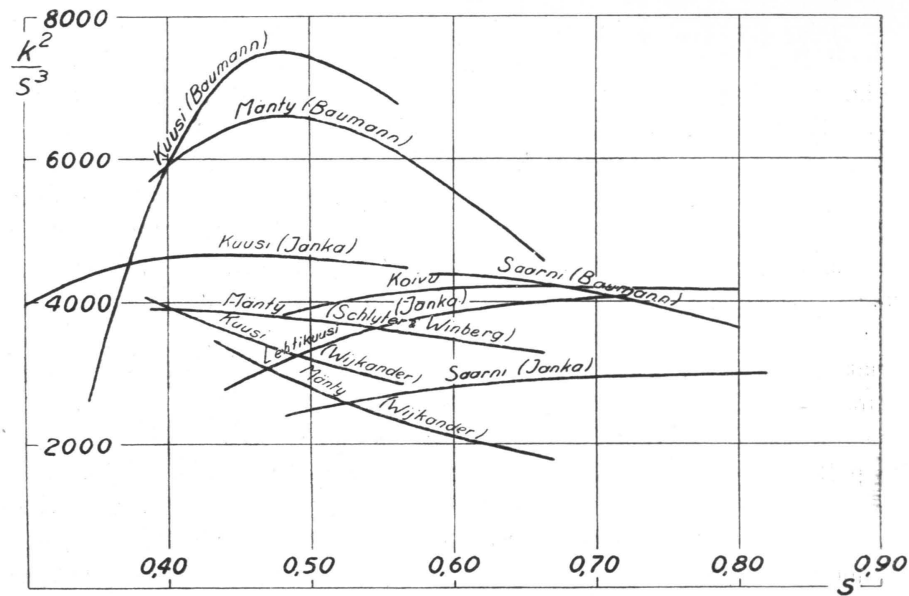
Hyödyllisen taivutuslujuuden merkitys ei kuitenkaan ole yksinomaan se, että sen avulla voidaan mukavasti saada selville, mikä puulaji tahi saman puulajin ollessa kysymyksessä, minkä ominaispainon omaava puu on edullisinta määrättyä konstruktiota varten, vaan sen avulla voidaan edelleen määrätä sellaistenkin rakennusaineiden käyttökelpoisuus, joiden ominaispainon huomattavasti eroaa puun melko pienestä ominaispainosta. Puu on kuten vähänkin asiaan perehtynyt tietää, painoonsa nähden huomattavan lujaa ainetta kestäen erikoisesti suurilla taivutus- ja vetojännityksiä, mikä johtuu puun mekaanisesti tärkeiden solujen pitkänomaisesta rakenteesta ja siitä, että perättäiset solut ovat lujasti kietoutuneet toi-

siinsa. Puun suhteellinen lujuus on odottamattoman paljon suurempi, kuin esim. tärkeimmän metallisen rakennusaineen, teräksen lujuus. Tekijä on laskenut valantateräksen hyödyllisen taivutusjännityksen suhteellisuusrajalla, eli sen vastatessa sallittua kuormitusta. Teräksen ominaispainon ollessa 7,8 ja kantojännityksen ollessa 1 200 kg/cm<sup>2</sup>, sen hyödyllinen taivutusjännitys on n. 3 000, kun taas esim. suomalaisen OMT:llä kasvaen koivun hyödyllinen taivutusjännitys on kokonaista 2 000 000, kun sen ominaispainon on keskimäärin 0,59 ja kantojännitys 640 kg/cm<sup>2</sup>, eli siis n. 660 kertaa suurempi kuin teräksen. — Se ei kuitenkaan merkitse sitä, että määrätyn painoinen puusalko kantaisi 660 kertaa sen kuormituksen, jonka samanpainoinen terässalko kantaisi, edellyttäen, että salot olisivat yhtä pitkät ja keskelle kuormitetut, eikä asiaa ole siten ymmärrettäväkään, sillä luku, joka ilmaisee miten monta kertaa suuremman kuormituksen puusalko kestänee kuin saman painoinen terässalko, ei ole vakio, vaan riippuvainen mm. salkojen koosta. Sitävastoin kuten aikaisemmin on mainittu, hyödylliset lujuusluvut ovat konstantteja suhdelukuja, jotka ilmaisevat, mikä kahdesta samanpainoisesta kannatuspalkista äskennäytetyissä olosuhteissa kantaa suuremman kuormituksen, tahi että niitä mahdollisesti saa kuormittaa yhtä paljon, mikä jälkimmäinen ehto täyttyy, jos palkeilla on sama hyödyllinen taivutuslujuus. Hyödyllinen lujuusluku on niin ollen kutakin rakennusainetta, siis myös puuainetta karakterisoiva luku, joka soveltuu verrattaessa keskenään näiden aineiden lujuutta painoonsa nähden, ja on riippuvainen kahdesta suhdeluvusta, jännityksestä ja ominaispainosta, mutta riippumaton kuormitettavan kappaleen koosta ja painosta sekä kuormituksen suuruudesta.

Jos halutaan laskea, kuinka suuri on esim. ero kahden taivutettavan palkin, teräksisen ja puisen, painoissa silloin kun niiden pituus on sama ja niiden on kestettävä määrätty kuormitus, lasku on yksinkertainen lujuuslukujen sijoittaminen johonkin lujuuskaavaan, jolloin kummankin palkin paksumitat ja niistä — tuntien aineen ominaispainon — palkkien paino on laskettavissa. Näin määrättyjen painojen suhde ei luonnollisestikaan ole sama kaikissa tapauksissa, vaan on riippuvainen kuormituksen suuruudesta ja salon pituudesta. Jotta kuitenkin teräksen ja puun erilainen luonne tulisi havainnollisesti esitettyksi, tekijä lopuksi liittyy tähän valaisevan esimerkin.

Jos ylläolevin edellytyksin teräs- ja puupalkin pituus on 1 m ja niiden on kannettava, ilman että kimmoraja ylittyy, 1 000 kilon kuormitus, teräspalkin painoksi tulee 19,5 kg ja saman suorituskyvyn omaavan puupalkin painoksi vain 2,3 kg, kun jännitysvaraa ei oteta huomioon, joka

puumateriaalilla on  $\frac{5}{6}$ — $\frac{6}{7}$  murtojännityksestä ja teräksellä  $\frac{2}{3}$ — $\frac{4}{5}$  murtojännityksestä. Puulle määrätyn jännitysvaran suuruuteen on vaikuttavana tekijänä ollut puurakennusaineen oksaisuus ja pienenee niin ollen, kun kysymyksessä on virheetön puukappale, kuten lujuuskokeissa ja yleensä pienikokoisten rakennusosien suhteen on laita.



Kuv. 14. Männyn, kuusen, lehtikuusen, koivun ja saarnen hyödyllisen taivutuslujuuden riippuvaisuus ominaispainosta eri tutkimusten nojalla. — Abb. 14. Abhängigkeit der eff. Biegefestigkeit vom spez. Gewicht bei der Kiefer (mänty), Fichte (kuusi), Lärche (lehtikuusi), Birke (koivu) und Esche (saarni) nach verschiedenen Untersuchungen.

### Kirjallisuutta.

- BAUMANN, R. 1922. Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart. Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. Berlin.
- 1927. Der Aufbau des Holzes (BAUMANN, RICHARD — LANG, GUSTAV. Das Holz als Baustoff, Aufbau, Wachstum, Behandlung und Verwendung für Bauteile. II. Auflage, München.)
- BAUSCHINGER, J. 1883. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit von Fichten- und Kiefernholzern (Mitteil. aus dem mech.-techn. Laboratorium der K. technischen Hochschule in München. Heft IX. München.)
- BERZINŠ, J. 1928. Priedes mehāniski-tehniskās īpašības pēc mezaudžu tipiem (Mit deutschem Referat: Die mechanisch-technischen Eigenschaften der Kiefer in diversen Waldtypen.) (Mezsaimniecības rakstu krājums VI Sejums — Samml. Forstwirtschaftl. Schriften VI Bd. Riga.)
- BETTS, HAROLD, S. 1919. Timber its strength, seasoning and grading. New York.
- BORGMAN, W. 1913. Forstliche Tagesfragen (Tharandter forstl. Jahrb.)
- CHEWANDIER, E. und WERTHEIM, G. 1847. Ueber die mechanischen Eigenschaften des Holzes (Allg. Forst- u. Jagdzeit. Frankfurt am Main.)
- CIESLAR, A. 1902. Studien über die Qualität rasch erwachsenen Fichtenholzes (Centralbl. f.d.ges. Forstw. Wien.)
- EKMAN etc. 1922. Handbok i skogsteknologi. Stockholm.
- EXNER, FRANZ WILHELM. 1925. Die Forstbenutzung (Handbuch der Forstwissenschaft. Bd. II. 4. Auflage (herausgeg. von H. WEBER) Tübingen.)
- GAYER, KARL. 1903. Die Forstbenutzung. IX, vermehrte Auflage. Berlin.
- HADÉK, ANTON und JANKA, GABRIEL. 1900. Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der Österreichischen Bauhölzer. I. Fichte Südtirols (Mitth. a. d. forstl. Versuchswes. Österr. XXV. Heft. Wien.)
- HELANDER, A. BENJ. 1928. Metsänkäyttöoppi. Helsinki.
- ILVESSALO, LAURI. 1929. Puuluokitus- ja harvennusasteikko (English summary: A Treeclassification and thinning system.) (Acta Forest. Fenn. 34. Helsinki.)
- JALAVA, MATTI. 1932. Puun kosteuspuoisuuden, koon ja muodon muutoksista (Metsätiet. Tutkimusl. Julk. 18. 2. Helsinki.)
- JANKA, GABRIEL. 1900. Ks. HADÉK, ANTON und JANKA, GABRIEL.
- 1904. Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der Österreichischen Bauhölzer. II. Fichte von Nord-Tirol, vom Wienerwalde und Erzgebirge (Mitth. a. d. forstl. Versuchswes. Österr. XXVIII Heft. Wien.)
- 1909. Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der Österreichischen Bauhölzer. III. Fichte aus den Karpaten, aus dem Böhmerwalde, Ternovaner-

- walde und den Zentralalpen. Technische Qualität des Fichtenholzes im allgemeinen (Mitt. a.d. forstl. Versuchswes. Österr. XXXV Heft. Wien.).
- JANKA, GABRIEL. 1911. Eschenholz zu Ski (Centralbl. f. d. ges. Forstwes. Berlin.).
- 1913. Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der Österreichischen Bauhölzer. IV. Lärche aus dem Wienerwalde, aus Schlesien, Nord- und Südtirol (Mitt. a.d. forstl. Versuchswes. Österr. XXXVIII Heft. Wien.).
- KALNINŠ, ARVIDS. 1930. Latvijas priedes (Pinus silvestris L.) tehniskas ipasibas (Mit deutschem Referat: Die technischen Eigenschaften der Kiefer (Pinus silvestris L.) Lettlands.) (Latvijas mezzinālniskie raksti. N:o 1. Riga.).
- KELLOG, R. S. 1924. Lumber and its uses. New York.
- KINNMAN, GUNNO. 1930. Skogsteknologi (Svenska jordbrukets bok. Stockholm.).
- LASSILA, I. 1926. Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimuksesta, sen tuloksista ja tehtävistä (English summary: The Mechano-technical Properties of Wood; their Study and its Objects.) (Acta Forest. Fenn. 31. Helsinki.).
- 1929. Metsätyyppi vaikutuksesta puun painoon (English summary: On Influence of Forest Type on Weight of Wood.) (Acta Forest. Fenn. 36. Helsinki.).
- 1931. Untersuchungen über den Einfluss des Waldtyps auf die Qualität der Kiefer (Acta Forest. Fenn. 37. Helsinki.).
- MIKOLASCHEK, CARL. 1881. Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der wichtigsten Bau- und Nutzhölzer Böhmens (Mitth. a.d. forstl. Versuchswes. Österr. Bd. II. Wien.).
- MOORE, WALTER, M. 1924. Some Recent Developments in the Use of Wood in Airplane Construction (Journal of Forestry. Vol. XXII. Washington.).
- v. MONROY, J. A. 1929. Das Holz. Gemeinverständlich Darstellung seiner Erzeugung, Gewinnung und Verwendung. Berlin.
- NÖRDLINGER, H. 1860. Die technischen Eigenschaften der Hölzer für Forst- und Baubeamte, Technologen und Gewerbetreibende. Stuttgart.
- REUTER, JONATAN. 1921. Lujusopin alkeet. Porvoo.
- RUBNER, K. 1929. Das Holz und seine Eigenschaften (v. MONROY, J. A.: Das Holz. Gemeinverständlich Darstellung seiner Erzeugung, Gewinnung und Verwendung. Berlin.).
- SCHLYTER, RAGNAR och WINBERG, GUSTAF. 1929. Svenskt furuvirkets hållfasthetsegenskaper och deras beroende av fuktighetshalt och volymvikt (Ingeniörs Vetenskaps Akademien. Handlingar Nr 92.) Stockholm.
- SCHWAPPACH, A. 1897—98. Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume. I Kiefer, II Fichte. Berlin.
- STAMER, JOHS. 1910. Die üblichen Prüfungsmethoden für Hölzer (KRAIS, PAUL. Gewerbliche Materialkunde. Bd. I: Die Hölzer. Stuttgart.).
- 1929. Prüfung des Holzes als Werkstoff (v. MONROY, J. A.: Das Holz. Gemeinverständlich Darstellung seiner Erzeugung, Gewinnung und Verwendung. Berlin.).
- WERTHEIM, G. Ks. CHEVANDIER, E. und WERTHEIM, G.
- WIJKANDER, AUG. 1897. Untersuchungen der Festigkeits-Eigenschaften schwedischer Holzarten, in der Material-Prüfungs-Anstalt des Chalmerschen Institutes ausgeführt. I. Göteborg.
- WINBERG, GUSTAF. Ks. SCHLYTER, RAGNAR och WINBERG, GUSTAF.

Referat.

## Ein Charakteristikum für die Holzqualität.

### Einleitung.

Der Verfasser hat sich vor einiger Zeit die Aufgabe gestellt, die Biegefestigkeitseigenschaften der finnischen Birke, insbesondere die der Moorbirke (*Betula odorata*) zu untersuchen. In diesem Zusammenhang lag es dann auch nahe, die Frage nach den Qualitätseigenschaften des Birkenholzes näher zu erörtern und einen Vergleich derselben mit den Eigenschaften anderer Holzarten anzustellen.

Die Festigkeitszahlen, die Bruchmodulen, für sich allein sind ebensowenig wie das spez. Gewicht ausreichend um die Qualität einer Holzart zu charakterisieren, sondern bedarf es hierzu eines Kennzeichens, das in zweckentsprechender Weise sowohl Festigkeit als spez. Gewicht in sich vereinigt, m.a.W. die gegenseitige Abhängigkeit dieser beiden Faktoren voneinander kund gibt und demzufolge die Qualität eines Holzes präziser charakterisiert als dies durch die obengenannten beiden Zahlen möglich ist. Die Zahlenwerte für die Festigkeit und das spez. Gewicht besitzen beide den Vorzug Relationszahlen zu sein: die Festigkeit = Bruchspannung pro Flächeneinheit und das spez. Gewicht = Gewicht pro Volumeinheit. Hierdurch kommt ihnen insofern ein allgemeingültiger Wert zu, als sich mit ihrer Hilfe einander entsprechende Eigenschaften verschiedenartiger Holzkörper ohne Rücksichtnahme auf deren Dimensionen, vortrefflich mit einander vergleichen lassen. — Das hier gesuchte weitere Kennzeichen muss also, sofern es einer solchen Forderung genügen soll, ebenfalls eine Relationszahl sein.

Ein Charakteristikum für die Holzqualität, das sowohl die Festigkeit wie auch das spez. Gewicht einer Holzart als Faktoren in sich vereinigt, ist in der einschlägigen wissenschaftlichen Literatur keineswegs etwas Unbekanntes und wir finden ein solches in mathematischer Einkleidung u.a. in den verdienstvollen Arbeiten von JANKA, die die Elastizität und Festigkeit österreichischer Bauhölzer behandeln. JANKA drückt nämlich die Qualität des Holzes durch einen relativen Qualitätsquotienten aus (JANKA, 1900, S. 37.). — Bekanntlich bezieht sich diese Relationszahl nur auf die Druckfestigkeit und auf das spez. Gewicht und eignet sich nicht dazu, die zwischen der Biegefestigkeit und dem spez. Gewicht existierende gegenseitige Abhängigkeit zu charakterisieren, was ja auch ohne weiteres einleuchtet, wenn man bedenkt, dass die Biegefestigkeit einen Komplex mannigfaltigster Spannungen darstellt, wo die Dimensionen des zu biegenden Holzkörpers nicht mehr einen Ausdruck ersten Grades darstellen; so muss z.B. die Höhe der Querfläche zur zweiten Potenz erhoben werden.

Zweck dieser Arbeit ist, eine Erklärung für den Begriff des relativen Qualitätsquotienten zu geben und für denselben eine solche Ausdrucksform abzuleiten, die es gestattet, die Qualität eines Holzes auch unter Berücksichtigung von dessen Biege-

festigkeit zu charakterisieren, um mit besserem Erfolg, als dies bisher möglich war, Vergleiche zwischen der technischen Qualität von, ihrem spez. Gewicht nach ungleichwertigen Einzelstämmen verschiedener Holzarten als auch ein und derselben Holzart anstellen zu können.

#### Die effektive Festigkeit.

Der Verfasser schlägt vor, jene Eigenschaft eines Holzes, die angibt, ob es in bezug auf sein Gewicht fester als ein anderes ist, die effektive oder relative Festigkeit des Holzes zu nennen. In Fällen, wo anstatt des Bruchmoduls des Holzes, dessen Tragmodul bekannt ist, kann dementsprechend die Bezeichnung effektive Tragspannung benutzt werden.

SCHWAPPACH hat die effektive Festigkeit des Holzes so definiert, dass derselben eine, einem bestimmten Gewicht des Holzes zugeordnete Festigkeitszahl entspricht. — Wie bereits weiter oben erwähnt, hat JANKA dieser Definition mathematische Form verliehen, indem er sagt, dass die effektive Druckfestigkeit durch einen relativen Qualitätsquotienten ausgedrückt wird, unter welchem man das Verhältnis zwischen der Druckfestigkeit und dem spez. Gewicht versteht:

$$\frac{k_v}{s_v}$$

Hierbei bedeutet  $k_v$  die Druckfestigkeit des Holzes bei einem Wassergehalt von  $v$  %, bezogen auf das Gewicht in abs. trockenem Zustand, und  $s_v$  das spez. Gewicht bei gleichem Wassergehalt.

Dieser Qualitätsquotient eignet sich vorzüglich, wenn es sich darum handelt zu erfahren, welchem Holz der Vorzug zu geben ist, um ein, eine gewisse Belastung vertragendes Konstruktionsstück von kleinstmöglichem Gewicht zu erhalten, da aus Holz mit hohem Qualitätsquotienten sich eine leichtere Konstruktion als aus Holz mit niedrigem Qualitätsquotienten herstellen lässt (vgl. BORGMAN, 1913, S. 299.). — Und noch grösser als an Gewicht wird die Ersparnis an Masse von Rohmaterial sein, wenn die effektive Festigkeit eines Holzes bekannt ist und ein Holz mit hohem Qualitätsquotient genommen wird. — Dieser Ersparnis kommt aus leicht begreiflichen Gründen grosse Bedeutung zu, da ja der Preis und die Transportkosten von Holz zumeist nach dem Kubikinhalt berechnet werden. — JANKA führt (1904, SS. 62, 63.) ein Beispiel dafür an, wie hoch die hierbei erzielte Ersparnis sich belaufen kann. Seiner Angabe nach wird bei schwerem Fichtenholz, das ausserdem auch noch eine grössere effektive Festigkeit als leichtes Holz besitzt, eine Gewichtserparnis von 4 % erzielt, wozu dann noch eine Ersparnis von 33 % an Holzmasse kommt.

Abb. 1. zeigt, in welchem Masse nach JANKA die effektive Druckfestigkeit von dem Wassergehalt abhängig ist. Man sieht an der graphischen Darstellung, dass diese Abhängigkeit in hohem Grade der Abhängigkeit der Druckfestigkeit vom Wassergehalt gleicht.

Derselbe Umstand macht sich in Abb. 2. geltend. Hier ist die Abhängigkeit der effektiven Druckfestigkeit vom spez. Gewicht in dem zurzeit der Bestimmung der Festigkeit herrschenden Wassergehalt dargestellt, nach Kurven berechnet, die sich in der Untersuchung von SCHLYTER und WINBERG (1929) befinden und die Beziehung zwischen

der Druckfestigkeit und dem spez. Gewicht von schwedischem Kiefernholz bei drei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden wiedergeben.

Abb. 3. zeigt die Abhängigkeit der effektiven Druckfestigkeit vom spez. Gewicht bei einem Wassergehalt von 15 % für folgende Holzarten: Fichte (JANKA) aus Nord-Tirol, aus dem Wienerwald und aus dem Erzgebirge; Lärche (JANKA); Kiefer (SCHLYTER und WINBERG). Aus dem Diagramm geht hervor, dass die effektive Druckfestigkeit aller dieser Holzarten, insbesondere die der Fichte, bei wachsendem spez. Gewicht um einiges steigt.

#### Der Qualitätsquotient als Charakteristikum für die Druck- und Biegezugfestigkeit.

Die effektive Druckfestigkeit und ihre Bestimmung.

Der Qualitätsquotient  $\frac{k_v}{s_v}$  kann unmittelbar aus der folgenden, die Druckspannung ausdrückenden Formel

$$(1) \quad k = \frac{P}{a^2}$$

und

$$(2) \quad P = k \cdot a^2,$$

abgeleitet werden, wo  $k$  die Druckspannung in  $\text{kg/cm}^2$ ,  $P$  die Belastung in  $\text{kg}$  und  $a$  die Seite der Wirkungsfläche ist, falls die Querfläche des betreffenden Holzstückes quadratisch ist. Voraussetzung ist hierbei, dass die Konstruktion ein Holzstück von bestimmtem Gewicht bedingt, das eine gewisse Belastung auszuhalten vermag. Die die Spannung bedingende Belastung wurde mit  $P$  bezeichnet, das Gewicht des zu belastenden Holzstückes soll mit  $p$  bezeichnet werden. Man vergleicht zwei Holzbalken, deren Festigkeit  $k_1$  bzw.  $k_2$ , deren Querflächenseite  $a_1$  bzw.  $a_2$  ist.

Wenn man nun  $k_1$  bzw.  $k_2$ ,  $a_1$  bzw.  $a_2$  in die Gleichung (2) einsetzt so findet man, dass

$$(3) \quad k_1 \cdot a_1^2 = k_2 \cdot a_2^2.$$

Haben beide Holzbalken die Länge einer Längenmasseinheit, so kann man für die Masse die Querflächen  $a_1^2$  bzw.  $a_2^2$  einsetzen, wonach deren spez. Gewicht  $s_1$  und  $s_2$  folgendermassen ausgedrückt werden kann:

$$\text{und} \quad s_1 = \frac{p}{a_1^2}$$

$$s_2 = \frac{p}{a_2^2}.$$

Bestimmt man nun in diesen beiden Gleichungen  $a_1$  und  $a_2$ , und setzt man ferner die derart erhaltenen Werte in die Gleichung (3) ein, so ist

$$\frac{k_1 \cdot p}{s_1} = \frac{k_2 \cdot p}{s_2}$$

und ferner

$$(4) \quad \frac{k_1}{s_1} = \frac{k_2}{s_2} = h_p,$$

wo  $h_p$  die effektive Druckfestigkeit (-spannung) ist.



Diese letzte Gleichung besagt, dass wenn zwei Holzstücke eine so grosse Festigkeit und ein solches spez. Gewicht besitzen, dass ihre Qualitätsquotienten  $\frac{k}{s}$  gleich gross sind, aus denselben Balken hergestellt werden können, die ein gleiches Gewicht haben und die eine gleich grosse Belastung vertragen, vorausgesetzt dass sie die gleiche Länge haben, wie dies ja in der Praxis gewöhnlich zutrifft: ist ja doch die Länge eines Tragbalkens stets ganz genau bestimmt, etwas was bei den Stärkemassen durchaus nicht immer der Fall ist. Dagegen wird ein Balken mit grösserer effektiver Druckfestigkeit, selbst wenn er die gleiche Belastung verträgt, immer auch leichter sein.

Die die Abhängigkeit der Druckfestigkeit vom spez. Gewicht wiedergebende Linie kann in den meisten Fällen zu einer Geraden ausgezogen werden, wie z.B. aus Abb. 4. (S. 15.) ersichtlich ist.

Lässt sich das Ausziehen zu einer Geraden tatsächlich in oben dargestellter Weise bewerkstelligen, so wird man auf Grund dieser Ausgleichsgeraden unmittelbar mathematisch schliessen können, welcher Veränderung die effektive Festigkeit bei steigendem oder fallendem spez. Gewicht unterworfen sein wird.

#### Die effektive Biegungsfestigkeit und ihre Bestimmung.

Der Verfasser hat aus der bekannten NAVIER'schen Formel für die Biegungsfestigkeit einen Qualitätsquotienten abgeleitet, der an den, die effektive Druckfestigkeit charakterisierenden Qualitätsquotienten von JANKA erinnert und im wesentlichen auch identisch mit diesem ist; er lautet:

$$h_t = \frac{k^2}{s^3}$$

wo

$h_t$  = effektive Biegungsfestigkeit,  
 $k$  = Biegungsstress und  
 $s$  = spez. Gewicht.

Die Biegungsfestigkeit sowie das spez. Gewicht wurden für ein und denselben Feuchtigkeitsgehalt bestimmt.

Der Verfasser ging bei der Ableitung dieser Relation von analogen Voraussetzungen aus wie bei seiner Auseinandersetzung der technischen Bedeutung des die Druckfestigkeit charakterisierenden Qualitätsquotienten.

In genau demselben Sinne wie von der effektiven Biegungsfestigkeit kann auch von einer effektiven Tragspannung gesprochen werden, wobei dann  $k$  statt des Bruchmoduls das Tragmodul bezeichnet.

Geht man wiederum von der Annahme aus, dass ein Tragbalken von gewissem Gewicht einer gegebenen Belastung, m.a.W. einer gegebenen Spannung ausgesetzt werden soll, so wird man die Dimensionen sämtlicher, diesen Bedingungen genügenden Holzprismen bestimmen können müssen, wenn einerseits deren spez. Gewicht ( $s_1$  und  $s_2$ )

und andererseits deren gemeinsame effektive Biegungsfestigkeit ( $h_t$ ) bekannt sind. — Ist der Balken quadratisch, so wird die NAVIER'sche Formel

$$(8) \quad k = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot l}{a^3}$$

lauten, wo

$k$  = Biegungsstress,  
 $P$  = Biegungsstress bedingende Belastung,  
 $l$  = jeweilige Entfernung der Stützpunkte des zu biegenden Balkens,  
 $a$  = Länge der Querschnittquadrate.

Ist, wie vorausgesetzt wurde, die Biegungsfestigkeit des Holzes bekannt, so wird man aus der Formel (8) den Wert von  $P$  bestimmen können:

$$(9) \quad P = \frac{2}{3} \cdot \frac{k a^3}{l}$$

Sollen zwei Balken die gleiche Belastung  $P$  aushalten, und ist ihre Biegungsfestigkeit  $k_1$  bzw.  $k_2$ , so hat man

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{k_1 a_1^3}{l} = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_2 a_2^3}{l}$$

und

$$(10) \quad k_1 \cdot a_1^3 = k_2 \cdot a_2^3,$$

wobei angenommen wird, dass die Entfernung zwischen den Stützpunkten beider Balken die gleiche ist. Ist diese Entfernung = 1, so wird das Volumen der Balken  $a_1^2$  bzw.  $a_2^2$  sein, wofür wieder folgende Gleichungen gelten werden:

$$a_1^2 = \frac{P}{s_1}$$

und

$$a_2^2 = \frac{P}{s_2}$$

aus denen sich dann die Grösse von  $a_1$  bzw.  $a_2$  bestimmen lässt:

$$a_1 = \sqrt{\frac{P}{s_1}}$$

$$a_2 = \sqrt{\frac{P}{s_2}}$$

Setzt man nun die für  $a_1$  bzw.  $a_2$  erhaltenen Werte in die Gleichung (10) ein, so erhält man

$$k_1 \cdot \sqrt{\frac{P^3}{s_1}} = k_2 \cdot \sqrt{\frac{P^3}{s_2}}$$

hieraus:

$$\frac{k_1}{\sqrt{s_1^3}} = \frac{k_2}{\sqrt{s_2^3}}$$

und schliesslich

$$(11) \quad \frac{k_1^2}{s_1^3} = \frac{k_2^2}{s_2^3} = h_t.$$

Wenn nun also zwei Holzarten von verschieden grossem spez. Gewicht und verschieden grosser Biegezugfestigkeit trotzdem eine gleiche effektive Biegezugfestigkeit besitzen, so ist es gleichgültig, aus welchem dieser beiden Hölzter der Tragbalken angefertigt wird, da ja die betreff. Balken das gleiche Gewicht haben und eine gleich grosse Belastung vertragen. Dagegen dürften sich recht erhebliche Differenzen in den jeweiligen Volumenmassen der Balken geltend machen, wenn statt leichtem und schwachem Holz schweres und festes genommen wird.

Die Bestimmung der effektiven Biegezugfestigkeit wird sich also deswegen empfehlen, weil Konstruktionen, bei denen es auf die Biegezugfestigkeit des Holzes ankommt, im allgemeinen einen sehr viel grösseren Umfang haben als Konstruktionen, die einer Druckspannung ausgesetzt sind, so dass also durch eine voraufgegangene Bestimmung der Biegezugfestigkeit eine absolut genommen grössere Ersparnis an Gewicht und Volumen erzielt werden kann.

Ist ferner die effektive Biegezugfestigkeit eines gewissen Balkens grösser als die eines anderen, so wird ersterer eine grössere Belastung auch dann vertragen, wenn er ebensoviel wiegt wie letzterer, und umgekehrt wird von zwei Balken von gleichem Gewicht derjenige eine grössere Belastung aushalten, dessen Biegezugfestigkeit grösser ist.

Im allgemeinen werden die hierbei sich ergebenden Ersparnisse prozentual grösser sein als in den Fällen, wo es sich um die Druckfestigkeit handelt (vgl. z.B. das Verhältnis der effektiven Biegezugfestigkeit zum spez. Gewicht, das sich aus dem, in den Untersuchungen von BAUMANN (1922) enthaltenen Material ergibt. (Abb. 6, S. 35.)).

Sind also die Biegezugfestigkeitszahlen und das spez. Gewicht zweier Holzarten oder -stücke bekannt, so wird man mit Hilfe der Relation  $\frac{k^2}{s^3}$  untersuchen können, welcher der betreffenden Holzkörper sich besser zur Konstruktion eignen, m.a.W. welche Holzart den leichteren Balken liefern wird, der eine gewünschte Belastung auszuhalten vermag. Mit Hilfe der bisher üblichen verwendeten Charakteristiken war dies noch nicht möglich. Ferner wird man für jede Holzart noch einige, verschiedenen spez. Gewichtsklassen entsprechende effektive Festigkeitswerte berechnen können, die es ermöglichen zu entscheiden, in welcher Gewichtsklasse das vorteilhafteste, m.a.W. das seinem spez. Gewicht gemäss stärkste Holzmaterial gesucht werden muss. — Zeichnet man eine Kurve, die die Abhängigkeit der effektiven Festigkeit vom spez. Gewicht wiedergibt, so wird man, wie bereits weiter oben angedeutet, aus dieser Kurve ablesen können, welches Gewicht ein Holz haben muss, um dementsprechend das festeste zu sein; werden dann die den einzelnen Holzarten entsprechenden Kurven in ein gemeinsames Achsensystem eingezeichnet, so wird man ohne weiteres aus diesen Kurven ablesen können, welche Holzart in den verschiedenen Gewichtsklassen die grösste effektive Festigkeit repräsentiert. — Natürlich wird sich das Aufzeichnen von Kurven wie die obenbeschriebenen auch durch eine direkte Untersuchung der Festigkeit verschiedener Holzarten in den einzelnen spez. Gewichtsklassen und unter Verwendung der so erhaltenen Zahlenreihen als Basis für die Kurven bewerkstelligen lassen; eine dem faktischen Tatbestand genauer entsprechende Kurve wird man jedoch in bequemerer Weise erhalten, wenn die erforderlichen Festigkeits- und Gewichtszahlen von einer, die gegenseitige Abhängigkeit von Festigkeit und spez. Gewicht wiedergebenden Kurve oder Geraden abgelesen werden können.

Dass die Korrelation zwischen Festigkeit und spez. Gewicht für die Mehrzahl der Holzarten sich sehr gut in Form einer Kurve ja zumeist sogar in Form einer Geraden darstellen lässt, geht aus einer grossen Anzahl, in den verschiedensten Teilen unseres Erdballs gemachten Untersuchungen hervor.

*Korrelation zwischen dem spez. Gewicht und der effektiven Biegezugfestigkeit gemäss den Untersuchungen verschiedener Forscher.*

An Hand von, den Arbeiten verschiedener Forscher entnommenen Festigkeits- und spez. Gewichtszahlen — wo der betreffende Forscher die gegenseitig bestehende Korrelation dieser Faktoren vermittels einer Linie ausgedrückt hatte — hat der Verfasser die, bei Benutzung der in dieser Weise berechneten Werte, zwischen der effektiven Festigkeit und dem spez. Gewicht herrschenden Bedingungen untersucht. Material hierzu erboten die Untersuchungen von JANKA über die Fichte, Esche und Lärche; von BAUMANN über die Kiefer, Fichte und Esche; von WIJKANDER über die Kiefer und Fichte; von SCHLYTER und WINBERG über die Kiefer und schliesslich vom Verfasser dieser Arbeit über die Birke.

In sämtlichen genannten Arbeiten war man zu, den verschiedenen spez. Gewichtszahlen entsprechenden Festigkeitswerten gelangt, die eine Korrelationsausgleichung durch eine Gerade gestatteten und zwar ergab sich aus dem vom Verfasser untersuchten Birkenholzmaterial eine überraschend gute Korrelation: der Korrelationskoeffizient  $r = 0.945$  für das Gesamtmaterial,  $r = 0.961$  für ein aus der Peripherie und  $r = 0.823$  für ein aus der Kernumgebung stammendes Stück Holz.

Den derart aufgezeichneten Korrelationsgeraden wurden dann die, den einzelnen spez. Gewichtsklassen entsprechenden Festigkeitswerte entnommen und mit Hilfe von diesen die effektive Biegezugfestigkeit für die einzelnen Holzarten berechnet. Ausserdem wurden die effektiven Festigkeitswerte der behandelten Holzarten entsprechend ein und demselben Wassergehalt bestimmt. Mit Hilfe der für die einzelnen Holzarten ermittelten Reduktionsformeln wurden die Festigkeits- und spez. Gewichtszahlen auf den Wassergehalt von 15%, also auf den von lufttrockenem Holze, reduziert, so dass sich die verschiedenen Holzarten miteinander vergleichen liessen. (Tab. III S. 52. zeigt die Abhängigkeit des spez. Gewichts, der Biegezugfestigkeit und der effektiven Biegezugfestigkeit (Birke) vom Wassergehalt in ein und derselben spez. Gewichtsklasse ( $s_0 = 0.59$ ).)

Die erhaltenen Resultate hat der Verfasser durch Kurven wiedergegeben (Abb. 5—13.). Ausserdem wurden noch sämtliche, dem Wassergehalt von 15% entsprechende, die Abhängigkeit der effektiven Biegezugfestigkeit wiedergebende Kurven in ein und dasselbe Achsensystem eingezeichnet (Abb. 14.). — Bei einer Durchprüfung der Ergebnisse zeigt es sich, dass die aus verschiedenen Materialien erhaltenen Kurven stark voneinander abweichen, was seinen Grund in der Heterogenität des Materials und in der Verschiedenheit der angewandten Forschungsmethoden haben dürfte. Auch darf der wichtige Umstand nicht übersehen werden, dass selbst Kurven, die aus dem Material ein und desselben Forschers für verschiedene Holzarten stammen, insofern voneinander abweichen, dass bei einigen derselben die effektive Biegezugfestigkeit bei steigendem spez. Gewicht steigt, während sich bei anderen wiederum die entgegengesetzte Tendenz

geltend macht. Auch kommt es nicht selten vor, dass die grösste effektive Biegefestigkeit sich in einer spez. Gewichtsklasse befindet, die weder die grösste noch die kleinste spez. Gewichtsklasse einer Holzart, sondern irgend eine dazwischenliegende Klasse repräsentiert.

Aus vorliegender Untersuchung geht also hervor, dass es durchaus nicht bedeutungslos ist, was für ein Holz bei einer Konstruktion gewählt wird, ein leichtes oder ein schweres. Auch ist die Behauptung nicht stichhaltig, dass ein, hinsichtlich seiner Festigkeitseigenschaften vorteilhaftes Holz stets in der grössten spez. Gewichtsklasse gesucht werden muss, während andererseits die Vorliebe für leichtes Holz und leichte Holzarten, wie sie sich z.B. früher bei der Konstruktion von Flugzeugen geltend gemacht hat, recht unliebsame Erfahrungen gezeitigt hat. Man wird also beim Nebeneinanderstellen der diesbezüglichen Eigenschaften der Hauptholzarten Finnlands und Schwedens — Kiefer, Fichte und Birke — zu dem Schluss kommen, dass wider alles Erwarten beim Vergleich der effektiven Biegefestigkeitswerte die Birke die besten Werte liefert.